

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

34. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten

Über Struktur, Betriebsweise und Verkehrsleistung
eines diensteintegrierten Vermittlungssystems
für Fernsprech- und Datenverkehr

von
Waldemar Weiß

Institute of Switching and Data Technics
University of Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

34th Report on Studies in Congestion Theory

Structure, Operating Mode and Performance
of an Integrated Services Switching System
for Voice and Data

by
Waldemar Weiß

© 1984 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung Universität Stuttgart

Druck: E. Kurz & Co., Stuttgart

ISBN 3-922403-44-1

Abstract

This report deals with the investigations of the architecture, operating mode and traffic behaviour of an integrated services digital switching system for circuit switched voice and data services. The objective is to study two concepts for integration of voice and data services with bitrates up to 64 kbit/s, based on a given stored program controlled voice switching system.

The first concept presents a pure extension by using special equipments for circuit switched data services. The investigated bitrate-classes of synchronous data services are according recommendation CCITT X.1, which means bitrates of 600 bit/s up to 48 kbit/s. This results in a bitrate of 600 bit/s needing one of 80 subchannels of a PCM-channel. Each PCM-channel is divided up as recommended in CCITT X.51.

For transmission functions a subchannel-multiplexer is implemented. Switching functions are performed within the exchange by the Data Switching Unit (DSU) which contains a subchannel switching array and a subscriber signalling module, both controlled and supervised by a microprocessor.

The second concept in contrast, shows the novel design of an integrated services digital Remote Switching Unit (RSU) for all circuit switched services with bitrates up to 64 kbit/s.

The implemented uniform subscriber signalling procedure for all services as well as the switching array, which will support bitrates from 600 bit/s up to 64 kbit/s, are presented in detail. For signalling between the RSU and the exchange a common signalling channel is used, according to CCITT No.7.

Results are presented for the traffic performance of the DSU, for the impact of subchannel hunting algorithms (subchannel technique according CCITT X.51) and for the performance of the common channel signalling system CCITT No.7 .

Chapter 1: Introduction

After a short introduction, a brief summary of the history of switching techniques is traced. The separate development of voice and data communications has led to different and specific switching networks for individual services, however current research on standard interfaces is leading to development of an integrated services system.

In the second part of this chapter a survey of the objectives and an outline of the contents of this report is given.

Chapter 2: Service Integration

Characteristics of services and the requirements of future networks are shown from the viewpoint of the network user and the network owner.

The current situation of international standardization is presented and essential recommendations are listed, followed by a brief time schedule of service integration by the Deutsche Bundespost.

Finally, the requirements for the development of the switching system 'PILOT' are explained.

Chapter 3: Concept I

The implementation of the first step of service integration is described; its hardware structure, its interfaces and protocols. The operating modes of the equipments for transmission and data switching functions are presented.

A subchannel technique is used for economic data transmission. The (8+2)-envelope technique being used within each data channel, lends itself to simple conversion and processing of subscriber signalling. Most of the signalling functions are performed by firmware within the Data Switching Unit.

Switching of subchannels is performed in an integrated two stage switching array. Control support for all data switching

functions is provided by a microprocessor, whereas common functions for voice and data are supported by the main controller, which is a multiprocessor configuration.

The application of this type of service integration will be within areas of low data subscriber density. Due to its inherent modularity, the equipments may also be used as a stand alone data switching system.

Chapter 4: Concept II

Structure and operating mode of the integrated services digital Remote Switching Unit (RSU) are shown. The RSU represents the second concept of service integration.

A list of system design requirements is followed by an overview of the functional decomposition within the RSU. The hardware and software of the implemented equipments are described in detail as well as the designed protocols.

Constraints for the frame structure used on the subscriber line (80 kbit/s) and applications of the uniform subscriber signalling procedure are given. Outband signalling capability during data transfer phase of data services is also provided.

An optimized form of frame alignment and the equipments involved in these tasks are explained.

The designed switching array supports both subchannel switching as well as multi-subchannel switching. The number of subchannels to be allocated to a call being dependent on the service requested by the terminal.

The shown software structure of the supervisor control element is characterized by different functional subsystems, e.g. for call handling and maintenance.

An additional microprocessor is used for control of the implemented common signalling channel (CCITT No.7).

Chapter 5: Performance Investigations

This chapter contains three performance studies whose topics are:

- Traffic performance of the microprocessor control of the Data Switching Unit (DSU)
- Impact of subchannel hunting algorithms on the probability of loss for different bitrate-classes using trunks which are structured according CCITT X.51
- Traffic performance of the Common Channel Signalling System CCITT No.7 .

Firstly, an introduction is given to the event-by-event simulation techniques, which includes load-type simulation, subcall-type simulation, and call-type simulation.

Then the queueing model of the DSU and the generation of the subcall events based on subcall-state-transition diagrams are presented. The system feedback to subscriber behaviour is considered in detail.

Different data traffic models are investigated and runtime measurements of the implemented software have been input to the simulation. Results are given for processor load, queueing delay and distribution function of subcall event inter-arrival times.

The investigation of CCITT X.51 shows the impact of subchannel hunting algorithms, if traffic of multiple bitrate-classes is offered to a trunk with a given number of PCM-channels. Results on the probability of loss are given for different subchannel hunting algorithms and trunk sizes.

The traffic performance of CCITT No.7 is studied regarding the following parameters: Loop propagation delay, bit error probability, error correcting method, window size, and length of signal units.

Analytical and simulation results are given for maximum throughput, mean transfer time and channel load.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
<u>Schrifttum</u>	5
<u>Abkürzungen</u>	13
1. <u>Einleitung</u>	19
1.1. Allgemeines über Vermittlungstechnik	19
1.2. Gliederung der Arbeit	21
2. <u>Diensteintegration</u>	23
2.1. Gegenwärtige Situation	23
2.2. Internationale Standardisierung	26
2.3. Planung der künftigen Diensteintegration	28
2.4. Ausgangspunkt und Zielsetzung beim Vermittlungssystem PILOT	30
3. <u>Integrationskonzept I : Erweiterung eines reinen Fernsprechvermittlungssystems für zusätzlichen Datenverkehr</u>	35
3.1. Strukturentwicklung und Strukturbeschreibung	35
3.2. Schnittstellen für Datenendeinrichtungen	38
3.3. Signalisierung zwischen Datenübertragungs- einrichtung und Vermittlungsstelle	43
3.4. Unterkanaltechnik	47
3.5. Datenvermittlungsmodul	50
3.5.1. Unterkanal - Koppelnetz	51
3.5.2. Signalisierungseinheit	54
3.5.3. Datenvermittlungsprozessor	57
3.5.4. Software - Struktur	60
3.6. Zusammenfassung zu Integrationskonzept I	63
4. <u>Integrationskonzept II : Dienstintegriertes Ortsvermittlungssystem</u>	64
4.1. Allgemeines	64
4.2. Strukturbeschreibung	66

4.2.1. Funktionseinheiten in der Vermittlungsstelle	68
4.2.2. Funktionseinheiten im Vorfeld	70
4.3. Schnittstellen der Endeinrichtungen	71
4.4. Teilnehmerleitung	73
4.4.1. Rahmenstruktur und Rahmensynchronisation	73
4.4.2. Einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur	80
4.5. Ausgelagertes Vermittlungsmodul	86
4.5.1. Funktionsaufteilung	86
4.5.2. Multiplexer-Demultiplexer-Hierarchie	88
4.5.3. Teilnehmer-Signalisierungseinheit	92
4.5.4. Multi - Bitraten - Koppelnetz	94
4.5.5. Steuerung des ausgelagerten Vermittlungsmoduls	101
4.5.6. Zentraler Zeichenkanal	105
4.6. Zusammenfassung zu Integrationskonzept II	107
<u>5. Untersuchungen zur Verkehrsleistung</u>	108
5.1. Untersuchungsverfahren	108
5.1.1. Belastungstreue Simulation	111
5.1.2. Belegungsphasentreue Simulation	112
5.1.3. Belegungstreue Simulation	113
5.2. Untersuchung der Verkehrsleistung des Datenvermittlungsmoduls	115
5.2.1. Modellierung	115
5.2.2. Teilrufereignis-Generator	117
5.2.3. Simulationsprogramm	120
5.2.4. Ergebnisse	123
5.2.4.1. Belastung	126
5.2.4.2. Wartezeiten	128
5.2.4.3. Ereignis-Ankunftsprozeß	133
5.2.5. Bewertung der Ergebnisse	137
5.3. Untersuchung der Verkehrsleistung des Koppelnetzes bei Einsatz von CCITT X.51	138
5.3.1. Multiplexschema CCITT X.51	138
5.3.2. Unterkanal - Suchalgorithmen	140

5.3.3. Verkehrsmodelle	142
5.3.4. Beziehungen zwischen Verkehrsgrößen	143
5.3.5. Ergebnisse	147
5.3.5.1. Einfluß der Verkehrsaufteilung	147
5.3.5.2. Einfluß der Zeitlagenanzahl	148
5.3.5.3. Verlustanteile der Benutzerklassen	150
5.3.5.4. Einfluß der Empfehlung CCITT X.51	152
5.3.5.5. Einfluß der Unterkanal-Suchalgorithmen	154
5.3.6. Bewertung der Ergebnisse	156
<u>5.4. Zentralkanal - Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7</u>	157
5.4.1. Allgemeines	157
5.4.2. Aufbau des Zeichengabeverfahrens	157
5.4.3. Fehlerkorrekturverfahren	161
5.4.3.1. BASIC - Verfahren	162
5.4.3.2. PCR - Verfahren	164
5.4.4. Untersuchung der Verkehrsleistung des Zentralkanal - Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7	168
5.4.4.1. Simulationsmodell	168
5.4.4.2. Modellparameter und Meßgrößen	169
5.4.5. Ergebnisse	171
5.4.5.1. Durchsatzbestimmung durch Simulation	171
5.4.5.2. Analytische Durchsatzbestimmung für das BASIC-Verfahren bei konstanten Zeichenlängen	179
5.4.5.3. Durchlaufzeiten	186
5.4.6. Bewertung der Ergebnisse	193
<u>6. Zusammenfassung</u>	194

Schrifttum

- /1/ Bergmann, K.: Lehrbuch der Fernmeldetechnik. Schiele und Schön, Berlin, 1978.
- /2/ Besier, H., u.a.: Digitale Vermittlungstechnik. Verlag Oldenbourg, München, 1981.
- /3/ Kommission für den Ausbau des technischen Kommunikations-systems KtK: Telekommunikationsbericht. Verlag Dr. Hans Heger, Bonn, 1976.
- /4/ Inose, H.: An Introduction to Digital Integrated Communications Systems. Peregrinus, Stevenage, 1979.
- /5/ Oden, H.: Nachrichtenvermittlung. Verlag Oldenbourg, München, 1975.
- /6/ Wizgall, M.: Über Architektur, Betriebsweise und Verkehrsverhalten der Steuerung einer rechnergesteuerten Vermittlungsstelle. Dissertation, Universität Stuttgart, 1980.
- /7/ Hills, M.T.: Telecommunications Switching Principles. Allen and Unwin, London, 1979.
- /8/ Hills, M.T., Kano, S.: Programming Electronic Switching Systems. Peregrinus, Stevenage, 1976.
- /9/ Weisschuh, H.: Entwicklung der Steuersoftware für eine rechnergesteuerte Vermittlungsstelle. Dissertation, Universität Stuttgart, 1977.
- /10/ Allen, A.O.: Probability, Statistics, and Queuing Theory. Academic Press, New York, 1978.
- /11/ CCITT Yellow Book, Volume III Fascicle III.3: Digital networks - transmission systems and multiplexing equipments. Recommendations G.701-G.941. Geneva, 1981.
- /12/ CCITT Yellow Book, Volume VI Fascicle VI.6: Specifications of signalling system No.7. Recommendations Q.701-Q.741. Geneva, 1981.
- /13/ CCITT Yellow Book, Volume VI fascicle VI.7: Functional Specification and Description Language (SDL). Man-machine language (MML). Recommendations Z.101-Z.104 and Z.311-Z.341. Geneva, 1981.
- /14/ CCITT Yellow Book, Volume VIII Fascicle VIII.1: Data communications over the telephone network. Series V Recommendations. Geneva, 1981.
- /15/ CCITT Yellow Book, Volume VIII Fascicle VIII.2: Data communication networks; services and facilities, terminal equipment and interfaces. Recommendations X.1-X.29. Geneva, 1981.
- /16/ CCITT Yellow Book, Volume VIII Fascicle VIII.3: Data communication networks; transmission, signalling and switching, network aspects, maintenance, administrative arrangements. Recommendations X.40-X.180. Geneva, 1981.
- /17/ CCITT-Empfehlungen der V-Serie und der X-Serie: Datenübertragung. R.v.Decker's Verlag, G.Schenk, Heidelberg, Hamburg, 1977.
- /18/ West, C.H.: General Technique for Communications Protocol Validation. IBM J.R.D., Vol.22, No.4, July 1978.
- /19/ West, C.H., Zafiropulo, P.: Automated Validation of a Communications Protocol: the CCITT X.21 Recommendation. IBM J.R.D., Vol.22, No.1, Jan.1978.
- /20/ Zemanek, J.: Synchronisation im digitalen Telefon-Teilnehmeranschluß. ntz, Bd.36(1983) Heft 6.
- /21/ Schollmeier, G.: Übertragungstechnik für den digitalen Teilnehmeranschluß im ISDN. telcom report 6(1983) Heft 3.
- /22/ Aschrafi, B., Meschkat, P., Szechenyi, K.: Field Trial Results of a Comparison of Time separation, Echo Compensation and Four-Wire Transmission on Digital Subscriber Loops. International Symposium on Subscriber Loops and Services, ISSLS, Toronto 1982.
- /23/ Waber, K.W.: Considerations on Customer Access to the ISDN. ISSLS, Toronto 1982.
- /24/ Kahl, P., Slabon, R., Schwetje, D.: Customer Access: Channel Structure and Signalling on a Digital Loop. ISSLS, Toronto 1982.

- /25/ Agazzi, O., Hodges, D.A., Messerschmitt, D.G.: Large Scale Integration of Hybrid-Method Digital Subscriber Loops. International Symposium on Subscriber Loops and Services, ISSLS, Toronto 1982.
- /26/ Lechner, R.: Analogteilnehmeranschluß für Digitalvermittlungssysteme. telcom report 4(1981) Heft 4.
- /27/ Scheffler, H., Sperlich, J., Welzenbach, M.: Zeitgetrennt-lage-Verfahren im Digitalen Ortsnetz. ntz-Bd.35(1982) Heft 3.
- /28/ Hagmeyer, H.T.: Ein digitaler Teilnehmeranschluß - Untersuchung zur gleichzeitigen digitalen Übertragung von Sprache und Daten im Teilnehmeranschlußnetz. Dissertation, Universität Stuttgart, 1981.
- /29/ Kaderali, F., Weston, J.D.: Teilnehmeranschlüsse im Digitalnetz. Elektrisches Nachrichtenwesen 56(1981)1.
- /30/ Rous, R.F., Weston, J.D.: Ermittlung der Eigenschaften von Teilnehmeranschlußkabeln. Elektrisches Nachrichtenwesen 56(1981)1.
- /31/ Rekdal, K.: CHILL - The Standard Language for Programming SPC Systems. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-30, No.6, June 1982.
- /32/ Hornbuch, B.H.: MML: CCITT Man-Machine Language. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-30, No.6, June 1982.
- /33/ Botsch, D., Eberding, H.: EWSD, A Real-Time Communication System with High-Level Language Software. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-30, No.6, June 1982.
- /34/ Carrelli, C., Roche, D.J.: CCITT Languages for SPC Switching Systems. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-30, No.6, June 1982.
- /35/ Rockström, A., Saracco, R.: SDL - CCITT Specification and Description Language. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-30, No.6, June 1982.
- /36/ Rockström, A.: 1984 CCITT SDL recommendations - a preview. Software Engineering for Telecommunication Switching Systems (SETSS), Lund, 1983.
- /37/ Rekdal, K.: CHILL in the software engineering context. SETSS, Lund, 1983.
- /38/ Sen, D.: Towards an environment for telecommunications software engineering. SETSS, Lund, 1983.

- /39/ Gaissmaier, B.W.L., Schirmeier, H.: An integrated software development method for switching systems based on CCITT's SDL. SETSS, Lund, 1983.
- /40/ Adler, R.: Signaling System in the Communication Network of the Future. telcom report 6(1983)No.4.
- /41/ Green, P.E.: An Introduction to Network Architectures and Protocols. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-28, No.4, April 1980.
- /42/ Carlson, D.E.: Bit-Oriented Data Link Control Procedures. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-28, No.4, April 1980.
- /43/ Katzschner, L., Wizgall, M.: Problems of Signalling in Integrated Switching Systems for Voice and Data. International Switching Symposium (ISS), Kyoto, 1976.
- /44/ Rosenbrock, K.H.: Das CCITT-Zeichengabesystem R2. Unterrichtsblätter der DBP, Jg.29(1976)Nr.10/11.
- /45/ Welch, S.: Signalling in Telecommunications Networks. Peregrinus, Stevenage, 1979.
- /46/ Kaiser, W.A.: Strategies For the Introduction of New Services in Existing Local Networks. Zürich Seminar, 1978.
- /47/ Scheller, R., Wizgall, M.: A Local PCM Switching System for Voice and Data. International Switching Symposium (ISS), Paris, 1979.
- /48/ Elias, D.: Telekommunikation in der Bundesrepublik Deutschland 1982. R.v.Decker's Verlag, Heidelberg, Hamburg, 1982.
- /49/ Robin, G., Treves, S.R.: Integrierte Nachrichtennetze-Übersicht. Elektrisches Nachrichtenwesen 56(1981)1.
- /50/ Smith, E.A., Walsh, W.A.G., Willson, M.J.: Einfluß der Text- und Datendienste auf die Entwicklung der Nachrichtennetze. Elektrisches Nachrichtenwesen 56(1981)1.
- /51/ Tolusso, G., Treves, S.R.: Datendienste in einer Ortsvermittlungsstelle mit verteilten Steuerfunktionen. Elektrisches Nachrichtenwesen 56(1981)1.
- /52/ Cramer, B., Wintherbotham, H.J.: Endgeräte für neue Dienste. Elektrisches Nachrichtenwesen 56(1981)1.

- /53/ NTG 0902 (1982): Nachrichtenvermittlungstechnik;Begriffe
ntz,Bd.33(1980)Heft 7.
- /54/ NTG 0903 (1983): Nachrichtenverkehrstheorie;Begriffe.
ntz,Bd.36(1983)Heft 6 und 7.
- /55/ NTG 1203 (1981): Daten- und Textkommunikation;Begriffe.
ntz,Bd.34(1981)Heft 11.
- /56/ Fraser,A.G.: The Architecture of a Byte Stream Network.
Int. Conf. on Comp. Com., London, 1982.
- /57/ Frantzen,V.: Packet-switched Data Communication Services
in the ISDN.
Int. Conf. on Comp. Com., London, 1982.
- /58/ Sanden v.,D.: Weltweites öffentliches Netz für Sprach-,
Text-, Bild- und Datenübertragung.
ntz, Bd.39(1980)Heft 2.
- /59/ Fontolliet, P.G., Hafner,E.: Digitale Übertragungs- und
Vermittlungstechnik im Ortsnetz.
Zürich Seminar,1978.
- /60/ Becker,D., Schmidt,P.: Zur Integration von Fernmelde-
diensten in digitalen Netzen.
ntz,Bd.34(1981)Heft 5 und 6.
- /61/ Schmidt,P.: Integration of Services on the Digital
Subscriber Loop - Chances and Restrictions.
ISSLS, Toronto,1982, Conf.Proc.
- /62/ Kaiser,W.: Telegrafien- und Datenübertragungstechnik.
NTG-Fachberichte Bd.63(1978).
- /63/ Goth,D.: Schnittstellen zwischen Dateneneinrichtung
und Datenübertragungseinrichtung.
telcom report 4(1981)Heft 1.
- /64/ Scheller,R., Weiß,W., Wizgall,M.: A Data Switching Unit
with Microprocessor Control.
Int. Switching Symp. (ISS), Paris,1979.
- /65/ Gumin,H.: Integration von Informationsnetzen.
Siemens-Zeitschrift 53(1979)Heft 5.
- /66/ Skaperda,N., Thomanek,U.F.: Anforderungen und Lösungs-
wege für das Digitalvermittlungssystem EWSD im ISDN.
telcom report 6(1983)Heft 3.
- /67/ Habara,K., Aratani,T.: Towards Local Network Digitali-
zation: The View from Japan.
IEEE Trans. on Com.,Vol.COM-28,No.7,July1980.

- /68/ Hagen,R., Tannhäuser,A.: 64-kbit/s Switched Network in
the IDN as a Stepping Stone to the ISDN.
telcom report 6(1983)No. 4.
- /69/ Scott,C.J.: Integrated Circiut Technology - A Tele-
communications View.
Telecom. Journal of Australia, Vol.32.,No.2,1982.
- /70/ Metzendorf,H.: Multifunktionale Terminals als
Kommunikationsendgeräte der Zukunft.
ntz, Bd.35(1982)Heft 10.
- /71/ Hilz,O.: Digitale Vermittlungstechnik im Fernsprech-
netz der DBP.
ntz, Bd.35(1982)Heft 10.
- /72/ Rosenbrock,K.H.: Integration von Diensten im ISDN
der Deutschen Bundespost.
ntz, Bd.35(1982)Heft 6.
- /73/ Bocker,P.: Konzept und Grundmerkmale des Dienste-
integrierenden digitalen Nachrichtennetzes ISDN.
telcom report 6(1983)Heft 3.
- /74/ Arndt,G., Rothamel,H.-J.: Dienste im ISDN.
telcom report 6(1983)Heft 3.
- /75/ Edvi-Illes,A.: Packet Switching for Data Communications -
An Overview.
Telecom. Journal of Australia, Vol30, No.1, 1980.
- /76/ Botsch,D., Maher,A.: Mikroelektronik im digitalen
Fernsprech-Vermittlungssystem.
ntz, Bd.33(1980)Heft 11.
- /77/ Robin,G., Treves,S.R.: Progressive introduction of a
digital switching and transmission in existing networks.
Zürich Seminar,1978.
- /78/ Kuehn,P.J.: Approximate Analysis of General Queuing
Networks by Decomposition.
IEEE Trans. on Com., Vol.COM-27,No.1,Jan.1979.
- /79/ Hentschke,S.: Predictive processor overload control
strategies for SPC switching systems.
ntz Archiv, Bd.3(1981)Heft 5.
- /80/ Kühn,P.J.: Analysis of Switching System Control
Structures by Decomposition.
AEÜ,Bd.34(1980)Heft 2.
- /81/ Towsley,D.: The Stutter Go Back-N ARQ Protocol.
IEEE Trans. on Com., Vol.COM-27.No.6,June1979.

- /82/ Kaufman, J.S.: Blocking in a Shared Resource Environment. IEEE Trans. on Com., Vol.COM-29, No.10, Oct.1981.
- /83/ Reiser, M.: Performance Evaluation of Data Communication Systems. Proc. of the IEEE, Vol.70, No.2, Febr.1982.
- /84/ Kobayashi, H.: Modeling and Analysis. Addison-Wesley Publishing Company, 1978.
- /85/ Gonzalez Soto, O., u.a.: Analyse von Prozessorsteuerungen durch anpassungsfähige Simulationsmodelle. Elektrisches Nachrichtenwesen, Band55, Nr.1, 1980.
- /86/ Lotze, A., Roeder, A., Thierer, G.: "PPL" A Reliable Method for the Calculation of Point-to-Point Loss in Link Systems. 8th International Teletraffic Congress, Melbourne, 1976.
- /87/ Lotze, A., Rothmaier, K., Scheller, R.: TDM versus SDM Switching Arrays - A Comparison. 9th International Teletraffic Congress, Torremolinos, 1979.
- /88/ Rothmaier, K., Scheller, R.: Design of Economic PCM Arrays with a Prescribed Grade of Service. 9th International Teletraffic Congress, Torremolinos, 1979.
- /89/ Kühn, P.: Tabellen für Wartesysteme. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Stuttgart, 1976.
- /90/ Dietrich, G., Salade, .: Teilbelegungstreue Simulation der Steuerung von Vermittlungssystemen. Elektrisches Nachrichtenwesen, Bd.52 (1977) Heft 1.
- /91/ Kümmerle, K.: Ein Vorschlag zur Berechnung der Vertrauensintervalle bei Verkehrstests. Archiv für elektr. Übertragung, Bd.23 (1969) Heft 10.
- /92/ Jans, H.: Verkehrsanalyse von Vermittlungs-Steuerungen mit taktgesteuerter Ein-/Ausgabe und Prioritäten. Dissertation, Gesamthochschule Siegen, 1983.
- /93/ Truong, H.L.: Über die Leistungsfähigkeit von HDLC-gesteuerten Datenverbindungen. Dissertation, Universität Stuttgart, 1982.
- /94/ Scheller, R.: Verkehrsgerechte Dimensionierung, Analyse und Kostenoptimierung von PCM-Koppelanordnungen. Dissertation, Universität Stuttgart, 1981.
- /95/ Weiß, W., Seidel, U.: Algorithmen zur Zeitlagen- und Unterkanalzuteilung bei Datenverkehr. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Studienarbeit Nr.673.

- /96/ Katzschner, L., Scheller, R.: Probability of Loss of Data Traffics with Different Bit Rates Hunting One Common PCM-Channel. 8th International Teletraffic Congress, Melbourne, 1976.
- /97/ Abschlußbericht zum DFG-Forschungsvorhaben Ku 473/3-2: Entwicklung eines Multi-Mikroprozessor-Steuerungs-Konzeptes für eine digitale (PCM-) Vermittlungsstelle mit autonomen Teilsteuern. In Vorbereitung, 1984.
- /98/ Weiß, W., Mast, P.: Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Datenmoduls in der kombinierten Vermittlungsstelle. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Studienarbeit Nr.655.
- /99/ Weiß, W., Seidel, U.: Algorithmen zur Zeitlagen- und Unterkanalzuteilung bei Datenverkehr. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Studienarbeit Nr.673.
- /100/ Weiß, W., Schifer, A.: Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Zentralkanalzeichengabeverfahrens CCITT Nr.7. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Studienarbeit Nr.639.
- /101/ Weiß, W.: Gesamtkonzeption für die Integration von Datenverkehr in einem PCM-Fernsprechvermittlungssystem. Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart, Studienarbeit Nr.542.
- /102/ Denzel, W., Weiß, W.: Eine Multi-Mikroprozessor-Steuerungsstruktur eines Ortsvermittlungssystems für Fernsprech- und Datenverkehr. NTG/GI - Fachtagung, Struktur und Betrieb von Rechen-systemen. Ulm, 1982.

Abkürzungen

A	Synchronisierbit im (8+2)-Envelope-Format
A	Verkehrsangebot in Erlang
A _D	Gesamt-Datenverkehrsangebot
A _i	Verkehrsangebot der Benutzerklasse i
A _u	Verkehrsangebot pro Unterkanal
ACK	positive Quittung, Zeichen des IA 5
AMR	Alarmroutine
ANR	Ankommender Ruf
AUS	Verbindungsauslösung
AUS	Zustand (binär 1) bei CCITT X.21
AWS	Ausgangswarteschlange
B	Verlustwahrscheinlichkeit allgemein
B _i	Verlustwahrscheinlichkeit der Benutzerklasse i
BASIC	Fehlerkorrekturverfahren bei CCITT Nr.7
BD k	Befehl Nr.k an Datenvermittlungsprozessor
BDR	Bedieneroutine
BER	Bereit,Zustand
BK	Benutzerklasse
BK i	Benutzerklasse i nach CCITT X.1
BS	Betriebssystem
BS j	Befehl Nr.j an Signalisierungseinheit
BU 1	Befehl Nr.1 an Unterkanal-Koppelnetz
c _i	Verkehrsanteil der Benutzerklasse i
CK	Check bits, Prüfbits bei CCITT Nr.7
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CCITT Nr.7	Zentralkanal-Zeichengabeverfahren /12/
D(t _{w min})	Durchsatz für t _{w min} als Wartezeitgrenzwert
D(t _{w max})	Durchsatz für t _{w max} als Wartezeitgrenzwert
DEE	Datenendeinrichtung
DKN	Dienstkennung

DMUX	Demultiplexer
DÜE	Datenübertragungseinrichtung
DÜE _g	gerufene Datenübertragungseinrichtung
DÜE _r	rufende Datenübertragungseinrichtung
DUP	Data User Part, Benutzerteil bei CCITT Nr.7
DVM	Datenvermittlungsmodul
DVP	Datenvermittlungsprozessor
DW	Datenwort oder Leerwort
E	Empfangseinheit
E[MTT]	Mittlere Durchlaufzeit, Erwartungswert
E[T _A]	Mittlerer Ankunftsabstand, Erwartungswert
E[T _A] _{min}	Mittlerer Ankunftsabstand für den Grenzwert t _{w min}
E[T _A] _{max}	Mittlerer Ankunftsabstand für den Grenzwert t _{w max}
E[T _H]	Mittlere Bedienzeit, Erwartungswert
E[u]	Mittlerer Unterkanalbedarf, Erwartungswert
EIN	Zustand (binär 0) bei CCITT X.21
ε _i	Enderate der Benutzerklasse i
ESP	Envelope-Speicher
ETSP	Einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur
EWS	Eingangswarteschlange
F	Flag, Zeichenbegrenzung
FEE	Fernsprechendeinrichtung
FIB	Forward Indicator Bit, Kennbit bei CCITT Nr.7
FIFO	First in first out, Speicherverwaltungstrategie
FISU	Fill-in Signal Unit, Zeichen bei CCITT Nr.7
FSN	Forward sequence number, Folgenummer bei CCITT Nr.7
FW	Füllwort im Rahmen auf der Teilnehmerleitung
GN	Geordnet von Nullstellung, Strategie bei UK-Suche
GSP	Gruppenspeicher
GZ	Geordnet mit zufälliger Anfangsposition, Strategie bei UK-Suche

h_i	Mittlere Verweildauer im Zustand i
h_{ZM}	Mittlere Sendezeit einer MSU
IA 5	Internationales Alphabet Nr.5
ISDN	Integrated Services Digital Network
KAST	Koordinierende Ablaufsteuerung in der VSt
λ	Ankunftsrate allgemein
λ_{MSU}	Ankunftsrate der Zeichen MSU
λ_i	Ankunftsrate der Benutzerklasse i
λ_R	Rufankunftsrate, Rate der Verbindungswünsche
l	Mittlere Zeichenlänge
LI	Length Indicator, Längenangabe bei CCITT Nr.7
LSSU	Link Status Signal Unit, Zeichen bei CCITT Nr.7
MBKN	Multi-Bitraten-Koppelnetz
MD j	Meldung Nr.j vom Datenvermittlungsprozessor
MS i	Meldung Nr.i von der Signalisierungseinheit
MSU	Message Signal Unit, Zeichen bei CCITT Nr.7
MTP	Message Transfer Part, Übertragungsteil bei CCITT Nr.7
MTT	Message Transfer Time, Durchlaufzeit eines Zeichens
MUX	Multiplexer
NEE	Netzendeinrichtung
NMAX	Anzahl vergebbarer Folgenummern bei CCITT Nr.7
NMAX _G	Unterer Grenzwert für NMAX bei maximalem Durchsatz
p(x)	Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von x
p_B	Bitfehlerwahrscheinlichkeit
p_i	Übergangswahrscheinlichkeit
p_Z	Zeichen-Fehlerwahrscheinlichkeit
PCM	Puls-Code-Modulation
PCR	Preventive Cyclic Retransmission, Fehlerkorrekturverfahren bei CCITT Nr.7
PG	PCM-Gruppe
PILOT	Partielle Integration im Lokalen Telefonnetz

Q	Quittungsauswerter
R	Rahmenbit
RAN	Rufannahme
RBG	Rahmenbit-Generator
RES	Rahmenbit-Einfügeschaltung
RTB	Retransmission Buffer, Wiederholtspeicher bei CCITT Nr.7
RUS	Rahmenbit-Unterdrückungsschaltung
S	Sendeeinheit
S	Statusbit im (8+2)-Envelope-Format
SDL	Functional Specification and Description Language /13/
SF	Status Field, Feld im Zeichen LSSU bei CCITT Nr.7
SIF	Signalling Information Field, Feld im Zeichen MSU
SIO	Service Information Octet, Feld im Zeichen MSU
S/P	Seriell-Parallel-Wandler
SP	Signalling Point, Signalisierungspunkt
SIG	Signalisierungseinheit
STSP	Speichereinheit
SU	Signal Unit, Zeichen allgemein bei CCITT Nr.7
SUS	Schnittstellen-Umsetzer-Schaltung
T_A	Ankunftsabstand, Zufallsvariable
T_E	Bedienzeit Empfänger
T_H	Bedienzeit, Zufallsvariable
T_L	Kanal-Laufzeit
T_Q	Bedienzeit Quittungsauswerter
T_S	Bedienzeit Sender
T_{ZM}	Sendezeit für MSU, Zufallsvariable
t_{AO}	Ankunftsabstand bei 0 Fehlern
t_{AW}	Wiederholdauer eines Zeichens
t_{w1}	Mittlere Wartezeit aller Ereignisse
t_{w2}	Mittlere Wartezeit aller Befehle
t_{w3}	Mittlere Wartezeit aller Meldungen
$t_{w \min}$	Minimalwert der Wartezeit
$t_{w \max}$	Maximalwert der Wartezeit

t_{wSA} Wartezeit im Signalisierungspunkt A
 t_{wSB} Wartezeit im Signalisierungspunkt B
 $t_{ZM}(LI)$ Sendezeit für MSU der Länge LI
TEK Teilrufereigniskette
TG Tongenerator
TG Teilnehmergruppe am AVM
TLG Teilnehmerleitung
Tln Teilnehmer
TLN A A-Teilnehmer, rufender Teilnehmer
TLN B B-Teilnehmer, gerufener Teilnehmer
TS Teilnehmerschaltung
TSIG Teilnehmer-Signalisierungseinheit im AVM
TUP telephone user part, Benutzerteil bei CCITT Nr.7
TZSP Teilnehmer-Zustandsspeicher

u_i Unterkanalbedarf der Benutzerklasse i
ÜLB Überlastbit
UK Unterkanal mit 750 bit/s
UKi Unterkanal Nr.i
UKØ Unterkanal Nr.Ø
UK-MUX Unterkanal-Multiplexer
UKN Unterkanal-Koppelnetz
UKSALG Unterkanal-Suchalgorithmus

v Kanal-Bitrate
VBE Verbindungsende
VBG Verbindung
VBST Verbindungssteuerung
VBW Verbindungswunsch
 $VF(T_A)$ Verteilungsfunktion der Ankunftsabstände
 $VF(T_H)$ Verteilungsfunktion der Bedienungszeiten
VM i Verkehrsmodell Nr.i
VMST Vermittlungsmodulsteuerung
VSt Vermittlungsstelle

WAF Wahlaufforderung
WSP Wortspeicher

WZE Wählzeichenempfänger
WZ i Wählziffer Nr.i

X.1 Empfehlung CCITT X.1 /15/
X.21 Empfehlung CCITT X.21 /15/
X.51 Empfehlung CCITT X.51 /16/

Y Verkehrsbelastung in Erlang, allgemein
 Y_D Gesamt-Datenverkehrsbelastung
 Y_{DVP} Belastung des Datenvermittlungsprozessors
 Y_u Unterkanalbelastung

ZES Zeichen-Einfügeschaltung
z Zeitlagenanzahl
ZG Zeichengenerator
ZKS Zeichen-Kopierschaltung
ZL Zeitlage mit 64 kbit/s
ZN Zeichen-Nummer
ZSP Zeichenspeicher
ZST Zentrale Steuerung
ZTT Anzahl der Teilttests pro Simulationslauf
ZÜA Zustandsübergangsanforderung
ZÜR Zustandsübergangsroutine
ZZK Zentraler Zeichenkanal

1. Einleitung

1.1. Allgemeines über Vermittlungstechnik

Der augenblickliche Stand der Vermittlungstechnik ist durch getrennte Entwicklungen für die Sprachkommunikation und später für die Datenkommunikation erreicht worden; dies ist mit einigen wichtigen Entwicklungsschritten in Bild 1.1. gezeigt. Bei der Sprachkommunikation war die Zielsetzung zunächst die Automatisierung der Verbindungsherstellung. Ab den 60er-Jahren erfolgte dann der Einsatz rechnergesteuerter Vermittlungssysteme (stored program controlled, SPC). Dies führte zu größerer Flexibilität der Vermittlungssysteme, und den Teilnehmern konnten weitere Dienstmerkmale bereitgestellt werden. In der Folgezeit wurden und werden digitale Übertragungs- und Vermittlungssysteme entwickelt, um die nachteiligen Merkmale der Analog-Technik zu eliminieren.

Der zweite Entwicklungspfad betrifft die Datenkommunikation. Nach den Versuchen von Gauß und Weber (1833) zum Einsatz des Elektromagnetismus für die elektrische Nachrichtenübertragung, entwickelte Morse eine betriebssichere Apparatur und einen praxisnahen Strichkode. Die Forderungen an die Übermittlung von Texten, Daten und Bildern führten zu eigenständigen Übermittlungsnetzen für individuelle Dienste. Dabei handelt es sich in der Bundesrepublik Deutschland um das Telexnetz für den Telex-Dienst mit 50 Baud, um das leitungsvermittelnde Datennetz (Datex-L) und um das paketvermittelnde Datennetz (Datex-P), die zum IDN zusammengefaßt sind.

Die unterschiedlichen Netze sollen durch die gegenwärtigen Entwicklungen und Normungen in ein künftiges, alle Dienste umfassende Übermittlungsnetz (Integrated Services Digital Network, ISDN) zusammengeführt werden. Das ISDN soll dabei basierend auf dem digitalen Fernsprechnetz entstehen und den Teilnehmern einen einheitlichen digitalen Netzzugang bereitstellen. Dieses angestrebte ISDN soll dem Netz-Betreiber ein System mit wirtschaftlichem Betriebs- und Verwaltungsaufwand bieten. Dem

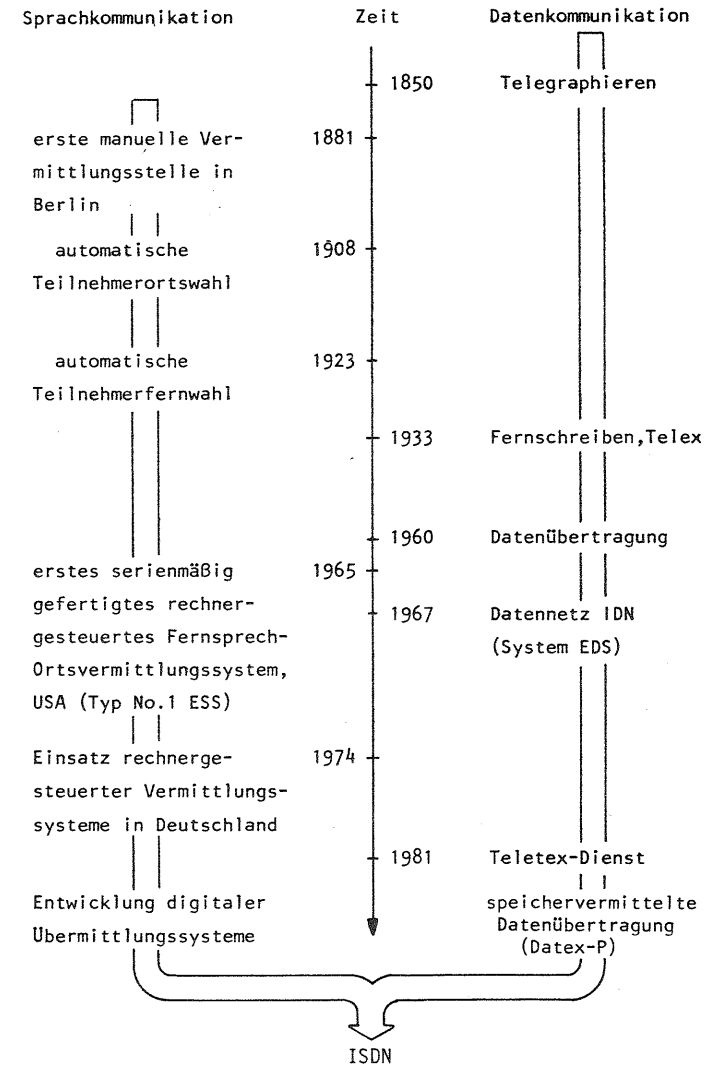


Bild 1.1 : Entwicklungswege bei der Fernsprech- und Datenkommunikation

Teilnehmer soll mit dem ISDN ein zuverlässiges Übermittlungsnetz bei frei wählbaren Diensten mit hoher Dienstgüte geboten werden.

Eine Möglichkeit des Überganges von einem digitalen, reinen Fernsprechvermittlungssystem zu einem diensteintegrierten Vermittlungssystem soll im Rahmen dieser Arbeit anhand eines realisierten Labormodelles vorgestellt und untersucht werden.

1.2. Gliederung der Arbeit

Zur Problemstellung des diensteintegrierten digitalen Übermittlungsnetzes ISDN werden im Kapitel 2 dieser Arbeit der Ausgangspunkt und die Zielsetzung erläutert und festgelegt. Es werden die Forderungen und Merkmale bestehender und künftiger Dienste und Netze zusammengestellt, und es werden die internationalen Normierungsarbeiten vorgestellt. Die Probleme der digitalen Übertragung auf den bestehenden Teilnehmeranschlußleitungen und die eingesetzten Zeichengabeverfahren werden dargestellt, anschließend werden die Planungsvorgaben der Deutschen Bundespost für die Entwicklung des ISDN aufgezeigt. Kapitel 2 schließt mit der Beschreibung des Ausgangspunktes und der Zielsetzung des zu entwickelnden Ortsvermittlungssystems.

Im Kapitel 3 werden Struktur und Funktionsweise der im ersten Integrationsschritt entwickelten Baugruppen gezeigt. Bei diesem Integrationsschritt wurde ein digitales, reines Fernsprechvermittlungssystem zu einem "kombinierten" Ortsvermittlungssystem für Fernsprechverkehr und Datenverkehr erweitert. Es wird hierbei die Möglichkeit der Erweiterung bestehender Fernsprechvermittlungssysteme vorgestellt, die sich besonders für Teilnehmeranschlußbereiche mit geringer Datenteilnehmerdichte anbietet.

In Kapitel 4 wird eine vollständig diensteintegrierte Vermittlungseinrichtung, das "ausgelagerte Vermittlungsmodul" (AVM) erläutert. Dieses Modul bietet dem Teilnehmer die Merkmale eines ISDN. Das AVM kann Internverbindungen als eigenständige Ver-

mittlungseinrichtung autonom aufbauen und stellt den Teilnehmern eine einheitliche Schnittstelle für alle Dienste und Endeinrichtungen bereit. Die Baugruppen des AVM sind für die Bearbeitung unterschiedlicher Bitraten ausgelegt und werden hinsichtlich ihrer Struktur und Funktionsweise in diesem Kapitel erläutert. Weiterhin wird die einheitliche Teilnehmer-signalisierungsprozedur (ETSP) vorgestellt, die für den Zeichenaustausch zwischen Teilnehmer und Vermittlungssystem entwickelt und implementiert wurde.

Kapitel 5 umfaßt Verfahrensbeschreibungen und Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zur Verkehrsleistung. Dabei wird in Abschnitt 5.2 die Leistungsfähigkeit der Erweiterungseinheiten des ersten Integrationsschrittes nachgewiesen. In Abschnitt 5.3 wird der Einfluß der Empfehlung CCITT X.51 untersucht, die eine Vorschrift für die übertragungstechnische Zusammenfassung von Datenströmen mit unterschiedlichen Bitraten enthält. Dabei werden verschiedene Algorithmen für die Suche nach freien Kanälen für eine Verbindung betrachtet, und es wird die Auswirkung dieser Algorithmen auf die Verluste untersucht. In Abschnitt 5.4 erfolgt die Untersuchung eines zentralen Zeichenkanales, wie er auch zwischen der Einheit AVM und der Vermittlungsstelle implementiert ist. Das eingesetzte Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7 wird hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit untersucht und es werden Ergebnisse vorgestellt, die den Einfluß verschiedener, teilweise frei wählbarer Parameter zeigen.

In Kapitel 6 werden abschließend die durchgeführte Entwicklung des Vermittlungssystems und die Untersuchungen zur Verkehrsleistung zusammengefaßt.

2. Diensteintegration

2.1. Gegenwärtige Situation

Bei den Fernmeldenetzen und Fernmeldediensten ist die gegenwärtige Situation gekennzeichnet durch getrennte, weitgehend dienstindividuelle Übermittlungsnetze. Bild 2.1 zeigt diesen Zustand vereinfacht. Neben dem noch weitgehend analogen Fernsprechnetz bestehen digitale Datennetze. Datenendeinrichtungen (DEE) können über Modems an das Fernsprechnetz oder über Datenübertragungseinrichtungen (DÜE) an das Datennetz angeschlossen werden. Die einzelnen Fernmeldedienste sind charakterisiert durch:

- Endgeräteschnittstellen,
- Übertragungskapazität pro Verbindung,
 - + Bandbreite,
 - + Bitrate,
 - + Schrittgeschwindigkeit,
- Betriebsart,
 - + taktsynchron,
 - + asynchron (Start-Stop-Betrieb),
- Verbindungsart,
 - + leitungsvermittelt,
 - + speichervermittelt,
 - + Wählverbindung,
 - + Direktrufverbindung,
- Signalisierungsprotokoll,
- Teilnehmerverzeichnis .

An die Übermittlungsnetze werden von den Benutzern Forderungen gestellt hinsichtlich:

- Verfügbarkeit,
- Zuverlässigkeit,
- Übertragungsgeschwindigkeit,
- Verzögerungszeit und Antwortzeit,
- Blockierung,

- Code- und Geschwindigkeitstransparenz,
- Übertragungssicherheit,
- Verbindungsaufbauzeit,
- Erreichbarkeit,
- Leistungsmerkmalen.

Die Betreiber der Übermittlungsnetze fordern:

- Ausfallsicherheit,
- Wartungsfreundlichkeit,
- Flexibilität,
 - + Strukturänderungen,
 - + Technik,
 - + Betriebsweise,
- Wirtschaftlichkeit,
 - + Betriebskosten,
 - + Bereitstellungskosten.

Aufgrund der Forderungen der Benutzer sind in der Bundesrepublik Deutschland spezifische Netze entstanden:

- das Fernsprechnetz mit über 22 Millionen Teilnehmern,
- das Telex-Netz mit über 140000 Teilnehmern,
- das leitungsvermittelnde Datennetz (Datex-L) mit über 7000 Teilnehmern,
- das speichervermittelnde Datennetz (Datex-P) mit über 3000 Teilnehmern
- und das Direktrufnetz.

Die einzelnen mehr oder weniger geographisch dicht verzweigten Netze überlagern sich. Ein Teilnehmer, der unterschiedliche Dienste in Anspruch nimmt, ist mit seinen Endgeräten an die entsprechenden Netze angeschlossen. Dies kann dazu führen, daß für die einzelnen Endgeräte unterschiedliche Teilnehmerleitungen zu den speziellen Netzen notwendig sind.

Da diese Teilnehmerleitungen einen nicht unerheblichen Investitionsanteil darstellen, sind Lösungen für die Übertragung von Bitströmen auf bestehenden Teilnehmerleitungen entwickelt worden.

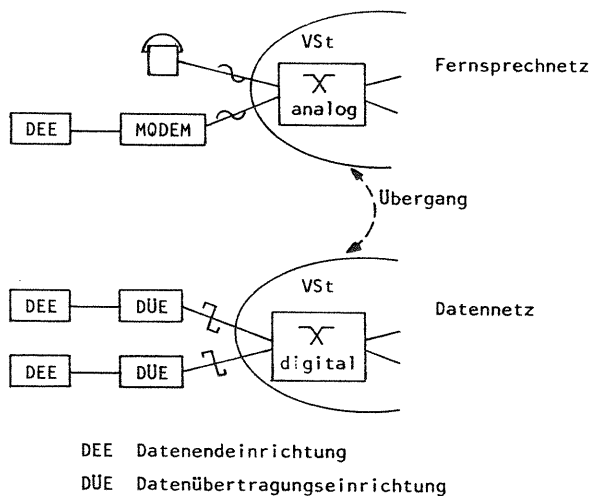


Bild 2.1 : Vereinfachte Darstellung der gegenwärtigen Situation

Für die Richtungstrennung bei Duplexübertragung auf Zweidrahtleitungen können verschiedene Verfahren eingesetzt werden, wie

- Frequenzgetrenntlageverfahren (Modulation),
- Zeitgetrenntlageverfahren (Ping-Pong Verfahren),
- Gleichlageverfahren (Richtungstrennung mit Brücken- oder Gabelschaltungen).

Zahlreiche durchgeführte Untersuchungen der übertragungstechnischen Eigenschaften und der Leistungsfähigkeit dieser Verfahren haben gezeigt, daß über 90% der bestehenden Teilnehmerleitungen für die Übertragung von mindestens 80 kbit/s pro Richtung unverändert beibehalten werden können /22,28-30/.

Für die Übertragung zwischen vermittlungstechnischen Einrichtungen sind PCM-Systeme mit hierarchisch gestaffelten Bitraten normiert worden.

