

**Universität Stuttgart**

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

**44. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten**

**EIN RINGSYSTEM MIT INTEGRIERTER  
DURCHSCHALTE- UND PAKETVERMITTLUNG**

von

**Ernst-Heinrich Göldner**

1988

© 1988 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung Universität Stuttgart

Druck: E. Kurz & Co., Druckerei + Reprografie GmbH.

ISBN 3-922403-54-9



**University of Stuttgart**

Institute of Communications Switching and Data Technics

Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

**44th Report on Studies in Congestion Theory**

**A RINGSYSTEM WITH INTEGRATED  
CIRCUIT AND PACKET SWITCHING**

by

**Ernst-Heinrich Göldner**

1988



## **A RINGSYSTEM WITH INTEGRATED CIRCUIT AND PACKET SWITCHING**

### **SUMMARY**

The report is concerned with the integration of circuit switched (CS) and packet switched (PS) traffic on a ring shaped inhouse communication system. Various integration principles are presented and their performance is compared. For one new integration principle, based on minipackets, a detailed system design has been carried out and proven by a laboratory implementaion.

### **Chapter 1: INTRODUCTION**

Current systems are providing either high speed packet switching (e.g. local area networks, LAN) or circuit switching (e.g. ISDN PBX) as bearer services. Future communication systems have to handle a mixture of both traffic types in a very flexible way to cope with future communication demands of powerful multifunctional workstations and multimedia communications. This chapter states the motivation for the following work.

### **Chapter 2: SERVICES, SWITCHING PRINCIPLES, AND NETWORKS**

The state of the art in telecommunications is presented in this chapter. Services offered today or likely to be offered in future are described. The variety of switching principles which may be applied for the various services is presented and the proper\_ties of these principles are discussed. Current networks are shown as examples and the principles of ISDN are explained in detail.

### Chapter 3: INTEGRATION OF CS AND PS TRAFFIC WITHIN THE LOCAL AREA

Several possibilities for the integration of CS and PS traffic on a ring system are introduced, analysed and compared. The integration of the synchronous (CS) traffic is achieved by using a synchronously circulating pulse frame. This pulse frame may be partitioned into a part for CS and a remaining part for PS traffic (fixed/movable boundary).

A better utilization of the available bandwidth has been obtained by using a slotted frame. Two different integration principles use all time slots, actually not occupied by a CS call. The 'Idle Slot Concatenation' scheme treats all empty slots as one remaining PS channel, similar to the principles operating on a partitioned frame. In these cases access for PS may be controlled by a token passing protocol operating on the PS channel.

Opposite to this, the 'Minipacket' protocol operates on the empty slots as parallel and independent PS channels. Therefore, a message to be sent has to be segmented into small, individually addressed minipackets, which fit exactly into one time slot. The media access control is working with an empty slot indicator, allowing a completely decentralized access scheme. Timing constraints by the CS traffic allow the removal of a minipacket at the destination and to reuse the cleared time slot immediately by the same station with a new minipacket to be sent. This results in a repeated utilization of the available time slots per cycle, overcompensating the additional addressing overhead of each minipacket.

Performance studies by detailed simulation programs have been carried out and the minipacket protocol has been proven to offer the best performance results under the local area application

#### **Chapter 4: SYSTEM DESIGN AND IMPLEMENTATION**

A detailed system design for the minipacket principle is subject of the following chapter. At first, all parameters of the protocol and the system are discussed. For the management of the CS connections a signalling procedure has been defined and specified. Finally, a detailed system description of the implementation shows the feasibility of the whole concept.

#### **Chapter 5: PERFORMANCE STUDIES**

In the first part of this chapter the blocking probabilities for Multi Rate CS are calculated and the results are applied to the integrated ring. For PS (minipackets) a simple method to calculate the maximum throughput is introduced. Especially unbalanced loaded systems can be calculated very easily.

More detailed results have been obtained by simulations. For the case of a distributed slotted system, a new, very effective organisation of the event-by-event method is outlined. The results compare the mean waiting times for a message under various load situations.

#### **Chapter 6: SUMMARY**

This last chapter summarizes this thesis and give a short outlook on future developments.



## INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGEN . . . . .	7
-----------------------	---

1	EINLEITUNG	
1.1	GEGENWÄRTIGE ENTWICKLUNGEN . . . . .	10
1.2	DIENTSTEINTEGRIERENDE KOMMUNIKATIONSSYSTEME . . . . .	12
1.3	GLIEDERUNG DER ARBEIT . . . . .	12
2	DIENTSTE, VERMITTLUNGSVERFAHREN, NETZE	
2.1	DEFINITIONEN . . . . .	14
2.1.1	Netzaufbau . . . . .	14
2.1.2	Vermittlungsverfahren . . . . .	16
2.1.3	Dienste . . . . .	17
2.2	TELEKOMMUNIKATIONSDIENTSTE . . . . .	19
2.2.1	Entwicklung der Dienste . . . . .	19
2.2.2	Klassifizierung der Dienste . . . . .	21
2.2.3	Beschreibung der Dienste . . . . .	22
2.3	VERMITTLUNGSVERFAHREN . . . . .	24
2.3.1	Durchschaltevermittlung . . . . .	26
2.3.2	Mehrkanal-Durchschaltevermittlung . . . . .	26
2.3.3	Fast Circuit Switching . . . . .	27
2.3.4	Paketvermittlung . . . . .	29
2.3.5	Fast Packet Switching . . . . .	32
2.4	NACHRICHTENNETZE . . . . .	33
2.4.1	Öffentliche Netze . . . . .	33
2.4.1.1	Fernsprechnetzt . . . . .	33
2.4.1.2	Integriertes Text- und Datennetz . . . . .	35
2.4.1.2.1	Leitungsvermitteltetes Text- und Datenwählnetz . . . . .	35
2.4.1.2.2	Paketvermittlungsnetz . . . . .	36
2.4.1.2.3	Direktrufnetz . . . . .	36
2.4.2	Innerbetriebliche Netze . . . . .	38
2.4.2.1	Nebenstellenanlagen . . . . .	38
2.4.2.2	Lokale Netze . . . . .	39

2.5	NORMUNGEN . . . . .	42
2.5.1	Normung für LAN . . . . .	42
2.5.2	Normung für das ISDN . . . . .	44
2.6	INTEGRATIONSKONZEPTE . . . . .	45
2.6.1	Klassifizierung . . . . .	45
2.6.2	Diensteintegration mit einheitlichem Teilnehmerzugang und dienstgruppenspezifischen Vermittlungsnetzen: Beispiel ISDN . . . . .	46
2.6.2.1	Grundkonzepte des ISDN . . . . .	48
2.6.2.2	Dienstekonzept des ISDN . . . . .	49
2.6.2.3	Schnittstelle des ISDN zum Benutzer . . . . .	49
2.6.2.4	Architekturmodell des ISDN . . . . .	51
2.6.3	Diensteintegration mit einem einheitlichen Vermittlungsnetz . . . . .	51
2.6.3.1	Datenkommunikation mit Nebenstellenanlagen . . . . .	52
2.6.3.2	Sprachkommunikation mit LANs . . . . .	53
2.6.4	Diensteintegration mit einem hybriden Vermittlungsnetz . . . . .	54
3	INTEGRATION VON CS- UND PS-VERKEHR IM LOKALEN BEREICH	
3.1	GESAMTKONZEPT . . . . .	55
3.1.1	Gegenwärtige Perspektive der innerbetrieblichen Kommunikation . . . . .	55
3.1.2	Konzept eines neuen Kommunikationssystems . . . . .	56
3.1.2.1	Anforderungen . . . . .	56
3.1.2.2	Grobkonzept . . . . .	57
3.1.3	Diensteintegrierendes Teilnetz . . . . .	59
3.2	INTEGRATIONSPRINZIPIEN BEI CS/PS-RINGSYSTEMEN . . . . .	59
3.2.1	Gemeinsame Grundlage der CS/PS-Integration . . . . .	59
3.2.2	Integration durch Teilung des Rahmens . . . . .	61
3.2.2.1	Feste Grenze . . . . .	61
3.2.2.2	Bewegliche Grenze . . . . .	61
3.2.2.3	Beispiele für die Anwendung dieser Integrationsprinzipien . . . . .	64
3.2.3	Überlappender Zugriff auf Zeitschlitz (Slotted Ring) . . . . .	64
3.2.3.1	Verkettung freier Zeitschlitz zu einem PS-Kanal . . . . .	65

3.2.3.2	Wahlfreier Zugriff des PS-Verkehrs: Mini-Pakete in Zeitschlitzen . . . . .	66
3.2.4	Normungsvorschlag IEEE 802.6 . . . . .	69
3.2.4.1	Rahmenstruktur . . . . .	69
3.2.4.2	Zugriffsprotokoll . . . . .	71
3.2.4.3	Beurteilung des Slotted Rings nach IEEE 802.6 (1985) . . . . .	72
3.3	LEISTUNGSBEWERTUNG UND VERGLEICH . . . . .	73
3.3.1	Maximaler PS-Durchsatz . . . . .	73
3.3.2	Zeittreue Verkehrssimulation zur Leistungsbewertung . . . . .	77
3.3.2.1	Integrationsprinzipien mit Token Passing-Zugriffsverfahren . . . . .	78
3.3.2.1.1	Integration mit fester Grenze . . . . .	78
3.3.2.1.2	Integration mit beweglicher Grenze . . . . .	80
3.3.2.1.3	Verkettung freier Zeitschlitze . . . . .	84
3.3.2.2	Slotted Ring mit Mini-Paketen . . . . .	85
3.3.2.3	Vergleich der Integrationsprinzipien . . . . .	88

#### 4 SYSTEMTECHNISCHE REALISIERUNG

4.1	SYSTEMSTRUKTUR . . . . .	90
4.1.1	Integrationskonzept . . . . .	90
4.1.1.1	Anforderungen . . . . .	90
4.1.1.2	Auswahl des Integrationsprinzips . . . . .	91
4.1.2	Implementierung des Integrationsprinzips . . . . .	91
4.1.2.1	Größe eines Zeitschlitzes . . . . .	92
4.1.2.2	Größe des Mini-Paket-Adresskopfes . . . . .	92
4.1.2.3	Quittungen für PS-Nachrichten . . . . .	93
4.1.2.4	Rundsendenachrichten . . . . .	94
4.1.2.5	Signalisierung für CS . . . . .	95
4.1.2.6	Struktur des Pulsrahmens . . . . .	95
4.1.3	Struktur der Stationen (Kanalnaher Teil) . . . . .	98
4.2	SIGNALISIERUNG FÜR CS-VERKEHR . . . . .	99
4.2.1	Signalisierungskonzept . . . . .	99
4.2.2	Signalisierungsprozesse . . . . .	101
4.2.3	Protokoll-Dateneinheiten für die Signalisierung . . . . .	103
4.2.4	Signalisierungsprotokoll . . . . .	104

4.3	IMPLEMENTIERUNGSGESICHTSPUNKTE . . . . .	107
4.3.1	Allgemeine Randbedingungen . . . . .	107
4.3.2	Ring-Station . . . . .	107
4.3.2.1	Struktur der Anschlußstation . . . . .	107
4.3.2.2	Laborimplementierung der Stationen . . . . .	109
4.3.2.2.1	Kanalzugang . . . . .	109
4.3.2.2.2	Anschluß-Module . . . . .	113
4.3.2.2.3	Stationsprozessor . . . . .	114
4.3.2.2.4	Schnittstellen zum Benutzer . . . . .	116
4.3.3	Master-Station . . . . .	116
4.3.3.1	Struktur der Master-Station . . . . .	116
4.3.3.2	Laborimplementierung der Master-Station . . . . .	117
4.3.4	Erfahrungen . . . . .	119
4.3.5	Erweiterungen und Ausblick . . . . .	120
5	VERKEHRSTHEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN	
5.1	MODELLIERUNGS-ASPEKTE . . . . .	123
5.2	ANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN . . . . .	124
5.2.1	Mehrkanal-Durchschalteverkehr . . . . .	124
5.2.1.1	Modellierung . . . . .	124
5.2.1.2	Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit . . . . .	124
5.2.1.3	Verlustwahrscheinlichkeiten des Ringsystems . . . . .	125
5.2.2	Maximaler Durchsatz des Mini-Paket-Protokolles . . . . .	127
5.2.2.1	Problemstellung . . . . .	128
5.2.2.2	Modell einer Station . . . . .	130
5.2.2.3	Maximaler PS-Durchsatz . . . . .	131
5.2.2.4	PS-Kapazitätsfaktor . . . . .	132
5.2.2.5	Beispiel . . . . .	134
5.2.2.6	Verkehrsflußmatrix . . . . .	135
5.3	SIMULATIVE UNTERSUCHUNGEN . . . . .	138
5.3.1	Simulationstechnik . . . . .	138
5.3.1.1	Organisation der zeittreuen Simulation . . . . .	139
5.3.1.2	Integration von CS- und PS-Verkehr in der Simulation . . . . .	140
5.3.2	Verkehrsleistung eines Mini-Paket-Rings . . . . .	141
5.3.2.1	Symmetrische PS-Belastung . . . . .	142
5.3.2.2	Nichtsymmetrische PS-Belastung . . . . .	147

6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	
6.1	ZUSAMMENFASSUNG . . . . .	153
6.2	AUSBLICK . . . . .	154
ANHANG A		
A.1	VERLUSTWAHRSCHEINLICHKEIT BEI MEHRKANALDURCHSCHALTUNG . . . . .	155
	LITERATURVERZEICHNIS . . . . .	157
	LEBENS LAUF . . . . .	164

## ABKÜRZUNGEN

A	Angebot
ANSI	American National Standards Institute
B	Verlustwahrscheinlichkeit
BB	Bandbreite
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CH	Channel (802.6)
$c_i$	Relativer PS-Verkehrsanteil einer Station
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CPU	Central Processing Unit
CS	Circuit Switching, Durchschaltevermittlung
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
ECMA	European Computer Manufacturers Association
EDS	Elektronisches Datenvermittlungssystem
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FIFO	First-in-first-out
HLF	High Layer Functions
HVSt	Hauptvermittlungsstelle
ICC	Isochronous Channel Control (802.6)
IDN	Integriertes Text- und Datennetz der Deutschen Bundespost
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Organization for Standardization
KVSt	Knotenvermittlungsstelle
LAN	Local Area Network
LCN	Logical Channel Number
LLC	Logical Link Control
LLF	Low Layer Functions
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MRCS	Multi-Rate-CS, Mehrkanal-Durchschaltevermittlung
MS	Message Switching, Sendungsvermittlung
n	Anzahl der Zeitschlitze im Pulsrahmen
N	Ganze Zahl, z.B. Anzahl der Stationen, Protokoll-Schicht
NTG	Nachrichtentechnische Gesellschaft (im VDE, jetzt ITG)
OSI	Open System Interconnection

OVSt	Ortsvermittlungsstelle
p	Wahrscheinlichkeit
P/s	Pakete pro Sekunde
PAD	Paket Assembly/Disassembly
PAL	Programable Array Logic
PBX	Private Branch Exchange, Nebenstellenanlage
PCI	Protocol Control Information, Steuerkopf
PCM	Pulse Code Modulation
PDU	Protocol Data Unit, Protokoll-Dateneinheit
POTS	Plain Ordinary Telephone Service, Fernsprech-Grunddienst
PS	Packet Switching, Paketvermittlung
r	Anzahl der Mini-Pakete pro Nachricht
RAM	Random Access Memory
RI	Reassembly-Identifizier (802.6)
SAR	Segmentation and Reassembly (802.6)
SDL	Functional Specification and Description Language
SDU	Service Data Unit, Dienst-Dateneinheit
SH	Slot Header (802.6)
$T_M$	Bedienzeit des ersten Mini-Paketes einer PS-Nachricht, Erwartungswert
$T_N$	Bedienzeit einer PS-Nachricht, Erwartungswert
$T_W$	Wartezeit einer PS-Nachricht, Erwartungswert
TASI	Time Assignment Speech Interpolation
TS	Timeslot
TTL	Transistor-Transistor-Logik
UI	Unnumbered Information (Frame)
VME	Markenname des Mikroprozessor-Systembusses
WAN	Wide Area Network
$Y_{CS}$	Mit CS-Verbindungen belegte mittlere Anzahl von Zeitschlitz
$Y_{PS}$	Normierte PS-Verkehrswerte
ZS	Zeitschlitz
ZVSt	Zentralvermittlungsstelle
$\alpha$	PS-Kapazitätsfaktor
$\lambda$	Ankunftsrate
$\Lambda_{PS}$	Zeitschlitz für PS, Erwartungswert
$\theta$	Mini-Paket-Rate

## KAPITEL 1

### EINLEITUNG

Die Kommunikationsbedürfnisse, speziell innerhalb von Betrieben, haben sich in den letzten Jahren durch den verstärkten Einsatz informationsverarbeitender Systeme stark gewandelt. Der größte Teil der Kommunikation wird zwar auch weiterhin durch den Telefondienst mittels Nebenstellenanlagen abgewickelt, aber zusätzlich erfordern neue, rechnergestützte Hilfsmittel sowie neue Organisationsstrukturen nachdrücklich den Einsatz neuer, flexibler Kommunikationssysteme. Bei vielen Arbeitsplätzen wird neben der eigentlichen Kommunikation mit Menschen auch noch ein intensiver Dialog mit Maschinen benötigt, z.B. bei der Bearbeitung von Vorgängen oder beim Ablegen und Wiederfinden von Dokumenten und Daten. Diese Kommunikation mit Maschinen erzeugt einen Informationsverkehr, der, verglichen mit dem Fernspreverkehr, völlig unterschiedliche Charakteristika aufweist und daran angepasste Kommunikationssysteme erfordert.

Im Gegensatz zur Kommunikation in öffentlichen Netzen erlaubt der innerbetriebliche Bereich den Einsatz neuerer, schnellerer und leistungsfähigerer Kommunikationssysteme, da

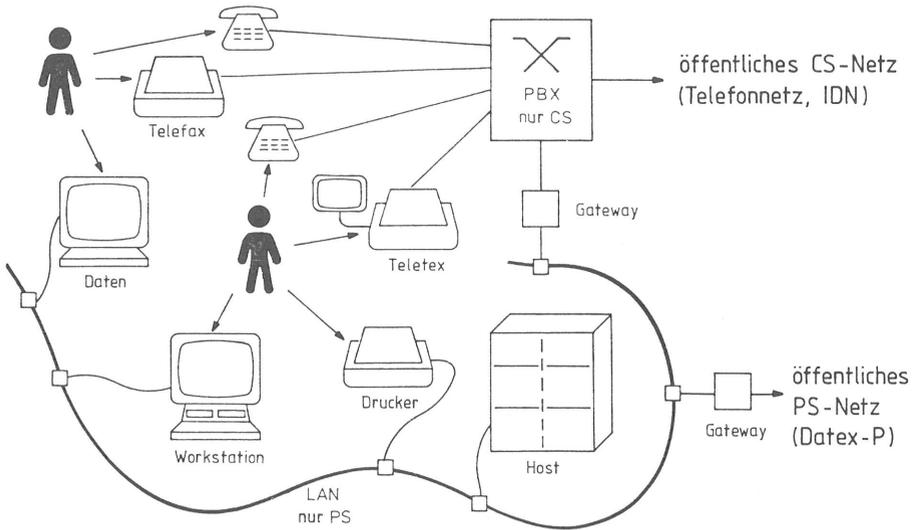
- zahlreiche Dienste mit leistungsfähigen Merkmalen gefordert sind,
- meist nur kurze Entfernungen zu überbrücken sind,
- ein deutlich höheres Verkehrsaufkommen den Einsatz notwendig und wirtschaftlich macht,
- herstellerabhängige Lösungen tolerierbar sind, und
- die rechtlichen Vorschriften auf privatem Grund einen größeren Freiraum bieten.

## 1.1 GEGENWÄRTIGE ENTWICKLUNGEN

Die Kommunikation innerhalb eines Betriebes (lokale Kommunikation) ist gekennzeichnet durch zwei divergierende Entwicklungstendenzen:

- Nebenstellenanlagen (Privat Branch Exchange, PBX) bilden die Basis der Sprachkommunikation, und nahezu jeder Arbeitsplatz ist mit einem Fernsprechapparat ausgestattet. Während heutige Nebenstellenanlagen meist nur analoge Sprachinformation übertragen können, so weisen neu entwickelte Anlagen auch die Leistungsmerkmale des diensteintegrierenden Digitalnetzes (Integrated Services Digital Network, ISDN) auf und ermöglichen in einem weiten Umfang zusätzliche leitungsvermittelte Dienste. Basis dafür sind volldigitale, leitungsvermittelte, transparente 64 kbit/s-Kanäle (B-Kanäle), deren Signalisierungsnachrichten auf einem unabhängigen 16 kbit/s-Kanal (D-Kanal) übertragen werden. Dieser paketorientierte D-Kanal erlaubt neben der Signalisierung noch den Austausch paketvermittelter Benutzerinformation mit niedrigerer Priorität.
- Lokale Netze (Local Area Networks, LAN) wurden in den letzten Jahren für die Bedürfnisse der Rechnerkommunikation entwickelt. Sie sind charakterisiert durch ein gemeinsam genutztes Breitbandmedium und einer geeigneten Regelung des Zugriffs aller angeschlossenen Geräte. Üblicherweise arbeiten LANs paketvermittelt, da dem typischen Verkehrsaufkommen der Rechnerkommunikation die nur kurzfristig verfügbare, dafür aber sehr hohe Übertragungskapazität am besten entspricht.

Jedes dieser Kommunikationssysteme unterstützt hauptsächlich einen Verkehrstyp: Nebenstellenanlagen die kontinuierliche Sprache und LANs den büschelförmigen Datenverkehr. Bild 1.1 verdeutlicht die Aufteilung der lokalen Kommunikation in durchschaltevermittelnde (Circuit Switched, CS) und paketvermittelnde (Packet Switched, PS) Systeme.



**Bild 1.1:** Innerbetriebliche Kommunikation mit heutigen Netzen

Kopplungen der getrennten Systeme dieser unterschiedlichen "Vermittlungswelten" sind im allgemeinen nur möglich mittels aufwendiger Anpassungen, sogenannter Gateways, die letztlich in einer unbefriedigenden Systemleistung resultieren. Andererseits führen gegenwärtige Entwicklungen deutlich auf integrierte Arbeitsplatzsysteme, auf komplexere, multifunktionale Endsysteme, die sowohl CS- wie auch PS-Dienste benutzen. Als Konsequenz hieraus ergibt sich die Forderung nach einem universellen Kommunikationssystem, das beide Verkehrsarten enthält, CS- wie auch PS-Dienste umfangreich unterstützt, auch zukünftige Verkehrsaufkommen bewältigen kann und möglichst gut in eine existierende Infrastruktur einzubetten ist.

Diese Anforderungen können von existierenden Systemen nur bedingt erfüllt werden, da

- Nebenstellenanlagen normalerweise eine sternförmige Struktur mit Anschlußleitungen geringer Übertragungsbandbreite besitzen; büschelförmiger Datenverkehr hoher Übertragungsraten kann deshalb nicht ohne störende

Verzögerungszeiten übertragen werden, und

- LANs wegen ihrer meist lastabhängigen und daher stark schwankenden Verzögerungszeiten die Anforderungen der Realzeitanwendungen, wie z.B. Sprache, nicht immer erfüllen können.

## 1.2 DIENSTEINTEGRIERENDE KOMMUNIKATIONSSYSTEME

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit ergibt sich aus den genannten Entwicklungen. Von besonderem Interesse sind hierbei die Fragen der

- Netzstruktur,
- Systemarchitektur,
- Leistungsfähigkeit und
- Implementierbarkeit

eines lokalen Kommunikationssystems, das die oben gestellten Anforderungen erfüllen kann und insbesondere CS- und PS-Verkehr integriert.

## 1.3 GLIEDERUNG DER ARBEIT

Kapitel 2 ist zunächst dem Umfeld der eigentlichen Problemstellung gewidmet und versucht, die später benötigten Begriffe, Verfahren und Systeme vorzustellen, zu beschreiben und zu klassifizieren. Dabei werden die Kommunikationsdienste gegenüber den Kommunikationsnetzen abgegrenzt, wobei auch alle bekannten Vermittlungsverfahren in die Betrachtung einbezogen werden. Darauf aufbauend gibt dieses Kapitel noch einen Überblick über die unterschiedlichen Integrationskonzepte, wobei dem ISDN ein breiter Raum eingeräumt wird.

Die Integration von CS- und PS-Diensten im innerbetrieblichen Bereich ist Gegenstand des 3. Kapitels. Aus den in naher Zukunft zu erwartenden Anforderungen wird ein Gesamtkonzept entwickelt, dessen eine Hauptkomponente ein diensteintegrierendes Ringsystem ist. Vier unterschiedliche Integrationsprinzipien

werden für diesen Ring vorgestellt, ausführlich diskutiert und miteinander verglichen. Neben Systemaspekten werden insbesondere Leistungsbewertungen der Prinzipien präsentiert, die sowohl analytisch wie auch von Systemsimulationen gewonnen wurden. Dieses Kapitel schließt mit der Auswahl eines Verfahrens, das für den gegebenen Anwendungsbereich sehr gut geeignet ist und mit sogenannten Mini-Paketen arbeitet.

Kapitel 4 ist vollständig diesem Verfahren gewidmet und diskutiert die Realisierung dieses Mini-Paket-Protokolls in einem Ringsystem. Dazu werden Details des Protokolls vorgestellt, unterschiedliche Varianten der Implementierung abgewogen und die Systemparameter festgelegt. Für den Auf- und Abbau der CS-Verbindungen wird ein Signalisierungsprotokoll entworfen, die Prozesse werden definiert und exemplarisch bis zur Spezifikation fortgeführt. Die Entwicklung der Laborimplementierung beschließt dieses Kapitel. Dabei wird ausführlich die Struktur der notwendigen Ring-Stationen erläutert und in Einzelheiten vorgestellt.

Mit der Leistungsfähigkeit dieses Systems befaßt sich das 5. Kapitel. Für Mehrkanal-Durchschalteverkehr werden die Verlustwahrscheinlichkeiten der unterschiedlichen Verkehre analytisch bestimmt. Für das Mini-Paket-Protokoll wird dann ein Analyseverfahren entwickelt, das die Bestimmung des maximalen PS-Durchsatzes unter beliebigen Verkehrsbedingungen erlaubt. Eine weitergehende simulative Untersuchung des genauen Verhaltens der Mini-Paket-Stationen erlaubt konkrete Aussagen über die Warte- und Bedienzeiten einer PS-Nachricht. Neben symmetrischen Verkehrsaufteilungen werden auch unsymmetrische Systembelastungen betrachtet, die einer realen Einsatzumgebung nahekommen sollen. Auch hier überzeugt das Mini-Paket-Protokoll durch ein sehr gutes Verhalten.

Im Kapitel 6 werden abschließend die durchgeführten Arbeiten kurz zusammengefaßt, und es wird auf aktuelle Entwicklungen hingewiesen.

## KAPITEL 2

### DIENTSTE, VERMITTLUNGSVERFAHREN, NETZE

#### 2.1 DEFINITIONEN

In der Vermittlungstechnik ist ein Netz definiert als die "Gesamtheit von Vermittlungseinrichtungen (Knoten), Endstellen und Übertragungswegen"; so die NTG Norm 1203 /65/. Netze können klassifiziert werden nach den Kriterien

- Netzaufbau,
- Vermittlungsverfahren und
- Dienste.

##### 2.1.1 Netzaufbau

Der Aufbau eines Netzes ist unter den Gesichtspunkten Ausdehnung und Struktur (Topologie) zu beurteilen, siehe auch NTG-Normen 0902 /64/ und 1203 /65/. Hinsichtlich der Ausdehnung unterscheidet man zwischen

- Fernnetzen (Weitverkehrsnetzen), die größere Regionen überdecken und weit entfernt liegende Netzteile verbinden,
- Ortsnetzen, die räumlich eng umgrenzte Gebiete, z.B. Ortschaften oder Stadtteile mit einem relativ hohen Verkehrsaufkommen umfassen und
- innerbetriebliche Netze, welche nur der Kommunikation innerhalb einer Organisation (Betrieb) dienen und privat verwaltet und betrieben sind.

Üblicherweise sind diese Netze miteinander verbunden; Ortsnetze verbinden neben den einzelnen Endstellen auch die innerbetrieblichen Netze und Fernnetze wiederum die einzelnen Ortsnetze.

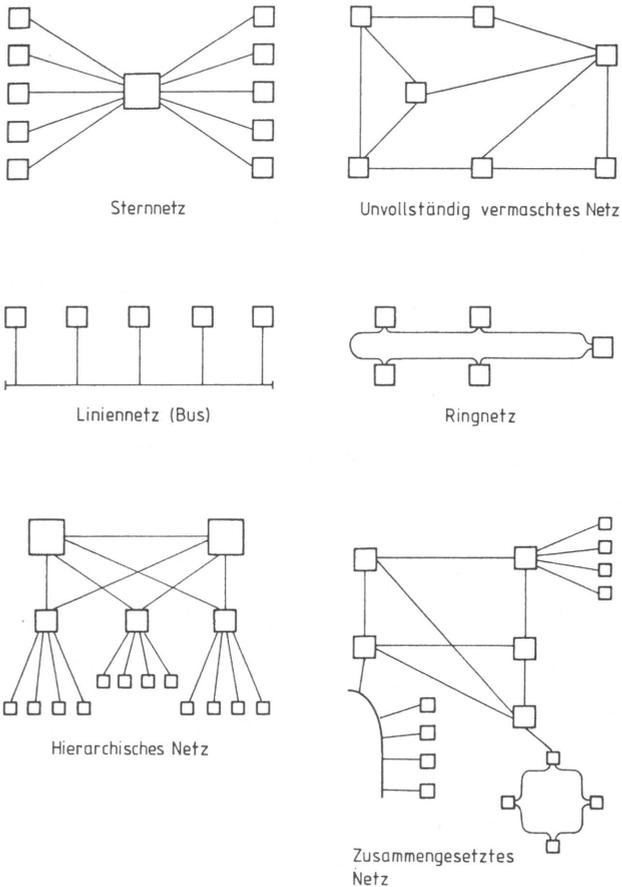
Aus der Kopplung von Netzen unterschiedlicher Ausdehnung folgt die Einführung von Hierarchiestufen im Netz. In einem hierarchischen Netz existieren Knoten, die eine höhere vermittlungstechnische Rangstufe, evtl. auch eine andere Funktionalität besitzen, wie z.B. Durchgangsvermittlungsstellen gegenüber Teilnehmervermittlungsstellen im Fernsprechnet. Diese Unterteilung ist besonders für größere Netze relevant, um die Anzahl der Knoten, die von einer Verbindung berührt werden, zu begrenzen. Allerdings existieren auch Netze, bei denen alle Knoten gleichberechtigt sind und die gleiche vermittlungstechnische Funktionalität besitzen. Hier müssen alle Knoten des Netzes die Fähigkeit haben, eintreffende Informationen der Nachbarknoten richtig weiterzuleiten.

Als topologische Grundelemente eines Netzes kommen in Betracht:

- Stern, mehrere Endstellen sind mit einem Knoten der nächst höheren Rangstufe verbunden, hierarchisches Netz;
- Masche, jeder Knoten ist mit zwei oder mehreren benachbarten Knoten verbunden;
- Linie (Bus), mehrere Endstellen sind an einem linienförmig verlaufenden Übertragungsmedium angeschlossen;
- Ring, der aus einem ringförmig geschlossenen Liniennetz besteht.

Häufig bestehen Netze auch aus zusammengesetzten (meist hierarchischen) Formen. Bild 2.1 zeigt einige exemplarische Netzstrukturen.

Eng verbunden mit der Struktur ist auch die Frage nach der Zuordnung der Vermittlungsfunktionen. Sternnetze enthalten normalerweise eine zentrale Vermittlung, während bei anderen Topologieformen häufig auch verteilte Vermittlungsverfahren eingesetzt werden. Dies erfordert von allen Endstellen bzw. Knoten des Netzes, daß sie zumindest Teile der Vermittlungsfunktionen enthalten und daß geeignete Protokolle den richtigen Ablauf der dezentralen Vermittlung sicherstellen. Darüber hinaus sind weitergehende Protokolle notwendig, die Fehlfunktionen einzelner Stationen erkennen können und einen möglichst ordnungsgemäßen Betrieb des noch ungestörten Netzteils erlauben.



**Bild 2.1:** Netzstrukturen

### 2.1.2 Vermittlungsverfahren

Zwei prinzipielle Vermittlungsverfahren müssen unterschieden werden /64/:

- Durchschaltevermittlung (oder Leitungsvermittlung, engl. circuit switching, CS), bei dem zwischen den beteiligten Endstellen für die Dauer einer Verbindung ein unmittelbarer Übertragungsweg zur Verfügung gestellt wird, unabhängig davon, ob Information übertragen wird oder

nicht, und

- Teilstreckenvermittlung (oder Speichervermittlung, engl. store and forward switching), bei dem Nachrichten anhand einer im Nachrichtenkopf angegebenen Zielinformation abschnittsweise von Vermittlungsstelle zu Vermittlungsstelle durch das Netz geschleust werden. Dabei werden die Nachrichten zwischengespeichert, bis ein Weg in Zielrichtung frei ist. Je nachdem, ob die Nachricht aus einer ungeteilten Sendung oder aus Teilen einer Sendung (Paketen) besteht, unterscheidet man ferner
  1. Sendungsvermittlung (engl. message switching, MS) und
  2. Paketvermittlung (engl. packet switching, PS).

### 2.1.3 Dienste

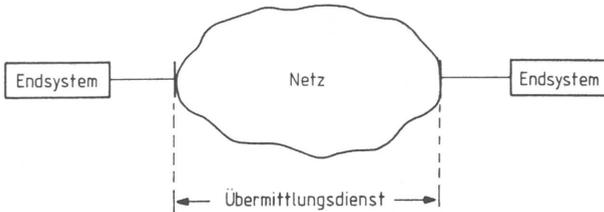
"Unter einem Dienst (service) werden standardisierte Kommunikationsleistungen eines Netzes für die Benutzer verstanden;" so lautet eine Definition des Begriffs Dienst im Kontext der Telekommunikation /34/. Beispiele für bekannte Dienste der Individualkommunikation sind:

- Fernsprechen,
- Telex (Fernschreiben),
- Teletex (Bürofernschreiben),
- Bildschirmtext

und viele mehr.

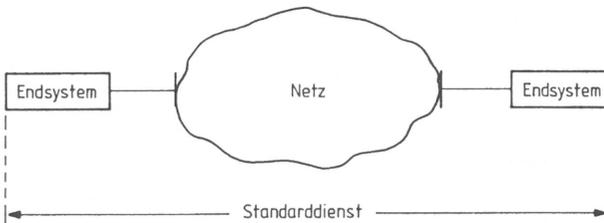
Eine genauere Definition des Begriffs "Dienst" erfordert eine Unterteilung der Dienste in Kategorien, vgl. Bild 2.2, /34, 8/:

1. Übermittlungsdienste, die nur Übertragungswege für beliebige Informationen bereitstellen, wobei die Verantwortung des Netzbetreibers am Netzzugangspunkt endet. Die Endgeräte unterliegen dem Benutzer, der auch alle Absprachen über Protokolle selbst zu treffen hat.



**Bild 2.2a:** Übermittlungsdienst

2. Standarddienste, für die direkte Benutzer-Benutzer-Kommunikation, bei denen die Kommunikationsteile der Endsysteme der Netzverantwortung unterliegen und eine standardisierte Kommunikation mit allen Teilnehmern möglich ist.



**Bild 2.2b:** Standarddienst

3. Höhere Dienste (Mehrwertdienste, engl. value added services), die zusätzlich zu den Standarddiensten angeboten werden und Speicherfunktionen sowie Be- und Verarbeitungsfunktionen innerhalb eines Netzes anbieten. Dazu gehören auch spezielle Protokollumsetzer, die den Übergang in andere, meist ähnliche Dienste sowohl innerhalb des gleichen Netzes wie auch in andere Netze ermöglichen.

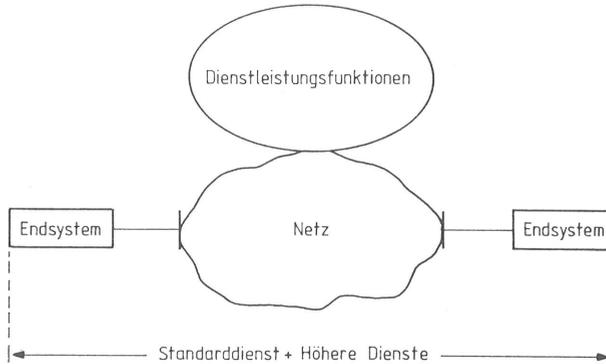


Bild 2.2c: Höhere Dienste

## 2.2 TELEKOMMUNIKATIONSDIENSTE

### 2.2.1 Entwicklung der Dienste

Die Entwicklung der Telekommunikationsdienste ging von den beiden klassischen Entwicklungen, dem Telegraphen (1847) und dem Telefon (1876) aus. Nach 1930 wurden dann der Telexdienst mit einem eigenen Telexnetz und der Faksimiledienst eingeführt. 1965 kamen die ersten Datenübertragungsdienste (Datel) - wiederum in eigenen Netzen - hinzu. Parallel dazu wurde auch der Telefondienst ständig weiterentwickelt. Im Laufe der Entwicklung der Sprachkommunikation wurden zum Grunddienst der Sprachverbindung (auch plain ordinary telephone service, POTS genannt) zusätzliche ergänzende Dienste angeboten, die hauptsächlich den Benutzern einen höheren Komfort bei der Kommunikation bieten sollen. Es soll z.B. der Aufbau der Verbindungen erleichtert oder der störende Einfluß von Besetztfällen verringert werden.

Der weitergehende Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung sowie gestiegene Kommunikationsbedürfnisse führten dann zu einer steigenden Dienstvielfalt, die als Konsequenz auch der inzwischen eingeführten digitalen Übertragungs- und Vermittlungs-

1847	1877	1930	1970	1980	1990 ?
	Telefon	Telefon	Telefon Autotelefon	Telefon Autotelefon Funkruf	Telefon Autotelefon Funkruf Mobiltelefon
Telegraph	Telegraph	Telegraph Telex	Telegraph Telex	Telegraph Telex Teletex Telefax	Telegraph Telex Teletex Telefax Textfax Farbfax Schnellfax Telezeitung Mail-Dienste
		Faksimile	Faksimile		Bildschirmtext Telemetrie Datel Datex BB-DÜ KTV Videotext
					Bildschirmtext Telemetrie Datel Datex-L Datex-P BB-DÜ Satelliten-DÜ KTV Videotext Bildfernsprechen Bildkonferenz

**Tabelle 2.1:** Entwicklung der Kommunikationsdienste (aus /34/)

technik, zu der Integration eines großen Teils aller Fernmelde-  
dienste in einem (diensteintegrierenden) Netz, dem ISDN  
(Integrated Services Digital Network) führt. Diese Tendenz ist  
international und wurde 1984 durch umfangreiche Normen des  
CCITT<sup>(1)</sup> (Empfehlungen der I-Serie, /16/) manifestiert. Diese  
Empfehlungen bilden den Ausgangspunkt für zahlreiche Implemen-  
tierungen eines ISDNs, das neben den bestehenden Diensten  
problemlos auch noch zukünftige Dienste für die Benutzer bereit-  
stellen soll.

Tabelle 2.1 nach /34/ zeigt deutlich die Entwicklung der  
unterschiedlichen Kommunikationsformen.

(1) CCITT : Comité Consultatif International Télégraphique et  
Téléphonique

## 2.2.2 Klassifizierung der Dienste

Eine Klassifizierung der Dienste kann erfolgen nach:  
(aus /9/)

1. Nachrichtenfluß
  - o Einwegkommunikation
    - Verteilen
    - Sammeln
    - Übermitteln
  - o Zweiwegkommunikation
    - Abfragen
    - Dialog
    - Konferenz
2. Nachrichtenart
  - Sprache
  - Text
  - Daten
  - Festbild
  - Bewegtbild
3. Teilnehmerbeziehung
  - gleichbleibend
  - wechselnd
4. Entfernungsbereich
  - lokal
  - regional
  - national
  - international

Diese Kommunikationsbeziehungen sind anwendbar auf fast alle Kommunikationsformen. Daraus entsteht eine Vielzahl von einzelnen Diensten, die z.B. im einem digitalen Fernmeldenetz angeboten werden könnten, siehe Tabelle 2.2 nach /8, 9/. Darüber hinaus gibt es weitere Verteil- bzw. Funkdienste, die nicht auf vermittelnden Netzen basieren und in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet werden sollen, wie z.B.: Hörfunk, Fernsehen, Videotext, Mobilfunksysteme und andere mehr.

Übermittlungsdienste	Standarddienste	Höhere Dienste
Datenübermittlung	Fernsprechen	Bildschirmtext
• leitungsvermittelt	Fernsprechkonferenz	Voice Mail
• paketvermittelt	Telex	Text Mail
	Teletex	Fax Mail
	Rundschreiben	Protokoll-Konverter
	Telefax	Fernwirken
	Textfax	Fernüberwachung
	Fernzeichen	
	Festbildübermittlung	
	Fernkopieren	
	Video-Einzelbild	

**Tabelle 2.2:** Mögliche Dienste in digitalen Fernmeldenetzen

### 2.2.3 Beschreibung der Dienste

Die Beschreibung der Dienste kann erfolgen mit Merkmalen (Attributen), welche die Eigenschaften eines Dienstes genauer kennzeichnen. Diese Merkmale wurden erstmals vom CCITT im Zusammenhang mit den ISDN-Empfehlungen genormt und geben einen guten Ausgangspunkt für weitergehende Betrachtungen (Empfehlungen I.210, I.212, I.212, /16/).

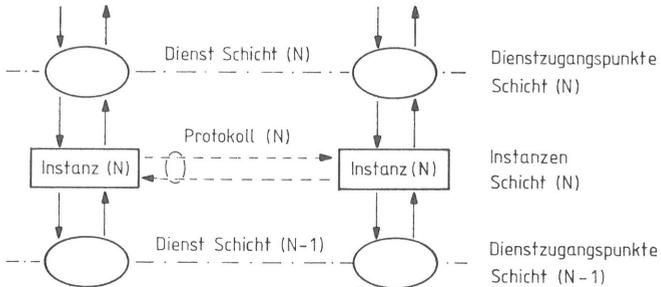
Diese Dienstmerkmale lassen sich gliedern in: (siehe auch /8/)

- Dienstmerkmale für den Betreiber eines Dienstes (verwaltungsbezogen, kommerziell) und
- Dienstmerkmale für den Benutzer eines Dienstes (teilnehmerbezogen, technisch).

Weiterhin sind die Dienstmerkmale in

- Basisdienstmerkmale, die ein Dienst mindestens umfassen muß, und
- Zusatzdienstmerkmale, welche die Güte des Dienstes verbessern und die Grundcharakteristika ergänzen können, aufzuteilen.

Ein Dienst, beschrieben durch seine Attribute, kann nun wiederum Bestandteil eines (funktional höheren) Dienstes sein, der die darunter liegenden Dienste mitbenutzt. Diese Schichtung ist bekannt von der Paketvermittlungstechnik und dem Protokoll-Schichten-Modell (ISO-Open System Interconnection), in dem die Bedeutung des Begriffes "Dienst" folgendermaßen eingeführt worden ist, vgl. Bild 2.3.



**Bild 2.3:** Funktionsmodell

Die Instanzen einer bestimmten Schicht (N) erbringen durch die Kommunikation nach ihrer Prozedurvorschrift einen bestimmten Dienst für die darüberliegende Schicht (N+1), der durch Dienstprimitive über Dienstzugangspunkte der Schicht (N) angefordert wird /57, 38, 34, 12, 49/. Die Instanzen der Schicht (N) benutzen ihrerseits wiederum den Dienst der Schicht (N-1). Die Attribute des Dienstes sind entweder Teil der Prozedurvorschrift oder sie werden mit den Dienstprimitiven als Parameter mitgeführt. Im ISO-Modell kann ein solcher Dienst sein:

- die Übertragung binärer Information (Schicht 1)
- die abschnittsweise Sicherung und Flußkontrolle (Schicht 2)
- die Vermittlung von Nachrichten innerhalb eines Netzes (Schicht 3)
- eine netzweite Transportverbindung (Schicht 4)
- die Steuerung der Kommunikation (Schicht 5)

- die Geräteanpassung (Schicht 6)
- die anwendungsunterstützenden Funktionen (Schicht 7).

