

Universität Stuttgart

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

47. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten

**UMWELTSIMULATOR
FÜR DEN FUNKTIONS- UND LASTTEST
VON NACHRICHTENVERMITTLUNGSSYSTEMEN**

von

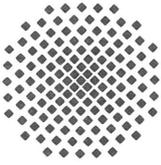
Wolfram Lemppenau

1989

© 1989 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung Universität Stuttgart

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

ISBN 3-922403-57-3



University of Stuttgart

Institute of Communications Switching and Data Technics

Prof. Dr.-Ing. P. Kühn

47th Report on Studies in Congestion Theory

**ENVIRONMENT SIMULATOR
FOR LOAD AND FUNCTIONAL TESTING
OF SWITCHING SYSTEMS**

by

Wolfram Lemppenau

1989

ENVIRONMENT SIMULATOR FOR LOAD AND FUNCTIONAL TESTING
OF SWITCHING SYSTEMS

SUMMARY

The report is concerned with a new concept of an environment simulator for SPC switching system testing. The simulator provides a tool to investigate the switching system performance for up to 1000 subscriber and central office lines of a PABX, based on the call handling capacity under designed load as well as under overload and allows for the assessment of the effectiveness of overload control strategies. The concept of modelling analog and digital (ISDN) subscriber stations and the influence of the coding of the signalling information on the subscriber model are presented. Implementation aspects concerning real time requirements are discussed and the performance of the environment simulator itself is evaluated.

CHAPTER 1: INTRODUCTION

A number of environment simulation approaches can be found in the literature /9,22,39,40,56,82,99,103,111/. Most of them are designed for specific systems to be tested. Thus, they are system dependent and can only be applied to the dedicated systems. Other approaches deal with more system independent concepts. However, they are designed for use in simulations of a relatively small number of subscriber lines. Most of known environment simulators do not take into consideration the dependency of the subscriber behaviour on system reactions.

Current and future (ISDN) switching systems are characterized by highly parallelized peripheral modules and a hierarchical structure with concentrated centralized functions. All switching functions, overload control and intermodule communication are software controlled. As a consequence, more powerful performance investigation methods are required in order to support the system design and to ensure a proper system performance. Chapter 1 states this motiva-

tion for the following work.

CHAPTER 2: CONCEPT OF AN ENVIRONMENT SIMULATOR FOR LOAD AND FUNCTIONAL TESTING

This chapter presents the state of the art of current and future switching systems and discusses the multifariousness of the requirements of the environment simulation. The current situation forces the environment simulator to support all analog and digital user station and public network interfaces for the logical signalling and the physical coding. The current standards do not take into account the specific point of view of the environment simulation. The essentially measured quantities for describing switching system performance are presented and compared with current standards. The basic concepts for modelling the subscriber line, the terminal equipment, the office lines, the interconnection between the environment simulator and the switching system to be tested and the basic system structure of the environment simulator are presented.

CHAPTER 3 : MODELLING THE ENVIRONMENT

Taking into account the differences between the analog and digital subscriber and central office lines, the third chapter discusses the used principles in detail to model the complete environment. The main causes are presented and discussed which will have a significant influence on the modelling of the environment.

For the analog subscriber and central office lines, a linear translation of the single, logical user actions on the correspondent physical codes can be used. In Germany the signalling procedure "Hauptanschlußkennzeichenverfahren" /35/ is used to control the state of an analog connection. The coding of digits on the subscriber line is based either on the "Impulswahlverfahren" /32/ or the "Mehrfrequenzwahlverfahren" /32/ and on the central office line additional on the "Erdimpulswahlverfahren" /35/. This forces the environment simulation to include all dependencies between the sig-

nalling procedure and the subscriber model in addition to the user oriented functionality.

ISDN oriented subscriber and office lines are characterized by a nonlinear translation for the single, logical user oriented action on the correspondent D-channel primitives. The signalling procedure oriented dependencies as found for the analog subscriber and office lines do not exist except for the transmission delays and waiting times caused by the simulator internal delays like the waiting times in queues and the service times of the processing units. It is shown that the system structure as described in chapter 2 allows the simulation of analog and digital (ISDN) subscriber and office lines as well as the combination of the principles of functional and load testing of switching systems.

CHAPTER 4: IMPLEMENTATION AND FIELD EXPERIENCE

In the first part of this chapter the interactions between system structure, discrete hardware solutions, software controlled oriented modules and the overall system performance of the environment simulator are presented and discussed. For the measurement of system reaction times and the execution of statistics it is shown that the operating of the simulator and the system structure have to take into account the specific models for the analog or digital (ISDN) subscriber and office lines and their temporal parameters.

In the second part the principle sources of errors for the measurement of system reaction times are discussed which are caused by the system structure of the simulator itself and the principles to connect the simulator to the target system. An analytic solution is given to calculate the actual reaction times.

The evaluation of the real system performance of the simulator and the optimal server strategies for the individual modules are described in the third part of chapter 4. A detailed queuing model is developed and investigated by means of computer simulations. Chapter 4 closes with the presentation of the embedding of two environment simulators in an industrial environment for PABX design.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Schrifttum	5
a) Deutschsprachiges Schrifttum	5
b) Englischsprachiges Schrifttum	13
Liste der Abkürzungen	18
Notation für Zufallsvariablen	22
1 Einleitung	23
1.1 Vermittlungstechnik : Entwicklung der Systemstrukturen	23
1.2 Aspekte des Software Engineering in der Vermittlungs- technik	27
1.3 Methoden der Leistungsbestimmung	29
1.4 Grundsätzliche Aufgabenstellungen	31
1.5 Aufbau der Arbeit	32
2 Konzeption eines Umweltsimulators für Funktions- und Lasttest	34
2.1 Heutige Situation in der öffentlichen Vermittlungs- technik	34
2.2 Nebenstellenvermittlungstechnik	37
2.2.1 Digitale Nebenstellentechnik	37
2.2.2 ISDN-fähige Nebenstellentechnik	39
2.3 Anforderungen an die Umweltsimulation aus der Sicht heutiger Vermittlungssysteme	43
2.4 Modell eines Vermittlungssystems aus der Sicht der Umwelt	47
2.4.1 Prozesse eines Vermittlungssystems	48
2.4.2 Funktionen eines Vermittlungssystems	51
2.4.3 Vermittlungsprinzipien	52
2.4.4 Realzeitverhalten von Vermittlungssystemen	53
2.4.5 Schnittstellen und Signalisierung einer Nebenstellenanlage	54