Damit sind die übertragungstechnischen Voraussetzungen für ein ISDN bereitgestellt. Die vermittlungstechnischen Voraussetzungen sind durch die in den 80er Jahren erreichten Entwick-

lungen bei rechnergesteuerten Vermittlungssystemen mit digitalen Koppelnetzen ebenfalls gegeben. Der Übergang zu einem ISDN kann aufgrund dieser Vorleistungen beginnen.

2.2. Internationale Standardisierung

Die internationalen Berührungspunkte und Interessen im Bereich der Übermittlungstechnik zwingen zu einer international akzeptierten Normierung und Standardisierung. Empfehlungen und Richtlinien werden dabei von den nachfolgenden Gremien vorgelegt:

- UIT Union International de Télécommunications,
- ITU International Telecommunication Union,
- CCITT Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique, The International Telegraph and Telephone Committee,
- ISO International Organization for Standardization,
- IEC International Electrotechnical Commission,
- CEPT Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications,
- ECMA European Computer Manufacturer Association.

Die von diesen Gremien erarbeiteten Empfehlungen und Richtlinien betreffen :

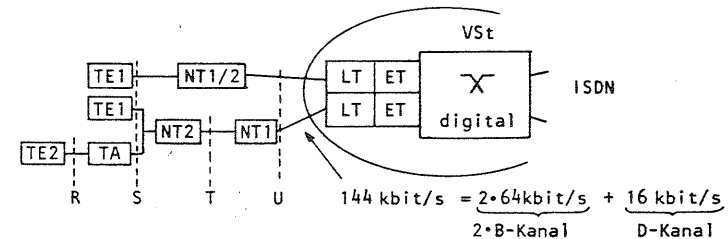
- Schnittstellen,
- Signalisierungsverfahren,
- Übertragungsprozeduren,
- Beschreibungs- und Programmiersprachen,
- Übertragungssysteme,
- Gütekriterien von übertragungstechnischen und vermittlungstechnischen Einrichtungen.

Hinsichtlich des künftigen ISDN sollen nachfolgend einige wichtige, bis 1983 verabschiedete Empfehlungen angeführt werden:

- Schnittstellen zwischen Endeinrichtungen und Vermittlungssystem,
 - CCITT X.20, X.21, X.25 ,
- Schnittstellen zwischen Vermittlungsstellen,
 - CCITT X.60, X.70, X.71, X.75,
- Signalisierungsverfahren
 - CCITT Nr.7 ,
- Sprachen
 - CCITT Z.101 - Z.104 (Functional Specification and Description Language, SDL),
 - CCITT Z.200 (CCITT high level language, CHILL),
 - CCITT Z.311 - Z.341 (Man-machine language, MML)
- Übertragungssysteme
 - CCITT G.701 - G.941.

Solche durch internationale Zusammenarbeit der Fernmeldeindustrien und der Fernmeldeverwaltungen entwickelten Standards sollen, trotz getrennter Entwicklung von Vermittlungssystemen, eine Basis für eine effektive Verständigung untereinander und eine funktionelle Zusammenarbeit der Vermittlungseinrichtungen bieten.

Auch hinsichtlich der Struktur, der Schnittstellen und der Funktionsabläufe im Teilnehmeranschlußbereich des künftigen ISDN sind bis heute (1983) beim CCITT bereits grundlegende Übereinstimmungen erzielt worden, siehe hierzu Bild 2.2. Dieses Bild zeigt die Einheiten und Schnittstellen der ISDN-Teilnehmerleitung. Die mit der Entwicklung dieser Struktur beim CCITT entstandenen vorläufigen Empfehlungen werden 1984, auf der den Arbeitszeitraum 1981-1984 abschließenden Plenarsitzung, ihre offizielle Gültigkeit erhalten.



R,S,T,U	Bezugspunkte	LT	Leitungsabschluß
TE1	ISDN-Endgerät	ET	Vermittlungsstellenabschluß
TE2	Endgerät mit herkömmlicher Schnittstelle	NT	Netzabschluß
TA	Endgeräteeinpassung		

Bild 2.2 : Teilnehmeranschlußbereich des ISDN

2.3. Planung der künftigen Dienstintegration

Die gegenwärtigen Entwicklungen, die sich mit Dienstintegration befassen, erfolgen mit unterschiedlichen Zielsetzungen und lassen sich entsprechend den betrachteten Übertragungsgeschwindigkeiten gliedern in :

- Integration der Schmalbanddienste mit Bitraten $\leq 64 \text{ kbit/s}$ pro Übertragungsrichtung,
- Integration der Weitbanddienste mit Bitraten $n \cdot 64 \text{ kbit/s}$ pro Übertragungsrichtung,
- Integration der Breitbanddienste mit Bitraten $> 1 \text{ Mbit/s}$ pro Übertragungsrichtung.

Bei diesen Entwicklungen wird auch die Integration unterschiedlicher Vermittlungsprinzipien berücksichtigt, dies

zeigt sich in den Zielsetzungen:

- Integration von Verteildiensten und vermittelten Diensten,
- Integration von leitungsvermittelten Diensten und speichervermittelten Diensten, besonders im Bereich lokaler Netze (Local Area Networks, LAN).

Die Planungen der Deutschen Bundespost für die Dienstintegration haben als vorrangige Zielsetzung, bis zum Jahr 2020 ein vollständig digitales Fernsprechnetz zu erreichen. Ausgehend von diesem digitalen Übermittlungsnetz mit höchster Flächendeckung soll dann das künftige ISDN entstehen /48/. Für das Schmalband-ISDN werden dabei als Planungsphasen genannt:

- 1985 - Serieneinsatz digitaler Vermittlungsstellen im Fernsprechnetz (Fernnetz) mit einem Pilotversuch "ISDN".
- 1990 - Ab diesem Zeitpunkt sollen keine Beschaffungen von elektromechanischen Einrichtungen mehr erfolgen; es sollen digitale Vermittlungsstellen auch im Fernsprech-Ortsnetz eingesetzt werden. Dadurch soll ein Fernsprech-IDN (Integrated digital network, IDN) entstehen.

Für die Zielsetzung des Breitband-ISDN ist ab 1985 bzw. 1983 der Beginn von Versuchsprojekten geplant,

- BIGFERN (Breitbandiges Integriertes Glasfaser Fernnetz),
- BIGFON (Breitbandiges Integriertes Glasfaser-Fernmelde-Orts-Netz).

Diese Projekte sollen die Grundlage für das künftige Breitband-Netz IBFN (Integriertes Breitband Fernmelde-Netz) bilden.

Hinsichtlich des Schmalband-ISDN wird gegenwärtig besonders an der Festlegung des Signalisierungsprotokoll auf der Teilnehmerleitung gearbeitet. Eine vorläufige Festlegung hierfür ist von der Deutschen Bundespost in Zusammenarbeit mit der deutschen vermittlungstechnisch orientierten Industrie erfolgt. Derzeit werden Protokolluntersuchungen und Protokollimplementierungen durchgeführt.

Diese Planungen und Entwicklungen mit der Zielsetzung ISDN basieren im wesentlichen auf Absprachen und Festlegungen, die ab 1980 erfolgt sind. Im gleichen Zeitraum wurden auch am Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart Möglichkeiten der Dienstintegration entwickelt, realisiert und untersucht. Ausgangspunkt und Zielsetzung dieser Arbeiten werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

2.4. Ausgangspunkt und Zielsetzung beim Vermittlungssystem PILOT

Im Rahmen eines Forschungsprojektes ist in den 70er Jahren am Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung der Universität Stuttgart ein rechnergesteuertes Vermittlungssystem für Fernsprecherkehr als Labormodell entwickelt worden. Die Struktur dieses Vermittlungssystems, siehe Bild 2.3, ist gekennzeichnet durch eine Vermittlungsstelle mit zentraler Rechnersteuerung und einem PCM-Koppelnetz zur Durchschaltung der Verbindungen. An die Vermittlungsstelle sind bis zu 16 Vorfeld-Konzentratoren angeschlossen mit jeweils 512 Fernsprechteilnehmern im Vollausbau. Die Konzentratoren enthalten ein analoges Koppelnetz, Wählzeichenempfänger (WZE), Tongeneratoren (TG), Analog-Digital-Wandler (A/D) und eine Steuerungseinheit. Diese Steuerungseinheit, als Steuerung (Slave) bezeichnet, führt einfache Steuerfunktionen auf Befehl der Konzentratorsteuerung (Master) aus. Diese befindet sich in der Vermittlungsstelle. Die bei der Entwicklung und Realisierung dieses Vermittlungs-

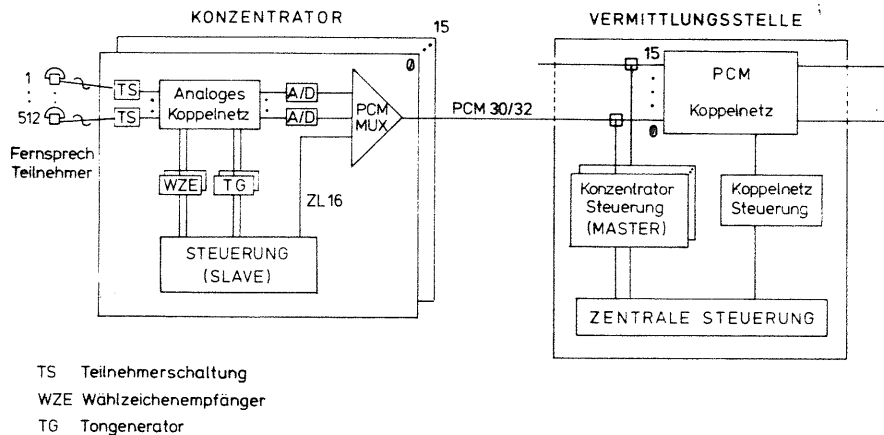


Bild 2.3 : Struktur des Fernsprech-Vermittlungssystems (Labormodell)

a) Datenstationen im Start-Stop-Betrieb (-Modus)

Benutzerklasse	Geschwindigkeitsstufe und Codestructur	Geschwindigkeit und Code für Wahl- und Dienstsignale
1	300 bit/s, 11 Bits/Zeichen Start-Stop	300 bit/s, Alphabet Nr. 5 (11 Bits/Zeichen)
2	50—200 bit/s, 7,5—11 Bits/Zeichen Start-Stop	200 bit/s, Alphabet Nr. 5 (11 Bits/Zeichen)

b) Datenstationen im Synchron-Betrieb (-Modus)

Benutzerklasse	Geschwindigkeitsstufe	Geschwindigkeit und Code für Wahl- und Dienstsignale
3	600 bit/s	600 bit/s, Alphabet Nr. 5
4	2400 bit/s	2400 bit/s, Alphabet Nr. 5
5	4800 bit/s	4800 bit/s, Alphabet Nr. 5
6	9600 bit/s	9600 bit/s, Alphabet Nr. 5
7	48000 bit/s	48000 bit/s, Alphabet Nr. 5

Tabelle 2.1 : Benutzerklassen für leitungsvermittelnde Datennetze nach CCITT X.1 /15/.

systems gewonnenen Erfahrungen hinsichtlich Software-Erstellung und Hardware-Implementierung waren Grundlage und Ausgangspunkt für die neue Problemstellung der Dienstintegration.

Vor dem Beginn des Konzeptentwurfes für ein dienstintegriertes Vermittlungssystem bzw. der Ausarbeitung einer Übergangsstrategie mußten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Welche gegenwärtig angebotenen Dienste und welche künftig zu erwartenden Dienste sollen in das angestrebte ISDN einbezogen werden?
- Welche Bitraten sollen in dem ISDN vermittelt werden und welche Vermittlungsprinzipien sollen integriert werden?
- Welche Signalisierungsverfahren und welche Schnittstellen sind bereits international festgelegt und welche Schnittstellen sind für ein ISDN erforderlich?
- Von welchem bestehenden Übermittlungsnetz aus soll das ISDN entstehen?
- Welche Übergangsstrategie wird für die Einführung eines ISDN angestrebt?

Bei der Beantwortung dieser Fragestellungen wurden folgende Einzelaspekte berücksichtigt und folgende Festlegungen getroffen:

- Aspekte zu a) und b) :
- Integration von Breitbanddiensten,
 - Integration von speichervermittelten Diensten,
 - Integration von Verteildiensten.

Festlegung: In dem zu entwickelnden dienstintegrierten Vermittlungssystem sollen alle leitungsvermittelten Wähldienste mit Bitraten ≤ 64 kbit/s integriert werden. Die Bitraten sind in Tab. 2.1 angegeben.

Festlegung zu c): Eine internationale Schnittstellen-Empfehlung für eine ISDN-Schnittstelle im Teilnehmeranschlußbereich besteht nicht, es ist daher eine Schnittstelle mit Signalisierungsprozedur zu entwickeln.

Festlegung zu d): Hinsichtlich der erfolgten Investitionen bei den Übermittlungsnetzen wird ein ISDN aus dem Fernsprechnetzen entstehen, dem Netz mit höchster Flächendeckung. In diese Richtungen zielen (1979) auch die ISDN-Überlegungen beim CCITT.

Aspekte zu e): Das ISDN kann ausgehend vom Fernsprechnetzen nach unterschiedlichen Strategien erreicht werden. Drei Hauptstrategien dabei sind:

- I) Das ISDN wird als overlay-network zum Fernsprechnetzen entwickelt und anschließend erfolgt die Umschaltung aller Dienste auf dieses Netz.
- II) Die Vermittlungssysteme des ISDN werden zunächst in der Fernebene des Fernsprechnetzen eingerichtet. In der folgenden Ausbauphase wird dann das ISDN bis hin zum Teilnehmerbereich ausgedehnt.
- III) Die Vermittlungssysteme des ISDN werden zunächst schrittweise bei den Teilnehmervermittlungsstellen des Fernsprechnetzen eingerichtet. Von diesen ISDN-Vermittlungsstellen sind Übergänge zu den noch getrennten Vermittlungsnetzen der verschiedenen Dienste zu entwickeln. Das ISDN wird hierbei schrittweise eingeführt, später werden die höheren Netzebenen einbezogen.

Festlegung zu e): Für die Entwicklung eines diensteintegrierten Vermittlungssystems soll die Strategie III zugrundegelegt werden, da hierbei den Teilnehmern frühestmöglich ein ISDN bereitgestellt werden kann. Diese Vorgehensweise soll als "partielle Integration" bezeichnet werden, da sie schrittweise erfolgt.

Mit den genannten Festlegungen und dem zuvor beschriebenen Ausgangspunkt kann die Zielsetzung und Problemstellung für diese Arbeit folgendermaßen formuliert werden:

Es ist ein Teilnehmervermittlungssystem zu entwickeln in dem, ausgehend von der in Bild 2.3 gezeigten Struktur des Fernsprechvermittlungssystems, auch die Datendienste mit Bitraten bis 64 kbit/s integriert sind. Die Struktur des diensteintegrierten Vermittlungssystems ist zu entwickeln, anschließend in einem Labormodell zu realisieren und hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit zu untersuchen.

Die hierzu durchgeführte Entwicklung des Vermittlungssystems PILOT (partielle Integration im lokalen Telefonnetz) und die Ergebnisse der Untersuchungen werden in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt.

3. Integrationskonzept I : Erweiterung eines reinen Fernsprechvermittlungssystems für zusätzlichen Datenverkehr

3.1. Strukturentwicklung und Strukturbeschreibung

Der Strukturentwicklung wurde zunächst eine Untersuchung vorangestellt, um zu prüfen, welche Baugruppen und Softwareteile des vorhandenen reinen Fernsprechvermittlungssystems für die Vermittlung von Datenverkehr mitbenutzt werden können. Dabei wurde Datenverkehr mit Bitraten von 600 bit/s bis 48000 bit/s betrachtet. Diese Untersuchung hatte folgende Ergebnisse:

- Große Teile der in der Fernsprechvermittlungsstelle vorhandenen Software für Fernsprechverkehr können auch für die Vermittlung von Datenverkehr mitbenutzt werden. Eine Software-Erweiterung für spezielle Datenvermittlungsfunktionen ist jedoch erforderlich.
- Für die Vermittlung von Datenkanälen mit unterschiedlichen Bitraten ist ein eigenes Koppelnetz erforderlich, falls jedem Datenteilnehmer für eine Verbindung nur die notwendige Übertragungskapazität entsprechend seiner Benutzerklasse zugeteilt werden soll (z.B. 600 bit/s, 1200 bit/s, usw.).
- Die zwischen den Konzentratoren und der Vermittlungsstelle eingesetzten PCM-Übertragungssysteme können auch für die Übertragung von Datenverkehr unverändert mitbenutzt werden.
- Eine Konzentration des Datenverkehrs bereits in den Konzentratoren, entsprechend derjenigen des Fernsprechverkehrs, erscheint nicht notwendig, da im Teilnehmer-Anschlußbereich eines Konzentrators im Mittel nur 5-10% Datenteilnehmer zu erwarten sind.
- Datenendeinrichtungen, die Zeichen im Start-Stop-Verfahren senden und empfangen, sollten über Asynchron-Synchron-Um-

setzer an die Konzentratoren angeschlossen werden. Dadurch treten im Anschlußbereich der Konzentratoren nur synchrone Bitströme mit Bitraten von 600 bit/s bis 48000 bit/s auf.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse der Voruntersuchung wurde das reine Fernsprechvermittlungssystem um die in Bild 3.1 hervorgehobenen Einheiten erweitert. Durch diese Erweiterungseinheiten werden die Vermittlungsfunktionen für Datenverkehr bereitgestellt und das "kombinierte Vermittlungssystem" ist damit ein erster Schritt in Richtung des ISDN.

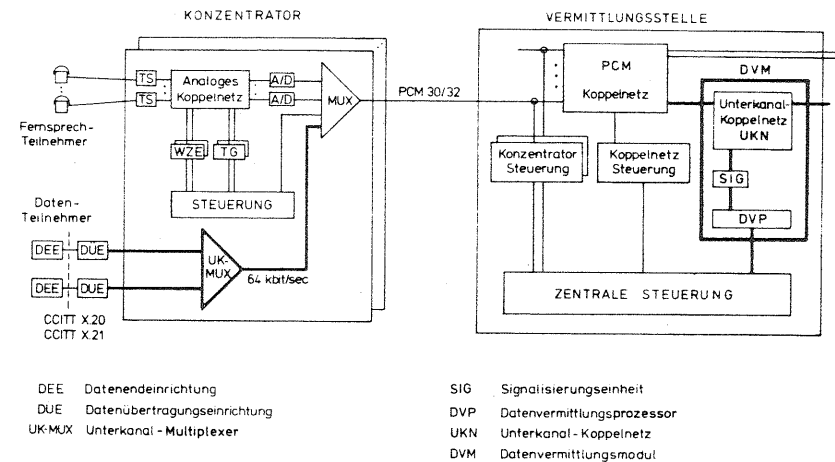


Bild 3.1 : "Kombiniertes Vermittlungssystem" für Fernsprech- und Datenverkehr

Jede Datenendeinrichtung (DEE) ist über eine Datenübertragungseinrichtung (DUE) und die Teilnehmeranschlußleitung an einen Unterkanal-Multiplexer¹⁾ im Konzentrator angeschlossen. Ein Unterkanal-Multiplexer (UK-MUX) bildet aus mehreren Teilnehmer-Bitströmen, die der Empfehlung CCITT X.1 entsprechen, jeweils einen

¹⁾ Die Erläuterung der Unterkanal-Technik erfolgt in Abschnitt 3.4

64 kbit/s - Multiplex - Bitstrom gemäß der in der Empfehlung X.51 des CCITT angegebenen Vorschrift. Die Übertragung der Multiplex-Bitströme zur Vermittlungsstelle erfolgt in den 64 kbit/s - Kanälen der PCM 30/32 - Übertragungssysteme.

In der Vermittlungsstelle werden die mit Datenverkehr belegten PCM - Kanäle über fest geschaltete Verbindungen durch das PCM - Koppelnetz zum Datenvermittlungsmodul (DVM) geführt. Eine Vermittlung der Datenkanäle kann im PCM - Koppelnetz nicht erfolgen, da hier nur vollständige 64 kbit/s - Bitströme als kleinste Bitrateneinheit vermittelt werden können. Im Datenvermittlungsmodul werden die individuellen Datenverbindungen im Unterkanal-Koppelnetz (UKN) durchgeschaltet, wobei von einer Datenverbindung ein oder mehrere Unterkanäle belegt werden. Ein Unterkanal trägt dabei die Teilnehmer - Nutzbitrate von 600 bit/s. Das Unterkanal-Koppelnetz ist eine einstufige Koppelanordnung, welche die zeitliche und räumliche Umsetzung der Unterkanäle innerhalb und zwischen 64 kbit/s - Kanälen ermöglicht. Alle ankommenden Unterkanäle werden, ehe die Umsetzung durch zeitliche Verzögerung in der eigentlichen Koppelstufe erfolgt, auf einem parallelen Bus zusammengefaßt.

An den parallelen Bus ist die Signalisierungseinheit (SIG) angeschlossen. Mit dieser Signalisierungseinheit kann die eintreffende Signalisierungsinformation von allen Datenteilnehmern erfaßt und vorverarbeitet werden, da im Vorfeld der Vermittlungsstelle keine Verkehrskonzentration für den Datenverkehr erfolgt. Von der Signalisierungseinheit werden, abgeleitet von den eingetroffenen Signalisierungszeichen, entsprechende Meldungen an den Datenvermittlungsprozessor (DVP) gesendet. Dieser führt die weitere Bearbeitung durch. Die wesentlichsten Verbindungsaufbaufunktionen für Datenverbindungen, welche insbesondere auf zentral gespeicherte Zustandsinformationen zurückgreifen, werden in der zentralen Steuerung der Vermittlungsstelle ausgeführt. Hierzu erfolgt ein Meldungs- und Befehlsaustausch zwischen dem Datenvermittlungsprozessor und der zentralen Steuerung. In der zentralen Steuerung werden, für die Vermittlung des Datenverkehrs, Module der bestehenden Fernsprech-Vermittlungssoftware mitbenutzt. Für spezielle Anforderungen wurden jedoch zusätzliche

Module entwickelt, dies war insbesondere bedingt durch das Belegen von einem oder mehreren Unterkanälen für eine Datenverbindung.

Ist von der Vermittlungsstelle Signalisierungsinformation zu den Datenteilnehmern zu senden, so erfolgt dieses durch Einfügung der Signalisierungszeichen im Unterkanal - Koppelnetz auf Anweisung des Datenvermittlungsprozessors.

In den folgenden Abschnitten sollen die Signalisierung zwischen Datenteilnehmer und Vermittlungsstelle, sowie die bereitgestellten Schnittstellen für Endeinrichtungen erläutert werden.

3.2. Schnittstellen für Datenendeinrichtungen

Unter einer Schnittstelle versteht man die Bereitstellung von Kommunikationspfaden und Kommunikationsprozeduren zum Informationsaustausch zwischen Verarbeitungseinheiten. Bezüglich den Datenendeinrichtungen sind hierfür in Schnittstellen-Beschreibungen die Verbindungsleitungen, deren elektrische Parameter, sowie die Bedeutung der einzelnen Signale auf diesen Leitungen festgelegt.

Für Datenendeinrichtungen, die mit einer Datenübertragungseinrichtung die Zeichen im Start-Stop-Modus austauschen, ist von CCITT die Schnittstelle CCITT X.20 empfohlen worden /15/. Für Datenendeinrichtungen, die Zeichen taktsynchron senden und empfangen, gilt die Schnittstelle CCITT X.21 /15/.

Im betrachteten Vermittlungssystem werden bei Datenendeinrichtungen mit Schnittstelle CCITT X.20 generell Schnittstellen-Umsetzer X.20/X.21 eingesetzt. Damit gilt aus Sicht des Vermittlungssystems für die weiteren Betrachtungen die Schnittstelle CCITT X.21 als einheitliche Schnittstelle für alle Datenendeinrichtungen. Sie soll genauer vorgestellt werden.

Die Schnittstellenleitungen von CCITT X.21 und ihre Bedeutung sind in Bild 3.2 gezeigt. Den Sende- und Empfangsleitungen T bzw.

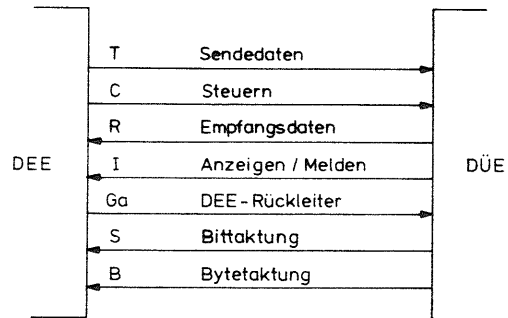


Bild 3.2 : Leitungen der Schnittstelle CCITT X.21

R ist jeweils eine Steuerleitung C bzw. I zugeordnet. Weiterhin kann der Datenendeinrichtung (DEE) von der Datenübertragungseinrichtung (DÜE) neben dem Bittakt auch der Bytetakt angeboten werden.

Der zeitliche Ablauf des Signalisier-Informationsaustausches zwischen DEE und DÜE für den erfolgreichen Aufbau einer Wahlverbindung ist in Bild 3.3 dargestellt. Dabei wird die Signalisierinformation durch Leitungszustände und durch Zeichen des Internationalen Alphabetes Nr.5 (IA 5) /14/ dargestellt.

Die einzelnen Zustände des Signalisierungsprotokolles, die zeitlich nacheinander durchlaufen werden, sind in Bild 3.3 sowohl verbal wie auch durch zugeordnete eingekreiste Zustandsnummern gekennzeichnet. Diese Zustandsmarkierung ermöglicht neben der Darstellung des zeitlichen Signalisierablaufes weiterhin eine Darstellung des logischen Signalisierungsablaufes mit Hilfe von Zustandsübergangsdiagrammen. Solche Zustandsübergangsdiagramme sind vom CCITT bereitgestellt worden und werden in Bild 3.5 für den Verbindungsaufbau und in Bild 3.6 für die Verbindungsauslösung angegeben. Dabei wird ein individueller Zustand durch eine Zustandsnummer, eine verbale Zustandskennung und durch die Signale auf den Schnittstellenleitungen beschrieben.

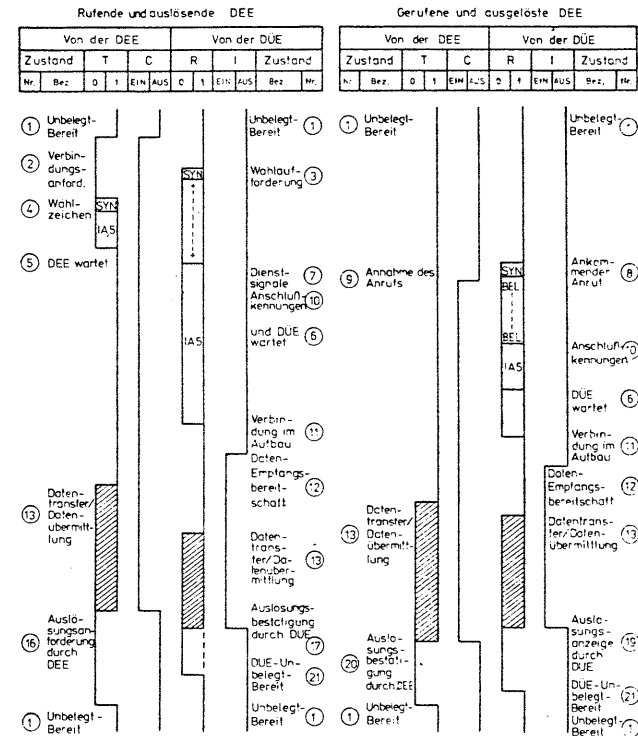
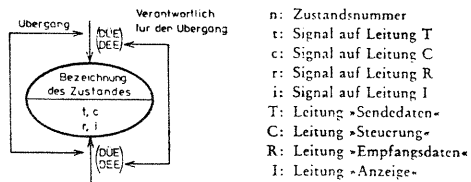


Bild 3.3 : Zeitlicher Ablauf der Signalisierung nach CCITT X.21 bei einer erfolgreichen Wahlverbindung (aus /17/).

Die verwendete Zustandssymbolik ist in Bild 3.4 erläutert. Es ist jedoch zu ergänzen, daß rechteckige Zustandssymbole auf die Übertragung von Zeichenfolgen hinweisen, während durch die elliptischen Zustandssymbole die Übertragung gleichartiger Zeichen angezeigt wird.

Bei einem Verbindungsaufbau (Bild 3.5) wird bei der rufenden Datenendeinrichtung der linke Zweig des Zustandsübergangsdiagrammes und bei der gerufenen DEE der rechte Zweig durchlaufen. Dabei besteht die Möglichkeit, den Datenendeinrichtungen vom



- Legende**
- D: Signale zwischen DEE
 - 0 und 1: Andauernde Binärzustände 0 und 1
 - 01: Alternierende Binärzustände 0 und 1
 - x: Irgendein Wert
 - AUS und EIN: Andauernde Binärzustände AUS (binär 1) und EIN (binär 0)
 - IAS: Internationales Alphabet Nr. 5 (CCITT Empfehlungen V. 3 und X. 4)
 - Irgendein Zustand: Schließt alle Zustände während der Herstellung der Verbindung und des Datentransfers ein

Bild 3.4 : Erläuterung der Zustandssymbolik

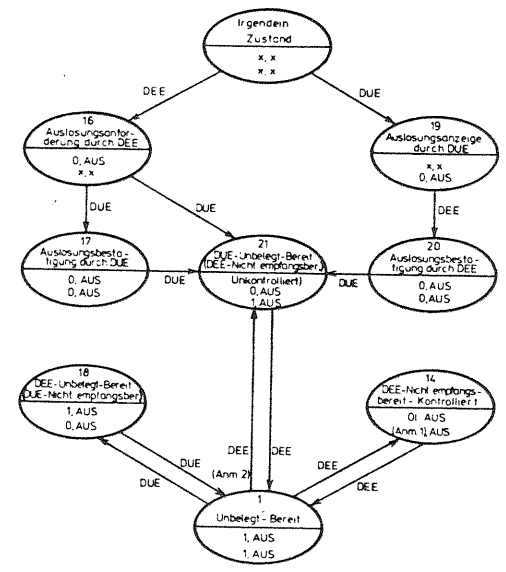


Bild 3.6 : Zustandsübergangdiagramm für die Verbindungsauslösung nach CCITT X.21

Netz aus die Anschlußkennung des rufenden Teilnehmers oder Betriebszustände des Netzes zu übermitteln. Die Auslösung einer Verbindung kann von der rufenden oder der gerufenen DEE aus erfolgen und ist jederzeit möglich. Die dabei auftretenden Zustandsübergänge zeigt Bild 3.6 .

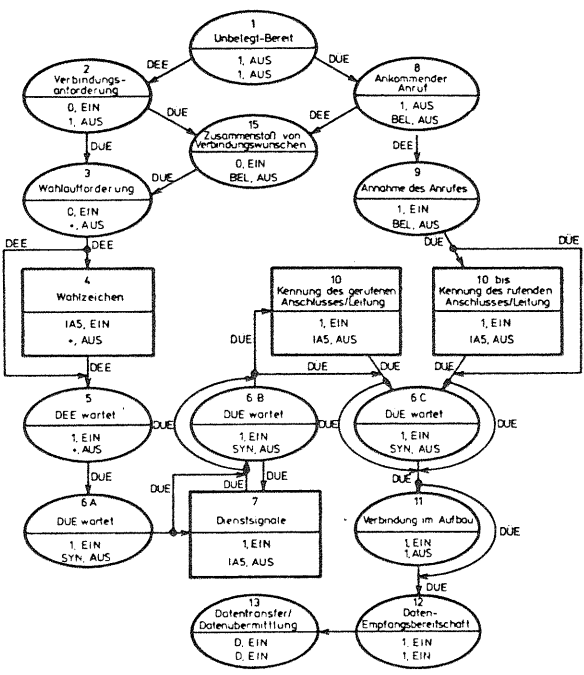


Bild 3.5 : Zustandsübergangdiagramm der Verbindungsaufbauphase nach CCITT X.21

Zustandsübergangdiagramme, wie sie z.B. hier für die Schnittstelle CCITT X.21 vorgestellt wurden, ermöglichen den Einsatz von Protokoll-Validierungsverfahren /18,19/ und damit den Nachweis der Protokoll-Vollständigkeit sowie der Freiheit von Dauerschleifen. Darüberhinaus bilden die Zustandsübergangdiagramme einen wichtigen Zwischenschritt von einer verbalen Protokoll-Beschreibung zu einer Protokoll-Implementierung.

3.3. Signalisierung zwischen Datenübertragungseinrichtung und Vermittlungsstelle

Bei der zuvor erläuterten Schnittstelle CCITT X.21 zwischen der Dateneneinrichtung und der Datenübertragungseinrichtung erfolgt der Zeichenaustausch taktsynchron über die Sende- und Empfangsleitungen. Weiterhin wird durch den Zustand der zugeordneten Steuerleitungen insbesondere die Datentransferphase gekennzeichnet.

Der Austausch von Signalisierungsinformation zwischen der Datenübertragungseinrichtung und der Vermittlungsstelle muß dagegen seriell über einen bereitgestellten Sendekanal bzw. Empfangskanal durchgeführt werden. Hierzu wird auf diesen Kanälen das (8+2)-Envelope-Format eingesetzt, siehe Bild 3.7. Einem 8-bit-Informationenfeld ist ein Statusbit (S) und ein Synchronisierbit (A) zugeordnet. Das Statusbit dient dabei zur Unterscheidung zwischen Signalisierungsinformation und Teilnehmer-Nutzdaten im Informationsfeld.

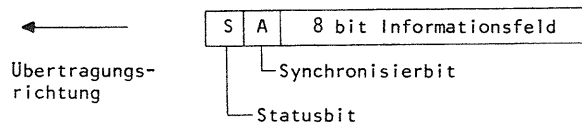


Bild 3.7 : Wortformat des (8+2)-Envelope

Ein ungesetztes Statusbit zeigt dabei an, daß in dem Informationsfeld keine Signalisierungsinformation enthalten ist. Derart gekennzeichnete, zeitlich aufeinanderfolgende Informationsfelder bilden den für eine Datenverbindung bereitgestellten codetransparenten Nutzkanal.

Ein gesetztes Statusbit zeigt dagegen an, daß in dem Informa-

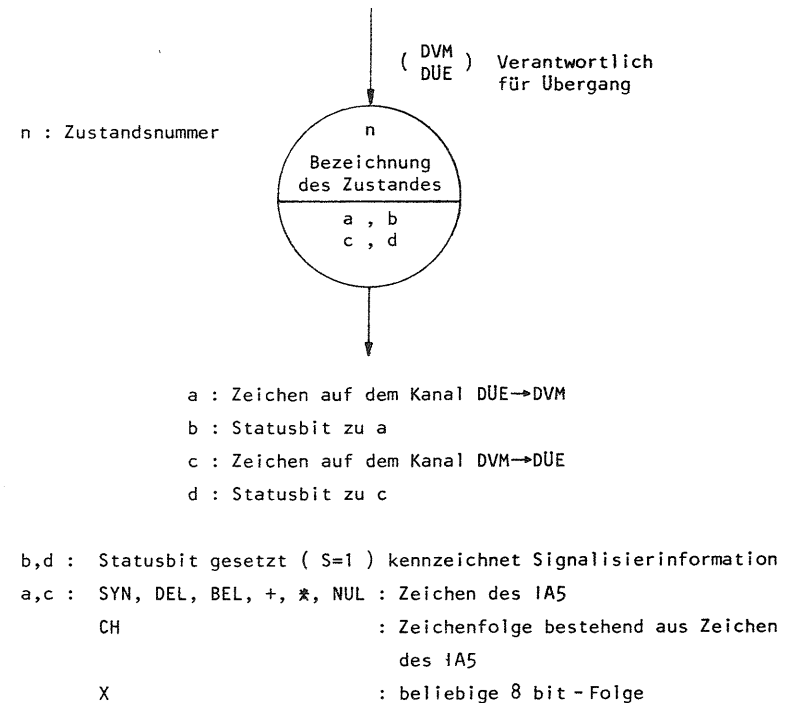


Bild 3.8 : Zustandssymbolik für die Bilder 3.9 und 3.10

tionsfeld ein Signalisierungszeichen des Internationalen Alphabetes Nr. 5 vollständig enthalten ist.

Dieses (8+2)-Envelope-Format ermöglicht eine schnelle und zudem aufwandsarme Erkennung und Bearbeitung von Signalisierungszeichen /43/. Die hierbei erforderlichen Einzelschritte werden im Abschnitt 3.5.2. erläutert.

Basierend auf dem (8+2)-Envelope-Format und Signalisierungszeichen aus dem Internationalen Alphabet Nr.5 wurde, in Anlehnung

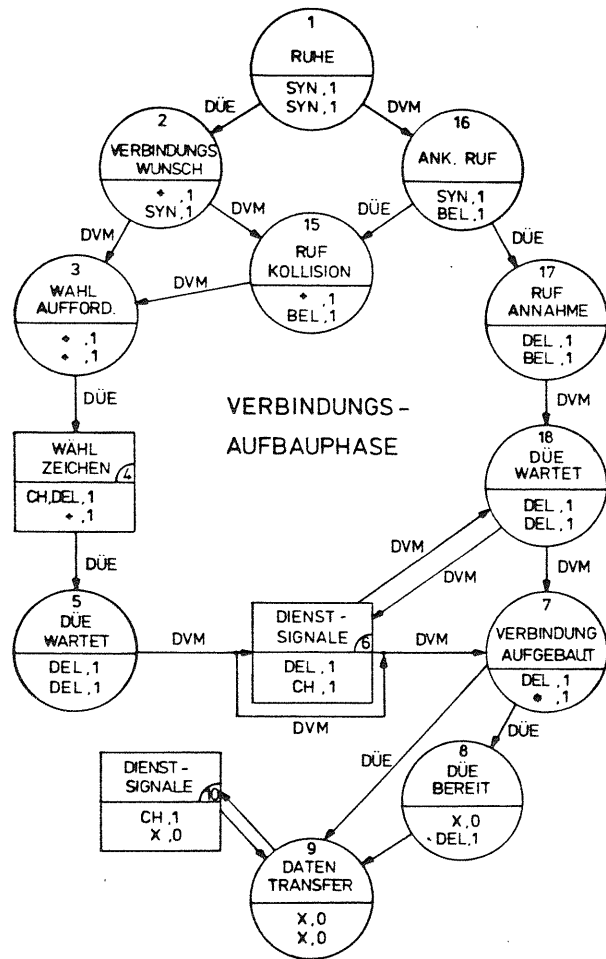


Bild 3.9 : Zustandsübergangsdiagramm für die Signalisierung zwischen DÖE und DVM beim Verbindungsaufbau

an den Zeichenaustausch bei CCITT X.21, eine Signalisierungsprozedur entwickelt, die durch die Zustandsübergangsdiagramme der Bilder 3.9 und 3.10 dargestellt wird. Die verwendete Zustands-

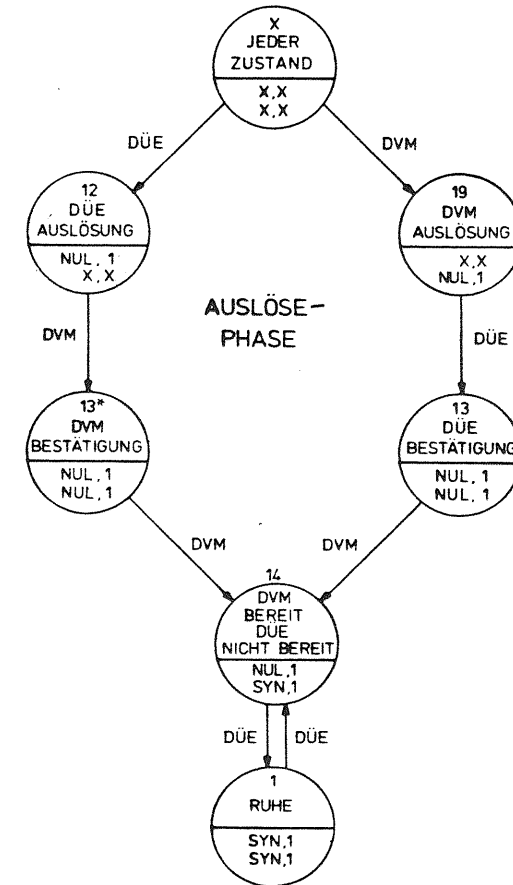


Bild 3.10 : Zustandsübergangsdiagramm für die Signalisierung zwischen DÖE und DVM bei der Verbindungsauslösung

symbolik, siehe Bild 3.8, enthält dabei Angaben über die Art der Zeichen, welche von der DÜE zum DVM in der Vermittlungsstelle bzw. vom DVM an die DÜE gesendet werden. Die Zustandsdarstellung mit rechteckigen Symbolen weist auf einen Austausch von Zeichenfolgen hin. Hierbei handelt es sich um Wählziffern oder Netz-Zustandsinformationen bzw. Kennungen von rufenden Teilnehmern.

3.4. Unterkanaltechnik

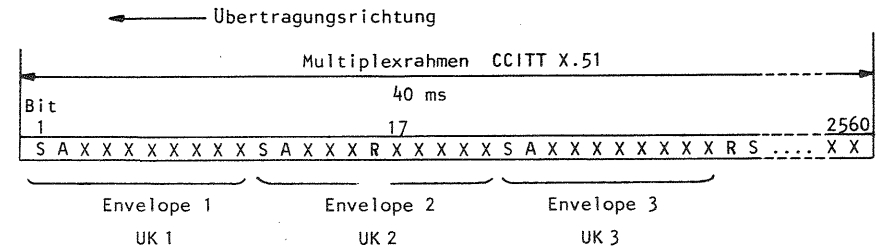
Datenendeinrichtungen senden und empfangen Signalisier- und Nutzinformation mit einer Bitrate entsprechend der individuell gewählten Benutzerklasse. Die wählbaren Benutzerklassen sind im einzelnen in der Empfehlung CCITT X.1 festgelegt. Die niedrigste synchrone Bitrate beträgt dabei 600 bit/s, die höchste synchrone Bitrate beträgt 48000 bit/s. Alle anderen synchronen Benutzerklassen benutzen Bitraten, die jeweils ein ganzzahliges Vielfaches von 600 bit/s betragen, z.B. 2400 bit/s, 9600 bit/s.

Bei der Schnittstelle CCITT X.21 für Datenendeinrichtungen wird entsprechend der Bitrate der gewählten Benutzerklasse über die Leitungen T und R gesendet und empfangen. Die Unterscheidung zwischen Teilnehmer-Nutzinformation und Signalisierungs-Information, also vermittlungstechnischer Information, wird mittels des Zustandes der Steuerleitungen C und I durchgeführt.

Auf den seriellen Sende- und Empfangskanälen zwischen Datenübertragungseinrichtung (DÜE) und der Vermittlungsstelle wird das (8+2)-Envelope-Format eingesetzt und die Unterscheidung der Informationsarten erfolgt anhand des Zustandes des Statusbits. Hierdurch erhöhen sich die Bitraten der Benutzerklassen mit dem Faktor 10/8. Die auftretenden Bitraten umfassen damit den Bereich von 750 bit/s bis 60000 bit/s, wobei die einzelnen Benutzerklassen jeweils ein ganzzahliges Vielfaches der Bitrate 750 bit/s benötigen. Hierdurch ist gleichzeitig die notwendige Übertragungskapazität pro Übertragungsrichtung für eine Verbindung jeder Benutzerklasse festgelegt.

Werden zwischen dem Anschlußbereich der DÜEs und der Vermittlungsstelle PCM 30/32 - Übertragungssysteme eingesetzt, so kann ein PCM - Kanal (64 kbit/s) eine Verbindung der Benutzerklasse 7 mit 60 kbit/s oder mehrere Verbindungen anderer Benutzerklassen aufnehmen. Von den Benutzerklassen 3 mit je 750 bit/s können dementsprechend 80 Verbindungen im Zeitmultiplex übertragen werden.

Ein Kanal für 750 bit/s wird als Unterkanal (UK) bezeichnet; ein PCM - Kanal stellt demzufolge 80 Unterkanäle bereit.



$$2560 \text{ bits} = 3 \times 80 \text{ Envelopes} + 160 \text{ Rahmenbits}$$

S	Statusbit	X	Informationsbit
A	Synchronisierbit	R	Rahmenbit

Bild 3.10 : Bitfolge im Multiplexrahmen nach CCITT X.51

Die Summenbitrate der 80 Unterkanäle beträgt 60 kbit/s. Die verbleibenden 4 kbit/s bis zur Bitrate von 64 kbit/s eines PCM-Kanals werden für den Aufbau eines Multiplexrahmens benutzt. Die Empfehlung CCITT X.51 enthält hierfür eine Vorschrift zur Bildung des 64 kbit/s - Multiplex-Bitstromes und legt die Struktur des Multiplexrahmens fest, siehe Bild 3.10.

Ein solcher Multiplexrahmen umfaßt 3 • 80 Unterkanäle und 160 Rahmenbits bei einer Rahmendauer von 40 ms. Diese 160 Rahmenbits sind äquidistant auf die Gesamtrahmendlänge von 2560 Bits verteilt, d.h. nach jeweils 15 Bits der (8+2) Envelopes wird ein Rahmenbit eingefügt.

Entsprechend der Benutzerklasse werden für eine Verbindung ein oder mehrere Unterkanäle belegt. Bei jenen Benutzerklassen, die mit Start-Stop-Betrieb arbeiten, erfolgt eine Umsetzung in die synchrone Bitrate von 600 bit/s, welche im (8+2)-Format einen Unterkanal mit 750 bit/s belegt.

Diese Unterkanaltechnik bietet gegenüber einheitlicher Bereitstellung eines PCM - Kanals mit 64 kbit/s pro Verbindung eine

effektive Nutzung der Übertragungskapazität. Besonders wirtschaftlich ist diese Unterkanaltechnik zur Übertragungstechnischen Zusammenfassung bei langen Anschlußleitungen von Datenübertragungseinrichtungen an die erste vermittlungstechnische Einrichtung mit Verkehrskonzentration.

3.5. Datenvermittlungsmodul

Die Konzentration des Datenverkehrs und die Vermittlung des Datenverkehrs wird im Datenvermittlungsmodul (DVM) durchgeführt, dieser befindet sich in der Vermittlungsstelle. Der DVM enthält das Unterkanal-Koppelnetz (UKN), die Signalisierungseinheit (SIG) und den Datenvermittlungsprozessor (DVP). Weiterhin werden Softwaremodule der zentralen Steuerung für die Verbindungsherstellung mitbenutzt. Bild 3.8 zeigt das funktionelle Blockschaltbild des Datenvermittlungsmoduls. Die einzelnen Funktionseinheiten werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

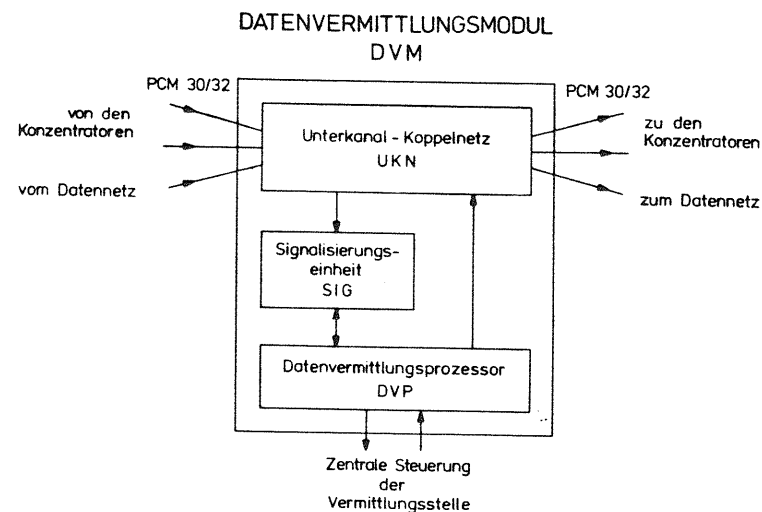


Bild 3.8 : Blockschaltbild des Datenvermittlungsmoduls

3.5.1. Unterkanal-Koppelnetz

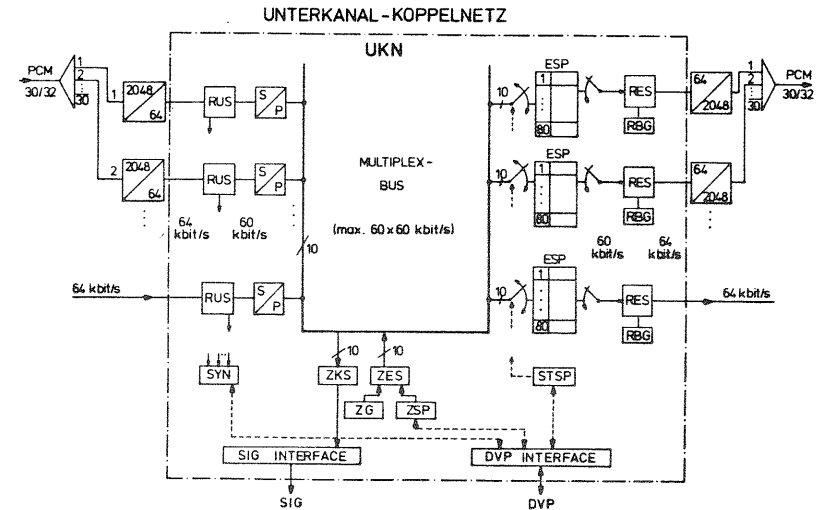
Dieses Koppelnetz dient zur Vermittlung, d.h. zeitlichen und räumlichen Umsetzung von Unterkännen, die entsprechend CCITT X.51 im Zeitmultiplex in PCM-Zeitlagen zusammengefaßt sind.