Zum Austausch der Informationen werden von einer Schicht (N) Dienst-Dateneinheiten (SDU, Service Data Units) der Instanz (N-1) übergeben, die daraus durch Hinzunahme des Steuerkopfes (PCI, Protocol Control Information) Protokoll-Dateneinheiten (PDU, Protocol Data Units) generiert. Je nach Anwendungsfall können mehrere SDU in einer PDU zusammengefasst werden, oder es kann ebenso eine SDU in mehrere PDUs zerteilt werden; so sind stets Anpassungen an optimale Blocklängen innerhalb der einzelnen Schichten möglich.

### 2.3 VERMITTLUNGSVERFAHREN

Nachdem der Begriff "Dienst" nun umrissen ist, sollen die unterschiedlichen Vermittlungsverfahren, die, insbesondere im Hinblick auf die Anforderungen und Möglichkeiten neuer Dienste entwickelt worden sind, näher erläutert werden. Das breite Spektrum an geforderter Übertragungskapazität für die typischen Dienstekategorien ist in Bild 2.4 nach /53/ gezeigt.

Die hierin angesprochene übliche Datenrate geht von einem ungehinderten Datentransfer ohne Verzögerungen aus und von weitergehenden Entwicklungen in der Codierung und Signalverarbeitung, z.B. für Sprache und Video. Die Büschelförmigkeit (engl. burstiness) eines Dienstes ist hierbei definiert als:

$$\text{Burstiness} = \frac{\text{BB}(\text{max})}{\text{BB}(\text{mean})} \quad (2.1)$$

mit: BB(max) = Maximale Bandbreite, die ein Dienst benötigt  
BB(mean) = Mittlere Bandbreite, die über längere Zeit benötigt wird.

Aus diesem Verkehrsverhalten wird klar ersichtlich, daß die unterschiedlichen Anforderungen an die Übertragungskapazität auch stark divergierende Anforderungen an das Vermittlungsverfahren stellen, insbesondere, wenn mehrere Dienste innerhalb eines Netzes zusammengefasst werden sollen. Bild 2.5 gibt hierfür einen ersten Überblick, der den Aufwand für die programme-

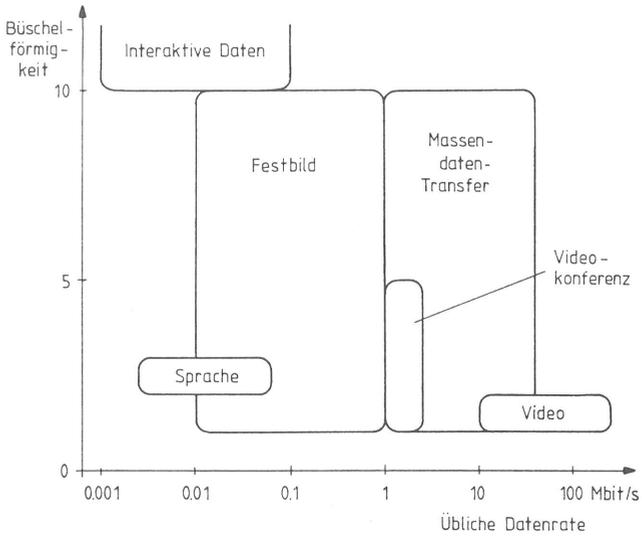


Bild 2.4: Charakteristika des Datenaufkommens typischer Dienste

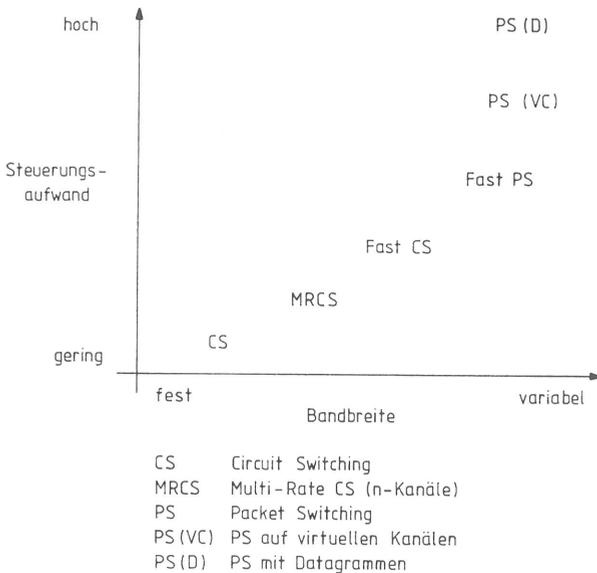


Bild 2.5: Steuerungsaufwand unterschiedlicher Vermittlungsverfahren

gesteuerte Vermittlung den Möglichkeiten einer variablen Nutzung der Bandbreite gegenüberstellt. Die einzelnen Verfahren (vgl. /53/) werden im folgenden näher erläutert.

### 2.3.1 Durchschaltevermittlung

Der Begriff der Durchschaltevermittlung (CS) wurde bereits im Kapitel 2.1.2 definiert. Anforderungen an die Steuerung erfolgen hier - normalerweise - nur beim Verbindungsauf- und -abbau, eventuell auch während der Verbindung beim Benutzen zusätzlicher Dienstmerkmale. Die Bandbreite ist im ganzen System einheitlich (z.B. 64 kbit/s beim digitalen Fernsprechnet) und steht während der Verbindung den Teilnehmern exklusiv zur Verfügung, unabhängig von der tatsächlichen Nutzung. Verschiedene Dienste unterschiedlicher Bandbreiten können mit einem reinen CS-Netz nicht optimal integriert werden.

### 2.3.2 Mehrkanal-Durchschaltevermittlung

Die Mehrkanal-Durchschaltevermittlung (Multi-Rate-CS, MRCS) ist der einfachste Weg, um in einem reinem CS-Netz eine Anpassung der Bandbreite an die unterschiedlichen Anforderungen der Dienste zu erzielen. Hier können ganzzahlige Vielfache der (im Netz einheitlichen) Bandbreite eines CS-Kanals einer Verbindung zugeordnet werden. Dieses Verfahren erfordert allerdings von den Vermittlungsstellen, daß alle Kanäle einer Verbindung mit dem gleichen Zeitversatz durchgeschaltet werden, damit die Reihenfolge der Information erhalten bleibt.

Die Probleme beim MRCS-Verfahren:

1. Die Wahl der Bandbreite eines Grundkanals; eine schlechte Ausnutzung der Bandbreite steht dem erhöhten Aufwand der Verkettung sehr vieler Kanäle gegenüber, sobald Dienste mit großen Geschwindigkeitsunterschieden im gleichen Netz zusammengefasst werden sollen.

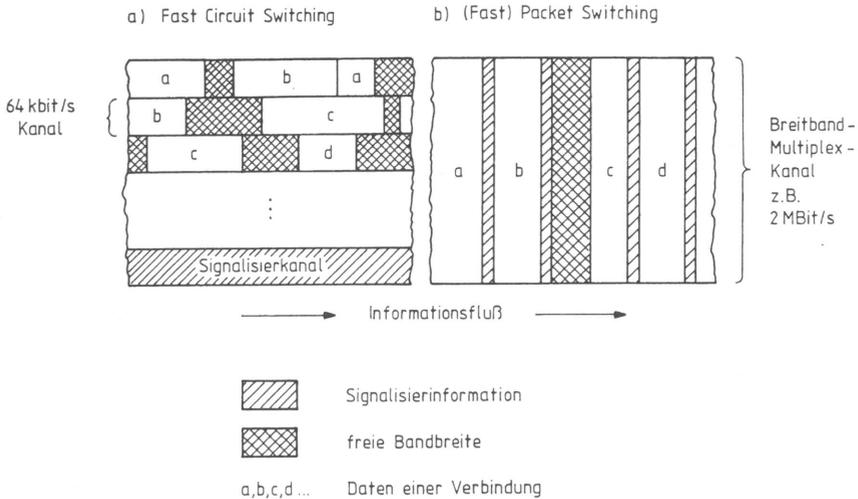
2. Der höhere Aufwand zur Synchronisation und Anpassung eventuell großer Pulsrahmen an eine einzelne Verbindung mit den daraus entstehenden längeren Wartezeiten.
3. Die Reihenfolge der Information muß erhalten bleiben.
4. Auch bei diesem Verfahren ist einer Verbindung exklusiv die Bandbreite zugeordnet; während stromförmige Massendaten unterschiedlicher Bandbreiten mit MRCS sehr gut übermittelt werden können, treten die Nachteile der Durchschaltevermittlung bei büschelförmigem Verkehr sofort wieder auf.

### 2.3.3 Fast Circuit Switching

Beim Fast Circuit Switching (Fast CS) wird die exklusive Nutzung eines Kanals aufgegeben. Die Zuteilung eines Kanals zu einer Verbindung erfolgt nur, wenn auch Information übertragen wird. Detektoren am Zugang eines Fast CS Systems erkennen die Übertragung von Nutzinformation und veranlassen die Zuteilung eines freien Kanals. Über einen schnellen Signalisierkanal wird der Gegenstelle die augenblickliche Zuordnung mitgeteilt, siehe Bild 2.6 links. Das Verfahren ist schon seit 1962 auf (analogen) Transatlantik-Strecken als TASI (Time Assignment Speech Interpolation) bekannt /29, 34/. 1983 wurde dieses Verfahren auf Netze ausgedehnt und unter dem Namen "Burst Switching" in /3/ publiziert. Für die Anwendung in Netzen wird vorgeschlagen, daß alle Vermittlungsstellen die Informationen über die Wegeführung einer Verbindung erhalten und somit ein virtueller Kanal (vgl. 2.3.4) jeder aufgebauten Verbindung zugeordnet bleibt. Dies ermöglicht, die Zeit zwischen dem Erkennen der Informationsübertragung und dem Zuordnen einer Verbindung zu einem Kanal gering zu halten. Bild 2.6 stellt Fast CS und (Fast) PS gegenüber.

Die Probleme beim Fast CS Verfahren:

1. Einer Verbindung kann kein Kanal garantiert werden; Fast CS ist nur dann von Vorteil, wenn ein Multiplexkanal mit  $n$  Grundkanälen auch mit  $m$  Verbindungen ( $m$  größer  $n$ ) betrieben wird. Da aber die ankommenden Informationen



**Bild 2.6:** Aufteilung der Kanalkapazität bei Fast Circuit Switching / Fast Packet Switching (aus /53/)

- normalerweise einem stochastischen Prozeß entstammen, können gleichzeitig mehr als  $n$  Verbindungen aktiv sein. Die Zuteilung zu einem Kanal ist dann unmöglich, und die Information muß entweder warten oder sie wird verworfen. Ein Hauptvorteil der Durchschaltevermittlung, die einer Verbindung garantierte Bandbreite, geht verloren.
2. Die Vermittlungseinrichtungen eines Fast CS Systems müssen sehr leistungsfähig sein. Nach dem Eintreffen neuer Information am Zugang eines Fast CS Systems muß sehr schnell dieser Verbindung auch ein freier Kanal zugeordnet werden, da sonst diese Information, wie oben, warten muß oder verworfen wird. Dies erfordert sehr schnelle Signalisierkanäle und minimale Bearbeitungszeiten.
  3. Informationsverlust im Hochlastfall; wie oben ausgeführt, können in einem stark belasteten Fast CS System Informationen verloren gehen. Dies ist bei einem Netz zur Sprachübertragung sicher tolerierbar, da die Verständlichkeit auch bei 10 bis 20% Informationsverlust kaum merklich nachlässt (analoge Übertragung oder PCM

mit 64 kbit/s); in einem Netz mit Datendiensten bringt ein solches Verhalten aber sicher Mehraufwendungen in den Endsystemen mit sich. Durch Wiederholungen im Hochlastfall entsteht außerdem ein zusätzlicher Verkehr, der in den Vermittlungsstellen Überlastabwehrmechanismen erforderlich macht.

#### 2.3.4 Paketvermittlung

Die Paketvermittlung (PS) wurde im Kapitel 2.1.2 als ein Verfahren der Teilstreckenvermittlung eingeführt, bei dem die übertragenen Nachrichten nur eine bestimmte Länge erreichen dürfen, bzw. in Teile (Pakete) dieser Länge zerteilt werden. Gegenüber der Sendungsvermittlung (Message Switching) bringt diese Einschränkung jedoch zahlreiche Vorteile, so daß, besonders für die Rechnerkommunikation, heute überwiegend PS-Netze eingesetzt werden.

Basis der Paketvermittlungstechnik ist das ISO-OSI-Model (/38, 12/) mit den darin definierten Diensten. Innerhalb eines öffentlichen PS-Netzes sind üblicherweise nur die Funktionen der Schichten 1 bis 3 enthalten (vgl. z.B. CCITT Empfehlung X.25 in /13/). Grundlegende Unterschiede zur Durchschaltevermittlung sind: (vgl. auch /57, 82/)

- Die Information zur Identifikation des Paketes sowie zur Wegeauswahl wird im Paketkopf mitgeführt.
- Die Verbindungsleitungen werden im Nachrichtenmultiplex betrieben. Nachrichten (Pakete) warten in einer Vermittlungsstelle bis die abgehende Leitung frei ist und werden dann mit der vollen Bandbreite übertragen.
- Die einzelnen Abschnitte des Netzes werden überwacht und gesichert, Übertragungsfehler können praktisch ausgeschlossen werden.
- Mechanismen zur Datenflußsteuerung erlauben die Kommunikation unterschiedlich schneller Endsysteme und vermeiden den Verlust von Paketen bei auftretenden Wartezeiten.

- Auf einer (physikalischen) Anschlußleitung können sehr viele Kommunikationsbeziehungen gleichzeitig unterhalten werden.
- Die Einrichtungen des Netzes werden (fast) nur für die eigentliche Übermittlung der Information benötigt und können gut ausgelastet werden, da die daraus entstehenden Wartezeiten durch die Protokollmechanismen keine Störungen (Datenverlust) verursachen können.

Die Paketvermittlungstechnik unterscheidet zwei grundsätzliche Arten der Kommunikation (Verbindungstypen):

1. Verbindungslose Kommunikation (Datagrammbetrieb).

Alle Pakete enthalten die vollständigen Adressinformationen (Ziel, Herkunft, evtl. durchlaufene Knoten...) und werden unabhängig voneinander durch das PS-Netz geschleust. Flußkontrolle oder die Sicherung der Reihenfolge müssen von den Endsystemen vorgenommen werden.

2. Verbindungsorientierte Kommunikation (Virtuelle Verbindung).

Der Übertragung der Nutzinformation muß hierbei eine Verbindungsaufbauprozedur vorausgehen. Ähnlich einer Durchschalteverbindung wird mit einem Verbindungsaufbaupaket ein Weg durch das PS-Netz festgelegt; es wird eine virtuelle Verbindung aufgebaut. Dazu wird ein Multiplexkanal in viele, nur durch Adressen unterschiedene, logische Kanäle unterteilt, die dann in den Vermittlungsstellen beim Verbindungsaufbau zu virtuellen Verbindungen verknüpft werden. Pakete mit Nutzinformation enthalten dann nur noch die logische Kanalnummer, die beim Vermitteln entsprechend der virtuellen Verbindung umgesetzt wird. Die Vorteile hierbei sind:

- Flußkontrolle und Sicherung der Reihenfolge durch das Netz für jede virtuelle Verbindung.

- Verkehrslenkung (Routing) nur beim Verbindungsaufbau, die Vermittlung der folgenden Pakete (Switching) erfordert nur noch wenig Steuerungsaufwand.

Im Zusammenhang mit LANs werden diese Kommunikationsformen auch mit LLC (Logical Link Control) Typen<sup>(2)</sup> bezeichnet /43/. Dabei wird unterschieden:

1. LLC Type 1 : Connectionless Service = Datagramm ohne Quittungen
2. LLC Type 2 : Connectionoriented Service = Virtuelle Verbindung
3. LLC Type 3 : Single Frame Service = Datagramm mit individueller Quittung

Die Probleme bei der Paketvermittlung:

1. Die Wartezeiten in den einzelnen Vermittlungsknoten sind lastabhängig und können stark schwanken. Dies verbietet die Anwendung bei zeitkritischen (Realzeit-) Anwendungen.
2. Die Implementierungen aller Protokollfunktionen erfordern leistungsfähige Systeme. Trotzdem können selbst modernste, hochmodulare Paketvermittlungsstellen (für Netze nach Empfehlung X.25) maximal 50 000 Pakete/s verarbeiten /41/. Damit könnte kein Netz aufgebaut werden, das z.B. den Verkehr des Fernsprechdienstes übernehmen kann.

---

(2) Virtuelle Verbindung und Datagramm sind in öffentlichen PS-Netzen (z.B. nach Empfehlung X.25) als Dienste der Netzwerkschicht definiert; da für LANs das Schichtenmodell modifiziert wurde, sind die drei LLC-Dienste auf Schicht 2b definiert.

### 2.3.5 Fast Packet Switching

Die Nachteile der Paketvermittlung, die durch die umfangreichen Protokollmechanismen entstehen, versucht das Verfahren des Fast PS /53/ zu vermeiden. Da viele Protokollelemente in mehreren Schichten enthalten sind (z.B. Flußsteuerung in Schicht 2, 3 und 4 sowie evtl. in 7), werden beim Fast PS innerhalb des Netzes nur sehr wenige und einfache Funktionen ausgeführt, z.B. keine Fehlererkennung, keine Sicherung der Reihenfolge, nur virtuelle Verbindungen. Diese Funktionen müssen dafür von den Endsystemen wahrgenommen werden, sofern sie überhaupt für den entsprechenden Dienst benötigt werden. Diese einfachere Vermittlungstechnik erlaubt auch den Einsatz schneller Hardware in den Vermittlungsstellen, was wiederum zu sehr leistungsfähigen Knoten führt. Interessant sind hierbei die Pläne von AT&T, die ein Patent erworben haben für sogenannte "self-routing switching fabric", ein Vermittlungssystem aus eigenständigen Elementen, die aufgrund der Paketköpfe die Wegeauswahl vollständig durchführen können und keine zentrale CPU benötigen /39, 63, 81/. Damit können auch Dienste mit einem hohen Verkehrsaufkommen in einem Fast PS Netz vermittelt werden. Diese Überlegungen münden in Plänen, neben dem Fernsprechen auch Videoübertragung und andere Hochgeschwindigkeitsdienste in Fast PS Netzen zu integrieren.

Weiterhin ermöglicht Fast PS die Integration von Übertragungs- und Vermittlungstechnik, da auch Hochgeschwindigkeitsleitungen direkt an eine Vermittlungsstelle angeschlossen werden können. Alle CS-Verfahren erlauben dagegen nur den Anschluß von Multiplexleitungen der unteren PCM-Hierarchiestufe (z.B. 2,048 Mbit/s), d.h. schnellere Leitungen müssen vor und nach der Vermittlungsstelle demultiplexiert, bzw. multiplexiert werden, was einen erheblichen Implementierungsaufwand erfordern kann.

## 2.4 NACHRICHTENNETZE

Die Realisierung der Dienste erfordert Nachrichtennetze, die entsprechende Übertragungs- und Vermittlungsfunktionen enthalten. Zuerst sollen die öffentlichen Netze mit den jeweils angebotenen Diensten kurz dargestellt werden. Im Gegensatz dazu stehen die Entwicklungen im privaten, innerbetrieblichen Bereich, der im Anschluß daran präsentiert wird. Da hier andere Randbedingungen herrschen und andere Anforderungen Umfang und Art der Dienste bestimmen, kann gerade in diesem Bereich frühzeitig der Einsatz neuer Techniken erfolgen.

### 2.4.1 Öffentliche Netze

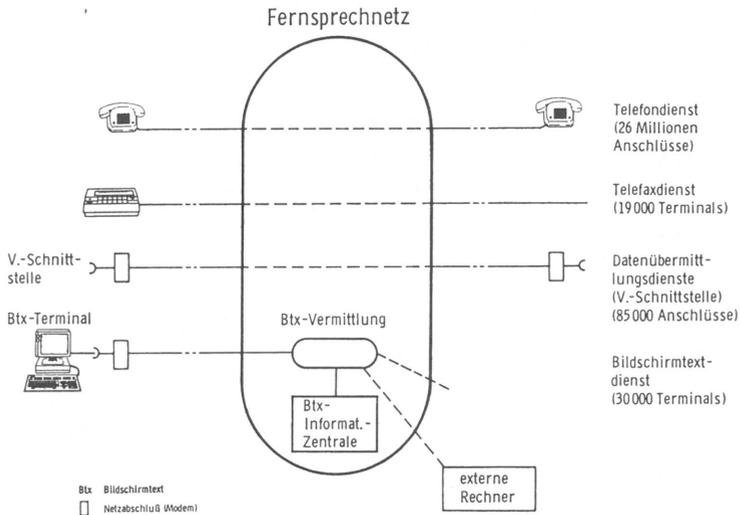
Öffentliche Netze, deren Dienste jeder in Anspruch nehmen kann, bestehen i.A. aus Orts- und Weitverkehrsnetzen, vgl. Kap. 2.1.1. Ein wichtiger Punkt bei der Beurteilung der Weitverkehrsnetze sind die Übertragungsleitungen, deren Bandbreite aus ökonomischen Gründen gut ausgelastet werden muß. Außerdem sind diese Verbindungen oftmals starken Störeinflüssen ausgesetzt, so daß, je nach Dienst, zum Teil Maßnahmen zur Absicherung der Information notwendig werden.

#### 2.4.1.1 Fernsprechnet

Das Fernsprechnet ist mit ca. 26 Millionen Hauptanschlüssen das mit Abstand größte Netz im Bereich der Deutschen Bundespost. Diese Größe erfordert eine Untergliederung in 4 Hierarchiestufen (Zentral-, Haupt-, Knoten- und Ortsvermittlungsstellen / ZVSt, HVSt, KVSt, OVSt). Die Topologie des Fernsprechnetes baut auf Sternformen auf und konzentriert so den Verkehr in Richtung zu den acht ZVStn, die vollständig vermascht sind. Für ein ausreichend hohes Verkehrsaufkommen wurden auch direkte Verbindungen zwischen Vermittlungsstellen, sogenannte Querwege, eingerichtet, die sich nicht an den Hierarchieebenen orientieren (Stern-Maschennetz) und eine effiziente Verkehrsführung ermöglichen.

Grundlage des Fernsprechens ist die Durchschaltevermittlung, früher durch die mechanisch-elektrische Verbindung der beteiligten Leitungen. Die Basis aller Dienste im Fernsprechnetzt ist daher ein handbegrenzter, analoger Kanal im Frequenzbereich von 300 Hz bis 3,4 kHz. Neben den Fernsprechdiensten werden auch Dienste zur Datenübertragung angeboten, die jedoch Modems als Adaptoren benötigen. Im Fernsprechnetzt mit analogen Teilnehmeranschlüssen werden neben zahlreichen Fernsprechdiensten außerdem noch angeboten:

- Datenübertragung mit Modems bis 4,8 kbit/s (maximal 9,6 kbit/s)
- Bildschirmtext
- Telefax Gruppe 2/3



**Bild 2.7:** Dienste im Fernsprechnetzt der Deutschen Bundespost (aus /33/)

Bild 2.7 aus /33/ zeigt die Dienste im heutigen Fernsprechnetzt.

Der Nutzung des (heutigen) Fernsprechnetzes für weitere Datendienste stehen im wesentlichen die folgenden Gründe entgegen:

- die sehr begrenzte Datenübertragungsrate mit maximal 4,8 kbit/s (9,6 kbit/s),
- die hohe Bitfehlerwahrscheinlichkeit von ca.  $2 \cdot 10^{-4}$ , die bei gewissen Verbindungen auftreten kann,
- die Verbindungsaufbauzeiten von 5 bis 15 sec, je nach Wählverfahren.

Dagegen sprechen für eine Nutzung des Fernsprechnetzes für weitere Dienste:

- die sehr weit ausgedehnte Infrastruktur, insbesondere das weitverzweigte Teilnehmer-Anschlußnetz, das fast jeden Haushalt erreicht,
- die günstigen Tarife, die sich an der Sprachkommunikation orientieren und durch die Masse des Fernsprechverkehrs erst möglich werden.

Diese Vorteile des Fernsprechnetzes sowie die Einführung der digitalen Übertragungs- und Vermittlungstechnik, die volldigitale 64 kbit/s-Kanäle zwischen den Teilnehmern ermöglicht und damit die oben genannten Nachteile weitgehend entkräftet, sind der Ausgangspunkt für den Einstieg in das ISDN. Diese Entwicklung wird im Abschnitt 2.6 dargelegt.

#### 2.4.1.2 Integriertes Text- und Datennetz

##### 2.4.1.2.1 Leitungsvermitteltes Text- und Datenwählnetz

Mitte der siebziger Jahre fasste die Bundespost die existierenden Text- und Datennetze zum "Integrierten Text- und Datennetz (IDN<sup>(3)</sup>)" zusammen. Basis ist das "Elektronische Datenvermittlungssystem EDS", das im Adreß-Code-Multiplex arbeitet, geschwindigkeitstransparente Leitungsvermittlung unterstützt und Endgeräte der Benutzerklassen 1 und 2 (asynchron) sowie 4,5,6 und 30 (synchron) nach CCITT Empfehlung X.1 (/14/) bedienen kann. Das IDN besteht aus zwei Netzebenen, dem sternförmigen Anschluß-

(3) International steht IDN für "Integrated Digital Network" unter dem auch das volldigitale Fernsprechnetzt verstanden wird.

netz und dem darüberliegenden, maschenförmigen Verbindungsnetz. Integriert wurden:

- das Telexnetz für den Fernschreibdienst,
- das Datex-L-Netz für leitungsvermittelte Daten allgemeiner Art, darin ist aber auch z.B. der Teletex-Dienst enthalten,
- das Gentex-Netz für die Übermittlung von Telegrammen (Postintern) sowie
- das Direktrufnetz, das festgeschaltete Verbindungen innerhalb des IDN umfasst.

#### 2.4.1.2.2 Paketvermittlungsnetz

1980 wurde als neuer Teil des IDNs das öffentliche Paketvermittlungsnetz (Datex-P) in Betrieb genommen. Es bietet Schnittstellen nach Empfehlung X.25 (für paketerorientierte Endsysteme) sowie nach X.28 / X.29 (für zeichenorientierte Endsysteme mittels einer Anpassungsfunktion PAD, Paket Assembly / Disassembly) an (/13/). Darüber hinaus bestehen Übergangsmöglichkeiten von den leitungsvermittelten Netzen, ebenfalls über PAD-Funktionen. In der ersten Ausbaustufe mit SL-10 Vermittlungsstellen ist das Netz maschenförmig mit nur einer Hierarchieebene. Der weitergehende Ausbau ist aber momentan Gegenstand intensiver Bemühungen.

#### 2.4.1.2.3 Direktrufnetz

Auf gemieteten, festgeschalteten Verbindungen des Direktrufnetzes haben viele Firmen eigene (private) Datennetze aufgebaut, so z.B. Banken, Reisebüros, Rechnerhersteller, u.a.m. Die Gebühren für die Leitungen eines solchen Netzes sind zwar sehr hoch, jedoch erlauben private Netze den Einsatz eigener Protokolle, die mit international genormten Protokollen nicht kompatibel sind. Die Benutzer eines privaten Netzes können nicht direkt von Datenendgeräten anderer Netze erreicht werden, doch bietet dieser geschlossene Benutzerkreis auch den besten Schutz

vor unberechtigten Zugriffen. Das Direktrufnetz entstand hauptsächlich aus Anforderungen, die von verfügbaren, öffentlichen Netzen nicht befriedigend erbracht werden konnten. Im ISDN z.B. sind aber Eigenschaften und Dienste vorgesehen, die private Netze, aufgebaut aus Leitungen des Direktrufnetzes, längerfristig ersetzen können. Bild 2.8 aus /33/ gibt einen Überblick der bestehenden Dienste im IDN der Bundespost.

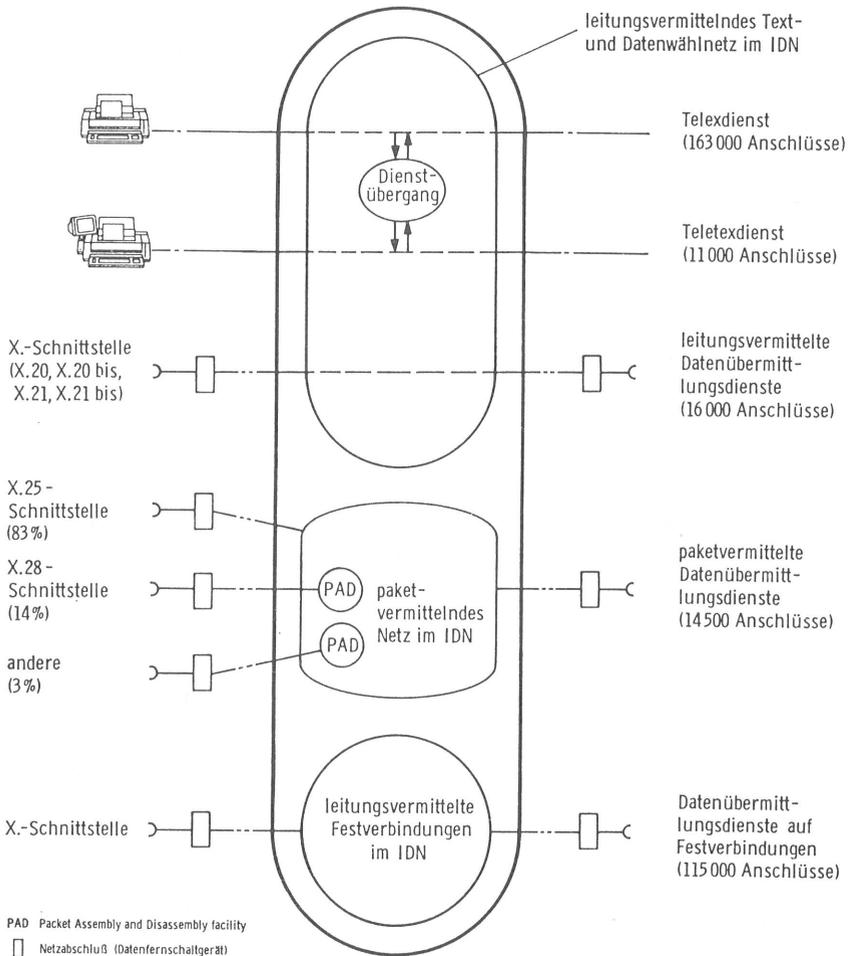


Bild 2.8: Dienste im IDN der Deutschen Bundespost (aus /33/)

## 2.4.2 Innerbetriebliche Netze

### 2.4.2.1 Nebenstellenanlagen

Nebenstellenanlagen (PBXes) bilden üblicherweise das Rückgrat der innerbetrieblichen Kommunikation und sind fast in jeder Organisation anzutreffen. Sie sind für die Sprachkommunikation entwickelt worden und arbeiten fast ausnahmslos nach dem Prinzip der Durchschaltevermittlung. Als Topologie herrscht die Sternform vor, jedoch können bei größeren Nebenstellenanlagen mehrere Vermittlungsstellen miteinander vermascht sein, so daß Strukturen wie in öffentlichen Fernsprechnetzen entstehen können. Lediglich bei sehr kleinen Nebenstellenanlagen mit nur wenigen Teilnehmern werden auch Reihenanlagen mit direktverbundenen Endstellen und verteilter Vermittlung eingesetzt.

Die Sprachkommunikation wird mit einer Vielzahl von zusätzlichen Leistungsmerkmalen wirksam unterstützt, die durch die speziellen Gegebenheiten innerhalb einer Organisationsform möglich werden, wie z.B.: Anrufumleitung, Rufweiterschaltung, Makeln, Aufschalten, Wahlwiederholung. Der Einsatz der digitalen Übertragungs- und Vermittlungstechnik in neueren Entwicklungen, parallel zu der öffentlichen Technik, erlaubt zusätzlich die Integration der leitungsvermittelten Datendienste mit Datenraten bis zu 64 kbit/s. Mit der Einführung des ISDNs im öffentlichen Netz werden ISDN-Nebenstellenanlagen angeboten, die zusätzlich auch höhere Dienste mit Servern innerhalb der Nebenstellenanlage sowie im begrenzten Umfang auch paketvermittelte Dienste als integrierten Bestandteil mit anbieten /79, 8, 76/. Unter dem Gesichtspunkt der Dienstintegration wird auf diese Zusammenhänge erneut eingegangen.

Die Datenkommunikation mit Rechnern kann von digitalen Nebenstellenanlagen auf der Basis durchschaltevermittelter Dienste mit abgewickelt werden. Bild 2.9 zeigt beispielhaft den Anschluß eines Rechners sowie eines externen Servermoduls an eine Nebenstellenanlage, jeweils mittels mehrerer CS-Kanäle. (Nebenstellenanlage für Host-/Server-Zugang). Die Nachteile dieser Lösung sind:

- die Datenrate eines Rechneranschlusses ist maximal 64 kbit/s;
- eine Verbindung belegt eine Leitung, unabhängig von der Nutzung;
- der Anschluß erfolgt Port-bezogen, es ist kein Nachrichtenmultiplex beim Rechner möglich;
- durch die endliche Zahl der Anschlüsse sind Blockierungen möglich, obwohl der Verkehr gering sein kann.

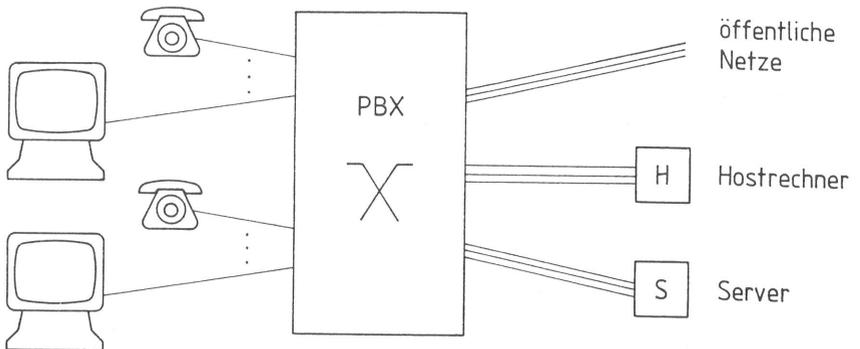


Bild 2.9: Datenkommunikation über eine Nebenstellenanlage (PBX)

#### 2.4.2.2 Lokale Netze

Local Area Networks (LANs) sind aus der Notwendigkeit eines schnellen Datenaustausches zwischen den Komponenten und Endsystemen von Rechnern entwickelt worden. Als bevorzugte Einsatzgebiete haben sich in letzter Zeit entwickelt:

- die unmittelbare Rechnerumgebung, zur Kopplung (auch kleiner) Rechner untereinander und mit speziellen Systemteilen, wie graphische Ein-/Ausgabe, Hintergrundspeicher, Großrechner;

- die Büroumgebung, zur Kommunikation zwischen Arbeitsplatzrechnern, z.B. bei verteilter Dokumentenerstellung, elektronischer Post, Zugriff auf gemeinsame Datenbestände,
- die Fertigungsumgebung, für direkte Verbindungen der einzelnen Fertigungseinheiten miteinander und mit den zugeordneten Leitrechnern; weitergehende Planungen verbinden den Fertigungsbereich mit der Arbeitsvorbereitung (Computer Integrated Manufacturing, CIM).

Üblicherweise arbeiten LANs paketvermittelt mit Datenraten zwischen 1 und einigen 10 Mbit/s, beim Einsatz optischer Übertragungstrecken bis zu 100 Mbit/s. Der Zugriff der Stationen auf das gemeinsame Medium wird durch ein geeignetes Verfahren geregelt, wobei zwei prinzipielle Verfahren unterschieden werden:

#### 1. Konkurrenzverfahren.

Eine sendewillige Station belegt sofort den freien Kanal und beginnt mit der Übertragung. Bei Kollisionen mit anderen Stationen müssen durch ein geeignetes deterministisches oder probabilistisches Verfahren (sog. Backoff-Algorithmen) die Zugriffe zeitlich verlagert werden. Meistens werden diese Verfahren auf linienförmigen Medien eingesetzt. Bekannt sind hauptsächlich die folgenden Verfahren:

- ALOHA, beliebiger Zugriff auf den Kanal, keine Kollisionserkennung,
- Carrier Sense Multiple Access (CSMA), Zugriff nur auf freien Kanal,
- CSMA / Collision Detection, (CSMA/CD), Zugriff nur auf freien Kanal mit schneller Erkennung einer Kollision. Danach wird die Sendeberechtigung zufällig vergeben.
- Hyperchannel, entspricht dem CSMA/CD, jedoch geschieht die Auflösung von Kollisionen nach fest vorgegebenen Prioritäten.

## 2. Reservierungsverfahren.

Diese arbeiten prinzipiell kollisionsfrei und werden primär auf ringförmigen Medien eingesetzt. Die wichtigsten Varianten sind:

- Token Passing, eine explizite Sendeberechtigung läuft im System um;
- Register Insertion, beim Senden puffert die Station eventuell ankommende Daten zwischen, indem ein Zwischenspeicher in den Kanal (Ring) eingeschoben wird;
- Slotted Ring, auf dem Medium läuft ein fest aufgeteilter Zeitrahmen um, dessen Teile (Slots) von den Stationen für einen Umlauf mit Informationen belegt werden können.

Darüberhinaus gibt es noch eine Vielzahl anderer LAN-Systeme, deren Vorstellung über den Rahmen dieses Kapitels hinausgeht.

Bei den meisten Verfahren teilen sich alle Stationen die Vermittlungsfunktionen. Dennoch sind bei einigen Protokollen zentrale Aufgaben vorhanden, die nur von einer Station ausgeführt werden dürfen (z.B. Kontrolle des korrekten Protokollablaufs, Überwachung der Sendeberechtigung, Takterzeugung,...). Zur Sicherung gegen Ausfälle können mehrere Stationen diese Funktionen übernehmen; eine ist immer aktiv, während die anderen die korrekte Funktion der aktiven überwachen. Mit diesen Konzepten soll eine möglichst hohe Ausfallsicherheit und ein fehlertolerantes Verhalten erreicht werden /57, 78, 58, 35, 83, 1/.

## 2.5 NORMUNGEN

Mit der Konzeptionierung des ISO-OSI-Architekturmodells wurde deutlich, daß dem wachsenden Kommunikationsbedarf nur durch Gesamtlösungen begegnet werden kann. Die wichtigsten Aspekte dieses Denkmodells sind:

- Gliederung der vielfältigen Funktionen in Teilfunktionen.
- Schichtung der Funktionen nach dem Dienstekonzept (Prinzip "Dienst erbringen - Dienst benutzen") mit klaren Schnittstellen zwischen den einzelnen Instanzen.
- Definierte Protokolle für den Informationsaustausch.

Diese Gliederung ermöglicht erst eine internationale Standardisierung der einzelnen Teile der Kommunikationsfunktionen, die wiederum unumgänglich ist, wenn herstellerabhängige Insellösungen vermieden werden sollen und eine offene Kommunikation angestrebt wird.

Während früher meist bereits bestehende und erprobte Systeme zum Standard erhoben wurden, so muß heute die Normung einer Implementierung vorausgehen; sie muß die Schnittstellen und das Verhalten eines Systems beschreiben und somit allen Herstellern die Möglichkeit geben, ein kompatibles Gerät zu entwickeln. Die immensen Entwicklungskosten moderner Kommunikationssysteme können nur bei einer weltweiten Vermarktung eines Produktes amortisiert werden, die in Zukunft nur bei Systemen nach internationalen Standards möglich ist.

### 2.5.1 Normung für LAN

Der Konzeptionierung des OSI-Referenzmodells lagen Weitverkehrsnetze mit Paketvermittlung zugrunde. Die grundsätzlich anderen Verhältnisse bei lokalen Netzen finden ihren Niederschlag in einer feineren Unterteilung der Schichten 2 und 3. Die Subschicht 2a (Media Access Control, MAC) regelt den Zugriff auf den gemeinsamen Kanal sowie den Empfang der MAC-Datenblöcke. Erst darauf baut die Subschicht 2b (Logical Link Control, LLC) auf, deren Funktionalität ähnlich der Schicht 2 in öffentlichen

Netzen ist. Vermittlungsfunktionen (Schicht 3) werden innerhalb eines (Teil-) Netzes durch Adressenauswertung der MAC-Schicht abgewickelt, so daß in diesem Fall die Schicht 3 leer ist. Bei der Kopplung von Teilnetzen ist sie allerdings in 3 Subschichten unterteilt, die dem Zugriff, der teilnetzseitigen Parameteranpassung und dem Netzübergang dienen. Darauf setzt dann ein einheitliches Transportprotokoll auf, das auf allen Netzen einen einheitlichen Dienst erbringen soll. Bild 2.10 zeigt die erwähnten Ergänzungen des OSI-Referenzmodells.

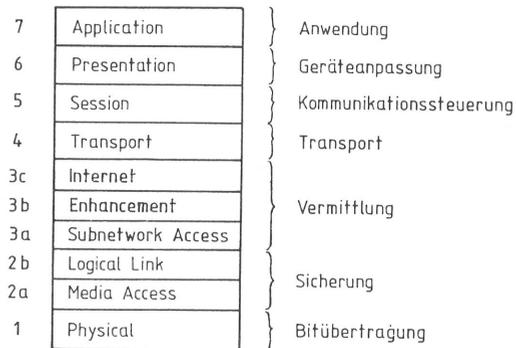


Bild 2.10: OSI-Referenzmodell für Lokale Netze

Bei der LAN-Standardisierung sind im wesentlichen die folgenden Gremien beteiligt:

- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Project 802
- European Computer Manufacturers Association (ECMA), TC 24, TC 32
- International Organization for Standardization (ISO), TC 97

Durch Liaisonbeziehungen zwischen den Gremien konnten bisher die wichtigsten LAN-Standards einheitlich von allen Gremien akzeptiert werden. Während sich diese Normen bei den Herstellern durchzusetzen beginnen, entstehen in den USA bereits neue "American National Standards" für LAN, die z.B. auf neuere Entwicklungen eingehen (z.B. Fiber Distributed Data Interface, FDDI, für 100 Mbit/s Datenrate auf Lichtwellenleitern).



- Zwischen den Protokollblöcken werden unabhängige Kommunikationsbeziehungen unterhalten, z.B. parallel zwischen den Endsystemen (end-to-end) für Benutzerinformationen und zwischen Endsystem und Ortsvermittlungsstelle für Steuerinformationen.
- Aus bestimmten Protokollschichten heraus werden andere Funktionen aufgerufen, wie z.B. die Funktionen des D-Kanal-Protokolls für den Verbindungsaufbau einer CS-Verbindung.

Bild 2.11 aus Empfehlung I.320 (/16/) zeigt die Erweiterung des OSI-Referenzmodells für ISDN-Applikationen.

## 2.6 INTEGRATIONSKONZEPTE

### 2.6.1 Klassifizierung

Die vielfältigen Anforderungen an Kommunikationsdienste führen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen zur Integration unterschiedlicher Dienste in einem Netz. Drei Integrationskonzepte sind hierbei möglich:

1. Diensteintegriertes Digitalnetz mit einheitlichem Teilnehmerzugang und dienstgruppenspezifischen Vermittlungsnetzen.

Das Netz besteht aus mehreren, evtl. auf gemeinsamen Einrichtungen basierenden Teilnetzen, die für eine Gruppe von Diensten spezifisch sind. Neben einer gemeinsamen Netzverwaltung sind insbesondere an der Schnittstelle zum Teilnehmer durch einen diensteintegrierenden Teilnehmerzugang alle verfügbaren Dienste über einheitliche Protokolle erreichbar. Dieses Konzept findet in öffentlichen Netzen mit dem ISDN nach den CCITT-Empfehlungen seine Anwendung.

2. Diensteintegrierendes Digitalnetz mit einheitlichem Vermittlungsnetz.

Die Anforderungen zahlreicher Dienste werden durch ein

homogenes Netz erfüllt. Netze mit einem einheitlichen Vermittlungsverfahren erfordern die Umsetzung aller Dienste auf diesen Übermittlungsdienst, der die Vielzahl der Anforderungen möglichst gut abdecken muß. In diesem Zusammenhang werden momentan vorwiegend Fast CS und Fast PS als zukünftige Alternativen diskutiert /81, 53, 3/.