	<u>Seite</u>
2.4.5.1	Analoge Teilnehmeranschlußleitung 55
2.4.5.2	Digitale Teilnehmeranschlußleitung 57
2.4.5.3	Schnittstellen zum öffentlichen Fernsprechnet 59
2.4.5.4	Schnittstellen zu Abfrageterminals und Systemkonsolen 61
2.5	Vermittlungssystemrelevante Meßgrößen 63
2.6	Grundkonzept des Umweltsimulators 72
2.6.1	Leistungsmerkmale 72
2.6.2	Abbildung der peripheren Konfiguration 74
2.6.3	Betreiberschnittstellen 76
2.6.4	Funktionen und Prozesse 77
2.6.5	Software- und Hardware-Module 82
2.7	Ankopplung an Vermittlungssysteme 85
3	Modellierung der Umwelt 89
3.1	Modellierung für den Lasttest 89
3.1.1	Nachbildung des Teilnehmerverhaltens 89
3.1.2	Beschreibungssprache SDL 94
3.1.3	Verwaltung und Steuerung der Teilnehmerprozesse und Meldungen 97
3.2	Einfluß des HKZ-Verfahrens auf die Teilnehmer- modellierung 102
3.2.1	Beginn-Erkennung eines Tones und Rufes 104
3.2.2	Ende-Erkennung eines Tones und Rufes 107
3.3	Modellierung einer analogen Schnittstelle 111
3.3.1	Analoger Fernsprechteilnehmer 111
3.3.2	Analoge Amtsanschlußleitung 117
3.4	Modellierung einer ISDN-Schnittstelle 120
3.4.1	ISDN-Fernsprechteilnehmer 123
3.4.2	ISDN-Fernsprechengerät 125
3.5	Funktionstestaspekte 130
3.5.1	Interaktiver Funktionstest 130

3.5.2	Automatisierter Funktionstest	132
4	Realisierung und Einsatz des Umweltsimulators	137
4.1	Aspekte der Implementierung	137
4.1.1	Modul Zufallszahlengenerator	138
4.1.2	Modul Zeitverwaltung	142
4.1.3	Struktur der Lasttest-Software	148
4.1.4	Zusammenfassung	149
4.2	Meßverfahren und Auswertung	152
4.2.1	Erstellung der Statistik	152
4.2.2	Erfassung von Meßgrößen	152
4.2.3	Einfluß des HKZ-Verfahrens auf die Auswertung von Meßergebnissen	157
4.2.3.1	Wähltonverzug	158
4.2.3.2	Melddauer	163
4.2.4	Zusammenfassung	165
4.3	Leistungsgrenzen und Güte des Umweltsimulators	167
4.3.1	Simulationsmodell des Umweltsimulators	168
4.3.1.1	Verarbeitungseinheiten	168
4.3.1.2	Verkehrsquellen	171
4.3.1.3	Meldungsfluß	173
4.3.2	Ergebnisse	174
4.3.3	Güte des erzeugten Meldungsverkehrs	181
4.3.4	Zusammenfassung	184
4.4	Betriebliche Erfahrungen	186
5	Zusammenfassung	188

Schrifttum

a) Deutschsprachiges Schrifttum

- / 1/ Achilles, D. : Die Fourier-Transformation in der Signalverarbeitung, Springer Verlag, Berlin, 1978.
- / 2/ Albers, R., Daniel, W., Lehnert, R., Lemppenau, W. : Testen von Vermittlungssystemen mit Hilfe des Umweltsimulators UNES, PKI Technische Mitteilungen 1/1987, Nürnberg, Seite 25-30.
- / 3/ Albers, R. : ISDX - Ein Bürokommunikationssystem zum Einsatz im ISDN, PKI Technische Mitteilungen 1/1986, Nürnberg, Seite 17-19.
- / 4/ Allgeier, U. : Entwurf und Realisierung eines Nebenstellenmoduls für den Funktionstest des Umweltsimulators UNES, Studienarbeit Nr. 755, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 5/ Arohiv für deutsche Postgeschichte, Verlag Gesellschaft für deutsche Postgeschichte e.V., Frankfurt am Main, 1977.
- / 6/ Asam, R., Drenkard, N., Maier, H. : Qualitätsprüfung von Softwareprodukten, Siemens Aktiengesellschaft, München, 1986.
- / 7/ Backhaus, M. : Das Konzept des Digitalen Vermittlungssystems DVS8818, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Band 35, Heft 10, 1985, Seite 630-633.
- / 8/ Booker, P. : ISDN. Das diensteintegrierende digitale Nachrichtennetz, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1986.
- / 9/ Bogler, G., Killinger, W. : TRAFFIC - ein rechnergestütztes Analyseverfahren für Verkehrsmeßdaten von Vermittlungsstellen des Systems EWSD, Telcom Report 7, Heft 4, 1984, Seite 232-237.
- / 10/ Braun, V. : Aspekte der verteilten Simulation bei hybriden Simulationsverfahren, Semesterarbeit Nr. 852, Institut für Nach-

richtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.

- / 11/ Bux, W. : Erzeugen von Zufallszahlen auf der Rechenanlage Siemens 306, Studienarbeit Nr. 359, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 12/ Denzel, W. : Untersuchung zu Vermittlungssystemen mit verteilter Steuerung, Dissertationsschrift, Universität Stuttgart, 1987.
- / 13/ Dietrich, G., Salade, R. : Teilbelegungstreue Simulation der Steuerung von Vermittlungssystemen, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 52, Nr. 1, 1977, Seite 61-68.
- / 14/ Döring, R., Keßler, A., Ribinski, P. : Integral 222/333 die neuen ISDN-Kommunikationssysteme von TÖN, TÖN Nachrichten, Heft 87, 1985, Seite 6-20.
- / 15/ EBX 180 - eine neue Systemfamilie von TeKaDe-Fernsprechanlagen, TeKaDe Fernmeldeanlagen¹⁾, Nürnberg, April 1982, Seite 5-43.
- / 16/ Ellmayer, J. : DVS 8818 : Modulares, digitales Vermittlungssystem für Sprach-, Daten-, Text- und Bildkommunikation, ntz-Sonderheft "Bürokommunikation mit ISDN-Kommunikationssystemen", Oktober 1985, Seite 18-25.
- / 17/ End, W., Gotthardt, H., Winkelmann, R. : Softwareentwicklung, Siemens Aktiengesellschaft, München, 1976.
- / 18/ Elektronisches Wählsystem EWS, Systemübersicht, Leistungsmerkmale, Siemens AG, München, 1980, Seite 22-24.
- / 19/ EWSD, Digitales Elektronisches Wählsystem, Systembeschreibung, Siemens AG, München, A30808-X2589-X-51-18.

1) : Seit 1.1.1983 Philips Kommunikations Industrie (PKI)

- / 20/ Feicht, E.J. : Überprüfung und Test der Software für das Digitalvermittlungssystem EWSD, Telcom Report 8, Heft 3, 1985, Seite 184-187.
- / 21/ Feyerabend, E. : 50 Jahre Fernsprecher in Deutschland 1877-1927, Reichspostministerium Berlin, 1927.
- / 22/ Fontaine, B. : Echtzeit-Umweltsimulation, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 46, Nr. 3, 1971, Seite 189-191.
- / 23/ Foucault, C.C., Cerny, D.J., deLeon, L.P. : TCS-Umweltsimulation, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 48, Nr. 4, 1973, Seite 461-465.
- / 24/ FTZ-Richtlinie 1 TR 2, Technische Forderungen an Endgeräte für Anschlüsse mit analogen Anschaltewerten, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Dezember 1987.
- / 25/ FTZ-Richtlinie 1 TR 3, Technische Forderungen an digitale Endgeräte mit So-Schnittstelle, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Juni 1987.
- / 26/ FTZ-Richtlinie 1 TR 6, Kennzeichenaustausch zwischen DIVO (ISDN)-Vermittlungsstellen und ISDN-Teilnehmereinrichtungen - ISDN-D-Kanal-Protokoll - (Schicht 2 und 3), Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Juli 1987.
- / 27/ FTZ-Richtlinie 1 TR 230, Spezifikation der Schnittstelle So (Schicht 1), Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Februar 1987.
- / 28/ FTZ-Richtlinie 1 TR 240, Teilnehmerbezogene Dienstmerkmale für die Vermittlungsstelle, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, August 1986.
- / 29/ FTZ-Richtlinie 1 TR 241, Teilnehmerbezogene Dienstmerkmale für die Vermittlungseinrichtung, Feinspezifikation aus der Sicht des Benutzers, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, September 1986.