Die Zeitlagen der PCM 30/32 - Übertragungssysteme von den Konzentratoren, die ausschließlich Datenverkehr tragen, werden im PCM-Koppelnetz der Vermittlungsstelle fest auf PCM-Systeme durchgeschaltet, bei denen alle Zeitlagen Datenverkehr tragen. Diese PCM-Systeme führen dann vom PCM-Koppelnetz zum Datenvermittlungsmodul und dort zum Unterkanal-Koppelnetz (UKN). Im Unterkanal-Koppelnetz erfolgt die Umsetzung der Unterkännen von den ankommenden Zeitlagen auf die entsprechenden abgehenden Zeitlagen. Die vom Unterkanal-Koppelnetz abgehenden PCM-Systeme mit Datenzeitlagen führen wiederum zum PCM-Koppelnetz. Dort sind die Zeitlagen mit Datenverkehr wieder fest durchgeschaltet auf die abgehenden PCM-Systeme zu den einzelnen Konzentratoren.

Am Unterkanal-Koppelnetz sind weiterhin jene PCM-Systeme angeschlossen, die ausschließlich Datenverkehr tragen und von den Datenvermittlungsstellen der Datenetze ankommen bzw. zu ihnen abgehen.

Die einzelnen Baugruppen des Unterkanal-Koppelnetzes (UKN) zeigt Bild 3.9.

Bei den ankommenden PCM-Systemen werden zunächst in einer Demultiplexer-Einheit die einzelnen 64 kbit/s-Kanäle separiert. Da alle Kanäle jeweils Bitströme mit einer Multiplexrahmen-Struktur entsprechend CCITT X.51 enthalten, sind nun wieder die Teilnehmer-Summenbitraten (60 kbit/s) herauszufiltern. Dazu werden in der Rahmenbit-Unterdrückungsschaltung (RUS) jene Rahmenbits herausgenommen, die am Multiplexrahmen nach CCITT X.51 beteiligt sind. Anschließend erfolgt in der Baugruppe S/P eine seriell-parallel-Wandlung zur Geschwindigkeitsreduzierung, so daß am Ausgang die (8+2)-Envelopes parallel auf den Multiplex-Bus gegeben werden. Der Multiplex-Bus ist auf 60 Zeitlagen zu jeweils 60 kbit/s ausgelegt. Die 60 Datenzeitlagen entsprechen den Nutz-



- RUS Rahmenbit-Unterdrückungsschaltung
- S/P Seriell-Parallel Wandler
- ZKS Zeichen-Kopierschaltung
- ZES Zeichen-Einfügeschaltung
- ZG Zeichengenerator
- ZSP Zeichenspeicher
- RES Rahmenbit-Einfügeschaltung
- RBG Rahmenbit-Generator
- ESP Envelope-Speicher
- STSP Steuerspeicher

Bild 3.9 : Baugruppen des Unterkanal-Koppelnetzes

zeitlagen von zwei PCM 30/32 - Systemen. Die Dimensionierung auf 60 anschließbare Zeitlagen bedeutet, daß jeweils 2 Datenzeitlagen pro Konzentrador für Fernsprecherverkehr vorgesehen sind, Systemvollausbau bedeutet 16 Konzentratoren. Die übrigen Datenzeitlagen am Datenvermittlungsmodul sind für ankommenden bzw. abgehenden Extern-Datenverkehr bereitgestellt.

An den Multiplex-Bus des Unterkanal-Koppelnetzes sind, über die von den Konzentratoren ankommenden Zeitlagen, alle Datenteil-

nehmer der Konzentratorenbereiche angeschlossen. Da bezüglich des Datenverkehrs dieser Teilnehmer im Vorfeld keine Verkehrskonzentration stattfindet, können die Signalisierungszeichen aller Teilnehmer unmittelbar von dem Multiplex-Bus abgeleitet werden. Dies erfolgt in der Zeichen-Kopierschaltung (ZKS), die alle Signalisierungszeichen zur Signalisierungseinheit (SIG) weiterleitet. Signalisierungszeichen sind durch ein gesetztes Statusbit gekennzeichnet.

Die Signalisierung zu den Datenteilnehmern kann an dem Multiplex-Bus sehr einfach eingefügt werden, da alle Teilnehmer über diesen erreicht werden können. Die Einfügung selbst wird in der Zeichen-Einfügeschaltung (ZES) ausgeführt. Die einzufügenden Zeichen und Zeichenfolgen werden dem Zeichengenerator (ZG) oder dem Zeichenspeicher (ZSP) entnommen, der über die DVP-Schnittstelle vom Datenvermittlungsprozessor unmittelbar angesprochen werden kann.

Die eigentliche Vermittlung der Datenbitraten erfolgt in der sich an den Multiplex-Bus anschließenden Zeitstufe. Sie besteht aus Envelope-Speichern (ESP) und den jeweils fest zugeordneten Steuerspeichern (STSP). Die (8+2)-Envelopes vom Multiplex-Bus werden jedem der Envelope-Speicher angeboten. Die Information, in welchen Envelope-Speicher und in welche Zelle das auf dem Multiplex-Bus anstehende Envelope zu übernehmen ist, wird dem Steuerspeicher entnommen. Der Steuerspeicher stellt eine zweiteilige Adresse bereit. Ein Teil gibt den ESP an, dies entspricht der abgehenden Zeitlage. Ein weiterer Teil gibt die Speicherzelle im ESP an, dies entspricht dem UK der abgehenden Zeitlage. Der Steuerspeicher enthält also die Information, welches Envelope zu welchem Teilnehmer zu senden ist und damit die bestehenden Datenverbindungen.

Die Envelope-Speicher werden wahlfrei, entsprechend der vom Steuerspeicher angelegten Adresse beschrieben. Das Lesen der Envelope-Speicher erfolgt zyklisch, getrennt für die einzelnen Zeitlagen.

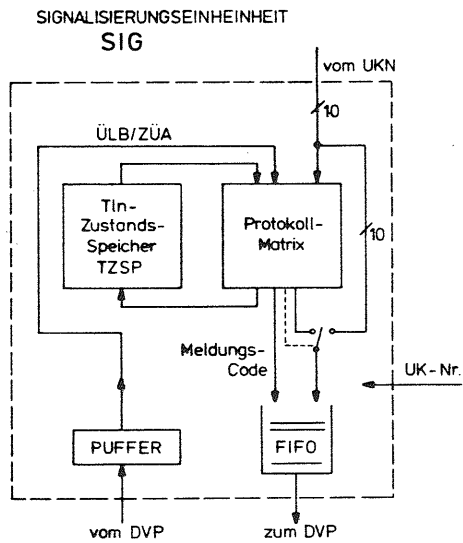
In den weiteren Einheiten des Unterkanal-Koppelnetzes werden pro Zeitlage die für den Multiplexrahmen notwendigen Rahmenbits gene-

riert. Die vom Rahmenbit-Generator (RBG) erzeugten Rahmenbits werden in der Rahmenbit-Einfügeschaltung (RES) in den abgehenden Bitstrom eingesetzt. Damit stehen am Ausgang des Unterkanal-Koppelnetzes wiederum 64 kbit/s - Kanäle mit jeweils 80 Unterkanälen bereit. Diese Zeitlagen werden über Geschwindigkeitswandler- und Multiplexer-Einheiten mit den weiteren Zeitlagen zu abgehenden PCM 30/32 - Systemen zusammengefaßt.

3.5.2. Signalisierungseinheit

Die Signalisierung aller angeschlossener Datenteilnehmer wird, wie zuvor beschrieben, auf dem Multiplex-Bus des Unterkanal-Koppelnetzes übertragen. Erkennt am gesetzten Statusbit werden die Signalisierungszeichen dann der Signalisierungseinheit (SIG) zugeführt, siehe Bild 3.10. Für jeden einzelnen Datenteilnehmer gilt dabei hinsichtlich des Verbindungsaufbaus und der Verbindungsauslösung das in Abschnitt 3.4 beschriebene Signalisierungsprotokoll. Dieses Protokoll ist durch ein Zustandsübergangsdiagramm vorgegeben, wobei ein Teilnehmer sich zu jedem Zeitpunkt in einem Zustand dieses Diagrammes befindet. Den Zustand kann er aufgrund einer eigenen Aktion, d.h. selbst gesendeter Zeichen, oder ihm vom System zugesandter Zeichen verlassen. Der zeitliche Ablauf für den Zeichenaustausch bei einem erfolgreichen Verbindungsaufbau und einer Verbindungsauslösung ist in Bild 3.11 dargestellt.

Die Signalisierungseinheit selbst besteht aus einem Teilnehmer-Zustandsspeicher (TZSP) und einer Protokoll-Matrix, einem Speicher, der das vollständige Zustandsübergangsdiagramm enthält. Mit Hilfe der Protokoll-Matrix wird aus einem eingetroffenen Zeichen und dem momentanen Zustand des Teilnehmers der neue Teilnehmerzustand abgeleitet, der in den Zustandsspeicher eingetragen wird. Zusätzlich können Meldungen über den FIFO-Speicher an den Datenvermittlungsprozessor (DVP) gesendet werden. Diese Meldungen können durch Zeichen ergänzt werden, die von der Protokoll-Matrix erzeugt oder unmittelbar vom Teilnehmer einge-



ÜLB Überlastbit
ZUA Zustandsübergangs-anforderung

Bild 3.10 : Struktur der Signalisierungseinheit (SIG)

treffen sind. Die Erzeugung von Meldungen in der Signalisierungseinheit kann jedoch auch vom Datenvermittlungsprozessor aus beeinflusst werden.

Im Rahmen der Durchführung von Systemüberlast-Abwehrmaßnahmen kann der DVP das Überlastbit (ÜLB) setzen. Ist dieses Überlastbit gesetzt, so werden über die Protokoll-Matrix keine neuen Verbindungswünsche von Teilnehmern mehr akzeptiert. Es treten damit keine Meldungen mehr für Ereignisse neuer Rufe auf. Bestehende Verbindungen und Verbindungen, die sich in der Aufbau- oder Auslösephase befinden, werden weiterhin bearbeitet.

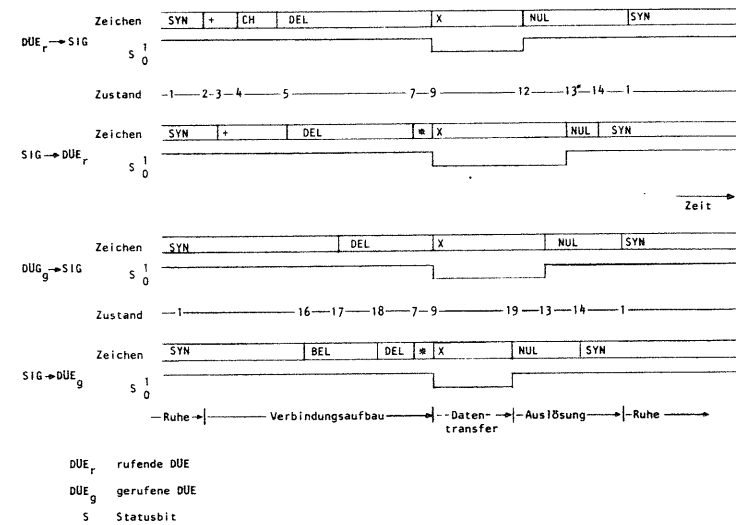


Bild 3.11 : Zeitlicher Ablauf des Zeichenaustausches bei Verbindungsaufbau und Auslösung

Der Datenvermittlungsprozessor kann während der Bearbeitung von Meldungen auch Zustandsübergänge in der SIG veranlassen. Hierzu sendet er eine Zustandsübergangs-anforderung (ZUA). Dies erfolgt immer dann, wenn vom DVP über das Koppelnetz Signalisierungszeichen an Teilnehmer gesendet werden, z.B. wenn die Wahlauforderung gesendet wird.

Die Struktur der Signalisierungseinheit ist begründet in der zeitbedingten Bearbeitung von 4800 Unterkanälen. Zugleich wird durch die Protokoll-Matrix eine hohe Flexibilität hinsichtlich Änderungen des Signalisierungsablaufes oder dem Einfügen weiterer Zustände und Zustandsübergänge gewährleistet.

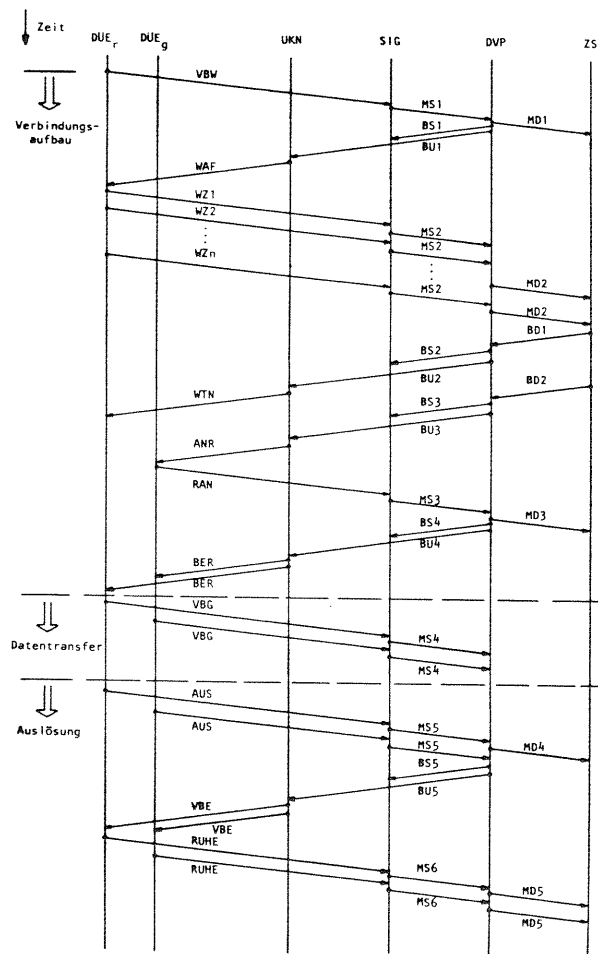
3.5.3. Datenvermittlungsprozessor

Die Hauptfunktionen der Steuerung des Datenvermittlungsmoduls führt der Datenvermittlungsprozessor (DVP) aus, der durch einen Mikroprozessor Motorola 6800 realisiert ist.

Zur Kommunikation mit den Peripherieeinheiten und der zentralen Steuerung in der Vermittlungsstelle besitzt der Datenvermittlungsprozessor drei Schnittstellen, vgl. Bild 3.8 . Bei diesen drei parallelen Schnittstellen handelt es sich um jene zum Unterkanal-Koppelnetz (UKN), jene zur Signalisierungseinheit (SIG) und zur zentralen Steuerung (ZST).

Die Schnittstelle zum UKN wird im wesentlichen in der Richtung vom DVP zum UKN betrieben, wobei Einstellbefehle für den Steuerspeicher, sowie Signalisierungszeichen und Zeichenfolgen zum Einfügen in die Unterkanäle übergeben werden. Über die Schnittstelle mit der Signalisierungseinheit werden Meldungen und von den Dateneneinrichtungen gesendete Signalisierungszeichen entgegengenommen. Zur Signalisierungseinheit können Zustandsübergangs-anforderungen gesendet werden und es kann das Überlastbit gesetzt oder rückgesetzt werden. Übergeordnete Funktionen, wie z.B. Wählziffernauswertung, werden in der zentralen Steuerung ausgeführt. Der hierfür erforderliche Meldungs- und Befehlsaustausch ist zusammen mit dem Meldungs- und Befehlsfluß zwischen allen Einheiten des Datenvermittlungsmoduls in Bild 3.12 dargestellt. Zusätzlich ist in diesem Bild der Zeichenaustausch mit den Datenübertragungseinrichtungen für einen erfolgreichen Verbindungsaufbau und die Verbindungsauslösung angegeben.

Ein von der rufenden Datenübertragungseinrichtung (DUE_r) gesendeter Verbindungswunsch (VBW) wird über die Signalisierungseinheit und den Datenvermittlungsprozessor mit der Meldung MD1 an die zentrale Steuerung weitergeleitet. Nach Prüfung der Teilnehmerberechtigungen und der Bereitstellung eines Wählzeichenempfängers wird durch den Befehl BS1 in der Signalisierungseinheit ein Zustandsübergang veranlaßt. Die rufende Dateneneinrichtung erhält gleichzeitig, durch den Befehl BU1 an das Koppelnetz, von dem Koppelnetz die Wahlaufforderung (WAF).



VBW	Verbindungswunsch	ANR	ank. Ruf	BS	Befehl an SIG
WAF	Wahlaufforderung	RAN	Rufannahme	BU	Befehl an UKN
WZ _i	i-te Wählziffer	BER	Bereit	BD	Befehl an DVP
WTN	Warten, Verbindung im Aufbau	VBG	Verbindung	MS	Meldung von SIG
		AUS	Auslösung	MD	Meldung von DVP
		VBE	Verbindungsende		

Bild 3.12 : Meldungs- und Befehlsaustausch zwischen UKN, SIG, DVP und ZST, sowie Zeichenaustausch zwischen DVM und DUE.

Die daraufhin von der DÜE_r gesendeten Wählziffern WZ1 bis WZn werden an die zentrale Steuerung weitergeleitet. Die ZST zeigt der rufenden DÜE die weitere Bearbeitung des Verbindungsaufbaus über den Befehl BD1 und das dann vom Koppelnetz gesendete Zeichen mit der Bedeutung "Warten" (WTN) an. Durch den Befehl BD2 der ZST erhält die gerufene Datenübertragungseinrichtung (DÜE_g) einen 'ankommenden Ruf' (ANR) zugesendet. Dabei wird vom Prozessor DVP durch den Befehl BS2 ein Zustandsübergang in der Einheit SIG veranlaßt. Die Rufannahme (RAN) der DÜE_g wird bis zur zentralen Steuerung weitergeleitet. Der DVP initiiert durch den Befehl BS4 einen Zustandsübergang in der Signalisierungseinheit und durch den Befehl BU4 das Durchschalten der Verbindung im Koppelnetz. Das Koppelnetz zeigt, nach erfolgter Durchschaltung, beiden Datenübertragungseinrichtungen die bereitgestellte Verbindung mit dem Zeichen für BER an. Der Datentransfer kann beginnen.

Die Auslösung erfolgt in diesem Beispiel durch die rufende DÜE.

Das Auslösesignal (AUS) der rufenden DÜE wird zur zentralen Steuerung übergeben. Nachdem auch die Auslösung der gerufenen DÜE bei dem Datenvermittlungsprozessor eingetroffen ist, wird die Verbindung im Koppelnetz getrennt (BU5) und beide Datenübertragungseinrichtungen erhalten das Ende der Verbindung durch das Signal VBE mitgeteilt.

Die abschließenden Meldungen MD5 zur zentralen Steuerung zeigen an, daß die Datenübertragungseinrichtungen den Ruhezustand erreicht haben.

Das Ablaufdiagramm im Bild 3.12 verdeutlicht, neben der Kommunikation zwischen den einzelnen Einheiten, zusätzlich die implementierte Aufgaben- und Funktionszuordnung.

3.5.4. Software - Struktur

Jeder Verbindungswunsch, der zum Datenvermittlungsmodul gesendet wird, führt zum Aktivieren einer Zustandskette. Eine solche Zustandskette ist in Bild 3.13 angedeutet. Die vollständige Zustandskette enthält alle Zustände, die eine Verbindung einnehmen kann. Der Übergang von einem momentan bestehenden Zustand zu einem neuen Zustand kann erfolgen:

- durch ein von dem Teilnehmer gesendetes Zeichen, z.B. Wählziffer, Rufannahme, Auslösung usw.,
- durch ein vom Datenvermittlungsmodul zum Teilnehmer gesendetes Zeichen, z.B. Wahlaufforderung, usw.,
- durch eine system-interne Meldung, z.B. Zeitüberwachungsglieder, Fehlermeldungen usw. .

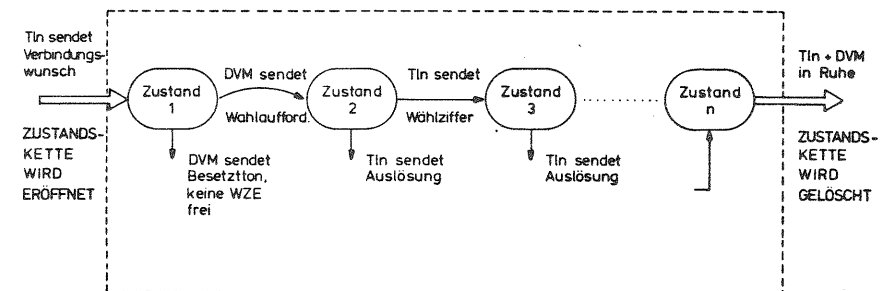


Bild 3.13 : Ausschnitt einer Zustandskette

Die Zustandskette einer Verbindung wird beendet und im Speicher des Datenvermittlungsmoduls gelöscht, wenn der Teilnehmer und das Vermittlungssystem den Ruhezustand erreicht haben. Die Zustandskette kennzeichnet dabei einen Prozeß, der durch den Verbindungswunsch eines Teilnehmers aktiviert und durch Ereignisse des Teilnehmers oder des Vermittlungssystems fortgesetzt oder be-

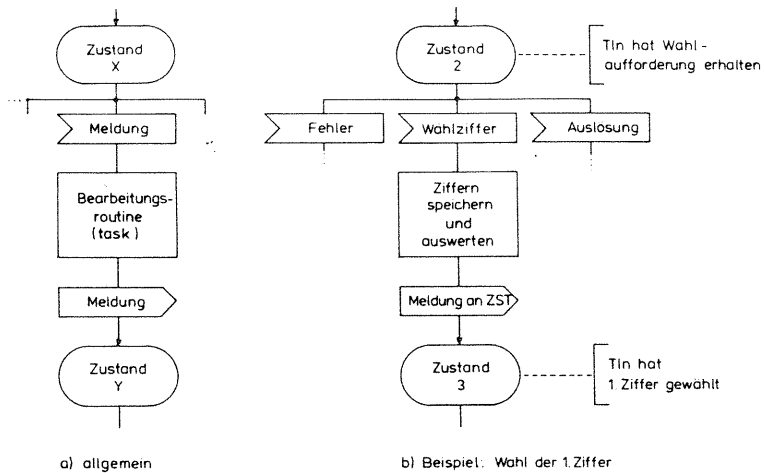


Bild 3.14 : Zustandsübergang in SDL-Darstellung

endet wird. Solche Prozesse können allgemein beschrieben werden, sie werden jedoch verbindungsindividuell durchlaufen. Für die Spezifizierung und Beschreibung derartiger Prozesse ist von CCITT die Sprache SDL (Functional Specification and Description Language /13/) entwickelt worden. Die Darstellung eines Zustandsüberganges in der Sprach-Symbolik von SDL zeigt Bild 3.14 . Dabei gibt Teil a) eine allgemeine Darstellung für einen Übergang vom Zustand x in den neuen Zustand y an. Der Zustand x kann nur verlassen werden, wenn eine Meldung eintrifft. Ist dies der Fall, so folgt eine Bearbeitungsroutine. Vor Erreichen des Zustandes y kann eine Meldung abgesetzt werden. In Bild 3.14 Teil b) ist hierzu ein Beispiel angeführt, die Wahl der ersten Ziffer. Der Prozeß befindet sich im Zustand 2, d.h. der Teilnehmer hat die Wahlaufforderung erhalten. In diesem Zustand können drei Arten von Meldungen eintreffen, dies sind

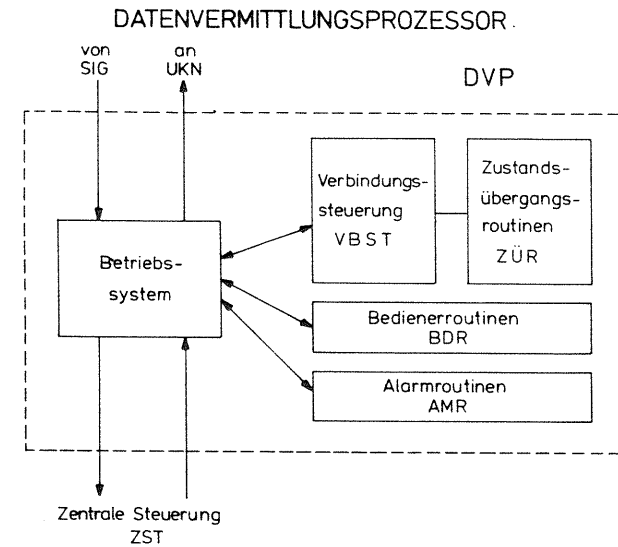


Bild 3.15 : Struktur der Software des DVP

Fehlermeldungen, Auslösungen oder eine Wählziffer. Ist eine Wählziffer eingetroffen, so erfolgt eine Bearbeitung. Die Ziffer wird im Wählziffernempfänger gespeichert und ausgewertet. Danach wird eine Meldung an die zentrale Steuerung ZST übertragen, und der Prozess erreicht für diese Verbindung den Zustand 3, der in einem Zustandsspeicher abgelegt wird. Der vollständige Prozeß für eine allgemeine Verbindung ist für das Laborsystem durch Zustandsketten vorgegeben. Im Datenvermittlungsmodul sind mehrere Prozesse gleichzeitig vorhanden, entsprechend der Anzahl aktiver Verbindungen. Es wird jeweils ein Prozesszustand pro Verbindung gespeichert. Die Beschreibung des Prozesses in der Sprache SDL bietet neben der formalen Prozess-Spezifikation eine prüfbare Beschreibung

der Kommunikation zwischen mehreren verschiedenen Prozessen. Weiterhin wird mit der Darstellung in SDL eine effektive Vorbereitung der Software-Implementierung erreicht.

Die Implementierung der Software beim Laborsystem des Datenvermittlungsmoduls erfolgte im Assembler-Code des Mikroprozessors Motorola 6800. Die Struktur der Gesamtsoftware zeigt Bild 3.15 .

Das Betriebssystem ist verantwortlich für die Bedienung der Schnittstellen und zur Verteilung ankommender Meldungen und Befehle an die einzelnen Module. Die Schnittstellen werden zyklisch auf anstehende Information abgefragt. Fehlermeldungen dagegen aktivieren durch Interrupt-Erzeugung die entsprechenden Alarmroutinen (AMR). Die Bedienerrountinen (BDR) werden bei Konfigurationsänderungen aufgerufen. Alle verbindungsorientierten Funktionen werden von der Verbindungssteuerung (VBST) ausgeführt, wobei hierfür Zustandsübergangsroutinen (ZÜR) bereitgestellt sind, siehe Bild 3.14 .

3.6. Zusammenfassung zu Integrationskonzept I

Im Rahmen der vorangegangenen Kapitel wurde der erste Integrations-schritt von einem reinen Fernsprech-Ortsvermittlungssystem zu einem Vermittlungssystem für Fernsprech- und Datenverkehr beschrieben. Nach Erläuterung der Randbedingungen und des Ausgangspunktes für die Integration wurden die einzelnen Baugruppen des implementierten Systems vorgestellt.

Der Einsatz dieser " kombinierten Vermittlungsstelle für Fernsprech- und Datenverkehr " ist besonders im Teilnehmeranschlußbereich mit geringer Datenteilnehmerdichte zu sehen. Das Vermittlungssystem ist modular konzipiert und kann als reines Fernsprechvermittlungssystem, als reines Datenvermittlungssystem, aber auch als kombiniertes Vermittlungssystem eingesetzt werden.

Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit, besonders des Datenvermittlungsmoduls, werden in Kapitel 5 vorgestellt.

4. Integrationskonzept II : Dienstintegriertes Ortsvermittlungssystem

4.1. Allgemeines

Die Durchführung des Integrationskonzeptes I, beschrieben im vorangegangenen Kapitel, hat auf zwei Vorgaben beruht:

- Ein digitales Übermittlungssystem für Fernsprechen besteht.
- Die Integration von Datendiensten bis 64 kbit/s soll durch reine Erweiterung bzw. weitgehende Mitbenutzung der für den Fernsprechverkehr vorhandenen Systemkomponenten erfolgen.

Dabei mußten die nachfolgenden Problemstellungen gelöst werden:

- + Signalisierung bei Datendiensten,
- + Vermittlung von unterschiedlichen Bitraten,
- + Wirtschaftliche Nutzung vorhandener Übertragungskapazität durch unterschiedliche Bitraten.

Die hierbei gewonnenen Erfahrungen und Kenntnisse sollen beim weiterführenden Integrationskonzept II ausgewertet werden.

Es soll bei diesem Konzept eine neuartige ausgelagerte Vermittlungseinrichtung entwickelt werden. Bei deren Entwurf sollen bereits die Anforderungen der unterschiedlichen Dienste berücksichtigt werden, d.h. eine vollständig dienstintegrierte Vermittlungseinrichtung ist als Zielsetzung vorgegeben.

Im Rahmen der Entwicklung sollen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- B1 : Den Teilnehmern aller Dienste bis 64 kbit/s ist eine einheitliche digitale Schnittstelle bereitzustellen.

- B2 : Die Signalisierung auf der Teilnehmerleitung soll einheitlich für alle Dienste und auf vorhandenen Leitungsarten einsetzbar sein.
- B3 : Innerhalb der Vorfeld-Vermittlungseinrichtungen soll die Durchschaltung von unterschiedlichen Bitraten (600 bit/s - 64 kbit/s) in einem Koppelnetz möglich sein.
- B4 : Die Vorfeld-Vermittlungseinrichtung soll hinsichtlich Internverbindungen vollständig autonom arbeiten.
- B5 : Die Vorfeld-Vermittlungseinrichtung soll unterschiedliche Ausbaustufen bieten, wobei Erweiterungen jeweils im Betrieb möglich sein sollen.
- B6 : Auf den Übertragungssystemen zu übergeordneten Vermittlungseinrichtungen soll für die einzelnen Verbindungen jeweils nur die notwendige Bitrate bereitgestellt werden.
- B7 : Für den Steuerinformations- und Signalisierungsaustausch mit übergeordneten Vermittlungseinrichtungen sollen zentrale Zeichenkanäle mit dem Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7 eingesetzt werden.
- B8 : Die Diensteintegration soll sich auf durchschaltvermittelte Dienste (circuit switching) beschränken.
- B9 : Die Bitraten der verschiedenen Dienste sollen 64 kbit/s für digitales Fernsprechen und 0,6 - 48 kbit/s für die Datendienste, entsprechend CCITT X.1, betragen.
- B10 : Ein Teilnehmer soll mehrere Endgeräte über eine Anschlußeinrichtung an die Teilnehmerleitung anschließen können, wobei jedoch nur eines aktiv sein kann. Der Dienst wird mit dem Verbindungswunsch des Teilnehmers bestimmt.

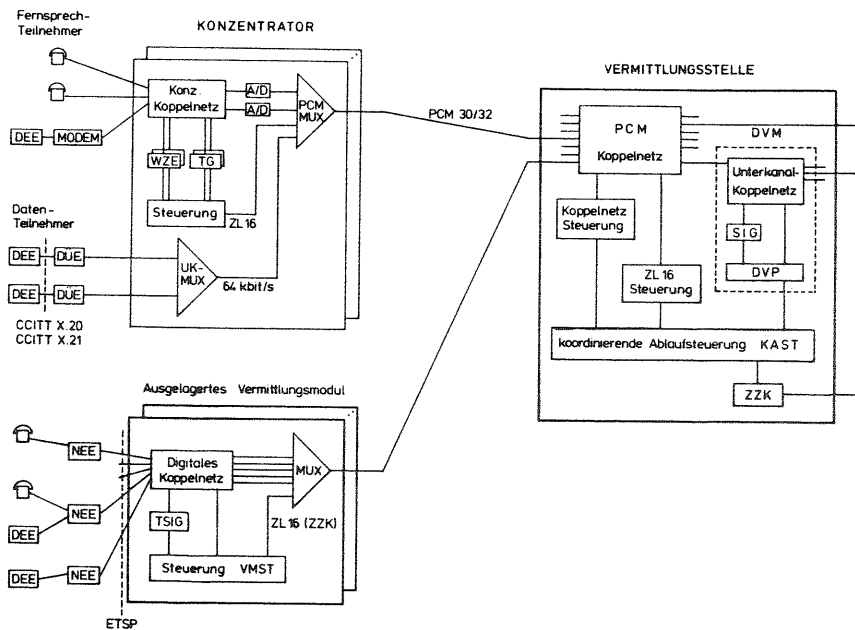
Ausgehend von diesen Bedingungen wurde eine Vorfeld-Vermittlungseinrichtung, genannt "ausgelagertes Vermittlungsmodul", entwickelt. Dieses Modul ergänzt das Ortsvermittlungssystem zu einem vollständig diensteintegrierten Vermittlungssystem. Das System PILOT (partielle Integration im lokalen Telefonnetz) bietet damit die Einführung eines ISDN durch Diensteintegration im Ortsnetz (partielle Integration) mit Übergängen zu den diensteindividuellen höheren Netzebenen. Den angeschlossenen Teilnehmern wird jedoch ein einheitlicher ISDN-Anschluß bereitgestellt.

4.2. Strukturbeschreibung

Das im Rahmen des ersten Integrationskonzeptes entwickelte "kombinierte Vermittlungssystem" wird um ausgelagerte Vermittlungsmodule erweitert, welche ebenso wie die Konzentratoren über PCM 30/32 - Systeme an die Vermittlungsstelle angeschlossen werden. Diese Module arbeiten weitgehend autonom als eigenständige, vollständig diensteintegrierte Vermittlungseinrichtungen, siehe Bild 4.1 . Die PCM - Übertragungssysteme zwischen den ausgelagerten Vermittlungsmoduln (AVM) und der Vermittlungsstelle werden von allen Diensten gemeinsam benutzt. Dabei wird vom AVM eine dynamische Zuweisung der einzelnen PCM - Kanäle (Zeitlagen) zu den verschiedenen Verkehrsarten durchgeführt, abhängig vom momentanen Verkehrsangebot der Verkehrsarten.

Der Signalisierungsaustausch zwischen AVM und Vermittlungsstelle erfolgt über zentrale Zeichenkanäle, hier die Zeitlage 16 der PCM - Systeme. Eingesetzt wird das Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7 .

Der Anschluß der AVM an die Vermittlungsstelle erforderte Änderungen in der Software der Vermittlungsstelle. Dabei waren einerseits Ergänzungen notwendig, bedingt durch die zentralen Zeichenkanäle und die dynamische PCM-Kanal - Zuweisung, andererseits konnten Vermittlungsaufgaben und Softwaremodule herausgenommen werden, deren Funktionen nun von der Software des AVM ausgeführt werden. Die Steuerung der Vermittlungsstelle wird



- DEE Datenendeinrichtung
- DUE Datenübertragungseinrichtung
- NEE Netzeinrichtung
- WZE Wählzeichenempfänger
- TG Tongenerator
- UK-MUX Unterkanal-Multiplexer
- ETSP Einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur
- TSIG Teilnehmer-Signalisierungseinheit
- VMST Vermittlungsmodul-Steuerung
- ZZK Zentraler Zeichenkanal
- DVM Datenvermittlungsmodul
- SIG Signalisierungseinheit
- DVP Datenvermittlungsprozessor

Bild 4.1 : Struktur des Ortsvermittlungssystems PILOT

daher im weiteren als "koordinierende Ablaufsteuerung" (KAST) bezeichnet.

Die Funktionen und Baugruppen des AVM und der Vermittlungsstelle werden anschließend einzeln vorgestellt.

4.2.1. Funktionseinheiten in der Vermittlungsstelle

Die PCM-Übertragungssysteme zwischen AVM und Vermittlungsstelle enthalten Zeitlagen für den Fernsprechdienst und Zeitlagen für die Datendienste. Die Fernsprechzeitlagen werden im PCM-Koppelnetz der Vermittlungsstelle auf Zeitlagen der PCM-Systeme zu den anderen ausgelagerten Vermittlungsmoduln, zu Konzentratoren oder zu höheren Ebenen des Fernsprechnetzes durchgeschaltet. Jene Zeitlagen, die Datenverkehr entsprechend CCITT X.51 tragen, werden im PCM-Koppelnetz fest zu solchen PCM-Systemen durchgeschaltet, die zum Datenvermittlungsmodul DVM führen. Im DVM erfolgt dann die Vermittlung und Durchschaltung der einzelnen, vom Datenverkehr belegten Unterkanäle.

Die Steuerinformationen für die dynamische Zuweisung der Zeitlagen innerhalb der PCM-Systeme zwischen AVM und VSt werden über die Zeitlage 16 (ZL 16) ausgetauscht. Die Sicherung der Übertragung wird dabei durch die Funktionen des Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 ausgeführt. Dieses Zeichengabeverfahren /12/ ist in vier Funktionsebenen gegliedert. Die Ebenen 1 und 2 übernehmen die Aufgabe der Übertragungssicherung, die Ebene 3 führt Verteilfunktionen aus, wenn mehrere Zeichenkanäle bereitgestellt werden. In der Ebene 4 wird die eigentliche Signalisierungsinformation für die verschiedenen Dienste generiert und verarbeitet.

Abhängig von der über die Zeichenkanäle in der Vermittlungsstelle eingetroffenen Information werden die Zeitlagen der verschiedenen Dienste unterschiedlich behandelt.

Zeitlagen mit Fernsprechverkehr:

Wenn ausreichend Zielinformation (Wählziffern) eingetroffen ist, wird die Wegesuche im PCM-Koppelnetz ver-

anlaßt, die Signalisierung zum gerufenen Teilnehmer initialisiert, und anschließend erfolgt die Durchschaltung der Verbindung im PCM-Koppelnetz.

Zeitlagen mit Datenverkehr:

Für diese Zeitlagen wird im PCM-Koppelnetz die Wegesuche und Durchschaltung zum Datenvermittlungsmodule veranlaßt. Dem DVM wird die Kennung der Zeitlage und ihr Belegungszustand mitgeteilt. Danach werden alle weiteren Signalisierungsinformationen, die vom AVM für Verbindungen auf dieser Zeitlage eintreffen, von der Steuerung KAST an das Datenvermittlungsmodule weitergeleitet. Im DVM erfolgt die eigentliche Vermittlung der Unterkanäle. Hierzu ist die Steuerungssoftware ergänzt worden, denn bisher (Konzept I) gab es auf den Datenzeitlagen ausschließlich eine feste Zuordnung zwischen den Datenteilnehmern im Konzentratorenbereich und entsprechenden Unterkanälen. Werden ausgelagerte Vermittlungsmodule eingesetzt, so muß die ergänzte DVM-Software auf eine dynamische Zeitlagen- und Unterkanal-Zuteilung reagieren können. Die Zuteilung erfolgt bei ankommenden und abgehenden Externverbindungen entsprechend den Belegungswünschen der Benutzerklassen.

Der Einsatz der diensteintegrierten Vermittlungseinrichtung AVM bedingt, wie oben erwähnt, eine wenn auch geringfügige Software-Ergänzung in der koordinierenden Ablaufsteuerung (KAST) und im Datenvermittlungsmodule. Zusätzlich notwendig sind Baugruppen für den Signalisierungsaustausch mit dem AVM über den zentralen Zeichenkanal. Hierbei übernimmt die ZL16-Steuerung die Aufgaben der Ebenen 1 und 2 von CCITT Nr.7. Die Verteilfunktionen der Ebene 3 des Zeichengabeverfahrens sind nicht implementiert, da

es sich bei den einzelnen Zeichenkanälen in den PCM-Systemen um assoziierte Kanäle handelt. Das Implementieren der Ebene 3-Funktionen wäre notwendig, wenn aus Gründen der Ausfallsicherheit eine Ersatzschaltung auf andere Zeichenkanäle möglich sein soll.

4.2.2. Funktionseinheiten im Vorfeld

Bei den Vorfeldeinheiten im Vermittlungssystem PILOT handelt es sich um die aus dem Integrationskonzept I bekannten Konzentratoren und die neu entwickelten ausgelagerten Vermittlungsmodule.

Bei den Konzentratoren werden für die Fernsprechteilnehmer "analoge" Schnittstellen und für die Datenteilnehmer "digitale" Schnittstellen (CCITT X.21) bereitgestellt. Beim Fernsprechverkehr erfolgt eine Verkehrskonzentration, der Datenverkehr wird nur übertragungstechnisch zusammengefaßt. Internverkehr ist in beiden Fällen nicht möglich.

Die ausgelagerten Vermittlungsmodule hingegen stellen allen Teilnehmern eine einheitliche digitale Schnittstelle bereit und vermitteln Internverbindungen vollständig autonom. Bei AVM-Externverbindungen erfolgt für alle Dienste eine Verkehrskonzentration. Die ausgelagerten Vermittlungsmodule können daher als weitgehend eigenständige Vermittlungsstellen angesehen und eingesetzt werden. Die Beschreibung der einzelnen Baugruppen und ihrer Funktionsweise erfolgt im Abschnitt 4.5. Beim Einsatz der AVM als Vorfeldeinrichtungen können Sicherheitsmaßnahmen durch Vermaschung der AVM untereinander berücksichtigt werden. Dies ermöglicht dann:

- die Herstellung von Verbindungen zwischen den AVM bei Ausfall der übergeordneten Vermittlungsstelle,
- die Herstellung von Verbindungen zwischen AVM und Vermittlungsstelle, wenn das eigene PCM-Übertragungssystem zur Vermittlungsstelle gestört ist.

Hierzu ist es jedoch gleichzeitig erforderlich, daß hinsichtlich

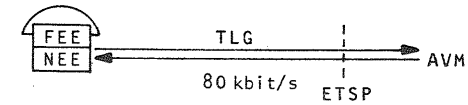
der Signalisierung die Verteil- und Managementfunktionen der Ebene 3 von CCITT Nr.7 implementiert werden. Weiterhin sind in jedem AVM die Daten über die Beschaltung aller anderen AVM bereitzustellen und aktuell zu halten.

Diese Vermaschung der AVM wurde im Labormodell nicht implementiert, da bei der Systementwicklung die Lösung der vermittlungstechnischen Probleme bei der Behandlung verschiedener Dienste in einer gemeinsamen Vermittlungseinrichtung im Vordergrund standen.

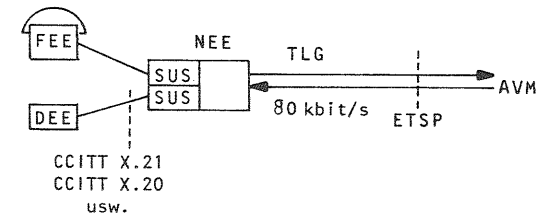
4.3. Schnittstellen der Endeinrichtungen

Jede am ausgelagerten Vermittlungsmodul angeschlossene Teilnehmerleitung ist teilnehmerseitig durch eine Netzendeinrichtung (NEE) abgeschlossen. Die Netzendeinrichtung ihrerseits stellt unterschiedliche Schnittstellen für die Endeinrichtungen bereit, dabei handelt es sich um Schnittstellen für Fernsprecheinrichtungen (FEE) und Datenendeinrichtungen (DEE). In der einfachsten Version, vgl. Bild 4.2a, ist die Netzendeinrichtung in der Fernsprecheinrichtung integriert. Bei dieser Version ist die Netzendeinrichtung nur für den Fernsprechdienst ausgelegt und enthält implizit nur eine hierfür vereinbarte Endgeräteschnittstelle. Bei Netzendeinrichtungen, die für mehrere Dienste konzipiert sind, handelt es sich dagegen um eigenständige Einheiten, welche die unterschiedlichen Schnittstellen über einzelne Schnittstellen-Umsetzer-Schaltungen (SUS) bereitstellen, vgl. Bild 4.2b. Die Schnittstelle CCITT X.21 wurde in Abschnitt 3.2 durch eine Beschreibung der logischen und physikalischen Schnittstelle bereits vorgestellt.

Die Schnittstellen-Umsetzer-Schaltungen führen einerseits eine Zeichenformat-Umsetzung und andererseits eine Signalisierungsprotokoll-Umsetzung aus. Bei der Zeichenformat-Umsetzung ist das von der Endeinrichtung ankommende Zeichenformat in das auf der Teilnehmerleitung benutzte (8+2)-Envelope-Format einzufügen und in Gegenrichtung ist aus dem (8+2)-Format das von der Endeinrichtung benutzte Zeichenformat abzuleiten.



a) NEE-Version für einen Dienst



b) NEE-Version für mehrere Dienste

FEE	Fernsprecheinrichtung	ETSP	Einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur
DEE	Datenendeinrichtung		
NEE	Netzendeinrichtung	TLG	Teilnehmerleitung
		SUS	Schnittstellen-Umsetzer-Schaltung

Bild 4.2 : Netzendeinrichtungen

Bei der Signalisierungsprotokoll-Umsetzung ist der Signalisierungszeichenaustausch zwischen Endeinrichtung und Netzendeinrichtung an jenen Zeichenaustausch anzupassen, der über die Teilnehmerleitung zwischen Netzendeinrichtung und ausgelagertem Vermittlungsmodul durchgeführt wird und einheitlich für alle Dienste ist. Die auf der Teilnehmerleitung implementierte einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur (ETSP) wird ausführlich in Abschnitt 4.4.2. vorgestellt.

Im Labormodell des Vermittlungssystems PILOT sind Netzendeinrichtungen realisiert worden, die Schnittstellen für mehrere Dienste und damit auch Endeinrichtungen bereitstellen. Für die Endeinrichtungen eines Teilnehmers gilt jedoch die Einschränkung, daß jeweils nur eine Endeinrichtung hinsichtlich einer Verbindung aktiv sein kann.

4.4. Teilnehmerleitung

Auf der Teilnehmerleitung (TLG) beträgt die Übertragungsgeschwindigkeit 80 kbit/s pro Übertragungsrichtung. Diese Bitrate ergibt sich, wenn die Fernsprechrtrate (64 kbit/s), zur Unterscheidung von Nutzinformation (Sprachabtastwerte) und Signalisierungsinformation, in das (8+2)-Envelope-Format umgesetzt wird. Für Datenverkehr hat sich dieses Wortformat bereits im Integrationskonzept I als günstig erwiesen und wird daher auch hier eingesetzt. Das (8+2)-Envelope ist damit das einheitliche Wortformat für alle Dienste.

Die Übertragung der 80 kbit/s pro Richtung auf derzeit im Fernsprechnetzz der Deutschen Bundespost bestehenden Teilnehmerleitungen (2-Draht-Leitungen) ist technisch möglich. Dabei kann das Zeitgetrenntlage-Verfahren (Ping-Pong Verfahren) oder das Echo-Kompensationsverfahren eingesetzt werden.

Im Labormodell PILOT wurden die Teilnehmerleitungen vereinfachend als 4-Draht-Leitungen realisiert, d.h. getrennte Leitungen je Übertragungsrichtungen.

Nachfolgend sollen die Abläufe hinsichtlich Rahmenaufbau, Rahmensynchronisation und Signalisierung über die Teilnehmerleitung erläutert werden.

4.4.1. Rahmenstruktur und Rahmensynchronisation

Die Übertragung der Folge von 10 bit - Worten beim Fernsprechdienst bedingt auf der Teilnehmerleitung keinen über das Wortformat hinausgehenden zusätzlichen Rahmenaufbau. Bei jedem Wort gibt das Statusbit S eine Aussage über die Informationsart im 8 bit - Feld und das Synchronisierbit A ermöglicht eine Wort-synchronisation, siehe Bild 4.3 . Da jedoch auch Datendienste mit Nutzbitraten von 600 bit/s bis 48 kbit/s in der einheitlichen Bitrate von 80 kbit/s zu übertragen sind, ist zum Auffinden und Zuordnen der einzelnen Teilnehmerworte ein Rahmenaufbau erforderlich. Dieser Rahmenaufbau wird anhand der Bilder 4.4 und 4.5 erläutert.

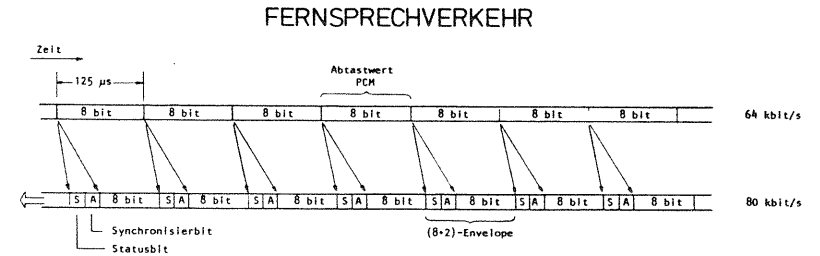


Bild 4.3 : Folge der (8+2)-Worte beim Fernsprechverkehr

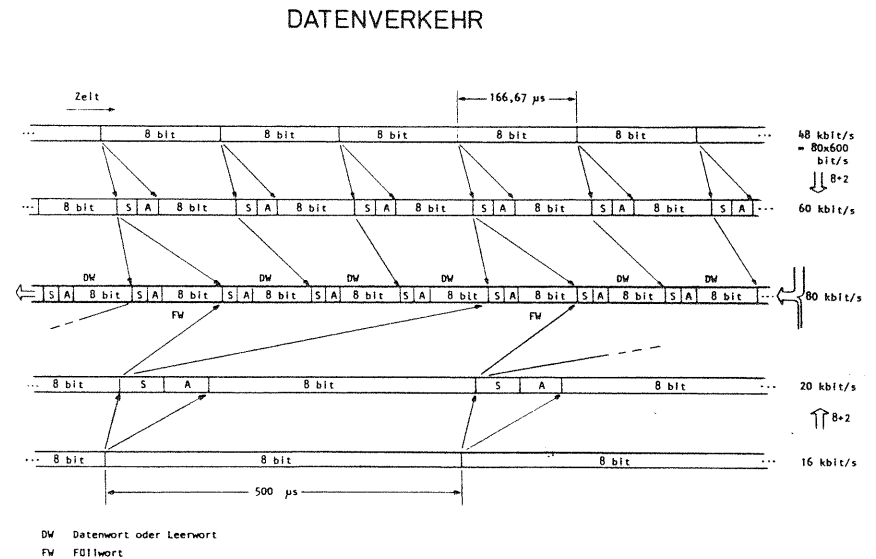


Bild 4.4 : Folge der (8+2)-Worte beim Datenverkehr

Ausgehend von der höchsten Datenbitrate (48 kbit/s), die im (8+2)-Envelope-Format 60 kbit/s benötigt, muß grundsätzlich ein Auffüllen auf die einheitliche Bitrate von 80 kbit/s erfolgen. Dies geschieht, indem nach jeweils 3 Teilnehmer-Datenworten (DW) ein sogenanntes Füllwort (FW) eingefügt wird, siehe Bild 4.4. Die Folge der Füllworte entspricht einer Bitrate von 20 kbit/s. Die durch diese Füllworte immer wiederkehrende Struktur von (3DW + 1FW) wird als Block bezeichnet.