3. Dienstintegrierendes Digitalnetz mit hybridem Vermittlungsnetz.

Netze mit hybriden Vermittlungsverfahren vereinigen die beiden Grundprinzipien - CS und PS - innerhalb eines Netzes. Dabei kann ein gemeinsames Übertragungsmedium von beiden Diensten gleichzeitig benutzt und die vorhandene Bandbreite an den momentanen Verkehr angepasst werden.

2.6.2 Dienstintegration mit einheitlichem Teilnehmerzugang und dienstgruppenspezifischen Vermittlungsnetzen: Beispiel ISDN

Die Entwicklung der Standarddienste ging lange Zeit einher mit der Entwicklung dienstspezifischer Netze, was besonders durch unterschiedliche Anforderungen an die Übertragungstechnik begründet war. Während das Fernsprechen seiner Natur nach analog war, so waren die Text- und Datendienste digital mit verschiedenen Schrittgeschwindigkeiten. Diese wurden Mitte der siebziger Jahre im IDN zusammengefasst, vgl. Kap. 2.4.1.2. Gleichzeitig dazu begann im Fernsprechnet die Einführung der digitalen Übertragungstechnik, seit einigen Jahren ergänzt durch digitale Vermittlungen. Damit sind die prinzipiellen Unterschiede der Übermittlungsdienste beider Netze verschwunden und der Übergang zu einem einheitlichen, dienstintegrierenden Digitalnetz (ISDN) ist möglich.

Auch wirtschaftliche Überlegungen führen zu einem dienstintegrierenden Netz, denn die Einführung neuer Dienste wird in öffentlichen Netzen nur dann erfolgen, wenn eine ausreichend große Nachfrage den neuen Dienst wirtschaftlich erscheinen läßt,

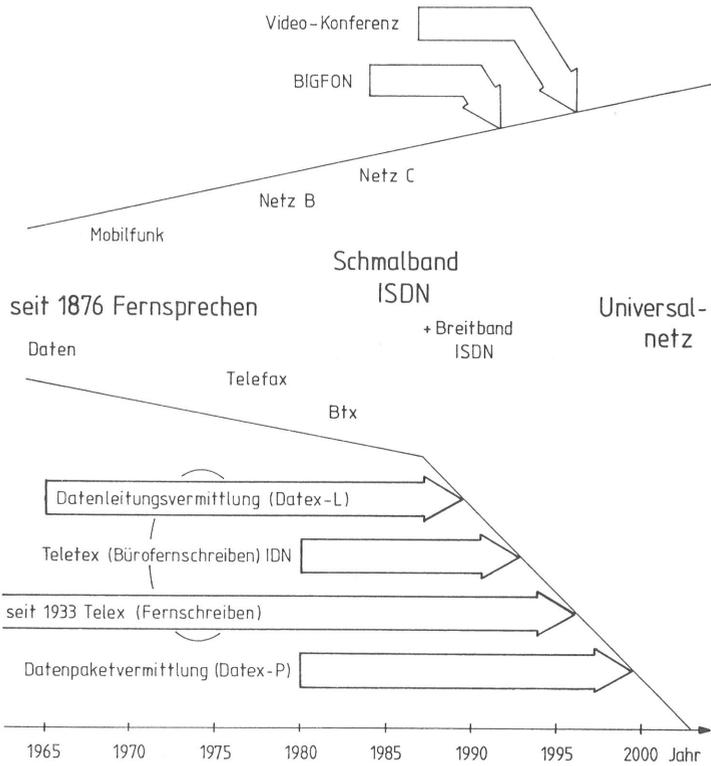


Bild 2.12: Entwicklung der Kommunikationsdienste (nach /77/)

bzw. sonstige Einflüsse den neuen Dienst erfordern und außerdem eine flächendeckende Versorgung nach einer kurzen Einführungsphase möglich ist. Die damit verbundenen, sehr hohen Investitionskosten bei der Einführung einer neuen Vermittlungs- oder Übertragungstechnik gebieten ebenfalls, daß neue Dienste in bestehenden Netzen integriert werden und damit die vorhandene Infrastruktur und insbesondere die Teilnehmer-Anschlußleitungen mitbenutzt werden können /37/. Die Einführung neuer Dienste in einem existierenden ISDN kann dann sehr schnell und mit relativ geringen Kosten möglich sein, wenn nur zentrale Einrichtungen ergänzt werden müssen und die vorhandenen Übermittlungsdienste benutzt werden können.

Die internationale Normung des CCITT für das ISDN wurde mit den 1985 veröffentlichten Rot-Büchern /16/ in einer ersten Phase abgeschlossen; sie ist die Grundlage der augenblicklichen Implementierungen. Bild 2.12 nach /77/ zeigt den Übergang getrennter Dienste und Netze zu einem alles umfassenden Universalnetz.

#### 2.6.2.1 Grundkonzepte des ISDN

In den CCITT-Empfehlungen der I-Serie /16/ sind die Grundkonzepte des ISDN beschrieben. Die wichtigsten Merkmale sind:

- Digitale Verbindungen zwischen den Endsystemen;
- Zusammenfassung sehr vieler Dienste (Sprache und andere Kommunikationsformen) in einem Netz;
- Unterstützung höherer Dienste durch intelligente Verarbeitungseinheiten innerhalb des Netzes;
- Durchschalte- und Paketvermittlung auf Wählverbindungen oder festgeschalteten Verbindungen sowie Kombinationen davon;
- Spezifikation des Netzzugangs mit einer geschichteten Protokoll-Architektur.

Das Hauptziel des CCITT bei der Normung des ISDN war die Standardisierung der drei Bereiche

1. Dienste, die den Teilnehmern angeboten werden,
2. Eigenschaften, Merkmale und Leistungsvermögen des Netzes und
3. die Benutzer-Netz Schnittstelle.

Auf diesem Grundkonzept bauen die drei Ansichten des ISDNs auf:

1. Das ISDN erbringt Telekommunikationsdienste.
2. Das ISDN ist eine Menge von Netzeigenschaften und -merkmalen, die definiert sind durch standardisierte Protokolle und Funktionen des Netzes. Sie werden benötigt, um die geforderten Telekommunikationsdienste zu erbringen.

3. Das ISDN ist eine genormte Schnittstelle zum Benutzer, an der Telekommunikationsdienste in Anspruch genommen werden können.

#### 2.6.2.2 Dienstekonzept des ISDN

In Kapitel 2.1.3 wurde der Begriff "Dienst" bereits genauer umrissen; diese Definitionen spiegeln sich bei der Unterteilung der Telekommunikationsdienste in den Empfehlungen der I.200-Serie wieder:

- Übermittlungsdienste (Bearer Services), die auf Eigenschaften des Netzes mit Funktionen nach OSI-Schicht 1 bis 3 beruhen, und
- Standarddienste und höhere Dienste (Teleservices), die von Funktionen des Netzes nach OSI-Schicht 4 bis 7 bereitgestellt werden.

Die Beschreibung der Dienste geschieht mit Attributen, während die Eigenschaften des Netzes mit Funktionen (Low Layer Functions, LLF, für Aufgaben der Schichten 1 bis 3 und High Layer Functions, HLF, für Aufgaben der Schichten 4 bis 7) beschrieben werden. Bild 2.13 aus Empfehlung I.211 /16/ als Beispiel gibt einen Überblick, welche Attribute zur Spezifikation eines Übermittlungsdienstes im ISDN benutzt werden können.

#### 2.6.2.3 Schnittstelle des ISDN zum Benutzer

Der Zugang zum ISDN ist auf mehreren verschiedenartigen Kanälen möglich. In der Empfehlung I.412 sind definiert:

- B-Kanal, 64 kbit/s, leitungsvermittelt, nur für Benutzerinformation, z.B. PCM-codierte Sprache oder Daten.
- D-Kanal, 16 oder 64 kbit/s, für Signalisierungsnachrichten zur Steuerung der B-Kanäle und paketvermittelte Benutzerinformation nach Empfehlung X.25 (mit geringerer Priorität).

Possible values of attributes										Attributes	
Circuit										Packet	1. Information transfer mode
64	384	1536	1920	Other values for further study			Options for further study				
Unrestricted digital information		Speech	3.1 kHz audio	7 kHz audio	15 kHz audio	Video	Others for further study			3. Information transfer capability	
8 kHz integrity			Service data unit integrity			Unstructured				4. Structure	
Demand			Reserved			Permanent				5. Establishment of communication (Note 5)	
Point-to-point			Multipoint			Broadcast				6. Communication configuration	
Unidirectional			Bidirectional symmetric			Bidirectional asymmetric				7. Symmetry	
D(16)	D(64)	E	B	H0	H11	H12	Others for further study			8. Access channel and rate	
I.440	I.451	CCITT No. 7	I.462	Others for further study						9.1 Signalling access protocol	
G.711	G.721	I.460	I.451	X.25	Others for further study				9.2 Information access protocol		

Bild 2.13: Attribute des ISDN-Übertragungsdienstes (Bearer Service, aus Empf. I.211, /16/)

- E-Kanal, 64 kbit/s, zur Signalisierung nach dem Zentralkanal-Verfahren CCITT No.7, für Nebenstellenanlagen.
- H-Kanäle, (384, 1536, 1920, ..., kbit/s), für schnelle Benutzerinformation, z.B. schnelles Faksimile, Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung, Video.

Den Benutzern werden verschiedene Kanal-Kombinationen angeboten:

- Basis-Anschluß, 2 B-Kanäle + 1 D-Kanal mit 16 kbit/s; Dies ist der normale Zugang zum ISDN, der auf den vorhandenen Kupfer-Doppeladern betrieben werden kann.
- Primär-Multiplex-Anschluß, 30 B-Kanäle + 1 D (E)-Kanal mit 64 kbit/s; Dieser Zugang ist für Nebenstellenanlagen geplant.

- Primär-Multiplex-Anschluß mit H-Kanälen, je nach Anforderungen sind beliebige Kombinationen der H-Kanäle möglich, es muß jedoch mindestens ein D (E)-Kanal zur Signalisierung vorhanden sein.

An Übermittlungsdiensten werden dem Teilnehmer primär leitungsvermittelte Kanäle zur Verfügung gestellt. Paketvermittlung ist auf der Anschlußleitung nur über den D-Kanal neben der Signalisierung möglich. Allerdings kann mit einem B-Kanal eine Verbindung zu der Paketvermittlungsfunktion im ISDN geschaltet werden, vgl. /28, 29/ und Empfehlungen I.462 /16/.

#### 2.6.2.4 Architekturmodell des ISDN

An der Schnittstelle zum Teilnehmer präsentiert sich ein ISDN als ein Netz, bestehend aus mehreren Funktionen. Intern können (und werden auch für längere Zeit) jedoch mehrere Netze, die speziell für ein Vermittlungsverfahren oder einen Geschwindigkeitsbereich optimiert sind, die einzelnen Funktionen übernehmen.

Die Integration verschiedener Dienste geschieht in dieser ersten Phase des ISDNs nur zum Teil in den einzelnen Teil-Übermittlungsnetzen, während die eigentliche Integration aller Dienste nur auf der Teilnehmer-Anschlußleitung erfolgt. Innerhalb des ISDNs, zumindest im Bereich der Deutschen Bundespost, werden noch für längere Zeit mehrere Netze nebeneinander existieren, wie z.B. das 64 kbit/s CS-Netz und das PS-Netz. Netzübergänge werden zwar bereitgestellt, aber eine echte Integration der Dienste kann vorerst nur innerhalb eines Übermittlungsnetzes erfolgen. Bild 2.14 aus Empfehlung I.310 (/16/) verdeutlicht dieses Integrationsprinzip.

#### 2.6.3 Dienstintegration mit einem einheitlichen Vermittlungsnetz

Die Integration unterschiedlicher Dienste in einem Netz mit einem einheitlichen Übermittlungsdienst erfordert bei einigen

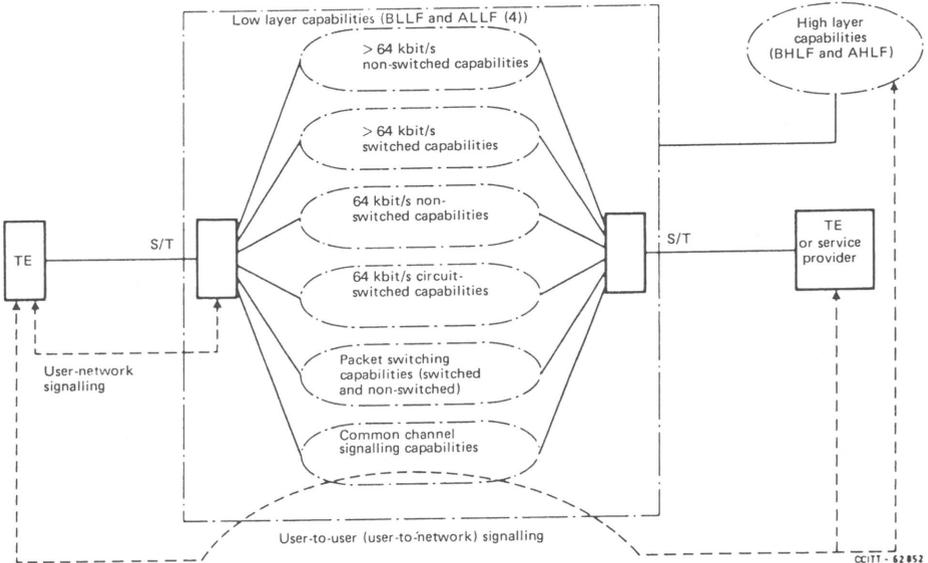


Bild 2.14: Basis-Architektur-Modell eines ISDNs  
(aus Empf. I.310, /16/)

Standarddiensten zum Teil aufwendige Umsetzungen. Anwendungen sind jedoch bei der Integration von Diensten mit schwachem Verkehrsaufkommen in Systemen eines (anderen, dominierenden) Übermittlungsdienstes zu finden. Als zwei typische Beispiele sind hier zu nennen: Paketvermittelte Datenkommunikation mit Nebenstellenanlagen oder Sprachkommunikation mit LANs.

### 2.6.3.1 Datenkommunikation mit Nebenstellenanlagen

Nebenstellenanlagen arbeiten heute nach dem Prinzip der Durchschaltvermittlung und erlauben so die problemlose Integration aller darauf basierenden Datendienste. Dagegen wird Paketvermittlung auch in den nächsten Jahren von ISDN-Nebenstellenanlagen noch nicht unterstützt werden; angeboten werden gegenwärtig nur Umsetzungen der virtuellen X.25 Verbindungen in physikalische CS-Verbindungen an der Zugangsbaugruppe der Nebenstellenanlage

/5, 6/. Jede aufgebaute virtuelle Verbindung belegt hierbei einen 64 kbit/s-Kanal durch das Koppelnetz; bei einer hohen Anzahl gleichzeitig bestehender virtueller Verbindungen kann auch ohne nennenswerten Datenverkehr die gesamte Nebenstellenanlage durch die große Zahl belegter Leitungen deutlich belastet sein.

### 2.6.3.2 Sprachkommunikation mit LANs

Lokale Netze (LAN) wurden für die Rechnerkommunikation entwickelt, und fast alle bekannten Systeme arbeiten nach dem Prinzip der Paketvermittlung. Die Integration von Sprachdiensten wird in zahlreichen LAN-Produkten durch eine Paketierung der Sprache versucht /22, 85, 2/, wobei entweder die übliche PCM-Kodierung (64 kbit/s) oder wesentlich redundanzärmere Codierverfahren mit deutlich geringeren Datenraten zur Anwendung kommen. Die Hauptprobleme dieser Integrationsstrategie sind:

- die Sprachkommunikation erzeugt relative große Datenmengen, verglichen mit einer reinen Text- oder Datenanwendung. Selbst die Anwendung redundanzarmer Codierungen führt bei typischem Fernsprechverkehr leicht zu Datenmengen, die LANs merklich belasten können.
- Sprachkommunikation verläuft meist im Dialog und erfordert somit eine kurze und möglichst konstante Verzögerungszeit. Diese Zeitanforderungen können von PS-Systemen, insbesondere unter hoher Verkehrsbelastung, häufig nicht eingehalten werden, da die Wartezeiten eines Paketes in einer LAN-Station mit steigender Auslastung normalerweise auch zunehmen und so zu Verzerrungen der Sprache führen. Redundanzärmere Codierverfahren erfordern zusätzlich relativ große Verzögerungen (bis ca. 100 ms) zur Kodierung eines "Talkspurts" (Sprachblocks); diese großen Verzögerungen sind nur innerhalb eines lokalen Netzes tolerierbar, Verbindungen über größere Distanzen mit öffentlichen Netzen können so nicht fortgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Integration von (paketvermittelten) Datendiensten und (durchschaltevermittelten) Sprachdiensten in den heute bekannten CS- oder PS-Kommunikationssystemen (Nebenstellenanlage bzw. LAN) nicht optimal möglich ist; nur bei geringen Verkehrsaufkommen einer Verkehrsart ist die Integration auf einem anderen Übermittlungsdienst sinnvoll. Neue Verfahren (z.B. Fast PS, Fast CS) können hier jedoch schnell neue Argumente schaffen.

#### 2.6.4 Diensteintegration mit einem hybriden Vermittlungsnetz

Hybride Vermittlungssysteme vereinigen durchschalte- und paketvermittelte Dienste in einem gemeinsamen System. Dabei werden die Systemressourcen aufgeteilt und dynamisch an die momentanen Anforderungen der einzelnen Verkehre angepasst. Die charakteristischen Eigenschaften der einzelnen Übermittlungsdienste (CS / PS) bleiben voll erhalten und höhere Dienste können darauf beliebig aufsetzen. Es sind keine aufwendigen Umsetzungen für Endsysteme erforderlich, und in einem bestehenden Netz können die vorhandenen Endsysteme weiter die bekannten Dienste benutzen. Aufwendige und leistungsbegrenzende Kopplungen (z.B. Gateways) entfallen und an jedem Zugangspunkt des hybriden Vermittlungssystems sind alle Dienste ohne Einschränkung benutzbar.

Hybride Vermittlungssysteme erfüllen so den Wunsch nach einer einheitlichen Kommunikation, die (fast) alle Kommunikationformen unterstützt und auch neue Anwendungen und Dienste in Zukunft einfach integrieren kann.

## KAPITEL 3

### INTEGRATION VON CS- UND PS-VERKEHR IM LOKALEN BEREICH

#### 3.1 GESAMTKONZEPT

##### 3.1.1 Gegenwärtige Perspektive der innerbetrieblichen Kommunikation

Die gegenwärtigen Entwicklungen in den Bereichen der Informationsbe- und -verarbeitung führen bei zahlreichen Arbeitsplätzen zum Einsatz dedizierter, leistungsfähiger Rechensysteme, sogenannter Workstations. Viele Arbeiten, die nur gering strukturiert sind und von "qualifizierten Sachbearbeitern" erledigt werden, galten lange Zeit als nicht automatisierbar. Erst Arbeitsplatzsysteme im Leistungsbereich früherer Großrechner erlauben auch in anspruchsvollen, kreativen Arbeitsgebieten eine wirksame Unterstützung des Menschen.

Diese Arbeitsplatzsysteme sind gekennzeichnet insbesondere durch eine hohe Verarbeitungsleistung mit großem lokalem Speicher, graphische Ein- und Ausgaben (Maus, Graphiktableau, Bildschirm, Papiaerausgabe), sowie Sprachein- und -ausgaben. Es ist zu erwarten, daß innerhalb der entsprechenden Abteilungen eines Unternehmens die Arbeitsplätze mit solchen Workstations ausgerüstet werden.

Üblicherweise arbeiten mehrere Personen an einer gemeinsamen Aufgabe, so daß ein intensiver Informationsaustausch zwischen allen beteiligten Arbeitsplätzen verlangt wird. Trotz der oben skizzierten Leistungsfähigkeit der Arbeitsplatzsysteme und der Kommunikation untereinander werden innerhalb einer solchen Gruppe auch noch zentrale Einrichtungen verlangt werden, wie z.B. große Dienstleistungrechner, leistungsfähige (große, teure) Ein- und Ausgabegeräte, große Hintergrundspeicher mit zentralen Projektdaten und speziellen Methodenbanken. Außerdem müssen die einzelnen Workstations Zugang zu den öffentlichen Nachrichtennetzen haben, so daß in diesen Bereichen ein signifikanter Bedarf entsteht für

ein leistungsfähiges und universelles Kommunikationssystem.

Andererseits beginnt die Einführung des ISDN auch im privaten Bereich und erschließt auf der vorhandenen Infrastruktur des Telefondienstes alle Teile einer Organisation. Für die Sprachkommunikation werden dabei zahlreiche Zusatzdienstmerkmale angeboten; für die Datenkommunikation werden durch die dann überall verfügbaren B- und D-Kanäle ganz neue Wege erschlossen. Dennoch werden ISDN-Nebenstellenanlagen nicht allen Kommunikationsanforderungen gewachsen sein, insbesondere nicht dem Einsatz multi-medial kommunizierender Workstations. Diesen oben geschilderten Systemen müssen Kommunikationsmöglichkeiten eröffnet werden, die weit über die Leistungsfähigkeit eines ISDNs heutiger Prägung hinausgehen.

### 3.1.2 Konzept eines neuen Kommunikationssystems

#### 3.1.2.1 Anforderungen

Aus diesem Umfeld heraus entstand das Konzept eines Kommunikationssystems, das die Funktionalität einer ISDN-Nebenstellenanlage enthält und darüber hinaus den Anforderungen neuer, leistungsfähiger Arbeitsplatzsysteme nachkommt. Die wesentlichen Ideen sind:

1. In Bereichen mit leistungsfähigen Arbeitsplatzsystemen werden kleine, schnelle und flexible Teilnetze installiert. Diese Einsatzgebiete sind charakterisiert durch:
  - Hoher Kommunikationsbedarf.
  - Eng umgrenzter Bereich (z.B. Abteilung, Institut).
  - Weites Dienstespektrum.
  - Gleichzeitige Benutzung mehrerer Dienste.
  - Schwer vorhersehbares Verkehrsaufkommen.
2. Alle anderen Bereiche erhalten die Kommunikationsdienste einer ISDN-Nebenstellenanlage mit genormten  $S_0$ -Schnittstellen ( $2 B + D_{16}$ ).

### 3.1.2.2 Grobkonzept

Da aus heutiger Sicht keine verlässlichen Angaben über die Nutzung und das Verkehrsaufkommen zukünftiger Kommunikationsdienste möglich ist, sollen neben den bekannten ISDN-Diensten

- Durchschalteverbindungen mit wählbarer Bandbreite (n \* 64 kbit/s) z.B. für Massendatentransfer, Pixelgraphik- oder Videübertragungen mit PCM-codierter Sprache und
- Paketvermittlung mit hoher Durchsatzrate für transaktions- oder dialogorientierte Anwendungen

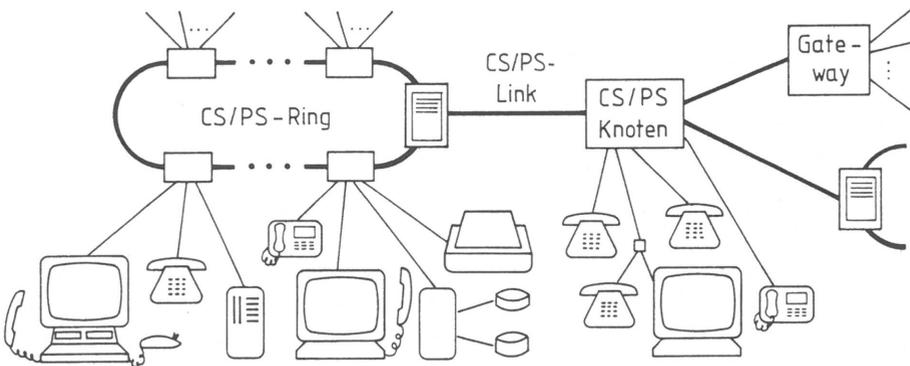
möglich sein.

Das innerbetriebliche Kommunikationssystem besteht aus den folgenden Komponenten:

- Schnelle, kleine und autonome Teilnetze verbinden eine Abteilung oder Gruppe, in der leistungsfähige Arbeitsplatzrechner miteinander kommunizieren müssen (CS/PS-Ring).
- Übergeordnete Knoten ermöglichen den Anschluß bekannter (ISDN-) Endsysteme auf der vorhandenen, sternförmigen Kabelinstallation. Außerdem verbinden sie die schnellen Teilnetze untereinander sowie mit den restlichen Endsystemen, die direkt an Knoten angeschlossen sind (CS/PS-Knoten).
- Mehrere Knoten können über schnelle Verbindungsleitungen (z.B. Glasfaserstrecken) untereinander vernetzt sein (CS/PS-Link).
- An einem Punkt im Netz existiert ein Zugangspunkt zu den öffentlichen Weitverkehrsnetzen (Netzkoppeleinrichtung, Gateway).

Alle Komponenten ermöglichen Durchschaltevermittlung mit variabler Bandbreite und Paketvermittlung mit wählbarer Durchsatzrate, d.h. es werden die dienstespezifischen Vermittlungsverfahren beibehalten, was zu einfacheren Endsystemen führt. Eine dynamische Aufteilung der Systemressourcen, angepaßt an das

momentane Verkehrsaufkommen, ermöglicht eine hervorragende Verkehrsgüte. Das Konzept fügt sich in die bestehende Infrastruktur ein und erfordert nur in den Bereichen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen eine neue Kabelinstallation mit hoher Bandbreite und den entsprechenden Zugriffsstationen. Durch die zwei Hierarchieebenen werden Arbeitsdaten innerhalb eines Teilnetzes gehalten, und nur Daten von und zu gruppenexternen Endsystemen müssen über Knoten vermittelt werden. Der Verkehr zu öffentlichen Netzen wird auf nur einen Übergabepunkt gebündelt, in dem alle Protokollanpassungen implementiert werden können. Bild 3.1 zeigt ein typisches Beispiel eines solchen Kommunikationssystems.



- Durchschaltvermittlung (CS) mit variabler Bitrate
  - und
  - Paketvermittlung (PS) mit hohem Durchsatz
- ISDN-Endsysteme
- CS: B-Kanal
  - PS: D-Kanal

**Bild 3.1:** Dienstintegrierendes Netzkonzept

Im Rahmen dieser Arbeit wird nur auf die dienstintegrierenden, schnellen Teilnetze eingegangen; die Untersuchungen des Knotens, der Verbindungsleitungen sowie der Gateways sind Gegenstand anderer Arbeiten.

### 3.1.3 Diensteintegrierendes Teilnetz

Die oben genannten Anforderungen an dieses Teilnetz und an die Gesamtkonzeption werden von keinem heute bekannten LAN in voller Breite abgedeckt.

Grundlage der im folgenden diskutierten Teilnetze sind Ringsysteme im Geschwindigkeitsbereich von 10 Mbit/s, die dem skizzierten Einsatzbereich genügen und (auch unter den Randbedingungen der vorhandenen Laborausrüstung) mit vertretbarem Aufwand zu implementieren sind. Im Gegensatz zu Bussystemen erlauben Ringsysteme, neben günstigen Verkehrsleistungen (siehe folgende Kapitel), insbesondere einfachere Übertragungstechnische Funktionen, da alle Stationen aktiv angekoppelt werden und ein regeneriertes Datensignal weitersenden; siehe auch /69, 73/. Außerdem bietet sich die Struktur der aktiv gekoppelten Ringstationen für den Einsatz von Lichtwellenleitern geradezu an.

## 3.2 INTEGRATIONSPRINZIPIEN BEI CS/PS-RINGSYSTEMEN

### 3.2.1 Gemeinsame Grundlage der CS/PS-Integration

Die Integration von synchronem (durchschaltvermitteltem) und asynchronem (paketvermitteltem) Verkehr in einem Ringsystem basiert auf einem periodisch (synchron) umlaufenden Pulsrahmen, vergleichbar mit einem PCM-Rahmen.

Jeder CS-Verbindung werden ein oder mehrere Zeitschlitze zugeordnet, abhängig von der angeforderten Bandbreite (Multi-Rate-CS). In jeder Ring-Station existiert eine Tabelle, die belegte Zeitschlitze einer CS-Verbindung dieser Station zuordnet. Da eine Station aus einem Zeitschlitz lesen und diesen unmittelbar danach (innerhalb der Latenzzeit) auch beschreiben kann, ist es möglich, auf einem Zeitschlitz eine Vollduplex-Verbindung zu unterhalten. Das Signalisierungsprotokoll für den Auf- und Abbau von CS-Verbindungen ist im Kapitel 4.2 beschrieben und ist für die Betrachtung der Integrationsprinzipien ohne weitere Bedeutung.

Der Zugriff des PS-Verkehrs auf den Ring erfordert ebenfalls ein geeignetes Protokoll. Zwei Alternativen werden im folgenden diskutiert: die Vergabe der vollständigen PS-Bandbreite an jeweils eine Station oder der gleichzeitige Zugriff aller Stationen auf eine Zeitschlitzstruktur im Pulsrahmen.

Für die Zuteilung der vollen PS-Bandbreite an eine Station können die bekannten LAN-Verfahren verwendet werden; da unter den Randbedingungen eines integrierten Netzes primär ein hoher Nutzdurchsatz und ein stabiles Verhalten auch unter hoher Belastung gefordert sind, ist das bekannte Token Passing-Prinzip mit einer umlaufenden Sendeberechtigung sehr geeignet.

Bild 3.2 gibt eine Klassifizierung der unterschiedlichen Integrationsmöglichkeiten auf einem Pulsrahmen, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

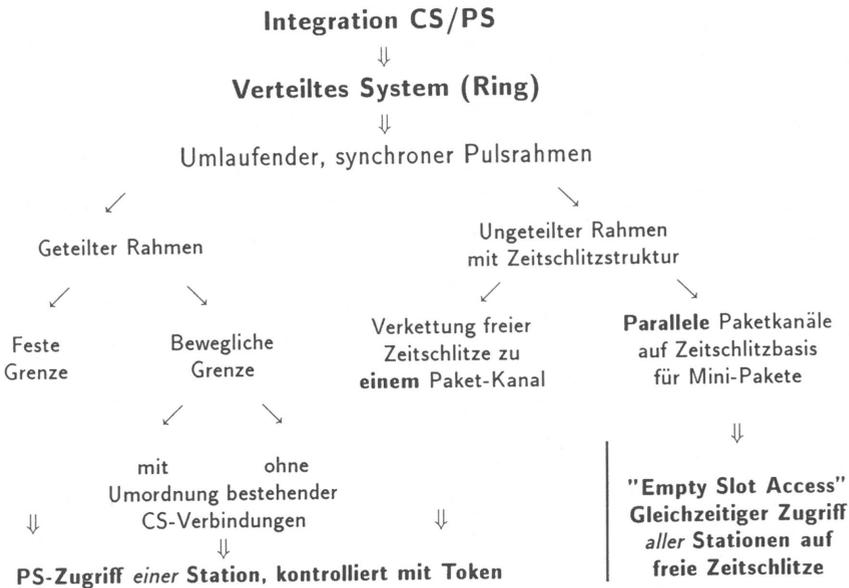


Bild 3.2: Integrationsprinzipien

### 3.2.2 Integration durch Teilung des Rahmens

Die Integration erfolgt bei diesen Prinzipien durch eine Aufteilung des Pulsrahmens in einen Teil für CS- und einen für PS-Verkehr.

#### 3.2.2.1 Feste Grenze

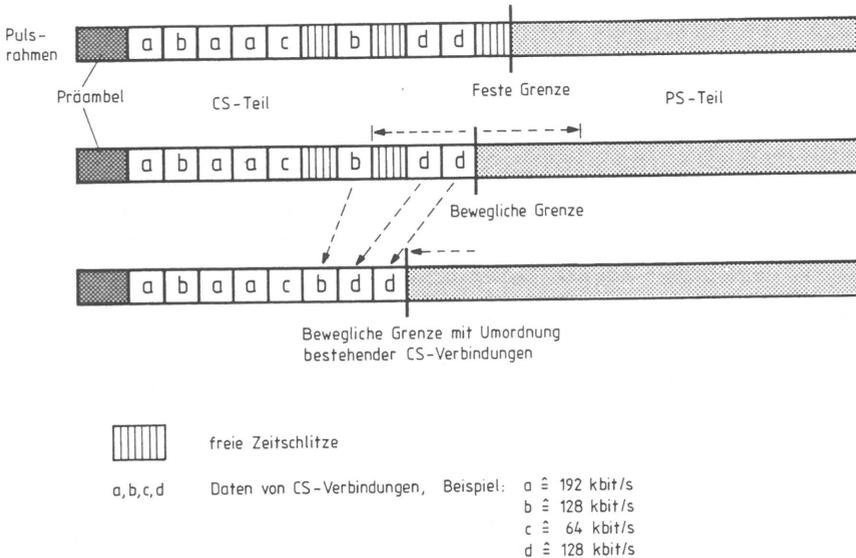
Die Grenze zwischen diesen beiden Teilen kann im System festgelegt sein, d.h. für jeden Verkehrstyp steht eine bestimmte, feste Bandbreite zur Verfügung. Damit kann jeder Teil des Rahmens als ein unabhängiges System angesehen werden, das auch getrennt verwaltet wird. Die Steuerung und Überwachung der beiden Systeme ist sehr einfach, da keine gegenseitige Beeinflussung existiert.

Allerdings ist eine Anpassung an unterschiedliche Verkehrsaufkommen nicht möglich, da die Systemressourcen fest aufgeteilt sind. Zeitschlitze innerhalb des CS-Teils, die momentan keiner Verbindung zugeordnet sind, bleiben frei und können vom PS-Verkehr nicht benutzt werden. Ebenso kann ein momentanes, hohes Verkehrsangebot durch CS-Verkehr nicht die freie Bandbreite des PS-Teils übernehmen, was zu Verlusten beim CS-Verkehr führen kann. Eine optimale Auslastung des Ringsystems ist also nicht möglich unter schwankenden Verkehrsbelastungen.

#### 3.2.2.2 Bewegliche Grenze

Diese Nachteile werden zum Teil vermieden, wenn die Grenze zwischen den beiden Teilen des Pulsrahmens nicht mehr statisch ist, sondern an das momentane CS-Belegungsmuster angepaßt wird. Der PS-Teil beginnt bei diesem Prinzip unmittelbar nach dem letzten Zeitschlitz im Pulsrahmen, der einer CS-Verbindung zugeordnet ist. Durch die Statistik des CS-Verkehrs werden immer wieder innerhalb des CS-Teils freie Zeitschlitze entstehen. Abhängig von der Behandlung dieser Lücken sind weiterhin zu unterscheiden: bestehende Verbindungen können umgeordnet werden oder diese Lücken bleiben frei, bis sie von einer neu aufgebauten

CS-Verbindung wieder belegt werden. Bild 3.3 vergleicht die unterschiedlichen Integrationsalternativen des geteilten Rahmens.



**Bild 3.3:** CS/PS-Integration auf einem geteilten Pulsrahmen

In einem verteilten System bringt allerdings die Reorganisation bestehender CS-Verbindungen einen erheblichen Koordinierungs- und Signalisierungsaufwand mit sich. Speziell bei Mehrkanalverbindungen muß beim Verschieben einzelner Kanäle die Reihenfolge der Information beibehalten werden. Die Reorganisation der bestehenden CS-Verbindungen erfordert außerdem eine exakte Synchronisation aller beteiligten Stationen.

Weitere Probleme bei der Implementierung der beweglichen Grenze entstehen mit der Verwaltung der Grenze selbst. Die augenblickliche Lage im Pulsrahmen muß allen Stationen bekannt gemacht werden. Das Verschieben der Grenze in einem verteilten System ist dann von folgenden Problemen begleitet:

1. Der CS-Verkehr nimmt ab: die freien Zeitschlitzte sollen vom PS-Verkehr benützt werden, dürfen jedoch erst dann mit dem PS-Teil verbunden werden, wenn neue (PS-) Daten in den Rahmen geschrieben worden sind; beim Lesen des PS-Teils nach dem Verschieben der Grenze muß noch von der alten Position ausgegangen werden, da die vorliegenden Daten noch ab dieser Position auf den Rahmen geschrieben worden waren.
2. Der CS-Verkehr nimmt zu: das Verschieben der Grenze in den PS-Teil hinein darf nicht geschehen, wenn hier gültige Daten übertragen werden. Mit Reservierungsmechanismen könnte beispielweise der PS-Verkehr nach einem Rahmenumlauf zur neuen Position der CS-/PS-Grenze verdrängt werden, wobei in diesem Umlauf ab der alten Position der Grenze gelesen wird, neue PS-Daten aber erst ab der neuen Position eingefügt werden.

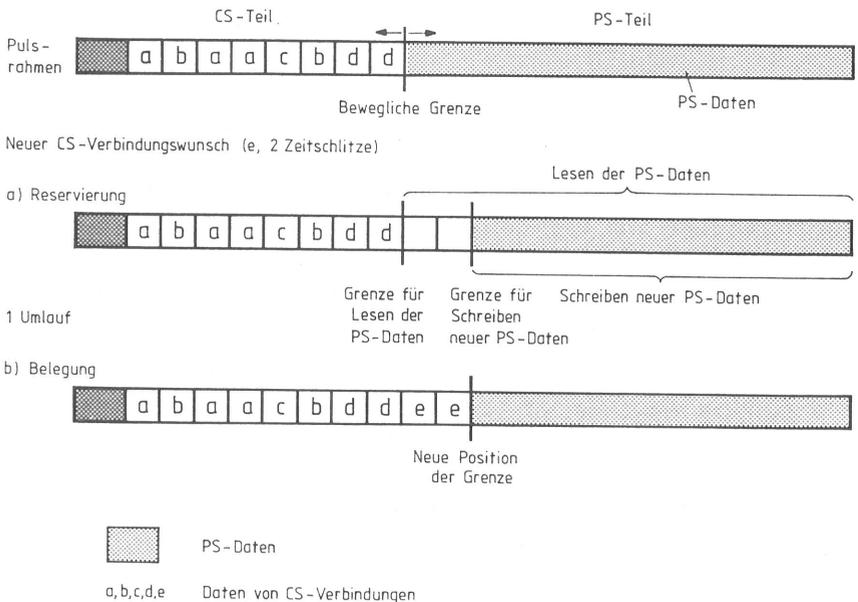


Bild 3.4: Verschieben der beweglichen Grenze

Bild 3.4 verdeutlicht diese Probleme der beweglichen Grenze am Beispiel einer neuen CS-Verbindung. Das Verschieben der Grenze erfolgt hier, indem während eines Pulsrahmens die Grenze für das Schreiben bzw. für das Lesen der PS-Daten getrennt wird.

### 3.2.2.3 Beispiele für die Anwendung dieser Integrationsprinzipien

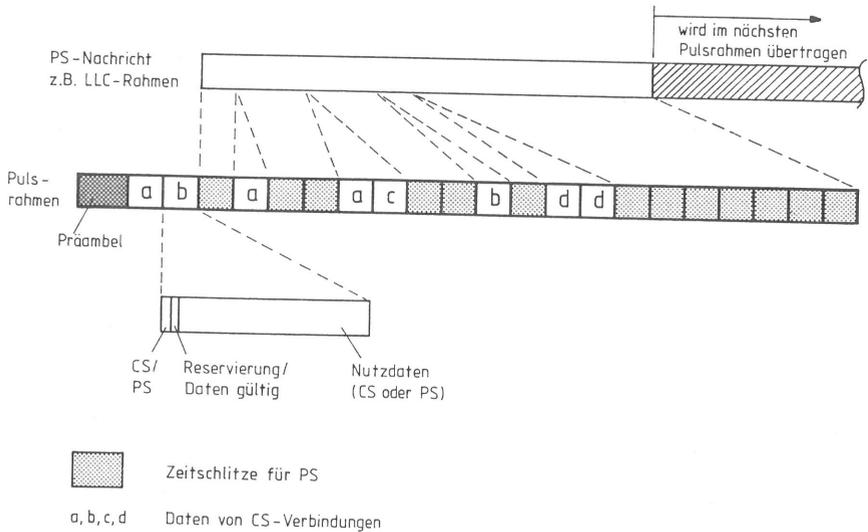
Die Integration von CS- und PS-Verkehr durch eine Teilung des Pulsrahmens ist seit über einem Jahrzehnt bekannt und wird als Multiplexprinzip beschrieben zur Anwendung auf einzelnen Leitungen /59, 86, 72/. In verteilten Systemen (Ring-LAN) wird dieses Verfahren ebenfalls angewandt, wie z.B. in den Systemen LCT 6500, bzw. Charthage /32, 70, 62, 26/, einem Projekt der Fa. Siemens /25/ oder im Normungsvorschlag FDDI2 (Hybrid) von ANSI. Allerdings sind über die Fragen der Organisation und Verwaltung der beweglichen Grenze bisher keine Veröffentlichungen bekannt.

### 3.2.3 Überlappender Zugriff auf Zeitschlitz (Slotted Ring)

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Verfahren des geteilten Rahmens gehen die folgenden Integrationsprinzipien von einer Zeitschlitzstruktur auf dem gesamten Rahmen bzw. Ring aus (Slotted Ring). Der CS-Verkehr kann jeden beliebigen Zeitschlitz belegen, wobei die maximale Anzahl gleichzeitiger CS-Verbindungen durch das Vergabeverfahren begrenzt werden muß. Alle nicht mit CS-Verbindungen belegten, freien Zeitschlitzzeilen können für PS-Daten benutzt werden. Diese Zuteilung kann nach zwei Prinzipien erfolgen: Zusammenfassen aller "freien" Zeitschlitzzeilen zu einem PS-Kanal, oder freier Zugriff aller Stationen auf die voneinander unabhängig benutzbaren Zeitschlitzzeilen für PS-Daten. Beide Prinzipien erlauben stets die vollständige Ausnutzung der gesamten Nutzbandbreite, unabhängig von der momentanen Verkehrsaufteilung, sowie eine dynamische Anpassung der Aufteilung an das aktuelle Belastungsprofil.

### 3.2.3.1 Verkettung freier Zeitschlitzte zu einem PS-Kanal

Die Verkettung aller, vom CS-Verkehr nicht belegter (freier) Zeitschlitzte eines Pulsrahmens erfordert eine Kennung für jeden Zeitschlitz, die den augenblicklichen Verkehrstyp anzeigt. Eine Markierung in jedem Zeitschlitz kann z.B. alle Zeitschlitzte mit CS-Verkehr unterscheiden, so daß alle Stationen korrekt auf PS-Daten zugreifen können.



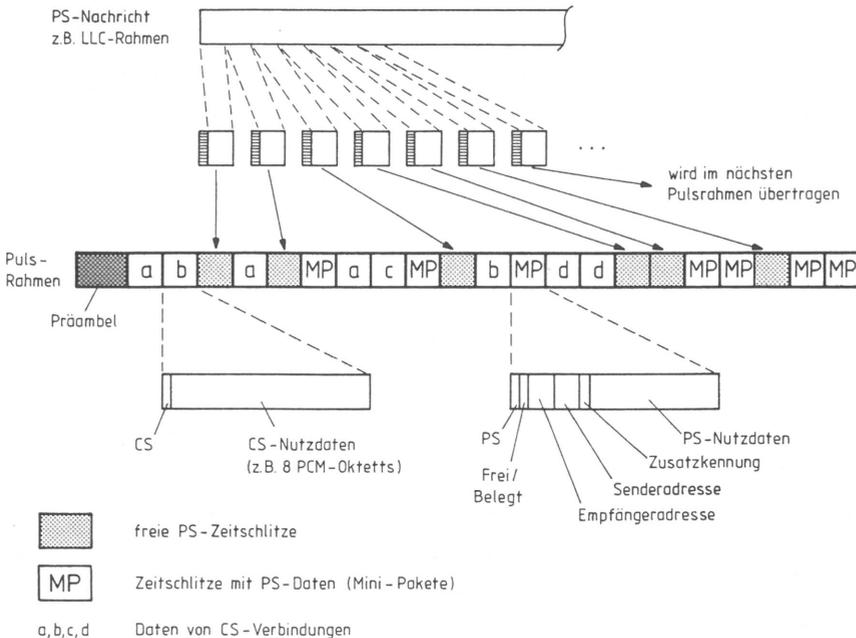
**Bild 3.5:** CS/PS-Integration auf einer Zeitschlitz-Struktur:  
Verkettung freier Zeitschlitzte zu einem Paketkanal

Die Probleme bei diesem Verfahren sind vergleichbar mit denen bei der Integration mittels einer verschiebbaren Grenze. Der Aufbau neuer CS-Verbindungen erfordert das Verdrängen gerade übertragener PS-Daten, während der Abbau einer CS-Verbindung und das Freigeben des betreffenden Zeitschlitzes so geschehen muß, daß nicht plötzlich neue, mit ungültigen Daten gefüllte Zeitschlitzte in die Folge einer PS-Übertragung eingebunden werden. Bild 3.5 verdeutlicht die Verkettung aller freien Zeitschlitzte zu einem PS-Kanal und zeigt außerdem die Grundstruktur eines Zeitschlitzes.