- / 30/ FTZ-Richtlinie 12 R 1, Technische Bedingungen für Nebenstellenanlagen mit Tastwahl, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, März 1983.
- / 31/ FTZ-Richtlinie 12 R 2A, Belastung von Hauptanschlußleitungen, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, November 1971.
- / 32/ FTZ-Richtlinie 12 R 7, Bestimmungen für Wahlverfahren auf Amtsleitungen zwischen Teilnehmerendeinrichtungen und den Einrichtungen der Vermittlungsstellen, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Februar 1984.
- / 33/ FTZ-Richtlinie 12 TR 3, Bemessung der Verkehrsleistung und der abfragenden Stellen von Telekommunikationsanlagen und -systemen (Bem TKAn1), Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Dezember 1987.
- / 34/ FTZ-Richtlinie 121 R 4, Forderungen an Fernsprechapparate in Nebenstellenanlagen, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Mai 1980.
- / 35/ FTZ 123 R1, Richtlinie, Bestimmungen für die Zusammenarbeit von Nebenstellenanlagen mit den Einrichtungen der Vermittlungsstellen, Deutsche Bundespost, Fernmeldetechnisches Zentralamt, Referat F17, November 1977.
- / 36/ Gärtner, M. : Untersuchung der Güte des von UNES erzeugten Verkehrs, Diplomarbeit Nr. 865, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 37/ Gemkow, U. : Erstellung eines Systemprogrammes für die statistische Auswertung der Meßdaten von UNES, Studienarbeit Nr. 752, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 38/ Gühr, O. : Entwurf und Realisierung der Hardware-Baugruppe für die Erzeugung von Zufallszahlen mit beliebigen Verteilungsfunktionen für den universellen Umweltsimulator UNES, Studienarbeit Nr. 696, Institut für Nachrichtenvermittlung und

Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.

- / 39/ Gruszecki, M. : ENTRASIM - ein Echtzeitverkehr-Umweltsimulator für rechnergesteuerte Vermittlungssysteme, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 53, Nr. 1, 1978, Seite 83-90.
- / 40/ Gruszecki, M., Cornelis, F. : Anwendung des Umweltsimulators zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von rechnergesteuerten Vermittlungssystemen, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 51, Nr. 2, 1976, Seite 119-123.
- / 41/ Hansohm, J., Turulski, N., Unmann, G. : Ein empirischer Vergleich von Sortieralgorithmen auf Microcomputern, Angewandte Informatik, Heft 9, 1984, Seite 375-378.
- / 42/ Hingst, W. : System-Integration und Installation des Umweltsimulators UNES, Diplomarbeit Nr. 785, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 43/ Horstmann, E. : 75 Jahre Fernsprechen in Deutschland, Bundesdruckerei Bonn, 1952.
- / 44/ Huber, J.F., E.Mair: Universelle Paketvermittlung durch flexible EWSP-Architektur, teloom report 10, Heft 1, 1987, Seite 12-18.
- / 45/ ISDN im Büro - HICOM, Sonderausgabe teloom report und Siemens-Magazin COM, Siemens Aktiengesellschaft, München, 1985
- / 46/ ITG-Empfehlung 1.6/01 : ISDN-Begriffe, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Band 40, Heft 11, 1987, Seite 814-819.
- / 47/ Jaskulke, G., W.Büchli : Kleine Teilnehmervermittlungsanlagen - analog oder digital ?, Hasler Mitteilungen 4/1987 Bern, Seite 83-90.
- / 48/ Johner, W. : LCS - ein Anrufsimulator für Ortsvermittlungsstellen, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 55, Nr. 3, 1980, Seite 217-20.

- / 49/ Kailing, A. : Anschaltung automatisierter Dienste an das Fernsprechnet, Unterrichtsblätter für das Fernmeldewesen, Jahrgang 39, Nr.1, 1986.
- / 50/ Konzept der Deutschen Bundespost zur Weiterentwicklung der Fernmeldeinfrastruktur, Deutsche Bundespost, Bonn 1984.
- / 51/ Kriegel, B., Lichtenberg, L., Wizgall, M. : System 12B, Telekommunikationssystem 5630, fernmelde praxis, Band 65, Fachverlag Schiele&Schön, Berlin, Januar 1988.
- / 52/ Kühn, P.J. : Manuskript zur Vorlesung "Nachrichtenvermittlung I", Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1985.
- / 53/ Kühn, P.J. : Manuskript zur Vorlesung "Wartezeitprobleme der Daten- und Nachrichtenverkehrstheorie", Universität Stuttgart, 1985.
- / 54/ Kummer, R. : Programm zur Leistungsuntersuchung des Umweltsimulators UNES, Studienarbeit Nr. 810, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 55/ Krügel, G. : Erweiterte Modellierung des Teilnehmerverhaltens bei der Umweltsimulation, Studienarbeit Nr. 757, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 56/ del coso Lambreaabe, M.A. : Umweltsimulation für Echtzeit, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 54, Nr. 2, 1979, Seite 132-138.
- / 57/ Lederer, A. : Modellierung der Funktionalität von ISDN-Endgeräten, Studienarbeit Nr. 851, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 58/ Metzger, R.M., Staber, E. : Anrufsimulator UCS für die Prüfung von Fernleitungsausrüstungen, Elektrisches Nachrichtenwesen, Band 55, Nr. 3, 1980, Seite 210-216.

- / 59/ Nocker,R., Orgaß,G. : Tischrechnergesteuerte Verkehrsmeßeinrichtung, Fernmelde-Praxis, Heft 7, 1984, Seite 275-284.
- / 60/ NTG-Empfehlung 0901 : Dienstgüte beim Fernsprechen, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Band 33, Heft 3, 1980, Seite 199-202.
- / 61/ NTG-Empfehlung 0902 : Nachrichtenvermittlungstechnik, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Band 35, Heft 7, 1982, Seite 481-488, Heft 8, 1982, Seite 549-558.
- / 62/ NTG-Empfehlung 0903 : Nachrichtenverkehrstheorie, Nachrichtentechnische Zeitschrift (ntz), Band 37, Heft 7, 1984, Seite 465-474, Heft 8, 1984, Seite 539-552.
- / 63/ NTG-Empfehlung 1203 : Daten- und Textkommunikation, VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 1981.
- / 64/ Oden,H. : Manuskript zur Vorlesung "Merkmale und Betrieb von Nachrichtennetzen", Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1987.
- / 65/ Pomberger,G. : Softwaretechnik und Modula-2, Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1984.
- / 66/ Rahmenregelung für Mittlere und Große W-Anlagen nach Ausstattung 2 (123 D 5), Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Januar 1988.
- / 67/ Rahmenregelung für Kleine W-Anlagen nach Ausstattung 2 (123 D 6), Fernmeldetechnisches Zentralamt, Darmstadt, Januar 1988.
- / 68/ Rößler,G. : Installation eines Systemprogrammes für die statistische Auswertung der Meßdaten auf UNES, Studienarbeit Nr. 753, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 69/ Sägebarth,J. : Über Eigenschaften von rekursiven Zufallszahlengeneratoren und ihre Anwendung in der Verkehrssimula-

tion, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985.