Die Datenbitrate 48 kbit/s belegt jedes Teilnehmer-Datenwort. Dagegen belegt die niedrigste Datenbitrate (600 bit/s) nur jedes 80. Nutzwort. Dies entspricht bei 80 kbit/s einem mittleren Wortabstand von 13,33 ms oder bei der angeführten Blockstruktur einer Übertragung von im Mittel 106,66 Worten.

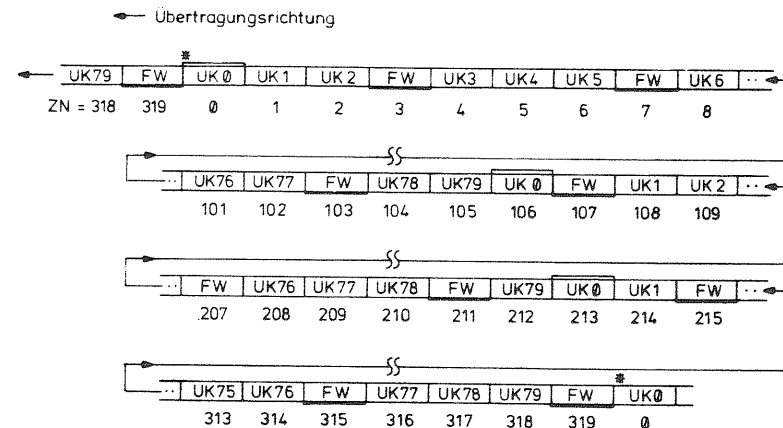
Um einen Rahmenaufbau mit ganzzahliger und einheitlicher Wortanzahl zu erhalten, werden jeweils 3 solcher Zyklen mit 106,66 Worten zusammengefaßt und ergeben damit einen Rahmen mit 320 Worten und 40 ms Rahmendauer.

Ein derartiger Rahmen beinhaltet:

- bei Fernspreverkehr 320 Sprachabstastwerte im (8+2)-Envelope-Format,
- bei Datenverkehr 240 Daten- bzw. Leerworte und 80 Füllworte.

Der Rahmenaufbau mit 240 Unterkanälen und 80 Füllworten ist für Datenverkehr auf der Teilnehmerleitung in Bild 4.5 gezeigt.

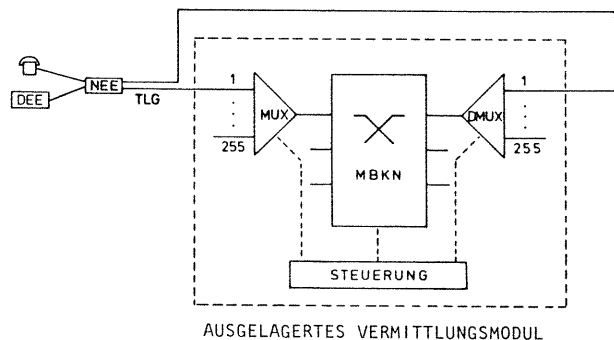
Ein Datenteilnehmer der Benutzerklasse 7 nach CCITT X.1 mit 48 kbit/s belegt alle 240 Datenworte (DW), d.h. 3·80 Unterkanäle. Ein Datenteilnehmer der Benutzerklasse 3 nach CCITT X.1 mit 600 bit/s belegt äquidistant 3 der 240 Worte, dies ist anhand des UK \emptyset in Bild 4.5 verdeutlicht. Hierbei ist zu erkennen, daß der Abstand des UK \emptyset zum vorangehenden Füllwort nicht einheitlich ist. Begründet ist diese Schwankung in der einheitlichen Blockstruktur (3DW + 1FW), die jedoch ihrerseits Vorteile bei der Rahmensynchronisation und den auftretenden Durchlaufzeiten im Koppelnetz bietet.



- * Rahmenanfang
- UKx Unterkanal (750 bit/s) der Nr. x x = 0,1,...,79
- FW Füllwort
- ZN Zeichennummer 0 ÷ 319

Bild 4.5 : Rahmenstruktur auf der Teilnehmerleitung bei Datenverkehr

Die Funktion der Rahmensynchronisation erfolgt im allgemeinen, indem die ankommenden Rahmen der verschiedenen Teilnehmerleitungen in einer Synchronisierschaltung vor dem Koppelnetz der Vermittlungseinrichtung auf den zentralen Takt des Koppelnetzes synchronisiert, d.h. verzögert werden. Dies würde beim vorliegenden Rahmen eine maximale Verzögerung von 40 ms und einen individuellen Speicher mit 320 Worten zu 10 bit erfordern. Um diesen Aufwand zu vermeiden und die Verzögerungszeit so gering wie möglich zu halten, wurde beim ausgelagerten Vermittlungsmodul die Gesamtaufgabe der Synchronisierung auf die im nachfolgenden Bild 4.6 gezeigten Komponenten verteilt. Die Funktion



NEE Netzendeinrichtung MBKN Multi-Bitraten-Koppelnetz
 DEE Datenendeinrichtung TLG Teilnehmerleitung

Bild 4.6 : Einheiten für die Teilfunktionen der Rahmensynchronisation

der Rahmensynchronisation ist dabei gestaffelt in die vier Teilfunktionen

- Bitsynchronisation,
- Wortsynchronisation, (8+2)-Envelope,
- Blocksynchronisation, (3DW + 1 FW),
- Rahmensynchronisation, 80 Blöcke .

In der Netzendeinrichtung (NEE) wird der Rahmen generiert und über die Teilnehmerleitung zum ersten Multiplexer im ausgelagerten Vermittlungsmodul (AVM) gesendet. Aufgrund der im MUX durchgeführten Bitsynchronisation (PLL-Regelkreis) wird der Rahmen durch ein aus den A-Bits gebildetes Bitmuster erkannt. Aus der erkannten Rahmenstruktur werden mittels Zählung die einzelnen Worte und anschließend die Blöcke bestimmt. Durch zeitliche Verzögerung erfolgt die Wortsynchronisation auf den im AVM benutzten Worttakt. Gleichzeitig wird im MUX für die

einzelnen und im allgemeinen unterschiedlich langen Teilnehmerleitungen der Versatz der ankommenden Rahmen zum zentralen Rahmentakt des AVM bestimmt und der Steuerung bereitgestellt.

Im Koppelnetz erfolgt anschließend die Blocksynchronisation durch eine zeitliche Rahmenverzögerung um bis zu 3 Worte. Damit wird erreicht, daß die im Koppelnetz ankommenden Füllworte zeitlich auf abgehende Füllworte fallen. Dies ist erforderlich, da die zu den Teilnehmern abgehenden Rahmen vom zentralen Rahmentakt abgeleitet und damit unabhängig von den ankommenden Rahmen generiert werden. Für diese Blocksynchronisation sind im Koppelnetz pro Teilnehmerleitung 4 Wortspeicher-Zellen bereitgestellt, die zyklisch ausgelesen und wahlfrei beschrieben werden. Das wahlfreie Einschreiben realisiert den Ausgleich des Blockversatzes. Dieser Blockversatz wird von der Steuerung aufgrund der leitungsindividuellen Rahmenversatzangabe des MUX ermittelt..

Die verbleibende Rahmensynchronisation bezüglich einer Teilnehmerleitung erfolgt mit Hilfe der Netzendeinrichtungen bei den Teilnehmern. Es gelten dabei in den Netzendeinrichtungen unterschiedliche Vorschriften für das Empfangen und Senden von Rahmen bzw. Unterkanälen in den Rahmen.

Bei einer Datenverbindung gilt für einen ankommenden Rahmen die Vereinbarung, daß die Nutzworte in Unterkanal 0 (UKØ) und den je nach Benutzerklasse äquidistant folgenden Unterkanälen zu finden sind, siehe Bild 4.7 .

Für einen von der NEE abgehenden Rahmen gilt bei einer Datenverbindung die Vereinbarung, daß die Nutzworte in Unterkanal i (UKi) und den je nach Benutzerklasse äquidistant folgenden Unterkanälen einzuschreiben sind. Der Wert für i wird bei jeder Verbindung von der Steuerung im AVM ermittelt und der Netzendeinrichtung zugesendet.

Durch diese Vorgabe von i für jede Verbindung wird erreicht, daß die Nutzworte von einem Teilnehmer zeitlich richtig dann im Wortspeicher des Koppelnetzes stehen, wenn zum anderen Teilnehmer Nutzworte für UKØ oder weitere Unterkanäle ausgelesen werden.

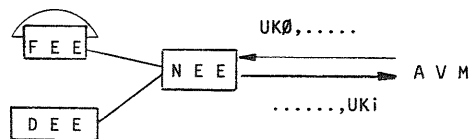


Bild 4.7 : Position der Nutzworte bei einer Datenverbindung

Mit der oben erläuterten Verteilung der Gesamtaufgabe der Rahmensynchronisation auf mehrere Einheiten wurden Aufwands- und Zeiteinsparungen erzielt. Die hierbei möglichen Maximalwerte sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt. Für die Bestimmung des Wertes i muß allerdings die erforderliche Software bereitgestellt werden, deren Programmlaufzeit bei jedem Verbindungsaufbau auftritt. Dagegen wirkt sich die Reduzierung der Durchlaufzeit im Koppelnetz während der gesamten Dauer des Bestehens der Verbindung vorteilhaft aus.

	Zentrale Rahmensynchr.	Verteilte Rahmensynchr.	Einsparung (maximal)
notwendiger (maximaler) Speicherbedarf zur Rahmensynchronisation	319x10 bit	3x10 bit	99 %
maximale Verzögerungszeit durch Rahmenausgleich	39,875 ms	0,375 ms	99 %

Tabelle 4.1 : Vergleich von zentraler und verteilter Rahmensynchronisation

4.4.2. Einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur

Der Austausch vermittlungstechnischer Information, die Signalisierung über die Teilnehmerleitung, zwischen Netzendeinrichtung und ausgelagertem Vermittlungsmodul erfolgt im (8+2)-Envelope-Format. Dabei kennzeichnet ein gesetztes Statusbit ($S=1$) den Inhalt des nachfolgenden 8 bit - Feldes als Signalisierungszeichen, wobei Zeichen des Internationalen Alphabetes Nr.5 (IA5) benutzt werden. Durch diese Format- und Zeichenwahl ergeben sich vorteilhafte Eigenschaften:

- Der Zeichenaustausch kann mit der gewählten Nutzbitrate des Teilnehmers erfolgen. Beim Datenverkehr ist dies eine Forderung der Empfehlung CCITT X.1 für die Benutzerklassen 3 bis 7.
- Die einzelnen Signalisierungszeichen können schnellstmöglich erkannt und bearbeitet werden, da sie vollständig in einem Envelope enthalten sind.

Über diese Eigenschaften hinaus besteht jedoch noch zusätzlich die Forderung, daß auch während einer bestehenden Verbindung eine Signalisierung zwischen Netzendeinrichtung und ausgelagertem Vermittlungsmodul möglich sein muß. Dies wird für Fernsprechverkehr und für Datenverkehr erfüllt.

- Bei Fernsprechverbindungen erfolgt in der Gesprächsphase eine vom Teilnehmer selbst initiierte, jedoch quasi nicht wahrnehmbare Sprachbeeinträchtigung, indem Sprachabtastwerte äquidistant durch Signalisierungszeichen ersetzt werden.
- Bei Datenverbindungen ist ein Zeichenaustausch jederzeit und ohne jeglichen Einfluß auf die Nutzkanäle möglich. Durch die Füllworte im Rahmenaufbau steht eine als Outband-Signalisierungskanal interpretierbare Bitrate von 20 kbit/s auch während der Datenphase zur Verfügung.

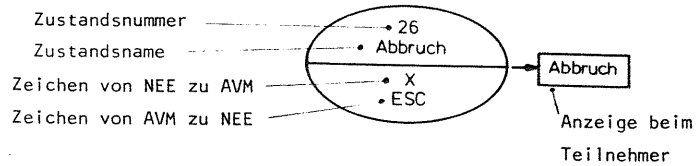
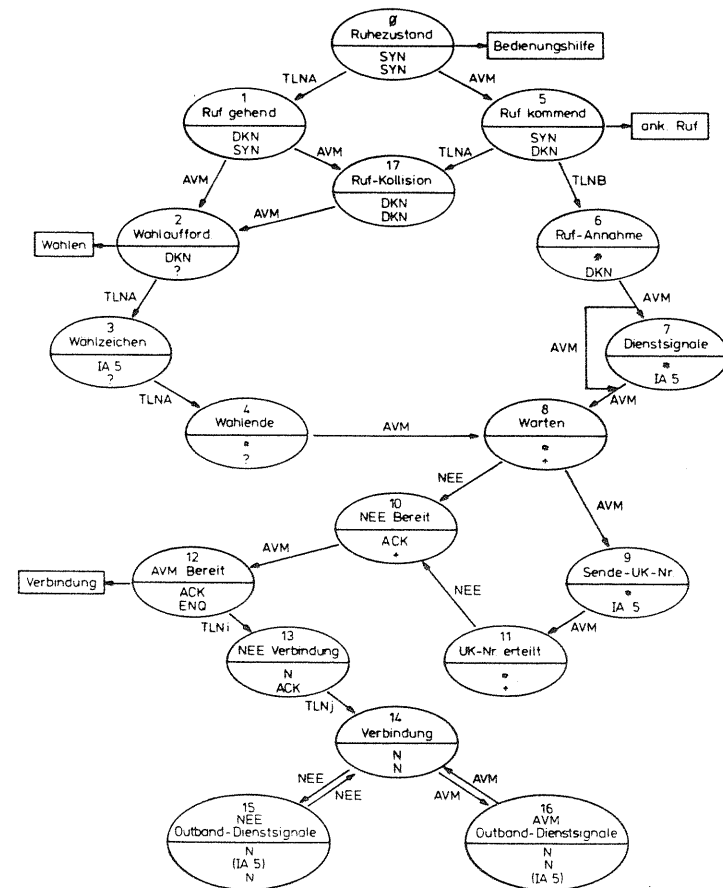


Bild 4.8 : Zustandssymbolik

Die Einheitliche Teilnehmer-Signalisierungsprozedur (ETSP) ist für die Netzendeinrichtungen und den ausgelagerten Vermittlungsmodul durch Zustandsübergangsdiagramme spezifiziert und vorgegeben worden. Die dabei benutzte Zustandssymbolik ist in obigem Bild 4.8 erläutert. Die nachfolgenden Bilder 4.9 und 4.10 zeigen die Zustandsübergangsdiagramme der Netzendeinrichtung für den Verbindungsaufbau und die Verbindungsauslösung.

Anhand Bild 4.9 soll der Zeichenaustausch zwischen Netzendeinrichtung und AVM für einen Verbindungsaufbau, ausgehend vom Ruhezustand, erläutert werden.

Der Teilnehmer erhält in diesem Zustand von der Netzendeinrichtung eine Bedienungshilfe, sofern es die Endgeräte-Schnittstelle zulässt. Der Ruhezustand wird verlassen, wenn vom rufenden Teilnehmer (TLNA) der Verbindungswunsch eines Dienstes eingetroffen ist. Die Netzendeinrichtung generiert nun die IA5-Zeichen der Dienstkennung (DKN), sendet sie zum AVM und geht selbst in den Zustand 1 über. Das AVM antwortet, nach Prüfung der Teilnehmer-Berechtigungen und Bereitstellung eines Wählzeichempfängers, mit der Wahlaufforderung. Diese Wahlaufforderung, codiert durch das Zeichen ?, führt in der Netzendeinrichtung zum Übergang in Zustand 2 und der Teilnehmer erhält eine Anzeige oder ein Tonsignal zugesendet.



TLNA rufender Teilnehmer
 TLNB gerufener Teilnehmer
 TLNi Teilnehmer A oder B
 TLNj Teilnehmer B oder A
 DKN Dienstkennung
 N Nutzworte vom Teilnehmer
 SYN, ?, *, +, ACK, ENQ, EM, ESC,
Zeichen des IA5

Bild 4.9 : Zustandsübergangsdiagramm der Verbindungsaufbauphase bei der Einheitlichen Teilnehmer-Signalisierungsprozedur

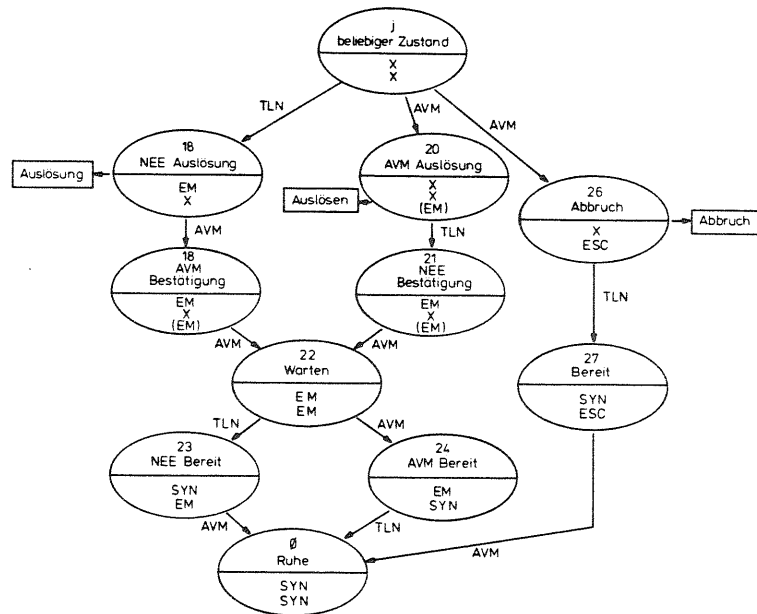


Bild 4.10 : Zustandsübergangsdiagramm der Verbindungs-Auslösung bei der Einheitlichen Teilnehmer-Signalisierungsprozedur (ETSP)

Der Teilnehmer bzw. die Endeinrichtung wird die Wahl (Zustand 3) durchführen und die einzelnen Ziffern werden über die Netzendeinrichtung zum AVM gesendet. Nach Abschluß des Wahlvorganges, erkennbar an einem impliziten Wählendezeichen, erfolgt in der Netzendeinrichtung ein Übergang in den Zustand 4. Das AVM zeigt die weitere Bearbeitung des Verbindungsaufbaus an und sendet der Netzendeinrichtung das Zeichen + zu, worauf diese in den Zustand 8 übergeht.

Befinden sich die gerufene Netzendeinrichtung und die gerufene Endeinrichtung in dem Ruhezustand, so wird der ankommende Ruf durch die Dienstkennung angezeigt und die Netzendeinrichtung

wechselt in den Zustand 5, siehe Bild 4.9 . Bei einer Kollision mit einem von der Endeinrichtung gesendeten abgehenden Ruf, wird von der Netzendeinrichtung der Zustand 17 eingenommen.

Die Annahme des Rufes vom gerufenen Teilnehmer (TLNB) führt in dessen Netzendeinrichtung zum Übergang in den Zustand 6. Vom AVM können dem gerufenen Teilnehmer nun Dienstschnale übermittelt werden, Zustand 7 , oder es erfolgt unmittelbar der Übergang in den Zustand 8.

Beide Netzendeinrichtungen erhalten nun, im Fall einer Datenverbindung, vom AVM die Sende-Unterkanalnummer zugeteilt und melden sich nach Einstellung ihrer Zähler und Sendeeinheiten durch das Zeichen ACK verbindungsbereit (Zustandsfolge 8,9,11 und 10). Bei einer Fernsprechverbindung erfolgt der unmittelbare Übergang von Zustand 8 nach Zustand 10, da keine Unterkanal-Einstellung notwendig ist.

Die Verbindung wird nun im AVM durchgeschaltet und die Netzendeinrichtungen erhalten dies durch das Zeichen ENQ angezeigt. Der Informationsaustausch zwischen den Endeinrichtungen kann beginnen.

Werden während einer bestehenden Verbindung von einer Netzendeinrichtung oder einem ausgelagerten Vermittlungsmodul Dienstschnale gesendet, so erfolgen Übergänge in die Zustände 15 bzw. 16. Als Dienstschnale werden Zeichen des IA5 benutzt.

Die Auslösung einer aktiven Netzendeinrichtung (NEE), d.h. einer NEE welche sich in einem anderen als dem Ruhezustand befindet, kann durch den rufenden Teilnehmer, durch den gerufenen Teilnehmer oder durch das AVM erfolgen (siehe Bild 4.10). Bei Auslösung durch den rufenden Teilnehmer wird die Zustandsfolge des linken Zweiges im Zustandsübergangsdiagramm durchlaufen. Bei einer Auslösung durch den gerufenen Teilnehmer wird der mittlere Zweig, Zustände 20,21, usw., ausgeführt. Eine Auslösung durch das AVM hat dieselbe Zustandsfolge wie eine Auslösung durch einen gerufenen Teilnehmer. Das AVM besitzt jedoch zusätzlich die Möglichkeit, jederzeit einen Abbruch der Verbindung einzuleiten. In der Netzendeinrichtung erfolgt durch die Abbruch-

anzeige, das Zeichen ESC, ein Übergang in den Zustand 26. Der Teilnehmer erhält diese Abbruchaufforderung des Vermittlungssystems mitgeteilt. Nach Bestätigung vom Teilnehmer, bzw. dessen Endeinrichtung, erfolgt der Zustandsübergang in den neuen Zustand 27. Der Übergang in den Ruhezustand kann nur vom Vermittlungssystem, d.h. durch den ausgelagerten Vermittlungsmodul erfolgen. Die Endeinrichtungen können bis zum Eintreffen des entsprechenden Signales vom ausgelagerten Vermittlungsmodul keine neuen Verbindungswünsche absetzen. Mit dieser Maßnahme ist es möglich, abhängig vom Belastungs- und Betriebszustand des Vermittlungssystems, Endgeräte quasi zu deaktivieren. Zweckmäßig sind solche Maßnahmen z.B. bei Katastrophenfällen, um eine Prioritätszuweisung an festgelegte Teilnehmergruppen auszuführen. Weiterhin kann vom ausgelagerten Vermittlungsmodul mit der zuletzt aufgezeigten Zustandsfolge auch eine routinemäßige Überprüfung der Endgeräte durchgeführt werden, die einem Reaktionstest entspricht.

Die vorgestellte Signalisierungsprozedur ist einheitlich für alle Dienste, die den Teilnehmern vom Vermittlungssystem angeboten werden. Sie weist eine hohe Flexibilität auf hinsichtlich der eventuellen Einführung weiterer Dienste und der Ergänzung bestehender Dienste durch weitere Leistungsmerkmale.

4.5. Ausgelagertes Vermittlungsmodul

4.5.1. Funktionsaufteilung

Die funktionelle Struktur des ausgelagerten Vermittlungsmoduls weist eine Unterteilung in drei Hauptbereiche auf, dies sind der Steuerungsbereich, der Koppelnetzbereich und der Anschlußbereich. Die Funktionsaufteilung ist in Bild 4.11 dargestellt. In den Funktionsblöcken des Anschlußbereiches werden Überwachungsaufgaben einschließlich Teilfunktionen der Rahmensynchronisierung und Rahmengenerierung durchgeführt. Weiterhin werden die zeitkritischen Funktionen der Erkennung und Vorverarbeitung ankommender Signalisierungszeichen und die Einfügung abgehender Signalisierungszeichen ausgeführt.

Dem Koppelnetzbereich ist die Funktion der Durchschaltung unterschiedlicher Bitraten zugeordnet. Dabei ist mit Durchschaltung das Einrichten und Herstellen einer Verbindung zwischen zwei Teilnehmern, wie auch das Auslösen und Trennen einer Verbindung gemeint. Trennen einer Verbindung bedeutet dabei, daß die an einer Verbindung beteiligten Teilnehmer jeweils mit sich selbst verbunden werden.

Durch den Steuerungsbereich werden die vermittlungstechnischen Aufgaben und Koordinierungsfunktionen für den Gesamtmodul ausgeführt.

Für die Bearbeitung ankommender Signalisierinformation und die Generierung abgehender Signalisierinformation bei den zentralen Zeichenkanälen (CCITT Nr.7) ist ein gesonderter Funktionsblock vorgesehen.

Die Teilfunktionen der Synchronisierung ankommender Rahmen erfolgt in den jeweiligen Eingangsmultiplexerstufen. Bei den Rahmen handelt es sich um die Rahmen der PCM-Übertragungssysteme, die Rahmen der Teilnehmerleitungen und die Multiplex-Rahmen entsprechend CCITT X.51 . Synchronisierung bedeutet hierbei eine zeitliche Verzögerung der ankommenden Rahmen bis zur Übereinstimmung mit dem zentralen Worttakt im ausgelagerten Vermittlungsmodul (AVM).

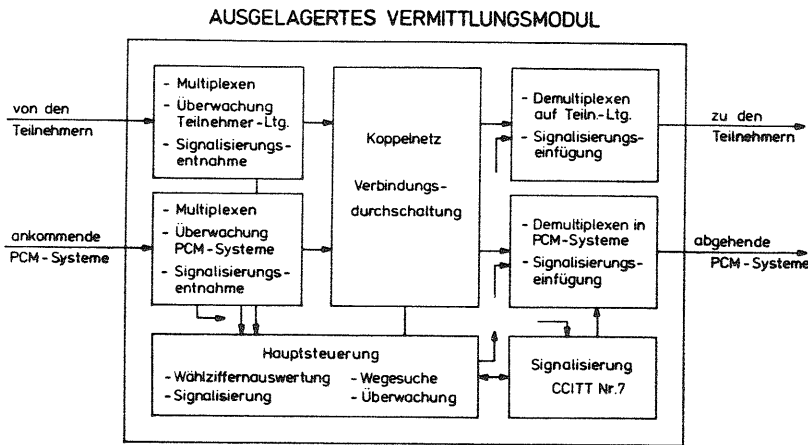


Bild 4.11 : Funktionsbereiche des AVM

Die Synchronisierung des Rahmens der Teilnehmerleitung wurde bereits im Abschnitt 4.4.1. erläutert. Die Synchronisierung ankommender PCM-Übertragungsrahmen und der in den Datenzeitlagen enthaltenen Rahmen nach CCITT X.51 wird zusammen mit der Realisierung der einzelnen Funktionsbereiche beschrieben. Diese Beschreibung wird in den nachfolgenden Abschnitten für die in Bild 4.12 gezeigten Komponenten des ausgelagerten Vermittlungsmoduls durchgeführt.

4.5.2. Multiplexer-Demultiplexer Hierarchie

Die Bitraten der Teilnehmerleitungen und der PCM-Systeme sollen ankommend über die Multiplexer-Baugruppen zu jeweils einheitlichen Bitraten von 2,048 Mbit/s, bei 10 bit-paralleler Übertragung, zusammengefasst werden. Dies erfolgt in den Einheiten MUX 64, MUX 4 und MUX PCM des Anschlußbereiches, siehe Bild 4.12. In den beiden Demultiplexer-Ebenen werden aus der Bitrate von 2,048 Mbit/s die einzelnen Bitströme der Teilnehmerleitungen bzw. PCM-Systeme abgeleitet. Die Funktionen der einzelnen Baugruppen werden im folgenden, gestaffelt von den ankommenden Bitströmen bis zu den abgehenden Bitströmen, dargestellt.

AUSGELAGERTES VERMITTLUNGSMODUL

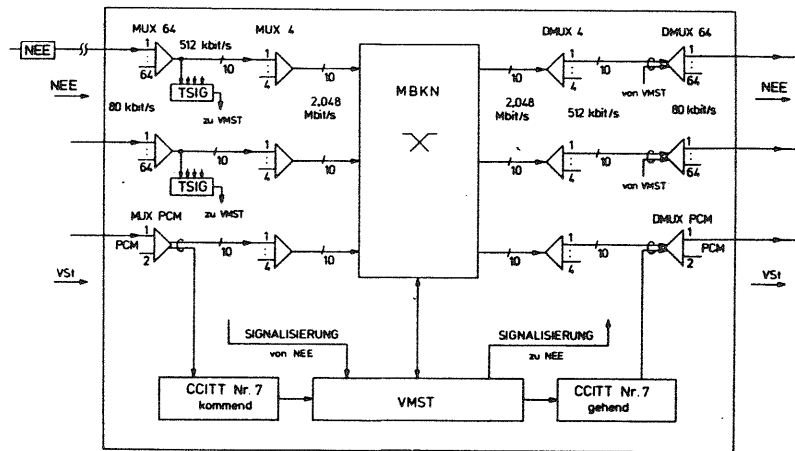


Bild 4.12 : Funktionseinheiten des AVM

MUX 64 : Die Bitströme von 64 Teilnehmerleitungen werden zu einem Multiplex-Bitstrom mit 512 kbit/s zusammengefaßt, bei 10 bit-paralleler Übertragung. Individuell für jede Teilnehmerleitung wird der zeitliche Versatz des ankommenden Rahmens (320 Worte) zum zentralen Rahmentakt des Koppelnetzes MBKN gespeichert. Diesen Versatz benötigt die Vermittlungsmodulesteuerung (VMST) zur Bestimmung der Information für den Speicherspeicher im Koppelnetz und der Sende-Unterkanalnummern für die Netzendeinrichtung. Weiterhin werden vom MUX 64 Überwachungsmeldungen bezüglich des Synchronzustandes der einzelnen Teilnehmerleitungen an die Steuerung VMST gesendet.

MUX PCM : In dieser Einheit werden die Bitströme von zwei PCM 30/32 - Übertragungssystemen zu einem Multiplex-Bitstrom mit 512 kbit/s bei 10 bit-paralleler Übertragung zusammengefaßt. Dabei werden die 8 bit-Abtastwerte der Fernsprechzeitlagen auf das (8+2)-Format umgesetzt und damit auf 80 kbit/s, entsprechend der Bitrate einer Teilnehmerleitung. Gleichzeitig wird ein Ausgleich des PCM-Rahmens (32 Zeitlagen) durchgeführt. Damit kann diejenige Zeitlage zeitrichtig angesprochen werden, die einer fest zugeordneten Anschlußlage entspricht, deren Nummer vom zentralen Takt- und Nummerngenerator erzeugt wird. Die Datenzeitlagen müssen gesondert behandelt werden, da sie zusätzlich den Rahmenaufbau entsprechend CCITT X.51 enthalten. Dieser dient unter anderem zur Erkennung der einzelnen Unterkanäle. Es werden bei diesen Zeitlagen im MUX PCM die Rahmenbits extrahiert, welche den Rahmenaufbau bilden. Die verbleibende Bitrate von 60 kbit/s, mit dem Wortformat der (8+2)-Envelope, wird durch Einfügung eines Füllwortes nach jeweils 3 Unterkanälen auf 80 kbit/s ergänzt.

Für jede Datenzeitlage wird der Steuerung VMST der momentane Versatz zwischen dem zentralen Worttakt für Rahmenwort Nr. 0 und dem zeitlich nächsten Eintreffen von Unterkanal 0 dieser Zeitlage bereitgestellt. Mit Hilfe dieser Versatzangabe kann die Steuerung VMST die Information für die Speichereinrichtung im Koppelnetz bestimmen und damit die Synchronisation der ankommenden CCITT X.51 - Rahmen durchführen.

Die Zeitlagen 16 der PCM-Systeme werden, zur Bearbeitung der Zentralkanal-Signalisierung, an die vorgesehenen Einheiten weitergeleitet.

MUX 4 : In diesem Multiplexer werden 4 Bitraten mit je 512 kbit/s zu einer Multiplex-Bitrate von 2,048 Mbit/s zusammengefaßt.

DMUX 4 : Aus der Multiplex-Bitrate 2,048 Mbit/s werden 4 Bitströme mit 512 kbit/s gebildet.

DMUX 64 : In diesem Demultiplexer wird ein Bitstrom mit 512 kbit/s (10 bit parallel) auf 64 abgehende Teilnehmerleitungen aufgeteilt. Dabei werden die vom DMUX 4 kommenden 10 bit-Worte zyklisch zugeteilt, synchron mit dem vom zentralen Taktbaustein im Koppelnetz erzeugten Worttakt, Rahmentakt und der Nummer der Anschlußlage. Abgeleitet von diesen Takten, wird der Rahmenaufbau auf den einzelnen Teilnehmerleitungen generiert und die festgelegten Bitmuster werden als Folge von Synchronisierbits jeweils in den Positionen der A-bit im (8+2)-Envelope eingefügt. Die Einheiten DMUX 64 übernehmen auch das Einsetzen der Signalisierungszeichen zu den Netzendeinrichtungen. Diese Zeichen werden von der Steuerung VMST erzeugt und im DMUX 64 anstelle der vom Koppelnetz bzw. DMUX 4 kommenden (8+2)-Worte eingesetzt, einschließlich dem zugehörigen Statusbit.

DMUX PCM : In dieser Einheit werden die abgehenden Rahmen der PCM-Systeme generiert. Die PCM-Rahmen werden dabei synchron zu den zentral erzeugten Nummern der Anschlußlagen aufgebaut, wobei eine Nummer der Anschlußlage in diesem Fall einer definierten PCM-Zeitlage entspricht. Von der gleichzeitig bereitgestellten Wortnummer (0, ..., 319) werden die Rahmentakte für die CCITT X.51 - Rahmen der Datenzeitlagen abgeleitet.

Die Bitmuster für diese Rahmen werden individuell für jede Datenzeitlage erzeugt.

Die Zeitlagen 16, als abgehende zentrale Zeichenkanäle, werden von der Steuereinheit der CCITT Nr.7-Kanäle übernommen und in die PCM-Systeme eingefügt.

Eine weitere Aufgabe der DMUX PCM ist die Geschwindigkeitswandlung. Für die Fernsprechzeitlagen erfolgt die Wandlung der vom Koppelnetz kommenden Bitrate (80 kbit/s) auf 64 kbit/s, indem das 10 bit-Wortformat durch Unterdrückung der beiden Zusatzbits (S,A) in ein 8 bit-Wortformat umgewandelt wird. Für die Datenzeitlagen erfolgt die Geschwindigkeitswandlung in zwei Schritten. Zuerst werden die vom Koppelnetz kommenden Füllworte ausgeblendet und die verbleibenden Datenströme von 60 kbit/s werden anschließend jeweils durch eine Folge von Rahmenbits auf 64 kbit/s aufgefüllt. Diese Rahmenbits bilden in jeder Datenzeitlage den Rahmenaufbau entsprechend CCITT X.51.

Die aufgeführten Multiplexer- und Demultiplexer-Einheiten führen Funktionen der Synchronisierung, der Geschwindigkeitswandlung, der seriell-parallel-Wandlung, der Formatumsetzung, der Zeicheneinfügung usw. aus. Die Einheiten MUX 64, DMUX 64, MUX PCM, und DMUX PCM verwalten jeweils 64 Teilnehmerleitungen bzw. 64 PCM-Zeitlagen pro Einheit. Die Einheiten MUX 4 und DMUX 4 verwalten jeweils eine Gruppe von 256 Teilnehmerleitungen oder 256 PCM-Kanälen.

Aufgrund der gezeigten Staffelung der vorgestellten Einheiten sind zwei Anforderungen erfüllt :

- An den Koppelnetz-Schnittstellen treten einheitliche Geschwindigkeiten und Wortformate auf.
- Durch die Modularisierung kann ein schrittweiser Ausbau des ausgelagerten Vermittlungsmoduls bis zum Vollausbau erfolgen, wobei die Erweiterung ohne Betriebsstörung durchgeführt wird.

4.5.3. Teilnehmer-Signalisierungseinheit

Die Teilnehmer-Signalisierungseinheit (TSIG) ist zwischen den Einheiten MUX 64 und MUX 4 an die 10 bit-parallele Multiplexleitung angeschlossen. Jedes übertragene (8+2)-Envelope von den 64 Teilnehmern wird in die Einheit TSIG kopiert und auf ein gesetztes Statusbit hin geprüft.

Da die Zeichen jeweils parallel und vollständig anliegen, kann sofort eine Bearbeitung der Zeichen durchgeführt werden. Diese Bearbeitung muß jedoch bis zum Eintreffen des nächsten Zeichens abgeschlossen sein, d.h. innerhalb der Taktdauer von 1,95 µs. Für diese zeitkritische Funktion ist eine Mikroprozessor-Steuerung ungeeignet, es wurde daher eine Lösung mit Entscheidungstabellen implementiert. Dies entspricht der Funktion eines sequentiellen Schaltwerkes, welches durch den Inhalt der ROM-Speicherbausteine nachgebildet wird. Die funktionellen Blöcke der Teilnehmer-Signalisierungseinheit sind in Bild 4.13 in Verbindung mit der Gesamtstruktur der Einheit dargestellt.

Die von den Teilnehmern ankommenden Zeichen bilden, zusammen mit dem momentan gespeicherten Zustand des Teilnehmers und dem Überlastbit (ÜLB), die Adresse für den ROM-Speicher. Dieser enthält die Entscheidungstabelle. Der Inhalt der so adressierten Speicherzelle umfaßt den neuen Teilnehmerzustand, einen eventuellen Meldungscode für die Steuerung VMST, eine Angabe zur Spezifizierung des Meldungsinhaltes, sowie einen eventuellen Hinweis über durchzuführende Überlastabwehrmaßnahmen. Der neue Teilnehmerzustand, der mit dem vorhergehenden Zustand identisch sein kann, wird im Teilnehmer-Zustandsspeicher (TZSP) abgelegt.

Meldungen an die Vermittlungsmodul-Steuerung (VMST) beinhalten neben der Teilnehmer-Nummer und dem Meldungscode teilweise auch die vom Teilnehmer gesendeten Zeichen. Dies ist notwendig bei Wählziffern und Dienstsignalen. Wird eine Fehlermeldung generiert, so wird neben der Teilnehmer-Nummer auch der aktuelle Teilnehmerzustand und das als fehlerhaft interpretierte Zeichen an die Steuerung VMST übergeben, um eine gezielte Fehlerlokalisierung und Fehlerbearbeitung zu ermöglichen.

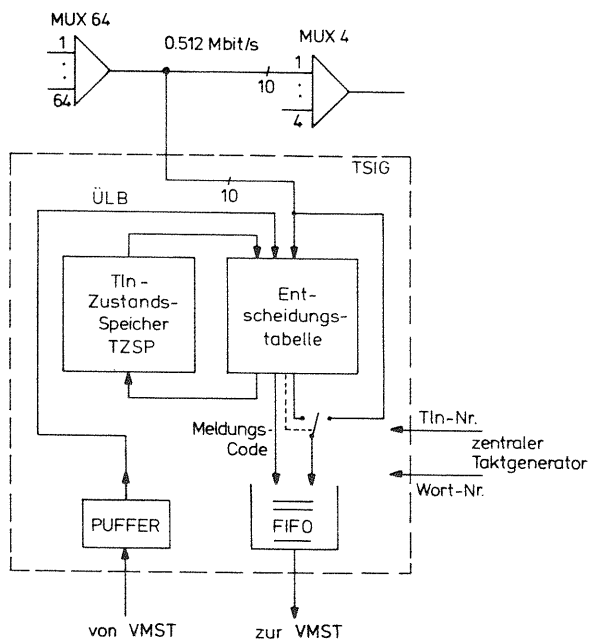


Bild 4.13 : Struktur der Teilnehmer-Signalisierungseinheit

Bei Überlastung der Steuerung VMST kann` diese das Überlastbit (ÜLB) setzen, wodurch alle weiteren Verbindungswünsche der Teilnehmer ignoriert werden.

Durch die Realisierung der benutzten Signalisierungsprozedur in Entscheidungstabellen, können Prozedurmodifikationen oder Ergänzungen jederzeit durchgeführt werden. Hierbei ist besonders an die Implementierung weiterer Fehlerbehandlungsroutinen gedacht.

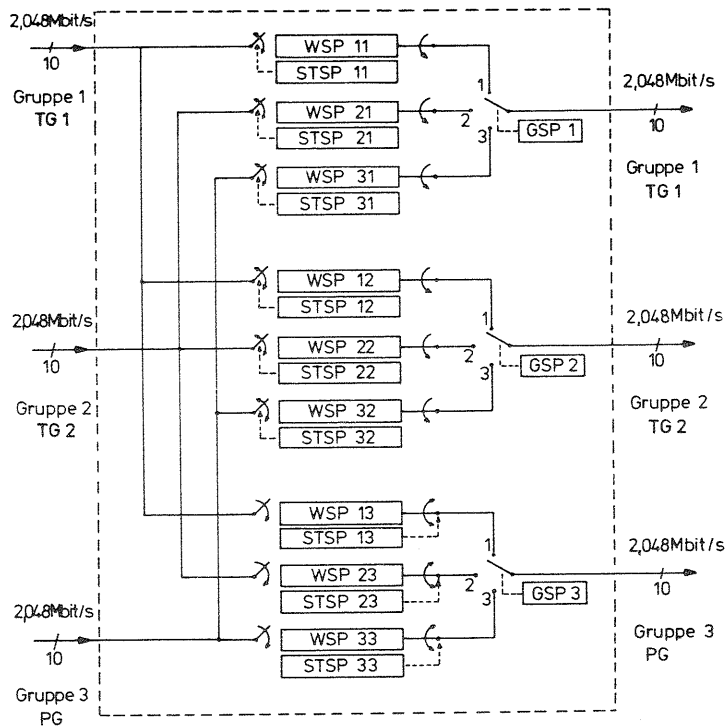
4.5.4. Multi-Bitraten-Koppelnetz

Das Multi-Bitraten-Koppelnetz innerhalb des ausgelagerten Vermittlungsmoduls führt die räumliche und zeitliche Umsetzung der Worte von ankommenden Multiplexleitungen auf entsprechende abgehende Multiplexleitungen durch. Über die ankommenden und abgehenden Multiplexleitungen (2,048 Mbit/s , 10 bit-parallel) kann im planungsmäßigen Endausbau jeweils eine Gruppe mit 256 Anschluß-Nummern erreicht werden. Bei diesen Gruppen handelt es sich um 2 Teilnehmergruppen (TG) mit bis zu 256 Teilnehmerleitungen und eine PCM-Gruppe (PG) mit bis zu 256 PCM-Zeitlagen. Verbindungen können zwischen allen bestehenden Gruppen aufgebaut werden. Bei Internverbindungen sind nur die Teilnehmergruppen, bei Externverbindungen ist die PCM-Gruppe und eine Teilnehmergruppe beteiligt. Transitverbindungen sind bei Vermaschung mehrerer ausgelagerter Vermittlungsmodule vorgesehen.

Für jede Verbindung ist im Koppelnetz ein einmaliger Eintrag in einen Steuerspeicher (STSP) und in einen Gruppenspeicher (GSP) notwendig. Die Nutzinformation der Verbindung wird anschließend über den zugeordneten Wortspeicher (WSP) transferiert. Die Speichergruppierung des Koppelnetzes ist für den Endausbau in Bild 4.14 dargestellt.

Ein ankommendes 10 bit - Wort einer Gruppe wird gleichzeitig in drei Wortspeicher eingetragen. Jedoch wird dieses Wort nur bei jenem Wortspeicher wieder abgehend ausgelesen, in dessen Beschreibung der Wortspeicher bei den Teilnehmergruppen und das Lesen der Wortspeicher bei der PCM-Gruppe wird vom jeweiligen Steuerspeicher ausgeführt. Die anschließenden Gruppenspeicher (GSP) wirken als Richtungsschalter, sie werden mit der Teilnehmer-Nummer adressiert und zeigen an, von welchem Wortspeicher für den entsprechenden Teilnehmer das 10 bit- Wort zu übernehmen ist.

Die Wortspeicher und Steuerspeicher sind getrennt für die einzelnen Verbindungsrichtungen zwischen den Gruppen realisiert. Durch diese separierte Speicheranordnung ergeben sich jedoch



- WSP xy Wortspeicher für Verbindungen von Gruppe x nach Gruppe y
- STSP xy Speicherspeicher zu WSP xy
- GSP y Gruppenspeicher der Gruppe y
- zyklisches Einschreiben
- willkürliches Einschreiben
- zyklisches Lesen
- willkürliches Lesen

Bild 4.14 : Speichergruppierung des Koppelnetzes

vorteilhafte Funktionsmerkmale:

- Es kann pro Taktzeitpunkt des Koppelnetzes eine Verbindung jeder der drei Gruppen bearbeitet werden.
- Die Erweiterung des Koppelnetzes (MBKN) von einer Minimalversion bis hin zum Endausbau, kann im Betrieb durch Zuschaltung entsprechender Speicherpaare durchgeführt werden.

Bei g angeschlossenen Gruppen sind die Wort- und Speicherspeicherkombinationen insgesamt g^2 -mal vorhanden, sie sind allerdings nur bis maximal zum g-ten Teil durch aufgebaute Verbindungen belegt. Dieser Speichermehraufwand erlaubt jedoch eine g-fache Parallelbearbeitung von Verbindungen und bietet damit einen Zeitgewinn, bzw. eine Reduzierung des Koppelnetz-Arbeitstaktes, bei vergleichbarer Durchschalteleistung.

Die Detailstruktur und Betriebsweise der einzelnen Speicherkomponenten im Koppelnetz ist bedingt durch die auszuführenden Teilfunktionen im Rahmen der Synchronisierungsaufgabe. Während Bit- und Wortsynchronisation in den Multiplexereinheiten MUX 64 durchgeführt werden und die Rahmensynchronisation durch Übertragung der Sende-Unterkanalnummer an die Netzendeinrichtung realisiert ist, wird die Blocksynchronisation im Koppelnetz ausgeführt. Hierzu ist eine Wortspeicherstruktur entsprechend Bild 4.15 notwendig. Die vier Speicherebenen des Wortspeichers erlauben das Zwischenspeichern jeweils eines vollständigen Blockes (3DW+1FW) pro Verbindung. Insgesamt sind in einem Wortspeicher die Blöcke von 256 Verbindungen abgelegt. Ein Block umfaßt bei einer Datenverbindung die oben angezeigten drei Datenworte und ein Füllwort, bei einer Fernsprekverbindung enthält er allerdings vier Sprachabtastwerte im (8+2)-Format.

Während die Wortspeicherstruktur für alle Gruppen und Verbindungsarten einheitlich ist, unterscheiden sich die Betriebsweisen bei den Teilnehmer-Gruppen und der PCM-Gruppe. Bei den

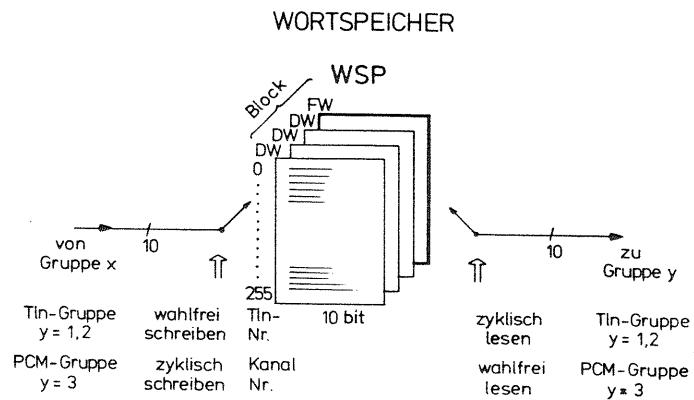


Bild 4.15 : Struktur und Betriebsweise der Wortspeicher

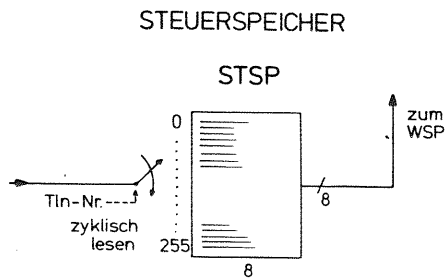


Bild 4.16 : Struktur und Betriebsweise der Steuerspeicher

Teilnehmer-Gruppen werden alle Wortspeicher (WSP) durch die zugehörigen Steuerspeicher (STSP) adressiert beschrieben und zyklisch ausgelesen, vgl. Bild 4.14 . Dies ist bedingt durch die feste Vorgabe, daß alle Netzendeinrichtungen die Nutzworte beginnend bei Unterkanal \emptyset (UK \emptyset) in dem Rahmen der Teilnehmerleitung empfangen. Ein weiterer Grund für obige Betriebsweise ist das Generieren der Rahmen der Teilnehmerleitungen, dies erfolgt synchron zum zentralen Takt des Koppelnetzes. Bei den abgehenden PCM-Systemen wird zwar deren Rahmenaufbau auch synchron zum zentralen Takt des Koppelnetzes erzeugt, welche Unterkanäle bei Datenverkehr innerhalb einer Datenzeitlage belegt werden können, ist abhängig vom momentanen Belegungszustand der Unterkanäle dieser Zeitlage. Aufgrund dieser verkehrsabhängigen Vorgabe für einen Unterkanal-Belegungsversuch, müssen die Wortspeicher der PCM-Gruppe zyklisch beschrieben und vom Steuerspeicher adressiert, d.h. wahlfrei gelesen werden können (Bild 4.14).