### 3.2.3.2 Wahlfreier Zugriff des PS-Verkehrs: Mini-Pakete in Zeitschlitzen

Bei allen oben beschriebenen Integrationsprinzipien erfolgt die Regelung des Zugriffs der Stationen auf die freie PS-Bandbreite nach dem Token Passing-Prinzip. Die Länge der übertragenen Nachrichten ist vom Zugriffsverfahren her nicht direkt begrenzt, eine Längenbegrenzung ist dennoch für einen gerechten Protokollablauf notwendig.

Im Gegensatz dazu steht das vierte Integrationsprinzip. Zwar können auch hier CS-Verbindungen in allen Zeitschlitzen des Pulsrahmens etabliert werden, die verbleibende PS-Bandbreite wird aber nicht wie bei allen anderen beschriebenen Verfahren einer Station (durch das Token) zugeteilt, sondern sie kann von allen Stationen gleichzeitig benutzt werden. Die Basis dafür bildet eine durchgängige Zeitschlitzstruktur auf dem gesamten Pulsrahmen.



**Bild 3.6:** CS/PS-Integration auf einer Zeitschlitz-Struktur: Parallele Paketkanäle auf Zeitschlitzbasis für Mini-Pakete

Die Nachrichten eines Endsystems, die an eine Ringstation zur Übertragung angeliefert werden, (z.B. LLC-PDU, Logical Link Control - Protocol Data Unit; Protokoll-Dateneinheit der Schicht 2b) werden zuerst in einheitlich große und individuell adressierte Datenblöcke formatiert, die genau einen Zeitschlitz des Pulsrahmens ausfüllen. Diese Datenblöcke werden im folgenden Mini-Pakete genannt. Das Zugriffsverfahren erfordert in jedem Zeitschlitz eine Kennung, ob dieser Zeitschlitz einer CS-Verbindung zugeordnet ist oder dem PS-Verkehr zur Verfügung steht. Weiterhin muß markiert sein, ob ein Zeitschlitz gerade gültige Daten (ein Mini-Paket) enthält oder unbenutzt (frei) ist. Mini-Pakete werden unabhängig voneinander übertragen und vermittelt; sie tragen deshalb einen Kopf mit den Adressen der Empfänger- sowie der Sender-Station. Eine weitere Zusatzkennung ermöglicht die eindeutige Rekonstruktion der ursprünglichen LLC-PDU aus den empfangenen Mini-Paketen. In Bild 3.6 sind die Formate und deren Umsetzung näher dargestellt.

Eine Station am Ring, die Mini-Pakete absenden möchte, überprüft die vorbeiziehenden Zeitschlitze des Pulsrahmens. Sobald ein Zeitschlitz mit der Kennung "PS" und "Frei" erkannt wird, kann diese Station ein eigenes Mini-Paket aussenden. Dieses Verfahren ist bekannt als "Empty Slot (Access)" z.B. vom Pierce Ring, vom Cambridge-Ring /69, 61, 66/ oder vom IEEE-Vorschlag 802.6 (von 1985) /47/, siehe Kap. 3.2.4.

Für die Freigabe der Zeitschlitze sind zwei Alternativen möglich:

1. Freigabe durch den Sender der Nachricht nach einem Umlauf.

Alle Stationen kopieren aus dem vorbeiziehenden Pulsrahmen die Stationsadressen der Mini-Pakete und vergleichen sie mit der eigenen Adresse. Nur die Zielstation kopiert sich das komplette Mini-Paket, während alle anderen die Information wieder verwerfen.

Eigenschaften:

- Der Rückweg der Information kann zur Prüfung der korrekten Übertragung beim Sender oder zur Quittierung durch den Empfänger in einem speziellen Quittungsfeld am Ende der Nachricht ausgenutzt werden.
- Die Latenzzeit einer Station (Durchlaufzeit des Signals) kann hierbei zum technischen Minimalwert (typisch 1 Bit) sinken, womit minimale Transferzeiten ermöglicht werden.
- Die Bandbreite für den Rückweg der Nachricht wird nicht für die eigentliche Übertragung benötigt und bleibt somit fast völlig unausgenutzt.

Weiterhin sind zwei Varianten für die Freigabe eines Zeitschlitzes bekannt: Der Sender gibt den Zeitschlitz mit der zurückgelaufenen Nachricht wieder frei und

- a) muß diesen Zeitschlitz leer weitergeben, oder
- b) dieser Zeitschlitz darf sofort wieder belegt werden.

Regelung a) garantiert einen gleichmäßigen Zugang aller sendewilligen Stationen, während b) eine bessere Ausnutzung, besonders bei einer sehr einseitigen Verkehrsbelastung, ermöglicht.

## 2. Freigabe des Zeitschlitzes durch den Empfänger.

In jeder Station muß hierbei der Datenstrom so lange verzögert und zwischengespeichert werden, bis der Nachrichtenkopf mit dem Adressfeld geprüft wurde. Der Empfänger muß danach die Frei/Belegt-Anzeige im Zeitschlitz-Kopf verändern, d.h. dieser Teil muß noch in der Station gepuffert sein.

Eigenschaften:

- Die große Latenzzeit (entsprechend dem Adressfeld) erzwingt lange Signal-Umlaufzeiten im Ring; dies bedingt auch relativ hohe minimale Transferzeiten.

- Quittungen müssen in eigenen Mini-Paketen übertragen werden.
- Nachrichten, die an mehrere oder alle Stationen gerichtet sind (multicast/broadcast), sind bei diesem Prinzip der Zeitschlitzfreigabe nicht möglich.
- Andererseits belegen Nachrichten nur die unbedingt benötigte Bandbreite vom Sender zum Empfänger.
- Nach dem Empfang eines Mini-Paketes kann in diesem Zeitschlitz sofort ein neues Mini-Paket gesendet werden.
- Die Auslastung des Rings ist stark von der Verteilung des Verkehrs und von den Verkehrsbeziehungen der einzelnen Stationen untereinander abhängig.

### 3.2.4 Normungsvorschlag IEEE 802.6

Im Zusammenhang mit diesen Integrationsprinzipien soll kurz der Normungsvorschlag der IEEE Project Group 802.6 "Metropolitan Area Network (MAN), Media Access Control" beschrieben werden, der 1985 entworfen und in einigen Teilen publiziert wurde /47, 51/<sup>(4)</sup>. Beschrieben wird ein Slotted Ring für CS- und PS-Verkehr, der für die Vernetzung größerer Bereiche geeignet sein soll; dazu können mehrere Ringe über Brücken (Bridges) miteinander gekoppelt werden. Für die Anpassung an heutige PCM-Systeme ist ein Rahmentakt von 125  $\mu$ s vorgesehen, so daß bei Netzen mit größeren Umlaufzeiten mehrere Rahmen hintereinander im Ring umlaufen.

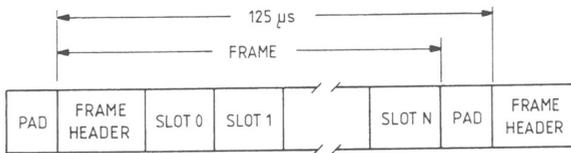
#### 3.2.4.1 Rahmenstruktur

Die Struktur eines Pulsrahmens (Frame) ist in Bild 3.7

---

(4) Aufgrund firmenpolitischer Umstrukturierungen wurde dieser Entwurf nicht weiter verfolgt. Im November 1986 erschien ein neuer Vorschlag eines diensteintegrierenden MAN als IEEE 802.6, Rev.A. Dieser basiert auf einem Slotted Frame für CS mit Token Passing für PS /48/.

gezeigt. Die Anzahl der Slots wird durch die Übertragungsbandbreite des Rings bestimmt, da die Größe eines Slots mit 77 Byte festgelegt ist; ein 10 Mbit/s Ring würde z.B. mit 2 Slots/Pulsrahmen betrieben werden, ein "Backbone-Ring" (43 Mbit/s) mit 8 Slots und ein 100 Mbit/s-Ring mit 20 Slots. Eine Station im Ring ist aktiver Monitor, d.h. sie erzeugt den Rahmen, sendet ihn periodisch aus, gleicht Laufzeitunterschiede aus, überwacht den PS-Verkehr und steuert den CS-Verkehr.



**Bild 3.7:** Format des Pulsrahmens nach Vorschlag IEEE 802.6

Ein Slot kann entweder isochrone (durchschaltevermittelte) oder nicht isochrone (paketvermittelte) Information übertragen. Die Unterscheidung erfolgt im Kopf des Zeitschlitzes (Slotheader, SH). Die Zuteilung einer isochronen Verbindung auf einen bestimmten Kanal (CH i) eines Slots erfolgt durch die Monitorstation nach einem Signalisierungsprotokoll. Ein isochroner Slot besteht aus 76 Kanälen zu je 64 kbit/s. Der Zugriff der Stationen auf einen isochronen Kanal wird nach dem Verbindungsaufbau dann nur noch durch die zeitliche Zuordnung gesteuert (Bild 3.8 links).

Beim paketvermittelten Verkehr werden die Dateneinheiten des Logical Link Control (LLC, Schicht 2b) der MAC-Instanz (Media Access Control, Einheit zur Steuerung des Kanalzugriffs) zur Übertragung angeliefert. Im Slot selbst können nur Segmente von 68 Byte übertragen werden, deshalb ist in der MAC-Instanz eine Einheit spezifiziert für die Zerteilung größerer LLC-SDUs (LLC-Service Data Units, bzw. LLC-IDU, LLC-Interface Data Units) vor dem Senden und für das Zusammenketten der Segmente eines Slots (MAC-PDU) zur ursprünglichen LLC-SDU nach dem Empfang. (Segmentation and Reassembly, SAR). Bild 3.8 zeigt rechts das Format eines Slots für nichtisochronen Verkehr und die Struktur einer MAC-PDU (Info-Feld). Der Slot-Header kann nur die 4 Werte

annehmen: "Empty", "Full", "Old" und "Isochronous".

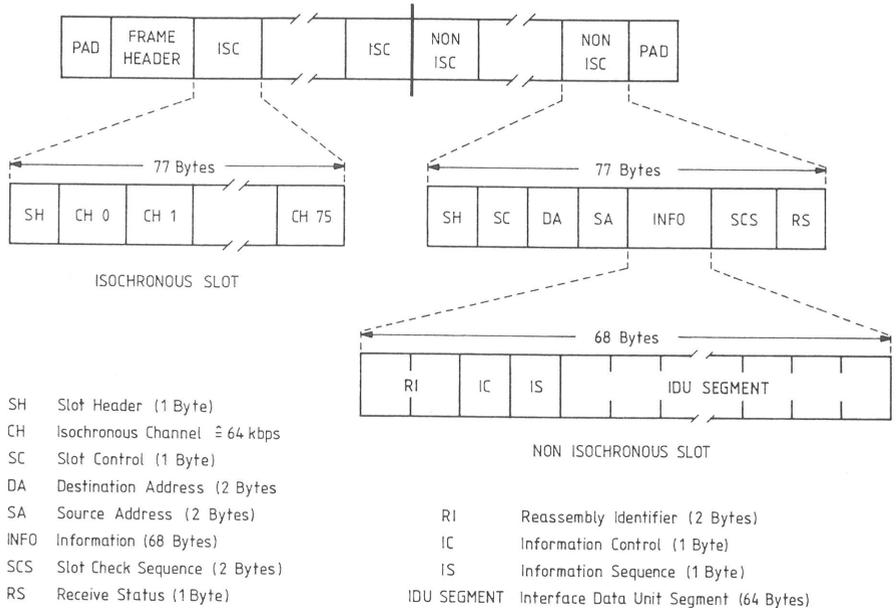


Bild 3.8: Aufbau der Zeitschlitz nach Vorschlag IEEE 802.6

### 3.2.4.2 Zugriffsprotokoll

Eine sendewillige Station (mit MAC-PDUs) muß auf einen "Empty"-Slot warten, der dann sofort belegt werden darf; der Slot-Header wird dabei auf "Full" gesetzt (Empty Slot Access). Die Empfänger-Station ist im Kopf des Slots angegeben, und sobald diese Station ihre eigene Adresse als Zieladresse erkennt, wird der Slot kopiert und an die Reassembly-Einheit (SAR) für die Rekonstruktion der Daten weitergegeben. Eine Zusatzkennung (Reassembly-Identifizier, RI) und Folgenummern ermöglichen neben der Adresse der sendenden Station den korrekten Zusammenbau der ursprünglichen LLC-SDU. Der Empfang wird im Receive-Status Feld am Ende des Slots angezeigt. Somit läuft der Slot zurück zum Sender, der für die Freigabe verantwortlich ist: Der Slot-Header wird auf "Empty" gesetzt und dann an die nachfolgende Station

weitergereicht.

Sind mehrere Pulsrahmen im Umlauf, so müssen alle eine identische Struktur aufweisen; jeder Rahmen trägt die gleichen CS-Kanäle, während der PS-Verkehr unabhängig von der Pulsrahmen-Struktur mit Slots arbeitet.

Der Monitor im Ring überwacht auch den nichtisochronen Verkehr. Um blockierten Slots vorzubeugen, wird jeder Slot-Header beim Passieren des Monitors von "Full" auf "Old" und von "Old" auf "Empty" geändert. Somit ist sichergestellt, daß bei einem Stationsfehler einzelne Slots nicht blockiert werden können. Er hat außerdem die Aufgabe, das System zu initialisieren, neue Stationen einzubinden und die aktuellen Systemparameter festzulegen. Auf all diese Funktionen soll hier aber nicht weiter eingegangen werden.

#### 3.2.4.3 Beurteilung des Slotted Rings nach IEEE 802.6 (1985)

Die Integration von CS- und PS-Verkehr (nach 802.6 Nomenklatur: isochronem und nicht isochronem Verkehr) ist von der Art der Rahmenaufteilung vergleichbar mit der oben beschriebenen Integration mit Mini-Paketen, (Kap. 3.2.3.2). Unterschiede sind:

- Die Größe eines Slots wird nicht vom CS-Verkehr bestimmt.
- Der Rahmentakt ist mit 125  $\mu$ s an heutige PCM-Systeme angepasst.
- 76 CS-Kanäle werden in einem (isochronem) Slot zusammengefasst, d.h. die Anpassung an die Bandbreite des CS-Verkehrs kann nur in diesen Stufen erfolgen.
- Im betrachteten Geschwindigkeitsbereich von ca. 10 Mbit/s können nur 2 Slots existieren. Daher kann, auch bei stark schwankenden Anforderungen der beiden Verkehrsarten, stets nur 1 Slot für CS-Verkehr und 1 Slot für PS-Verkehr benutzt werden; andernfalls würde entweder der CS-Verkehr blockiert oder es wäre keine Signalisierung für CS-Verbindungen (mit PS Nachrichten) mehr möglich.

Hier wird deutlich, daß dieser Normungsvorschlag zur Vernetzung größerer Gebiete mit wesentlich schnelleren Ringen gedacht ist. Für den Einsatz im lokalen Bereich ist dieser Vorschlag, mit den in /47/ spezifizierten Parametern, nicht optimal.

### 3.3 LEISTUNGSBEWERTUNG UND VERGLEICH

#### 3.3.1 Maximaler PS-Durchsatz

Für einen Vergleich der Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Integrationsprinzipien werden unter den folgenden Annahmen die oben beschriebenen Verfahren betrachtet. Als erstes Bewertungskriterium hierbei dient der maximal erreichbare PS-Durchsatz bei festem CS-Verkehr.

Allen Leistungsuntersuchungen sind die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

1. Allgemeine Parameter:

- Nutzdatenrate des Rings = 10 Mbit/s
- Angebot des CS-Verkehrs = 73 Erl, stationär
- 1 CS-Grundkanal = 1 Zeitschlitz (ZS)  $\hat{=}$  64 kbit/s
- 1 PS-Nachricht  $\hat{=}$  1024 bit
- Aufwand für Tokenübergabe vernachlässigt (nur bei Betrachtung des max. Durchsatzes)
- Synchronisationspräambel  $\hat{=}$  16 bit
- Rundsendekanal für Systemmeldungen  $\hat{=}$  16 kbit/s im Rahmenkopf

2. Parameter der einzelnen Integrationsprinzipien:

a) Feste Grenze

- Verlustwahrscheinlichkeit für CS:  $B=1\%$
- CS-Verkehr erfordert 88 Zeitschlitz (nach Erlangs Formel  $E_{1,n}$ )

b) Bewegliche Grenze

- Kein Umordnen bestehender CS-Verbindungen
- CS-Verkehr erfordert 83 ZS im Mittel
- Praktisch keine Verluste für CS
- 16 bit im Kopf des Pulsrahmens zur Kennzeichnung der Position der Grenze

- c) Slotted Ring mit Zeitschlitzverketzung
- CS-Verkehr erfordert 73 ZS im Mittel
  - Praktisch keine Verluste für CS
  - Steuerkopf/ZS: 2 bit für CS/PS und Frei/Belegt
  - 2 Zusätzliche Synchronisationsbit für jeden Zeitschlitz im Pulsrahmen ab 10000 bit Länge (ab 1 ms Rahmendauer)
- d) Slotted Ring mit Mini-Paketen
- 1 Mini-Paket  $\hat{=}$  1 ZS
  - CS-Verkehr erfordert 73 ZS im Mittel
  - Praktisch keine Verluste für CS
  - Steuerkopf/ZS: 2 bit für CS/PS und Frei/Belegt
  - 2 Zusätzliche Synchronisationsbit für jeden Zeitschlitz im Pulsrahmen ab 10000 bit Länge (ab 1 ms Rahmendauer)
  - Adreßkopf pro Mini-Paket = 16 bit
  - Symmetrischer Verkehr von allen Stationen

Beim Slotted Ring mit Mini-Paketen werden bei der Durchsatzbeurteilung als Alternativen gegenübergestellt:

- Entnahme eines Mini-Pakets beim Empfänger, sofortiges Wiederbelegen möglich. Die Mehrfachausnutzung eines Zeitschlitzes wird durch  $\alpha$  ausgedrückt, ( $\alpha = 2$  in symmetrisch belasteten Systemen). Die vollständige Definition und Herleitung des Faktors  $\alpha$  erfolgt im Kapitel 5.
- Entnahme eines Mini-Pakets beim Sender, freigegebener Zeitschlitz muß leer weitergegeben werden, 10 Stationen im Ring ( $\alpha = 0.9$ ).

Der Einfluß der Segmentierung soll mit den beiden Fällen demonstriert werden:

- a) 1 Nachricht (1024 bit, konstant) wird jeweils übertragen, Rest des letzten Mini-Pakets bleibt leer.
- b) Unbegrenzt viele Nachrichten, auf Mini-Pakete ohne Verschnitt verteilt.

In Bild 3.9 sind für Rahmendauern von 125  $\mu$ s bis 16 ms die oben erwähnten Integrationsprinzipien miteinander verglichen.

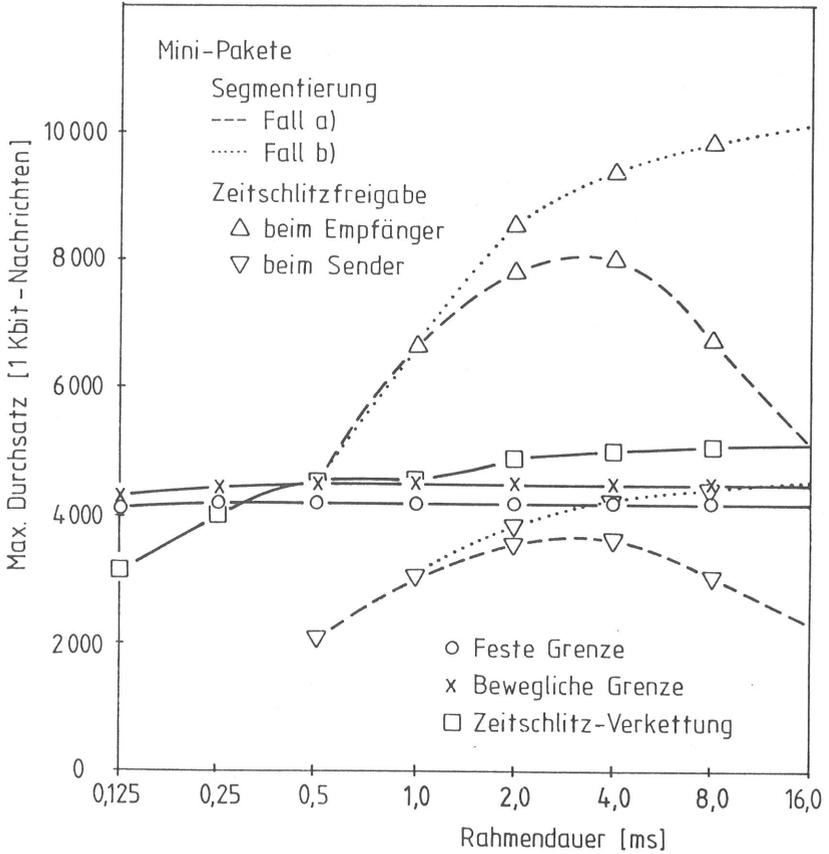


Bild 3.9: Vergleich des maximalen PS-Durchsatzes der betrachteten Integrationsprinzipien bei verschiedenen Rahmendauern

Die Berechnung erfolgt mit den folgenden Beziehungen:

$$\text{ZS-Nutzgröße} = \text{Rahmendauer} * 64 \text{ kbit/s} \quad (3.1)$$

$$\text{Max. Rahmenlänge} = \text{Übertragungsrate} * \text{Rahmendauer} \quad (3.2)$$

$$\text{Rahmensteuerfeldlänge} = \text{Präambel} + (\text{Rundsendekanal-Datenrate} * \text{Rahmendauer}) \quad (3.3)$$

$$\text{ZS/Rahmen} = \text{trunc} \left\{ \frac{\text{Max. Rahmenlänge} - \text{Rahmensteuerfeldlänge}}{\text{ZS-Nutzgröße} + \text{ZS-Steuerfeldlänge}} \right\} \quad (3.4)$$

Rahmendauer	(ms)	0.125	0.250	0.500	1.0	2.0	4.0	8.0	16.0
ZS-Nutzgröße	(bit)	8	16	32	64	128	256	512	1024
<b>Feste Grenze</b>									
ZS/Rahmen		154	155	155	155	155	155	155	155
ZS für PS-Verkehr		66	67	67	67	67	67	67	67
PS-Durchsatz	(P/s)	4125	4187	4187	4187	4187	4187	4187	4187
<b>Bewegliche Grenze</b>									
ZS/Rahmen		152	154	155	155	155	155	155	155
ZS für PS-Verkehr		69	71	72	72	72	72	72	72
PS-Durchsatz	(P/s)	4312	4437	4500	4500	4500	4500	4500	4500
<b>Zeitschlitzverketzung</b>									
ZS/Rahmen		123	137	146	146	151	153	154	155
ZS für PS-Verkehr		50	64	73	73	78	80	81	82
PS-Durchsatz	(P/s)	3125	4000	4562	4562	4875	5000	5062	5125
<b>Mini-Pakete</b>									
ZS/Rahmen	Mini-Pakete		146	146	151	153	154	155	
ZS für PS-Verkehr	nicht anwendbar		73	73	78	80	81	82	
ZS/Nachricht	(Fall a)		64	22	10	5	3	2	
ZS/Nachricht	(Fall b)		64	21.33	9.14	4.27	2.06	1.01	
PS-Durchsatz (P/s)	( $\alpha = 0.9$ , Fall a)		2053	2986	3510	3600	3038	2306	
PS-Durchsatz (P/s)	( $\alpha = 0.9$ , Fall b)		2053	3080	3840	4215	4424	4567	
PS-Durchsatz (P/s)	( $\alpha = 2$ , Fall a)		4562	6636	7800	8000	6750	5125	
PS-Durchsatz (P/s)	( $\alpha = 2$ , Fall b)		4562	6844	8534	9368	9830	10149	

**IEEE 802.6**

PS-Durchsatz 3600 (10 Stationen, CS: B=6%, Keine Adaption möglich)

Annahmen: siehe Text

(ZS = Zeitschlitz)

**Tabelle 3.1:** Vergleich des maximalen PS-Durchsatzes der Integrationsprinzipien bei verschiedenen Rahmendauern

Für Prinzipien mit Token-Protokoll:

$$\text{Max. PS-Durchsatz} = \frac{\text{ZS für PS-Verkehr} * 64 \text{ kbit/s}}{\text{Nachrichtenlänge}} \quad (3.5)$$

Für Mini-Paket-Protokolle:

$$\text{Max. PS-Durchsatz} = \frac{\text{ZS für PS-Verkehr} * \alpha}{\text{ZS/Nachricht} * \text{Rahmendauer}} \quad (3.6)$$

In Tabelle 3.1 sind die numerischen Ergebnisse des Vergleichs der Integrationsverfahren gegenübergestellt. Für Rahmendauern von 125  $\mu$ s bis 16 ms sind zuerst die Anzahl der Zeitschlitze des Pulsrahmens sowie die für PS verfügbaren Zeitschlitze aufgelistet. Die unterschiedlichen Werte ergeben sich aus den unterschiedlichen Steuerinformationen gemäß der oben genannten Voraussetzungen. Daraus wurde, unter Vernachlässigung der Token-Übergabezeit, der maximale PS-Durchsatz in 1 Kbit-Paketen/s (P/s) bestimmt. Da bei Mini-Paketen die Segmentierung den maximalen PS-Durchsatz beeinflussen kann, sind die oben beschriebenen Fälle (a) / (b) ebenfalls enthalten. Die Auswertung dieser Ergebnisse erfolgt im Abschnitt 4.1.1.

### 3.3.2 Zeittreue Verkehrssimulation zur Leistungsbewertung

Genauere Aussagen über die Leistungsfähigkeit eines Systems, das nach einem der oben beschriebenen Integrationsverfahren arbeitet, sind mit Hilfe eines detaillierten Simulationsmodells möglich. Diese Simulation ist im Kapitel 5 ausführlich beschrieben, dennoch sollen hier für den Vergleich der Integrationsprinzipien einige Ergebnisse vorweggenommen werden. Insbesondere werden hier die mittleren Wartezeiten einer paketvermittelten Nachricht als Kriterium herangezogen. Der CS-Verkehr ist statisch angenommen worden, um mit hinreichend kleinen Rechnerlaufzeiten statistisch aussagekräftige Ergebnisse für den PS-Verkehr zu erhalten. Im Kapitel 5 wird gezeigt, daß die Ergebnisse dadurch nicht verfälscht werden.

### 3.3.2.1 Integrationsprinzipien mit Token Passing-Zugriffsverfahren

Die drei Integrationsverfahren, bei denen zu jedem Zeitpunkt nur eine Station, gesteuert nach dem Token Passing-Prinzip, PS-Informationen aussenden darf, werden zuerst untersucht. Hierbei soll der Einfluß des Rahmentakts auf die Leistungsfähigkeit des Systems dargestellt werden. Die Voraussetzungen entsprechen denen in Kapitel 3.3.1, jedoch werden nur Rahmentakte im Bereich von 125 µs bis 1 ms betrachtet. Die Abfertigung an einer Station erfolgt erschöpfend, d.h. sie darf solange senden, bis der Sendespeicher geleert ist.

#### 3.3.2.1.1 Integration mit fester Grenze

Die Integration von CS- und PS-Verkehr durch eine Teilung des Pulsrahmens führt im Sonderfall einer festen Aufteilung zu einem sehr einfachen System. Es ist keinerlei Aufwand für die Verwaltung der Grenze erforderlich, insbesondere muß keine Steuerinformation zur Lokalisierung der Grenze laufend übertragen werden. Die mittlere Wartezeit für den Kanalzugriff einer 1 Kbit-Nachricht in einer Ringstation ist in Bild 3.10 über der Gesamtankunftsrate aufgetragen. Es gelten weiterhin die oben genannten Voraussetzungen.

Die relativ hohe Grundwartezeit bei sehr geringer Belastung des Systems erklärt sich durch zwei Effekte:

1. Im Mittel muß die halbe Token-Umlaufzeit abgewartet werden, bis (auch im sonst leeren System) eine Station senden darf. Bei allen hier vorgestellten Simulationsergebnissen wird das Token sofort nach dem Ende einer Nachricht weitergereicht; die minimale Umlaufzeit ergibt sich wegen der Speicherung des Rahmens in den Stationen zu:

$$\text{Min. Token-Umlaufzeit} = \text{Rahmendauer} + N * \text{Token-Latenzzeit} \quad (3.7)$$

mit: N = Anzahl aktiver Ringstationen  
Token-Latenzzeit = Zeit für Weitergabe des Tokens, wenn keine Nachrichten vorliegen.

- Die Unterbrechung der PS-Übertragung durch den CS-Teil des Pulsrahmens addiert eine zusätzliche Verzögerungszeit, die von der Länge des CS-Teils abhängt.

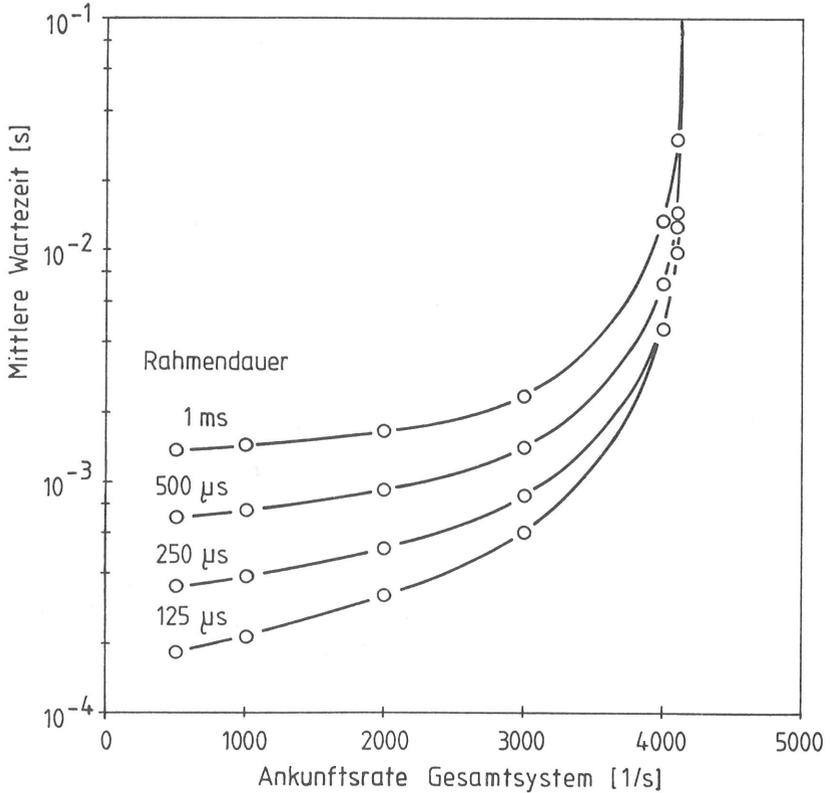


Bild 3.10: Mittlere Wartezeit einer Nachricht bei der Integration mit fester Grenze im Pulsrahmen

Der entscheidende Nachteil dieses Integrationsverfahrens ist aber, daß die Bandbreite des Mediums fest aufgeteilt ist und nicht dynamisch an wechselnde Anforderungen adaptiert werden kann. Dieses System ist trotz der einfachen Verwaltung nur dann empfehlenswert, wenn

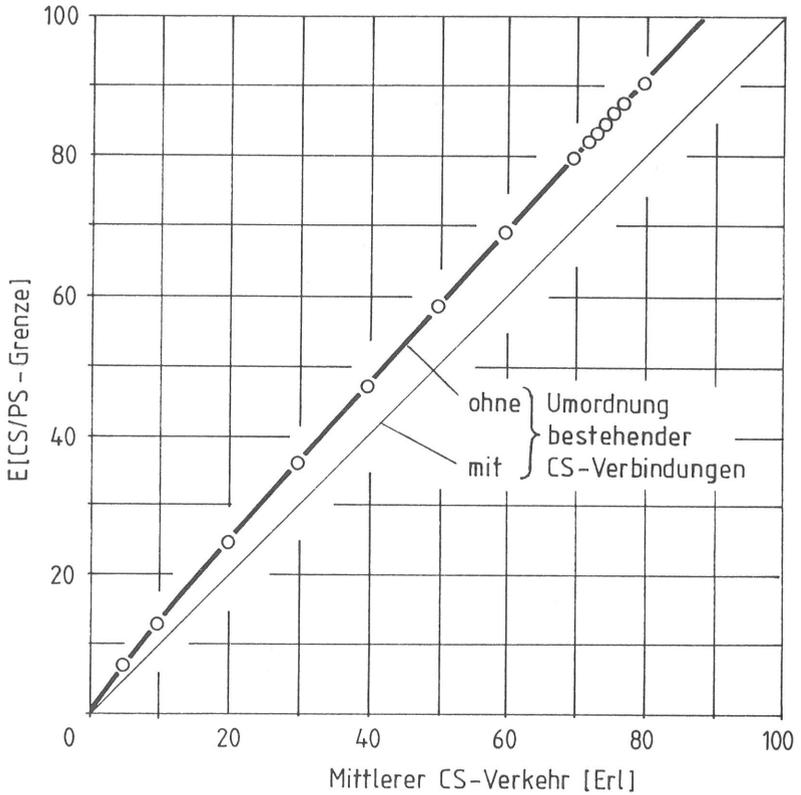
- a) eine gleichbleibende Aufteilung des Verkehrsaufkommens vorherrscht und
- b) genügend schnelle und leistungsfähige Übertragungs- und Anschlußsysteme vorhanden sind, die vorhandene Bandbreite also nicht optimal genutzt werden muß.

### 3.3.2.1.2 Integration mit beweglicher Grenze

Bei der Integration mittels einer beweglichen Grenze sind zuerst die Varianten dieses Verfahrens gegeneinander abzuwägen. Dem Vorteil der vollständigen Ausnutzbarkeit des Pulsrahmens durch Umordnung bestehender CS-Verbindungen steht ein deutlich höherer Implementierungsaufwand gegenüber. Bei Systemen ohne Umordnung der CS-Verbindungen ist die augenblickliche Position der Grenze also vom CS-Belegungsmuster abhängig. Sie ist stets im Kopf des Rahmens angegeben (je 8 bit für Grenze beim Lesen / Schreiben, vgl Kap. 3.2.2.2).

Die exakte, analytische Bestimmung einer beweglichen Grenze ist für reale Systeme praktisch nicht zu handhaben. Für den einfacheren Fall einer Multiplexleitung, die mit Umordnung der CS-Verbindungen betrieben wird, sind in der Literatur zahlreiche Lösungsansätze bekannt. Ein guter Überblick ist von Konheim und Reiser (/52/) erarbeitet worden. Zahlreiche Lösungsansätze für dieses Problem sind zu finden in /59, 27, 84, 67, 54, 60, 4, 71, 40/, doch auch diese Verfahren ermöglichen nicht die exakte numerische Auswertung für Systeme mit mehr als 100 Zeitschlitzen.

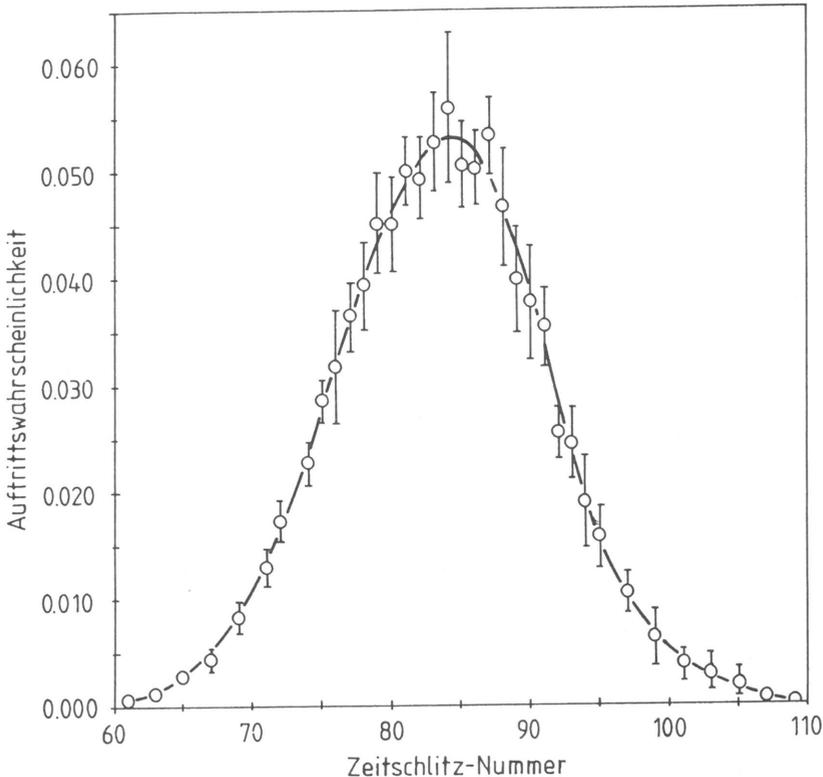
In realen Systemen ohne Umordnung ist die exakte Bestimmung der Grenze ebenfalls nicht durchführbar, da die Anzahl der Zustandsgleichungen mit der Anzahl der Zeitschlitze exponentiell zunimmt. Allerdings kann der Erwartungswert für die Größe des CS-Teils in Systemen ohne Umordnung bestimmt werden. Das Modell ist ein vollkommen erreichbares Bündel mit Absuche von der Nullstellung aus. Dieser Erwartungswert der höchsten belegten Leitung wurde zunächst simulativ gewonnen, später konnte dann in /17/ im Modell der Speicherfragmentierung eine Lösung für genau dieses Problem gefunden werden. Beide Ergebnisse stimmen sehr gut überein.



**Bild 3.11:** Erwartungswert für die Position der CS/PS-Grenze bei der Integration mit beweglicher Grenze im Pulsrahmen

Bild 3.11 gibt den Zusammenhang zwischen mittlerem CS-Verkehr und dem Erwartungswert der Grenze wieder. Speziell für den hier betrachteten Fall (CS-Verkehr = 73 Erl.) ergibt sich die Position der Grenze im Mittel zu 83,5. Außerdem zeigt dieses Bild zum Vergleich auch den Erwartungswert der Grenze bei einer vollkommenen Umordnung der CS-Verbindungen, ohne ungenutzte Zeitschlitze im CS-Teil des Pulsrahmens also. Der Gewinn an Bandbreite bei einer Umordnung bestehender CS-Verbindungen ist also relativ gering (ca. 15% bei diesen Parametern) und muß mit den dafür notwendigen Aufwendungen für die Organisation der Umordnung, die insbesondere in verteilten Systemen für die Synchronisation der Neuordnung der Zeitschlitze notwendig sind, genau

abgewogen werden. Eine Umordnung bestehender CS-Verbindungen kann also nur in Sonderfällen empfehlenswert sein.



**Bild 3.12:** Auftretswahrscheinlichkeit der CS/PS-Grenze bei der Integration mit beweglicher Grenze im Pulsrahmen

In Bild 3.12 ist zusätzlich für einen CS-Verkehr von 73 Erl. die Auftretswahrscheinlichkeit der CS/PS-Grenze für die einzelnen Zeitschlitzze gezeigt. Auch diese Werte wurden simulativ ermittelt; eingetragen sind die 95%-Vertrauensintervalle.

Analog zum System mit einer festen Aufteilung des Pulsrahmens wurde auch hier mit identischen Randbedingungen eine Verkehrssimulation zur Leistungsbewertung durchgeführt. Bild 3.13 gibt die Wartezeiten einer 1 Kbit-Nachricht für Rahmentakte von 125  $\mu$ s bis 1 ms wieder. Unter den gegebenen - statischen - Randbedingungen unterscheiden sich die Ergebnisse kaum von Bild 3.10, den Ergebnissen einer festen Aufteilung. Lediglich die

geringfügig höhere mittlere PS-Kapazität führt zu etwas kleineren Wartezeiten im Hochlastfall. Die Erklärungen für dieses Leistungsverhalten können von oben übernommen werden.

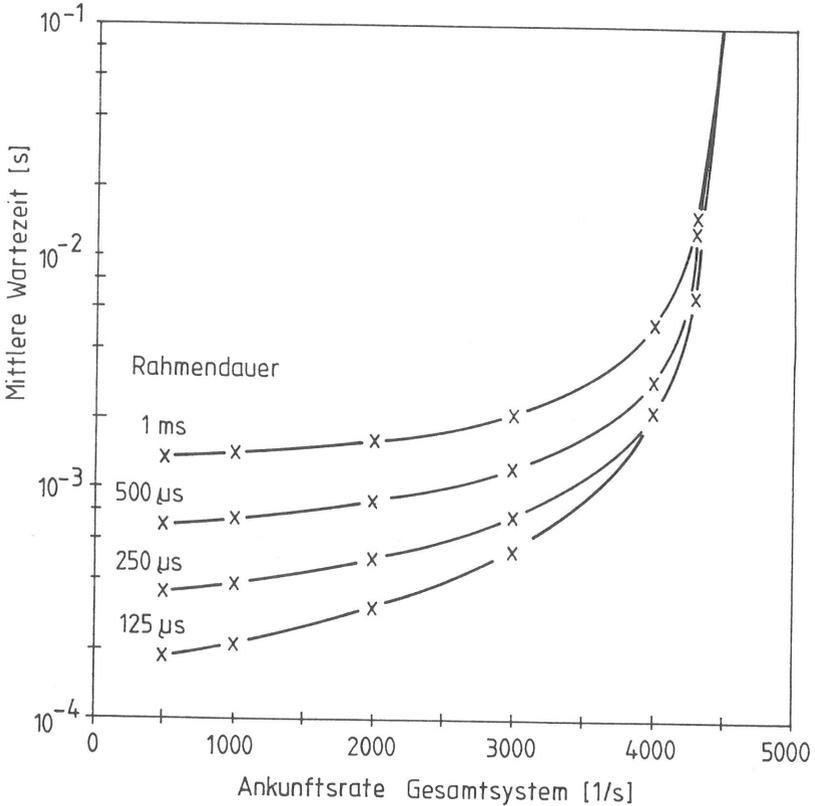


Bild 3.13: Mittlere Wartezeit einer Nachricht bei der Integration mit beweglicher Grenze im Pulsrahmen

Der signifikante Unterschied der beiden diskutierten Systeme beruht aber auf der Flexibilität, die ein System mit einer variablen Rahmenaufteilung mit sich bringt. Auch unter stark schwankenden Verkehrsaufkommen kann jeder Verkehrsart ein entsprechender Anteil der Gesamtbandbreite zur Verfügung gestellt werden.