- / 70/ Schmid, P. : Interaktive Auswertung der Simulationsergebnisse auf dem Umweltsimulator UNES, Diplomarbeit Nr. 787, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 71/ Schwing, H. : Systemprogramme für eine Benutzer-orientierte Konfiguration des Umweltsimulators UNES, Studienarbeit Nr. 838, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 72/ Srok, W. : Entwurf und Implementierung eines Teilnehmerverhaltens-Modells für den Universellen Umweltsimulator UNES, Studienarbeit Nr. 711, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 73/ System 12, Das Digital-Vermittlungssystem, 1754.3802.5, Technische Beschreibung, Standard Elektrik Lorenz AG, Stuttgart.
- / 74/ Tielitz, M. : Entwurf und Realisierung des Zeitverwaltungs-Moduls des universellen Umweltsimulators UNES, Studienarbeit Nr. 751, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.
- / 75/ Tran-Gia, P. : Überlastprobleme in rechnergesteuerten Fernsprechvermittlungssystemen - Modellbildung und Analyse, Dissertationsschrift, Univ.-Gesamthochschule Siegen, 1982.
- / 76/ Uhlig, E., NTZ-Schriftleitung : Fernsprech-Nebenstellenanlagen NTZ-Report 13, VDE-Verlag GmbH, Berlin, 1973.
- / 77/ Voges, U. : Normungsaktivitäten auf dem Gebiet des Software-Engineering, Automatisierungstechnische Praxis atp, 29. Jahrgang, Heft 4, 1987, Seite 183-188.
- / 78/ Voith, D. : Interaktiver Funktionstest einer Nebenstellenanlage mit Hilfe des Umweltsimulators UNES, Studienarbeit Nr. 814, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung,

Universität Stuttgart.

- / 79/ Walke, B. : Digitale Nebenstellenanlagen und lokale Netze, Informatik-Spektrum, Band 11, Heft 1, Februar 1988, Seite 9-28.
- / 80/ Weiß, W. : Über Struktur, Betriebsweise und Verkehrsleistung eines diensteintegrierten Vermittlungssystems für Fernsprech- und Datenverkehr, Dissertationsschrift, Universität Stuttgart, 1984.
- / 81/ Winter, P. : Entwurf eines Interface-Moduls für den Anschluß des Umweltsimulators UNES an eine Nebenstellenanlage, Studienarbeit Nr. 750, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart.

b) Englischsprachiges Schrifttum

- / 82/ Basinger, R.G. et al. : The 5ESSTM System Development Environment GLOBECOM 84, Atlanta, Georgia, USA, 1984, paper 38.1.5, pp. 1269-1273.
- / 83/ Bosco, H. et al. : Managing a Very Large Software Switching Project - No. 5 ESS, Fifth International Conference on Software Engineering For Telecommunication Switching Systems, Lund, Sweden, July 1983, pp. 116-120.
- / 84/ Burkard, L., Phelan, J.J., Weekly, M.D. : Customer Behaviour and Unexpected Dial Tone Delay, Tenth International Teletraffic Congress, Montreal, Canada, 1983, paper 2.4-5.
- / 85/ Buxton, J.N., Parslow, R.D. : Tutorial Seminar on Digital Simulation Techniques and Languages, Department of Computer Science, Brunel University, 1970.
- / 86/ CCITT : Specification of Signalling System No. 7, Recommendations Q.721-Q.795, Red Book, Volume VI, Fasciole VI.8, International Telecommunication Union, Geneva, 1985.

- / 87/ CCITT : Functional Specification and Description Language (SDL), Recommendations Z.100-Z.104, Red Book, Volume VI, Fascicle VI.10, International Telecommunication Union, Geneva, 1985.

- / 88/ CCITT : Functional Specification and Description Language (SDL), Annexes to CCITT Recommendations Z.100-Z.104, Red Book, Volume VI, Fascicle VI.11, International Telecommunication Union, Geneva, 1985.

- / 89/ CCITT : Specification and Description Language (SDL), Recommendation Z.100, Com X-R15-E, been approved 1987 by CCITT Study Group X and will be issued later after a formal vote by the administration.

- / 90/ Choudhury,R., Shukla,M., Wadhwa,T. : Effect of Subscriber Behaviour and Traffic Abnormalities on the Design of SPC Exchanges, Ninth International Teletraffic Congress, Torremolinos, Spain, 1979, paper 148.

- / 91/ CP/M-68K Operating System Programmer's Guide, Digital Research, Pacific Grove, California, USA, 1983.

- / 92/ CP/M-68K Operating System User's Guide, Digital Research, Pacific Grove, California, USA, 1983.

- / 93/ Dael,G., Amarger,D., Marrois,C. : AROMAT Telefon Call Monitoring and Recording Equipment, IEEE Communication&Transmission, No. 2, 1983, pp. 39-52.

- / 94/ Dart,S. et al.: Software Development Environments, IEEE-Computer, Vol. 20, No. 11, November 1987, pp. 18-29.

- / 95/ Duffy,F.P., Mercer,R.A. : A Study of Network Performance and Customer Behaviour During Direct-Distance-Dialing Call Attempts in the U.S.A., The Bell System Technical Journal, Vol. 57, No. 1, January 1978, pp. 1-33.

- / 96/ Duparc,H.J., Lekkerkerer,C.G., Peremans,W.L. : Reduced Sequences of Integers and Pseudo Random Numbers, Mathematisches Zentrum Amsterdam, Report ZW 1953-002, Amsterdam, 1953.

- / 97/ Green,B.F., Smith,J.E., Klem,L. : Empirical Tests of an Additiv Random Generator, Journal for the Association for Computing Machinery, No. 6, pp. 527-537, 1959.

- / 98/ Greenberger,M. : Notes on a New Pseudo Random Number Generator, Journal for the Association for Computing Machinery, No. 8, pp. 163-167, 1961.

- / 99/ Haugk,G., Tsiang,S.H., Zimmerman,L. : System Testing of the No. 1 Electronic Switching System, The Bell System Technical Journal, Vol. XLIII, No. 5, Part 2, 1964, pp. 2575-2593.

- /100/ Herndon,J.A., Jensen,G.M., Wilson,D.E. : Software Test Facilities for the 5ESS Switching System, GLOBECOM 84, Atlanta, Georgia, USA, 1984, paper 38.3.1, pp. 1277-1283.

- /101/ Ide,H., Sagebarth,J. : On Properties of Random Numbers and their Influence on Trafic Simulation, Tenth International Teletraffico Congress, Montreal, Canada, 1983, paper 2.4-6.

- /102/ Jansson,B., Johansson,K., ostlund,T. : LPB110, A System for Controlled Test Traffio, Eriolsson Review, No. 1, 1984, pp. 32-37.

- /103/ Johannesen,J.D. : No. 1 ESS Service Experience - Software, IEE Conference Publication No. 52, Switching Techniques for Telecommunication Networks, April 1969, pp. 459-474.

- /104/ Keister,W. : The Evolution of Telephone Switching, Bell Labs. Rec., Vol. 43, No. 6, 1965, pp. 197-203.

- /105/ Lemmer,D.H. : Mathematical Methods in Large Scale Computing Units, Annals of Computation Laboratory of Harvard University, No. 26, pp. 141-146, 1951.