Neben diesen beiden unterschiedlichen Betriebsweisen der Wortspeicher sind auch zwei unterschiedliche Strukturen bei den Steuerspeichern notwendig. Bedingt sind diese beiden Strukturen durch die kapazitätssparende Übertragung unterschiedlicher Bitraten in einer Datenzeitlage. Dabei werden Bitströme der Benutzerklassen nach CCITT X.1 entsprechend der Empfehlung CCITT X.51 zusammengefaßt.

Für Internverbindungen innerhalb des ausgelagerten Vermittlungsmoduls, d.h. zwischen Teilnehmer-Gruppen, können Steuerspeicher der in Bild 4.16 gezeigten Struktur eingesetzt werden. Über die Wortspeicher wird die Bitrate der Teilnehmerleitung (80 kbit/s) vollständig durchgeschaltet, die Steuerspeicher werden mit der Teilnehmer-Nummer zyklisch ausgelesen.

Dagegen müssen bei den ankommenden und abgehenden Externverbindungen die Steuerspeicher an den Positionen der Datenzeitlagen erweitert werden, entsprechend den 80 Unterkanälen einer Zeitlage. Dies ist in Bild 4.17 dargestellt.

Der Speicheraufwand für Externverbindungen ist daher abhängig vom erwarteten Verkehrsaufkommen (Datenverkehr) und der

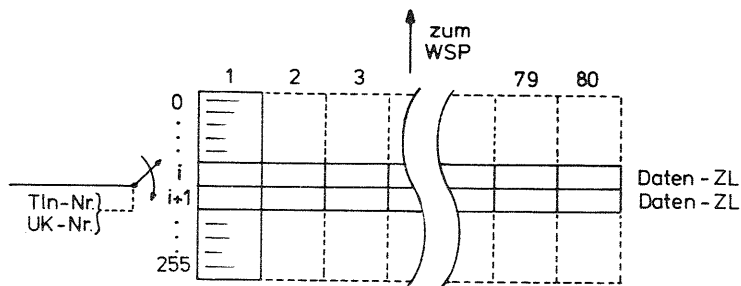


Bild 4.17 : Struktur des erweiterten Speichers

daraufhin bereitgestellten Anzahl von Datenzeitlagen in den PCM-Systemen. Dem notwendigen Speichermehraufwand bei Datenverkehr steht jedoch eine Einsparung bei den Übertragungssystemen gegenüber, der anderenfalls bei gleicher Dienstgüte für die Teilnehmer und einheitlicher Rate von 64 kbit/s pro Verbindung erforderlich wäre.

Für den Betriebsfall, daß alle Zeitlagen der PCM-Systeme wahlweise für Fernsprech- oder Datenverbindungen benutzt werden können, sind die Speicherspeicher von und zu den PCM-Gruppen im Vollausbau zu implementieren. Dies ist in Bild 4.17 gestrichelt angedeutet. Im Laborsystem ist dieser Betriebsfall für zwei Zeitlagen realisiert. Eine Erhöhung dieser Anzahl dynamisch zuteilbarer Zeitlagen kann im Betrieb erfolgen.

Der Minimalausbau des Koppelnetzes umfaßt 64 Teilnehmer und ein PCM-System. Der Endausbau wird durch Ergänzung der Teilnehmer-Gruppe und der PCM-Gruppe im ersten Ausbauschritt und durch Zuschaltung einer weiteren Teilnehmer-Gruppe im zweiten Ausbauschritt erreicht. Die einzelnen Erweiterungsschritte sind in den Bildern 4.18 und 4.19 verdeutlicht. Größere Ausbaustufen sind nach diesem Prinzip ohne Einschränkung realisierbar.

Die Verkehrsleistung des Multi-Bitraten-Koppelnetzes (MBKN) kann durch zwei Merkmale beschrieben werden:

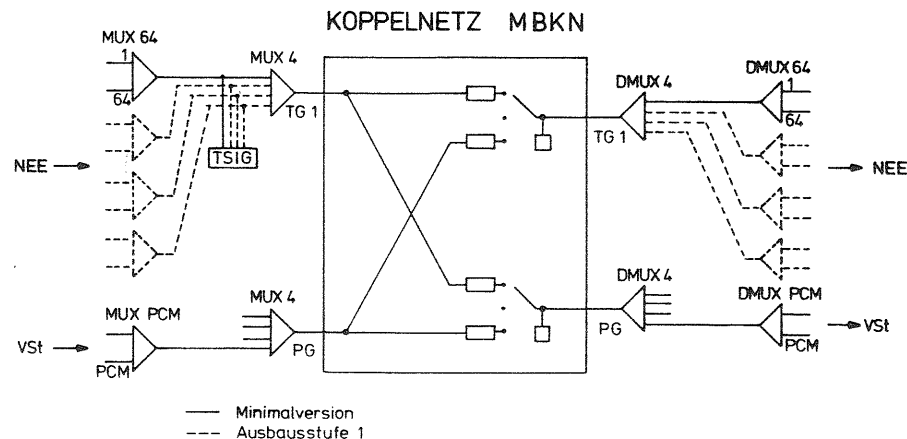


Bild 4.18 : Minimalversion und Ausbaustufe 1 des Koppelnetzes und des AVM

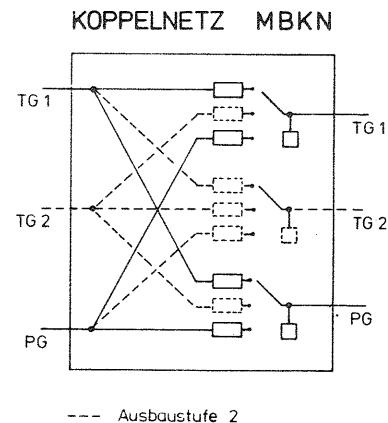


Bild 4.19 : Ausbaustufe 2 des Koppelnetzes und des AVM

- Von jedem Eingang aus besteht eine vollkommene Erreichbarkeit aller Ausgänge.
- Das Koppelnetz besitzt keine innere Blockiermöglichkeit.

Dies bedeutet, daß Verbindungen immer durch das Multi-Bitraten-Koppelnetz (MBKN) durchgeschaltet werden können. Verlustrufe können im ausgelagerten Vermittlungsmodul lediglich durch Betriebsmittelengpässe (keine freien PCM-Zeitlagen oder Unterkäle, keine freien Wählzeichenempfänger usw.) oder durch belegt angetroffene Teilnehmer auftreten.

4.5.5. Steuerung des ausgelagerten Vermittlungsmoduls

Die Hauptsteuerung des ausgelagerten Vermittlungsmoduls ist die Vermittlungsmodul-Steuerung (VMST). Sie führt die vermittlungstechnischen Entscheidungsfunktionen und Überwachungsfunktionen aus. Dies beinhaltet die Bearbeitung der Teilnehmer-Signalisierung und der Signalisierung über den zentralen Zeichenkanal, die Ermittlung der Steuer- und Gruppenspeicherinformation, sowie notwendige Fehlerbearbeitung. Testroutinen und Konfigurations-Änderungsroutinen dienen der Prüfung angeschlossener Einheiten und der Zuschaltung oder Abschaltung einzelner Einheiten. Die zuletzt genannten Routinen besitzen niedrigste Priorität und werden durchgeführt, wenn keine Vermittlungsaufgaben anstehen. Die Vermittlungsmodul-Steuerung besitzt die nachfolgend aufgeführten Schnittstellen zu peripheren Einheiten, wobei über diese Schnittstellen die angegebenen Funktionen ausgeführt werden.

- TSIG : Übernahme der Meldungen und der Signalisierungszeichen, sowie Anzeige des Überlastzustandes.
- MBKN : Übergabe der Speicherspeicher- und Gruppenspeicherinformation, sowie Kontroll-Lesen der Speicher.

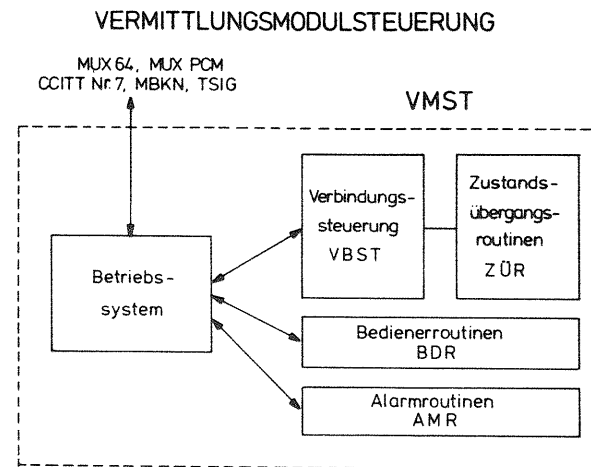


Bild 4.20 : Software-Struktur der VMST

- MUX 64 : Übernahme der Rahmenversatzangabe bei den einzelnen Teilnehmerleitungen.
- DMUX 64 : Übergabe der Signalisierungszeichen und Zeichenfolgen, die in den Bitstrom zu den jeweiligen Netzeinrichtungen eingefügt werden sollen.
- MUX PCM : Übernahme der Rahmenversatzangaben für die einzelnen Datenzeitlagen.
- CCITT Nr.7: Übernahme und Übergabe der Signalisierungszeichen von und zu der Vermittlungsstelle.

Die Schnittstellen zu den Teilnehmer-Signalisierungseinheiten (TSIG) und zu der Einheit für CCITT Nr.7, werden im Polling-Betrieb wechselseitig auf anstehende Informationen abgefragt. Bei den übrigen Schnittstellen erfolgt eine bedarfsweise Abfrage und Übertragung.

Die Software der Steuerung VMST ist modular strukturiert und im Assemblercode des Mikroprozessors Motorola 6800 implementiert. Die Gesamt-Software gliedert sich, vgl. Bild 4.20, in

- Betriebssystem (BS) zur Aufgabenverteilung an die entsprechenden Module und zur Kommunikation über die oben angeführten Schnittstellen mit der Peripherie,
- Alarmroutinen (AMR) zur Systeminitialisierung, zum Systemneustart und zur Fehlerbearbeitung bei Fehlverhalten von Systemkomponenten,
- Bedieneroutinen (BDR) zur Bearbeitung der Anweisungen vom Bedienplatz und zur Generierung von Systemmeldungen an den Bedienplatz,
- Verbindungssteuerung (VBST) zur Ausführung der vermittlungstechnischen Aufgaben beim Verbindungsaufbau und bei der Verbindungsauslösung. Zur Durchführung der einzelnen Zustandsübergänge für eine Verbindung werden entsprechende Zustandsübergangsroutinen (ZÜR) bereitgestellt und aufgerufen.

Wird vom Betriebssystem(BS) eine eingetroffene Meldung an die Verbindungssteuerung (VBST) weitergeleitet, so entnimmt die Verbindungssteuerung aus dem von ihr verwalteten Verbindungszustandsspeicher (VZSP) den Zustand derjenigen Verbindung, zu der die eingetroffene gehört. Dieser Zustand bestimmt die aufzurufende Zustandsübergangsroutine (ZÜR). Dieser ZÜR wird die eingetroffene Meldung übergeben und es erfolgt die Auswertung und Bearbeitung der Meldung. Sind während des Bearbeitungsablaufes von der ZÜR Extern-Meldungen an die Peripherie im AVM zu senden, so fungiert die Verbindungssteuerung als Schnittstelle zum Betriebssystem, welches die Übergabe an die Peripherie durchführt. Sind während der Bearbeitung einer Meldung durch die ZÜR von dieser wiederum Meldungen an die Alarmrou-

tinen oder die Bedieneroutinen zu senden, so werden diese als Intern-Meldungen über die Verbindungssteuerung und das Betriebssystem an die entsprechenden Routinen weitergeleitet.

Die ZÜR beendet eine Meldungsbearbeitung, indem sie den neuen Verbindungszustand der von ihr gerade bearbeiteten Verbindung an die Verbindungssteuerung übergibt. Der neue Verbindungszustand wird abgespeichert und abschließend erfolgt die Übertragung einer Fertig-Meldung an das Betriebssystem.

Der Einsatz von Zustandsübergangsroutinen (ZÜR), zur Ausführung der Verbindungsbearbeitung, bietet eine hohe Flexibilität hinsichtlich der Einführung oder Änderung von Leistungsmerkmalen und Signalisierungsabläufen. Weiterhin erlauben diese ZÜR auch die einfache Anpassung bei Änderungen in der Peripherie, welche sich durch Erweiterung oder Einsatz von neuen Bausteinen mit höheren Funktionen ergeben können.

Bei der Entwicklung der Software wurden zunächst, ausgehend von der Gesamtaufgabenverteilung im AVM, die einzelnen Funktionen definiert. Diese Funktionen wurden anschließend in Module und Routinen untergliedert. Nach Festlegung der Signale und Prozeduren des Meldungs-austausches zwischen den einzelnen Modulen wurde die Software-Spezifikation und Beschreibung mittels der Sprache SDL durchgeführt. Damit verbunden ist gleichzeitig eine genaue und übersichtliche Dokumentation der Software.

Weiterhin wird der Ansatz für Validierungsverfahren erleichtert.

Die abschließende Codierung (Motorola 6800) konnte aufgrund der genauen Spezifikation zügig erfolgen, wobei der erforderliche Zeitaufwand für den Software-Test stark reduziert werden konnte.

4.5.6. Zentraler Zeichenkanal

Die Signalisierung zwischen Vermittlungsstellen, sowie zwischen Vermittlungsstelle und autonomen Vorfeldeinrichtungen erfolgt in einem diensteintegrierten Vermittlungssystem über zentrale Zeichenkanäle. Ein hierfür einsetzbares, international empfohlenes Verfahren ist das Zentralkanal-Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7. Dieses Verfahren ist in 4 funktionale Ebenen untergliedert. Die einzelnen Ebenen führen dabei folgende Aufgaben aus :

- Ebene 1 - Überwachung des Übertragungskanales, d.h. Prüfung empfangener Zeichen auf Übertragungsfehler, Senden von Zeichen einschließlich Prüfbits zur Übertragungssicherung und Übertragung von Leermustern wenn keine Signalisierungszeichen verfügbar sind.
- Ebene 2 - Sicherungsfunktion gegen Sequenzfehler der einzeln numerierten Zeichen und Korrektur durch Zeichen-Wiederholung.
- Ebene 3 - Vermittlung der Signalisierungszeichen zwischen Zeichenkanälen und den Steuerungseinheiten der Vermittlungseinrichtungen, Überwachung aller angeschlossener Zeichenkanäle, Durchführung der Netz-Management-Funktion für das Signalisierungsnetz.
- Ebene 4 - Umfaßt die Steuerungseinheiten, Steuerprozesse und Vermittlungsprozesse, die Signalisierungszeichen generieren und bearbeiten.

Das vollständige Signalisierungsprotokoll für Fernsprecheverkehr, einschließlich der einzelnen Zeichenarten mit Formatangabe und Bedeutung, ist in den CCITT Empfehlungen Q.721-725 (telephone user part, TUP) festgelegt. Für Datenverkehr gilt entsprechend die Empfehlung CCITT Q.741 (data user part, DUP). Es bestehen in diesen Empfehlungen jedoch Freiheitsgrade für nationale Anwendungen.

Die Abläufe der Ebenen 2 und 3 sind in den Empfehlungen Q.701-702 (message transfer part, MTP) durch umfangreiche SDL-Diagramme vorgegeben. Diese SDL-Diagramme bildeten die Grundlage für die Implementierung eines zentralen Zeichenkanales im Laborsystem PILOT. Dabei wird die Zeitlage 16 eines PCM-Übertragungssystems als Zeichenkanal mit 64 kbit/s benutzt. Die Funktionen der Ebene 1 (Zeichen senden, Zeichen empfangen, Sicherung gegen Übertragungsfehler durch Prüfbits) wird durch integrierte Hardware-Bausteine übernommen. Die Funktionen der Ebene 2 sind, entsprechend den SDL-Diagrammen, softwaremäßig in einem Mikroprozessor Motorola 6800 implementiert worden.

Neben der Notwendigkeit eines zentralen Zeichenkanales für den Betrieb des diensteintegrierten Vermittlungssystems sollte durch die Implementierung die fehlerfreie Funktion eines Zeichenkanales unter Realzeitbedingungen unter Beweis gestellt werden. Weiterhin sollte der notwendige Zeitbedarf für die einzelnen Funktionen ermittelt werden.

Die Leistungsfähigkeit des eingesetzten Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 wird im wesentlichen durch die Parameter der Übertragungsstrecke (Bitfehlerwahrscheinlichkeit, Laufzeit) und die in Ebene 2 eingesetzten Fehlerkorrekturverfahren bestimmt. Im Kapitel 5.4 dieser Arbeit, wird das Verfahren CCITT Nr.7 hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit bei unterschiedlichen Parameterwerten untersucht. Es werden dabei Simulationsergebnisse vorgestellt und interpretiert.

4.6. Zusammenfassung zu Integrationskonzept II

In diesem Kapitel sind die Struktur und die Betriebsweise einer diensteintegrierten Vermittlungseinrichtung vorgestellt worden, die den Teilnehmern aller Dienste mit Bitraten bis 64 kbit/s einheitliche Schnittstellen und eine einheitliche Signalisierungsprozedur bereitstellt. Es wurde die Aufgabenverteilung erläutert und anschließend erfolgte eine Beschreibung der erstellten Baugruppen und der implementierten Prozedurabläufe. Es wurde die auf der Teilnehmerleitung eingesetzte Rahmenstruktur begründet und die Abläufe der Signalisierungsprozedur wurden anhand von Zustandsübergangsdiagrammen vorgestellt. Bei den Baugruppen wurde das entwickelte Koppelnetz für die Durchschaltung unterschiedlicher Bitraten in Verbindung mit der Gesamtfunktion der Rahmensynchronisation und des Rahmenausgleiches erläutert. Anhand der von der Steuerungseinheit auszuführenden Vermittlungsaufgaben wurde die eingesetzte Struktur der modularen Software gezeigt. Bezüglich der Erweiterbarkeit des ausgelagerten Vermittlungsmoduls wurden die einzelnen Ausbauphasen vorgestellt, die beginnend bei einer Minimalversion ohne Einfluß auf den laufenden Betrieb durchgeführt werden können.

Das ausgelagerte Vermittlungsmodul kann als Vorfeldeinrichtung eines digitalen diensteintegrierten Vermittlungssystems (ISDN) eingesetzt werden, es kann aber auch als eigenständige diensteintegrierte Vermittlungsstelle eingesetzt werden. Das ausgelagerte Vermittlungsmodul im Integrationsschritt II bildet damit den Abschluß einer Übergangsphase von einem reinen Fernsprechvermittlungssystem zu einem diensteintegrierten Vermittlungssystem in einem Schmalband - ISDN.

5. Untersuchungen zur Verkehrsleistung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Verkehrsleistung werden 3 Problembereiche genauer betrachtet:

- Die Steuerungseinheiten für Datenverkehr in der Vermittlungsstelle, d.h. die zentrale Steuerung ZST und das Datenvermittlungsmodul DVM.
- Die Unterkanalzuteilung entsprechend der Empfehlung CCITT X.51 und damit implizit das Multi-Bitraten-Koppelnetz MBKN.
- Das Zentralkanal-Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7 .

Für diese drei Untersuchungen wird in jeweils einem eigenen Abschnitt die durchgeführte Modellbildung erläutert und das benutzte Untersuchungsverfahren einschließlich Simulationsprogramm vorgestellt. Bezüglich jeder Untersuchung werden Ergebnisse für verschiedene Parameter gezeigt und interpretiert. Ein Überblick über mögliche und eingesetzte Untersuchungsverfahren gibt der folgende Abschnitt.

5.1. Untersuchungsverfahren

Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit vermittlungstechnischer Einrichtungen oder ganzer Vermittlungssysteme, z.B. den Einheiten einer Vermittlungsstelle inklusive der Vorfeldeinheiten, können zwei Wege eingeschlagen werden. Die erste Vorgehensweise ist eine analytische Untersuchung von Teilaspekten und eine anschließende Überlagerung der erzielten Ergebnisse. Die andere Vorgehensweise ist eine simulative Untersuchung durch Nachbildung des Ablaufgeschehens auf einer Rechenanlage.

Aufgrund der Komplexität der zu untersuchenden Systemeinheiten und Prozeduren wurde die Untersuchung durch Simulation als effektivere Methode gewählt. Hierbei ist jedoch für jede Einzeluntersuchung zu prüfen, welche Art der Simulation eingesetzt werden kann oder muß.

Werden als Ergebnisgrößen keinerlei Zeitwerte gefordert und kann das Ablaufgeschehen allein durch Zustände und Zustandsübergangs-Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden, so bietet sich die "Monte Carlo" - Methode zur Simulation an. Dabei werden die einzelnen Zustandsübergänge des zu untersuchenden Systems entsprechend den Übergangswahrscheinlichkeiten mit Hilfe eines Zufallszahlen-Generators ausgewürfelt und anschließend ausgeführt.

Werden dagegen auch Zeitgrößen als Ergebniswerte gefordert, wie beispielsweise Wartezeiten, Durchlaufzeiten oder Belegungszeiten, so lassen sich solche Ergebnisse nur mit der zeittreuen Simulationsmethode erzielen. Doch auch bei dieser Methode ist zu prüfen, welches der in Tabelle 5.1 aufgeführten Verfahren für den jeweiligen Problemfall einzusetzen ist.

Allen zeittreuen Simulationsverfahren ist gemeinsam;

- daß das zu untersuchende System in ein Warteschlangenmodell mit entsprechender Zahl von Bedienungseinheiten umzusetzen ist;
- daß für das zeitliche Ablaufgeschehen ein "Kalender" geführt wird, in dem alle bekannten Zeitpunkte eingetragen sind, zu denen im System eine Veränderung eintritt, z.B. Ankunftszeitpunkte, Bedienungsendezeitpunkte, Taktzeitpunkte usw. ;
- daß bei dem zeitlichen Ablauf der Simulation nur jene Zeitpunkte berücksichtigt werden, zu denen eine Veränderung im System stattfindet. Dabei wird die mitlaufende "Simulationsuhr" jeweils auf den nächsten, aus dem Kalender gefundenen Zeitpunkt eingestellt. Gleich-

<u>ZEITTREUE SIMULATIONSVERFAHREN</u> (time true simulation - event-by-event simulation)
+ belastungstreue Simulation (load-type simulation) + belegungsphasentreue Simulation (subcall-type simulation) + belegungstreue Simulation (call-type simulation)

Tabelle 5.1 : Simulationsverfahren

zeitig wird die zugehörige Zustandsveränderung durchgeführt, z.B. Bedienungseinheit freigeben oder belegen, Ereignisse in eine Warteschlange eintragen usw. ;

- daß die Ereignisse dem simulierten System von einem Ereignis-Generator angeboten werden.

Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich in der Anzahl der Merkmale, die ein Ereignis charakterisieren und den damit möglichen Ergebnisgrößen. Die Ereignisse, die dem Simulationsmodell angeboten werden, sind in Teilrufereignisse und Rufereignisse zu unterscheiden. Teilrufereignisse sind alle jene Ereignisse, die während des Verbindungsaufbaus oder der Verbindungsauslösung auftreten, z.B. Wählziffern usw. Die Rufereignisse, kurz Rufe genannt, entsprechen den Verbindungswünschen. Die Auswirkung der Ereignisunterscheidung wird anschließend für die verschiedenen Verfahren erläutert.

5.1.1. Belastungstreue Simulation

Bei dem Verfahren der belastungstreuen Simulation werden Ereignisse generiert, die im Zeitabstand T_A am Simulationsmodell eintreffen und dem Simulationsmodell eine Belastung zuführen, die der Bedienzeit T_H entspricht. Der Ereignis-Ankunftsprozeß wird dem Ereignis-Generator durch den zufallsabhängigen Ankunftsabstand T_A vorgegeben, welcher durch seine Verteilungsfunktion $VF(T_A)$ beschrieben ist, vgl. Bild 5.1 . Der Mittelwert der Ankunftsabstände sei $E[T_A]$. Die derart zeitlich aufeinanderfolgenden Ereignisse werden mit einer im allgemeinen zufallsabhängigen Bedienzeit T_H behaftet. Diese Bedienzeit wird entsprechend dem Bedienprozeß ermittelt, welcher durch die Verteilungsfunktion $VF(T_H)$ vorgeschrieben ist. Der Mittelwert der Bedienzeit sei $E[T_H]$.

Als Ergebnisgrößen können Belastungswerte der Bedienungseinheiten und Wartezeiten ermittelt werden.

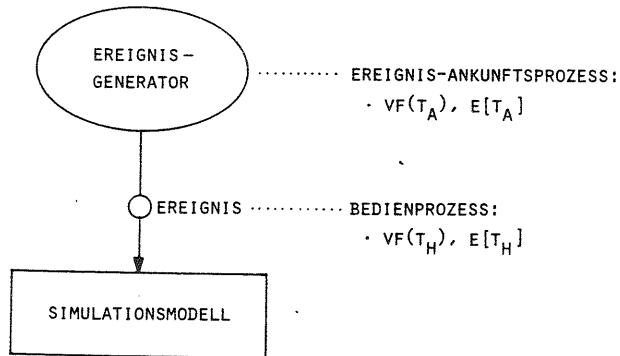


Bild 5.1 : Belastungstreue Simulation

5.1.2. Belegungsphasentreue Simulation

Bei der belegungsphasentreuen Simulation werden Ereignisse generiert, die Teilruffereignissen entsprechen und im Zeitabstand T_A im Simulationsmodell eintreffen. Jedes dieser Ereignisse ist daher mit einer Typ-Kennung versehen und führt dem Simulationsmodell eine Belastung zu, die der typindividuellen Bedienzeit $T_H(Typ)$ entspricht, vgl. Bild 5.2 . Der Ereignis-Ankunftsprozeß ist durch die Verteilungsfunktion $VF(T_A)$ mit dem Erwartungswert $E[T_A]$ vorgegeben. Die Typ-Zuweisung für ein Ereignis erfolgt entsprechend der Auftrittswahrscheinlichkeit $p(Typ)$ der einzelnen Ereignistypen, d.h. $p(x) \cdot 100\%$ aller generierten Ereignisse sollen vom Typ x sein.

Jedes Ereignis ist bei der Übergabe an das Simulationsmodell mit einer Bedienzeit $T_H(Typ)$ behaftet, die entsprechend dem durch $VF(T_H)$ vorgegebenen Bedienprozeß ermittelt wird. Die Ereignisse werden quantitativ richtig generiert gemäß ihrer relativen Häufigkeit. Es besteht jedoch keinerlei Abhängigkeit zwischen den einzelnen Ereignissen.

Als Ergebnisgrößen können typspezifische Werte erzielt werden.

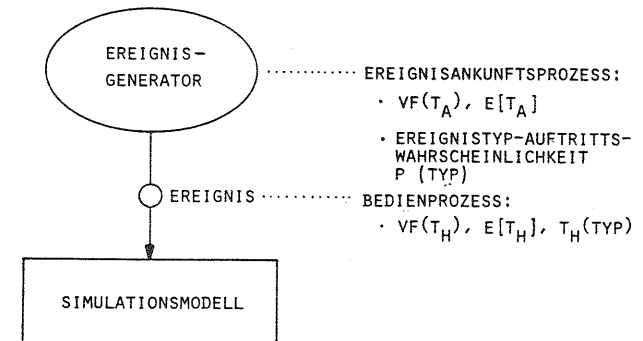


Bild 5.2 : Belegungsphasentreue Simulation

5.1.3. Belegungstreue Simulation

Die belegungstreue Simulation ist das umfangreichste der drei Verfahren. Dies gilt hinsichtlich des Spektrums erzielbarer Ergebnisse, aber auch hinsichtlich der notwendigen Laufzeit des Simulationsprogrammes und des notwendigen Speicherbedarfs in der benutzten Rechenanlage. Es ist jedoch auch das genaueste Verfahren, da es eine Systemrückwirkung auf den Ereignis-Generator ermöglicht, abhängig vom momentanen Systemzustand. Eine Verbindung wird bei diesem Verfahren durch eine Kette möglicher Teilrufereignisse vorgegeben, die durch Generieren des jeweils ersten Ereignisses aktiviert wird. Zwischen den Teilrufereignissen besteht daher eine Bindung.

Die Generierung der Verbindungswünsche, die eine Ereigniskette aktivieren, erfolgt im Zeitabstand T_A entsprechend dem Ruf-Ankunftsprozeß, der durch die Verteilungsfunktion $VF(T_A)$ mit dem Mittelwert $E[T_A]$ beschrieben ist (siehe Bild 5.3).

Die einzelnen Teilrufereignisse werden entsprechend den Teilruffolgen der Ereignisketten und abhängig vom Systemverhalten bestimmt. Jedes Ereignis, das dem Simulationsmodell angeboten wird, ist einer bestimmten Ruf-Nummer zugeordnet und mit einer typindividuellen Bedienzeit T_H (Typ, Ruf-Nr.) behaftet.

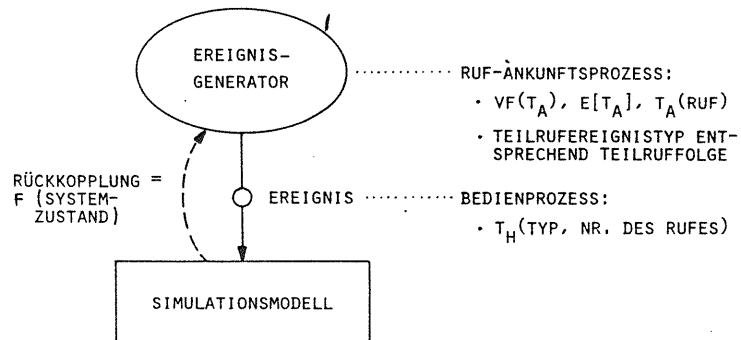


Bild 5.3 : Belegungstreue Simulation

Es können mit diesem Simulationsverfahren ereignistyp- und rufbezogene Ergebnisse gewonnen werden, die auch Systemreaktionszeiten auf bestimmte Ereignisse einschließen wie z.B. Wähltonverzug, Freitonverzug usw.

Bei den nachfolgend beschriebenen Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Einrichtungen und Prozeduren werden je nach geforderten Ergebnisgrößen unterschiedliche Simulationsverfahren eingesetzt.

Die belegungsphasentreue Simulation wurde zur Untersuchung des Zentralkanal-Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 und zur Untersuchung der Unterkanal-Zuteilung nach der Empfehlung CCITT X.51 angewendet. Die Leistungsfähigkeit des Datenvermittlungsmoduls in der Vermittlungsstelle wurde mit Hilfe der belegungstreuen Simulation nachgewiesen.

5.2. Untersuchung der Verkehrsleistung des Datenvermittlungsmoduls

5.2.1. Modellierung

Das Datenvermittlungsmodul (DVM) in der Vermittlungsstelle des Systems PILOT wird für die Untersuchung seiner Verkehrsleistungsfähigkeit durch das in Bild 5.4 gezeigte Warteschlangenmodell nachgebildet. Dabei werden die von den Teilnehmern kommenden Teilrufereignisse, sowie die Teilrufereignisse ankommender Verbindungen, von einem Teilrufereignis-Generator erzeugt und in die Eingangswarteschlange EWS1DVP eingetragen. Sie entspricht der in Kapitel 3.5.2. beschriebenen Signalisierungseinheit. Der Steuerprozessor des Datenvermittlungsmoduls ist durch die Bedienungseinheit DVP nachgebildet. Die für jedes Ereignis durchzuführende Bearbeitung entnimmt der Prozessor DVP einer zugeordneten Entscheidungstabelle, sie ist im Bild 5.4 nicht explizit dargestellt. Nach der Bearbeitung eines Ereignisses können Meldungen zur Übergabe an die zentrale Steuerung (ZST) erzeugt und in die Ausgangswarteschlange AWSZST eingetragen werden. Die Übernahme von Meldungen in die Eingangswarteschlange EWSZST der zentralen Steuerung erfolgt getaktet über einen BUS.

Die zentrale Steuerung, nachgebildet durch eine Bedienungseinheit, entnimmt die für die Bearbeitung der Meldungen notwendigen Angaben einer zugeordneten Entscheidungstabelle.

In die Eingangswarteschlange EWSZST können zusätzlich die vom Grundlast-Generator erzeugten Ereignisse eingetragen werden, die dem vom Fernsprechverkehr erzeugten Ereignisfluß entsprechen und für den Datenverkehr als Grundlast der zentralen Steuerung wirken. Nach einer Bearbeitung von der zentralen Steuerung erzeugte Befehle werden in die Ausgangswarteschlange AWSZST eingetragen und mit dem nächsten Bustakt übergeben. Befehle, die für den DVP bestimmt sind, werden in die Eingangswarteschlange EWS2DVP eingetragen. Bei der Abfertigung der Eingangswarteschlangen durch die Steuerung DVP besitzt die

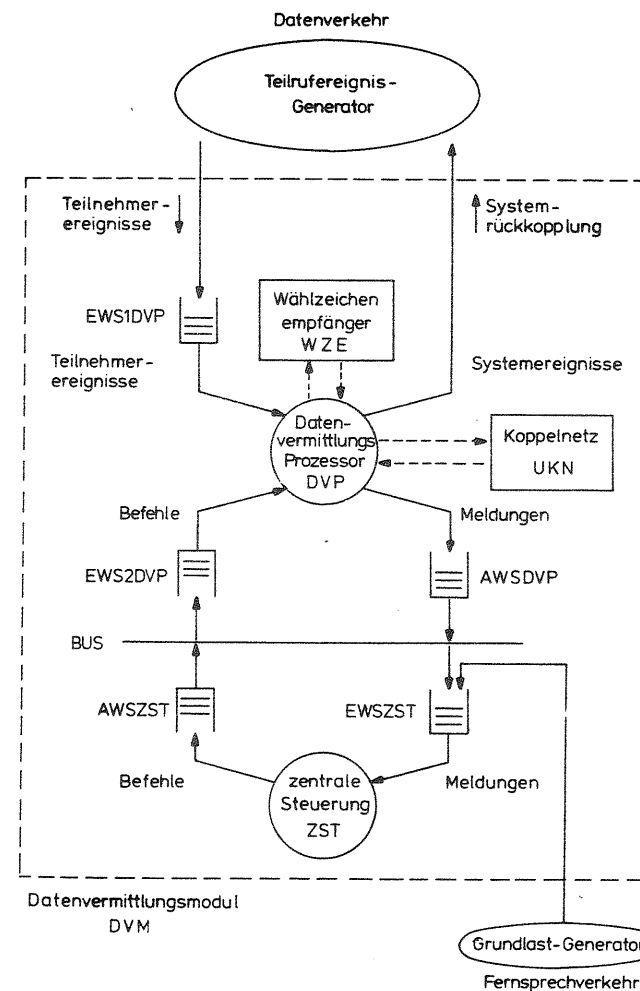


Bild 5.4 : Warteschlangenmodell und Simulationsmodell des Datenvermittlungsmoduls

Eingangswarteschlange EWS2DVP nichtunterbrechende Priorität gegenüber der Eingangswarteschlange EWS1DVP. Während der Bearbeitung eines Ereignisses oder eines Befehles können von der Steuerungseinheit DVP Systemereignisse zum Teilrufereignis-Generator gesendet werden. Diese Systemereignisse beeinflussen oder bestimmen die Folge weiterer Teilrufereignisse, die vom Generator für die jeweilige Verbindung zu erzeugen ist. Die Systemereignisse selbst werden aufgrund nicht verfügbarer Betriebsmittel (Wählzeichenempfänger oder Übertragungskanäle), sowie im Besetztfall des gerufenen Teilnehmers generiert. Diese systemzustandsabhängigen Systemereignisse bilden die Systemrückkopplung zum Teilrufereignis-Generator. Weiterhin können Systemereignisse auch durch im System implementierte Überlastabwehrmaßnahmen ausgelöst werden, also abhängig von der momentanen Systembelastung in den Bedienungseinheiten und in den Warteschlangen. Betriebsmittel, die von der Steuerung DVP verwaltet werden, sind Wählzeichenempfänger und Unterkanäle im Koppelnetz. Für das Koppelnetz ist bei der Untersuchung vorgegeben, daß die abgehenden Zeitlagen zu anderen Vermittlungsstellen jeweils nur Bitraten einer Benutzerklasse pro Zeitlage enthalten.

5.2.2. Teilrufereignis - Generator

Im realen Vermittlungssystem PILOT werden Signalisierungszeichen zwischen Datenteilnehmern und dem Vermittlungssystem entsprechend dem in Kapitel 3.5.2. vereinbarten Signalisierungsprotokoll ausgetauscht. Für die Simulation werden die Aktionen der Datenteilnehmer durch den Teilrufereignis-Generator nachgebildet. Die einzelnen Ereignisse werden entsprechend einer vorgegebenen Teilrufereigniskette (TEK) erzeugt und dem Modell des Datenvermittlungsmoduls angeboten. Verbindungswünsche, d.h. Rufereignisse, werden dabei gemäß der angegebenen Rufankunftsrate und der Verteilungsfunktion der Ankunftsabstände generiert. Diese Verbindungswünsche eröffnen jeweils eine individuelle Teilrufereigniskette (TEK), wie sie in Bild 5.5 ge-

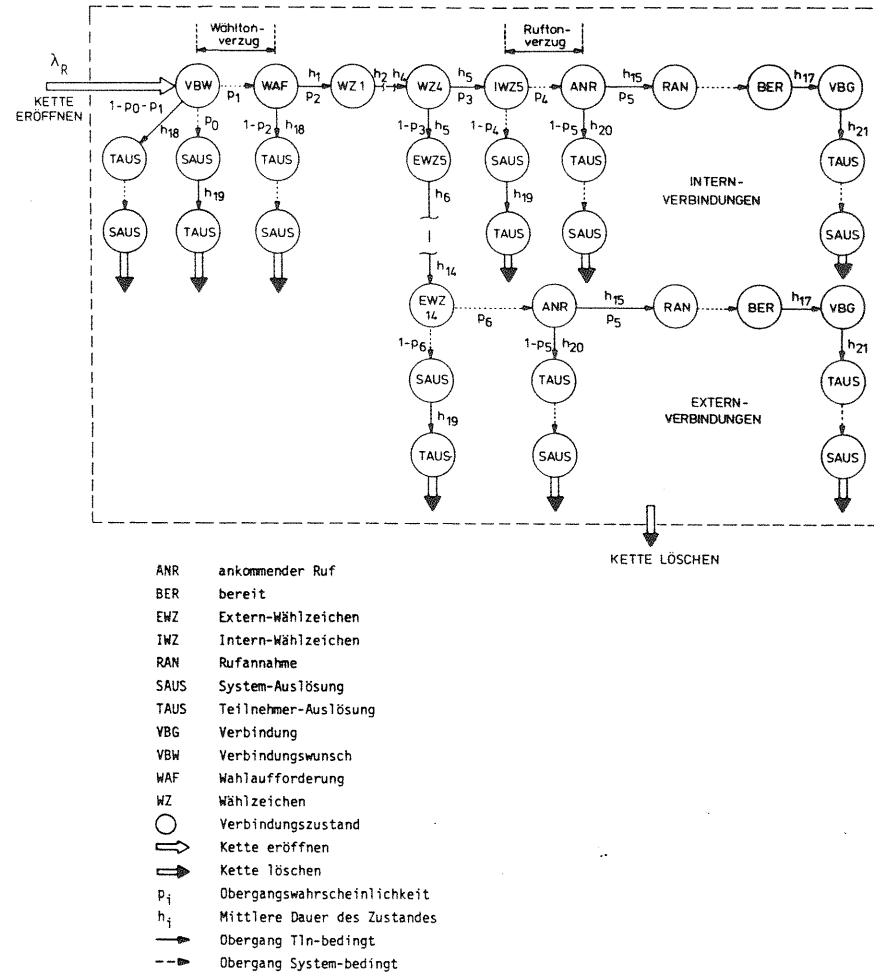


Bild 5.5 : Teilrufereigniskette (TEK) zur Beschreibung des individuellen Verbindungszustandes

zeigt ist. Diese Kette TEK enthält alle Zustände, die eine Verbindung einnehmen kann. Die Zustände sind durch Kreissymbole dargestellt. Die Zustandsübergänge, welche durch das Teilnehmerverhalten verursacht werden, sind mit durchgezogenen Linien gekennzeichnet. Gestrichelte Übergangslinien geben Übergänge an, die durch das Vermittlungssystem verursacht werden.

Von einigen Zuständen der Kette können mehrere Folgezustände erreicht werden. Damit sind die unterschiedlichen Kettendurchläufe möglich, die dem Systemverhalten und Teilnehmerverhalten entsprechen und dieses widerspiegeln. Die Parameter h_i an den durch Teilnehmer verursachten Zustandsübergängen, geben den Erwartungswert der Zeitdauer T_{Hi} bis zum Erreichen des Folgezustandes an. Der Parameter h_1 gibt beispielsweise den Erwartungswert der Zeitdauer T_{H1} zwischen Eintreffen der Wahaufforderung (WAF) beim Teilnehmer und dem Eintreffen der 1. Wählziffer (WZ1) beim Datenvermittlungsmodul an. Die Zeiten T_{Hi} werden einzeln durch ihre Verteilungsfunktion $VF(T_{Hi})$ bzw. ihren Erwartungswert $E[T_{Hi}] = h_i$ vorgegeben.

Bei systembedingten Zustandsübergängen stellen sich die Übergangszeiten systemzustandsabhängig während der Simulation ein und sind daher in der TEK nicht besonders gekennzeichnet.

Ein weiterer Parameter zur Charakterisierung von Zustandsübergängen, insbesondere bei Zuständen mit mehreren Folgezuständen, ist die Übergangswahrscheinlichkeit q_{ij} , mit

$$q_{ij} = P \{ \text{Folgezustand} = j \mid \text{Ausgangszustand} = i \}.$$

Die Übergangswahrscheinlichkeiten q_{ij} sind in Bild 5.5 Übersichtlichkeitshalber mit p_k gekennzeichnet, wobei k fortlaufend durchnummeriert wurde.

Die Übergangswahrscheinlichkeiten p_0, p_1, p_4 und p_6 beschreiben Verzweigungen bei systembedingten Übergängen. Solche Wahrscheinlichkeiten werden vorgegeben, wenn Systemkomponenten nicht in vollen Details und mit allen Einzelabläufen in dem Simulationsprogramm nachgebildet werden können, bedingt durch Einschränkungen der Programmlaufzeit oder durch Speicherplatzengpässe. So können z.B. Koppelnetzbaugruppen pauschal durch

ihre Blockierwahrscheinlichkeit für betrachtete Verkehrswerte nachgebildet werden, oder es kann eine einheitliche Teilnehmerbesetzt-Wahrscheinlichkeit vorgegeben werden.

Die übrigen Übergangswahrscheinlichkeiten in der angegebenen Teilrufereigniskette beschreiben das Teilnehmerverhalten. So wird ein Teilnehmer mit der Wahrscheinlichkeit p_2 nach der erhaltenen Wahaufforderung die 1. Ziffer senden, jedoch mit der Gegenwahrscheinlichkeit $1-p_2$ eine Auslösung des begonnenen Verbindungsaufbaus einleiten.

Eine im Teilrufereignis-Generator aktive Kette, beschrieben durch obige Parameter, ist durch einen Verbindungswunsch (VBW) eröffnet worden und wird nun, entsprechend dem vorgegebenen Teilnehmerverhalten und dem sich einstellenden Systemverhalten, durchlaufen. Eine solche aktive Teilrufereigniskette wird im Teilrufereignis-Generator gelöscht, wenn ein Endzustand erreicht ist, d.h. ein Zustand ohne Folgezustand.

Für die Untersuchung der Verkehrsleistung des Datenvermittlungsmoduls im System PILOT wurde die Teilrufereigniskette (Bild 5.5) eingesetzt, wobei die einzelnen systemabhängigen Parameter durch Messungen am Labormodell bestimmt wurden.

5.2.3. Simulationsprogramm

Basierend auf dem entwickelten Warteschlangenmodell des Datenvermittlungsmoduls und dem vorgestellten Teilrufereignis-Generator, wurde ein zeittreues und belegungstreues Simulationsprogramm in der Programmiersprache ALGOL erstellt.

Für den Teilrufereignis-Generator können dabei folgende Verkehrsparameter vorgegeben werden:

- Ankunftsprozeß der Verbindungswünsche von den Datenteilnehmer-Benutzerklassen, spezifiziert durch die Ankunftsrate der Verbindungswünsche λ_R und den Verteilungsfunktionstyp der Ankunftsabstände, einschließlich zugehöriger Parameter.

- Teilrufereignisketten, jeweils individuell für die Benutzerklassen mit Synchronbetrieb entsprechend der Empfehlung CCITT X.1 .
- Verkehrsanteile der einzelnen Verkehrsarten, d.h. Datenverkehr, Fernsprechverkehr, Internverkehr und Externverkehr.

Zur Beschreibung des Datenvermittlungsmoduls sind folgende Systemparameter festzulegen:

- Warteschlangenkapazitäten,
- Bustakt,
- Anzahl der Betriebsmittel (Wählzeichenempfänger, Unterkanäle für Externverkehr).
- Entscheidungstabellen für die Bedienungseinheiten DVP und ZST. Diese enthalten, für jedes ankommende Ereignis und jede ankommende Meldung, eine durch Messungen ermittelte Bedienzeit und weiterhin die Anzahl und Art der als Folge der Bearbeitung in die Ausgangswarteschlange einzutragenden Meldungen bzw. Befehle.

Eingabeparameter zur Beschreibung des Simulationslaufes sind:

- Anzahl der durchzuführenden Teilttests (ZTT),
- Teilttestdauer-Kriterium, hier die Anzahl der generierten Verbindungswünsche.

Nach Übernahme der Eingabeparameter werden im Simulationsprogramm zunächst Verträglichkeitsprüfungen dieser Parameter durch-

geführt, ehe der eigentliche Simulationslauf gestartet wird. Die Simulation selbst beginnt bei einem Systemzustand, der dadurch gekennzeichnet ist, daß sich keine Meldungen im System befinden und alle Betriebsmittel frei sind, dies wird als "leeres System" bezeichnet. Ein vollständiger Simulationslauf besteht aus einer unmittelbaren Folge von ZTT+1 Einzelläufen, die ihrerseits als Teilttests bezeichnet werden. Im ersten Teilttest, dem Teilttest Nr.0, soll ausgehend vom "leeren System" ein eingeschwungener Systemzustand erreicht werden. Alle weiteren Teilttests beginnen dann jeweils mit jenem Systemzustand, der beim Ende des vorherigen Teilttests bestand.

Messungen werden unabhängig bei jedem einzelnen Teilttest durchgeführt. Für einige Meßgrößen erfolgt zusätzlich noch eine übergreifende Messung über alle Teilttests. Teilttest Nr.0 beinhaltet den System-Einschwingvorgang, daher erfolgt bei ihm keine Messung.

Die Unterteilung eines Simulationslaufes in ZTT Einzelläufe erlaubt, aus den ZTT Meßwerten einer Meßgröße eine Angabe über die Vertrauenswürdigkeit der Meßergebnisse abzuleiten. Hierbei wird angenommen, daß die ZTT Meßwerte statistisch unabhängig voneinander sind und einer Normalverteilung genügen. Mit Hilfe der Student-T-Verteilung läßt sich dann ein Unsicherheitsbereich bzw. ein Vertrauensintervall für eine vorgebbare Aussagesicherheit angeben. Dieses Vertrauensintervall wird bei den Meßgrößen dieses Simulationsprogrammes für eine 95%ige Aussagesicherheit ermittelt. Es gibt an, in welchem Bereich um den ermittelten Meßwert der wahre Wert mit 95%iger Sicherheit liegen wird.

Als Meßgrößen sind in dem Simulationsprogramm unter anderem realisiert:

- Belastung der Bedienungseinheiten,
- Mittelwert und Verteilungsfunktion der Wartezeiten in den Eingangs- und Ausgangswarteschlangen,
- Verlust- und Blockierwahrscheinlichkeiten, bedingt durch Betriebsmittelengpässe.

Einzelergebnisse hierzu werden im folgenden Abschnitt gezeigt.