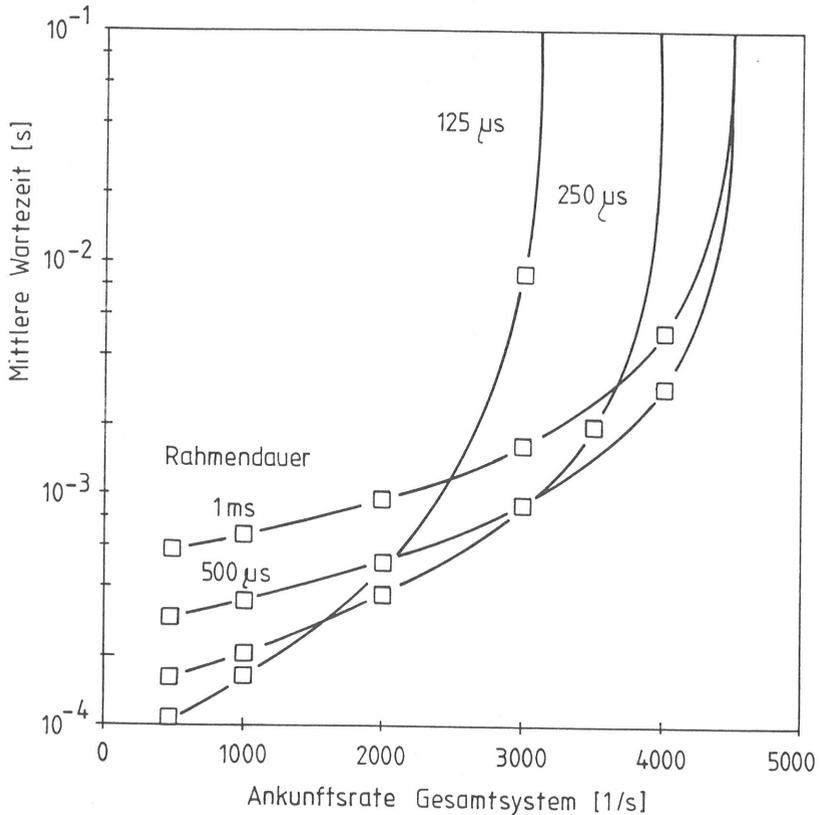
### 3.3.2.1.3 Verkettung freier Zeitschlitz

Die Integration von CS- und PS-Verkehr mittels Zeitschlitzverkettung ermöglicht stets die Belegung aller Zeitschlitz des Pulsrahmens. Deshalb müssen Zeitschlitz, die CS-Verkehr enthalten, mit einer Kennung vor dem Zugriff des PS-Verkehrs geschützt werden. Ebenso muß ein Zeitschlitz für die Neubelegung mit dem anderen Verkehrstyp mit einer weiteren Kennung reserviert werden. Dies erfordert 2 zusätzliche Bit in jedem Zeitschlitz, so daß die Anzahl der Zeitschlitz im Pulsrahmen kleiner wird im Vergleich zu den beiden Integrationsverfahren mit einem geteilten Rahmen. Außerdem ist zur Erhöhung der Systemsicherheit bei sehr langen Pulsrahmen eine zusätzliche Kontrolle der Rahmensynchronisation empfehlenswert, die für Rahmendauern größer 1 ms (Pulsrahmen ab 10000 bit) mit 2 bit je Zeitschlitz zusätzlich die Steuerinformation vergrößern. Diese 2 Synchronisationsbits jedes Zeitschlitzes erlauben schon nach wenigen Zeitschlitz einen eventuellen Fehler in einer Ringstation zu erkennen und diese Station aus dem Zugriffsverfahren auszugrenzen.

Tabelle 3.1 zeigt für die hier betrachteten Systeme den Einfluß der zusätzlichen Steuerinformation auf die Anzahl der für PS-Verkehr verfügbaren Zeitschlitz. Hierbei wird deutlich, daß dieses Integrationsprinzip eher für größere Rahmendauern (ab 0,5 ms zum Bsp.) geeignet ist. Bild 3.14 gibt die Ergebnisse der Verkehrssimulationen diese Prinzips wieder.

Im unbelasteten System resultiert die mittlere Wartezeit einer 1 Kbit-Nachricht in einer Ringstation jetzt nur noch aus der mittleren Wartezeit auf die Sendeberechtigung (Token). Der CS-Verkehr ist hierbei auf dem ganzen Pulsrahmen verteilt. Der maximal erreichbare PS-Durchsatz ist aber für kleinere Rahmendauern deutlich geringer, und somit steigen die Wartezeiten für 125 und 250  $\mu$ s Rahmendauer schon sehr schnell an. Obwohl alle Zeitschlitz des Pulsrahmens immer belegt werden können, so zeigt ein System mit diesem Integrationsverfahren nur bei sehr großen Rahmendauern geringe Vorteile zum Verfahren mit einer beweglichen Grenze, da der zusätzliche Steuerungsaufwand je Zeitschlitz nur bei sehr großen Zeitschlitz relativ gering wird und durch die bessere Belegungsmöglichkeit aller Zeitschlitz kompensiert

werden kann.



**Bild 3.14:** Mittlere Wartezeit einer Nachricht bei der Integration durch Verkettung freier Zeitschlitzte zu einem Paketkanal

### 3.3.2.2 Slotted Ring mit Mini-Paketen

Beim Vergleich des maximalen PS-Durchsatzes im Kap. 3.3.1 wurden für den Slotted Ring mit Mini-Paketen die beiden Varianten für die Freigabe der Zeitschlitzte diskutiert:

1. Freigabe der Zeitschlitzte durch den Empfänger einer PS-Nachricht und sofortige Neubelegung dieses Zeitschlitztes, wenn PS-Daten vorliegen, oder

2. Freigabe der Zeitschlitz durch den Sender einer PS-Nachricht und Weitergabe des freigegebenen Zeitschlitzes.

In Bild 3.9 ist zu sehen, daß die Entnahme der Mini-Pakete beim Empfänger einen deutlich höheren maximalen PS-Durchsatz erlaubt. Die prinzipiellen Unterschiede der beiden Alternativen zur Freigabe belegter Zeitschlitz wurden in Kap. 3.2.3.2 dargestellt. Für die Anwendung in einem diensteintegrierenden Ring ergeben sich die folgenden Aspekte zur Wahl der ersten Protokoll-Variante:

Die Entnahme von Mini-Paketen beim Empfänger bedingt, daß der vollständige Adresskopf eines Mini-Paketes in jeder Station zwischengespeichert werden muß, damit nach einem Adressenvergleich eventuell dieser Zeitschlitz noch freigeschaltet werden kann. In diesem Kontext sind hierbei zu beachten:

- Die Länge des synchron umlaufenden Pulsrahmens ist durch die Bandbreite eines CS-Grundkanals (64 kbit/s in einem Zeitschlitz), die Länge eines Zeitschlitzes und durch die Datenrate im Ring festgelegt. Für die hier betrachteten Anwendungen mit ca. 10 Mbit/s Datenrate bedeutet dies, daß erhebliche Teile des Pulsrahmens in den Stationen zwischengespeichert werden müssen. Die Summe der Latenzzeiten aller Ringstationen muß dem Rahmentakt entsprechen.
- Vor mehreren Jahren galt die Diskussion der Leistungsfähigkeit eines LANs primär den Transferzeiten auf MAC-Ebene. Um diese möglichst gering zu halten, wurde meist mit einer minimalen Latenzzeit (typ. 1 bit) gearbeitet. Bei der Betrachtung vollständiger Kommunikationssysteme verlieren aber die (meist sehr kleinen) Transferzeiten stark an Bedeutung, da in den protokollbearbeitenden Instanzen der höheren Schichten bei den meisten Implementierungen deutlich größere Wartezeiten auftreten. Größere Latenzzeiten, die etwas höhere Transferzeiten bedingen, sind also durchaus tolerierbar, sofern das System einen ausreichend hohen maximalen Durchsatz aufweist.

- Obwohl ein Ring für den Einsatz optischer Übertragungstechnik prädestiniert ist, sollte doch die Bandbreite des Systems ökonomisch genutzt werden und nicht zu hoch angelegt sein. Zur Zeit müssen die Zugriffseinheiten der Stationen elektrisch arbeiten, da optische Schalter nur in den Forschungslabors existieren und noch nicht im realen Einsatz handhabbar sind. Weiterhin sind die Marktpreise der schnellen optischen Übertragungssysteme noch relativ hoch, da vor und nach jeder Station eine optisch/elektrische bzw. elektrisch/optische Wandlung notwendig ist. Alternativ dazu können entweder "normale" Koaxialkabel eingesetzt werden, die auch größere Reichweiten erlauben, oder, im Entfernungsbereich bis mehrere 100 m, können Bandbreiten bis 10 Mbit/s auf Kupfer-Doppeladern (Telefon-Verkabelung) übertragen werden. Deshalb ist eine sehr gute Ausnutzung der installierten Übertragungsbandbreite wie z.B. durch die Freigabe der Zeitschlitzbe beim Empfänger auch weiterhin wichtig.

Andererseits gibt Bild 3.9 auch deutlich den Einfluß des Rahmentaktes auf den maximalen PS-Durchsatz wieder. Zu kurze Zeitschlitzbe führen zu einem ungünstigen Verhältnis zwischen Steuerinformation und Nutzdaten, zu lange Zeitschlitzbe zu einer schlechten Auslastung der Mini-Pakete bei kurzen Nachrichten. Außerdem sollte der Rahmentakt wegen des CS-Verkehrs möglichst klein gehalten werden. Bild 3.15 gibt im Vergleich mit den anderen, oben beschriebenen Verfahren auch die Wartezeiten eines Systemes an, das mit Mini-Paketen arbeitet. Hier zeigen sich (bei einem symmetrisch belasteten System) die deutlichen Vorteile der Integration durch Mini-Pakete:

1. Der sofortige Zugriff einer Station auf freie Zeitschlitzbe für PS führt in schwach belasteten Systemen zu äußerst geringen mittleren Wartezeiten.
2. Die sofortige Freigabe der Zeitschlitzbe beim Empfänger einer PS-Nachricht erlaubt einen weit höheren maximalen Durchsatz und damit auch relativ kleine mittlere Wartezeiten unter sehr hohen Systembelastungen.

Ein ausführliche Beschreibung der Leistungsfähigkeit des Mini-Paket-Protokolls sowie eine Diskussion über unterschiedliche Lastprofile sind im Kap. 5 gegeben.

### 3.3.2.3 Vergleich der Integrationsprinzipien

Zum Abschluß dieses Kapitels werden die Simulationsergebnisse der vier diskutierten Integrationsverfahren verglichen. Bei den Verfahren, die auf einer Teilung des Pulsrahmens basieren, wurden die Systeme mit 125  $\mu$ s Rahmentakt ausgewählt, da hier das beste Verhalten erzielt wird. Bei hohen Belastungen verschwindet der Einfluß des Rahmentaktes. Beide Verfahren, die auf einer Zeitschlitz-Struktur beruhen, werden mit 1 ms Rahmentakt zum Vergleich herangezogen.

Bild 3.15 vergleicht die vier Integrationsprinzipien mit den Parametern:

1. Feste Grenze, PS-Zugriff mit Token-Protokoll, 88 Zeitschlitz sind für CS belegt ( $B = 1\%$ ).
2. Verschiebbare Grenze ohne Umordnung bestehender Verbindungen, PS-Zugriff mit Token-Protokoll, im Mittel sind 83 Zeitschlitz für CS belegt.
3. Verkettung freier Zeitschlitz zu einem PS-Kanal, PS-Zugriff mit Token-Protokoll, im Mittel sind 73 Zeitschlitz für CS belegt.
4. Unabhängige Verwendung freier Zeitschlitz durch Mini-Pakete, Entnahme der Mini-Pakete beim Empfänger, im Mittel sind 73 Zeitschlitz für CS belegt.

Für alle Prinzipien gelten die gleichen Bedingungen:

- 10 Stationen im Ring.
- 10 Mbit/s Datenübertragungsrate.
- 73 CS-Verbindungen mit je 64 kbit/s
- 1024 bit je PS-Nachricht

Aufgetragen sind die mittleren Wartezeiten einer PS-Nachricht über der gesamten PS-Ankunftsrate an alle Stationen; der PS-

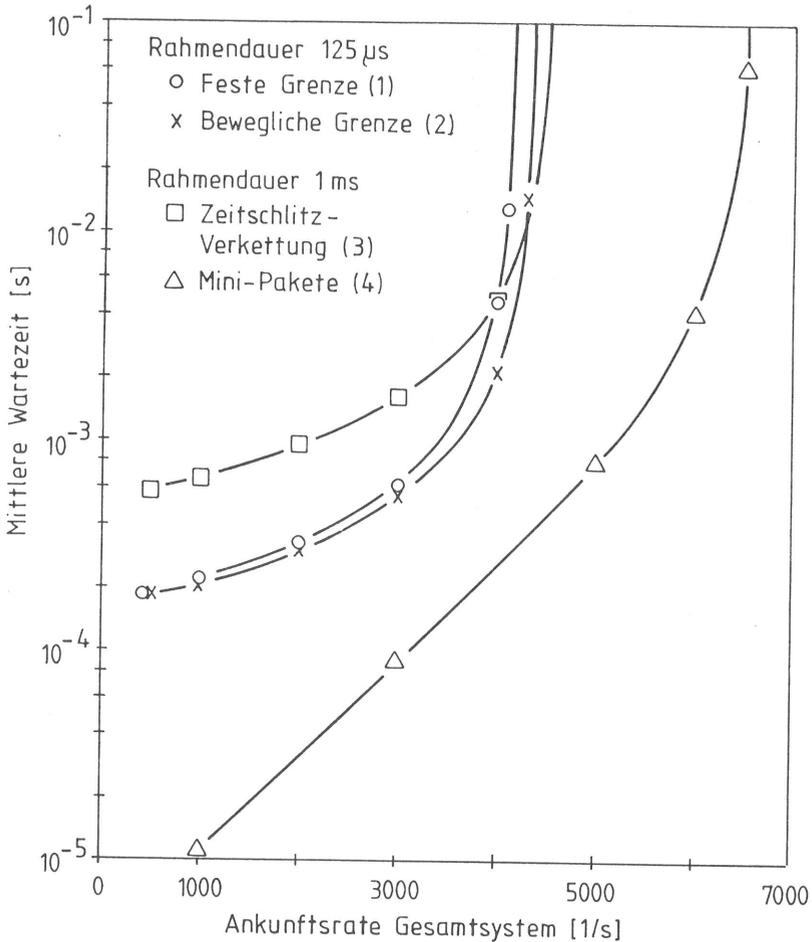


Bild 3.15: Mittlere Wartezeit einer PS-Nachricht: Vergleich der vorgestellten Integrationsprinzipien

Verkehr (Poisson-Verkehr) ist gleichmäßig auf alle Stationen verteilt.

Nach diesen ersten Untersuchungen wird deutlich, daß für den in Kap. 3.1 beschriebenen Einsatzbereich die Integration mit Mini-Paketen das beste Leistungsverhalten aufweist. Kapitel 4 beschreibt eine Pilot-Implementierung des Mini-Pakete-Rings, während Kapitel 5 ausführlich auf die Leistungsfähigkeit dieses Systems eingeht.

## KAPITEL 4

### SYSTEMTECHNISCHE REALISIERUNG

#### 4.1 SYSTEMSTRUKTUR

Nachdem die verschiedenen Integrationsprinzipien vorgestellt und diskutiert sind, soll die Eignung des günstigsten Protokolls durch eine Pilotimplementierung demonstriert werden. Diese Realisierung soll einerseits die theoretisch gewonnenen Ergebnisse absichern, andererseits den Systementwurf zur implementierungsreifen Spezifikation führen und letztendlich die Richtigkeit der Überlegungen durch einen ordnungsgemäßen Betrieb unter Beweis stellen.

##### 4.1.1 Integrationskonzept

Im Kapitel 3 wurden ausführlich unterschiedliche Integrationsprinzipien vorgestellt und miteinander verglichen. Von den Anforderungen des Einsatzgebietes ausgehend, sollen die Ergebnisse zur Wahl des geeigneten Integrationsprinzips führen. Auf diesem baut dann ein Systementwurf auf, der mit zahlreichen Details die Eigenschaften des Integrationsprinzips noch verbessert.

##### 4.1.1.1 Anforderungen

Die diensteintegrierenden Ringe sollen als Teilnetze in kleinen Bereichen eine universelle Kommunikation ermöglichen. Insbesondere ist mit stark schwankenden Verkehrsaufkommen sowie einer in weiten Grenzen variierenden Verkehrsaufteilung zwischen CS- und PS-Verkehr zu rechnen. Das System soll mit ca. 10 Mbit/s Datenrate betrieben werden, damit die Implementierung mit üblichen, leicht verfügbaren und billigen Bauteilen erfolgen kann. Die Kosten der Anschlußstationen sollen außerdem möglichst

gering gehalten werden.

#### 4.1.1.2 Auswahl des Integrationsprinzips

Alle vorgestellten Prinzipien schalten den CS-Verkehr auf die gleiche Weise durch. Die Integration mit einer festen Grenze scheidet aber sofort aus, da dieses Verfahren nicht die Flexibilität der automatischen Anpassung der benötigten Bandbreite an das Verkehrsaufkommen ermöglicht.

Die Signalisierung des CS-Verkehrs kann erfolgen entweder in einem zentralen Signalisierkanal, der ausreichend groß dimensioniert sein muß, oder die CS-Signalisiernachrichten werden als PS-Nachrichten (mit dem normalen PS-Protokoll) übertragen. Da die CS-Signalisierung, meist nur kurzzeitig zum Verbindungsauf- und -abbau benötigt, schnell ablaufen soll, muß ein zentraler Signalisierkanal über eine ausreichend hohe Bandbreite verfügen, auch wenn im Mittel diese Kapazität kaum ausgenutzt wird. Ein Teil der Gesamtkapazität bleibt dann ungenutzt. Bei der Übertragung der Signalisierinformationen als PS-Nachrichten müssen Signalisiernachrichten in Stationen mit einem starken PS-Verkehr länger warten; durch geeignete Maßnahmen sollen die Wartezeiten ebenfalls möglichst gering gehalten werden.

Das Integrationsverfahren der Pilotimplementierung soll also sehr flexibel sein und neben geringen Wartezeiten für PS-Nachrichten auch einen hohen maximalen Durchsatz erlauben.

Aufgrund dieser Anforderungen und der Ergebnisse des Kapitels 3.3 ist das Integrationsprinzip mit Mini-Paketen auf einem Slotted Ring mit Freigabe der Zeitschlitze beim Empfänger das geeignete Verfahren.

#### 4.1.2 Implementierung des Integrationsprinzips

Ziel des Systementwurfs ist es, durch Optimierung der Protokollparameter die Eigenschaften, die Leistungsfähigkeit und die Betriebssicherheit des Systems zu verbessern. Außerdem

sollen die nachteiligen Eigenschaften des Mini-Paket-Integrationsprinzips (vgl. Kap. 3.2.3.2) durch geeignete Ergänzungen kompensiert werden.

#### 4.1.2.1 Größe eines Zeitschlitzes

Ein CS-Kanal mit 64 kbit/s soll einem Zeitschlitz des Pulsrahmens entsprechen. Da die Durchlaufzeiten für CS-Daten minimal bleiben sollen, ist die Größe eines Zeitschlitzes zu minimieren. Während heutige Vermittlungssysteme mit analoger Systemumgebung maximal 500  $\mu$ s Durchlaufzeit aufweisen dürfen, so kann doch bei einer volldigitalen Umgebung des Netzes dieser Wert etwas überschritten werden.

Das sehr gute Leistungsverhalten des Mini-Paket-Protokolls beruht mit auf der optimalen Ausnutzung aller Zeitschlitz des Pulsrahmens; ein Mini-Paket muß deshalb exakt einen Zeitschlitz füllen. Jedes Mini-Paket enthält einen Steuerkopf, dessen Größe in jedem Mini-Paket gleich ist und nicht von der Länge der Nutzinformation abhängt. Für PS-Daten sollte ein Zeitschlitz also möglichst groß sein, um den relativen Anteil an Steuerinformation pro Zeitschlitz zu minimieren.

Dieser Widerspruch kann durch den Leistungsvergleich in Bild 3.9 in einen Kompromiß übergeführt werden. Für die Implementierung auf einem 10 Mbit/s schnellen Medium wurde eine Rahmendauer vom 1 ms gewählt, die für CS-Dienste akzeptabel ist und mit dem Mini-Paket-Protokoll schon ein sehr gutes Durchsatzverhalten für PS-Dienste aufweist. Die Größe eines Zeitschlitzes resultiert dann zu 64 bit; kleine, einzelne PS-Nachrichten belegen also auch nicht unnötig viel Übertragungskapazität, da die Mini-Pakete z.B. einen kompletten LLC-Steuerrahmen aufnehmen können.

#### 4.1.2.2 Größe des Mini-Paket-Adresskopfes

Der Adresskopf der Mini-Pakete muß möglichst kurz sein, da das Verhältnis Nutzdaten zu Steuerinformation möglichst groß bleiben muß.

Außerdem bestimmt die Länge des Adresskopfes direkt die Länge des Durchlaufspeichers des Pulsrahmens in jeder Station. Die daraus resultierende Latenzzeit muß ebenfalls möglichst klein bleiben, damit auch bei größeren Systemen mit zahlreichen Stationen die Gesamtumlaufzeit des Pulsrahmens hinreichend klein ist.

Der Adresskopf der Mini-Pakete soll also möglichst klein bleiben; die Größe wird bestimmt durch die Anzahl der Stationen, die direkt angesprochen werden sollen. Der Einsatzbereich dieses Netzes sind aber relativ kleine, eng umgrenzte Organisationseinheiten, innerhalb derer ein intensiver Informationsaustausch stattfindet. Um darüberhinaus die Kosten der Anschlußstationen gering zu halten, sollen an eine Ring-Station mehrere Endsysteme angeschlossen werden. Das erlaubt eine hierarchische Adressierung der PS-Nachrichten:

Auf der Ebene der Mini-Pakete (MAC-PDU) brauchen dann nur die Ring-Stationen adressiert zu werden; die vollständigen Adressen der Sicherungs-, Netz- oder Transportschicht werden über die rekonstruierten Nachrichtenblöcke (LLC-PDU, N-PDU, T-PDU) wiedergewonnen. Die Gesamtzahl der adressierbaren Ring-Stationen bleibt somit relativ klein und erlaubt Adressen mit z.B. 6 oder 7 bit, denen eine kurze Kennung für die eindeutige Zuordnung der Mini-Pakete zur ursprünglichen Nachricht (Reassembly-Identifizier) angefügt wird.

#### 4.1.2.3 Quittungen für PS-Nachrichten

Direkte Quittungen auf der Ebene des Kanal-Zugriffs, wie sie bei Systemen mit Zeitschlitzfreigabe beim Sender im Mini-Paket auf dem Weg zum Sender zurück mit übertragen werden können, sind nur bei sehr hohen Fehlerwahrscheinlichkeiten von Vorteil. Ringe auf Koaxial- oder Glasfaser-Leitungen sind aber praktisch frei von Übertragungsfehlern, zumal die Leitungslängen im betrachteten Einsatzbereich relativ gering sind.

Die Quittierung von PS-Informationen erfolgt deshalb auf Nachrichten-Ebene (z.B. LLC). Diese Quittungen sichern auch Verluste von Mini-Paketen in den Stationen ab, wie sie z.B. beim Überlauf eines Empfangsspeichers auftreten können. Da eine Nachricht meistens in zahlreiche Mini-Pakete zerteilt wird, muß dafür nur ein Mini-Paket mit der Quittung übertragen werden, so daß nur ein sehr geringer zusätzlicher PS-Verkehr für die Quittierung erzeugt wird.

Für die eindeutige Rekonstruktion der Nachrichten aus empfangenen Mini-Paketen müssen diese die Adresse des Empfängers und des Senders (Ring-Station) tragen. Jede Station entnimmt alle Mini-Pakete, die an sie adressiert sind oder von ihr abgesandt wurden. Dies führt ohne nennenswerten Mehraufwand zu folgendem Verhalten:

- Sollte eine Adresse fehlerhaft oder die adressierte Station defekt sein, so werden diese Mini-Pakete nicht vom Ring genommen, laufen zum Sender zurück, werden dort erkannt und entnommen, und der Fehler ist sofort beim Sender bekannt. Diese Eigenschaft ist unbedingt notwendig, damit alle Mini-Pakete spätestens nach einem Umlauf wieder vom Ring genommen und Verklemmungssituationen durch dauernd belegte Zeitschlitze vermieden werden.
- Eine Station, deren Empfangsspeicher momentan überlastet sind, kann ein an sie adressiertes Mini-Paket nun einfach im Pulsrahmen belassen, da dieses der Senderstation durch seine Rückkehr die aufgetretene Ausnahme-situation mitteilt.

Die expliziten Quittungen der Mini-Paket-Entnahme beim Sender werden damit ersetzt durch eine Art negativer Quittungen im Störfall ohne zusätzlichen Mehraufwand.

#### 4.1.2.4 Rundsendenachrichten

Die Entnahme der Mini-Pakete beim Empfänger ermöglicht keine Sendungen an mehrere Empfänger gleichzeitig. Dieser Nachteil kann mit zwei Maßnahmen umgangen werden:

1. Die Notwendigkeit für Rundsendenachrichten besteht häufig nur für Systemmeldungen. Dafür wurde im Kopf des Pulsrahmens ein separater Rundsendekanal definiert.
2. Durch eine geringe Erweiterung des Adressfeldes können auch Rundsendenachrichten definiert werden, die dann bei den Empfängern nur kopiert werden und bis zum Sender stets wieder zurücklaufen.

#### 4.1.2.5 Signalisierung für CS

Die Signalisierung für CS kann mit Mini-Paketen ohne die oben erwähnten Nachteile problemlos integriert werden. Die Ergebnisse der Leistungsuntersuchungen zeigen, daß die mittleren Wartezeiten für PS-Nachrichten im Vergleich zu den anderen diskutierten Verfahren mit einem Token Passing-Zugriffsverfahren deutlich kleiner sind und somit die CS-Signalisierung schnell ablaufen kann. Außerdem kann auf Mini-Paket-Ebene ohne größeren Aufwand in den Stationen eine Priorisierung mit mehreren Klassen durchgeführt werden, die erlaubt, z.B. eine CS-Signalsiernachricht sofort zu senden.

#### 4.1.2.6 Struktur des Pulsrahmens

Alle Daten, die zwischen den Ring-Stationen ausgetauscht werden, müssen auf dem Pulsrahmen mitgeführt werden. Diese können unterteilt werden in:

- Rahmen-Synchronisations-Informationen
- System-Management-Informationen
- Benutzerdaten (CS/PS)

Aus dem in einer Station ankommenden Bitstrom muß zuerst die Rahmensynchronisation abgeleitet werden. Dafür sind im Kopf des Pulsrahmens 4 Synchronworte (mit je 16 bit) vorhanden. Diese Synchronworte wurden so definiert, daß sie nicht durch Verschieben ineinander übergeführt werden können. Da der Pulsrahmen bei den gewählten Parametern maximal 10000 bit Länge erreicht und ein eventueller Synchronisationsverlust einer Sta-

tion im Rahmen leicht zu einer Veränderung der Steuerinformation führen kann, ist der Zeitschlitz-Struktur ein zusätzliches Synchronisationsmuster aufgeprägt. Je 2 bit im Kopf eines Zeitschlitzes ergeben zusammen ein eindeutiges Muster über den gesamten Pulsrahmen, das ständig die Kontrolle der Synchronisation erlaubt und fehlerhafte Zugriffe mit Zerstörung notwendiger Informationen weitgehend zu vermeiden hilft.

Für den Betrieb sind zwei unterschiedliche Arten der Systeminformation vorhanden. Ein Rundsendekanal (16 kbit/s) im Kopf des Pulsrahmens ermöglicht die Verbreitung von wichtigen Systemmeldungen an alle Stationen. Die andere Systeminformation steuert den Zugriff der Stationen auf den einzelnen Zeitschlitz (Zeitschlitzkennung). Dazu enthält jeder Zeitschlitz (neben den 2 bit für die Kontrolle der Synchronisation) je ein Bit für:

- Unterscheidung CS oder PS (CS/PS-Bit)
- "Daten gültig" oder "Zeitschlitz frei" (Belegbit)
- Für PS eine Unterscheidung der gewählten Stationsklasse (PS-Klassen-Bit)

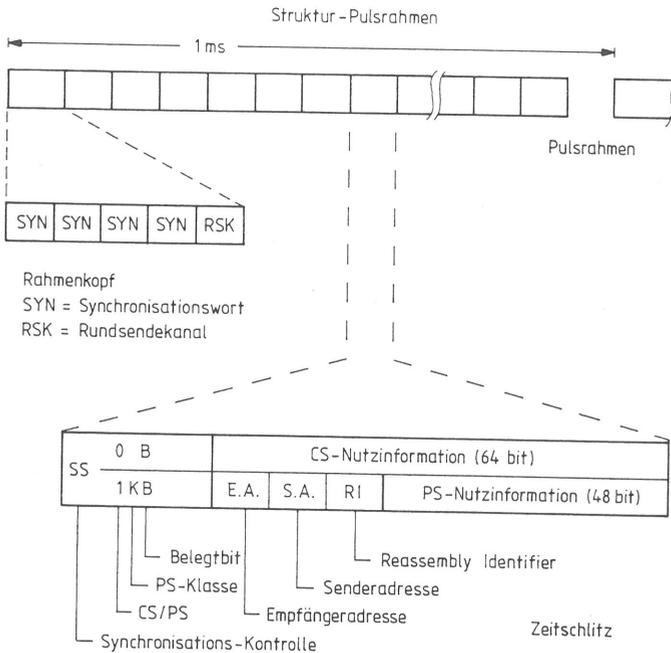
Die Struktur der Nutzdaten selbst unterscheidet sich je nach dem verwendeten Vermittlungsprinzip. Der Nutzdatenteil eines Zeitschlitzes ist nach den oben getroffenen Festlegungen 64 bit lang. Bei einer Verwendung für CS-Verkehr kann dieser Bereich vollständig mit Nutzdaten gefüllt werden; bei einer Sprachkommunikation enthält er z.B. 8 PCM-Sprachproben.

Ein Mini-Paket ist ebenfalls 64 bit lang. Davon sind in der Pilotimplementierung 16 bit für die Adressen der Ring-Station und für Zusatzkennungen (Reassembly-Identifizier) belegt. Dieser Mini-Paket-Kopf entspricht im OSI-Referenzmodell der MAC-PCI (Media Access Control - Protocol Control Information). Die restlichen 48 bit werden dann mit Teilen der MAC-SDU (MAC-Service Data Unit), also z.B. einer LLC-PDU (Logical Link Control - Protocol Data Unit) gefüllt.

Die endgültige Festlegung des Pulsrahmens geschieht mit Rücksicht auf eine einfachere Implementierung in einer Oktett-Struktur; obwohl nicht vollständig benötigt, wurden 8 bit als Zeitschlitzkennung vorgesehen. Damit besteht der Pulsrahmen aus:

1. Rahmenkopf mit
  - 4 Synchronisationsworten (je 16 bit)
  - Rundsendekanal (16 bit)
  
2. 128 Zeitschlitz, bestehend aus je
  - 2 bit Synchronisationskontrolle
  - CS/PS-Bit
  - Belegtbit
  - PS-Klassen-Bit
  - 64 bit für den Zeitschlitz-Inhalt

Der benutzte Teil des Pulsrahmens ist somit 9296 bit lang und wiederholt sich nach exakt 1 ms. Der restliche, unbenutzte Teil wird mit einer alternierenden Bitfolge aufgefüllt. Bild 4.1 zeigt die Struktur eines solchen Pulsrahmens.



**Bild 4.1:** Struktur des Pulsrahmens

#### 4.1.3 Struktur der Stationen (Kanalnaher Teil)

Nachdem das Integrationsprinzip und die Systemparameter genauer definiert sind, können die benötigten Funktionen der Stationen genauer umrissen werden.

Die Funktionen einer Ring-Station für die Steuerung des Kanalzugriffs sind:

- Erkennen der Pulsrahmen-Synchronisation und der Zeitschlitzgrenzen, Überprüfung der Synchronisation im Rahmen, Verzögerung der durchlaufenden Daten um 16 bit.
- Lesen des Inhalts eines zugeordneten CS-Zeitschlitzes und (gleichzeitiges) Beschreiben mit eigenen CS-Nutzdaten. Die Zuordnung geschieht gemäß einem Signalisierungsprotokoll, das im Kap. 4.2 beschrieben ist.
- Lesen eines Mini-Paketes, sobald die eigene Stationsadresse erkannt ist mit sofortiger Freigabe des Zeitschlitzes, sowie Senden vorliegender Mini-Pakete in freien oder freigewordenen PS-Zeitschlitzten.

Neben den Ring-Stationen, an die Endsysteme angeschlossen werden, ist eine ausgezeichnete Station für zentrale Funktionen notwendig. Diese Station, im folgenden als Master-Station bezeichnet, hat als Aufgabe:

- Erzeugung des Pulsrahmens mit
  - o 4 Synchronworten,
  - o Rundsendenachricht,
  - o 128 Zeitschlitzten, im Kopf je 2 Synchronisationsbit, das CS/PS-Bit, das Belegbit und das PS-Klassenbit,
  - o einer alternierenden Bitfolge zum Auffüllen des restlichen Rahmens.
- Aussenden eines neuen Pulsrahmens beginnend nach 1 ms, abgeleitet vom CS-Netztakt.
- Empfang des Pulsrahmens nach dem Durchlauf durch alle Stationen.

- Zwischenpuffern des Pulsrahmens bis zum nächsten Aussenden in einem elastischen Puffer.

## 4.2 SIGNALISIERUNG FÜR CS-VERKEHR

CS-Verkehr ist gekennzeichnet durch eine feste Bandbreite während einer Verbindung, die auf- und abgebaut werden muß. Das erfordert einen Informationsaustausch (Signalisierung) zwischen allen an der Verbindung beteiligten Instanzen.

### 4.2.1 Signalisierungskonzept

Der Aufbau einer CS-Verbindung besteht prinzipiell aus 2 Phasen: der Bereitstellung des Übertragungskanals zwischen beiden Endsystemen in der benötigten bzw. gewünschten Bandbreite, sowie der Einigung beider Endsysteme, miteinander so zu kommunizieren. In öffentlichen Netzen wird heute mit der Eingabe der Zielinformation zuerst ein Kanal zum gerufenen Teilnehmer geschaltet, über den dann der Ruf angeboten wird. Aber bereits im ISDN werden die B-Kanäle für Nutzdaten getrennt von Signalisierungsdaten im D-Kanal bzw. im zentralen Zeichengabe-Netz nach Empfehlung CCITT No.7 übertragen.

Bei Entwurf der CS-Signalisierung für das diensteintegrierende lokale Netz sind die folgenden Varianten des Verbindungsaufbaus zu berücksichtigen:

1. Die Reihenfolge von Kanal-Durchschaltung und Signalisierung mit dem gerufenen Endsystem ist frei; da eine unabhängige Signalisierung möglich ist, kann entweder zuerst der gerufenen Station der Verbindungswunsch signalisiert werden, oder es wird zuerst der angeforderte Kanal bereitgestellt.
2. Die Durchschaltung eines Kanals, d.h. die Zuteilung der Zeitschlitz zu den beteiligten Endsystemen, kann dezentral von den beteiligten Stationen selbst oder von einer zentralen Instanz, die alle CS-Verbindungen verwaltet, durchgeführt werden.

Die Diskussion dieser Varianten muß erfolgen im Hinblick auf die Möglichkeit einer Mehrkanaldurchschaltung, die Systemumgebung und die schnelle Signalisierung mittels Mini-Paketen.

Wie oben ausgeführt, muß in jedem Zeitschlitz eine Kennung des Verkehrstyps (CS/PS-Bit) enthalten sein. Während die PS-Zeitschlitz von allen Stationen protokollgemäß sofort benutzt werden können, muß beim Aufbau einer CS-Verbindung in der angeforderten Anzahl Zeitschlitz die CS-Kennung gesetzt werden. Dies kann sicher von jeder Station bei Bedarf lokal durchgeführt werden, wenn je Anforderung nur 1 freier Zeitschlitz gesucht wird. Können jedoch gleichzeitig mehrere Zeitschlitz für eine Verbindung mit höherer Bandbreite gesucht werden, so bringt die dezentrale Vergabe Probleme mit sich:

Jede Station kann nur auf ein sehr kleines Fenster im Pulsrahmen gleichzeitig zugreifen; oben wurden 16 bit Latenzzeit für das Mini-Paket-Protokoll gewählt. Deshalb muß die Belegung mehrerer CS-Zeitschlitz sequentiell erfolgen, d.h. eine Station mit einem Verbindungswunsch für  $n$  Basiskanäle sucht im Pulsrahmen nach  $n$  verfügbaren Zeitschlitz. In Hochlastsituationen können aber z.B. nur weniger als  $n$  Zeitschlitz für CS verfügbar sein, so daß während der Suche nacheinander Zeitschlitz von dieser Station belegt werden, um nach einer maximalen Suchzeit wieder freigegeben zu werden. Sobald aber gleichzeitig mehr als eine Station mehrere freie Zeitschlitz für eine CS-Verbindung sucht, kann es leicht zu Verklemmungssituationen kommen, die nur mittels komplexerer, relativ lang dauernder Auslösungs- und Aushandlungs-Protokolle beherrschbar sind.

Einfacher ist dieses Problem nur lösbar, wenn entweder

- a) eine Station den ganzen Pulsrahmen gleichzeitig überblicken kann oder
- b) nie zwei Stationen gleichzeitig eine CS-Verbindung aufbauen möchten.

Aus diesen Gründen wurde die Funktion der Zuordnung der CS-Zeitschlitz zu Verbindungen zentral gelöst und der Master-Station übertragen. Bild 4.2 zeigt die 5 Prozesse, die an der Signalisierung für eine CS-Verbindung beteiligt sind.

### 4.2.2 Signalisierungsprozesse

Der Entwurf der Kommunikationsbeziehungen zwischen diesen Prozessen verfolgt das Ziel eines möglichst einfachen, sicheren und eindeutigen Ablaufs der Signalisierung. Dafür wurden die folgenden Signalisier-Prozesse für CS-Verkehr definiert:

- CS\_A\_TLN: CS-Signalisierprozeß des rufenden Endsystems (A-Teilnehmer).
- CS\_A\_STAT: CS-Signalisierprozeß der Ring-Station des rufenden Endsystems.
- CS\_B\_TLN: CS-Signalisierprozeß des gerufenen Endsystems (B-Teilnehmer).
- CS\_B\_STAT: CS-Signalisierprozeß der Ring-Station des gerufenen Endsystems.
- CS\_MASTER: CS-Signalisierprozeß der Master-Station.

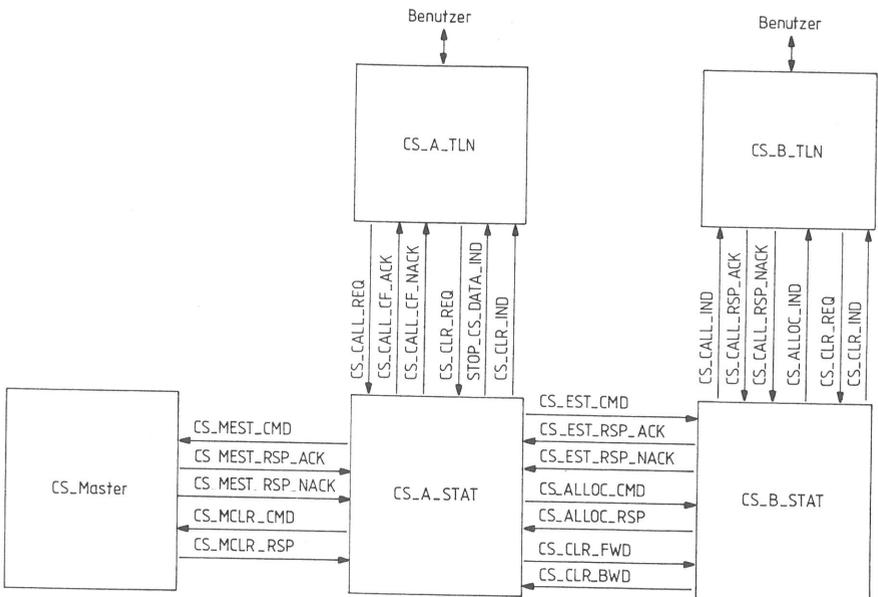


Bild 4.2: CS-Signalisierungs-Prozesse

Die Kommunikation dieser Prozesse miteinander geschieht nur über den CS\_A\_STAT-Prozeß, der zuerst beim gerufenen Endsystem (CS\_B\_TLN) den Verbindungswunsch mit allen Parametern anzeigt. Erst nachdem beide Endsysteme und deren Ring-Stationen den Verbindungswunsch mit abgestimmten Parametern akzeptiert haben, fordert der CS\_A\_STAT-Prozeß beim CS\_MASTER-Prozeß die benötigte Anzahl von Zeitschlitzten an. Für den Informationsaustausch der Signalisierungs-Prozesse sind entsprechende Primitive mit Parameterlisten definiert worden, die im Bild 4.2 dargestellt sind.

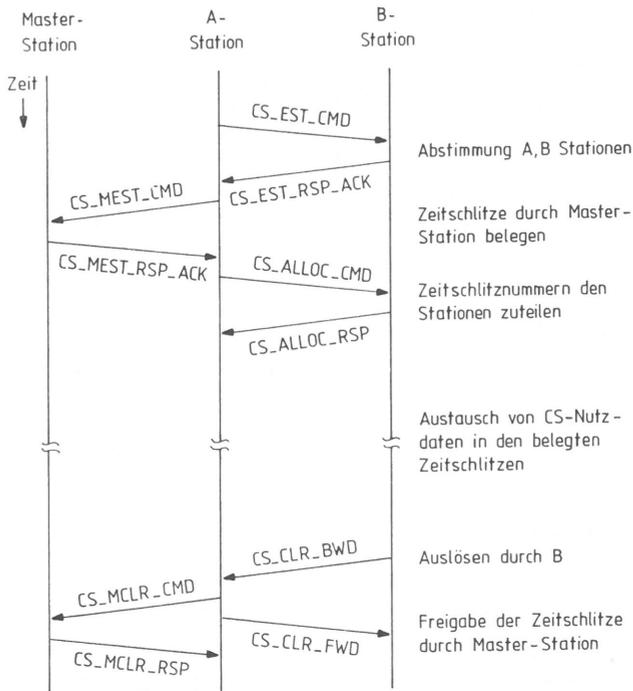


Bild 4.3: Zeitlicher Ablauf einer CS-Signalisierung

Bild 4.3 gibt den zeitlichen Ablauf des Auf- und Abbaus einer CS-Verbindung wieder. In diesem Beispiel löst B die Verbindung aus.

#### 4.2.3 Protokoll-Dateneinheiten für die Signallisierung

Signalisierungsnachrichten zwischen den Stationen bzw. zwischen Master-Station und Ring-Station werden in Mini-Paketen über den Ring ausgetauscht. Je nach Bedeutung des Signalisierungsprimitives enthalten sie unterschiedliche Parameter. Tabelle 4.1 zeigt als Beispiel die zwischen den beiden Stationsprozessen CS\_A\_STAT und CS\_B\_STAT der Laborimplementierung vereinbarten Signalisierernachrichten.

Meldungstyp	Parameter					
EST_CMD	TEA/TEB	BB of/min	Inf.Type	XXX	FCS	
EST_RSP_ACK	TEA/TEB	BB of/min	Inf.Type	XXX	FCS	
EST_RSP_NACK	TEA/TEB	BB of/min	Inf.Type	Status	FCS	
ALLOC_CMD_0	TEA/TEB	BB akt	XXX	TS 1	FCS	
ALLOC_CMD_1	TEA/TEB	TS 2	TS 3	TS 4	FCS	
ALLOC_CMD_2	TEA/TEB	TS 5	TS 6	TS 7	FCS	
ALLOC_CMD_3	TEA/TEB	TS 8	TS 9	TS 10	FCS	
ALLOC_RSP	TEA/TEB	BB akt	XXX	XXX	FCS	
CLR_BWD	TEA/TEB	XXX	XXX	Status	FCS	
CLR_FWD	TEA/TEB	XXX	XXX	Status	FCS	

**Tabelle 4.1:** CS-Signalisierungs-Pakete

Wie in jedem Mini-Paket werden die Adressen der Ring-Stationen im Kopf mitgeführt (16 bit). Als Parameter sind weiterhin vereinbart:

- TEA/TEB: Die Adressen der betroffenen Endsysteme (Terminal Equipment, TE) an Station A bzw. B.
- BB of/min: Die gewünschte Bandbreite der Verbindung; min gibt die minimale Anzahl der CS-Kanäle an, die benötigt werden. Die Größe of (offset) gibt die zusätzlich gewünschten CS-Grundkanäle an, die aber für diese Verbindung nicht notwendig sind. Während eines Verbindungsaufbaues können diese Werte eingegrenzt werden, wenn z.B. bestimmte Maximalwerte in einer Station eingehalten werden müssen.
- BB akt: Die Master-Station legt dann aufgrund der momentanen Systemauslastung den aktuell gewählten Wert

fest, der in diesem Parameter allen beteiligten Instanzen mitgeteilt wird.