- /106/ Lind,G. : Studies on Traffic Processes of Single Subscribers and Groups of Subscribers, Nineth International Teletraffic Congress, Torremolinos, Spain, 1979, paper 148.
- /107/ Liu,K.S. : Direct-Distance-Dialing Call Completion and Customer Retrial Behaviour, Nineth International Teletraffic Congress, Torremolinos, Spain, 1979, paper 144.
- /108/ Macfadyen,N.W. : Statistical Observation of Repeat Attempts in the Arrival Process, Nineth International Teletraffic Congress, Torremolinos, Spain, 1979, paper 145.
- /109/ Mair,E., Hausmann,H., Naessl,R. : EWSP - A High Performance Packet Switching System, Eighth International Conference on Computer Communication, 1986, Munich, pp. 359-364.
- /110/ Moriya,K. et al.: DEX-2 Experience in Field Test, Review of the Electrical Communication Laboratory, Vol. 19, No. 3, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, 1971.
- /111/ Newkirk,D.C., Ringwood,S.R. : A Hardware-Independent Testing Environment for 5ESS Switching System Software, GLOBECOM 84, Atlanta, Georgia, USA, 1984, paper 38.1.5, pp. 1269-1273.
- /112/ Pillado,J.M. : Percentage Estimation of Busy Lines in Subscribers Selection, Nineth International Teletraffic Congress, Torremolinos, Spain, 1979, paper 146.
- /113/ Roberts,J.W. : Recent Observations of Subscriber Behaviour, Nineth International Teletraffic Congress, Torremolinos, Spain, 1979, paper 147.
- /114/ Rotenberg,A. : A New Pseudo Random Number Generator, Journal for the Association for Computing Machinery, No. 7, 1960, pp. 75-77.
- /115/ SYS68K/CPU-2(D) Hardware User's Manual 1+2, Force Computer Inc., Los Gatos, California, USA, Third Edition, 1986.

- /116/ Tran-Gia, P. : A Renewal Approximation for the Generalized Switched Poisson Process, International Workshop on Applied Mathematics and Performance/Reliability Models of Computer/-Communication Systems, Pisa, Italy, 1983, pp. 167-179.
- /117/ Vaughan, H.E. : Development History of No. 1 ESS - Software, IEE Conference Publication No. 52, Switching Techniques for Telecommunication Networks, April 1969, pp. 475-478.
- /118/ The VMEbus Specification Manual, Revision C.1, Mikrology PBT, Tempe, Arizona, USA, October 1985.
- /119/ Vrana, C., Wallander, A. : S/W Quality and Complexity - Different Aspects and Measurement Results, Fifth International Conference on Software Engineering For Telecommunication Switching Systems, July 1983, pp. 121-127.
- /120/ Working Draft for "OSI Conformance Testing Methodology and Framework", ISO/TC97/SC21 N410, WG 16-1, Paris, ISO DP 9646/1, February 1985, ISO DP 9649/2, September 1986.

Liste der Abkürzungen

In der nachfolgenden Liste sind nur die wichtigsten und an mehreren Stellen verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen in alphabetischer Reihenfolge enthalten. Andere spezifische Abkürzungen und Formelzeichen werden in den entsprechenden Abschnitten aufgeführt.

AS	Amtsleitungssatz
Asl	Anschlußleitung
A-Tln	Rufender Teilnehmer einer Nachrichtenverbindung
BlAn	Teilblock Ankopplung
BHCA	Englisch: <u>B</u> usy <u>H</u> our <u>C</u> all <u>A</u> ttempts (Hauptverkehrsstunden-Belegungsversuche)
BuIn	<u>B</u> us <u>I</u> nterface
B-Tln	Gerufender Teilnehmer einer Nachrichtenverbindung
BTN	Block Teilnehmer-Nachbildung
BTX	Bildschirmtext
CCITT	<u>C</u> omité <u>C</u> onsultatif <u>I</u> nternational <u>T</u> élégraphique et <u>T</u> éléphonique
DE	Datenbreite Ergebnis
DM	Datenbreite Multiplikand
DBP	Deutsche <u>B</u> undespost
$E [W_{T_D}]$	Erwartungswert der Zufallsvariablen W_{T_D}
$E [W_{T_{D1}}]$	Erwartungswert der Zufallsvariablen $W_{T_{D1}}$
$E [W_{T_{D2}}]$	Erwartungswert der Zufallsvariablen $W_{T_{D2}}$
EIV	<u>E</u> rdimpulswahlyerfahren
EnFu	Endgerätefunktion
$EW_{i,j}$	Erwartungswert Nr. j der Tln-Zeit T_{i+} im Zustand Z_i
FIFO	Englisch: <u>F</u> irst <u>I</u> n <u>F</u> irst <u>O</u> ut
FSK	Englisch: <u>F</u> requency <u>S</u> hift <u>K</u> eyping
FTZ	Fermelde <u>t</u> echnisches <u>Z</u> entralamt

G	Gruppengrößematrix
GSP	Gesprächsprozeß
$G_{pn,z}$	Gedächtnisvariable mit der Gedächtnisfunktion z des Tln-Prozesses p_n
HKZ	Hauptanschlußkennzeichen(verfahren)
IBFN	Integriertes Breitband-Fernmeldenetz
IDN	Englisch: <u>I</u> ntegrated <u>D</u> igital <u>N</u> etwork, im internationalen Sprachgebrauch: "Digitales Telefonnetz", bei der DPB steht IDN für : "Integriertes Text- und Datennetz"
IKZ	Impulskennzeichen(verfahren)
IPP	Englisch: <u>I</u> nterrupted <u>P</u> oisson <u>P</u> rocess
ISDN	Englisch: <u>I</u> ntegrated <u>S</u> ervices <u>D</u> igital <u>N</u> etwork (Dienste-integrierendes Digitalnetz)
ISDN-B	Breitband-ISDN
ISDN-S	Schmalband-ISDN
ISO	Englisch: <u>I</u> nternational <u>S</u> tandards <u>O</u> rganization
ITG	Informationstechnische Gesellschaft im VDE
IW	Impulswahl
IWV	Impulswahlverfahren
KoSp	Kommunikationsspeicher
KV_s	Kombinatorische Verknüpfung von s Gedächtnisvariablen
LT	Englisch: <u>L</u> ine <u>T</u> ermination
M_D	Tatsächliche Meldedauer (Meldeverzug)
M_{DG}	Gemessene Meldedauer
MF	Mehrfrequenzwahl
MFV	Mehrfrequenzwahlverfahren
NT	Englisch: <u>N</u> etwork <u>T</u> ermination
NTG	Nachrichtentechnische Gesellschaft im VDE
$P_{MD}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen M_D
$P_{MD1}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen M_{D1}
$P_{WTG}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen WT_G