5.2.4. Ergebnisse

Die Leistungsfähigkeit des Datenvermittlungsmoduls wird anhand der Ergebnisse für vier unterschiedliche Parametermodelle (PM) vorgestellt. Die Einzelergebnisse sind jeweils als Funktion der Rufankunftsrate λ_R aufgetragen, wobei λ_R die Summenankunftsrate der Verbindungswünsche aller Benutzerklassen mit Synchronbetrieb nach CCITT X.1 ist. Für die verschiedenen Parametermodelle sind in Tabelle 5.2 die Verkehrsanteile der einzelnen Benutzerklassen angegeben. Bei dem Parametermodell PM1 liegen die Hauptanteile der Anrufraten im Bereich niedriger Bitraten, Benutzerklassen 3 und 4, während bei den übrigen Parametermodellen PM2 bis PM4 eine Verschiebung zu niedrigeren und insbesondere hohen Bitraten angenommen wurde, Benutzerklassen 3 und 7. Damit sollen die Auswirkungen unterschiedlicher Verkehrsaufteilungen gezeigt werden, denn über Anteile der einzelnen Benutzerklassen am Gesamtverkehrsdatenverkehr gibt es auch in der Literatur noch keine konkreten Aussagen. Zudem ist anzunehmen, daß die Aufteilung der Datenteilnehmer zu den verschiedenen Benutzerklassen (BK) in den nächsten Jahren voraussichtlich starken Veränderungen unterworfen sein wird.

Bei der Rufankunftsrate λ_R wurde ein Bereich bis zu 200 000 Verbindungswünschen pro Stunde (busy hour call attempts, BHCA) betrachtet. Dieser Wert liegt jedoch weit über den erwarteten Werten für das untersuchte System, selbst im Endausbau dieses Systems. Für den Endausbau des Vermittlungssystems PILOT ist eine Anzahl von 10 000 Fernsprech- und Datenteilnehmern geplant, bei einer Datenverkehr-Rufankunftsrate von etwa $\lambda_R=20/s$ bzw. $\lambda_R = 72 000/h$. Die Ergebnisse für größere Werte von λ_R zeigen das Systemverhalten im stationären Hochlastfall.

Die Ankunftsabstände T_A der Verbindungswünsche sind um den Mittelwert $E[T_A] = 1/\lambda_R$ negativ exponentiell verteilt, d.h. es gilt ein Poisson-Ankunftsprozess

$$P \{ T_A \leq t \} = 1 - e^{-t \cdot \lambda_R} .$$

	PM1	PM2	PM3	PM4
Anteil an der Anrufrate λ_R				
BK3 (600 bit/s)	25%	40%	40%	40%
BK4 (2400 bit/s)	50%	10%	10%	10%
BK6 (9600 bit/s)	20%	10%	10%	10%
BK7 (48000 bit/s)	5%	40%	40%	40%
Durchschaltezeit der Unterkanäle (ms)				
BK3 (600 bit/s)	1,8	1,8	1,8	3,9
BK4 (2400 bit/s)	3,9	3,9	3,9	3,9
BK6 (9600 bit/s)	12,0	12,0	12,0	3,9
BK7 (48000 bit/s)	57,0	57,0	57,0	3,9
Anzahl bereitgestellter Wählzeichenempfänger (WZE)	10	10	3	10
Anteil abgehender Verbindungswünsche für Externverbindungen	70%	70%	70%	70%

Tabelle 5.2 : Parametermodelle zur Untersuchung der Verkehrsleistung des Datenvermittlungsmoduls

Dabei liegt die Annahme zugrunde, daß die Anzahl der Datenteilnehmer sehr groß ist gegenüber der Anzahl verfügbarer Übertragungskanäle, womit die Rufankunftsrate λ_R konstant bleibt, unabhängig von der Anzahl bestehender Verbindungen.

Hinsichtlich der Art der Datenverbindungen wird für die Parametermodelle eine Aufteilung in 70% abgehende Externverbindungen und 30% abgehende Internverbindungen angenommen. Dies entspricht dem vorwiegenden Weitverkehrscharakter des Datenverkehrs.

Die weiteren Modellparameter der Tabelle 5.2 sind Systemparameter. Hierbei ist zum einen die Anzahl verfügbarer Wählzeichenempfänger zu nennen, die bei den Modellen PM1, PM2 und PM4 jeweils 10 beträgt. Bei dem Modell PM3 wird dieser Wert auf 3 reduziert, um als Maßnahme zur Überlastabwehr zu wirken. Dabei tritt auch bei sehr hohen Rufankunftsrate keine Überlastung der Steuerung DVP auf, es stellt sich jedoch die erwartete hohe Abweisungsrate von Datenverbindungswünschen ein.

Weitere Parameter sind die Bedienzeiten der einzelnen Meldungen und Teilrufereignisse. Hierbei wurden die im Labormodell gemessenen individuellen Programmlaufzeiten berücksichtigt, diese sind jedoch aufgrund ihrer Anzahl hier nicht im einzelnen aufgeführt / 98 /. Während diese Programmlaufzeiten unabhängig von den bedienten Benutzerklassen sind, zeigt sich bei den Durchschaltezeiten eine starke Abhängigkeit. Diese Durchschaltezeiten für die Herstellung und Auslösung einer Verbindung im Steuerspeicher der Koppelnetzeinheit (UKN) ist bedingt durch die Kommunikation des Steuerprozessors DVP mit der Koppelnetzeinheit. Bei den Parametermodellen PM1 bis PM3 sind die Werte der zunächst implementierten Programmversion berücksichtigt. Diese Werte stehen in Zusammenhang mit der Anzahl benötigter Unterkanäle pro Verbindung. Bei dem Parametermodell PM4 ist die einheitliche Zeit einer optimierten Programmversion eingesetzt, bei welcher die Steuerspeicherinformation für Verbindungen mit mehreren Unterkanälen in einem Ausgabebefehl übergeben und von der funktionell erweiterten Koppelnetzsteuerung ausgeführt wird.

Für die Parametermodelle der Tabelle 5.2 sollen anschließend Diagramme vorgestellt werden, welche Simulationsergebnisse bezüglich der Belastung des Datenvermittlungsprozessors (DVP), der auftretenden Wartezeiten und der Verteilungsfunktionen der Ankunftsabstände von Teilrufereignissen zeigen.

5.2.4.1. Belastung

Das erste Diagramm, Bild 5.6, zeigt die Belastung Y_{DVP} des Datenvermittlungsprozessors (DVP) als Funktion der Rufankunftsrate λ_R . Der Vergleich der Ergebniskurven der Parametermodelle PM2 und PM4 verdeutlicht die Auswirkung der Softwareoptimierung durch Reduzierung des Zeitbedarfes für die Kommunikation zwischen dem Prozessor DVP und dem Koppelnetz UKN. Der große Verkehrsanteil der Benutzerklasse 7 beim Modell PM2 führt bereits bei der Rufankunftsrate $\lambda_R = 42/s$ zu einer Vollausslastung der Steuerung. Dies ist begründet in der großen Durchschaltezeit für die Einrichtung der 80 Unterkanäle einer Verbindung dieser Benutzerklasse.

Einen günstigeren Kurvenverlauf gegenüber PM2 zeigen die Ergebnisse für die Modelle PM3 und PM4. Bei PM3 wird, bei gleicher Anrufratenaufteilung, wegen der reduzierten Anzahl bereitgestellter Wählzeichenempfänger ($WZE=3$) zwar ein Erreichen der Vollausslastung des DVP vermieden, diese Betriebsmittelreduzierung ist jedoch ausschließlich für den Fall der Überlastabwehr einzusetzen, da sich mit zunehmender Anrufrate eine beträchtliche Verschlechterung der Dienstgüte einstellt. Diese Verschlechterung ist an dem abflachenden Kurvenverlauf zu erkennen, denn es müssen mit steigender Anrufrate zunehmend Rufe abgewiesen werden. Demgegenüber wird mit dem Parametermodell PM4, durch die erreichte einheitliche Durchschaltezeit für alle Benutzerklassen, das Ergebnis und die Auswirkung der Softwareüberarbeitung gezeigt.

Für den Planungswert der Rufankunftsrate $\lambda_R = 20/s$ im Endausbau des Vermittlungssystems treten keine kritischen Belastungswerte auf.

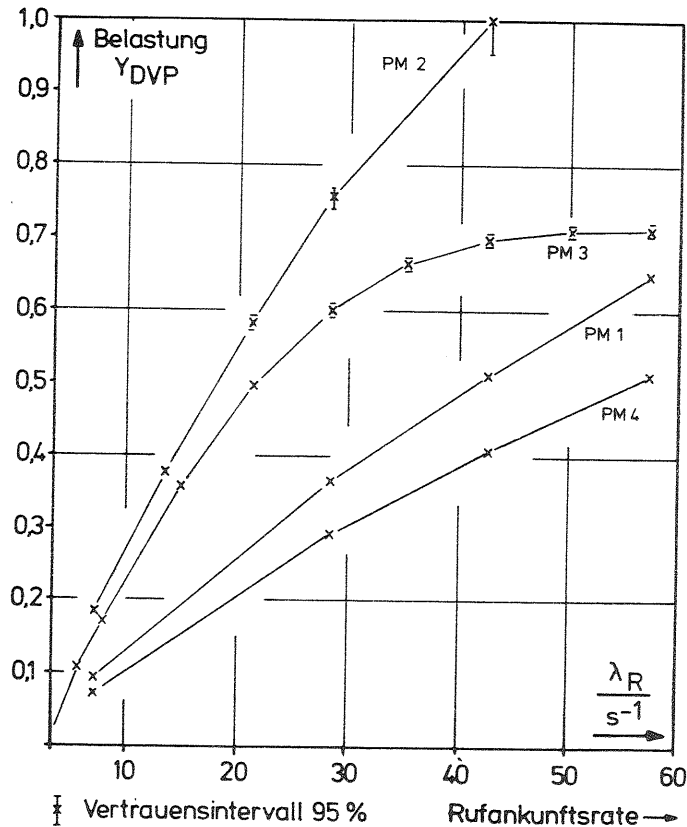


Bild 5.6 : Belastung des Datenvermittlungsprozessors im Datenvermittlungsmodul als Funktion der Rufankunftsrate λ_R

5.2.4.2. Wartezeiten

Die Diagramme der Bilder 5.7 bis 5.9 zeigen die mittleren Wartezeiten in den Warteschlangen als Funktion der Rufankunftsrate λ_R .

In Bild 5.7 ist die mittlere Wartezeit aller Ereignisse in der Eingangswarteschlange EWS1DVP dargestellt. Für die betrachteten Rufankunftsrate übersteigen die mittleren Wartezeiten bei den Modellen PM1 und PM4 den Wert von 3 ms nicht. Beim Modell PM2 zeigen sich die größten Wartezeiten, da sich der Verkehrsanteil der Benutzerklasse 7 (40%) und die Durchschaltezeit für 80 Unterkanäle nachteilig auswirken. Die Abflachung des Kurvenverlaufes oberhalb $\lambda_R = 28/s$ ist bedingt durch die zunehmende Abweisung von Verbindungswünschen wegen Betriebsmittelengpässen (Wählzeichenempfänger). Durch die zunehmende Abweisung sinkt gleichzeitig die Anzahl eintreffender Teilrufereignisse, die einem nicht abgewiesenen Verbindungswunsch nachfolgen würden. Beim Parametermodell PM3 zeigt sich dieser Einfluß durch die Einschränkung auf 3 WZE noch verstärkt.

Das Modell PM4 weist wegen der einheitlichen Durchschaltezeit die kleinsten mittleren Wartezeiten in der Eingangswarteschlange EWS1DVP auf.

Bei dem Modell PM1 zeigen sich die Auswirkungen der großen Durchschaltezeit für die Benutzerklasse 7 weniger deutlich, da diese Benutzerklasse nur einen geringen Verkehrsanteil aufweist. Die Verkehrshauptanteile liegen im Bereich der langsamen Benutzerklassen mit kleinen Durchschaltezeiten, daher zeigen sich Wartezeiten, die wenig über jenen des Modelles PM4 liegen.

Bevor die weiteren Ergebnisse vorgestellt und erläutert werden, soll zunächst die Kommunikation zwischen dem Datenvermittlungsprozessor DVP und der zentralen Steuerung ZST genauer betrachtet werden, vgl. hierzu nochmals Bild 5.4.

Vom DVP erzeugte Meldungen werden in die Ausgangswarteschlange AWS1DVP eingetragen. Mit dem Bustakt (10ms) werden alle Meldungen von der AWS1DVP in die Eingangswarteschlange EWSZST der zentralen Steuerung übertragen. Nach der Bearbeitung von Mel-

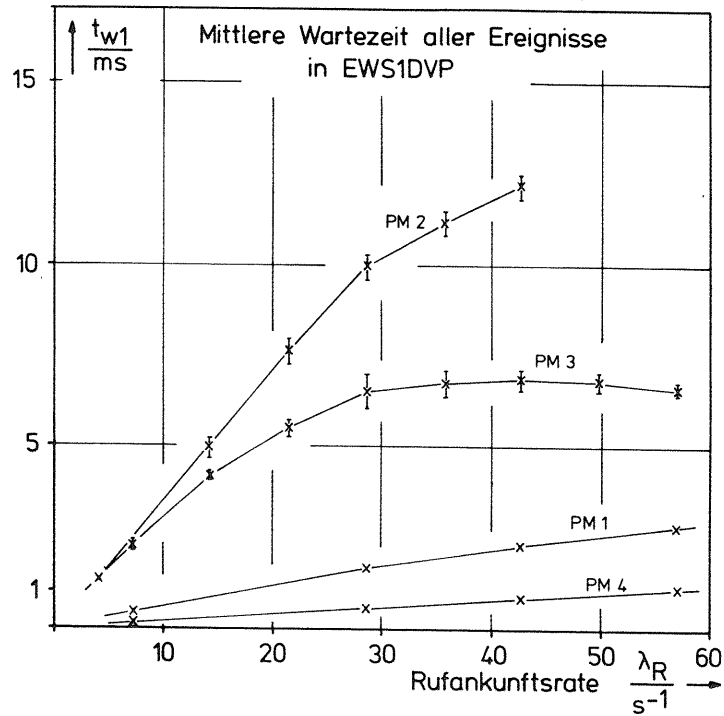


Bild 5.7 : Mittlere Wartezeit aller Ereignisse in der Eingangswarteschlange EWS1DVP

dungen in der zentralen Steuerung ZST werden von ihr Befehle in die Ausgangswarteschlange AWSZST eingetragen. Die Übergabe der Befehle von der AWSZST in die Eingangswarteschlange EWS2DVP erfolgt wiederum mit dem Bustakt.

Bezüglich den Wartezeiten in den angesprochenen Warteschlangen konnten im Simulationsprogramm aus Rechnerkapazitätsgründen nur noch drei Meßgrößen für die Ermittlung dieser Werte realisiert werden. Es wurden daher während der Simulation die Wartezeiten in der AWSZST, in der EWSZST und die Summenwartezeit in AWSZST + EWS2DVP gemessen. Die Zusammenfassung der Wartezeiten in AWSZST und EWS2DVP durch eine Meßgröße, entspricht der Messung

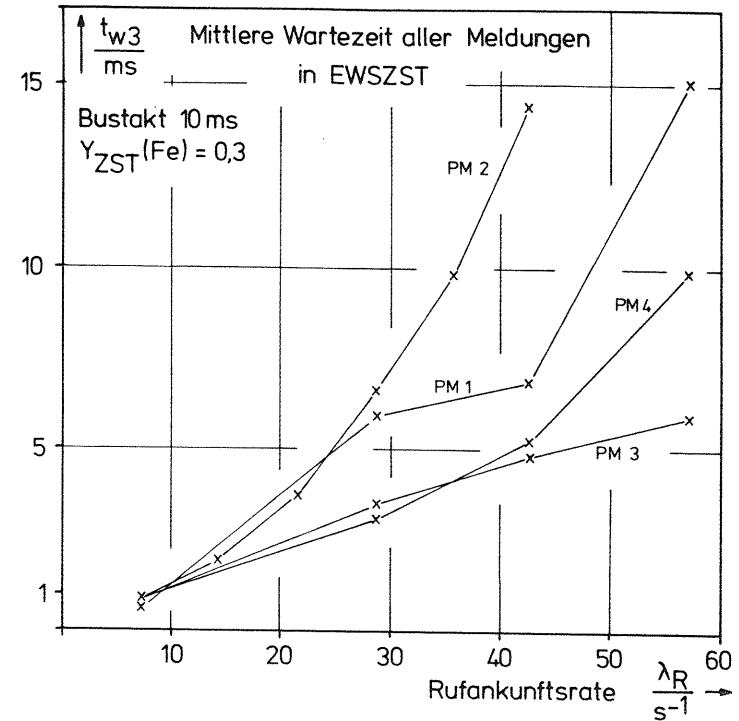


Bild 5.8 : Mittlere Wartezeit aller Meldungen in der Eingangswarteschlange EWSZST

der mittleren Zeitdauer vom generieren des Befehles in der zentralen Steuerung bis zum Bearbeitungsbeginn in der Steuerung DVP.

Für die mittleren Wartezeiten aller Meldungen in der Ausgangswarteschlange AWSZST wurden bei den unterschiedlichen Parametermodellen Zeitwerte im Bereich $5 \text{ ms} \pm 0,3 \text{ ms}$ ermittelt, dies entspricht der halben Bustaktdauer. Ein gesondertes Diagramm ist daher nicht vorgesehen.

Die mittleren Wartezeiten t_{w3} aller Meldungen in der Eingangswarteschlange EWSZST der zentralen Steuerung sind in Bild 5.8

dargestellt. Hierbei ist der Bustakt mit 10 ms Taktabstand und die Ankunft der Fernsprechereignisse in der Eingangswarteschlange EWSZST berücksichtigt. Der Poisson - Ankunftsprozess der Fernsprechereignisse erzeugt in der zentralen Steuerung eine Grundlast mit $Y_{ZST}(Fe) = 0,3$.

Der Verlauf der Ergebniskurve für die mittleren Wartezeiten des Parametermodells PM3 ist bedingt durch die hohe Abweisungsrate von Verbindungswünschen aufgrund der geringen Anzahl bereitgestellter Wählzeichenempfänger. Durch das Abweisen von Verbindungswünschen steigt die Anzahl pro Zeiteinheit eintreffender Teilrufereignisse nicht proportional mit der Rufankunftsrate. Dies führt zu dem Abflachen des Kurvenverlaufes im Bereich hoher Rufankunftsrate.

Die Kurven für die mittleren Wartezeiten der übrigen Parametermodelle zeigen den Einfluß der unterschiedlichen Durchschaltezeit und der veränderten Verkehrsanteile der einzelnen Benutzerklassen. Die Durchschaltezeiten von 12 ms bzw. 57 ms bei den Benutzerklassen 6 bzw. 7 führen dazu, daß Bustakte nicht für die Übergabe von Meldungen genutzt werden können, wenn eine Durchschaltung im DVP ausgeführt wird. Damit erhöht sich die mittlere Gruppengröße, d.h. die mittlere Anzahl von Meldungen die bei einem wirksamen Bustakt von der AWSZST an die EWSZST übergeben wird. Hieraus folgt wiederum eine steigende mittlere Wartezeit in der Eingangswarteschlange EWSZST.

Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt bei dem Modell PM2. Durch den Anteil (40%) der Benutzerklasse 7 an der Rufankunftsrate und dem Wählziffernabstand von 0,166 ms bei dieser Benutzerklasse wirkt sich die große Durchschaltezeit (57ms) besonders stark in einem Anstieg der mittleren Gruppengröße und in großen Wartezeiten aus.

Das Parametermodell PM4 zeigt bei gleicher Verkehrsaufteilung die günstigsten mittleren Wartezeiten. Durch die einheitlichen Durchschaltezeiten, die die Bustaktdauer nicht überschreiten, kann jeder Bustakt zum Meldungsaustausch genutzt werden.

Bei der mittleren Wartezeit des Modelles PM1 wirkt sich die Durchschaltezeit kaum aus, da die Benutzerklasse 7 einen sehr

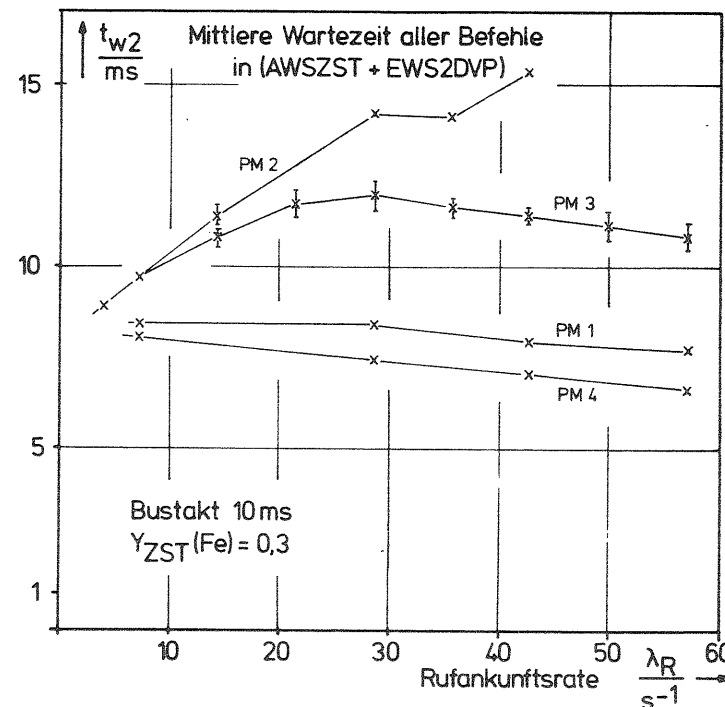


Bild 5.9 : Mittlere Summenwartezeit aller Befehle in den Warteschlangen (AWSZST + EWS2DVP)

geringen Verkehrsanteil aufweist.

Bild 5.9 zeigt die mittlere Wartezeit t_{w2} aller Befehle, die von der zentralen Steuerung an den Steuerprozessor DVP gesendet werden. Die Wartezeit t_{w2} umfaßt die Wartezeit in der Ausgangswarteschlange AWSZST bis zur Übergabe an EWS2DVP durch den Bus, sowie die folgende Wartezeit in der Eingangswarteschlange EWS2DVP selbst. Die Tendenzen der Kurven und die Relationen zueinander entsprechen jenen der zuvor gezeigten Diagramme. Sie sind auch in denselben Ursachen begründet.

Bei sehr kleinen Rufankunftsrate und damit verbunden einer geringen Anzahl von Meldungen, die von der zentralen Steuerung

bearbeitet werden müssen, ergeben sich mittlere Wartezeiten nahe der Bustaktdauer. Dabei werden die Meldungen mit dem Bustakt in die Eingangswarteschlange EWSZST eingetragen und können oft sofort bearbeitet werden. Die erzeugten Befehle müssen jedoch die Restzeit bis zum nächsten Taktzeitpunkt in der Ausgangswarteschlange AWSZST verweilen. Mit zunehmendem Verkehr steigt auch die Anzahl von Befehlen, die zwischen zwei Taktzeitpunkten von der zentralen Steuerung in die Ausgangswarteschlange AWSZST eingetragen werden. Gleichzeitig sinkt jedoch die mittlere Wartezeit aller Befehle bis zur Übergabe mit dem folgenden Bustakt. Dies zeigt sich deutlich bei den Ergebniskurven für die Parametermodelle PM1 und PM4.

Bei den Modellen PM2 und PM3 wirken sich besonders die Wartezeiten in der Eingangswarteschlange EWS2DVP auf den Kurvenverlauf aus. Sie führen zu mittleren Summenwartezeiten (AWSZST + EWS2DVP), die über 10 ms liegen. Begründet ist dies in den Durchschaltezeiten und den Verkehrsanteilen der Benutzerklasse 7 bei diesen Parametermodellen.

5.2.4.3. Ereignis - Ankunftsprozeß

Die weiteren Diagramme in den Bildern 5.10 und 5.11 zeigen den Ankunftsprozeß der Teilrufereignisse in der Eingangswarteschlange EWS1DVP. Es sind die Verteilungen für die Parametermodelle PM1 und PM4 und dabei jeweils für unterschiedliche Rufankunftsrate dargestellt. Bei den Kurven für niedrige Rufankunftsrate, d.h. etwa $\lambda_R = 7,125/s = 25600/h$, sind besonders deutlich die Ankunftsabstände zwischen den Wählziffern der verschiedenen Benutzerklassen zu erkennen. Dies ist bedingt in dem blockweisen Übertragen der Ziffern einer Rufnummer, was der Ankunft der Wählziffern eines Rufes mit konstantem Ankunftsabstand entspricht, vgl. hierzu Tabelle 5.3 .

Die Annahme eines Poisson-Prozesses, d.h. negativ exponentiell verteilter Ankunftsabstände der Teilrufereignisse, wäre bei einer analytischen Untersuchung des Datenvermittlungsmoduls für $\lambda_R = 7,125/s$ nicht zulässig, siehe hierzu die gestrichelt in den Bildern eingetragenen Vergleichskurven. Mit steigender

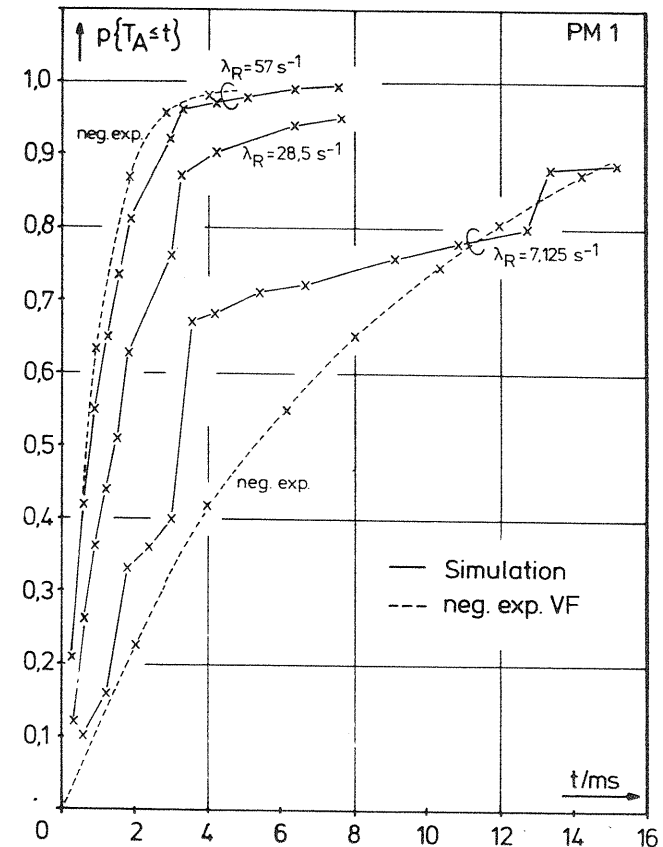


Bild 5.10 : Verteilungsfunktion der Ankunftsabstände der Teilrufereignisse in EWS1DVP für das Parametermodell PM1

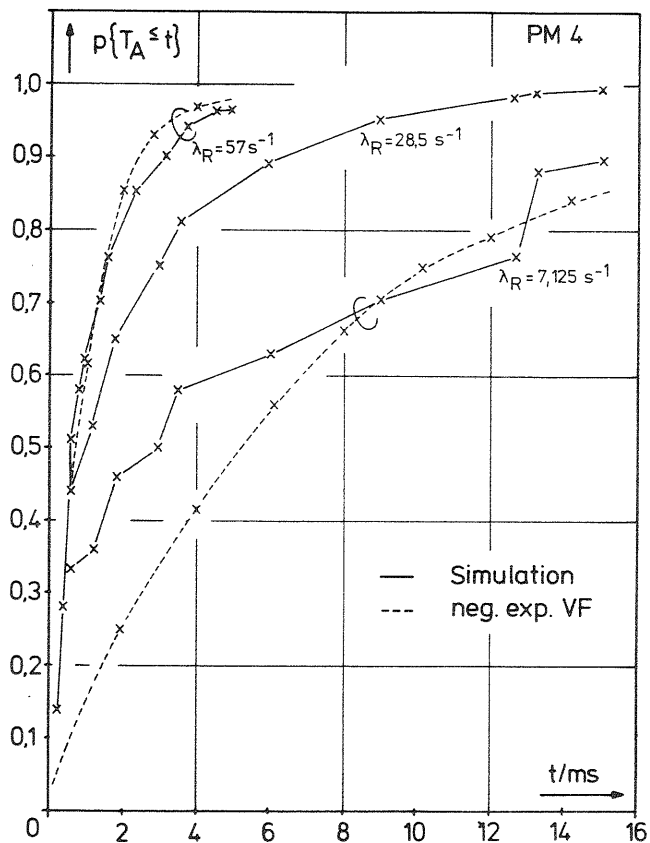


Bild 5.11 : Verteilungsfunktion der Ankunftsabstände der Teilrufereignisse in EWSIDVP für das Parametermodell PM4

Rufankunftsrate λ_R erfolgt, durch die zunehmende Überlagerung von einzelnen Teilrufereignisfolgen, eine Annäherung an eine neg. exp. Verteilung, siehe die Vergleichskurven bei der Rufankunftsrate $\lambda_R = 57/s = 205000/h$. Dieser Effekt ist durch ein theoretisches Ergebnis aus der Theorie der Punktprozesse belegt, welches besagt, daß die Überlagerung vieler beliebig verteilter Einzelprozesse - im Grenzfall unendlich vieler Einzelprozesse - einen resultierenden Poisson-Prozeß ergibt. Dies berechtigt unter gegebenen Voraussetzungen die in der Verkehrstheorie häufig zugrundegelegte Poisson-Verteilung.

Ein Vergleich der Verteilungen der Bilder 5.10 und 5.11 für gleiche Rufankunftsrate zeigt den Einfluß der Verkehrsanteile der einzelnen Benutzerklassen. Die Anteilserhöhung auf 40% bei den Benutzerklassen BK3 und BK7 im Parametermodell PM4 (Bild 5.11), zeigen in den Kurven bei $t \approx 13ms$ und bei $t < 1ms$ deutliche Auswirkungen und Unterschiede im Vergleich mit Bild 5.10. Die Senkung des Verkehrsanteils auf 10% bei den Benutzerklassen BK4 und BK6 zeigen im Vergleich der Diagramme Auswirkungen bei den Zeiten $t \approx 1,5ms$ und $t \approx 3,5ms$ und zwar durch kleine Wahrscheinlichkeitsdichten in Bild 5.11.

Bei den höheren Werten der Rufankunftsrate λ_R kann der Einfluß der Verkehrsaufteilung auf die einzelnen Benutzerklassen vernachlässigt werden.

Benutzerklasse	Bitrate (bit/s)	(8+2)-Envelope-Rate (Envelope/s)	Envelope-Dauer (ms)
BK 3	600	75	13,33
BK 4	2400	300	3,33
BK 6	9600	1200	0,83
BK 7	48000	6000	0,16

Tabelle 5.3 : Bitrate und Wortabstand bei den Benutzerklassen nach CCITT X.1

5.2.5. Bewertung der Ergebnisse

Mit den erzielten Ergebnissen bei der Untersuchung zur Verkehrsleistung des Datenvermittlungsmoduls konnte die Funktionsfähigkeit dieser Einheit belegt werden. Dies gilt besonders für die erwarteten Verkehrswerte im Endausbau des Labor-Vermittlungssystems PILOT. Weiterhin wurde die vorteilhafte Auswirkung der Software-Überarbeitung bei Mehrkanal-Verbindungen gezeigt.

Durch die rein vermittlungstechnischen Aufgaben für den Verbindungsaufbau und die Verbindungsauslösung treten keine kritischen Belastungswerte der Steuerung auf. Die mittleren Wartezeiten in den einzelnen Warteschlangen enthalten neben einem verkehrsbedingten Anteil auch einen durch die Systemstruktur bedingten Anteil (getakteter Bus). Für das Parametermodell PM4, mit einheitlichen Durchschaltezeiten, zeigen die Wartezeit-Ergebniskurven jeweils den günstigsten Verlauf.

Durch die vorgestellten Ergebnisse ist zugleich angedeutet, daß bei dem Vermittlungssystem PILOT für weitere Verwaltungs- und Testfunktionen ausreichend Kapazität verfügbar ist.

5.3. Untersuchung der Verkehrsleistung des Koppelnetzes bei Einsatz von CCITT X.51

Die Bitströme der Benutzerklassen mit Synchronbetrieb nach CCITT X.1 (mit 600 bit/s bis 48000 bit/s), können übertragungstechnisch entsprechend der Empfehlung CCITT X.51 zusammengefaßt werden. Das vorgegebene Multiplexschema ist in dem entwickelten Vermittlungssystem PILOT bei den Datenzeitlagen der PCM-Systeme zwischen dem ausgelagerten Vermittlungsmodul und der Vermittlungsstelle implementiert. Die Anzahl notwendiger Datenzeitlagen, bei bekannten Angebotswerten A_i der einzelnen Benutzerklassen und bei vorgegebener Verlustwahrscheinlichkeit B_i , kann den nachfolgenden und den in /97/ gezeigten Ergebnisdiagrammen entnommen werden.

Bei den Ergebnissen wurden unterschiedliche Unterkanal-Suchalgorithmen berücksichtigt, die einen Freiheitsgrad in der Empfehlung CCITT X.51 bilden, da hierüber keine Vorgabe durch die Empfehlung erfolgt. Die Ergebnisse zeigen neben den Auswirkungen der Unterkanal-Suchalgorithmen (UKSALG) auch den Einfluß unterschiedlicher Verkehrsanteile der einzelnen Benutzerklassen.

Zunächst soll jedoch das auf den Abnehmerleitungen des Koppelnetzes (MBKN) eingesetzte Multiplexschema erläutert werden.

5.3.1. Multiplexschema CCITT X.51

In der Empfehlung CCITT X.51 wird eine Multiplexbitrate von 64 kbit/s betrachtet, die in 80 Unterkanäle (UK) mit jeweils 750 bit/s unterteilt ist. Jede Benutzerklasse nach CCITT X.1 benötigt entsprechend ihrer Nutzbitrate eine feste Anzahl von Unterkanälen, siehe Tabelle 5.4. Diese Unterkanäle sind äquidistant im Rahmen der 80 Unterkanäle verteilt, wobei die Folge der Unterkanäle für eine Verbindung einer Benutzerklasse ebenfalls in Tabelle 5.4 angegeben ist.

Benutzerklasse nach CCITT X.1	Nutzbitrate (kbit/s)	Anzahl UK pro Verbindung	Folge der UK
3	0,6	1	jeder 80.
4	2,4	4	jeder 20.
5	4,8	8	jeder 10.
6	9,6	16	jeder 5.
7	48,0	80	jeder.

Tabelle 5.4 : Unterkanalfolge bei den Benutzerklassen

In CCITT X.51 ist festgelegt, welche nichtbelegten Unterkanäle bei Bedarf den einzelnen Benutzerklassen zugewiesen werden dürfen. Dabei werden die 80 Unterkanäle in 5 Gruppen zu je 16 Unterkanälen gegliedert. Eine Gruppe darf jedoch nur Verbindungen einer Benutzerklasse enthalten. Damit kann eine Gruppe maximal belegt werden durch:

- 1 Verbindung der Benutzerklasse 6 ,
- oder 2 Verbindungen der Benutzerklasse 5 ,
- oder 4 Verbindungen der Benutzerklasse 4 ,
- oder 16 Verbindungen der Benutzerklasse 3 .

Die Benutzerklasse 7 nimmt eine Sonderstellung ein, da sie für eine Verbindung alle 80 Unterkanäle und damit gleichbedeutend eine PCM-Zeitlage mit 64 kbit/s benötigt.

Die Empfehlung CCITT X.51 enthält ein Multiplexschema, jedoch keine Angabe über den Algorithmus, entsprechend dem die Unterkanäle für eine Verbindung zu suchen sind. Solche Unterkanal-Suchalgorithmen können jedoch zu unterschiedlichen Verlustwahrscheinlichkeiten bei gleichem Verkehrsaufkommen führen und benötigen gleichzeitig spezifische Suchzeiten pro Algorithmus. Solche Algorithmen sollen daher nachfolgend betrachtet werden.

5.3.2. Unterkanal - Suchalgorithmen

Ein Unterkanal - Suchalgorithmus (UKSALG) wird durch den Belegungswunsch einer Benutzerklasse aktiviert. Bei einem momentanen Belegungszustand der Unterkanäle muß der Unterkanal-Suchalgorithmus

eine Zeitlage oder eine Gruppe suchen, in der die für eine Verbindung notwendige Anzahl von Unterkanälen belegbar ist.

Der eigentliche Suchvorgang kann dabei nach unterschiedlichen Strategien erfolgen, wobei verschiedene Anfangssuchpositionen vorgegeben sein können und weiterhin die Unterkanäle nach besonderen Merkmalen gesucht werden.

Mit GN wird das geordnete Absuchen der Gruppen bezeichnet, welches ausgehend von einer fest definierten, immer gleichen Anfangsposition (Nullstellung) erfolgt.

Mit GZ wird das geordnete Absuchen der Gruppen bezeichnet, wobei die Absuche bei einer " zufälligen " Anfangsposition beginnt.

Innerhalb GN und GZ kann nochmals eine Unterteilung entsprechend weiterer drei Suchmerkmale durchgeführt werden, dies sind:

UKSALG G x 1 Die Unterkanalsuche erfolgt ohne Berücksichtigung des Gesamtbelegungszustandes, d.h. es wird die nächste Gruppe gesucht, in der eine Verbindung möglich ist.

UKSALG G x 2 Es wird nach der nächsten teilbelegten Gruppe gesucht. Als teilbelegte Gruppe gilt dabei eine Gruppe, in der für die betrachtete Benutzerklasse noch eine Verbindung möglich ist, wobei aber in dieser Gruppe schon Verbindungen bestehen.

Ist keine Belegung dieser Art möglich, wird nach der nächsten freien Gruppe gesucht.

UKSALG G x 3 Es wird nach der teilbelegten Gruppe mit größter Anzahl von Belegungen der betrachteten Benutzerklasse gesucht. Ist keine teilbelegte Gruppe vorhanden, so wird nach der nächsten freien Gruppe gesucht.

Bei den drei angeführten Suchkriterien kann die Anfangsposition für den Suchvorgang die Nullstellung oder ein zufällig ermittelter Unterkanal sein, d.h. an der Position x kann N oder Z eingesetzt werden. Eine Zusammenstellung aller Unterkanal-Suchalgorithmen zeigt Tabelle 5.5 .

Anfangsposition	Suche nach	UKSALG
zufällig	nächster teilbelegter oder freier Gruppe	G Z 1
Nullstellung	nächster teilbelegter oder freier Gruppe	G N 1
zufällig	nächster teilbelegter Gruppe	G Z 2
Nullstellung	nächster teilbelegter Gruppe	G N 2
zufällig	maximal teilbelegter Gruppe	G Z 3
Nullstellung	maximal teilbelegter Gruppe	G N 3

Tabelle 5.5 : Unterkanal - Suchalgorithmen

5.3.3. Verkehrsmodelle

Der Einfluß der Empfehlung CCITT X.51 soll für unterschiedliche Angebotsanteile der einzelnen Benutzerklassen am Gesamt-Datenverkehrsangebot A_D untersucht werden. Die dabei betrachteten Verkehrsmodelle (VM) sind in Tabelle 5.6 zusammengestellt und zeigen die Angebotsverhältnisse der einzelnen Benutzerklassen. Die Verschiebung der Hauptanteile am Gesamt-Datenverkehrsangebot von Benutzerklassen mit hohen Bitraten zu jenen mit niedriger Bitrate, soll in den Ergebnissen der Untersuchung auch den Einfluß solcher Anteilsverlagerungen zeigen.

Verkehrsmodell	Verhältnis der Angebote der Benutzerklassen			
	B K 3	B K 4	B K 6	B K 7
VM1	1	1	4	4
VM2	1	1	4	-
VM3	4	4	1	1
VM4	4	4	1	-
VM5	4	1	1	4
VM6	4	1	1	-
VM7	1	4	4	1
VM8	1	4	4	-
VM9	1	1	1	1
VM10	1	1	1	-

Tabelle 5.6 : Verhältnisse der Angebote der Benutzerklassen

5.3.4. Beziehungen zwischen Verkehrsgrößen

Um die später gezeigten Ergebnisse auf Verkehrsparameter umsetzen zu können, die z.B. durch Messungen bei realem Datenverkehr ermittelt wurden, sollen in diesem Abschnitt die Beziehungen zwischen den einzelnen Verkehrs- und Systemparametern zusammengestellt werden. In Bild 5.12 wird der Ausgangspunkt verdeutlicht. Dabei wird einem Abnehmersystem mit z Datenzeitlagen der Datenverkehr mit dem Gesamtangebot A_D zugeführt. Dieses Gesamtangebot setzt sich aus den Teilangeboten A_1 bis A_k der k Benutzerklassen zusammen. Es gilt:

$$A_D = \sum_{i=1}^k A_i \quad (3.1)$$

Bei den Teilangeboten A_i werden jeweils negativ exponentiell verteilte Ankunftsabstände der Verbindungswünsche (T_{Ai}) und ebenso verteilte Belegungsdauern (T_{Bi}) angenommen. Die Anruf-rate λ_i der Benutzerklasse i ergibt sich zu

$$\lambda_i = \frac{1}{E[T_{Ai}]} \quad (3.2)$$

und die Enderate ϵ_i der Benutzerklasse i ergibt sich zu

$$\epsilon_i = \frac{1}{E[T_{Bi}]} \quad (3.3)$$

Das Angebot der Benutzerklasse i ist der Quotient der beiden Raten und ist definiert als

$$A_i = \frac{\lambda_i}{\epsilon_i} \quad (3.4)$$

Der Anteil des Angebotes A_i der Benutzerklasse i am Gesamtangebot A_D wird durch den Verkehrsanteilsfaktor c_i angegeben. Damit gelten die beiden folgenden Beziehungen:

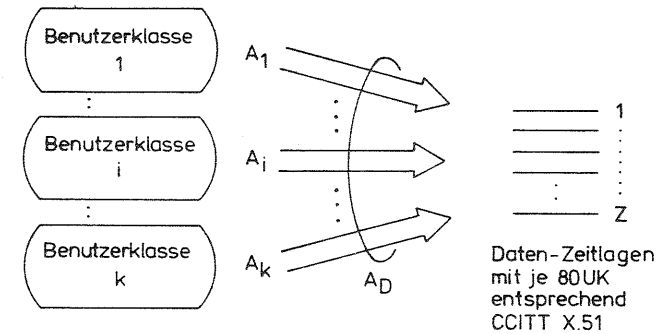


Bild 5.12 : Abnehmerbündel und Verkehrsangebote

$$A_D \cdot c_i = A_i \quad (3.5)$$

und

$$\sum_{i=1}^k c_i = 1 \quad (3.6)$$

Von der Benutzerklasse i werden pro Verbindung u_i Unterkanäle belegt. Die mittlere Anzahl notwendiger Unterkanäle $E[u]$ für eine Verbindung, bei k Benutzerklassen, ermittelt sich zu:

$$E[u] = \sum_{i=1}^k c_i \cdot u_i \quad (3.7)$$

Mit dieser Beziehung läßt sich unmittelbar das Angebot pro Unterkanal (A_u) angeben.

$$A_u = \frac{A_D}{z \cdot 80} \cdot E[u] \quad (3.8)$$

Dieses Angebot pro Unterkanal (A_u) ist bestimmt durch den Anteil des Gesamtangebotes (A_D) an jeden der $z \cdot 80$ Unterkanäle, wobei jedoch bei jeder Verbindung im Mittel $E[u]$ Unterkanäle gleichzeitig belegt werden.

Bei vorgegebener Verkehrsaufteilung und für ein festgelegtes Angebot pro Unterkanal (A_u) läßt sich mit den Gleichungen (3.1) bis (3.8) die Ankunftsrate λ_i der Benutzerklasse i bestimmen.

$$\lambda_i = A_u \cdot z \cdot 80 \cdot \varepsilon_i \cdot c_i \frac{1}{\sum_{j=1}^k c_j u_j} \quad (3.9)$$

Durch Umformung ergibt sich die Enderate ε_i .

$$\varepsilon_i = \frac{\lambda_i \sum_{j=1}^k c_j u_j}{A_u \cdot z \cdot 80 \cdot c_i} \quad (3.10)$$

Auf dem Abnehmersystem stellt sich andererseits die Gesamtbelastung Y_D ein. Wird die Belastung pro Unterkanal mit Y_u gekennzeichnet, so gilt die Beziehung:

$$Y_u \cdot z \cdot 80 = Y_D \quad (3.11)$$

Für die erzeugte Belastung durch die Benutzerklasse i gilt:

$$Y_i = A_i (1 - B_i) u_i \quad (3.12)$$

Da aber Y_D als Summe der Einzelbelastungen Y_i dargestellt werden kann,

$$Y_D = \sum_{i=1}^k Y_i \quad (3.13)$$

ergibt sich:

$$Y_D = \sum_{i=1}^k A_i (1 - B_i) u_i \quad (3.14)$$

Mit den Gleichungen (3.5), (3.7), (3.8) und (3.11) kann eine Beziehung zwischen der Belastung pro Unterkanal (Y_u) und dem Angebot pro Unterkanal (A_u) angegeben werden.

$$Y_u = A_u \frac{\sum_{i=1}^k c_i (1 - B_i) u_i}{\sum_{i=1}^k c_i u_i} \quad (3.15)$$

Für das Gesamtangebot A_D und die Gesamtbelastung Y_D gilt entsprechend:

$$Y_D = A_D \sum_{i=1}^k c_i (1 - B_i) u_i \quad (3.16)$$

Mit diesen Beziehungen sind alle Verknüpfungen der Verkehrs- und Systemparameter $\lambda_i, \varepsilon_i, A_i, A_u, A_D, Y_i, Y_u, Y_D, B_i$ und c_i aufgeführt. Da bei den Ergebnissen, die im nachfolgenden Abschnitt vorgestellt werden, die Einzelverluste B_i der k Benutzerklassen als Funktion der Unterkanalbelastung Y_u dargestellt sind, lassen sich weitere Verkehrsparameter über die obigen Beziehungen bestimmen.

5.3.5. Ergebnisse

Bei der durchgeführten Untersuchung wurden die Verkehrsaufteilungen der in Tabelle 5.6 aufgeführten Verkehrsmodelle, die in Tabelle 5.5 angegebenen Unterkanal-Suchalgorithmen und zusätzlich unterschiedliche Zeitlagenzahlen betrachtet. Die erzielten Ergebnisse sind in / 97 / zusammengestellt. Nachfolgend werden jeweils anhand eines Ergebnisdiagrammes die Auswirkungen der einzelnen Parameter erläutert.

5.3.5.1. Einfluß der Verkehrsaufteilung

Bei der Untersuchung, welchen Einfluß unterschiedliche Verkehrsaufteilungen durch die auftretenden Verlustwahrscheinlichkeiten der einzelnen Benutzerklassen zeigen, wurde festgestellt, daß keine signifikanten Auswirkungen auftreten. Für die Untersuchung wurden dabei einheitliche Enderaten ξ angenommen, dies entspricht einer Bitraten-proportionalen Zuordnung der bei jeder Benutzerklasse in der Datenphase übertragenen Datenmenge.

Bild 5.13 zeigt, für 8 bereitgestellte Zeitlagen und den Unterkanal-Suchalgorithmus GN3, die Verlustwahrscheinlichkeit der Benutzerklasse 7 als Funktion der Unterkanalbelastung Y_u .

Die Benutzerklasse 7 erfährt jeweils den höchsten Verlust aller betrachteten Benutzerklassen. Die Ergebnisse der einzelnen Verkehrsmodelle sind durch unterschiedliche Symbole dargestellt, die zugehörige Verkehrsaufteilung ist in der im Bild enthaltenen Tabelle durch die Verkehrsanteilsfaktoren c_i angegeben. Die Verlustkurven der weiteren betrachteten Verkehrsaufteilungen liegen im Bereich der gezeigten Ergebnisse, sind jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet.

Der Einfluß der Verkehrsaufteilung kann damit, bezogen auf vergleichbare Unterkanalbelastungen Y_u , als vernachlässigbar eingeordnet werden.

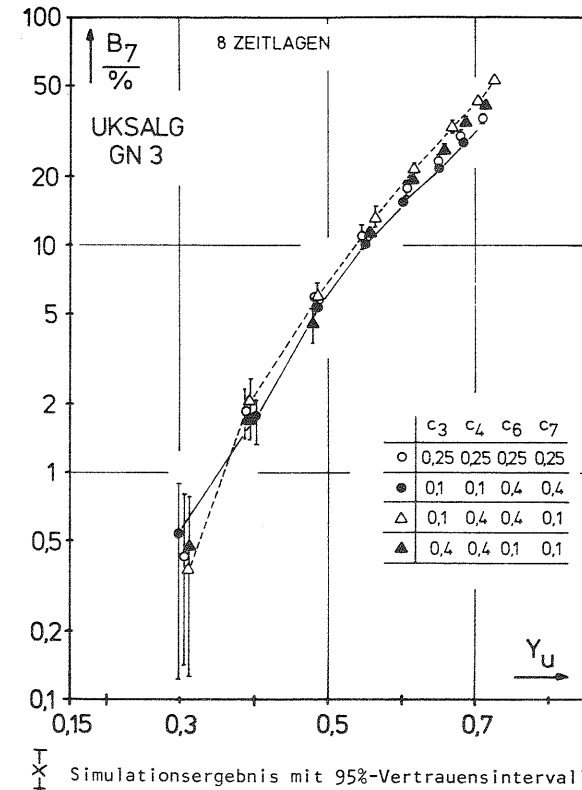


Bild 5.13 : Einfluß der Verkehrsaufteilung, gezeigt am Verlust der Benutzerklasse 7 bei 8 Zeitlagen und UKSALG GN3.