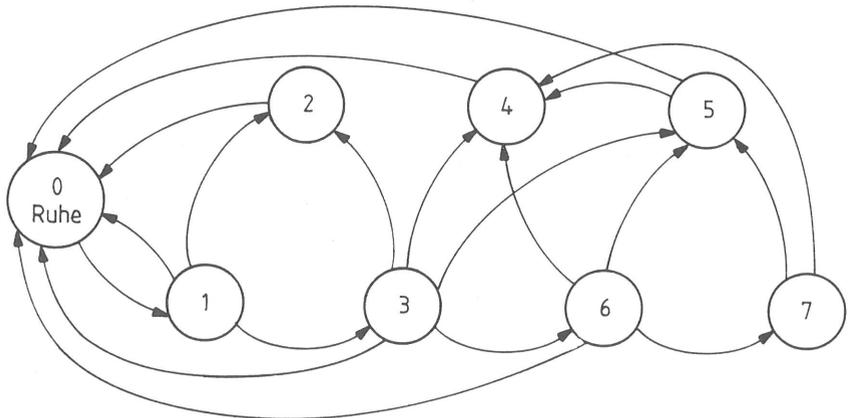
- TS i: enthält die Nummer i des Zeitschlitzes (Timeslot, TS) der dieser CS-Verbindung zugeordnet wurde.
- Inf. Typ: Gibt den Typ der zu übertragenden Nutzinformation an. Die Definition erfolgte in Anlehnung an die CCITT-Empfehlung I.211 /16/ und umfasst:
  - o 8 kHz Grundstruktur (z.B. 64 kbit/s PCM-codierte Sprache)
  - o Strukturiert in Datenblöcken (z.B. PS-Daten auf einem CS-Kanal)
  - o Unstrukturierte Daten
- Status: Enthält weitergehende Meldungen, unterteilt in 4 Gruppen:
  - o Informationen: Im normalen Betrieb auftretende Zustände (z.B. Endsystem belegt, Verbindungsabbau, Ruf nicht angenommen,...)
  - o Warnungen: Zeigen erkannte Fehler an, die nicht schwerwiegend sind (z.B. falsche Adresse ausgewählt)
  - o Fehler: Treten auf, wenn das Protokoll nicht mehr normal ablaufen kann (z.B. letztmaliger Ablauf einer Zeitüberwachung)
  - o Fatale Fehler: Geben erkannte Widersprüche im Protokollablauf wieder, die auf einer schwerwiegenden Fehlfunktion einer Instanz beruhen. Hierauf wird die Signalisierungsbeziehung beendet.
- Frame Checking Sequence

Die Dienstprimitive, die zwischen den Stationen und deren Endsystemen ausgetauscht werden, wurden ähnlich definiert. Bei der Verwendung von Standardschnittstellen (z.B.  $S_0$ ) muß allerdings eine Umsetzung auf die vorgegebenen Primitive erfolgen.

#### 4.2.4 Signalisierungsprotokoll

Beim Entwurf des Protokolls wurde versucht, durch einen eindeutigen Meldungsaustausch, der von der A-Station gesteuert wird, ein sicheres Verhalten zu erzielen. Ein Signalisierungsprozeß wird nur durch einen äußeren Anreiz zu einer Aktion angeregt, z.B. zum Aussenden einer Signalisiernachricht (Stimulus-Proto-

koll). Fast alle Nachrichten werden quittiert, wobei alle Reaktionen der angesprochenen Partnerinstanz zeitüberwacht sind. Die korrekte Funktion aller 5 Prozesse wurde durch eine Verifikation mit Hilfe der Erreichbarkeitsanalyse nachgewiesen. Da die vollständige Beschreibung aller Prozesse den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, soll als Beispiel der CS\_A\_STAT-Prozeß näher erläutert werden. Die ausführliche Beschreibung ist in der Dokumentation der Laborimplementierung enthalten.



**Bild 4.4:** Zustands - Übergangsdiagramm des CS\_A\_STAT-Prozesses

Bild 4.4 zeigt das Zustands-Übergangs-Diagramm des CS\_A\_STAT-Prozesses. Die einzelnen Zustände bedeuten:

- 0: Ruhezustand
- 1: Verbindungswunsch des A-Endsystems akzeptiert, Anfrage an B gestartet
- 2: Abbruch des Verbindungsaufbaus durch Endsystem A
- 3: Verbindung von A und B akzeptiert, Anfrage bei Masterstation
- 4: Verbindungsabbau durch B
- 5: Verbindungsabbau durch Endsystem A
- 6: Verbindung aufgebaut, Bestätigung durch B wird noch erwartet

7: Verbindung aufgebaut, Nutzdatenaustausch in den zugewiesenen Zeitschlitzen

Die Spezifikation aller Prozesse erfolgte in der von CCITT 1980 empfohlenen Sprache SDL /15/. Zur Verdeutlichung ist im Bild 4.5 der Zustand 1 des CS\_A\_STAT-Prozesses mit allen möglichen Eingangsmeldungen spezifiziert. Der Empfang nicht aufgeführter Meldungen bewirkt keine Reaktion.

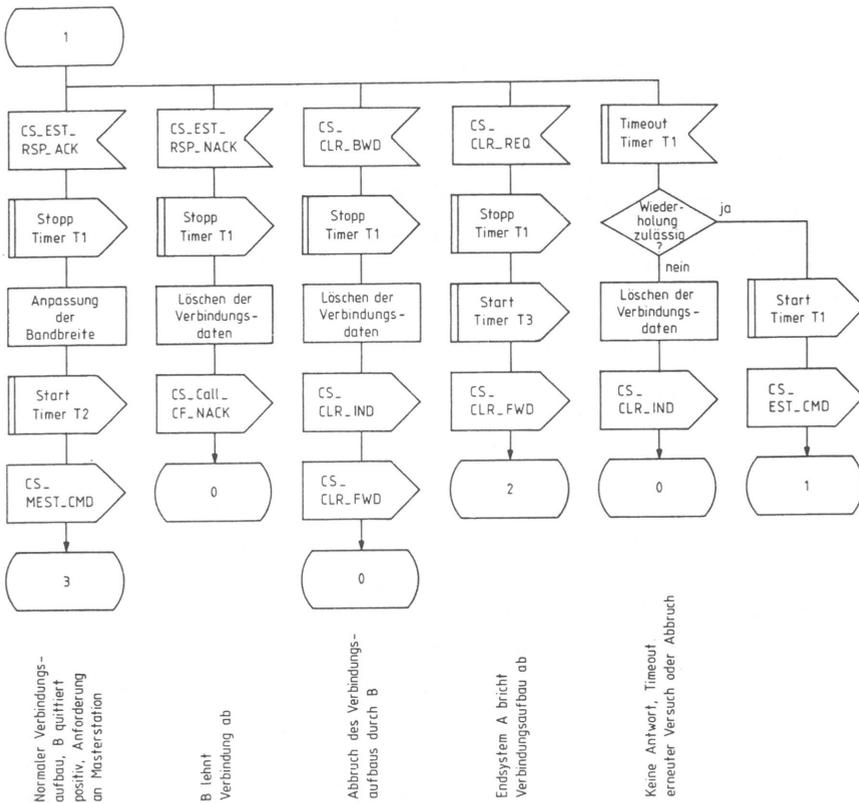


Bild 4.5: Vollständige SDL-Beschreibung (CS\_A\_STAT ab Zustand 1)

### 4.3 IMPLEMENTIERUNGSGESICHTSPUNKTE

Nachdem das Integrationsprinzip ausgewählt ist und die Systemparameter festgelegt sind, soll der folgende Abschnitt die Implementierung dieses hybriden Vermittlungsverfahrens kurz darstellen.

#### 4.3.1 Allgemeine Randbedingungen

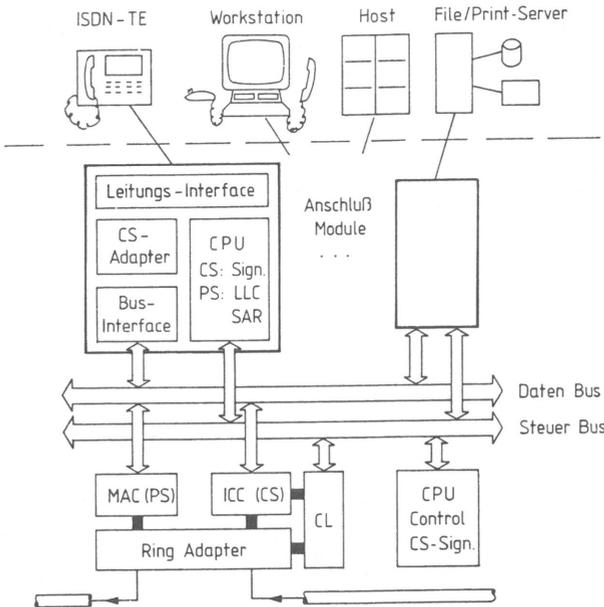
Wie schon bei der Festlegung der Parameter mehrfach erwähnt, ist die Datenübertragungsrates zu 10 Mbit/s gewählt worden, da dieser Geschwindigkeitsbereich noch in TTL-Technologie gut beherrschbar ist und andererseits der prinzipielle, grundsätzliche Charakter dieser Implementierung primär nicht von der erreichten Datenrate abhängt. Bei Verwendung einer entsprechend schnelleren Halbleiter-Technologie und Integration der zeitkritischen Funktionen auf einem Baustein (Gate Array), kann dieses Prinzip ohne signifikante Strukturänderungen auch mit der vielfachen Geschwindigkeit implementiert werden.

#### 4.3.2 Ring-Station

##### 4.3.2.1 Struktur der Anschlußstation

Die Struktur der Anschlußstationen wird durch das Einsatzgebiet des Ringsystems ebenfalls mitbestimmt. Da nur Bereiche mit einem hohen Verkehrsaufkommen vernetzt werden, dieses häufig durch viele Endsysteme auf engem Raum erzeugt wird, und da die Kosten eines Ring-Anschlusses möglichst klein bleiben müssen, sollen mehrere Endsysteme an einer Anschlußstation zusammengefasst werden.

Bild 4.6 spiegelt diese Struktur wieder. Zahlreiche unterschiedliche Endsysteme werden mit entsprechenden Anschluß-Modulen sternförmig verbunden. Hierbei können sowohl genormte Schnittstellen wie auch, angepaßt an die Anforderungen des Endsystems, leistungsfähigere und flexiblere Schnittstellen verwendet werden, die in heutigen Normen noch nicht zu finden sind.



**Bild 4.6:** Struktur der Anschluß-Station

Alle Anschluß-Module sind über einen gemeinsamen Datenbus und einen Steuerbus mit der Zugriffssteuerung verbunden, deren Funktionalität im Abschnitt 4.1.3 bereits skizziert wurde. Diese Struktur ermöglicht eine flexible Anpassung an Endsysteme aller Art, da die Anschluß-Module je nach Anforderung der Schnittstellen unterschiedlich dimensioniert werden können. Weiterhin erlaubt die klare Trennung von Kanalzugriff und Endsystem-Anschluß, daß die Stationen im weiten Umfang aus- und umgebaut werden können.

Der Zugriff auf den Kanal erfolgt für CS auf zugeordnete Zeitschlitze im ICC-Modul (Isochronous Channel Control) durch eine Zuordnungstabelle. Der Zugriff für PS wird vom MAC-Modul gesteuert, der die Kontrollinformation des Zeitschlitzkopfes auswertet. Alle Daten vom Ring werden mit voller Geschwindigkeit über den Datenbus zum angesprochenen Anschluß-Modul weitergeleitet, in dem dann je nach Verkehrstyp entweder eine Umsetzung auf einen synchronen Kanal (CS) oder eine Verkettung empfangener

Mini-Pakete mit Erzeugung des ursprünglichen LLC-Rahmens durchgeführt wird (PS). Zum Senden auf den Ring arbeiten diese Module in umgekehrter Reihenfolge.

Da die Baugruppen des Kanalzugriffs mit voller Datenrate (in Echtzeit) arbeiten müssen, sind hier nur sequentielle und kombinatorische Netzwerke eingesetzt. Alle anderen Steuerungs-Verwaltungs- und Überwachungsaufgaben werden auf dem Stationsprozessor bearbeitet.

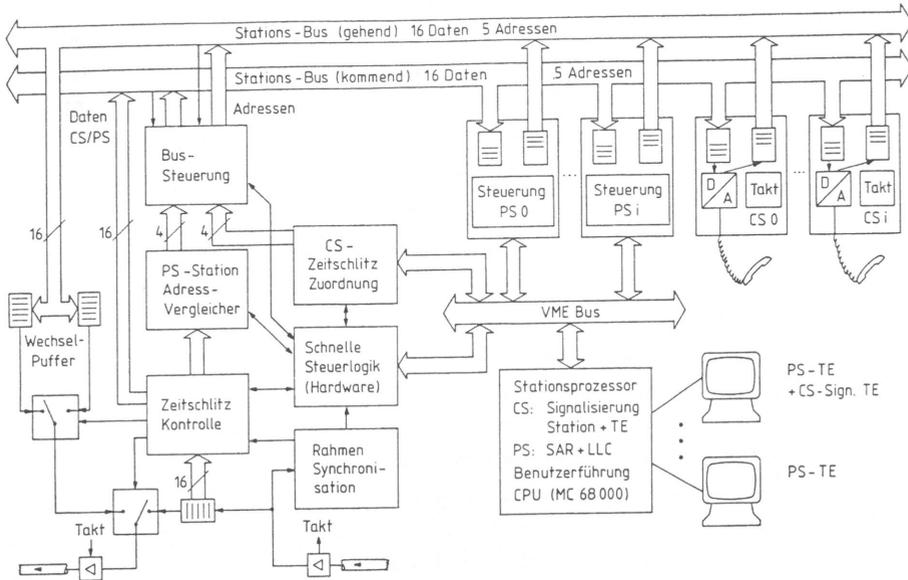
#### 4.3.2.2 Laborimplementierung der Stationen

Die Laborimplementierung der Stationen entspricht in weiten Teilen dieser Struktur. Um den Aufwand im vertretbaren Umfang zu halten, wurden jedoch die Anschluß-Module einfacher gestaltet. Die im folgenden vorgestellte Station verfügt so auch nur über einen Prozessor, jedoch ist eine spätere Erweiterung berücksichtigt und sehr leicht durchführbar. Alle Funktionen des Kanalzugriffs und der hybriden Vermittlung sind aber vollständig implementiert und arbeiten mit der spezifizierten Geschwindigkeit von 10 Mbit/s.

##### 4.3.2.2.1 Kanalzugang

Bild 4.7 gibt einem Einblick in die Struktur der Laborimplementierung einer Anschlußstation. Die linke Hälfte des Bildes umfasst den Kanalzugang, der hier detaillierter dargestellt wird.

Das Modul Rahmensynchronisation muß das Synchronmuster im Anfang eines jeden Pulsrahmens suchen und damit die interne Zeitbasis synchronisieren. Dazu müssen innerhalb von 100 ns (1 Bit-takt) die empfangenen Daten mit dem erwarteten Synchronwort verglichen werden. Außerdem enthält jeder der 128 Zeitschlitze im Kopf 2 weitere Bit, die eine Kontrolle der Synchronität während des gesamten Pulsrahmens erlauben. Dieses Muster besteht aus 16 Abschnitten zu je 12 bit des Synchronwortes mit einer fortlaufenden 4 bit-Nummer, ist somit leicht zu erzeugen und über den ganzen Pulsrahmen eindeutig. Die Synchronisationsschaltung stellt somit die Zeitreferenz für alle weiteren Zugriffe bereit.



**Bild 4.7:** Laborimplementierung der Anschluß-Station

Realisiert wurde die Rahmensynchronisation durch endliche Automaten, die durch geeignete Zustandskodierungen und Optimierungen im Entwurf in einem PAL vom Typ 16R8 zusammengefasst werden konnte. Diese Lösung hat auch den Vorteil, daß nur 35 ns nach dem Einlaufen eines neuen Synchronisationsbits die Auswertung der Synchronisationsprüfung abgeschlossen ist, d.h. dieser Teil könnte auch mit wesentlich höheren Datenraten noch arbeiten.

Die Ablaufsteuerung erzeugt aus den zahlreichen Zustandsanzeigen die erforderlichen Signale, die dann zum betreffenden Zeitpunkt durch die Zeitsteuerung der Synchronisationsschaltung wirksam werden. Auch hier mußte beim Entwurf auf kleine Signaldurchlaufzeiten geachtet werden; der Einsatz von PAL-Bausteinen hat sich auch hier sehr gut bewährt. Diese Steuerlogik bietet außerdem über Status- und Befehlsregister, sowie über eine Unterbrechungssteuerung eine Kommunikation mit den Überwachungsprozessen im Stationsprozessor. Dazu ist ein Anschluß zum VME-Bus vorhanden.

Die einlaufenden Daten werden in einem Schieberegister um 16 Takte verzögert und können somit parallel abgegriffen werden. Damit wird die hohe Datenrate des Rings für die weitere Verarbeitung in 16 bit-Worten auf 625 kWorte/s reduziert. Die Bearbeitung eines einlaufenden Zeitschlitzes geschieht dann in den folgenden Schritten:

- Aus den ersten 8 bit eines Zeitschlitzes werden die Kennung der Verkehrsart (CS/PS), das Belegt-Bit und das PS-Klassen-Bit in der Zeitschlitzkontrolle ausgewertet.
- Bei PS-Verkehr erfolgt nun ein Vergleich der beiden, im Mini-Paket enthaltenen Adressen mit der eigenen Stationsadresse. Falls das Mini-Paket von dieser Station gesendet wurde oder an sie gerichtet ist, so wird dieser Zeitschlitz freigegeben und das Mini-Paket über die Bus-Steuerung dem PS-Modul gesendet. Sollte diese Übergabe nicht vollständig möglich sein, so wird der Zeitschlitz nicht freigegeben. Die Auswahl des Modules geschieht durch Interpretation der LLC-Adressen im ersten Mini-Paket, bzw. durch Auswertung der Zusatzkennung (Reassembly-Identifizier).
- Bei CS-Verkehr muß jede Verbindung dieser Station in der CS-Zeitschlitz-Zuordnungstabelle eingetragen sein. Ist für den eingetroffenen Zeitschlitz dies der Fall, so kann aus dieser Tabelle weiterhin die Adresse des angesprochenen Endsystems gelesen werden, die der Bus-Steuerung übergeben wird.

Der Inhalt eines Zeitschlitzes (4 Worte) wird dann auf den kommenden Stationsbus (Datenbus) gegeben und von einem Puffer (FIFO-Speicher) des Anschluß-Moduls aufgenommen.

Die CS-Zeitschlitz-Zuordnungstabelle besteht im wesentlichen aus einem Speicher, der quasi gleichzeitig von der Steuerlogik gelesen und vom Stationsprozessor beschrieben werden kann. Da die Daten innerhalb enger Zeitgrenzen gelesen werden müssen, wird durch eine Arbitrierungslogik (in einem PAL-Baustein) ein eventueller Kollisionsfall durch Verzögern des Prozessorzugriffes um max. 250 ns aufgelöst. Der Zugriff des Prozessors erfolgt hier wiederum über den VME-Bus.

Das Senden von Informationen kann gleichzeitig oder unabhängig geschehen, da zwei unidirektionale Busse eine gegenseitige Beeinflussung ausschließen. Auch hier unterscheiden sich beide Verkehrsarten:

- Da CS-Verbindungen vollduplex betrieben werden, wird aus dem Zeitschlitz kopiert, während gleichzeitig die Daten des Anschluß-Moduls in den selben Zeitschlitz geschrieben werden.
- Das Senden eines Mini-Paketes kann in jedem freien Zeitschlitz erfolgen, speziell auch in demselben Zeitschlitz, in dem ein Mini-Paket empfangen wurde. Die Anschluß-Module besitzen für PS-Daten unterschiedliche Prioritäten, um z.B. den Signalisierungs-Mini-Paketen Vorrang geben zu können. Diese Priorisierung wird von zahlreichen Protokollen gefordert, z.B. 8 Prioritäten im LLC nach IEEE 802.2, expedited data in X.25 Schicht 3 oder in den Klassen 1 bis 4 des ISO-Transportprotokolls.

Der Sendeteil besteht im wesentlichen aus einem Wechselfuffer; während aus einem Schieberegister die Daten in einen Zeitschlitz eingefügt werden, kann das zweite Schieberegister parallel vom Datenbus mit dem nächsten 16 bit-Wort geladen werden.

Die Festlegung der Prioritäten der Anschluß-Module für PS-Verkehr sowie die Vergabe der Sendeberechtigung erfolgen mit einer durchgehenden Meldeleitung (Daisy-Chain). Hier ist besonders der extrem zeitkritische Fall zu beachten, daß ein Mini-Paket auch noch nach dem Auswerten des zweiten Adressfeldes (Senderadresse) entnommen werden kann und nur wenige Takte später das Belegbit die Station verlässt. Innerhalb weniger 100 ns muß also die Auswahl nach den (max. 16) Prioritäten der Anschluß-Module abgeschlossen sein, das zu sendende Mini-Paket im Sendepuffer bereitliegen oder das Belegbit auf 'frei' gesetzt werden. Dazu wird mit Beginn jedes Zeitschlitzes ein Auswahlverfahren durchlaufen, das die Sendeberechtigung für diesen Zeitschlitz festlegt.

#### 4.3.2.2.2 Anschluß-Module

Die Anschluß-Module müssen einerseits die Geschwindigkeitsanpassung der Endsysteme an die Datenrate des Ringes vornehmen, andererseits sind sie der Übergangspunkt vom integrierten zum dedizierten System mit unterschiedlichen Verkehrstypen. In der Laborimplementierung wurde die Funktionalität der Anschluß-Module auf das Notwendige reduziert.

Die Anpassung der Geschwindigkeit von isochronen 625 kWorten/s (10 Mbit/s) auf die gewählte synchrone Geschwindigkeit ( $n * 64$  kbit/s) erfolgt durch schnelle Pufferbausteine (FIFO). Zur Demonstration des CS-Verkehrs wurden PCM-Codecs eingesetzt, die mit einer synchronen Datenrate von 64 kbit/s arbeiten. Die Taktversorgung dieser Geschwindigkeitsanpassung muß mit dem Netztakt eines CS-Weitverkehrsnetzes eng gekoppelt sein. Um das System unempfindlich gegenüber Schwankungen bzw. Änderungen der Datenrate von 10 Mbit/s zu halten, wurde der Takt des Pulsrahmens als Referenz verwendet. Dieser 1 ms-Takt wird vom 64 kbit/s-Netztakt des CS-Netzes an der Übergabestation abgeleitet und somit an alle Stationen übertragen. Die Synchronisationsschaltung der Stationen erzeugt bei Beginn des Pulsrahmens ein Signal, das von den Anschluß-Modulen über einen rückgekoppelten Phasenvergleich (PLL-Schaltung) mit einem 64 kbit/s-Takt in Gleichlauf gebracht wird. Dank dieser festen Zuordnung können die Anschluß-Module für CS-Verkehr sehr einfach aufgebaut werden.

Der Buszugang der Anschluß-Module für PS-Verkehr ist ähnlich. Allerdings muß die Steuerung der Puffer ergänzt werden um die oben angesprochene Prioritäts-Steuerung und um Schaltungsteile, welche die Konsistenz der Mini-Pakete sicherstellen; d.h., alle Operationen müssen für Mini-Pakete atomar sein, d.h. sie dürfen nur mit den 4 Worten eines Mini-Paketes zusammen oder gar nicht ausgeführt werden. Da die weitere Verarbeitung der Mini-Pakete in einem Prozessor durchgeführt wird, werden die FIFO-Puffer an den VME-Bus angepasst.

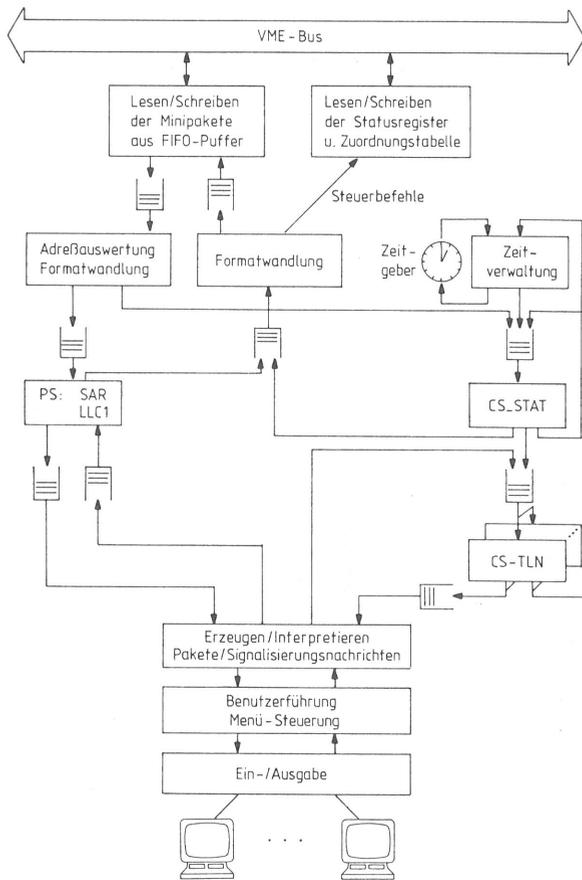
#### 4.3.2.2.3 Stationsprozessor

Alle Steuerungsprozesse der Station sind auf einem Mikroprozessor MC 68000 implementiert worden. Da aber die gesamte Kommunikation zwischen Mikroprozessor und den Baugruppen ausschließlich über den VME-Bus geführt ist, können die notwendigen Steuerungsprozesse, die auch nur mit Meldungen kommunizieren, sehr leicht auf mehrere Prozessoren an diesem Bus verteilt werden.

Da für die Laborimplementierung noch keine geeigneten Endsysteme zur Verfügung stehen, wurden als CS-Endsysteme Codecs mit analogem Telefon und für PS normale Datenterminals eingesetzt, vgl. Bild 4.7. Aus dieser Konfiguration ergeben sich dann die Aufgaben des Stationsprozessors:

- Für CS:
  - o Signalisierung der Station (CS\_A\_STAT / CS\_B\_STAT).
  - o Signalisierung für die angeschlossenen Endsysteme (CS\_A\_TLN / CS\_B\_TLN).
  - o Kommunikation mit dem Benutzer zur Signalisierung.
- Für PS:
  - o Umformung von LLC-Nachrichten in Mini-Pakete beim Senden.
  - o Umformung von empfangenen Mini-Paketen in LLC-Nachrichten.
  - o Funktionen der ISO-Schicht 2b, LLC.
  - o Kommunikation mit dem Benutzer / Ein- und Ausgabe von Nachrichten und Adressinformationen.
- Ansteuerung und Überwachung der gesamten Station.
- Ein- und Austragen der CS-Verbindungen in der Zeitschlitz-Zuordnung nach der Signalisierung.

Bild 4.8 zeigt die interne Struktur der gesamten Software des Stationsprozessors. Alle Prozesse kommunizieren nur über Puffer durch Meldungen miteinander, und ein übergeordneter Verwaltungsprozeß teilt je nach Bedarf, d.h. sobald Meldungen im Puffer vorliegen, einem Prozess den Prozessor zu. Darüber hinaus lösen volle Puffer eine Unterbrechungsbehandlung aus, die eine sofortige Bearbeitung einleiten. Durch eine geeignete



**Bild 4.8:** Struktur der Steuerungssoftware der Anschluß-Station

Bearbeitungsreihenfolge, die an die Datenflüsse zwischen den Prozessen angepasst ist, wird ein effizientes Systemverhalten erzielt.

Fast alle Module wurden in der Programmiersprache PASCAL erstellt, lediglich die Ein-/Ausgabe-Routinen mussten in Assembler geschrieben werden. Trotz der sehr umfangreichen Programme konnte die Bearbeitungszeit klein gehalten werden, da durch geeignete Datenstrukturen und die ausschließliche Weitergabe von Zeigern auf Meldungen unnötige Operationen (z.B. Umkopieren beim Weitergeben) vermieden wurden.

#### 4.3.2.2.4 Schnittstellen zum Benutzer

Die Kommunikation der Steuerung mit dem Benutzer geschieht über die Datenterminals. Terminal 1 übernimmt dabei die Ein- und Ausgabe der CS-Signalisierung mit, während alle anderen angeschlossenen Terminals nur als PS-Endsysteme arbeiten. Der Dialog mit den Benutzern erfolgt menügesteuert. An Terminal 1 kann zuerst zwischen CS-Signalisierung und PS-Nutzdaten gewählt werden. Nacheinander werden alle erforderlichen Angaben für eine CS-Verbindung abgefragt (Eigenes CS-Endsystem, B-Station, B-Endsystem) und die Verbindung aufgebaut. Alle empfangenen Signaliernachrichten werden dem Benutzer angezeigt, wobei die Parameter der Meldungen interpretiert ausgegeben werden.

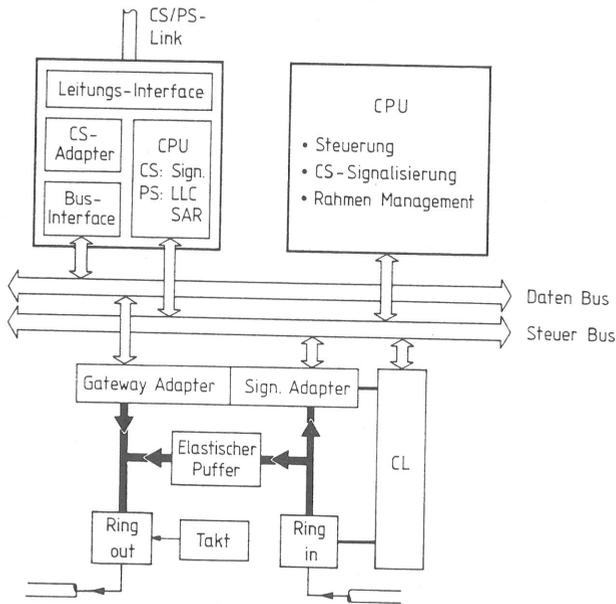
PS-Nutzdaten können von allen angeschlossenen Terminals abgesendet und empfangen werden. Zuerst wird der gewünschte LLC-Dienst ausgewählt. Implementiert wurde LLC Typ 1, d.h. Datagramm-Betrieb; neben der Übertragung normaler Nutzinformation in UI-Rahmen wird auch die Testmöglichkeit nach IEEE 802.2 /43/ angeboten. Ein ausgesandter Testrahmen wird beim Empfänger durch Vertauschen von Sender- und Empfängeradresse gespiegelt, so daß die Funktion einer Station leicht überprüft werden kann.

#### 4.3.3 Master-Station

##### 4.3.3.1 Struktur der Master-Station

Die Hauptaufgaben der Master-Station, der zentralen Überwachungs-Station, sind bereits genannt worden: der Pulsrahmen wird hier erzeugt, zwischengepuffert und überwacht, die Zuteilung der Zeitschlitze für CS-Verbindungen wird nach dem Signalisierungsprotokoll durchgeführt, und schließlich ist die Master-Station auch der Anschlußpunkt an externe Netze bzw. Knoten.

Bild 4.9 spiegelt die grundsätzliche Struktur wieder, die analog zur Ring-Station entworfen wurde. Kernstück des kanalnahen Teils ist der elastische Puffer, der unterschiedliche Laufzeiten des Pulsrahmens durch den Ring ausgleicht und gleichzeitig den Zugriff des Stationsprozessors auf den gespeicherten Pulsrahmen erlaubt.



**Bild 4.9:** Struktur der Master-Station

#### 4.3.3.2 Laborimplementierung der Master-Station

In der Laborimplementierung sind 4 RAM-Bausteine das Kernstück dieses Puffers, von denen je ein Paar den Pulsrahmen gerade empfängt und aus dem anderen Paar der Pulsrahmen gerade ausgesendet wird. Mit dem Ende des Rahmens werden die RAM-Paare von einer Steuerlogik umgeschaltet. Das erlaubt die völlige Entkopplung von Sende- und Empfangsteil, sowie den freien Zugriff des Prozessors auf einen Teil des auszusendenden Pulsrahmens.

Mini-Pakete, die CS-Signalisierinformation enthalten, werden durch eine spezielle Schaltung herausgefiltert und über einen FIFO-Puffer der Steuerung angeboten. Wie bei den Anschluß-Stationen so wird auch bei der Master-Station der VME-Bus zur Kommunikation mit dem Stationsprozessor (MC 68000) eingesetzt.

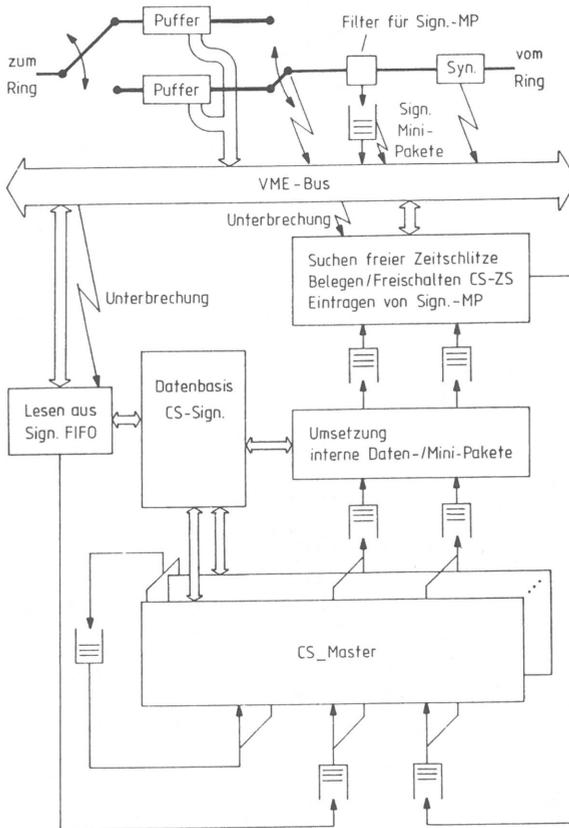


Bild 4.10: Struktur der Steuerungssoftware der Master-Station

Hauptaufgaben des Prozessors der Master-Station sind:

- Verwaltung einer verbindungsbezogenen Inkarnation des CS\_MASTER-Prozesses der CS-Signalisierung.
- Zuordnung ankommender Signalisierungsnachrichten (in Mini-Paketen) zu einem CS\_MASTER-Prozess, bzw. Inkarnation eines neuen Prozesses beim Eintreffen eines neuen Verbindungswunsches.
- Suchen und Belegen neuer Zeitschlitzes für CS-Verbindungen, bzw. Freigabe belegter CS-Zeitschlitzes bei Abbau einer Verbindung.
- Aussenden neuer Signalisierungsnachrichten nach dem in SDL spezifizierten Signalisierungsprotokoll.

- Erzeugung und Überwachung des Pulsrahmens sowie Kontrolle der gesamten Schaltung.
- Erzeugung einer Rundsendenachricht für Systemmeldungen.

Bild 4.10 gibt einen Einblick in die Realisierung der Steuerung. Ankommende Nachrichten werden mit Hilfe einer zentralen Verwaltungstabelle einem Prozeß zugeordnet, dessen momentaner Zustand hier ebenfalls vermerkt ist. Damit kann nun die empfangene Nachricht bearbeitet und eventuelle Reaktionen ausgelöst werden. Auch hier erfolgt die Kommunikation zwischen den einzelnen Programm-Modulen nur mit Nachrichten. Diesem Aufgabenbereich des Prozessors ist eine unterbrechungsgesteuerte Struktur überlagert, die in drei Prioritätsebenen untergliedert ist:

- Mit der niedrigsten Priorität werden neu empfangene Mini-Pakete (mit Signalisierinformation) angezeigt.
- Mit mittlerer Priorität wird die aktuelle Zuordnung eines RAMs des elastischen Puffers zum gerade ausgesendeten Pulsrahmen übertragen.
- Und mit höchster Priorität wird von der Synchronisationsschaltung des Empfangsteils ein Verlust der Synchronisation gemeldet. Daraufhin wird der Pulsrahmen neu generiert, wobei alle bestehenden CS-Verbindungen davon nicht betroffen sind, da die Zeitschlitzköpfe restauriert werden (sog. Warmstart).

#### 4.3.4 Erfahrungen

Labora Aufbau wie auch experimenteller Betrieb haben deutlich gezeigt, daß einerseits das gewählte Mini-Paket-Protokoll zur Integration von durchschalte- und paketvermitteltem Verkehr sehr gut geeignet ist, und andererseits, daß die Implementierung mit Standard-Bauelementen in vertretbarem Rahmen bleibt. Die kanalnahen Funktionen der Master-Station wurden auf 3 Doppeleuropa-Karten mit TTL-LS Bausteinen und PALS implementiert, die Steuerung erfolgt durch eine übliche VME-Bus CPU-Karte.

Die eigentlichen Stationen des Ringsystems bestehen aus 2 Doppeleuropa-Karten für den gesamten Kanalzugriff, mindestens einer CPU-Karte (Standard VME-Bus) und je nach Ausbaustufe einer oder mehrerer CS- bzw. PS-Anschluß-Karten. Durch eine Optimierung der Schaltung konnten 3 CS-Kanäle mit PCM-Codecs für analoge

Fernsprecher auf einer Doppeleuropa-Karte Platz finden.

Vergleicht man die Komplexität der Schaltungen mit der von Schaltungen bekannter LAN-Protokolle, so ist durch den Einsatz kundenspezifischer Schaltkreise eine Integration sicher gut möglich; diese wäre auch für eine deutliche Erhöhung der Geschwindigkeit notwendig, die allerdings durch die verwendete Struktur der Stationen unterstützt wird.

#### 4.3.5 Erweiterungen und Ausblick

Bei der Erweiterung des Ringsystems steht der Anschluß zu den diensteintegrierenden Vermittlungsknoten im Vordergrund. Dazu werden in Verbindung mit der Struktur des Knotens (vgl. Gesamtkonzept, Kap. 3.1) zwei Alternativen diskutiert.

Eine Möglichkeit besteht in der Kopplung über CS/PS-Links, auf denen LLC-Rahmen übertragen werden. Dies erfordert im Gateway (Netzkoppeleinrichtung auf Schicht 3) entsprechende Umsetzungen. Die Struktur des CS/PS-Knotens kann hierbei frei gewählt werden.

Die andere Alternative besteht im konsequenten Einsatz gleicher Ringe für alle Komponenten des Gesamtsystems und Beibehaltung der Mini-Pakete im lokalen Bereich. Dabei ist es durchaus möglich, daß Ringe mit stark unterschiedlichen Datenraten über Brücken gekoppelt werden und daß auch Ringe intern im Knoten Verwendung finden. Die Idee, die unter Beibehaltung des kleinen Adressfeldes der Mini-Pakete eine Kopplung mehrerer Ringe auf MAC-Schicht 2a erlaubt, soll kurz umrissen werden.

Eine Erweiterung des Mini-Paket-Adressfeldes für eine eindeutige, direkte Adressierung in mehreren gekoppelten Ringen ist nicht möglich, da der relative Adressierungsaufwand in jedem Mini-Paket die Vorteile dieses Verfahrens kompensieren würde. Außerdem ist zu erwarten, daß bei günstiger Konfiguration des Netzes ein Großteil des Verkehrs innerhalb eines Ringes bleibt.

Deshalb werden Mini-Pakete auf virtuellen Verbindungen über mehrere Ringe geleitet. Dafür muß das Adressfeld der Mini-Pakete um nur 1 bit erweitert werden:

Das zusätzliche Bit zeigt an, ob ein normales Mini-Paket (jetzt ringintern) vorliegt, oder ob die Adressfelder als eine logische Kanal-Nummer (LCN, Logical Channel Number) interpretiert werden müssen.

Der Ablauf einer virtuellen Verbindung über mehrere, durch Brücken gekoppelte Ringe, sei kurz skizziert:

Station A im Ring 1 sendet ein Mini-Paket an die Brücke zum nächsten Ring in Richtung der Zielstation B. Dieses Mini-Paket ist normal an die Brücken-Station adressiert und wird (aufgrund der Adressen) als Steuerpaket einer virtuellen Verbindung interpretiert. Es enthält neben möglichen Parametern die vollständigen Ziel- und Startadressen.

Die Brücke-Station teilt daraufhin dieser Station (A) eine LCN zu, die in diesem Ring eindeutig ist. Das geschieht ebenfalls im Nutzdatenteil eines normalen Mini-Paketes; die Adresse der absendenden Brücke erlaubt die korrekte Interpretation.

Im weiterführenden Ring initiiert die Brücken-Station nun ebenfalls einen Verbindungsaufbau in Richtung zur Zielstation B mit eigener, ringinterner LCN. Sobald Station B das Mini-Paket der Brückenstation ihres Rings erhalten hat, ist die virtuelle Verbindung aufgebaut und der Austausch der Mini-Pakete zwischen A und B erfolgt (vollduplex) auf den zugeteilten LCN, die in den Brücken entsprechend umgesetzt werden.

Alle Komponenten des in Kap. 3.1 vorgestellten Kommunikationssystems können, trotz gleicher Struktur des Gesamtsystems, mit Ringen implementiert werden. Im CS/PS-Knoten könnte ein Ring mit entsprechend hoher Datenrate alle Anforderungen erfüllen, während die anderen - verteilten - Ringsysteme dann direkt an den 'Knoten' herangeführt werden. Die CS/PS-Links können so ersetzt werden durch eine Schleife des Rings zur Brücken-Station, die dann direkt im Knoten lokalisiert ist, da auch eine größere Entfernung zwischen Ring und Knoten leicht mit 2 Lichtwellenleitern überbrückt werden kann.

Darüber hinaus könnten die vorgestellten Ringe auch hierarchisch gekoppelt werden, wie es im Bereich der Metropolitan Area Networks (MAN) diskutiert wird /47, 48, 74, 75/.

## KAPITEL 5

### VERKEHRSTHEORETISCHE UNTERSUCHUNGEN

#### 5.1 MODELLIERUNGS-ASPEKTE

Die verkehrstheoretischen Untersuchungen des diensteintegrierenden Ringsystems sollen klare Aussagen über die Leistungsfähigkeit des Zugriffsprotokolls unter den verschiedenen Betriebsbedingungen liefern. Prinzipiell können dazu eingesetzt werden:

- Exakte analytische Methoden,
- Approximative analytische Methoden,
- Simulationen eines Systemmodells mit Messung der Leistungsfähigkeit.

Grundlage einer Untersuchung ist ein Modell des realen Systems, das an Methoden und Fragestellungen angepasst werden muß. Die Modellierung erfordert eine feinfühligkeitsvolle Rücksichtnahme auf alle Komponenten und Mechanismen des Systems, die die Leistungsfähigkeit beeinflussen; dagegen können bei bekanntem Verhalten bestimmter Systemteile und bei bestimmten Fragestellungen unter Umständen Vereinfachungen angenommen werden, ohne daß Verfälschungen der Ergebnisse befürchtet werden müssen.

Die Modellierung des beschriebenen Ringsystems muß erfolgen im Hinblick auf die beiden integrierten Verkehrstypen CS und PS. Unabhängig vom angewandten Integrationsprinzip geschieht die Aufteilung der Gesamt-Bandbreite durch einen Verwaltungsprozeß nach dem oben spezifizierten Signalisierungsprotokoll. Bis zu einem gewissen Maximalwert wird einem CS-Verbindungswunsch vor PS-Priorität eingeräumt, d.h. ein CS-Ruf kann PS-Verkehr vom Ring verdrängen. Für die Leistungsuntersuchung bedeutet dies, daß das Verhalten des CS-Verkehrs praktisch nicht durch den PS-Verkehr beeinflußt wird, während andererseits durch den CS-Verkehr die Leistungsfähigkeit des Ringsystems für PS-Daten nachhaltig verändert wird.

## 5.2 ANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN

### 5.2.1 Mehrkanal-Durchschalteverkehr

#### 5.2.1.1 Modellierung

Die Analyse des Leistungsverhaltens für CS-Verkehr geschieht unter der Annahme, daß eine Station (die Master-Station) praktisch den gesamten Pulsrahmen überblicken und Zeitschlitz für CS belegen kann. Zur Vereinfachung wird angenommen, daß CS-Verbindungswünsche nicht warten dürfen und verloren gehen, wenn sie nicht erfüllt werden können und daß keine Einschränkungen hinsichtlich der Belegung bzw. in der Absuchreihenfolge bestehen. Diese Annahmen stimmen mit dem realen System sehr gut überein.