$P_{WTV}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen WT_V
$P_{WTD}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen WT_D
$P_{WTD1}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen WT_{D1}
$P_{WTD2}(t)$	diskrete Verteilung der Zufallsvariablen WT_{D2}
$P\{WT_S > t\}$	Komplementäre Verteilungsfunktion der Zufallsvariable WT_S
pn	Tln-Prozeßnummer
PDA	Pausendauer eines Intervalltones/Intervallrufes
PDA_{max}	Maximale Pausendauer aller Intervalltöne/Intervallrufe
PKI	Philips <u>K</u> ommunikations <u>I</u> ndustrie
PZ	Pseudo-Zufallzahl
Q	Verzweigungsmatrix
RAM	Englisch: <u>R</u> andom <u>A</u> ccess <u>M</u> emory
RB	Rufbeginn, im Kontext einer "RB-Meldung"
R_V	Rufverzugszeit
S_i	Menge mit den Elementen $EW_{i,j}$, $VFT_{i,j}$, $WK_{i,j}$ für den Zustand Z_i
SDL	Englisch: <u>F</u> unctional <u>S</u> pecification and <u>D</u> escription <u>L</u> anguage
SPC	Englisch: <u>S</u> tored <u>P</u> rogram <u>C</u> ontrolled
SptZ	Stop-Tln-Zeit
SttZ	Start-Tln-Zeit
SySt	Modul <u>S</u> ystem <u>S</u> teuerung
$T_{TF,Aus}$	Ausgabetransferzeit
$T_{TF,Ein}$	Einlesetransferzeit
$T_{TF,Zir}$	Zirkulartransferzeit
T_x	zeitbezogene Zufallsvariable
T_Z	zeitbezogene Zufallsvariable
TA	Englisch: <u>T</u> erminal <u>A</u> adapter, im Kontext einer ISDN-Benutzerstation
TA	<u>T</u> on <u>a</u> bschalten, im Kontext einer "TA-Meldung"
TB	<u>T</u> on <u>b</u> eginn
TE	Englisch: <u>T</u> erminal <u>E</u> quipment, im Kontext einer ISDN-Benutzerstation
TE	<u>T</u> on <u>e</u> nde, im Kontext einer "TE-Meldung"
TeMo	Modul <u>T</u> eilnehmer <u>M</u> odellierung

TeVe	Teilblock <u>T</u> eilnehm <u>e</u> r <u>v</u> erhalten
T_i	Tln-Zeit des Ausgangszustands Z_i
T_{i+}	Tln-Zeit des Folgezustands Z_{i+}
Tln	<u>T</u> eilnehm <u>e</u> r
TS	<u>T</u> eilnehm <u>e</u> r <u>s</u> chaltung
TP	Verarbeitungseinheit " <u>T</u> ln- <u>P</u> rozeß"
TZ	Verarbeitungseinheit " <u>T</u> ln- <u>Z</u> eit"
UA	<u>U</u> NES- <u>A</u> dapter
UAI	<u>U</u> NES- <u>A</u> dapter- <u>I</u> nterface
UP	<u>U</u> nterbrochener <u>P</u> oisson (-Prozeß)
UNES	Englisch: <u>U</u> niversal <u>E</u> nvironment <u>S</u> imulator
VDE	<u>V</u> erband <u>D</u> eutscher <u>E</u> lektrotechniker
$VFT_{i,j}$	<u>V</u> erteilungsfunktions <u>t</u> yp j der Tln-Zeit T_{i+} im Zustand Z_i
VSt	<u>V</u> ermittlung <u>s</u> te <u>l</u> le
VME	Englisch: <u>V</u> ersa <u>M</u> odul <u>E</u> urope
VP	Verarbeitungseinheit " <u>V</u> St- <u>P</u> rozeß"
VS	Verarbeitungseinheit " <u>V</u> St- <u>S</u> chnitt <u>s</u> te <u>l</u> le"
VWG	Prozeß " <u>V</u> er <u>w</u> altung"
WT_V	Tatsächlicher Wähltonverzug
WT_G	Gemessener Wähltonverzug
$WK_{i,k}$	Wahrscheinlichkeit für eine Tln-Entscheidung k des Ausgangszustands Z_i
Z_i	Ausgangszustand i
Z_{i+}	Folgezustand $i+$ nach einem Zustandsübergang
ZB	<u>Z</u> eitintervall- <u>B</u> eginn
ZE	<u>Z</u> eitintervall- <u>E</u> nde
ZeSt	<u>Z</u> entrale <u>S</u> teuerung
ZeVe	Modul <u>Z</u> eit <u>v</u> erwaltung
ZS	<u>Z</u> eitintervall- <u>S</u> tatistik
ZuGe	Modul <u>Z</u> ufallszahlengenerat <u>o</u> r
ZV	Verarbeitungseinheit " <u>Z</u> eit <u>v</u> erwaltung"

Notation für Zufallsvariablen :

- T Zufallsvariable (hier zum Beispiel zeitbezogen)
- $E[T^n]$ n-tes gewöhnliches Moment der Zufallsvariable T
 $E[T]$: Mittelwert der Zufallsvariable T
- c_T Variationskoeffizient der Zufallsvariablen T
- $P_T(t)$ Diskrete Verteilung der Zufallsvariablen T ,
 $P_T(t) = P\{T = t\}; t = t_0, t_1, t_2 \dots$
- $F(t)$ Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion einer Zufallsvariablen, $F(t) = P\{T \leq t\}$
- $F^O(t)$ Komplementäre Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion einer Zufallsvariablen, $F^O(t) = P\{T > t\}$

1 Einleitung

1.1 Vermittlungstechnik : Entwicklung der Systemstrukturen

Von jeher besteht der Wunsch und die Notwendigkeit, Informationen zwischen zwei Partnern auch über größere Entfernungen auszutauschen. Die Idee des elektrischen Telefons wurde hierzu zum ersten mal von Charles Bourseul (Frankreich) im Jahre 1854 in einem Aufsatz im Journal "L'Illustration de Paris" unter dem Titel 'Telefonie electrique' veröffentlicht /5,21,43/. Seine Gedanken wurden von Philipp Reis (Deutschland) in der ersten öffentlichen Vorführung des von ihm benannten Telefons im Jahre 1861 in die Praxis umgesetzt. Die ersten Apparaturen für den täglichen Einsatz des Telefons sind Alexander Graham Bell und Elisha Gray (USA) im Jahre 1876, die wichtigsten praktischen Verbesserungen hierzu sind David Edward Hughes (England) und Werner von Siemens (Deutschland) in den nachfolgenden Jahrzehnten zuzuschreiben. Dem Wirken von Heinrich von Stephan haben wir es dann zu verdanken, daß bereits 1877 mit dem Bau der ersten Telegrafiebetriebsstellen mit Fernsprechtbetrieb in Deutschland (und damit erstmals in Europa) begonnen wurde.

Die hierauf folgende Ära der Vermittlungstechnik ist bis heute gekennzeichnet von einem fortschreitenden Innovationsprozess mit immer kürzer werdenden Zeiträumen, in welchen Vermittlungsprinzipien und Vermittlungssystemgenerationen eingesetzt werden. Nach der ersten Einführung der Selbstanschlußtechnik im Jahre 1908 kann die Entwicklung der Vermittlungstechnik im öffentlichen Bereich, aber auch im privaten Bereich der Nebenstellenvermittlungssysteme (Nebenstellenanlagen) in nachfolgende vier Vermittlungsprinzipien bzw. Systemstrukturen unterteilt werden (ohne Berücksichtigung von seltenen Systemen mit Mischformen) :

- Schritthaltend gesteuertes System (Direktwahlssystem)

Die Übertragung der Sprache ist analog auf dem gesamten Übertragungsweg. Die Verbindungssteuerung ist bestimmt durch eine Wechselstrom-/Gleichstromsignalisierung auf dem Sprachkanal (Kennzeichenaustausch nach dem Hauptanschlußkennzeichenver-

fahren, HKZ-Verfahren, /24,35/). Die Wählinformation wird mit dem Impulswahlyerfahren (IWV, IW-Verfahren) übertragen. Es erfolgt eine aus direkt gesteuerten Wahlstufen aufgebaute dezentrale, elektromechanische, schritthaltende Steuerung des Verbindungsaufbaus.