5.3.5.2. Einfluß der Zeitlagenanzahl

Der Einfluß der Anzahl bereitgestellter Zeitlagen ist in Bild 5.14 auf der nächsten Seite gezeigt. Dabei ist der Verlust der Benutzerklasse 6 für die Zeitlagenzahlen 2,4 und 8 als Funktion der Unterkanalbelastung aufgetragen. Die Ergebniskurven gelten für Verkehrsgleichverteilung zwischen den betrachteten Benutzerklassen BK3, BK4, BK6 und für den Unterkanal-Suchalgorithmus GN3.

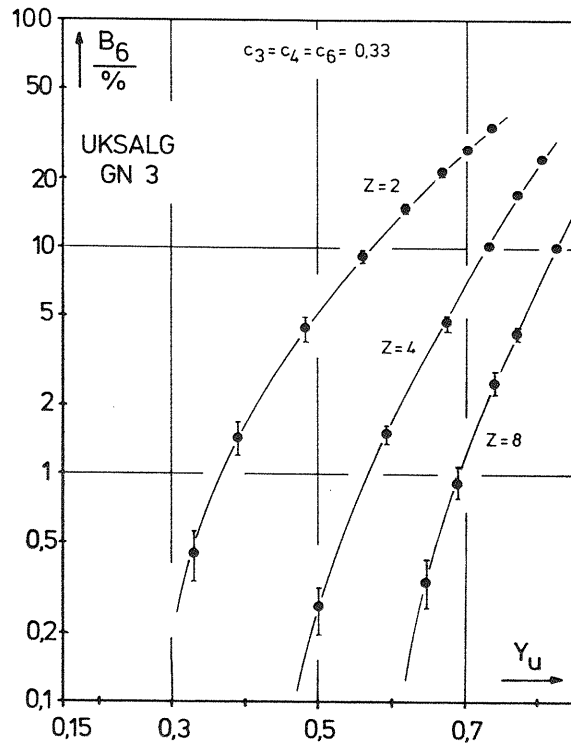


Bild 5.14 : Verlust der Benutzerklasse 6 bei unterschiedlicher Zeitlagenanzahl z

Die Kurven zeigen, bei gleicher Unterkanalbelastung Y_u , einen mit zunehmender Zeitlagenanzahl sinkenden Verlust. Dieser Effekt ist als Bündelungsgewinn bekannt. Er ist begründet in der proportional zur Zeitlagenanzahl z steigenden Anzahl im Mittel freier Unterkanäle u_f , wobei gilt

$$u_f = z \cdot 80 (1 - Y_u) .$$

Aufgrund der statistisch schwankenden Ankunftsabstände des Ankunftsprozesses sowie Belegungsdauern des Bedienprozesses bei den einzelnen Benutzerklassen und der damit verbundenen Schwan-

kung der Verkehrsaufteilung, ist bei zunehmender Anzahl freier Unterkanäle eine bessere gegenseitige Aushilfe möglich. Diese bessere Aushilfe bei Belastungsspitzen durch einzelne Benutzerklassen führt mit steigender Zeitlagenanzahl zu niedrigeren Verlustwerten und flacheren Verlustkurven.

5.3.5.3. Verlustanteile der Benutzerklassen

In Bild 5.15 sind Verlustkurven für vier betrachtete Benutzerklassen gezeigt. Es gilt dabei, wie im vorangegangenen Diagramm, Verkehrsgleichverteilung zwischen den Benutzerklassen. Es werden vier Zeitlagen betrachtet und der Unterkanal-Suchalgorithmus GN3 wird, wie in allen bisher vorgestellten Diagrammen, aus Gründen der Vergleichbarkeit beibehalten. Die Benutzerklasse 7 besitzt die größte Verlustwahrscheinlichkeit aller Benutzerklassen, die Einzelwerte liegen zudem über den korrespondierenden Vergleichsergebnissen für 8 Zeitlagen, siehe Bild 5.13 .

Die Verlustkurven der Benutzerklassen BK3, BK4 und BK6 zeigen einen nicht immer monoton steigenden Kurvenverlauf, sondern weisen starke Schwankungen auf, bedingt durch die in der Empfehlung CCITT X.51 enthaltene Vorschrift für homogen belegte Gruppen mit jeweils 16 Unterkanälen.

Für sehr kleine Angebotswerte erfolgen die Belegungen der Benutzerklassen BK3, BK4 und BK6 innerhalb einer Zeitlage und für die Benutzerklasse 7 stehen 3 Zeitlagen zur Verfügung. Mit steigenden Angebotswerten werden von den Benutzerklassen BK3 bis BK6 zunehmend Verbindungen in einer weiteren Zeitlage aufgebaut. Damit stehen der Benutzerklasse 7 nur noch zwei Zeitlagen zur Verfügung. Eine Zeitlage kann dabei von der Benutzerklasse 7 nicht belegt werden, wenn eine Verbindung einer anderen Benutzerklasse besteht, also minimal ein Unterkanal belegt ist. Andererseits bedeutet dies für die Benutzerklassen BK3 bis BK6, daß ihre effektiv erreichbare Gruppen- und Unterkanalanzahl überproportional zum Verkehrsanteil ist. Die Verlustkurven steigen in diesen Bereichen weniger stark oder fallen sogar ab.

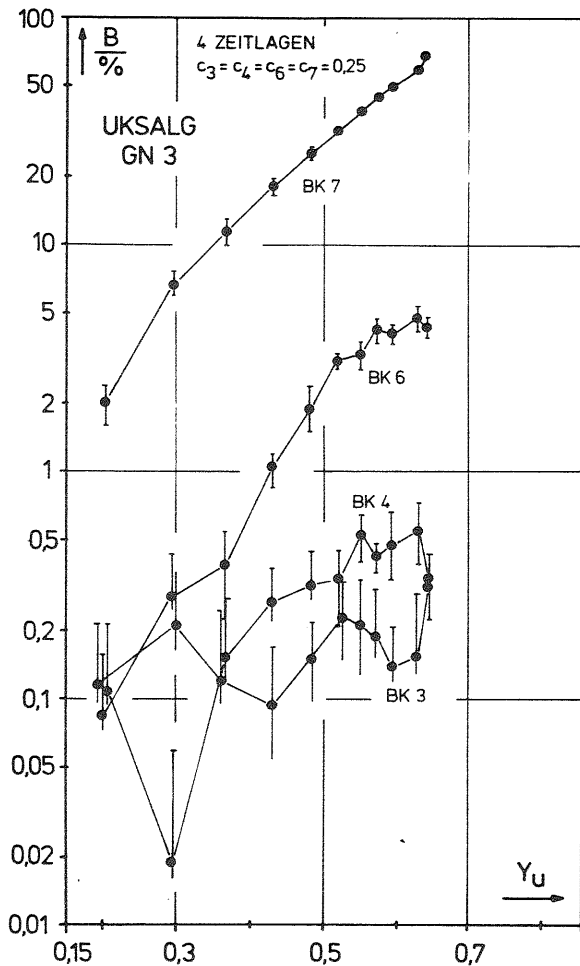


Bild 5.15 : Verlustanteil der einzelnen Benutzerklassen

Der Kurvenverlauf ist somit bedingt durch die Vorschrift zur Gruppenbelegung nach CCITT X.51 und durch den Unterkanalbedarf pro Verbindung der einzelnen Benutzerklassen. Dieser Unterkanalbedarf u_i steht in dem Verhältnis $u_3:u_4:u_6:u_7$ oder zahlenmäßig $1:4:16:80$.

5.3.5.4. Einfluß der Empfehlung CCITT X.51

Die Auswirkung der Empfehlung CCITT X.51 wird in Bild 5.16, anhand der auftretenden Verlustwahrscheinlichkeiten, vergleichend dargestellt. Der Verkehr von 3 Benutzerklassen (BK3 bis BK6) wird dabei einer Zeitlage mit 80 Unterkanälen zugeführt. Die Verkehrsanteile der einzelnen Benutzerklassen sind durch c_3 , c_4 und c_6 festgelegt. Die Verluste der drei Benutzerklassen sind als Funktion des Gesamtangebotes eingetragen. Die offenen Symbole zeigen die Simulationsergebnisse für eine Unterkanalbelegung entsprechend CCITT X.51 und den Unterkanal-Suchalgorithmus GN1.

Die ausgefüllten Symbole zeigen die zugeordneten berechneten Verlustwerte der einzelnen Benutzerklassen, wobei für die Belegung durch eine Benutzerklasse keine Einschränkung gilt und auf alle freien Unterkanäle zugegriffen werden kann. Die Berechnung erfolgte gemäß den in /96/ angegebenen Gleichungen für überlagerten Zufallsverkehr 1. Art und unterschiedlichen Unterkanalbedarf der einzelnen Benutzerklassen.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Empfehlung CCITT X.51 zu einer Verlustserhöhung führt, besonders bei den Benutzerklassen mit höchster Nutzbitrate, in diesem Beispiel die Benutzerklasse 6. Dem stehen jedoch die durch die Empfehlung CCITT X.51 bedingten Vorteile gegenüber:

- Eine Reduzierung der Unterkanal-Suchzeit für eine Verbindung, da nur teilbelegte oder freie Gruppen geprüft werden müssen und die Unterkanäle äquidistant innerhalb der 80 Unterkanäle einer Zeitlage angeordnet sind.
- Reduzierung des Verwaltungsaufwandes bei der Unterkanalbelegung. Durch die Position des ersten Unterkanales einer Verbindung sind alle weiteren Unterkanäle bekannt. Der Signalisierungsaufwand zwischen den Endeinrichtungen der Übertragungsstrecken kann auf den Austausch einer Unterkanalnummer beschränkt werden.

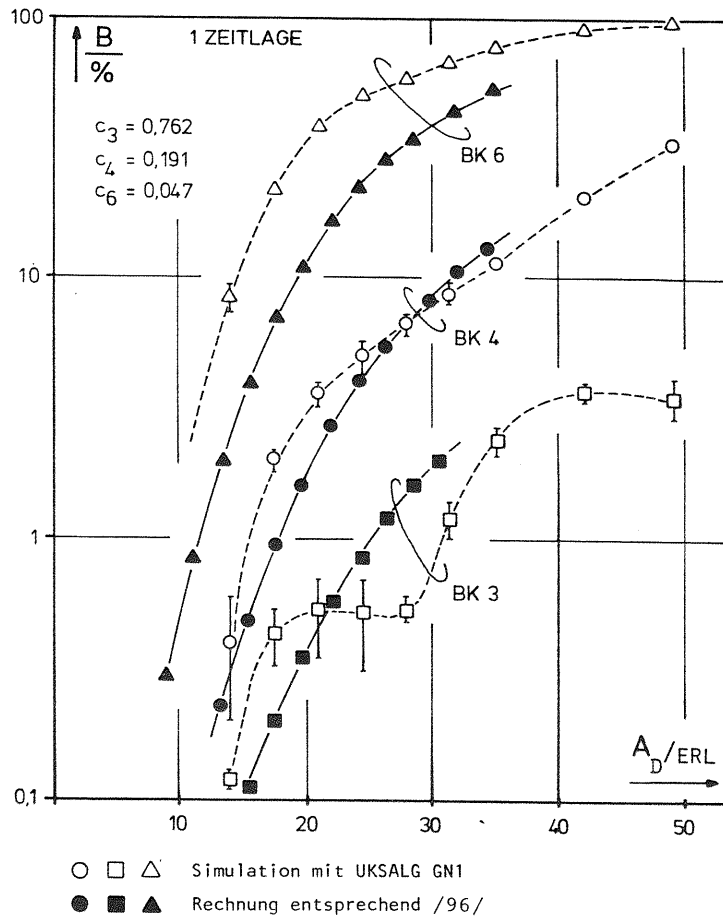


Bild 5.16 : Einfluß der Empfehlung CCITT X.51

- Die Verlusterrhöhung durch die Belegungs- und Gruppierungsvorschrift in CCITT X.51 ist mit zunehmender Zeitlagenanzahl immer weniger ausgeprägt.

5.3.5.5. Einfluß der Unterkanal-Suchalgorithmen

Die einzelnen untersuchten Unterkanal-Suchalgorithmen (UKSALG), sind charakterisiert durch die Anfangsposition des Suchvorganges und durch die Kriterien entsprechend denen die Gruppen zu suchen sind, siehe Tabelle 5.5. Die Auswirkung der Anfangsposition für die Unterkanalsuche läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

Für die betrachtete Benutzerklasse mit höchster Nutzbitrate weisen die Algorithmen mit zufälliger Anfangsposition GZ i ($i=1,2,3$) gegenüber den entsprechenden Algorithmen mit Nullstellung als Anfangsposition GN i ($i=1,2,3$) die höheren Verlustwerte auf.

Besonders deutlich wurde dies beim Algorithmus UKSALG GZ1. Bereits bei sehr kleinen Unterkanalbelastungen ($Y_u < 0,1$ Erl) ergaben sich für die Benutzerklasse 7 Verlustwerte $B_7 > 95\%$. Dies ist bedingt durch die bei GZ1 für Verbindungen mit geringem Unterkanalbedarf zulässige Verteilung der Belegungen über alle Gruppen. Die entstehenden Belegungsmuster bilden bereits bei kleinen Unterkanalbelastungen Blockiermuster für die Benutzerklasse 7. Da die Algorithmen GZ i ($i=1,2,3$) die jeweils höheren Verlustwerte bewirken, erfolgt in dem Ergebnisdiagramm, das in Bild 5.17 gezeigt ist, ausschließlich ein Vergleich der Algorithmen GN i ($i=1,2,3$).

Die Verlustkurven gelten für 8 bereitgestellte Zeitlagen und Verkehrsgleichverteilung zwischen den 4 betrachteten Benutzerklassen. Es zeigt sich bei den Ergebnissen ein, auch für andere Anzahl von Zeitlagen und Verkehrsaufteilungen ermittelter, nicht unmittelbar erwarteter Effekt. Es treten bei gleicher Unterkanalbelastung Y_u für die Unterkanal-Suchalgorithmen keine signifikant unterschiedlichen Verlustwerte auf. Der Einfluß der Algorithmen GN i ($i=1,2,3$) bezüglich den sich einstellenden Verlustwerten kann vernachlässigt werden.

Die geringfügigen Unterschiede der Verlustkurven beruhen auf zwei Ursachen. So verläuft die Verlustkurve für GN 1 oberhalb

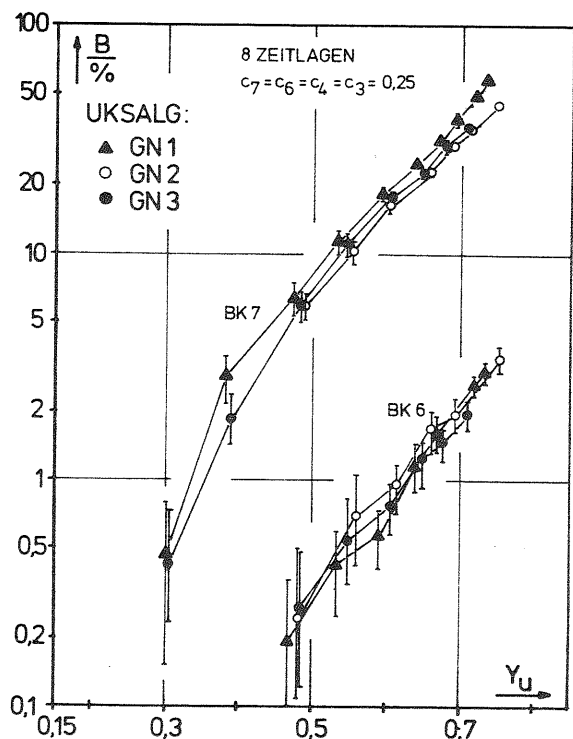


Bild 5.17 : Vergleich der Algorithmen GN_i (i=1,2,3)

der Verlustkurven für die beiden anderen Algorithmen, da bei GN1 die größere Streuung der Belegungen einer Benutzerklasse über die Unterkanalgruppen auftritt. Diese Streuung der Belegungen ist dagegen für GN3 am geringsten. Die Verlustkurve der Benutzerklasse 7 für GN3 verläuft jedoch ihrerseits oberhalb der Kurve für GN2, da bei GN3 zwar für jede Belegung die maximal teilbelegte Gruppe gesucht wird, die Position dieser Gruppe kann jedoch ein verkehrabhängiges Blockiermuster für die Benutzerklasse 7 darstellen. Bei dem Algorithmus GN2 erfolgen dagegen die Belegungen für die verschiedenen Benutzerklassen gepackt zur Nullstellung der Unterkanalsuche. Für die Benutzerklasse 7 ergeben sich damit die günstigsten Verlustwerte bei GN2.

5.3.6. Bewertung der Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse zur Auswirkung der Empfehlung CCITT X.51 haben gezeigt, daß bei vergleichbaren Unterkanalbelastungen Y_u , die auftretenden Verlustwerte nahezu unabhängig von der Verkehrsaufteilung zwischen den Benutzerklassen sind. Weiterhin wurde deutlich, daß auch für die verschiedenen Unterkanal-Suchalgorithmen mit Nullstellung als Suchanfangsposition keine signifikant unterschiedlichen Verlustwerte auftreten.

Das verbleibende Kriterium für die Auswahl des Unterkanal-Suchalgorithmus ist die sich einstellende Suchzeit pro Belegungsversuch. Diese Suchzeit ist einerseits abhängig von der durchgeführten Implementierung des Algorithmus und andererseits von den Merkmalen der Gruppen und Unterkanäle entsprechend denen bei dem Algorithmus zu suchen ist.

Bei dem Algorithmus GN3 ist jeweils nach der maximal teilbelegten Gruppe zu suchen. Dies bedeutet, daß für jeden Belegungsversuch der Belegungszustand aller Gruppen zu prüfen ist. Damit treten bei diesem Algorithmus GN3 pro Belegungsversuch einer Benutzerklasse jeweils konstant die größtmöglichen Suchzeiten auf, welche unabhängig vom bestehenden Belegungszustand der Unterkanäle und Gruppen sind.

Für die beiden Algorithmen GN2 und GN1 treten dagegen Suchzeiten auf, die abhängig vom momentanen Belegungszustand der Unterkanäle sind. Bei dem Algorithmus GN1 sind hierbei, da für ihn die schwächsten Einschränkungen bei der Unterkanalsuche gelten, die im Mittel geringsten Suchzeiten zu erwarten.

Aus den gezeigten Ergebnissen zur Auswirkung der Verkehrsaufteilung, den Ergebnissen bezüglich des Einflusses der verschiedenen Suchalgorithmen und den Hinweisen zu den auftretenden Suchzeiten ergibt sich, daß der Unterkanal-Suchalgorithmus UKSALG GN1 die insgesamt günstigsten Eigenschaften aufweist.

5.4. Zentralkanal - Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7

5.4.1. Allgemeines

Das Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7 wurde für die Zeichengabe über zentrale Zeichenkanäle zwischen Vermittlungsstellen in digitalen Nachrichtennetzen entwickelt. Es kann den Informationsaustausch zur Verbindungssteuerung bei verschiedenen Diensten wie auch jenen zum Betrieb des Netzes übernehmen. Dabei werden zentrale Zeichenkanäle benutzt, die von den Kanälen für die Teilnehmernutzinformation getrennt sind. Verschiedene Fehlerkorrekturverfahren und die Umschaltmöglichkeit auf Ersatzzeichenkanäle, falls ein Zeichenkanal gestört ist, gewährleisten eine sichere Übertragung der Information.

Das Zeichengabeverfahren ist geeignet für folgende Einsatzbereiche:

- internationale Verbindungen,
- nationale Verbindungen,
- im Fernnetz,
- im Ortsnetz,
- in digitalen Netzen mit 64 kbit/s - Kanälen
- in analogen Netzen mit 4 kHz Bandbreite pro Kanal,
- auf terrestrischen Strecken,
- auf Satellitenstrecken.

5.4.2. Aufbau des Zeichengabeverfahrens

Das Zeichengabeverfahren CCITT Nr.7 ist in 4 Funktionsebenen untergliedert, die weitgehend entsprechenden Funktionsebenen des ISO - Referenzmodelles zugeordnet werden können. Eine Gegenüberstellung zeigt Bild 5.18. Die Ebenen 1 bis 3 bilden dabei den Nachrichtenübermittlungsteil (Message Transfer Part, MTP), der die sichere Übertragung der Signalisierungsinformation ge-

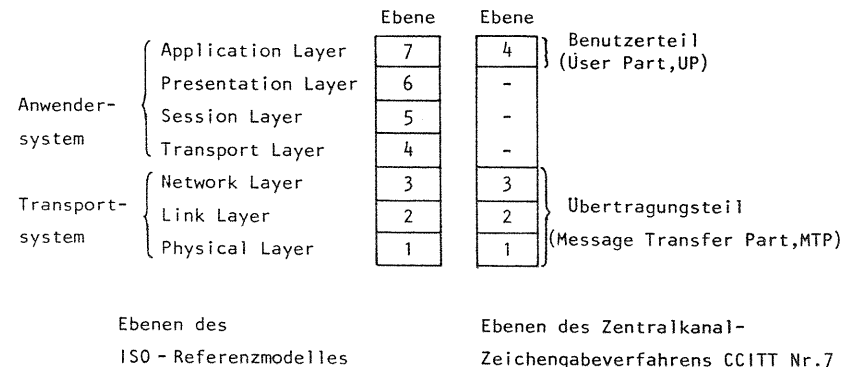
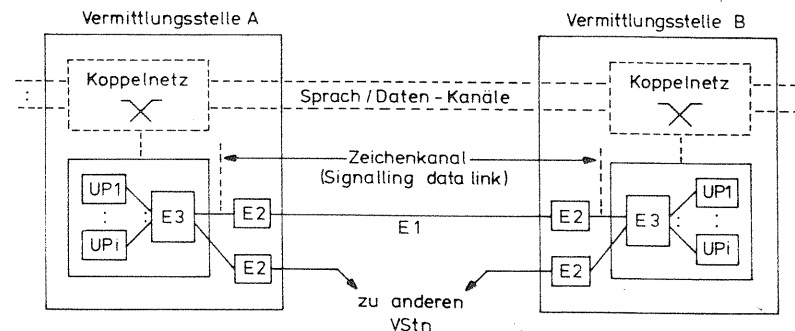


Bild 5.18 : Gegenüberstellung der Funktionsebenen



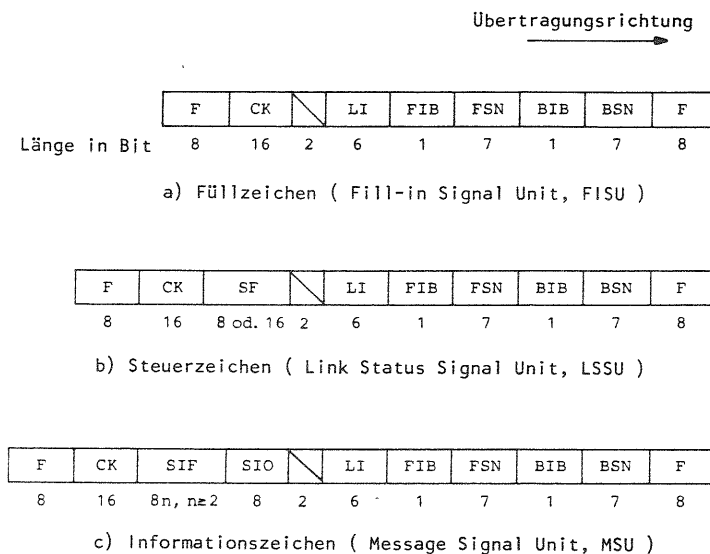
- E1 Ebene 1 - Funktionen
- E2 Ebene 2 - Funktionen
- E3 Ebene 3 - Funktionen

Bild 5.19 : Funktionsaufteilung bei CCITT Nr.7

währleisten soll. Ebene 4 enthält den Benutzerteil (User Part, UP); dies sind Vermittlungsprogramme der verschiedenen Dienste und Verwaltungsprogramme für den Netzbetrieb. Innerhalb des MTP führt die Ebene 3 die Verteilung der von den Benutzerteilen eintreffenden Signalisierungszeichen auf die verschiedenen Zeichenkanäle durch, vgl. Bild 5.19. Bei den Zeichenkanälen selbst bildet die Ebene 1 den eigentlichen Übertragungskanal (z.B. 64 kbit/s - Kanal), während die Ebene 2 die Sicherungsmaßnahmen und Fehlerkorrekturmaßnahmen durchführt. Bei den Zeichen (Signal Units, SU), die auf den Zeichenkanälen übertragen werden, sind 3 Typen zu unterscheiden. Die Formate dieser Zeichentypen sind in Bild 5.20 angegeben, es handelt sich dabei um:

- Füllzeichen (Fill in Signal Unit, FISU),
- Steuerzeichen (Link Status Signal Unit, LSSU),
- Informationszeichen (Message Signal Unit, MSU).

Anfang und Ende jedes Zeichens werden durch ein 8-bit-Muster (Flag) markiert, bei unmittelbar aufeinanderfolgenden Zeichen wird die Enderkennung unterdrückt. Weiterhin enthalten alle Zeichen eine Vorwärts-Folgenummer (Forward Sequence Number, FSN), ein Vorwärts-Kennbit (Forward Indicator Bit, FIB), eine Rückwärts-Folgenummer (Backward Sequence Number, BSN), die zur Quittierung fehlerfrei empfangener Zeichen dient, und ein Rückwärts-Kennbit (Backward Indicator Bit, BIB). Der ebenfalls in allen Zeichen enthaltene Längenindikator (Length Indicator, LI) dient zur Unterscheidung der einzelnen Zeichentypen, sowie zur Angabe der Zeichenlänge. LI = 0 kennzeichnet ein Füllzeichen. LI = 1 oder LI = 2 kennzeichnet ein Steuerzeichen mit 1 oder 2 Steuerbytes. Zahlenwerte größer 2 im Feld des LI kennzeichnen ein Informationszeichen (MSU) mit einem Informationsfeld, dessen Byte-Anzahl durch den Zahlenwert im LI-Feld angegeben ist. Die in den einzelnen Zeichen enthaltenen Folgenummern dienen zur Durchführung der jeweiligen Fehlerkorrekturverfahren. Zur Fehlererkennung dienen die in jedem Zeichen abschließend beigefügten Prüfbits (Check Bits, CK).



- F Flag, Kennung
- BSN Backward Sequence Number, Rückwärts-Folgenummer
- BIB Backward Indicator Bit, Rückwärts-Kennbit
- FSN Forward Sequence Number, Vorwärts-Folgenummer
- FIB Forward Indicator Bit, Vorwärts-Kennbit
- LI Length Indicator, Längenanzeiger
- SIO Service Information Octet, Dienstkennung
- SIF Signalling Information Field, Informationsfeld
- SF Status Field, Steuerfeld
- CK Check Bits, Prüfbits

Bild 5.20 : Zeichenformate bei dem Verfahren CCITT Nr.7

5.4.3. Fehlerkorrekturverfahren

Maßnahmen zur Korrektur von Übertragungsfehlern bei Informationszeichen (MSU) werden in der Ebene 2 ausgeführt. Hierzu enthält jedes gesendete Zeichen eine Vorwärts-Folgenummer. Die Vergabe der Vorwärts-Folgenummern erfolgt zyklisch (modulo 128), wobei maximal 127 Nummern vergeben sein dürfen, um eine eindeutige Zuordnung eintreffender Quittungen zu gewährleisten. Eine Vorwärts-Folgenummer bleibt einem Zeichen solange zugeordnet, bis der fehlerfreie Empfang durch die Gegenstation quittiert worden ist. Die Quittierung erfolgt, indem von der Gegenstation eine Rückwärts-Folgenummer (BSN), deren Wert der dort zuletzt fehlerfrei empfangenen FSN entspricht, zur Ursprungsstation gesendet wird. Der Wert der BSN zeigt an, daß alle Zeichen mit den Vorwärts-Folgenummern $FSN \leq BSN$ fehlerfrei empfangen worden sind. Die mit diesen Nummern behafteten Zeichen werden aus dem Wiederholpeicher (Retransmission Buffer, RTB) der Ursprungsstation gelöscht und die Nummern können erneut vergeben werden.

Die Sicherung der Zeichen gegen Übertragungsfehler erfolgt, indem beim Sendevorgang des Zeichens eine Division mit dem Polynom $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ durchgeführt wird und der Rest der Division im CK-Feld des Zeichens eingefügt wird. Im Empfängerbaustein der Gegenstation wird ebenfalls, mit gleichem Polynom, eine Division des empfangenen Zeichens durchgeführt. Stimmen der Rest der Division und der Inhalt des CK-Feldes nicht überein, so wird das betrachtete Zeichen als fehlerhaft verworfen und es erfolgt keine weitere Auswertung der Nummern FSN und BSN. Trifft das nächste Zeichen fehlerfrei ein und liegt dessen Vorwärts-Folgenummer (FSN) über der erwarteten FSN, so wird ein Sequenzfehler festgestellt. Die Reaktion bei Sequenzfehlern ist abhängig von dem gewählten Fehlerkorrekturverfahren.

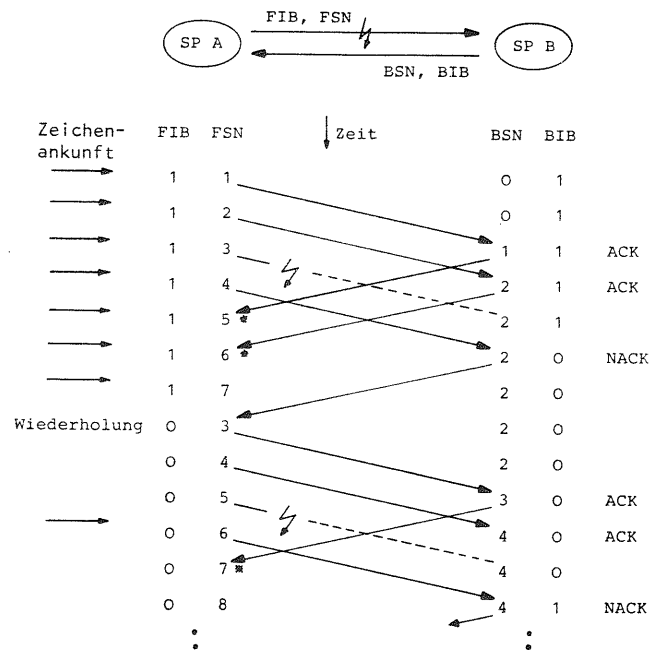
In den Empfehlungen für CCITT Nr.7 werden zwei Verfahren vorgeschlagen, das Verfahren BASIC und das Verfahren PCR (Preventive Cyclic Retransmission). Diese beiden Verfahren werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

5.4.3.1. BASIC - Verfahren

Das Fehlerkorrekturverfahren BASIC wird für den Einsatz bei terrestrischen Übertragungsstrecken empfohlen, d.h. bei kleinen Kanal-Laufzeiten. Zur Fehlerkorrektur wird bei diesem Verfahren nach einem erkannten Sequenzfehler eine negative Quittung (NACK) generiert, die bei der Ursprungseinheit zu einer Zeichenwiederholung führt. Die negative Quittung wird dadurch gebildet, daß zu der im BSN-Feld enthaltenen Nummer des zuletzt fehlerfrei empfangenen Zeichens, das Rückwärts-Kennbit (BIB) invertiert eingefügt wird. Wird eine solche negative Quittung von einer Einheit empfangen, so werden alle im Wiederholpeicher (RTB) enthaltenen Zeichen erneut gesendet. Dies erfolgt ab der Vorwärts-Folgenummer mit dem Wert $BSN + 1$, da das Zeichen mit der Nummer BSN bereits fehlerfrei übertragen worden ist. Bei allen erneut gesendeten Zeichen wird das Vorwärts-Kennbit (FIB) invertiert eingefügt, um das wiederholte Aussenden zu kennzeichnen.

Liegen in einer Sendeeinheit keine Wiederholanforderungen vor und kann kein weiteres Informationszeichen (MSU) gesendet werden, weil keine weiteren Zeichen von der Ebene 3 vorliegen oder weil alle 127 Vorwärts-Nummern vergeben sind, so werden Füllzeichen (FISU) gesendet. Durch diese Maßnahme ist die Quittierung eines fehlerfrei empfangenen Zeichens jederzeit gewährleistet.

Den Ablauf bei dem Verfahren BASIC zwischen zwei Signalisierungspunkten (SP) veranschaulicht Bild 5.21. Dabei wird der Fall gestörter Zeichen mit anschließender Zeichenwiederholung betrachtet. In dem gezeigten Beispiel wird besonders die Übertragung der Zeichen vom Signalisierungspunkt A (SP A) zum Signalisierungspunkt B (SP B) und die rückwärtige Übertragung der Quittungen von SP B nach SP A betrachtet. Die zu übertragenden Informationszeichen (MSU) werden zu den im Bild angegebenen Zeitpunkten von der Ebene 3 an die Ebene 2 im SPA übergeben. Beim Aussenden werden den Zeichen die Vorwärts-Folgenummern 1,2,... zugeordnet, das Vorwärts-Kennbit (FIB) soll den logischen Wert 1 besitzen. Die Übertragung des Informationszei-



* Zeichen mit der Vorwärts-Folgennummer \leq BSN werden aus dem Wiederholpeicher RTB(A) gelöscht

Bild 5.21 : Beispiel für den Zeichenaustausch bei dem Fehlerkorrekturverfahren BASIC

chens mit der Vorwärts-Folgennummer FSN=1 erfolge ohne Störung. SP B führt nach dem fehlerfreien Empfang des Zeichens eine positive Quittierung (ACK) aus, indem beim nächsten zu sendenden Zeichen die Rückwärts-Folgennummer BSN=1 eingefügt wird und das Rückwärts-Kennbit unverändert bleibt. Auch das Zeichen mit der Vorwärts-Folgennummer FSN=2 wird fehlerfrei übertragen und mit der Rückwärts-Folgennummer BSN=2 positiv quittiert. Das folgende Zeichen mit FSN=3 werde bei der Übertragung gestört. Der Wert für die Quittungsnummer BSN bleibt unverändert bei BSN=2. Nach

dem fehlerfreien Empfang des Zeichens mit FSN=4 im Signalisierungspunkt SP B wird ein Sequenzfehler erkannt. Daraufhin wird eine negative Quittung (NACK) gesendet, indem die Rückwärts-Folgennummer BSN weiterhin den Wert 2 beibehält, also die Nummer des zuletzt fehlerfrei empfangenen Zeichens; jedoch wird von nun an das Rückwärts-Kennbit (BIB) invertiert, d.h. es wird BIB=0 gesendet. Trifft diese negative Quittung bei dem Signalisierungspunkt A ein, so erfolgt eine Wiederholung aller noch nicht positiv quittierter Zeichen, beginnend bei der Vorwärts-Folgennummer FSN=3. Bei diesem Zeichen wird zur Kennzeichnung der Wiederholung das Vorwärts-Kennbit (FIB) ebenfalls invertiert (FIB=0). Ein Wiederholzyklus hat gleichzeitig Priorität gegenüber dem Senden von neu aus der Ebene 3 eingetroffenen Zeichen, vergleiche hierzu im Bild die Ankunft des 8. Zeichens. Störungen von Zeichen während einer Wiederholung, siehe hierzu das Zeichen mit FSN=5 und FIB=0, führen zu einer erneuten negativen Quittung. In diesem Beispiel erfolgt dies bei der Rückwärts-Folgennummer BSN=4 und dem zugehörigen Rückwärts-Kennbit BIB=1.

5.4.3.2. PCR - Verfahren

Das PCR-Verfahren (preventive cyclic retransmission) wird für den Einsatz bei Satellitenstrecken empfohlen, also für große Kanal-Laufzeit. Das PCR-Verfahren kennt für die Fehlerkorrektur, im Gegensatz zum BASIC-Verfahren, keine negativen Quittungen. Die Kennbits BIB und FIB sind bei diesem Verfahren daher ohne Bedeutung. Um dennoch eine Fehlerkorrektur durchführen zu können, werden die noch nicht positiv quitierten Zeichen aus dem Wiederholpeicher (RTB) zyklisch wiederholt, solange kein neues Zeichen aus der Ebene 3 eingetroffen ist und gesendet werden soll. Trifft ein Zeichen von der Ebene 3 ein, so erhält dieses Zeichen Sendepriorität gegenüber der Zeichenwiederholung, wenn noch weitere Nummern vergeben werden können.

Das Verfahren soll, wie bereits angedeutet, vor allem bei großen Kanal-Laufzeiten und bei hohen Bitfehlerwahrscheinlichkeiten p_B

des Kanales Vorteile bieten. Bei der Übertragung gestörte Zeichen sollen durch die vorbeugende Wiederholung korrigiert werden und nicht wie beim BASIC-Verfahren erst durch eine Wiederholung nach einer negativen Quittung der Gegenstation. Bei einer großen Verkehrsbelastung, d.h. einer großen Ankunftsrate λ_{MSU} von Zeichen aus der Ebene 3, verbleibt jedoch immer weniger Zeit für die vorbeugende Wiederholung von unquittierten Zeichen.

Im Grenzfall werden Zeichenwiederholzyklen nur noch dann durchgeführt, wenn der Wiederholtspeicher (RTB) gefüllt ist und keine neuen Zeichen mehr gesendet werden können, da keine Folge-nummern mehr verfügbar sind. Um trotzdem zu annehmbaren Wiederholzykluszahlen zu gelangen, wird die zulässige Anzahl der Zeichen im Wiederholtspeicher auf einen vorgebbaren Maximalwert NMAX begrenzt. Damit ist gleichbedeutend auch die Anzahl vergebbarer Folge-nummern eingeschränkt. Sind die NMAX Nummern vergeben, so werden alle im RTB stehenden Zeichen mit Priorität zyklisch wiederholt. Aus der Ebene 3 eintreffende Zeichen können, bis zum Abschluß dieses erzwungenen priorisierten Aussendens aller Zeichen des RTB, nicht gesendet werden.

Die Wahl des Zahlenwertes für die Größe NMAX hängt von den jeweiligen Systemparametern ab; dies sind die Zeichenlängen (LI), die Auftrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Längen, die Kanal-Laufzeit und die Bedienungszeiten in den Sende- und Empfangseinheiten der Signalisierungspunkte. Der Wert für NMAX ist so zu wählen, daß er bei hoher Verkehrsbelastung schnell erreicht wird um Wiederholzyklen zu ermöglichen. Bei der Übertragung gestörte Zeichen werden dann durch zwangsweise Wiederholung des gesamten RTB korrigiert. Bei fehlerfreier Übertragung der Zeichen soll der gewählte Wert für NMAX dagegen nicht erreicht werden, um unnötige zwangsweise Wiederholzyklen zu vermeiden.

Bild 5.22 zeigt ein Beispiel für den Ablauf bei dem Fehlerkorrekturverfahren PCR. Hierbei werden nacheinander die Zeichen mit den Vorwärts-Folgenummern FSN=1, FSN=2 und FSN=3 gesendet, wobei FSN=2 bei der Übertragung gestört wird. Da keine weiteren Zeichen von der Ebene 3 eingetroffen sind, wird mit einem

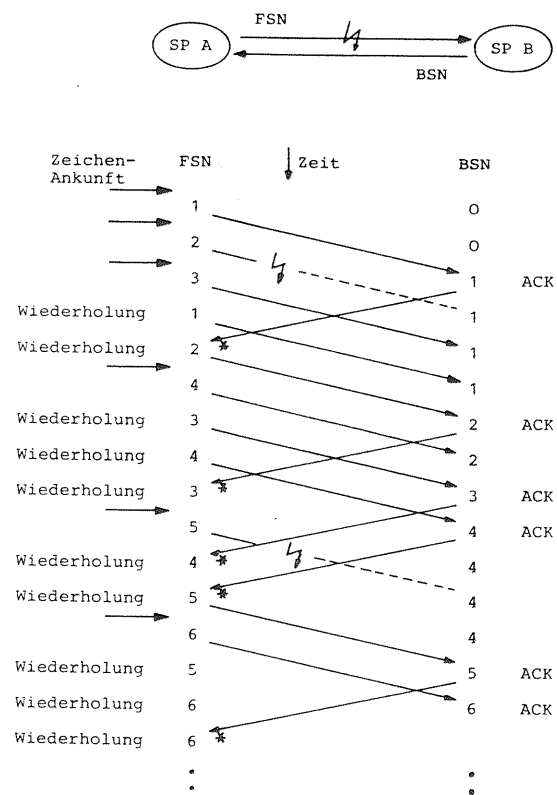


Bild 5.22 : Beispiel für den Ablauf der Fehlerkorrektur bei dem Verfahren PCR

Wiederholzyklus begonnen, und es werden die Zeichen mit FSN=1 und FSN=2 erneut gesendet. Dann soll ein weiteres Zeichen von Ebene 3 eintreffen, dieses unterbricht den Wiederholzyklus und wird mit der Vorwärts-Folgenummer FSN=4 gesendet. Der Wiederholzyklus wird nun mit der Folgenummer FSN=3 fortgesetzt, da noch keine positive Quittung für dieses Zeichen eingetroffen ist. Das bei der Übertragung gestörte Zeichen (FSN=2) wird bei der erneuten Übertragung im Rahmen der vorbeugenden Wiederholung

nicht gestört, im Signalisierungspunkt SP B fehlerfrei empfangen und positiv quittiert. Treffen in SP B Zeichen außerhalb der Numerierungsreihenfolge ein, Sequenzfehler, so werden diese Zeichen verworfen. Ein Beispiel hierfür ist die erste Übertragung des Zeichens mit der Vorwärts-Folgenummer FSN=4. Dieses Zeichen kann erst positiv quittiert werden, wenn das Zeichen mit der erwarteten Vorwärts-Folgenummer FSN=3 im Signalisierungspunkt SP B eingetroffen ist.

Wie die vorgestellten Ablaufbeispiele für die beiden Fehlerkorrekturverfahren erkennen lassen, beeinflussen diese Verfahren den Durchsatz eines Zeichenkanales und die für die einzelnen Zeichen auftretenden Durchlaufzeiten. Deshalb soll die Verkehrsleistung des Zentralkanal - Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 für unterschiedliche Verkehrs- und Systemparameter untersucht werden.

5.4.4. Untersuchung der Verkehrsleistung des Zentralkanal-Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7

Die Verkehrsleistung der Funktionsebenen 1 und 2 des Zentralkanal-Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 wird mit Hilfe der zeittreuen Simulation untersucht. In den nachfolgenden Abschnitten wird zunächst das Simulationsmodell mit seinen Parametern erläutert und anschließend werden Ergebnisse der Untersuchung vorgestellt.

5.4.4.1. Simulationsmodell

Das für die Untersuchung der Verkehrsleistung entwickelte Warteschlangenmodell, siehe Bild 5.23, bildet die Funktionseinheiten eines Zeichenkanales zwischen zwei Signalisierungspunkten SP A und SP B nach.

In die Eingangswarteschlange (EWS) werden die von der Ebene 3 mit der Rate λ_{MSU} eintreffenden Zeichen eingetragen. Es wird dabei eine negativ-exponentielle Verteilung der Ankunftsabstände T_A der Zeichen angenommen. Jedes Zeichen wird zudem noch mit einem individuellen Längenanzeiger (LI) versehen.

Ist die Sendeeinheit (S) frei, so wird sie durch ein Zeichen aus der Eingangswarteschlange (EWS) für die Sendezeit T_{ZM} des Zeichens, entsprechend der Zeichenlänge, belegt. Dabei werden dem Zeichen die MTP - Felder (Flag,BSN,BIB,FSN,FIB und CK) zugefügt. Gleichzeitig wird eine Kopie des Zeichens im Wiederholpeicher (RTB) abgelegt. Die Übertragungsleitung ist durch eine Bedienungseinheit mit einer Verzögerungszeit entsprechend der Kanal-Laufzeit T_L nachgebildet. Ein Störungsgenerator mit vorgebarer Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_B kennzeichnet die einzelnen Zeichen als fehlerfrei bzw. fehlerbehaftet.

In den Empfängereinheiten (E) der Signalisierungspunkte werden die ankommenden Zeichen auf Fehlerfreiheit geprüft. Gleichzeitig wird festgestellt, ob ein Sequenzfehler vorliegt, d.h. ob die Vorwärts-Folgenummer des empfangenen Zeichens um 1 größer ist als jene des zuletzt fehlerfrei empfangenen Zeichens.

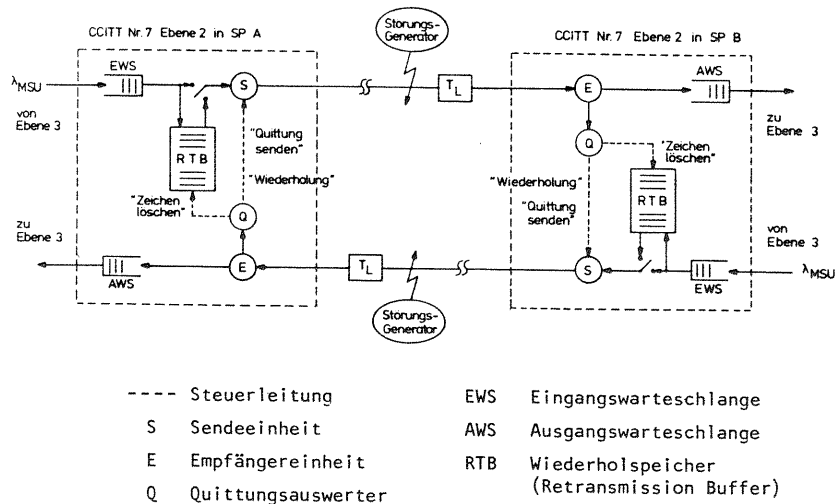


Bild 5.23 : Warteschlangenmodell eines zentralen Zeichenkanales

Die daraus resultierende Quittung wird im BSN-Feld des nächsten Zeichens gesendet. Der Quittungsauswerter (Q) löscht bei einer eingetroffenen positiven Quittung das Zeichen aus dem Wiederholpeicher (RTB) und initiiert bei einer eingetroffenen negativen Quittung den Wiederholzyklus. Dies ist jedoch abhängig von dem implementierten Fehlerkorrekturverfahren.

Können von der Sendeeinheit (S) keine neuen Zeichen aus der Eingangswarteschlange (EWS) übernommen und gesendet werden und sind keine Zeichenwiederholungen (eventuell auch vorbeugende) notwendig oder möglich, so werden Füllzeichen (FISU) gesendet.

5.4.4.2. Modellparameter und Meßgrößen

Zur Untersuchung der verschiedenen Einsatzbereiche des Verfahrens CCITT Nr.7 können bei der zeitreuen Simulation für das Modell folgende Parameter vorgegeben werden:

Fehlerkorrekturverfahren

- BASIC ,
- PCR .

Systemparameter

- Kanal-Bitrate v ,
- Kanal-Laufzeit T_L ,
- Bedienzeit Empfänger T_E ,
- Bedienzeit Quittungsauswerter T_Q ,
- Bedienzeit Sender T_S ,
- Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_B .

Verkehrsparameter

- Zeichenankunftsrate λ_{MSU} ,
- Verteilungsfunktion der Ankunftsabstände T_A ,
- Zeichenlängen LI ,
- Auftretswahrscheinlichkeit der Zeichenlängen.

Mit Hilfe des Simulationsprogrammes lassen sich dann folgende Ergebnisgrößen erzielen:

- Mittlere Wartezeiten in der Eingangswarteschlange ,
- Belastung des Zeichenkanales:
 - durch Flags ,
 - durch Füllzeichen ,
 - durch Informationszeichen ,
 - durch fehlerfrei empfangene Informationszeichen ,
- Durchlaufzeit der Zeichen (Message Transfer Time, MTT):
 - Mittlere Durchlaufzeit ,
 - Verteilungsfunktion der Durchlaufzeiten .

Weitere Meßgrößen des Simulationsprogrammes dienen zur Überprüfung der Simulationsläufe und zeigen, ob sich die vorgegebenen Verkehrsparameter eingestellt haben.

5.4.5. Ergebnisse

Hinsichtlich der Ergebnisse der Leistungsuntersuchung des Zentralkanal-Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 sind besonders der erzielbare maximale Durchsatz und die sich einstellende mittlere Durchlaufzeit $E[MTT]$ der Zeichen von Interesse.

Berücksichtigt werden bei den Untersuchungen unterschiedliche Kanal-Laufzeiten, d.h. sowohl terrestrische Strecken wie auch Satellitenstrecken. Zusätzlich wird der Einfluß der verschiedenen Fehlerkorrekturverfahren und die Auswirkung der Folgenummervergabe (Modulo-Numerierung) untersucht.

Bezüglich den Systemparametern wurden bei allen Einzeluntersuchungen folgende Werte angenommen und zugrundegelegt:

- Kanal-Bitrate $v = 64 \text{ kbit/s}$,
- Kanal-Laufzeit $T_L = 5 \text{ ms}$ bzw. 300 ms ,
- Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_B = 10^{-4}$ bzw. 10^{-5} ,
- Fehlerkorrekturverfahren BASIC bzw. PCR,
- Bedienzeit $T_E = T_Q = 0 \text{ ms}$,
- Informationsfeldlänge $LI = 3$ bzw. 63 .

Die Kanal-Laufzeit T_L ist dabei die Zeit vom Aussendebeginn eines Zeichens bis zu dessen Empfangsbeginn in der Gegenstation.

5.4.5.1. Durchsatzbestimmung durch Simulation

Bei der simulativen Bestimmung des maximalen Durchsatzes wird dem Simulationsmodell ein überhöhtes Verkehrsangebot zugeführt, so daß die Eingangswarteschlange (EWS) niemals leer angetroffen wird. Obwohl sich hierbei große Verluste durch Warteschlangenüberlauf einstellen, hat dies keine Auswirkung, da ausschließlich der sich einstellende maximale Durchsatz ermittelt werden soll, d.h. die maximal mögliche Auslastung des Zeichenkanales durch störungsfrei und ohne Sequenzfehler übertragene Informationszeichen (MSU).