Unter diesen Annahmen kann das diensteintegrierende Ring-system für CS-Verkehr als eine einstufige, vollkommen erreichbare Koppelanordnung modelliert werden, bei der ein Zeitschlitz einer Leitung entspricht.

#### 5.2.1.2 Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit

An der Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeiten von Rufen unterschiedlicher Bandbreite, d.h. von Rufen auf  $n$  Grundkanälen an einer solchen Koppelanordnung wurde schon vor 1965 gearbeitet /36/. 1973 wurde dann eine geschlossene Form zur Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit publiziert /24/, die allerdings für große Bündel praktisch kaum anwendbar ist. Erst in /18/ stellten Conradt und Buchheister einen rekursiven Algorithmus vor, der relativ einfach und schnell zu Ergebnissen für dieses Problem führt. Durch eine optimierende Implementierung konnte die Berechnung letztendlich sehr einfach durchgeführt werden.

Der Algorithmus zur Bestimmung der Verlustwahrscheinlichkeit ist im Anhang A kurz dargestellt.

### 5.2.1.3 Verlustwahrscheinlichkeiten des Ringsystems

Aus der Vielzahl der erzielten Ergebnisse sollen nur wenige, typische hier vorgestellt werden. Zur Einschränkung der Vielzahl der Parameter werden nur 2 Verkehre unterschiedlicher Bandbreite betrachtet, da sich die charakteristischen Effekte nur hier sehr gut zeigen lassen. Die untersuchten Kombinationen sind: 1 / 2, 1 / 6 und 1 / 30 Grundkanäle für eine CS-Verbindung; dies entspricht den im ISDN angebotenen 2 B-Kanälen, sowie den genormten Breitbandkanälen  $H_0$  und  $H_{12}$ .

Da die Verlustwahrscheinlichkeiten für Verkehre mit 1 und 2 Grundkanälen und auch mit 1 und 6 Grundkanälen pro CS-Verbindung keine sigifikante Differenz aufweisen und somit die typischen Effekte der Mehrkanaldurchschaltung kaum aufzeigen können, wird im folgenden nur der extreme Fall 1 und 30 Grundkanäle je CS-Verbindung vorgestellt.

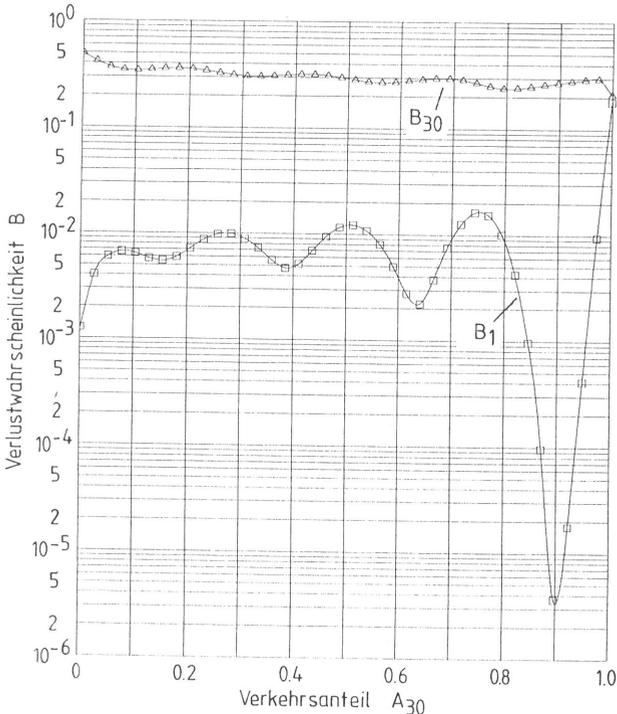
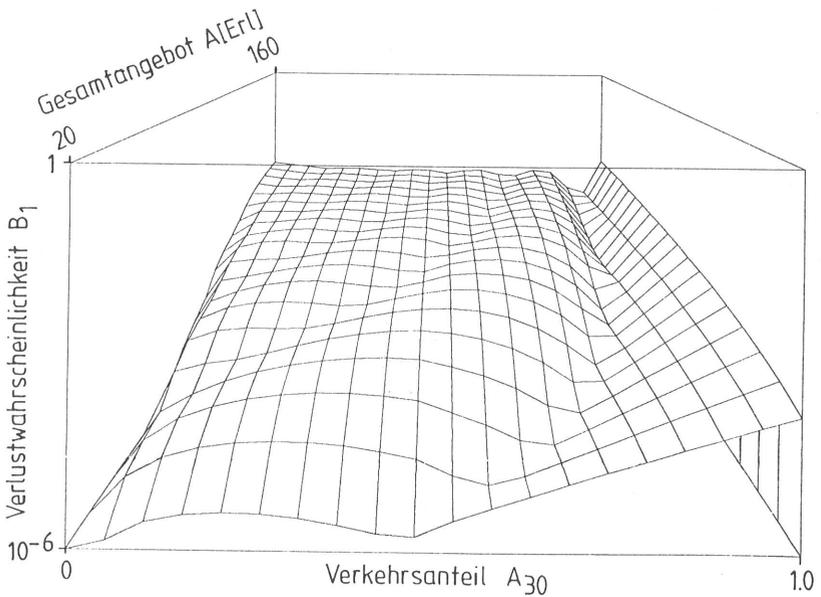
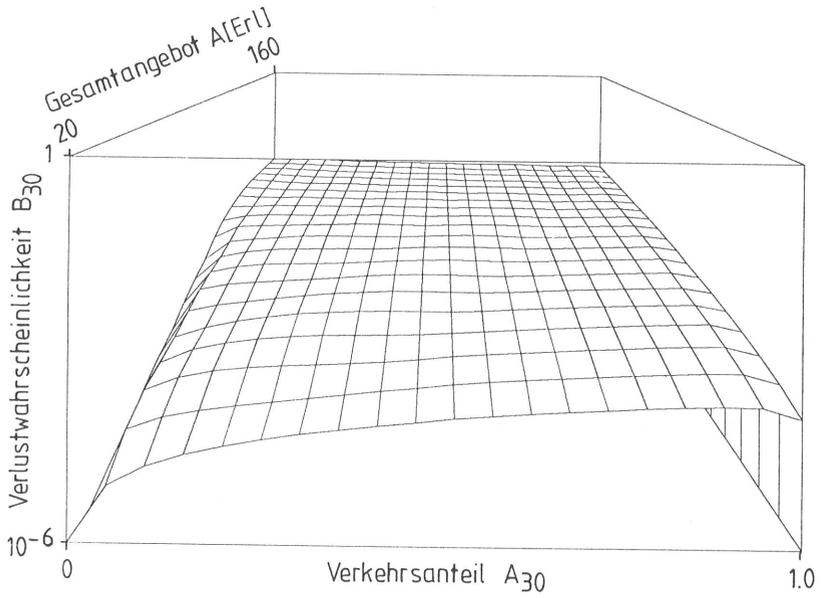


Bild 5.1: Verlustwahrscheinlichkeiten für CS-Verbindungen mit 1 und 30 Grundkanälen bei 150 Zeitschlitzten und 120 Erl. Gesamtangebot

Bild 5.1 zeigt für diesen Fall die Verlustwahrscheinlichkeiten  $B_1$  und  $B_{30}$  für einen Pulsrahmen mit 150 Zeitschlitzten, aufgetragen über dem relativen Anteil des Verkehrs (Angebot A) mit 30 Zeitschlitzten  $A_{30}$  bei konstantem Gesamtangebot (hier 120,5 Erl.). Mit abnehmendem  $A_1$  bzw. zunehmendem  $A_{30}$  zeigt die Kurve für  $B_1$  starke Ausschläge. Dieses Verhalten wurde bereits in /36/ publiziert und kann auch leicht anschaulich erklärt werden, da bei konstant ansteigendem  $A_{30}$  die Wahrscheinlichkeit zunimmt, daß ein neuer Ruf mit 30 Grundkanälen gerade nicht mehr zugelassen werden kann, da z.B. nur noch 29 Zeitschlitzte frei sind. Diese stehen dann dem anderen Verkehr ausschließlich zur Verfügung, so daß die Verlustwahrscheinlichkeit  $B_1$  immer wieder abfällt.

Besonders deutlich kann dieser Effekt gezeigt werden, wenn die Anzahl der Zeitschlitzte des Pulsrahmens kein ganzzahliges Vielfaches der Zeitschlitzte pro Breitband-Verbindung ist. Im Falle von 146 Zeitschlitzten pro Pulsrahmen und 1 / 30 Zeitschlitzten pro Verbindung fällt  $B_1$  mit sehr kleinem Verkehrsanteil der Schmalband-Verbindung stark ab, da einem kleinen  $A_1$  in diesem Beispiel 26 Zeitschlitzte gegenüberstehen, die trotz grossem  $A_{30}$  nicht belegt werden können.

Im Bild 5.2 ist dieser Zusammenhang qualitativ nochmals dargestellt, um den Einfluß von Gesamtangebot und relativem Verkehrsanteil gemeinsam zu demonstrieren. Deutlich treten dabei die Minima in der Ebene von  $B_1$  hervor; diese relativen Minima liegen genau auf Kurven mit konstantem  $A_1$ , deren Abstand untereinander exakt der Bandbreite der anderen Verkehrsklasse (hier 30) entspricht. Dies konnte auch bei den anderen betrachteten Bandbreiten-Kombinationen festgestellt werden, allerdings ist dank des großen Unterschiedes der Verkehre (1 / 30 Zeitschlitzte) die Ausprägung hier am deutlichsten.



**Bild 5.2:** Qualitative Darstellung der Verlustwahrscheinlichkeiten für CS-Verbindungen mit 1 und 30 Grundkanälen bei 150 Zeitschlitten

## 5.2.2 Maximaler Durchsatz des Mini-Paket-Protokolles

### 5.2.2.1 Problemstellung

Im Gegensatz zur Leistungsfähigkeit des Systems für CS-Verbindungen wird der PS-Verkehr sehr stark vom CS-Verkehr beeinflußt, da nur die momentan verbleibende Bandbreite (bis zu einem festgelegten Grenzwert) vom PS-Verkehr benutzt werden kann.

Das erste Kriterium zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit für PS ist die Bestimmung des maximalen PS-Durchsatzes an Nutzdaten, hier z.B. an LLC-Rahmen. Diese Ergebnisse sind für die beschriebenen Integrationsverfahren im Kapitel 3 bereits vorweggenommen worden.

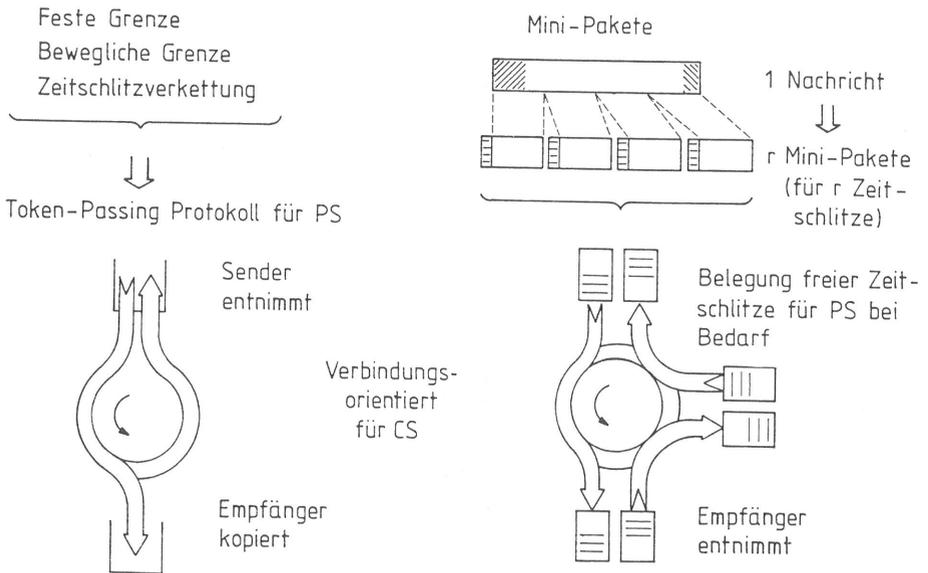
Bei den drei Integrationsprinzipien, deren Stationszugriff für PS mit dem Token Passing-Protokoll geregelt ist, kann die für PS zur Verfügung stehende Bandbreite leicht bestimmt werden:

- Bei der Integration mit fester Grenze ist diese Bandbreite vom momentanen CS-Verkehr unabhängig.
- Für Systeme mit verschiebbarer Grenze und ohne Umordnung bestehender CS-Verbindungen muß der Erwartungswert der Position dieser Grenze bestimmt werden, vgl. Abschnitt 3.3.2.1.2.
- Bei Systemen auf Basis der Zeitschlitzverkettung sowie Systemen mit beweglicher Grenze und Umordnung bestehender Verbindungen können alle freien Zeitschlitzze (d.h. nicht mit CS belegten Zeitschlitzze) von PS benutzt werden.

Das Token Passing-Protokoll ist dadurch gekennzeichnet, daß nur eine Station (die das Token empfangen hat) zu einer Zeit sendeberechtigt ist. Diese Station sendet in der für PS-Verkehr verfügbaren Bandbreite und entnimmt diese Information nach einem Umlauf wieder vom Ring. Während des Umlaufs erkennt eine Station sich als Empfänger der Daten und kopiert die gesamte Nachricht; eventuell kann der korrekte Empfang in einem speziellen Feld am Ende der Nachricht dem Empfänger sofort quittiert werden. Bild 5.3 zeigt links diese Situation. Der maximale Durchsatz ergibt sich dann aus der verfügbaren Bandbreite für PS, vermindert um

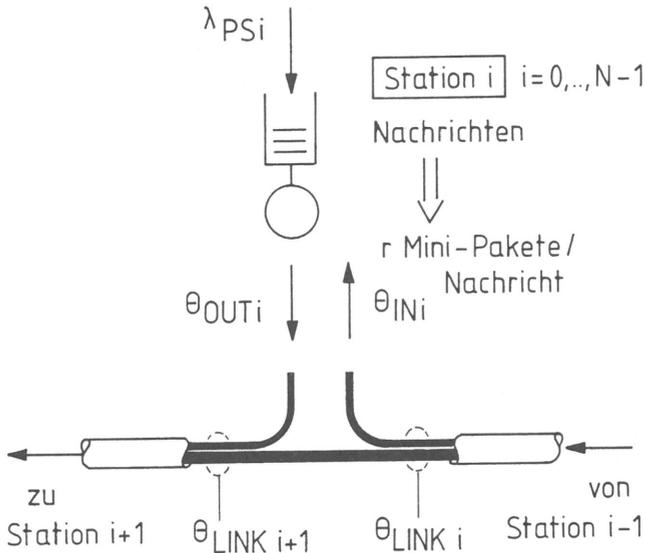
den meist sehr geringen Anteil, der zur Übergabe des Tokens benötigt wird. Analysen des Token-Rings sind z.B. zu finden in /80, 11, 68, 10, 21/.

Im Gegensatz dazu wird beim Mini-Paket-Protokoll ein einzelner Zeitschlitz nur vom Sender bis zum Empfänger des Mini-Paketes belegt, da der Zeitschlitz beim Empfang sofort freigegeben wird und, gegebenenfalls, sofort von dieser Station zum Senden eines eigenen Mini-Paketes benutzt werden kann. Der maximale PS-Durchsatz ist in diesem Fall also abhängig von den Verkehrsbeziehungen der einzelnen Stationen. Andererseits erfordert der zusätzliche Adresskopf eines Mini-Paketes zusätzliche Bandbreite, so daß eine genauere Analyse notwendig ist. Bild 5.3 stellt diesen grundsätzlichen Unterschied des Kanalzugriffs gegenüber.



**Bild 5.3:** Vergleich der Kanalzugriffs-Verfahren

5.2.2.2 Modell einer Station



**Bild 5.4:** Modell der Station für Mini-Pakete

Im Bild 5.4 ist das Modell einer Station gezeichnet, die PS-Verkehr in Mini-Paketen überträgt. Dabei werden die folgenden Parameter verwendet:

$N$ : Gesamtzahl an Ring-Stationen

$p_{ij}$ : Wahrscheinlichkeit, daß ein Mini-Paket von Station  $i$  zu Station  $j$  gesendet wird

$$\text{mit } \sum_j^{N-1} p_{ij} = 1, p_{ii} = 0$$

$\theta_{OUTi}$ : Mini-Paket-Rate des Paketverkehrs von Station  $i$  an alle anderen Stationen

$\theta_{INi}$ : Mini-Paket-Rate von allen anderen Stationen zu Station  $i$

$\theta_{mi}$ : Mini-Paket-Rate von Station  $m$  an Station  $i$  und folgende Stationen (an Stationen  $i, i+1, \dots, m+N-1$  (modulo  $N$ ))

$\Theta_{\text{LINK}i}$ : Mini-Paket-Rate des Leitungsabschnitts (Links) zwischen Station  $i-1$  und Station  $i$

$$\Theta_{\text{LINK}i} = \sum_{m=0}^{N-1} \Theta_{mi} = \sum_{m=0}^{N-1} \left( \Theta_{\text{OUT}m} \sum_{k=1}^{m+N-1 \pmod{N}} p_{mk} \right) \quad (5.1)$$

### 5.2.2.3 Maximaler PS-Durchsatz

Zur Bestimmung des maximalen Durchsatzes für paketvermittelte Informationen wird noch benötigt:

$n$ : Anzahl der Zeitschlitzte im Pulsrahmen.

$\Lambda_{\text{PS}}$ : Mittelwert der Anzahl der Zeitschlitzte, die von Mini-Paketen pro Sekunde benutzt werden können.

$Y_{\text{CS}}$ : Mittlere Anzahl der Zeitschlitzte, die mit CS-Verkehr belegt sind. Da ein Zeitschlitz stets eine Vollduplex-Verbindung führt, ist die Lage von Sender und Empfänger ohne Bedeutung.

Da im Mini-Paket-Protokoll stets alle Zeitschlitzte unabhängig vom momentanen CS-Belegungsmuster belegt werden können, gilt weiterhin:

$$\Lambda_{\text{PS}} = \frac{n - Y_{\text{CS}}}{\text{Rahmendauer}} \quad (5.2)$$

Damit kann der Grenzwert für den Mini-Paket-Verkehr im Ringsystem bestimmt werden. Der maximale PS-Durchsatz ist genau dann erreicht, wenn in mindestens einem Leitungsabschnitt alle Zeitschlitzte belegt sind:

$$\max(\Theta_{\text{LINK}i}) = \Lambda_{\text{PS}}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5.3)$$

Die Bestimmung des maximalen PS-Durchsatzes soll systemweit für einen Ring erfolgen, angegeben in der Ankunftsrate der Nachrichten (z.B. LLC-Rahmen) pro Sekunde:  $\lambda_{\text{PS}}$ .

Jede Station  $i$  trägt davon den relativen Anteil  $c_i$ , bzw.  $\lambda_{PSi}$ . In der Station werden aus einer Nachricht  $r$  Mini-Pakete erzeugt, die mit der Mini-Paket-Rate  $\Theta_{OUTi}$  bezeichnet werden.

$$\lambda_{PSi} = c_i * \lambda_{PS} \quad (5.4)$$

$$\Theta_{OUTi} = r * \lambda_{PSi} \quad (5.5)$$

Außerdem kann ein Faktor  $\alpha$  definiert werden, der die Kapazität des Ringsystems für PS-Daten beschreibt, wobei die Kommunikationsbeziehungen aller Stationen untereinander berücksichtigt werden.  $\alpha_i$  ist für jeden Übertragungsabschnitt zwischen Station  $i-1$  und Station  $i$  definiert:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_{PS} * r}{\Theta_{LINKi}} \quad \text{für alle } i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5.6)$$

Mit den Beziehungen (5.1) bis (5.6) kann die Bedingung für die maximale Paket-Ankunftsrate des Gesamtsystems (5.3) auch formuliert werden:

$$\lambda_{PS} = \frac{\lambda_{PS}}{r} * \min(\alpha_i), \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5.7)$$

Die Beziehung (5.7) kann interpretiert werden, daß

- a) der Übertragungsabschnitt mit dem kleinsten  $\alpha_i$  den PS-Durchsatz begrenzt.  $\alpha_i$  ist aber umgekehrt proportional zu  $\Theta_{LINKi}$  (5.6), das bedeutet, daß der Abschnitt mit der größten Rate an Mini-Paketen den gesamten Durchsatz limitiert.
- b)  $\alpha_i$  angibt, wie oft im Mittel ein PS-Zeitschlitz im Pulsrahmen (pro Umlauf) von Mini-Paketen belegt wird.

#### 5.2.2.4 PS-Kapazitätsfaktor

Die Bestimmung des Faktors  $\alpha_i$  kann erfolgen aus den Verkehrswerten für PS-Verkehr  $\lambda_{PSi}$  sowie aus den Verzweigungswahrscheinlichkeiten  $p_{ij}$  dieses Verkehrs.

Der Wertebereich für  $\alpha$  kann sofort sehr anschaulich ermittelt werden: Sendet jede Station nur zu ihrer unmittelbaren Nachbar-Station entgegen der Umlaufrichtung des Pulsrahmens, so erhält man den kleinsten Wert für  $\alpha$ ; sendet jede Station nur der Nachbar-Station in Umlaufrichtung, so kann jeder Zeitschlitz N-mal von Mini-Paketen pro Umlauf belegt werden. Daraus folgt:

$$\frac{N}{N-1} \leq \alpha \leq N \quad (5.8)$$

Weiterhin können für die Bestimmung von Systemen drei Klassen der Verkehrsverteilungen unterschieden werden:

1. Vollsymmetrische Belastung:

Jede Station sendet und empfängt die gleiche Mini-Paket-Rate zu bzw. von allen Stationen; oder

$$p_{ij} = \frac{1}{N-1}, \quad i, j = 0, 1, \dots, N-1, i \neq j \quad (5.9)$$

$$c_i = \frac{1}{N}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5.10)$$

In diesem Falle ist  $\alpha_i = \alpha = 2,0$  für alle  $i = 0, 1, \dots, N-1$ .

2. Halbsymmetrische Belastung

Ist  $\alpha = \alpha_i$  für alle  $i = 0, 1, \dots, N-1$ , ohne daß die Gleichungen (5.9) und (5.10) erfüllt sind, so ist die Mini-Paket-Rate auf dem ganzen Ring konstant, obwohl die Verkehrsbeziehungen zwischen den einzelnen Stationen unterschiedlich sind. Hier muß gelten:

$$\sum_{j=0}^{N-1} p_{ij} * \lambda_{PSi} = \sum_{j=0}^{N-1} p_{ji} * \lambda_{PSj} \quad (5.11)$$

$$\text{oder: } \Theta_{OUTi} = \Theta_{INi} \quad (5.12)$$

Auch in diesem Falle ist  $\alpha = \alpha_i$  für alle  $i = 0, 1, \dots, N-1$  und  $\alpha$  liegt, wie sich bei allen untersuchten Beispielen gezeigt hat, in der Nähe von 2.0.

### 3. Unsymmetrische Belastung

In diesem Fall sind keine allgemeinen Aussagen möglich, jedoch kann oftmals durch eine geeignete Anordnung der Stationen im Ring das Minimum ( $\alpha_i$ ) verbessert werden; siehe auch Abschnitt 5.3.2.

#### 5.2.2.5 Beispiel

Im folgenden soll das Beispiel eines halbsymmetrisch belasteten Ringes mit 10 Stationen gezeigt werden. 2 Stationen (0 und 3) senden und empfangen Mini-Pakete mit der 5-fachen Rate der restlichen Stationen. Dafür ergeben sich die folgenden Werte für den Verkehrsanteil und für die Verzweigungswahrscheinlichkeiten:

$$P_{ij} = \frac{1}{9}, \quad i = 0, 3, \quad j = 0, \dots, 9, \quad i \neq j$$

$$P_{i0} = P_{i3} = \frac{5}{17}, \quad i = 1, 2, 4, \dots, 9$$

$$P_{ij} = \frac{1}{17}, \quad i, j = 1, 2, 4, \dots, 9, \quad i \neq j$$

$$c_0 = c_3 = \frac{45}{226},$$

$$c_i = \frac{17}{226}, \quad i = 1, 2, 4, \dots, 9.$$

Aus diesen Größen erhält man mit den oben genannten Gleichungen:

$$\alpha_i = \alpha = 2.0 \text{ für alle } i = 0, 1, \dots, 9.$$

Aus den Systemparametern kann nun der maximale PS-Durchsatz bestimmt werden. Als Beispiel sind angenommen:

- 10 Stationen
- 10 Mbit/s Übertragungsrate
- 1 ms Pulsrahmen-Dauer
- 146 Zeitschlitz mit je 64 bit für CS oder Mini-Pakete
- 32 bit Rahmenkopf
- 4 bit Zeitschlitzkopf
- 16 bit Adressfelder pro Mini-Paket
- 48 bit Nutzdaten pro Mini-Paket

Unter Berücksichtigung der Adressfelder der Mini-Pakete (25%) und  $\alpha = 2$  verbleibt ein systemweiter PS-Maximaldurchsatz von 14,016 Mbit/s.

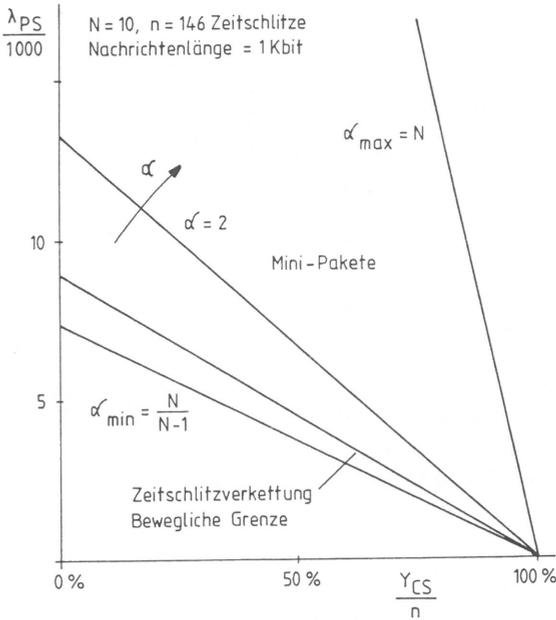
Unter der Annahme, daß 50% der Zeitschlitz mit CS-Verkehr belegt sind (73 Verbindungen mit je 64 kbit/s voll duplex) und daß eine Nachricht 1024 bit (22 Mini-Pakete) enthält, ergibt sich die maximale Ankunftsrate des Gesamtsystems zu

$$\lambda_{PS} = 6636,4 \text{ Nachrichten/s}$$

Bild 5.5 zeigt den maximalen PS-Durchsatz in 1 Kbit-Nachrichten/s, aufgetragen über dem relativen Anteil des CS-Verkehrs. Als Parameter ist  $\alpha$  mit den beiden oben genannten Extremwerten sowie dem (halb)symmetrischen Fall  $\alpha = 2$  gezeichnet. Zum Vergleich ist auch das Verhalten der Integrationsverfahren mit Zeitschlitzverkettung bzw. mit beweglicher Grenze und Umordnung bestehender CS-Verbindungen gezeichnet, deren maximaler PS-Durchsatz (bei gleicher Anzahl von Zeitschlitz im Pulsrahmen) einem Mini-Paket-System mit  $\alpha = 1,333$  entspricht. Es ist also deutlich zu sehen, daß der zusätzliche Adressierungsaufwand der Mini-Pakete durch die Mehrfachausnutzung (Faktor  $\alpha$ ) in den meisten Fällen überkompensiert werden kann.

#### 5.2.2.6 Verkehrsflußmatrix

Die Beschreibung des PS-Verkehrs sowie die Bestimmung des Kapazitätsfaktors  $\alpha$  eines Systems aus dem oben definierten Verkehrsanteil einer Station  $c_i$  und den Verzweigungswahrscheinlich-



**Bild 5.5:** Maximaler PS-Durchsatz  
 Parameter: PS-Kapazitätsfaktor

keiten  $p_{ij}$  führt oftmals zu Zahlenwerten, die unhandlich sind und einfache Systemzusammenhänge kaum erkennen lassen; das oben ausgeführte Beispiel verdeutlicht dieses Problem.

Die Beschreibung eines Mini-Paket-Systems und die Bestimmung des maximalen PS-Durchsatzes kann sehr viel einfacher erfolgen, wenn die Verkehrsbeziehungen der Stationen (für PS) mit relativen Verkehrswerten angegeben werden. Bild 5.6 gibt die Verkehrsflußmatrix des oben vorgestellten Beispiels an.

Die Elemente dieser Verkehrsflußmatrix sind relative Verkehrswerte für Mini-Pakete und werden mit  $Y_{PSij}$  bezeichnet. Daraus können alle benötigten Größen bestimmt werden.

Die Summe einer Spalte ist der relative (normierte) Verkehr, den eine Station  $i$  sendet (proportional  $\Theta_{OUTi}$ ).

Sender i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Sigma$
Empfänger j 0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
1	5	0	1	5	1	1	1	1	1	1	17
2	5	1	0	5	1	1	1	1	1	1	17
3	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	45
4	5	1	1	5	0	1	1	1	1	1	17
5	5	1	1	5	1	0	1	1	1	1	17
6	5	1	1	5	1	1	0	1	1	1	17
7	5	1	1	5	1	1	1	0	1	1	17
8	5	1	1	5	1	1	1	1	0	1	17
9	5	1	1	5	1	1	1	1	1	0	17
$\Sigma$	45	17	17	45	17	17	17	17	17	17	226

Bild 5.6: Verkehrsflußmatrix zum Beispiel in Abschnitt 5.2.2.5

$$Y_{PSi} = \sum_{j=0}^{N-1} Y_{PSij} \quad (5.13)$$

Die Summe aller Verkehrswerte ergibt den Gesamtverkehr des Systems und mit  $\lambda_{PS}$  den Normierungsfaktor

$$Y_{PS} = \sum_{i=0}^{N-1} Y_{PSi} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} Y_{PSij} \quad (5.14)$$

Die oben definierten Größen  $c_i$  und  $p_{ij}$  sind ebenfalls leicht zu ermitteln.

$$c_i = \frac{Y_{PSi}}{Y_{PS}} \quad \text{und} \quad p_{ij} = \frac{Y_{PSij}}{Y_{PSi}} \quad (5.15, 5.16)$$

Damit kann der PS-Kapazitätsfaktor  $\alpha_i$  sehr leicht ausschließlich aus der Verkehrsflußmatrix bestimmt werden. Mit den Verkehrswerten ergibt sich für  $\alpha_i$ :

$$\alpha_i = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} Y_{PSij}}{\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=1}^{m+N-1 \pmod{N}} Y_{PSmk}} \quad (5.17)$$

Die Leistungsfähigkeit eines diensteintegrierenden Ringsystems für PS-Verkehr ergibt sich somit leicht aus den Verkehrsbeziehungen der einzelnen Stationen untereinander. Die Symmetrie der PS-Belastung kann ebenfalls sofort an den Spalten- und Zeilensummen  $Y_{PSi}$  bzw.  $Y_{PSj}$  erkannt werden:

1. Vollsymmetrische Belastung:  $Y_{PSi} = Y_{PSj} = 1/N-1$  für alle  $i, j = 0, 1, \dots, N-1$ .
2. Halbsymmetrische Belastung:  $Y_{PSi} = Y_{PSj}$  für  $i = j$ .
3. Unsymmetrische Belastung:  $Y_{PSi} \neq Y_{PSj}$  für  $i = j$ .

### 5.3 SIMULATIVE UNTERSUCHUNGEN

Die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen erlauben genaue Aussagen über die Grenzbelastungen unterschiedlicher Systeme. Weitergehende Analysen führten nur zu ungenauen Approximationen, da z.B. das Verhalten des Mini-Paket-Protokolls nicht erlaubt, die Mini-Pakete einer Nachricht als voneinander unabhängig zu betrachten. Weitergehende Studien wurden daher mit Hilfe eines genauen Simulationsmodells durchgeführt, dessen Implementierung in einem Programm konkretere Aussagen über das Verhalten erlaubt.

#### 5.3.1 Simulationstechnik

Die Simulation des diensteintegrierenden Ringsystems muß zeittreu ablaufen, damit genaue Messungen der Warte- und Belegungszeiten möglich sind. Normalerweise werden alle Ereignisse einer zeittreuen Simulation in einer zentralen Datenstruktur

(z.B. einer Liste) gehalten und in der Reihenfolge der Zeitpunkte nach einer globalen Systemzeit abgearbeitet. Bei der Simulation eines Slotted Rings bringt dies einen erheblichen Organisationsaufwand mit sich, da alle Operationen auf Zeitschlitz (Belegen, Freigeben) nur am Anfang oder am Ende eines Zeitschlitzes ausgeführt werden dürfen und alle Stationen gleichzeitig auf Zeitschlitz des Pulsrahmens zugreifen dürfen. In jeder Station können also alle Operationen mit Zeitschlitz nur zu bestimmten, diskreten Zeitpunkten durchgeführt werden, wobei diese Zeitpunkte in jeder Station um die Signal-Laufzeit versetzt sind. Dies hat zur Folge, daß die Reihenfolge der Abarbeitung aller Ereignisse, die mit dem Pulsrahmen synchronisiert sind, durch die Zeitschlitz-Grenzen bestimmt wird und somit die tatsächliche Reihenfolge der Ereignisbearbeitung von der der Ereigniserzeugung abweichen kann. Insbesondere müssen für jeden Zeitschlitz alle Stationen auf Ereignisse überprüft werden.

#### 5.3.1.1 Organisation der zeittreuen Simulation

Für das Simulationsprogramm wurde deshalb ein neuer Ansatz gewählt, der auf folgenden Punkten beruht:

1. Die Bearbeitung eines Zeitschlitzes des Pulsrahmens in einer Station erfolgt nur, wenn alle Operationen der vorherigen Stationen auf diesen Zeitschlitz abgeschlossen sind.
2. Alle Stationen arbeiten unabhängig voneinander und beeinflussen sich nur mittelbar über den Pulsrahmen in Umlaufrichtung.
3. Die Erzeugung der nicht mit dem Pulsrahmen synchronisierten Ereignisse geschieht nach statistischen Vorgaben und kann auch beliebig in die Zukunft verlegt werden; d.h. Anfunksereignisse nach vorgegebenen Verteilungsfunktionen können bereits im Voraus generiert werden, sofern die "wahren" Zeitpunkte bei der weiteren Verarbeitung beachtet werden.

Grundidee der Simulation ist nun, daß die Ereignisbearbeitung in einer Station für den gesamten Pulsrahmen durchgeführt wird, wobei die Systemzeit stationsbezogen eine Rahmendauer überstreicht. Alle Operationen auf Zeitschlitzzeilen können so leicht auf die Zeitschlitzzeilen Grenzen synchronisiert werden, während alle anderen, statistisch erzeugten Ereignisse (z.B. Ankünfte von Nachrichten) für den Bearbeitungszeitraum im voraus generiert wurden und zeitrichtig in die Simulation einbezogen werden. Nach der Bearbeitung des Pulsrahmens wird dieser an die nachfolgende Station weitergereicht; diese Station beginnt ihre Bearbeitung um die Laufzeit zur vorherigen Station versetzt.

Für die Implementierung bedeutet dies, daß in jeder Station des Rings eine stationsbezogene Ereignisverwaltung stattfindet, die nur von der Stationszeit gesteuert wird. Eine übergeordnete Verwaltungsroutine teilt den Stationen lediglich nacheinander den Pulsrahmen zum eigentlichen Ankunftszeitpunkt zu und startet somit die Ereignisbearbeitung in den Stationen. Dieses Prinzip kann in die Datenstrukturen der Implementierungssprache (PASCAL) direkt umgesetzt werden und wurde in einem weiterführenden Projekt auch in gekoppelten Ringen mit Erfolg angewandt.

#### 5.3.1.2 Integration von CS- und PS-Verkehr in der Simulation

Die Dauer eines Simulationslaufes einer zeitreuen Simulation wird bestimmt von dem Ereignistyp, der am wenigsten häufig auftritt und noch statistisch ausgewertet werden muß. Im speziellen Fall eines diensteintegrierenden Systems führen die extremen Dynamik-Unterschiede der beiden Verkehrstypen zu extrem langen Rechenzeiten eines Simulationslaufs. Bei einer Rahmendauer von z.B. 1 ms, einer Übertragungsgeschwindigkeit von 10 Mbit/s und PS-Verkehr in Mini-Paketen müssen in einer Millisekunde über einhundert Mini-Pakete übertragen werden. Dem stehen aber CS-Verbindungen bis zur Dauer von Minuten gegenüber, die in ausreichender Anzahl erst eine statistisch gesicherte Auswertung erlauben.

Dieser große Dynamik-Unterschied der beiden Verkehrstypen erlaubt aber auch eine Dekomposition der beiden Verkehre und somit eine getrennte Untersuchung eines integrierenden Systems. Die Untersuchung des PS-Verkehrs kann dann erfolgen unter einem vorgegebenen CS-Verkehr, d.h. einem festen CS-Belegungsmuster im Pulsrahmen. Die Ergebnisse des Systemverhaltens für PS-Verkehr unter einem "eingefrorenen" CS-Verkehr können dann für die verschiedenen CS-Belegungen zu einem Gesamtergebnis aggregiert werden. In /52/ wird dieser Ansatz bestätigt am Beispiel eines integrierenden Multiplexers. Die Ergebnisse des Mini-Paket-Rings im folgenden Abschnitt wurden so erzielt.

### 5.3.2 Verkehrsleistung eines Mini-Paket-Rings

Im Kapitel 3.3.2 wurden die ersten Simulationsergebnisse bereits vorgestellt und damit ein Vergleich der Integrationsverfahren durchgeführt. Weitergehende simulative Untersuchungen eines Ringsystems mit Mini-Paketen sind Gegenstand des folgenden Abschnitts.

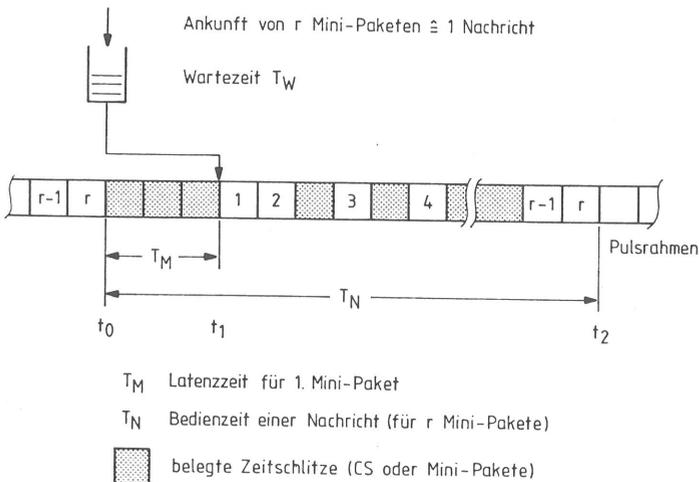


Bild 5.7: Definition der gemessenen Zeiten bei der Simulation

Zuerst sind die zu messenden Größen wie in Bild 5.7 zu definieren. Eine Nachricht wird bei der Ankunft in  $r$  Mini-Pakete zerteilt und in eine Warteschlange in der Station eingereiht. Nach einer Wartezeit  $T_W$  beginnt die Bedienung dieser Nachricht mit dem Ende des letzten Mini-Paketes der vorherigen Nachricht (Zeitpunkt  $t_0$ ). Die Bedienzeit einer Nachricht  $T_N$  endet dann nach dem Aussenden des letzten ( $r$ -ten) Mini-Paketes zum Zeitpunkt  $t_2$ . Zusätzlich ist noch die Zeit interessant, die vom Bedienungsbeginn ( $t_0$ ) bis zum Finden des ersten freien Zeitschlitzes ( $t_1$ ) vergeht, die Latenzzeit für das 1. Mini-Paket,  $T_M$ .

Für die folgenden Simulationsergebnisse wurden als Systemparameter unverändert beibehalten:

- 10 Stationen
- 10 Mbit/s Übertragungsrate
- 1 ms Pulsrahmen-Dauer
- 146 Zeitschlitzte mit je 64 bit für CS oder Mini-Pakete
- 73 Zeitschlitzte (50%) belegt mit CS-Verbindungen
- 32 bit Rahmenkopf
- 4 bit Zeitschlitzkopf
- 16 bit Adressfelder pro Mini-Paket
- 48 bit Nutzdaten pro Mini-Paket
- 1024 bit Nachrichtenlänge, entspricht 22 Mini-Paketen

### 5.3.2.1 Symmetrische PS-Belastung

Im folgenden Kapitel wird das diensteintegrierende Ring-system gleichmäßig mit PS-Verkehr belastet. Unter statischem CS-Verkehr, der konstant 73 (50%) der Zeitschlitzte belegt, bringen alle Stationen den gleichen PS-Verkehr ein. Die Verkehrsflußmatrix ist im Bild 5.8 dargestellt.

Die Dekomposition von CS- und PS-Verkehr wurde im vorhergehenden Abschnitt bereits diskutiert; die Auswirkungen dieser Dekomposition sollen nun näher betrachtet werden. In einem Mini-Paket-System können die CS-Verbindungen in beliebigen Zeitschlitzten aufgebaut werden, so daß beliebige Belegungsmuster möglich sind, die zur Simulation des PS-Verkehrs eingefroren werden. Im Bild 5.9 sind links oben die drei untersuchten CS-

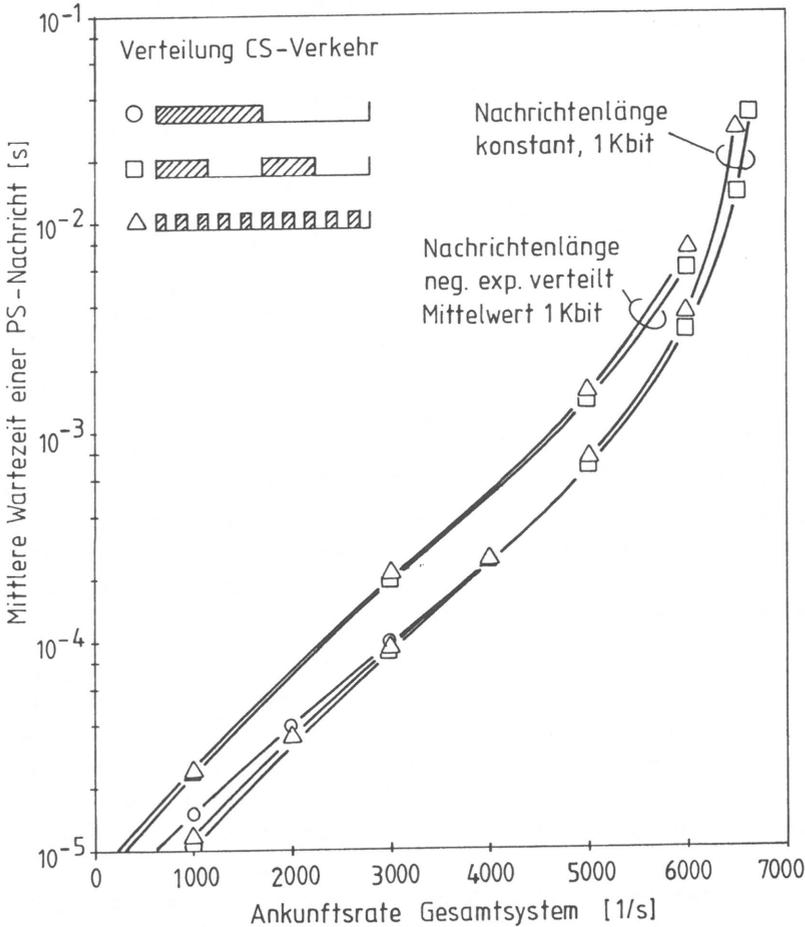
Sender i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Sigma$
Empfänger j 0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9
2	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	9
3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	9
4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9
5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	9
6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	9
7	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	9
8	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9
$\Sigma$	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	90

**Bild 5.8:** Verkehrsflußmatrix des symmetrisch belasteten Systems A

Verteilungen dargestellt, die das Systemverhalten unter allen CS-Belegungsmustern repräsentieren sollen.