- Indirekt gesteuertes System (Registersystem)

Die Verbindungssteuerung erfolgt weiterhin nach dem HKZ-Verfahren. Es werden Register zur Aufnahme der Wählinformation und eine analoge Mehrfrequenzsignalisierung im Frequenzmultiplex auf dem Sprachkanal für die Übertragung der Wählinformation (Mehrfrequenzwahlyerfahren, MFV, MF-Verfahren /24,32,35/) eingeführt. Der Verbindungsaufbau ist nicht schritthaltend (Sammeln von einzelnen Ziffern in Register). Die Programmsteuerung in den Wahlstufen ist fest verdrahtet.

- Speicherprogrammgesteuertes System

(auch SPC-System genannt, engl. Stored Program Controlled).

Es werden erstmalig zentrale, aber weiterhin analoge Koppelfelder mit einer zentralisierten und speicherprogrammierten Vermittlungssteuerung verwendet. Die Verbindungssteuerung vom/zum Teilnehmer (Tln) erfolgt nach dem HKZ-Verfahren, die Übertragung der Wählinformation erfolgt mit dem IW- oder MF-Verfahren. Typische SPC-Systeme der ersten Generation in der öffentlichen Vermittlungstechnik waren die Systeme No.1 ESS (AT&T, /104/) oder EWSA (Siemens, /18/). Zwischen den einzelnen Vermittlungsstellen wird die Wählinformation typischerweise mit dem MF-Verfahren weitergereicht.

In der Nebenstellentechnik zählt hierzu zum Beispiel das System EBX 180 (PKI, /15/). Es ist charakterisiert durch analoge Teilnehmerschnittstellen, Amtsleitungsschnittstellen mit einer Verbindungssteuerung nach dem HKZ-Verfahren oder Impulskennzeichenverfahren (IKZ-Verfahren, /35,49/), analogen Koppelfeldern und einer zentralisierten und speicherprogrammierten Vermittlungssteuerung.

Die gegenwärtige Generation von Vermittlungssystemen in der öffentlichen Vermittlungstechnik wie System 12 (SEL, /73/) oder

Elektrik Lorenz /73/) oder EWSD (Siemens, /19/) basiert auf dem Prinzip der SPC-Systeme, hat aber als Weiterentwicklung ein voll digitales Koppelfeld mit A/D-Umsetzung der analogen Teilnehmersignale in peripheren Systembaugruppen. Die Signalisierung zwischen den einzelnen Vermittlungsstellen erfolgt digital auf der Basis des CCITT-Zeichengabesystems Nr.7 (franz. Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique) /86/. In der Nebenstellentechnik entsprechen die heutigen Systeme denen der öffentlichen Technik, sie besitzen aber darüber hinaus bereits schon wesentliche Dienstmerkmale der Dienstintegration. Als typische Systeme können genannt werden : System Integral 222/333 (T&N, Telefon und Normalbau /14/), System ISDX¹⁾ (PKI, /3/), System DVS 8818 (Nixdorf, /7,16/), System HICOM (Siemens, /45/) und System 12B (SEL, /51/).

- SPC-System mit Dienstintegration

Zukünftige Vermittlungssysteme werden neben der Integration aller Dienste wie Fernsprechen, Bildschirmtext, Teletex, Telefax, Daten- und Bildübermittlung die Eigenschaft der durchgehenden digitalen Informationsübertragung bereits von der Teilnehmer-schnittstelle aus besitzen. Die Systeme sind durch eine erheblich höhere Anzahl von Leistungsmerkmalen für den Teilnehmer und die Verwaltung sowie einer Signalisierung auf der Basis einer digitalen Rechner/Rechnerkommunikation charakterisiert.

In der Entwicklung der SPC-Systeme zeigt sich auch der Einfluß des technologischen Fortschritts in der Mikroelektronik auf die Vermittlungstechnik. Die heutigen und zukünftigen Systeme sind gekennzeichnet durch eine ausgeprägte Verlagerung von zuerst zentralisierten Steuerungsfunktionen wieder in den peripheren Bereich. Einzelne Steuerungen werden meist in kleinere Teilsteuerungen untergliedert, welche dann entweder nach dem Lastteilungsprinzip oder nach dem Funktionsteilungsprinzip arbeiten. Dies führt bei den heutigen Vermittlungssystemen zu einer Vielzahl von Mikroprozessoren und Mikro-

1) : Das System ISDX von PKI wird bei der Deutschen Bundespost mit "Octopus 180i" bezeichnet.

rechnern und einem aufwendigen, leistungsfähigen Kommunikationssystem für den Datenaustausch zwischen diesen Mikrorechnern. Diese Entwicklung zeigt sich einmal in der öffentlichen Vermittlungstechnik bei den Systemen No. 5 ESS (Bell, /83/), System 12, EWSD bzw. EWSP (Datex-P-Vermittlung, Siemens, /44,109/) und in der Nebenstellentechnik bei den Systemen HICOM, System 12B, Integral 222/333, ISDX oder DVS 8818.

Parallel mit dem technologischen Fortschritt müssen neue SPC-Systeme, im Vergleich zu herkömmlichen, immer mehr den folgenden Bedürfnissen Rechnung tragen :

- neue, integrierte Kommunikationsdienste, wie
 - Temex
 - Telefax
 - Bildschirmtext (BTX)
 - Teletex
 - Datenübermittlung usw.
- neue Dienstmerkmale (Leistungsmerkmale), wie
 - Kurzwahl
 - Automatischer Rückruf
 - Konferenzverbindung
 - geschlossene Benutzergruppen
 - Anklopfen
 - Anrufumleitung
 - Warten auf Freiwerden des gerufenen Teilnehmers usw.
- leistungsfähige Mechanismen für die Überlastabwehr
- Datensicherheit und Datenschutz.

Dies zeigt sich heute vor allem bei der geplanten Einführung eines diensteintegrierenden Digitalnetzes (ISDN) durch die Deutsche Bundespost /8,50/, so daß heutige und zukünftige Vermittlungssysteme in Bezug auf ihre Steuerungs- und Datenstruktur mit zu den komplexesten Systemen überhaupt gehören.

1.2 Aspekte des Software Engineering in der Vermittlungstechnik

Der Entwurf und die Realisierung zukünftiger Vermittlungssysteme erfolgt heute auf der Basis eines ingenieurmäßigen Durchführens des gesamten Hardware- und Software-Entwurfsprozesses /6,17,65,77/. Der Software-Entwurfsprozess kann zum Beispiel in Schritte untergliedert werden wie

- Aufstellen der Anforderungen und Ziele
- Erstellung der Spezifikation
- Festlegung der System-, Programm- und Datenstrukturen
- Trennung des Programm- und Datenflusses
- Aufbrechen in Programmodule
- Festlegung der Spezifikationen für die Schnittstellen
- Programmerstellung
- Testen.