Bild 5.24 zeigt Ergebnisse für einen terrestrischen Zeichenkanal mit einer Kanal-Laufzeit $T_L = 5 \text{ ms}$. Kurvenparameter sind der Längenanzeiger LI und die Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_B . Der Durchsatz gibt die relative Kanal-Auslastung durch fehlerfrei übertragene Zeichen an und ist als Funktion der Größe $NMAX$ aufgetragen. $NMAX$ legt dabei fest, wieviele Zeichen höchstens unquittiert im Wiederholpeicher sein dürfen. Für das Fehlerkorrekturverfahren BASIC gilt nach CCITT der Wert $NMAX = 127$, da die Vorwärts-Folgenummern modulo 128 vergeben werden. Die Ergebnisse zeigen, daß für $NMAX$ Grenzwerte auftreten, oberhalb derer keine weitere Durchsatzserhöhung mehr erfolgt. Diese Grenzwerte können für konstante Zeichenlängen als Funktion der MSU-Sendezeit T_{ZM} und der Kanal-Laufzeit T_L bestimmt werden, die Bitfehlerwahrscheinlichkeit hat hierbei keinen Einfluß. Für $NMAX_G$ gilt die Gleichung

$$NMAX_G = \frac{2 (E[T_{ZM}] + T_L + T_S + T_E + T_Q)}{E[T_{ZM}]} + 1 \quad (4.1)$$

Der Grenzwert $NMAX_G$ ist dabei die um 1 erhöhte Anzahl der Zeichen, die sich gleichzeitig in den Einheiten und auf den beiden gerichteten Übertragungskanälen befinden können. Beim Senden von Zeichen wird zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeichen nur ein Flag gesendet. Die Abschlußkennung eines gerade gesendeten Zeichens ist damit zugleich Anfangskennung eines unmittelbar folgenden Zeichens. Für die Sendezeit eines Informationszeichens (MSU) gilt:

$$t_{ZM}(LI) = \frac{(LI + 7) \cdot 8 \text{ bit}}{v} \quad (4.2)$$

Für die betrachteten Zeichenlängen $LI = 3$ und $LI = 63$ gelten somit die Sendezeiten

$$t_{ZM}(3) = 1,25 \text{ ms}$$

und

$$t_{ZM}(63) = 8,75 \text{ ms}.$$

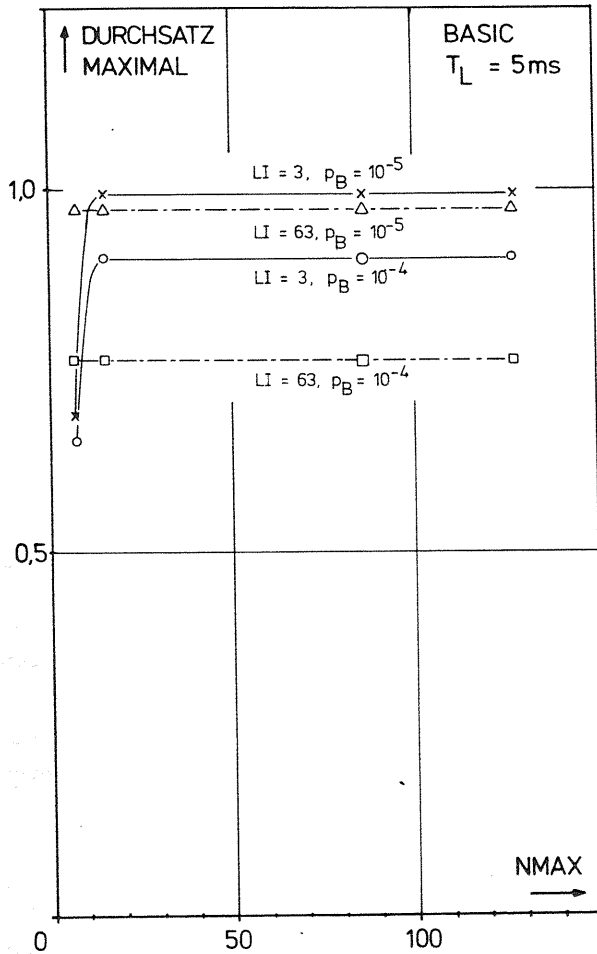


Bild 5.24 : Maximaler Durchsatz bei terrestrischer Strecke

Für die Kanal-Laufzeiten $T_L = 5 \text{ ms}$ und $T_L = 300 \text{ ms}$ ergeben sich damit die ganzzahligen Grenzwerte $NMAX_G(LI, T_L)$:

$$\begin{aligned}
 NMAX_G(3, 5) &= 11, \\
 NMAX_G(63, 5) &= 5, \\
 NMAX_G(3, 300) &= 483, \\
 NMAX_G(63, 300) &= 72.
 \end{aligned}$$

Im Vergleich mit dem Wert $NMAX = 127$ nach CCITT für das Verfahren BASIC läßt sich unmittelbar ableiten, daß für kleine Zeichenlängen und gleichzeitig große Kanal-Laufzeiten eine Volllastung des Zeichenkanales nicht erreicht werden kann, siehe $NMAX_G(3, 300)$. Andererseits läßt sich die für Volllastung bei $T_L = 300 \text{ ms}$ notwendige Zeichenlänge bestimmen, wenn die Folgennummern modulo 128 vergeben werden. Für $NMAX_G(LI, 300)$ ergibt sich der Wert $LI = 31$.

Wird $NMAX$ so gewählt, daß $NMAX \geq NMAX_G$ gilt, so ist der maximal erzielbare Durchsatz des Zeichenkanales eine Funktion der Kanal-Laufzeit, der Zeichenlänge und der Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Für ein Zeichenangebot $A \gg 1 \text{ Erl}$ zeigt sich bei dem Verfahren BASIC und $NMAX > NMAX_G$ keine Durchsatzänderung. Bei dem Verfahren PCR kann jedoch für zu groß gewählte Werte $NMAX$ sogar ein Absinken der Durchsatzwerte auftreten, dieser Effekt soll mit den folgenden Ergebnisdiagrammen erläutert werden.

Bild 5.25 zeigt zunächst den erzielbaren maximalen Durchsatz bei der Kanal-Laufzeit $T_L = 300 \text{ ms}$ für die beiden Verfahren BASIC und PCR sowie die Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_B = 0$. Der Durchsatzanstieg mit zunehmendem $NMAX$ bei dem Verfahren BASIC ist bedingt durch die zunehmende Kanalbelastung mit jeweils genau $NMAX$ Zeichen. Die Volllastung wird bei dem Grenzwert $NMAX_G(63, 300) = 72$ erreicht.

Der Einfluß der Größe $NMAX$ zeigt sich deutlich bei den Ergebnissen für des Verfahren PCR. Sind bei diesem Verfahren keine neuen Zeichen aus der Eingangswarteschlange zu übernehmen und zu senden, so werden die unquittierten Zeichen aus dem Wiederspeicher (RTB) zyklisch wiederholt. Falls jedoch $NMAX$ Zeichen

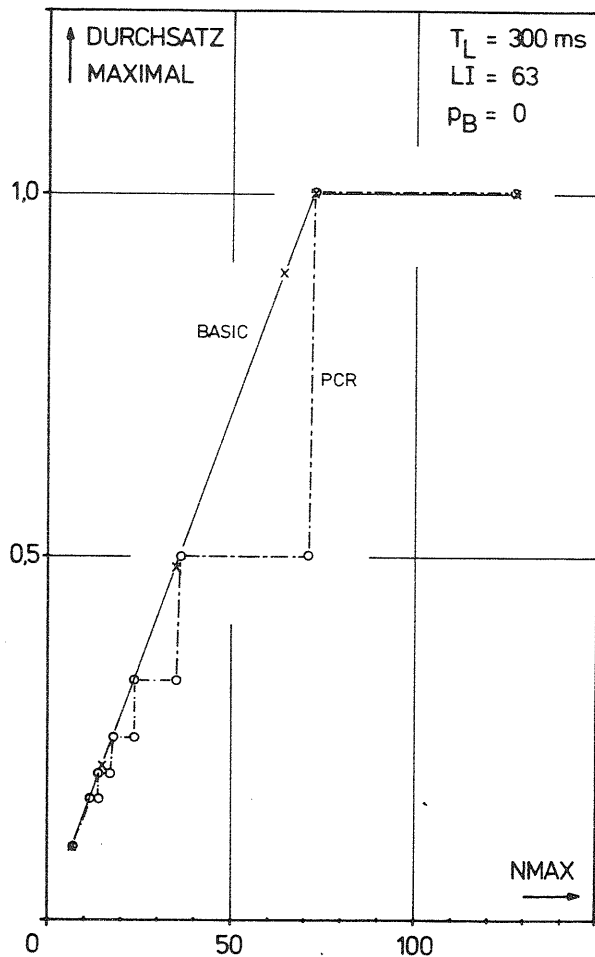


Bild 5.25 : Maximaler Durchsatz der Verfahren BASIC und PCR bei Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_B=0$

unquittiert im Wiederholpeicher stehen, wird ein nicht unterbrechbarer Wiederholzyklus für alle im RTB befindlichen Zeichen durchgeführt. Ausschlaggebend für die Häufigkeit solcher erzwungener Wiederholzyklen ist der für NMAX gewählte Wert. Bei $NMAX \geq 72$ wird der maximale Durchsatz erreicht, da idealisiert $p_B=0$ gilt und damit keine Wiederholzyklen des gesamten RTB erfolgen, NMAX unquittierte Zeichen treten nie auf. Wird jedoch NMAX z.B. auf den Wert 71 eingestellt, so sinkt der Durchsatz auf den Wert 0,5 ab, da jedes Zeichen zweimal gesendet wird. Dies ist bedingt durch folgende Verfahrenshysterese:

- 71 Zeichen werden gesendet und gleichzeitig im RTB für einen eventuellen Wiederholfall abgelegt.
- Da die Quittung für das erste gesendete Zeichen wegen der Schleifenlaufzeit des Zeichenkanales noch nicht eingetroffen ist und NMAX jedoch erreicht ist, wird ein nicht unterbrechbarer Wiederholzyklus durchgeführt.
- Die jeweils gerade nach dem wiederholten Aussenden des zugehörigen Zeichens eintreffende Quittung reduziert zwar die Anzahl unquittierter Zeichen im RTB, neue Zeichen aus der Eingangswarteschlange können jedoch bis zum Abschluß des Wiederholzyklus nicht gesendet werden.
- Nach Ende des Wiederholzyklus, alle Zeichen sind somit zweimal gesendet worden, beginnt diese verfahrensbedingte Hysterese erneut.

Eine gleichartige gravierende Durchsatzminderung tritt bei dem Übergang von $NMAX = 36$ zu $NMAX = 35$ auf. Bei $NMAX = 35$ werden alle Zeichen dreimal gesendet, verfahrensbedingt. Diese Treppenfunktion setzt sich zu kleineren Werten für NMAX mit jeweils geringerer Stufenhöhe fort.

Bild 5.26 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für den mit $p_B = 10^{-4}$ bzw. $p_B = 10^{-5}$ fehlerbehafteten Zeichenkanal.

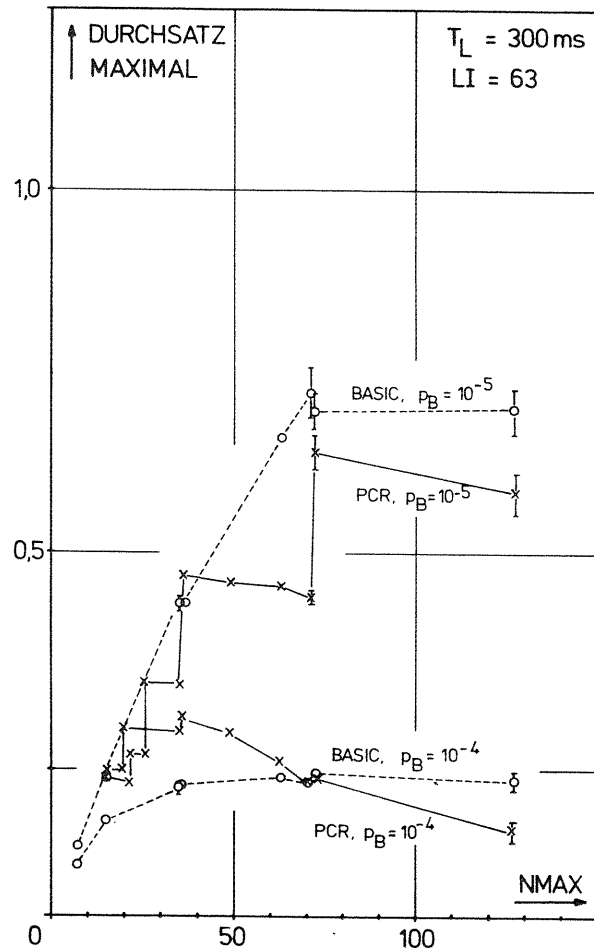


Bild 5.26 : Vergleich der Durchsatzwerte der Verfahren BASIC und PCR bei einer fehlerbehafteten Satellitenstrecke

Zwischen den einzelnen durch NMAX bedingten Durchsatzsprüngen fällt der Durchsatz beim PCR-Verfahren stetig. Dies ist begründet in der zunehmenden Länge der Wiederholzyklen und in der steigenden Auftrittshäufigkeit der Zyklen. Der Vergleich der Ergebnisse für die Verfahren BASIC und PCR zeigt,

- daß bei $p_B = 10^{-5}$ das Verfahren BASIC die günstigeren Durchsatzwerte erreicht,
- daß bei $p_B = 10^{-4}$ für kleine Werte von NMAX das Verfahren PCR und für große Werte von NMAX das Verfahren BASIC vorzuziehen ist. Der Schnittpunkt liegt bei $NMAX = 72$.

Die bisher gezeigten Ergebnisse über den erzielbaren maximalen Durchsatz bei unterschiedlichen Systemparametern und Zeichenlängen sind jeweils für Zeichenangebotswerte $A \gg 1$ Erl ermittelt worden. Sie zeigen den Einfluß der Modulo-Numerierung bzw. der Einschränkung der Anzahl vergebbarer Folgennummern durch die Größe NMAX.

Eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der einzelnen Fehlerkorrekturverfahren ist jedoch erst in Verbindung mit den Ergebnissen über die auftretenden Durchlaufzeiten als Funktion unterschiedlicher Angebotswerte möglich. Diese Ergebnisse werden nach der anschließenden analytischen Durchsatzbestimmung vorgestellt.

5.4.5.2. Analytische Durchsatzbestimmung für das BASIC - Verfahren bei konstanten Zeichenlängen

Der maximal bei einem Zeichenkanal erreichbare Durchsatz kann für konstante Zeichenlängen bestimmt werden, wenn folgende Vorgabewerte bekannt sind:

- Länge der Informationsfeldlänge LI ,
- Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_B ,
- Kanal-Laufzeit T_L ,
- Kanalbitrate v .

Der Durchsatz für das Fehlerkorrekturverfahren BASIC wird zunächst ermittelt unter der Annahme, daß der Modulwert keine Einschränkung darstellt, d.h. daß $NMAX \geq NMAX_G$ gewählt worden ist. Die Bedienungszeiten der Sende- und Empfangseinheiten sollen in der Kanal-Laufzeit enthalten sein. Weiterhin soll die Eingangswarteschlange EWS immer Zeichen enthalten, die auf Übertragung warten.

Im ersten Schritt wird der Erwartungswert der Ankunftsabstände $E[T_A]$ fehlerfreier Zeichen in der Empfangseinheit einer Station ermittelt. Fehlerfrei heißt hierbei, daß das Zeichen ohne Übertragungs- und Sequenzfehler eingetroffen ist. Die Ankunftsabstände setzen sich dabei aus den beiden folgenden Komponenten zusammen:

- t_{AO} : Ankunftsabstand bei fehlerfreiem Zeichen (Fehleranzahl = 0),
- t_{AW} : Wiederholdauer, um die sich der Ankunftsabstand über t_{AO} hinaus durch eine einmalige Wiederholung erhöht.

Wird ein Zeichen x -mal bis zum fehlerfreien Empfang gestört, so ist der Ankunftsabstand zu dem zuletzt fehlerfrei empfangenen Zeichen gegeben durch:

$$t_{Ax} = t_{AO} + x \cdot t_{AW} \quad (4.3)$$

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von x Störungen eines Zeichens läßt sich aus der Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_B des Zeichenkanales berechnen. Dabei gilt:

P_Z : Wahrscheinlichkeit, daß ein Informationszeichen (MSU) gestört worden ist, wobei die MSU unmittelbar aufeinander folgend gesendet werden.

$$P_Z = 1 - (1 - p_B)^{(LI + 7) \cdot 8} \quad (4.4)$$

$P_O = 1 - P_Z$: Wahrscheinlichkeit, daß ein Zeichen nicht gestört worden ist.

$P_1 = (1 - P_Z) P_Z^1$: Wahrscheinlichkeit, daß ein Zeichen nach einer einmaligen Störung fehlerfrei empfangen wird.

⋮
⋮
⋮

$P_x = (1 - P_Z) P_Z^x$: Wahrscheinlichkeit, daß ein Zeichen nach x -maliger Störung fehlerfrei empfangen wird.

Der Erwartungswert des Ankunftsabstandes in der Empfangseinheit, bei konstanter Zeichenlänge, ergibt sich zu:

$$E[T_A] = \sum_{x=0}^{\infty} t_{Ax} \cdot P_x \quad (4.5)$$

Durch Einsetzen von t_{Ax} und P_x erhält man;

$$E[T_A] = \sum_{x=0}^{\infty} (t_{AO} + x \cdot t_{AW}) \cdot (1 - P_Z) P_Z^x \quad (4.6)$$

Mittels Umformungen ergibt sich:

$$E[T_A] = t_{AO} (1 - P_Z) \sum_{x=0}^{\infty} P_Z^x + t_{AW} (1 - P_Z) \sum_{x=0}^{\infty} x P_Z^x \quad (4.7)$$

Die erhaltenen Summenkomponenten können ersetzt werden durch:

$$\sum_{x=0}^{\infty} p_Z^x = \frac{1}{1-p_Z} \quad (4.8)$$

$$\sum_{x=0}^{\infty} x p_Z^x = \frac{1}{(1-p_Z)^2} \quad (4.9)$$

Damit ergibt sich der Erwartungswert zu:

$$E[T_A] = t_{AO} + t_{AW} \frac{p_Z}{(1-p_Z)} \quad (4.10)$$

Zur Bestimmung der Wiederholdauer t_{AW} ist zunächst der zeitliche Ablauf eines Wiederholzyklus allgemein darzustellen. In Bild 5.27 sind die Ereigniszeitpunkte des Zeichenaustausches zwischen den Signalisierungspunkten A und B in der Zeitachse eingetragen. Dabei wird das Zeichen mit der Vorwärts-Folgennummer i als Testzeichen benutzt.

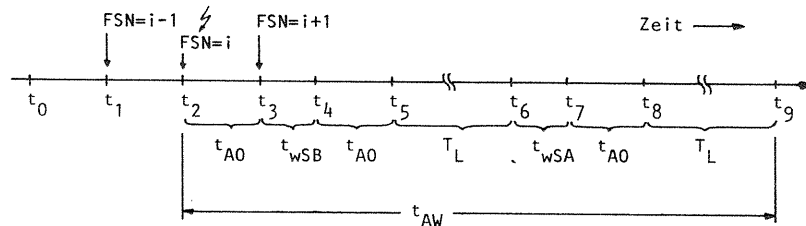


Bild 5.27 : Ereigniszeitpunkte bei der Zeichenwiederholung

Zum Zeitpunkt t_1 ist im Signalisierungspunkt B das Zeichen mit der Vorwärts-Folgennummer $FSN=i-1$ fehlerfrei empfangen worden. Zum nächsten Zeitpunkt t_2 sollte das Zeichen mit der Vorwärts-Folgennummer $FSN=i$ eingetroffen sein. Dieses Zeichen wird jedoch verworfen, da es fehlerbehaftet ist. Vom Zeitpunkt t_2 ab

beginnt die Zeitmessung für die Wiederholdauer t_{AW} . Zum Zeitpunkt t_3 wird das nächste Zeichen mit der Vorwärts-Folgennummer $FSN=i+1$ fehlerfrei empfangen. Da nun ein Sequenzfehler erkannt wird (Zeichen mit $FSN=i$ mußte verworfen werden), ist durch eine negative Quittung eine Wiederholung beim Signalisierungspunkt A anzufordern. Diese Quittung wird mit dem nächstmöglichen Zeichen, Sendebeginn bei t_4 , von dem Signalisierungspunkt B abgesendet. Die Zeitdifferenz $t_{WSB} = t_4 - t_3$, ist eine Wartezeit aufgrund der Restsendezeit des gerade gesendeten Zeichens im Signalisierungspunkt B. Zum Zeitpunkt t_5 ist die Quittung von der Sendeeinheit in B auf die Leitung ausgesendet worden und trifft nach der Kanal-Laufzeit T_L bei dem Empfänger in A zum Zeitpunkt t_6 ein. Aufgrund der Quittungsart wird eine Wiederholung initiiert. Nach der Wartezeit $t_{WSA} = t_7 - t_6$, der Restsendezeit des Zeichens, das gerade vom Signalisierungspunkt A ausgesendet wird, beginnt bei t_7 die wiederholte Übertragung des Zeichens mit der Vorwärts-Folgennummer $FSN=i$. Bei t_8 befindet sich das Zeichen auf der Leitung und nach der Kanal-Laufzeit T_L trifft das Zeichen zum Zeitpunkt t_9 beim Signalisierungspunkt B ein. Die Zeitspanne von t_2 bis t_9 umfaßt die Wiederholdauer $t_{AW} = t_9 - t_2$. Wird das Zeichen bei der wiederholten Übertragung erneut gestört, so schließt sich nochmals eine gleichartige Wiederholung an.

Für die Wartezeiten t_{WSA} und t_{WSB} in den beiden Signalisierungspunkten A und B bis zum nächsten Sendebeginn gelten die Grenzwerte:

$t_{w \min} = 0$ Mit dem Senden des Zeichens kann unmittelbar begonnen werden.

$t_{w \max} = t_{AO}$ Es ist gerade mit dem Senden des vorangehenden Zeichens begonnen worden, daher muß die Restsendezeit gewartet werden.

Damit gilt für die Wiederholdauer t_{AW} :

$$t_{AW \min} \leq t_{AW} \leq t_{AW \max} \quad (4.11)$$

Unter Berücksichtigung der Voraussetzungen;

- Eingangswarteschlange EWS enthält immer Zeichen,
- $N_{MAX} \geq N_{MAX_G}$,
- konstante Zeichenlänge,

muß der Ankunftsabstand T_A und auch die Wiederholdauer t_{AW} ein ganzzahliges Vielfaches der Sendezeit eines Zeichens $t_{ZM(LI)}$ sein. Die Zeichen treffen, aufgrund ihrer konstanten Länge, beim Empfänger eines Signalisierungspunktes im konstanten Abstand t_{AO} ein, es gilt:

$$t_{AO} = t_{ZM(LI)}. \quad (4.12)$$

Die Sendezeit $t_{ZM(LI)}$ wurde in Gleichung (4.2) definiert. Bezüglich der Wiederholdauer t_{AW} gilt daher die Beziehung:

$$t_{AW} = n \cdot t_{AO} = 2T_L + 3t_{AO} + t_{WSB} + t_{WSA} \quad (4.13)$$

$n \dots$ ganzzahlig

Die Wiederholdauer liegt somit, unter Berücksichtigung der Grenzwerte t_{wmin} und t_{wmax} in dem Zeitbereich:

$$2 T_L + 3 t_{AO} \leq t_{AW} \leq 2 T_L + 5 t_{AO} . \quad (4.14)$$

Für die betrachteten Parameter LI und T_L gelten die Wiederholdauern $t_{AW}(T_L, LI)$, wobei T_L in der Einheit ms angegeben ist;

$$\begin{aligned} 5 t_{ZM}(63) &\leq t_{AW}(5,63) \leq 6 t_{ZM}(63) , \\ 11 t_{ZM}(3) &\leq t_{AW}(5,3) \leq 13 t_{ZM}(3) , \\ 72 t_{ZM}(63) &\leq t_{AW}(300,63) \leq 74 t_{ZM}(63) , \\ 483 t_{ZM}(3) &\leq t_{AW}(300,3) \leq 485 t_{ZM}(3) . \end{aligned}$$

Für die beiden Grenzwerte t_{wmin} und t_{wmax} der Wartezeiten lassen sich die zugehörigen Erwartungswerte der Ankunftsabstände $E[T_A]_{min}$ und $E[T_A]_{max}$ entsprechend der Gleichung (4.10) berechnen. Die Parameter LI , T_L und p_B sind vorzugeben.

	$T_L=5 \text{ ms}$				$T_L=300 \text{ ms}$			
	$LI=3$		$LI=63$		$LI=3$		$LI=63$	
	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$
$D(t_{wmin})$	0,920	0,991	0,795	0,973	0,208	0,721	0,212	0,714
$D(t_{wmax})$	0,906	0,989	0,763	0,767	0,206	0,720	0,210	0,711

Tabelle 5.7 : Maximaler Durchsatz für $N_{MAX} \geq N_{MAX_G}$

	$T_L=5 \text{ ms}$				$T_L=300 \text{ ms}$			
	$LI=3$		$LI=63$		$LI=3$		$LI=63$	
	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$	$p_B=10^{-4}$	$p_B=10^{-5}$
$D(t_{wmin})$	0,920	0,991	0,795	0,973	0,055	0,189	0,212	0,714
$D(t_{wmax})$	0,906	0,989	0,763	0,767	0,055	0,189	0,210	0,711

Tabelle 5.8 : Maximaler Durchsatz für $N_{MAX} = 127$

Mit den Erwartungswerten kann schließlich der Durchsatz des Zeichenkanales bestimmt werden, wobei es sich um den größtmöglichen erreichbaren Durchsatz handelt. Es gilt für die beiden Grenzbetrachtungen

$$D(t_{wmin}) = \frac{t_{ZM(LI)}}{E[T_A]_{min}} \quad (4.15)$$

und

$$D(t_{wmax}) = \frac{t_{ZM(LI)}}{E[T_A]_{max}} \quad (4.16)$$

Die Durchsatzwerte für die betrachteten Parameter sind in der Tabelle 5.7 zusammengestellt.

Welcher Durchsatzwert sich in einem realisierten Zeichenkanal einstellen würde, hängt von der Phasenlage der Zeitpunkte ab, zu denen bei den Signalisierungspunkten A und B mit dem Senden eines Zeichens begonnen wird. Der Durchsatzwert liegt jedoch innerhalb des durch die beiden Grenzwerte angegebenen Bereiches.

Wird bei der Durchsatzermittlung auch die Auswirkung des gewählten Wertes für NMAX berücksichtigt, so gilt für das Fehlerkorrekturverfahren BASIC;

$$D(t_{w \min}) = \begin{cases} \frac{t_{ZM}(LI)}{E[T_A]_{\min}} & \text{für } NMAX \geq NMAX_G \\ \frac{NMAX}{NMAX_G} \cdot \frac{t_{ZM}(LI)}{E[T_A]_{\min}} & \text{für } NMAX \leq NMAX_G \end{cases} \quad (4.17)$$

$$D(t_{w \max}) = \begin{cases} \frac{t_{ZM}(LI)}{E[T_A]_{\max}} & \text{für } NMAX \geq NMAX_G \\ \frac{NMAX}{NMAX_G} \cdot \frac{t_{ZM}(LI)}{E[T_A]_{\max}} & \text{für } NMAX \leq NMAX_G \end{cases} \quad (4.18)$$

Durchsatzwerte für den bei dem Verfahren BASIC empfohlenen Wert NMAX = 127 werden in Tabelle 5.8 angegeben.

Ein Vergleich der in den Tabellen 5.7 und 5.8 aufgeführten Durchsatzwerte mit den durch die simulative Untersuchung ermittelten Werten zeigt, daß die Simulationsergebnisse zwischen den hier errechneten Grenzwerten liegen.

5.4.5.3. Durchlaufzeiten

Die Durchlaufzeiten der Signalisierungszeichen bei einem Zeichenkanal sind ein weiteres wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Zeichenkanales bzw. eines Signalisierungssystems. Die Durchlaufzeit (Message Transfer Time, MTT) ist dabei die Zeit vom Eintreffen eines Zeichens in der Eingangswarteschlange des Signalisierungspunktes bis zum fehlerfreien Empfang in der Empfangseinheit des anderen Signalisierungspunktes. Die nachfolgend gezeigten Diagramme enthalten als Ergebnis der simulativen Untersuchung die mittleren Durchlaufzeiten $E[MTT]$, aufgetragen über dem Zeichenangebot an den Zeichenkanal.

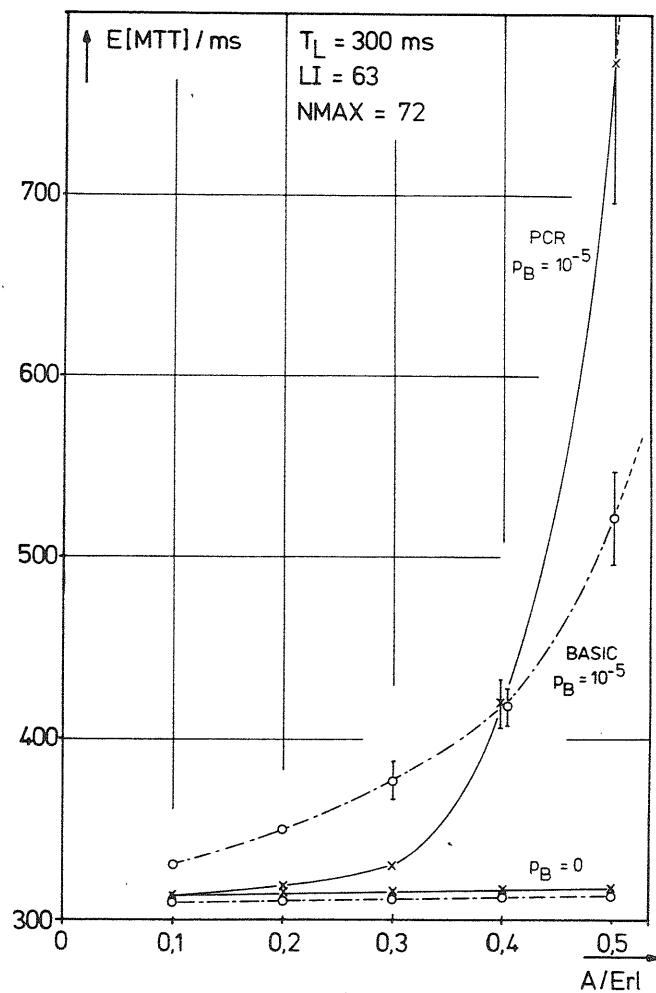
Diese mittleren Durchlaufzeiten bieten eine Grundlage für die Dimensionierung der Anzahl notwendiger Zeichenkanäle in Signalisierungsnetzen. Die Anzahl der Zeichenkanäle muß so gewählt werden, daß bei einem Ausfall eines Zeichenkanales dessen Verkehr auf einen anderen Zeichenkanal zusätzlich aufgeschaltet werden kann, ohne daß dieser instabil wird.

Zunächst werden die Untersuchungsergebnisse für die Zeichenlänge $LI = 63$ und eine Satellitenstrecke mit der Kanal-Laufzeit $T_L = 300$ ms vorgestellt. Hierbei sind in Bild 5.28 die mittleren Durchlaufzeiten für die beiden Fehlerkorrekturverfahren BASIC und PCR gegenübergestellt. Die Bitfehlerwahrscheinlichkeit beträgt $p_B = 10^{-5}$. Die Ergebnisse sind als Funktion des Zeichenangebotes eingetragen, welches sich als Produkt der Sendezeit eines Zeichens $t_{ZM}(LI)$ und der Ankunftsrate λ_{MSU} der Zeichen ergibt.

$$A = \lambda_{MSU} \cdot t_{ZM}(LI) \quad (4.19)$$

Für die Anzahl gleichzeitig vergebbarer Folgennummern ist der Wert NMAX = 72 vorgegeben, da sich dieser Wert bei der Durchsatzuntersuchung für die übrigen Parameter T_L , LI und p_B als optimal herausgestellt hat.

Die zusätzlich eingetragene Vergleichskurve für die Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_B = 0$ umfaßt ausschließlich die Wartezeiten

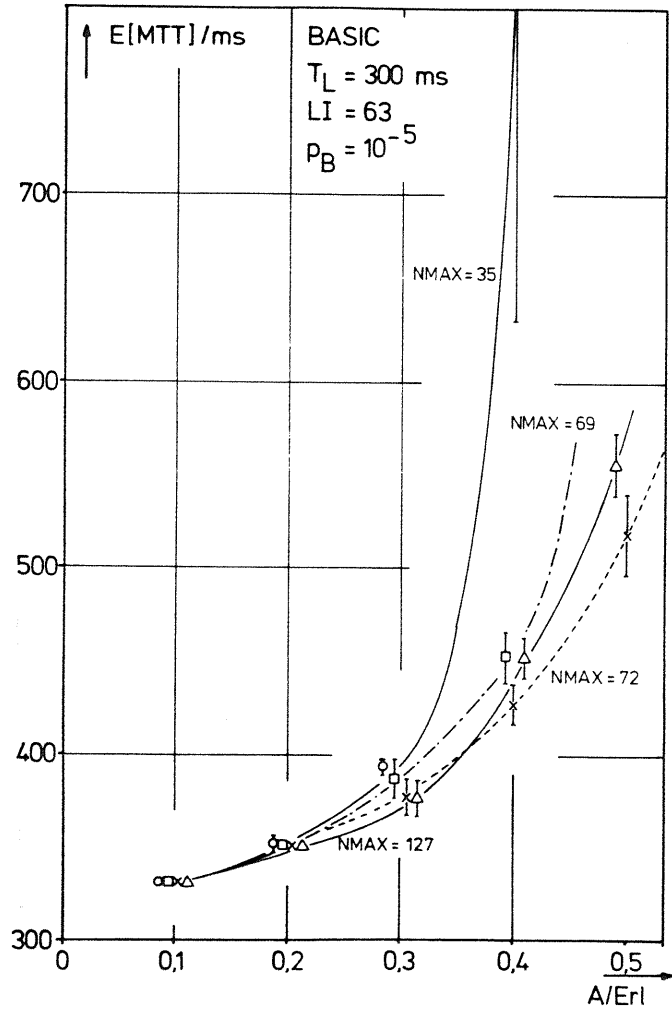


Simulationsergebnisse mit 95%-Vertrauensintervall

Bild 5.28 : Mittlere Durchlaufzeit $E[MTT]$ bei einer Satellitenstrecke und den Fehlerkorrekturverfahren BASIC und PCR

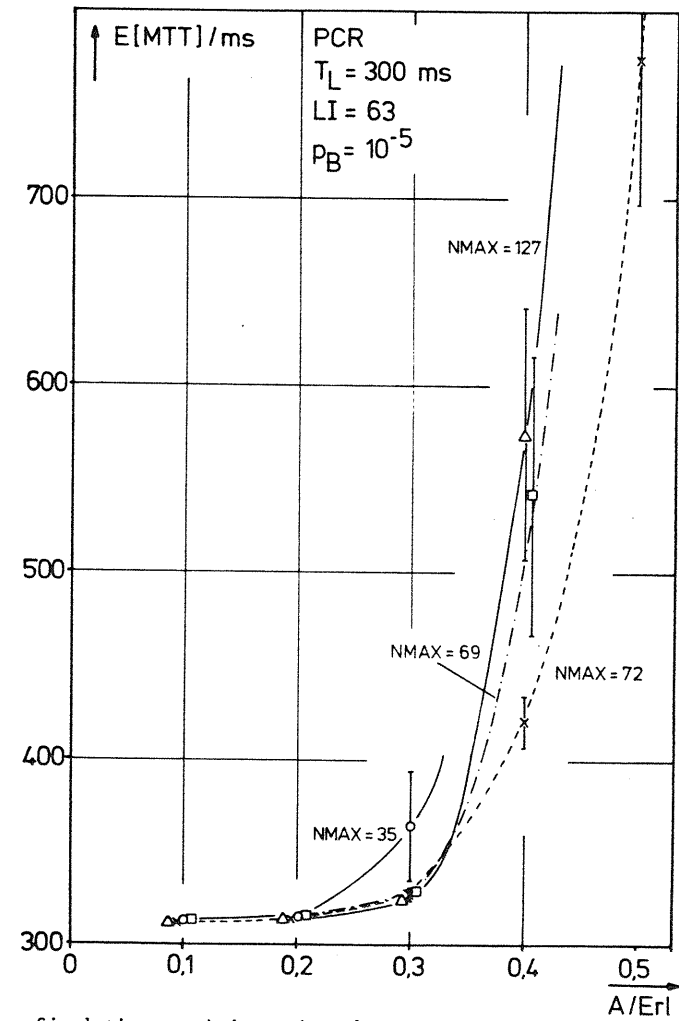
der Zeichen in der Eingangswarteschlange EWS, die Sendezeiten $t_{ZM}(63)=8,75$ ms und die Kanal-Laufzeit $T_L=300$ ms. Bei den Kurven für die Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_B=0$ zeigt das Verfahren PCR gegenüber dem Verfahren BASIC etwas ungünstigere, höhere Werte, da bei PCR im Leerlauf (keine weiteren Zeichen in der EWS) Wiederholungen aus dem RTB durchgeführt werden. Bei dem Verfahren BASIC werden im Leerlauf Füllzeichen gesendet. Hierdurch bedingt liegt der Erwartungswert der Wartezeit in der EWS, in den die Restsendezeit der jeweils gerade gesendeten Zeichen eingeht, bei PCR über demjenigen des Verfahrens BASIC. Bei den Kurven für die Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_B=10^{-5}$ ergeben sich im Bereich kleiner Angebotswerte ($< 0,4$ Erl) für PCR geringere mittlere Durchlaufzeiten gegenüber dem Verfahren BASIC. Dies ist begründet in der bei PCR durchgeführten vorbeugenden Wiederholung im Leerlauf und der dadurch bedingten schnelleren Korrektur fehlerhaft übertragener Zeichen. Ab dem Angebotswert $0,4$ Erl weist das Verfahren PCR größere mittlere Durchlaufzeiten gegenüber dem Verfahren BASIC auf. In diesem Bereich wird bei PCR häufig der Grenzwert NMAX erreicht und damit ein zusätzlicher nicht unterbrechbarer Wiederholzyklus eingeleitet, der zu stark ansteigenden Wartezeiten in der Eingangswarteschlange führt. Bei dem Verfahren BASIC dagegen können während einer Wiederholung durch positive Quittungen freiwerdende Folge-nummern sofort wieder vergeben werden.

In den Diagrammen der Bilder 5.29 und 5.30 wird der Einfluß der Größe NMAX, getrennt für die beiden Fehlerkorrekturverfahren PCR und BASIC für gleiche Parameter T_L , LI und p_B dargestellt. Wird bei dem Verfahren BASIC von dem CCITT-Vorgabewert der Modulo-Numerierung 128 abgewichen, so kann eine günstigere mittlere Durchlaufzeit erreicht werden. Dies ist in Bild 5.29 für die konstante Zeichenlänge mit $LI = 63$ gezeigt. Der optimale Wert $NMAX = 72$ führt zu den niedrigsten mittleren Durchlaufzeiten, bei gleichzeitig maximalem Durchsatz. Werden dagegen zu niedrige Werte ($NMAX = 35$ oder 69) gewählt, so erhöhen sich die mittleren Durchlaufzeiten aufgrund großer Wartezeiten in der Eingangswarteschlange EWS, bedingt durch die Durchsatzeinschränkung aufgrund des reduzierten Folgenummervorrates.



Simulationsergebnisse mit 95%-Vertrauensintervall

Bild 5.29 : Mittlere Durchlaufzeit $E[MTT]$ für eine Satellitenstrecke und das Verfahren BASIC bei unterschiedlichen Werten NMAX



Simulationsergebnisse mit 95%-Vertrauensintervall

Bild 5.30 : Mittlere Durchlaufzeit $E[MTT]$ für eine Satellitenstrecke und das Verfahren PCR bei unterschiedlichen Werten NMAX

Wird NMAX ein unnötig großer Wert zugewiesen, z.B. NMAX = 127, so treten im Fehlerfall gegenüber dem Wert NMAX = 72 größere Wiederholzykluslängen auf, welche für die Zeichen in der Eingangswarteschlange zu höheren Wartezeiten und insgesamt zu größeren mittleren Durchlaufzeiten führen.

Bild 5.30 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für das PCR-Verfahren. Bei den vorgegebenen Parametern stellt sich auch hier für NMAX = 72 die niedrigste mittlere Durchlaufzeit ein. Werden für NMAX die Werte NMAX = 35 oder 69 gewählt, so wirken sich diese über die Durchsatzeinschränkung in größeren Wartezeiten und damit auch in größeren mittleren Durchlaufzeiten gegenüber NMAX=72 aus. Bei NMAX = 127 wirkt sich die zunehmende Anzahl der Wiederholzykluslängen durch Erreichen von NMAX unquittierten Zeichen aus. Bei kleinen Angebotswerten ist kein signifikanter Unterschied festzustellen, da jeweils nur wenige Zeichen unquittiert im Wiederholspeicher stehen. Die Anzahl NMAX unquittierter Zeichen wird kaum erreicht und erzwungene Wiederholungen treten selten auf.

Die bisherigen Betrachtungen und Untersuchungsergebnisse bezogen sich auf Signalisierungszeichen konstanter Länge. In Bild 5.31 sind die mittleren Durchlaufzeiten für die beiden Verfahren PCR und BASIC angegeben, wobei Zeichen unterschiedlicher Länge berücksichtigt werden. Die einzelnen Zeichenlängen LI treten dabei mit der Wahrscheinlichkeit p(LI) auf. Das Zeichenangebot ermittelt sich als Produkt der Zeichen-Ankunftsrate λ_{MSU} und der mittleren Sendezeit h_{ZM} . Es gilt für die mittlere Zeichenlänge l ,

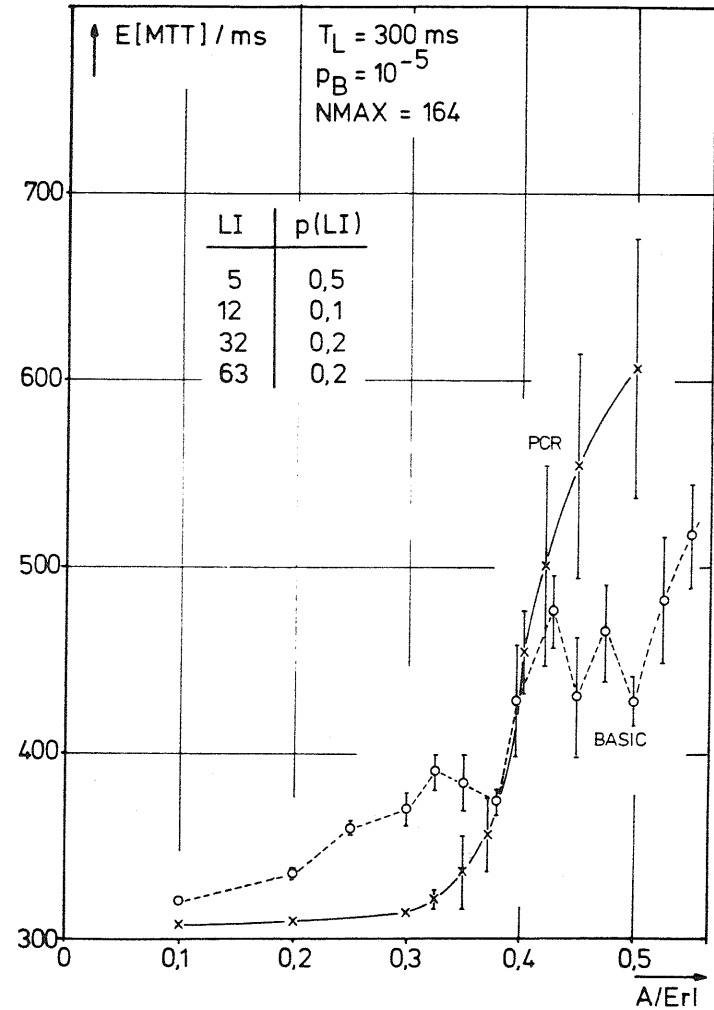
$$l = \sum_{LI=3}^{LI=63} (LI+7) \cdot 8 \text{ bit} \cdot p(LI) \quad (4.20)$$

Damit ergibt sich die mittlere Sendezeit h_{ZM} zu:

$$h_{ZM} = \frac{l}{v} \quad (4.21)$$

Das Zeichenangebot ist somit:

$$A = \lambda_{MSU} \cdot h_{ZM} \quad (4.22)$$



Simulationsergebnisse mit 95%-Vertrauensintervall

Bild 5.31 : Mittlere Durchlaufzeit E[MTT] für eine Satellitenstrecke mit den Verfahren BASIC oder PCR und unterschiedlichen Zeichenlängen

Die Ergebnisse bei unterschiedlichen Zeichenlängen zeigen, wie bei konstanten Zeichenlängen, günstigere mittlere Durchlaufzeiten für das Verfahren PCR, im Bereich kleiner Angebotswerte. Ab einem Zeichenangebot von 0,4 Erl erweist sich das Verfahren BASIC als vorteilhafteres Verfahren, welches zudem noch über die für das Verfahren PCR geltenden Angebotsgrenzwerte hinaus eingesetzt werden kann. Der vorgegebene Wert $N_{MAX} = 164$ wurde aus der mittleren Zeichenlänge abgeleitet.

5.4.6. Bewertung der Ergebnisse

Aus den gezeigten Ergebnissen können Hinweise für die Dimensionierung der Anzahl notwendiger Zeichenkanäle hinsichtlich des Zeichenangebotes pro Zeichenkanal abgeleitet werden, sowie Aussagen über die vorgebbaren Systemparameter.

Die Anzahl der Zeichenkanäle ist unter der Vorgabe eines Angebotswertes $A \lesssim 0,3$ Erl pro Zeichenkanal festzulegen. Damit kann auch nach Übernahme des Zeichenverkehrs von einem gestörten anderen Zeichenkanal ein stabiler Betrieb gewährleistet werden. Der Arbeitspunkt für den Normalfall befindet sich hierbei im Bereich kleiner mittlerer Durchlaufzeiten.

Bezüglich der Systemparameter sind die Anzahl vergebbarer Folge-nummern (N_{MAX}) und das Fehlerkorrekturverfahren festzulegen. Hierbei ist besonders für Satellitenstrecken und Angebotswerte bis 0,4 Erl das PCR-Verfahren zu wählen. Der Wert für N_{MAX} ist individuell für jeden Zeichenkanal als Funktion seiner Kanal-Laufzeit und der Zeichenlängen zu bestimmen.

6. Zusammenfassung

Der Übergang von einem digitalen reinen Fernsprechvermittlungssystem zu einem leitungsvermittelnden diensteintegrierten Vermittlungssystem für Wählverbindungen ist durch zwei realisierte Integrationsschritte vorgestellt worden. Beim ersten Integrationsschritt wurde das Fernsprechsystem um die zusätzliche Datenvermittlungseigenschaft erweitert, zu einem kombinierten Vermittlungssystem für Fernsprech- und Datenverkehr. Die für die Erweiterung und Ergänzung notwendige Hardware und Software wurde vorgestellt und erläutert.

Für den zweiten Integrationsschritt wurden diensteintegrierte Vermittlungseinrichtungen entwickelt, die den Teilnehmern eine einheitliche Schnittstelle für alle angebotenen Dienste bereitstellen. Damit verbunden war die Entwicklung einer Signalisierungsprozedur für die Teilnehmerleitung und die Entwicklung von Baugruppen, die für die Durchschaltung von Verbindungen mit unterschiedlichen Bitraten geeignet sind.

Neben der Systementwicklung wurden Untersuchungen zur Verkehrsleistung der realisierten Baugruppen (Datenvermittlungsmodul, Multi-Bitraten-Koppelnetz) und des implementierten Zentralkanal-Zeichengabeverfahrens CCITT Nr.7 durchgeführt. Diese Untersuchungen, mittels unterschiedlichen zeitreuen Simulationsverfahren, zeigten hinsichtlich des Datenvermittlungsmoduls die Leistungsfähigkeit seiner Mikroprozessor-Steuerung in Verbindung mit der zentralen Ablaufsteuerung der Vermittlungsstelle. Weiterhin wurde die Auswirkung der Empfehlung CCITT X.51 bei den Abnehmersystemen des Multi-Bitraten-Koppelnetzes im ausgelagerten Vermittlungsmodul durch Simulationsergebnisse verdeutlicht. Die abschließende Untersuchung des Verfahrens CCITT Nr.7 zeigte für unterschiedliche Verkehrs- und Systemparameter die sinnvollen Einsatzbereiche der beiden Fehlerkorrekturverfahren BASIC und PCR.

Mit dem realisierten Labormodell des Vermittlungssystems PILOT (Partielle Integration im lokalen Telefonnetz) und den durchgeführten Untersuchungen wurde ein durchführbarer Übergang von einem reinen Fernsprech-Ortsvermittlungssystem zu einem diensteintegrierten Ortsvermittlungssystem aufgezeigt.