- Der Pulsrahmen ist im ersten Teil mit CS-Verbindungen belegt, der Rest ist für PS frei.
- Der Pulsrahmen ist in vier gleich große Bereiche unterteilt; das erste und dritte Viertel sind dem CS-Verkehr zugeteilt.
- Die einzelnen Zeitschlitzte sind alternierend mit CS-Verbindungen belegt bzw. frei für PS.

Im Bild 5.9 sind die Wartezeiten für Nachrichten mit fester Länge und für Nachrichten mit negativ exponentiell verteilten Längen über einer steigenden PS-Ankunftsrate dargestellt. Für beide Fälle wurden die drei genannten CS-Verteilungen untersucht, wobei die Wartezeiten praktisch nicht davon beeinflusst wurden. Dies bedeutet, daß die Leistungsfähigkeit eines Mini-Paket-Systems nicht merklich durch die Anordnung der CS-Verbindungen im Pulsrahmen beeinflusst wird, was wiederum die Annahmen der Dekomposition bestätigt.



**Bild 5.9:** Einfluß der Längen-Verteilung der PS-Nachrichten und der Verteilung der CS-Verbindungen im Pulsrahmen

Der Einfluß der schwankenden Nachrichtenlänge auf die Wartezeiten ist ebenfalls wie erwartet, da dieses Verhalten aus dem Vergleich eines M/M/1-Systems mit einem M/D/1-System bekannt ist. Beide Wartezeitkurven steigen bei Hochlast stark an, wobei der Grenzwert dem in Tabelle 3.1 bestimmten maximalen Durchsatz entspricht ( $\alpha = 2$ , Fall a, 1 ms Rahmendauer)

Für den Fall einer konstanten Nachrichtenlänge sind im Bild 5.10 die Bedienzeiten nach obiger Definition gezeichnet. Wie nach Bild 5.9 schon erwartet, ist die mittlere Bedienzeit aller Mini-Pakete einer Nachricht  $T_N$  nahezu unabhängig von der Verteilung des CS-Verkehrs auf dem Pulsrahmen und nimmt mit steigender Auslastung des Systems fast linear zu.

Ganz anders verhält sich die mittlere Latenzzeit  $T_M$  des ersten Mini-Paketes einer Nachricht. Im praktisch leeren System weisen die Latenzzeiten des ersten Mini-Paketes  $T_M$  (Suche des ersten freien Zeitschlitzes) deutliche Unterschiede auf. Werden die CS-Verbindungen in 1 bzw. 2 Blöcke zusammengefasst, so muß auf den ersten freien Zeitschlitz deutlich länger gewartet werden. Allerdings sind die nachfolgenden Zeitschlitz dann nicht mit CS-Verbindungen belegt, so daß die folgenden Mini-Pakete der Nachricht wesentlich schneller bedient werden. Mit steigender Belastung des Systems mit PS-Verkehr sind auch zahlreiche Zeitschlitz mit Mini-Paketen anderer Stationen belegt; der Einfluß der CS-Verteilung auf dem Pulsrahmen verschwindet bis zum Grenzwert der maximalen Belastung.

Sehr interessant ist der leichte Abfall der Latenzzeit  $T_M$  in der Nähe der PS-Grenzbelastung. Dieses Paradoxon entsteht durch die Eigenschaft des Mini-Paket-Protokolls, die Mini-Pakete beim Empfänger vom Ring zu nehmen und die soeben freigegebenen Zeitschlitz sofort wieder mit eigenen Mini-Paketen zu belegen. Weiterhin senden alle Stationen während der ganzen Simulation nur Nachrichten mit 22 Mini-Paketen. Da in diesem Lastbereich alle Stationen praktisch immer Nachrichten zur Übertragung anstehen haben, werden zu Beginn der Simulation von einer Station stets 22 aufeinander folgende Zeitschlitz mit Mini-Paketen an einen Empfänger belegt; dort werden alle empfangen und die freigewordenen Zeitschlitz nehmen gemeinsam neue Mini-Pakete an einen anderen Empfänger auf. Obwohl sich dieser Effekt im Laufe der Simulation etwas verwischt, konnte doch auch nach sehr langen Simulationsläufen noch deutlich beobachtet werden, daß stets größere Zeitschlitz-Gruppen gemeinsam belegt und freigegeben wurden. Für die Latenzzeit des ersten Mini-Paketes  $T_M$  ergibt sich dann eine kürzere Wartezeit, da eine Gruppe Mini-Pakete empfangen wird, diese Zeitschlitz die restlichen Mini-Pakete der

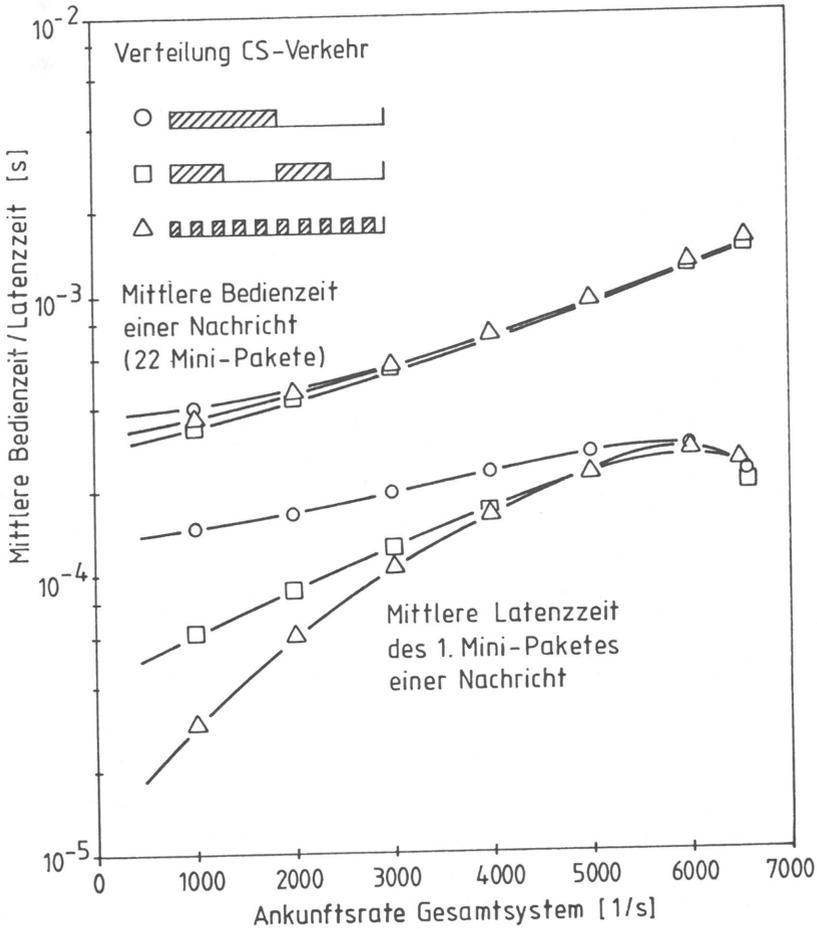


Bild 5.10: Einfluß der Verteilung der CS-Verbindungen im Pulsrahmen auf die Bedienzeiten

vorherigen Nachricht aufnehmen und dann auch die ersten Mini-Pakete der nächsten Nachricht gesendet werden können. Dieser Effekt bezieht sich aber nur auf die ersten Mini-Pakete einer Nachricht im Hochlastfall und hat keinen Einfluß auf die Bedienzeit aller Mini-Pakete ( $T_N$ ).

### 5.3.2.2 Nicht symmetrische PS-Belastung

Der letzte Abschnitt dieses Kapitels ist der Leistungsfähigkeit von Mini-Paket-Systemen gewidmet, die nicht symmetrisch belastet sind. Im folgenden werden 3 Systeme miteinander verglichen,

- A) ein symmetrisch belastetes System,
- B) ein halbsymmetrisch belastetes System,
- C) ein unsymmetrisch belastetes System.

Die Bestimmung des PS-Kapazitätsfaktors aus den beiden Verkehrsflußmatrizen erfolgt mit Gleichung (5.17). Dazu muß die Summe aller Verkehrswerte bezogen werden auf die Summe der Hälfte aller Verkehrswerte mit den dort angegebenen Grenzen. Durch die Verkehrsannahmen des Systems B,  $\Theta_{OUTi} = \Theta_{INi}$ , muß in jeder Station im Mittel die Summe aller gesendeten Mini-Pakete gleich der Summe aller empfangenen Mini-Pakete sein. Für die Berechnung nach (5.17) bedeutet dies, daß die Auslastung auf allen Übertragungsabschnitten gleich ist und die Summe dieser Verkehrswerte nahezu der Summe aller Verkehrswerte entspricht. Daraus folgt dann, daß  $\alpha$  für halbsymmetrisch belastete Systeme nahe bei 2 liegt; für System B in Bild 5.11 ist  $\alpha = 2,01$ .

Für die Verkehrsflußmatrix des Systems C wurden keine Einschränkungen angenommen. Die Annahme eines stark unsymmetrisch belasteten Systems führte zu 5 Stationstypen, deren Anordnung und Verkehrsbeziehungen als Basis der Erstellung der vollständigen Verkehrsflußmatrix diente, vgl. Bild 5.11. Als kleinster und den Durchsatz begrenzenden PS-Kapazitätsfaktor ergibt sich  $\alpha_r = 1,57$ . Damit ist der maximale PS-Durchsatz dieses Systems immer noch deutlich besser als der eines Token Passing-Systems ( $\alpha = 1,333$ , vgl. Abschnitt 5.2.2.5).

Bild 5.12 zeigt die mittleren Wartezeiten einer Nachricht für die drei betrachteten Systeme. Das Verhalten der Systeme A und B, die praktisch den selben PS-Durchsatz besitzen, ist nahezu identisch. Im Vergleich zu System C ist deutlich zu sehen, daß für Belastungen bis ca. 4000 Nachrichten/s Ankunftsrate die Wartezeiten nur geringfügig höher sind. Erst dann erfolgt die Sättigung des ersten Leitungsabschnittes und die Wartezeiten

System B

Verkehrsanahmen:  $\sum$  gesendete Mini-Pakete =  $\sum$  empfangene Mini-Pakete

Sender	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Sigma$
Empfänger 0	0	1	3	2	5	1	6	1	2	2	23
1	2	0	1	1	2	1	3	1	1	1	13
2	3	2	0	3	3	2	4	1	2	2	22
3	1	2	3	0	1	1	1	2	2	1	14
4	4	2	4	1	0	2	9	3	2	3	30
5	1	1	1	2	2	0	1	2	2	1	13
6	7	1	4	2	10	1	0	3	2	4	34
7	1	1	3	1	2	2	2	0	2	1	15
8	2	2	2	1	1	2	3	1	0	2	16
9	2	1	1	1	4	1	5	1	1	0	17
$\Sigma$	23	13	22	14	30	13	34	15	16	17	197

System C

Verkehrsanahmen:

Stationstyp	Station #	H	FS	GY	GW	KW
Host	4	0	20	8	3	1
Fileserver	6	20	0	8	2	3
Gateway	0	8	8	0	2	1
Große Workstation	2, 9	6	8	2	2	1
Kleine Workstation	1, 3, 5, 7, 8	5	12	1	1	1

Sender		GY	KW	GW	KW	H	KW	FS	KW	KW	GW	$\Sigma$
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Empfänger	GY 0	0	1	2	1	8	1	8	1	1	2	25
	KW 1	1	0	1	1	5	1	12	1	1	1	24
	GW 2	2	1	0	1	6	1	8	1	1	2	23
	KW 3	1	1	1	0	5	1	12	1	1	1	24
	H 4	8	1	3	1	0	1	20	1	1	3	39
	KW 5	1	1	1	1	5	0	12	1	1	1	24
	FS 6	8	3	2	3	20	3	0	3	3	2	47
	KW 7	1	1	1	1	5	1	12	0	1	1	24
	KW 8	1	1	1	1	5	1	12	1	0	1	24
	GW 9	2	1	2	1	6	1	8	1	1	0	23
$\Sigma$		25	11	14	11	65	11	104	11	11	14	227

Bild 5.11: Verkehrsflußmatrix der Systeme B und C

steigen stark bis zum Maximalwert an. Im Vergleich mit Bild 3.15 ist aber deutlich zu sehen, daß selbst unter diesen ungünstigen Annahmen das Mini-Paket-Protokoll ein deutlich besseres Verhalten zeigt als die drei anderen Integrationsverfahren; neben dem höheren maximalen Durchsatz sind auch die kleineren Wartezeiten bei leerem System von Vorteil.

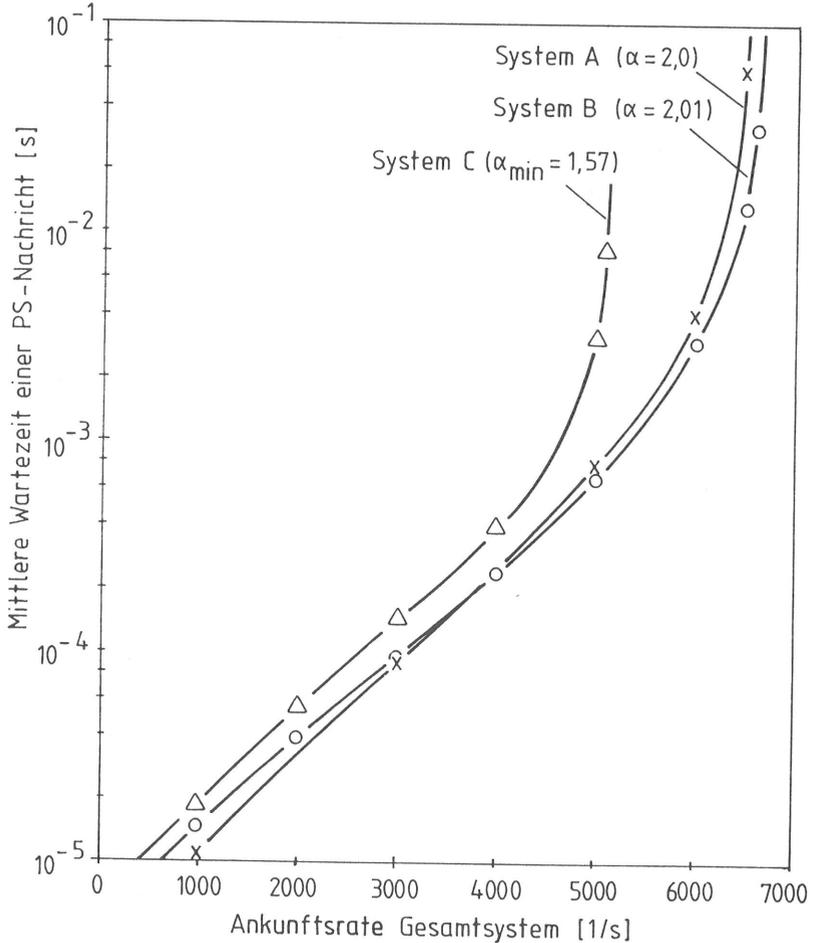


Bild 5.12: Einfluß der unsymmetrischen PS-Belastung

Abschließend soll noch die Frage untersucht werden, wie sich eine stark unsymmetrische Belastung auf die Wartezeiten in den einzelnen Stationen auswirkt, und in welchem Umfang die Anordnung der Stationen im Ring einen Einfluß auf die Wartezeiten einer Nachricht hat.

Relative Ring Auslastung

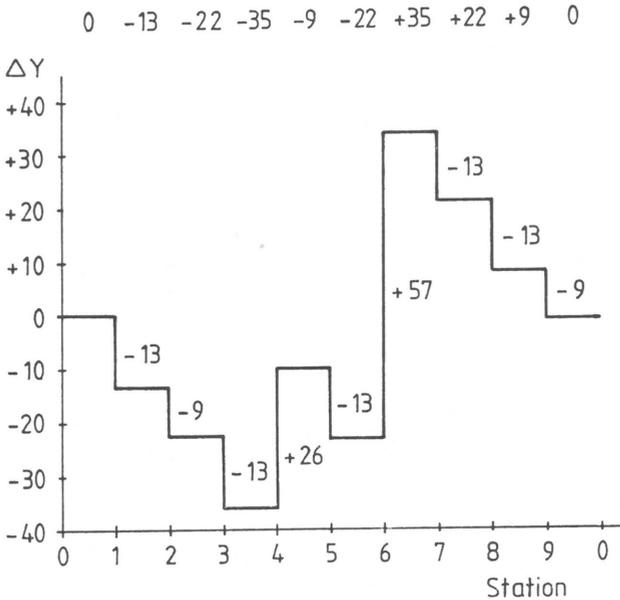


Bild 5.13: Relative PS-Auslastung des Rings im System C

Dafür ist im Bild 5.13 die relative Auslastung des Systems C über den Stationen gezeigt. Die Werte entsprechen den normierten Verkehrswerten der Verkehrsflußmatrix aus Bild 5.11, unten. Sie geben die Bilanz an den einzelnen Stationen wieder: Die Workstations (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9) empfangen im Mittel mehr Mini-Pakete, die Auslastung des Rings verringert sich also nach jeder dieser Stationen. Der Host-Rechner (4) und insbesondere der Fileserver (6) sind aber typischerweise Stationen, die wesentlich mehr Nachrichten senden; die Ringauslastung steigt hier deutlich an. Als einzige Station zeigt der Gateway eine neutrale Ver-

kehrsbilanz, hier werden im Mittel gleichviel Mini-Pakete empfangen wie gesendet.

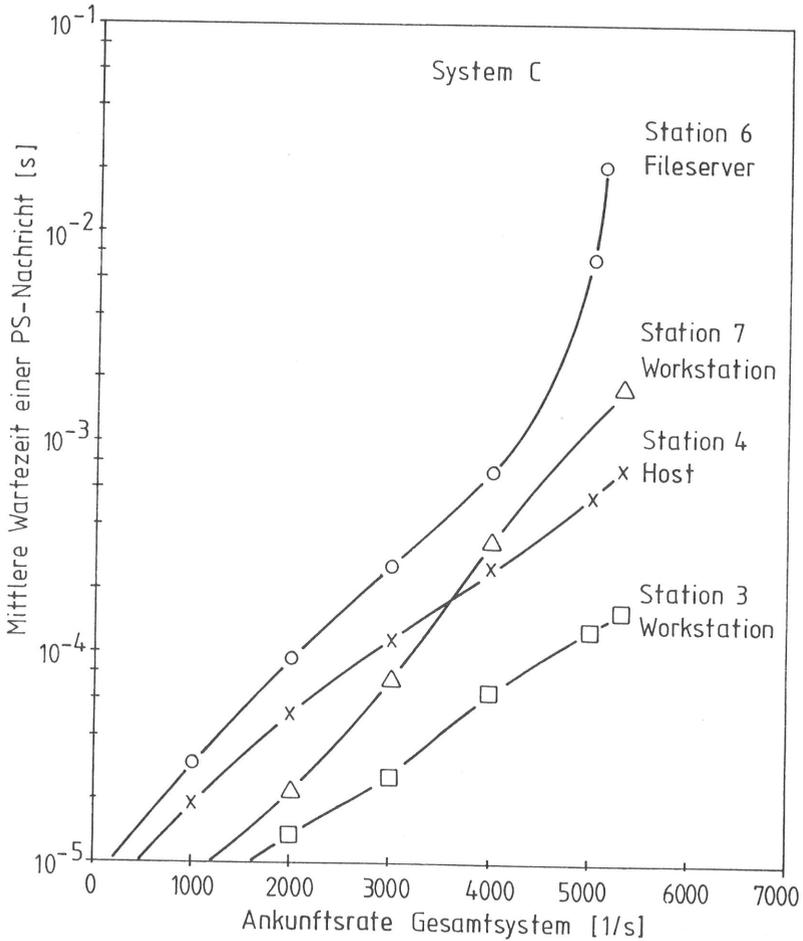


Bild 5.14: Einfluß der Anordnung der Stationen bei unsymmetrischer PS-Belastung

Im folgenden soll das Verhalten der Wartezeiten in den Stationen Host-Rechner (4), Fileserver (6) und in 2 Workstations betrachtet werden. Beide Workstations haben die gleichen Verkehrsbeziehungen zu den anderen Stationen, finden aber auf dem Ring völlig andere Auslastungen der Zeitschlitzte vor. Der

Ringabschnitt nach Station 3 ist am geringsten belastet, während Station 7 nach dem Fileserver stets einen hoch belasteten Ringabschnitt sieht, der auch den maximalen PS-Durchsatz des Gesamtsystems begrenzt.

In Bild 5.14 sind die Simulationsergebnisse der Wartezeiten in diesen vier Stationen aufgetragen. Station 6 (Fileserver), die den größten Verkehrsanteil in das System einspeist, erreicht bei ca. 5000 Nachrichten/s Gesamtankunftsrate den Sättigungspunkt dieses Abschnitts, der durch die stark ansteigenden Wartezeiten gekennzeichnet ist. Von diesem Verhalten werden die anderen Stationen nur insoweit beeinflusst, da die Anzahl der im Mittel belegten Zeitschlitzte ansteigt. Der Vergleich der Wartezeiten in Stationen 3 und 7, den beiden Workstations, zeigt auch, das Station 7 durch die hohe Auslastung der Ringabschnitts etwas höhere Wartezeiten erleidet, andererseits liegen diese Zeiten noch eine Größenordnung unter den Zeiten der Station 6, die diese Lastsituation verursacht.

Das Verhalten des Mini-Paket-Protokolls ermöglicht also auch unter einer schiefen Belastung einen stabilen Betrieb, wobei der Durchsatz einer einzelnen Station bei zu hohem Angebot begrenzt werden kann, ohne daß die Wartezeiten in den anderen Stationen instabil werden. Natürlich können leicht extreme Verkehrsbeziehungen aufgestellt werden, die dann zu einem extremen und auch für einzelne Stationen nachteiligen Verhalten führen, doch steht zur Abwehr dieser Grenzfälle die Überwachung der Master-Station bereit, die dann durch die im Kapitel 4 beschriebenen Mechanismen auch weiterhin einen sinnvollen Betrieb ermöglichen kann.

## KAPITEL 6

### ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

#### 6.1 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Integration von durchschalte- und paketvermittelten Diensten im innerbetrieblichen Bereich wurde ein Netzkonzept entwickelt, das CS-/PS-Knoten und CS/-PS-Ringe umfaßt. Für die Integration auf einem Ringsystem wurden vier verschiedene Prinzipien vorgestellt, diskutiert und miteinander verglichen, wobei der Schwerpunkt auf die Leistungsfähigkeit der Systeme gelegt wurde.

Für eine Realisierung wurde nach diesen Ergebnissen das Mini-Paket-Protokoll ausgewählt, das auf einem synchron umlaufenden Pulsrahmen basiert und eine durchgehende Zeitschlitz-Struktur benutzt. Diese Zeitschlitze können von CS-Verbindungen wie auch von Mini-Paketen (PS-Daten) gleichermaßen belegt werden. Die Auswahl der System- und Protokollparameter wurde ausführlich dargestellt und erläutert.

Der Auf- und Abbau von CS-Verbindungen erfolgt zentral über ein Signalisierungsprotokoll, das in Einzelheiten dargestellt wurde und in der vom CCITT empfohlenen Sprache SDL spezifiziert ist.

Die Richtigkeit der Systemstudie wurde mit einer Laborimplementierung unter Beweis gestellt. Sowohl die Struktur der Stationen selbst, wie auch die der Baugruppen und die Steuerungsstruktur wurden aufgezeigt. Es konnte somit demonstriert werden, daß das Mini-Paket-Protokoll mit erträglichem Aufwand zu implementieren ist.

Abschließend wurde die Verkehrsleistung dieser Ringe analytisch (CS-Blockierwahrscheinlichkeiten, maximaler PS-Durchsatz) wie auch simulativ (mittlere Warte- und Bedienzeiten) ermittelt. Abweichend von anderen bekannten LAN-Protokollen erlaubt das Mini-Paket-Protokoll, daß Dateneinheiten (Mini-

Pakete) durch den Empfänger vom Ring genommen werden, und daß dieser Zeitschlitz sofort erneut belegen kann. Diese Eigenschaft ermöglicht eine Mehrfachausnutzung der Übertragungskapazität, die sich deutlich in allen Leistungsvergleichen widerspiegelt.

## 6.2 AUSBLICK

Zu Beginn dieses Projekts waren die ersten LAN-Systeme auf dem Markt als Produkt eingeführt worden. Diese Systeme sind heute fester Bestandteil der Rechnerstrukturen in Büro- und Fertigungsumgebungen. Weltweit kann seit kurzem beobachtet werden, daß neue LAN-Konzepte mit deutlich höheren Übertragungsraten (z.B. 100 Mbit/s Glasfaser-Ring) arbeiten, und daß für diese Netze ebenfalls verstärkt die Integration von CS-Verkehr geplant wird. Diese Systeme können dann größere Gebiete überdecken und werden deshalb als MAN (Metropolitan Area Network) bezeichnet. Hier sind z.B. die Aktivitäten des IEEE, Projekt 802.6 (MAN) und 802.9 (Integrated Voice/Data LAN) zu nennen.

Andererseits wird auch der Ansatz verfolgt, daß möglichst viele Dienste in einem Netz mit nur einem Vermittlungsverfahren integriert werden. Darunter fallen auch die Ansätze der paketierten Sprache auf LAN. Momentan sehr starkes Interesse besteht an neuen Vermittlungsverfahren wie z.B. Fast Packet Switching (oder Asynchrones Multiplexen, Blockvermittlung,...) die in ersten Pilotimplementierungen untersucht werden und auch im Weitverkehrsbereich die Überlegungen zu Breitband- wie auch zu Schmalbandnetzen beeinflussen werden.

## ANHANG A

### A.1 VERLUSTWAHRSCHEINLICHKEIT BEI MEHRKANALDURCHSCHALTUNG

Im folgenden soll die Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit einer einstufigen, vollkommen erreichbaren Koppelanordnung für Verkehre unterschiedlicher Bandbreite kurz skizziert werden. Grundlage ist die Veröffentlichung von J. Conradt und A. Buchheister /18/.

Es werden Verkehrsklassen (VK) mit  $m$  Zeitschlitzten (Grundkanälen) betrachtet. Weiterhin sind zu definieren:

- $B_m$ : Verlustwahrscheinlichkeit für Verkehrsklasse  $m$
- $A_m$ : Verkehrsangebot für Verkehrsklasse  $m$
- $z$ : Größte Bandbreite eines Rufes, d.h. größte Verkehrsklasse
- $N$ : Größe des abgehenden Bündels,  
hier: Anzahl der belegbaren Zeitschlitzte

Damit ergeben sich die folgenden Beziehungen:

$$B_m = B_1(1+aa_N^{-1}(1+aa_{N-1}^{-1}(1+ \dots aa_{N-m+2}^{-1})\dots))$$

mit

$$2 \leq m \leq z$$

$$B_1 = b_N^{-1}$$

$$b_j = 1+aa_j^{-1}b_{j-1}$$

$$b_0 = 1$$

$$aa_j = \frac{A_1}{j} + aa_{j-1}^{-1} \left( \frac{2A_2}{j} + aa_{j-2}^{-1} \left( \frac{3A_3}{j} + \dots aa_{j-z+1}^{-1} \frac{zA_z}{j} \right) \dots \right)$$

mit

$$1 \leq j \leq N$$

$$A_1, A_z > 0$$

$$A_2, A_3, \dots, A_{z-1} >= 0$$

$$aa_s^{-1} = 0 \text{ für } s \leq 0$$

Zur Bestimmung der einzelnen Koeffizienten kann der folgende Algorithmus verwendet werden, der eine einfache, rekursive Berechnung erlaubt. Die Notation ist der Programmiersprache PASCAL ähnlich.

```
aa_j := 0;
for u := Minimum (j,z) downto 2 do
    aa_j := aa_{j+1-u}^{-1} ( \frac{uA_u}{j} + aa_j );
```

$$aa_j := \frac{A_1}{j} + aa_j;$$

```
b_N := 1;
for j := 1 to N do
    b_N := \frac{b_N}{aa_j} + 1;
```

```
B_m := 1;
for j := N-m+2 to N do
    B_m := 1 + aa_j^{-1} B_m;
B_m := B_m B_1;
```

Weiterhin können  $aa_j$  und  $b_N$  sehr effektiv in einer gemeinsamen Programm-Schleife berechnet werden. Allerdings sollte der Algorithmus mit hoher Rechengenauigkeit implementiert werden, damit die Rundungsfehler gering bleiben. Die Ergebnisse sind im Kap. 5 dargestellt.

## LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Anderson, G.A., Jensen, E.D.: Computer Interconnection Structures: Taxonomy, Characteristics and Examples. ACM Computing Surveys, Vol.7, No.4, Dec.75, pp. 24-40.
- /2/ Appleton, J.M., Peterson, M.M.: Traffic Analysis of a Token Ring PBX. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-34, No.5, May 86, pp. 417-422
- /3/ Armstutz, S.R.: Burst Switching - An Introduction. IEEE Communications Magazine, Nov.1983 pp. 36-42
- /4/ Arthurs, E., Stuck, B.: Traffic Analysis Tools for Integrated Digital Time-Division Link Level Multiplexing of Synchronous and Asynchronous Message Streams. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.SAC-1, No.6, Dec.1983, pp. 1112-1123
- /5/ Bahr, K., Strecker, H.O.: Interfacing X.25 to ISDN - A PABX Approach. Proceedings Data Communication in the ISDN Era, Tel Aviv, 1985, pp. 143-156.
- /6/ Bahr, K.: Interworking between X.25, X.21 and ISDN Devices. Proceedings of the 8th International Conference on Computer Communication (ICCC), München, 1986, pp. 729-734.
- /7/ Bocker, P.: Datenübertragung, Band I Grundlagen. Springer-Verlag, 1983.
- /8/ Bocker, P.: ISDN, Das dienstintegrierende digitale Nachrichtennetz. Springer-Verlag, 1986.
- /9/ Bundesministerium für das Post- und Fernmeldewesen, Arbeitskreis Technik und Kosten: KtK- Telekommunikationsbericht. Bundesministerium für das Post- und Fernmeldewesen, Bonn, 1976.
- /10/ Bux, W., Truong, H.L.: Mean-Delay Approximation for Cyclic-Service Queueing Systems. Performance Evaluation 3 (1983), pp. 187-196
- /11/ Bux, W.: Local-Area Subnetworks: A Performance Comparison. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-29, No.10, Oct.81, pp. 1465-1473
- /12/ CCITT: Data Communication Networks: Open Systems Interconnection (OSI) - System Description Techniques. Recommendations X.200-X.250. Red Book, Fascicle VIII.5, Genf, 1985.
- /13/ CCITT: Data Communication Networks: Interfaces. Recommendations X.20-X.32. Red Book, Fascicle VIII.3, Genf, 1985.

- /14/ CCITT: Data Communication Networks: Services and Facilities. Recommendations X.1-X.15. Red Book, Fascicle VIII.2, Genf, 1985.
- /15/ CCITT: Functional Specification and Description Language (SDL). Recommendations Z.100 - Z.104. Yellow Book, Fascicle VI.7 Genf, 1981.
- /16/ CCITT: Integrated Services Digital Network (ISDN). Recommendations of the I-Series. Red Book, Fascicle III.5, Genf, 1985.
- /17/ Coffman, E.G., Kadota, T.T., Sheep, L.A.: A Stochastic Model of Fragmentation in Dynamic Storage Allocation. Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM Journal of Computers, Vol.14, No.2, May 1985, pp. 416-425.
- /18/ Conradt, J., Buchheister, A.: Considerations on Loss Probability of Multi-Slot Connections. Proceedings 11th International Teletraffic Congress (ITC), Kyoto, 1985, paper 4.4B-2.
- /19/ Czermin, C.: Simulationsprogramm zur Untersuchung der gemeinsamen Übertragung von Fernsprechverkehr und speichervermittletem Datenverkehr über PCM-Systeme. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, Studienarbeit (S2) Nr.624, 1981.
- /20/ DATEL-Handbuch. Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, April 1985
- /21/ DeMoraes, L.F.M., Rubin, I.: Analysis and Comparison of Message Queueing Delays in Token-Rings and Token-Buses Local Area Networks. Proceedings International Conference on Communications (ICC), 1984, Amsterdam, pp. 130-135
- /22/ DeTreville, J.D.: A Simulation-Based Comparison of Voice Transmission on CSMA/CD Networks and on Token-Buses. Bell System Technical Journal (BSTJ), Vol.63, No.1, Jan.1984, pp. 33-55
- /23/ Effelsber, W., Fleischmann, A.: Das ISO-Referenzmodell für offene Systeme und seine 7 Schichten. Informatik-Spektrum (1986) 9, S. 280-299.
- /24/ Enomoto, O., Miyamoto, H.: An Analysis of Multiple Bandwidth Traffic on Time Division Switching Networks. Proceedings 7th International Teletraffic Congress (ITC), Stockholm, (1973) paper 635.
- /25/ Eberspächer, J.: Optisches Netz für Sprache und Daten. Tagungsband Telematica 1984, Band 3, S. 224-233.
- /26/ Favre, J.L.: Carthage: A Multiserver Local Network on a Fiber Optics Loop. Local Computer Networks, North Holland, 1982, pp. 23-37.

- /27/ Fischer, M.J., Harris, T.C.: A Model for Evaluating the Performance of an Integrated Circuit- and Packet-Switched Multiplex Structure. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-24, No.2, Feb 1976, pp. 195-202
- /28/ Fischer, W., Göldner, E-H., Berner, W.: Performance of the ISDN D-Channel Protocol - A Simulation Study. Proceedings 8th International Conference on Computer Communication (ICCC) 1986, München, paper C5-2.
- /29/ Fischer, W., Göldner, E-H.: Performance of the ISDN User-Network Interface for Signalling and Packetized User-Data Transfer. Proceedings International Switching Symposium (ISS) 1987, Phoenix, U.S.A. paper A4.5
- /30/ Fraser, J.M., Bullock, D.B., Long, N.G.: Over-all Characteristics of a TASI System. Bell System Technical Journal (BSTJ), Vol.41, (1962), pp. 1439-1454.
- /31/ Fromm, I.: Standardisierung Lokaler Netze. Informationstechnik (it), Vol.28, Heft 1/86, S. 30-36.
- /32/ Fruchard, C., Dejean, J.: A Hybrid Switched Open Network for Voice and Data Systems. Proceedings XI International Switching Symposium (ISS), 1984, Florence, Paper 42B-2.
- /33/ Fundneider, O.: Die Entwicklung der öffentlichen Nachrichtennetze. Informationstechnik (it), Vol.28, Heft 1/86, S. 14-22.
- /34/ Gerke, P.R.: Neue Kommunikationsnetze. Springer-Verlag, 1982.
- /35/ Gühr, O., Göldner, E.-H., Kühn, P.J., Sauer, K.: Lokale Netze und ISDN-Nebenstellenanlagen - Stand und Entwicklungstendenzen. PIK, Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 1986, Heft 3, S. 26-34.
- /36/ Gimpelson, L.A.: Analysis of Mixtures of Wide- and Narrowband Traffic. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-13, No.3, Sept. 1965, pp. 258-266.
- /37/ Gimpelson, L.A.: An ISDN Approach to Integrated Corporate Networks. Proceedings Data Communication in the ISDN Era, Tel Aviv, 1985, pp. 15-26.
- /38/ Görgen, K., Kooh, H., Schulze, G., Struif, B., Truöl, K.: Grundlagen der Kommunikationstechnologie. Springer-Verlag, 1985.
- /39/ Hafner, K.M., Camp, D.C.: Packetized Voice could move out of the Laboratory soon. Data Communication, Feb.1985, pp. 45-46

- /40/ Honig, M.L.: Analysis of a TDMA network with Voice and Data Traffic.  
AT&T Bell Laboratories Technical Journal Vol.63, No.8, Oct.1984, pp. 1537-1563
- /41/ Huber, M.N., Kiesel, W.M., Kühn, P.J., Raith, T., Kerschner, G.W.: Performance Modelling of a Highly Modularized Packet Switching Node.  
Proceedings 8th International Conference on Computer Communication (ICCC) 1986, München, paper C5-4.
- /42/ Hörig, K.: Interne Kommunikation über digitale Nebenstellenanlagen und Local Area Networks - Entwicklungsstand und Zukunftsperspektiven.  
Tagungsband Professorenkonferenz 1983, FTZ, S. 165-177.
- /43/ IEEE: Standards for Local Area Networks: Logical Link Control ANSI/IEEE Std 802.2-1985
- /44/ IEEE: Standards for Local Area Networks: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.  
ANSI/IEEE Std 802.3-1985
- /45/ IEEE: Standards for Local Area Networks: Token-Passing Bus Access Method and Physical Layer Specifications.  
ANSI/IEEE Std 802.4-1985
- /46/ IEEE: Standards for Local Area Networks: Token-Passing Ring Access Method and Physical Layer Specifications.  
ANSI/IEEE Std 802.5-1985
- /47/ IEEE: Draft of Proposed IEEE Standard 802.6 Metropolitan Area Network (MAN), Media Access Control. (Slotted Ring)  
IEEE, P802.6/85-01, Revision E, October 4, 1985.
- /48/ IEEE: Draft of Proposed IEEE Standard 802.6 Metropolitan Area Network (MAN) Multiplexed Slotted and Token Medium Access Control.  
IEEE, P802.6/86-01 Revision A, November 3, 1986.
- /49/ ISO / DIN: Informations Processing Systems - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model.  
DIN ISO 7498.
- /50/ Kaiser, W.: Entwicklungslinien der Daten- und Textkommunikation.  
Tagungsband Professorenkonferenz 1983, FTZ, S. 23-45.
- /51/ Klessig, R.W.: Overview of Metropolitan Area Networks.  
IEEE Communications Magazine, Vol.24, No.1, Jan.1986, pp. 9-15.
- /52/ Kohnheim, A., Reiser, M.: The Moveable-Boundary Multiplexor - Stability and Decomposability.  
Teletraffic Analysis and Computer Performance Evaluation, Elsevier Science Publishers B.V. 1986, pp. 375-394

- /53/ Kulzer, J.J., Montgomery, W.A.: Statistical Switching Architectures for Future Services. Proceedings XI International Switching Symposium (ISS), 1984, Florence, paper 43A-1.
- /54/ Kwong, R.H., Leon-Garcia, A.: Performance Analysis of an Integrated Hybrid-Switched Multiplex Structure. Performance Evaluation Vol.4 (1984) pp. 81-91
- /55/ Kühn, P.J.: Dienstintegration für Lokal- und Weitverkehrsnetze. Tutorium GI/NTG-Fachtagung Kommunikation in verteilten Systemen (1985), Tutoriumsband S. 41-63.
- /56/ Kühn, P.J.: Vorlesung Nachrichtenvermittlung I (Fernsprech-Vermittlungstechnik). Universität Stuttgart.
- /57/ Kühn, P.J.: Vorlesung Nachrichtenvermittlung II (Rechner- und Datenkommunikation). Universität Stuttgart.
- /58/ Kühn, P.J., Swoboda, J.: Lokale Netze im ISDN-Umfeld. Beitrag für Münchner Kreis, Kongress "Integrierte Kommunikation", München, Nov. 1984,
- /59/ Kümmerle, K.: Multiplexer Performance for Integrated Line- and Packet-Switched Traffic. Proceedings International Conference on Computer Communication (ICCC), Stockholm, 1974, pp. 507-515.
- /60/ Leon-Garcia, A., Kwong, R.H., Williams, G.F.: Performance Evaluation Methods for an Integrated Voice/Data Link. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-30, No.8, Aug.1982, pp. 1848-1858
- /61/ Liu, M.T., Rouse, D.M.: A Study of Ring Networks. Proceedings Ring Technology Local Area Networks, Kent, U.K., North-Holland, 1983, pp. 1-39.
- /62/ Lucas, F., Renoulin, R.: Business Telecommunication Systems. Echo des Recherches, English Issue 1983, pp. 25-30.
- /63/ McMillan, R.J.: A Survey of Interconnection Networks. Proceedings Globecom, Atlanta, USA, 1984, paper 5.1
- /64/ NTG-Norm: NTG 0902, Nachrichtenvermittlungstechnik, Begriffe. Nachrichtentechnische Zeitschrift, Vol.33 (1980), Heft 7 und 8 (Entwurf).
- /65/ NTG-Norm: NTG 1203, Daten- und Textkommunikation, Begriffe. Nachrichtentechnische Zeitschrift, Vol. 34 (1981), Heft 11, S. 805-829 (Entwurf).
- /66/ Needham, R.M., Herbert, A.J.: The Cambridge Distributed Computing System. Addison-Wesley Publishing Company, London, New York, 1982.

- /67/ Okada,H.: Delay Behaviour of Data Traffic in an Integrated Voice/Data Multiplex Structure: Multi-Capacity-Limits (MCL) Property. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-34, No.3, March 1986, pp. 300-303
- /68/ Okada,H.: Performance Evaluation of Medium-Access Protocols in LAN. Proceedings 11th International Teletraffic Congress (ITC), Kyoto, 1985, paper 4.1A-4
- /69/ Penny,B.K., Baghdadi,A.A.: Survey of Computer Communications Loop Networks. Computer Communications, Vol.2, Part 1: No.4, Aug.79, pp. 165-178, Part 2: No.5, Oct. 79, pp. 224-240.
- /70/ Renoulin,R.: An Integrated Services Local Network for Distributed Access of Heterogeneous Terminals made for Firm Management The Project Carthage. Proceedings International Symposium on Subscriber Loops and Services (ISSLS) 1982, pp. 35-39.
- /71/ Ross,M., Mowafi,O.A.: Performamnce Analysis of Hybrid Switching Concepts for Integrated Voice/Data Communications. IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-30, No.5, May 82, pp. 1072-1087
- /72/ Rudin,H.: Studies on the Integration of Circuit and Packet Switching. Proceedings International Conference on Communications (ICC), 1978, Paper 20.2.
- /73/ Saltzer,J.H., Pogran,K.T., Clark,D.D.: Why a Ring? Computer Networks Vol.7 (83), pp. 223-231.
- /74/ Sharp,R.I.: The LAN-DTH 140 Mbps Token Ring. Proceedings IFIP WG 6.4 Workshop High Speed Local Area Networks, Aachen, 16.-17.2.1987.
- /75/ Shimizu,H., Nakai,S., Hirosaki,B.: A 400 Mbps LAN for Multimedia Services Integration Capabilities. Proceedings IFIP WG 6.4 Workshop High Speed Local Area Networks, Aachen, 16.-17.2.1987.
- /76/ Siemens: ISDN im Büro - HICOM. Sonderausgabe telecom report und Siemens-Magazin COM, 1985.
- /77/ Siemens: Teloom report, Vol.8, Feb.1985, Sonderheft ISDN.
- /78/ Spaniol,O.: Konzepte und Bewertungsmethoden für lokale Rechnernetze. Informatik Spektrum Vol.5 (82), S. 152-170.
- /79/ Swoboda, J.: Digitale Nebenstellenanlagen im dienste-integrierten digitalen Netz ISDN. Informatik-Spektrum (1984),7, S. 138-153.
- /80/ Takagi,H., Keinrock,L.: Analysis of Polling Systems. Japan Science Institute Research Report 1985.

- /81/ Turner, J.: New Directions in Communications. Proceedings 1986 International Zurich Seminar on Digital Communications, pp. 25-32.
- /82/ Walke, B.: Über Vor- und Nachteile der Datenpaketvermittlung im Vergleich zur Leitungsvermittlung. Informatik-Spektrum (1984), 7, S. 221-236.
- /83/ Walke, B.: Lokale Netze - Eine neue Technologie für die digitale Nachrichtenübermittlung. Informationstechnik (it), Vol. 28, No. 2, 1986, S. 74-88.
- /84/ Weinstein, C.J., Malpass, M.L., Fisher, M.J.: Data Traffic Performance of an Integrated Circuit- and Packet-Switched Multiplex Structure. IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-28, No. 6, June 80, pp. 873-878
- /85/ Zafiropulo, P., Müller, H.R., Closs, F.: Data/Voice Integration Based on the IEEE 802.5 Token-Ring LAN. Proceedings EFOC/LAN, Amsterdam, 23-27. June 1986
- /86/ Zafiropulo, P.: Flexible Multiplexing for Networks Supporting Line-Switched and Packet-Switched Data Traffic. Proceedings International Conference on Computer Communication (ICCC) 1974, Stockholm, pp. 517-523.