Hierbei erfolgt je nach firmenspezifischer Entwicklungsumgebung und verwendeter Systemhardware der Einsatz von vorgegebenen Entwurfs- und Spezifikationswerkzeugen und dedizierten Programmiersprachen /2,20,82,85,94,117/. Wesentliches Kriterium und Merkmal bei der Entwicklung dieser Systeme ist der Einsatz von rechnerunterstützten und automatisierten Hilfsmitteln für

- das Aufstellen der Anforderungen und Ziele und das Erstellen der Spezifikation
- die Festlegung der Systemstrukturen
- die Programmentwicklung und -erstellung
- das Testen,

so daß die Beherrschbarkeit der Komplexität wie auch die Dokumentation, die spätere Wartung und die Weiterentwicklung dieser Systeme gewährleistet sind /102,110,119/. Aufgrund der hochmodularen Systemstrukturen und der extrem großen Anzahl von parallel zu bearbeitenden Vermittlungsprozessen erlangt in der Vermittlungstechnik das rechnerunterstützte und automatisierte Testen immer mehr an Bedeutung. Wesentliche Beiträge hierzu sind in /9,22,23,39,40,48,56,58,

59,93,99,100,102,111/ enthalten.

Das Testen zum Beispiel des erstellten Programmcodes (wie auch analog der Hardware) kann unterteilt werden in einen

- Komponententest
direktes Testen des Programmcodes
- Integrationstest
Montage der Module und Modultest¹⁾
- Verfahrenstest
Test der Systemfunktionalität¹⁾
- Probetrieb
Verifizierung gegenüber Aufgabenstellung und Benutzeranforderung und damit Feststellung der Leistungsfähigkeit¹⁾.

Bei Vermittlungssystemen erfordert der Anschluß der einzelnen Teilnehmer an das System immer den größten Hardware-Aufwand, so daß der Verfahrenstest und der Probetrieb die aufwendigsten Testphasen bezüglich Zeit- und Materialaufwand eines Vermittlungssystemes sind.

1) : Die Normungsgremien ISO (engl. International Standards Organization) und CCITT arbeiten gemeinsam an einer Norm (engl. OSI Conformance Testing Methodology and Framework, /120/), in welcher grundlegende Methoden für den Konformitätstest (engl. Conformance Testing) vereinheitlicht werden sollen. Diese Norm befaßt sich im wesentlichen mit Methoden des Testens hinsichtlich den OSI-Standards. Ein Beispiel ist der Test von Protokollinstanzen einer geschichteten Protokollarchitektur entsprechend dem Basisreferenzmodell.

1.3 Methoden der Leistungsbestimmung

Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Vermittlungssystems oder einzelner vermittlungstechnischer Einrichtungen ist einer der wesentlichsten Schritte bei der Entwicklung oder Planung eines Vermittlungssystems. Dies kann generell erfolgen anhand einer

- analytischen Untersuchung
- simulativen Untersuchung
- Signalflußanalyse
- Messung.

Bei der analytischen und simulativen Untersuchung wird, ausgehend von der geplanten oder realisierten System-, Programm- und Datenstruktur, ein Modellabbild erstellt /53,80/. Dies besteht aus Verarbeitungs-, Speicher- und Übertragungseinrichtungen in der Form eines Warteschlangenmodells. Bei analytischen Leistungsuntersuchungen wird im allgemeinen das Dekompositionsprinzip angewandt; hierbei wird das System in passende Teilsysteme zerlegt, welche einzeln mit Hilfe der Bedienungs- und Warteschlangentheorie untersucht werden. Das Gesamtergebnis wird aus den Teilergebnissen zusammengesetzt. Bei der simulativen Untersuchung (z.B. zeittreue Simulation) erfolgt eine Nachbildung des Ablaufgeschehens anhand des Modellabbildes auf einer Rechenanlage und damit die Nachbildung der dynamischen Vorgänge innerhalb der Vermittlungssteuerung. Beide Untersuchungsmethoden erlauben, je nach Detaillierungsgrad, Aussagen über Warte-, Durchlauf- und Belegungszeiten, Belastungen und Blockierungswahrscheinlichkeiten. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß die analytische Untersuchung mit vertretbarem Aufwand und verfügbaren analytischen Methoden meist nur bei stark vereinfachten Modellen, Teilmodellen oder Teilaspekten eingesetzt werden kann. Andererseits sind mit ihr schneller Ergebnisse als mit einer zeittreuen Simulation zu erzielen, so daß umfangreichere Parameterstudien möglich sind. Die zeittreue Simulation andererseits ist in der Lage, auf der Basis eines entsprechenden Gesamtmodelles Aussagen über das Verhalten, die Leistungsfähigkeit oder über Engpässe des Systemes zu liefern. Je detaillierter diese Aussagen jedoch sein sollen, desto umfangreicher und erheblicher wird der dafür notwendige Detaillierungsgrad des

Modelles und damit der erforderliche Zeit- und Arbeitsaufwand.

Bei der Signalflußanalyse wird, ausgehend von der geplanten oder realisierten System-, Programm- und Datenstruktur, ein Modellabbild erstellt. Dies besteht jedoch nur aus Verarbeitung- und Übertragungseinrichtungen. Unter Zuhilfenahme des Belegungsspektrums, der Meldungsszenarien aller betrachteten Belegungsarten und einer globalen Ankunftsrate sind die mittleren Belastungen der Verarbeitung- und Übertragungseinrichtungen berechenbar. Da keine Verlustmechanismen und dynamischen Vorgänge berücksichtigt werden, kann die Signalflußanalyse bei Hochlastfällen nicht verwendet werden. Sie ermöglicht jedoch schnell, früh und einfach einen groben Überblick über die Belastungen von verteilten Systemeinrichtungen eines vereinfachten Gesamtmodells und damit die Erkennung von wenig sinnvollen Systemstrukturen, -konfigurationen und Funktionsaufteilungen. Weiterführende Aspekte von analytischen und simulativen Untersuchungen sind in /53,80/ sowie der Signalflußanalyse in /12/ enthalten.

Die soeben beschriebenen Methoden eignen sich vorteilhaft für die Abschätzung der Leistungsfähigkeit

- wenn sich das Vermittlungssystem erst in der Konzeptions- oder Planungsphase befindet
- bei einem neuen, andersartigen Systemausbau
- zur Überprüfung von Überlastabwehrmechanismen.

Da sie jedoch immer auf Modellen beruhen, und diese Modelle bei den heutigen Systemkomplexitäten durch eine vereinfachte Abbildung gekennzeichnet sind, können die mit ihnen gewonnenen Ergebnisse immer nur Näherungen an die tatsächlichen Verhältnisse sein.

Exakte Ergebnisse liefern direkte Messungen, entweder an einem Prototyp oder an einem realen, sich im Betrieb befindlichen System. Hierbei kann jedoch immer nur im nachhinein die Leistungsfähigkeit bei einer bestimmten Systemkonfiguration festgestellt werden. Die Messung bietet aber den großen Vorteil, eben die tatsächliche, ohne durch Modellbildung verfälschte Leistungsfähigkeit ermitteln zu können.

1.4 Grundsätzliche Aufgabenstellung

Bei heutigen SPC-Vermittlungssystemen ergibt sich aufgrund

- neuer Systemstrukturen
- des Übergangs zu einem diensteintegrierenden Digitalnetz (ISDN, engl. Integrated Services Digital Network)
- neuer und umfangreicher Dienstmerkmale
- einem intensiven Einsatz von modularen, speicherprogrammierten Vermittlungssteuerungen
- neuartiger, programmgestützter Strategien für die Überlastabwehr

immer mehr das Problem, einerseits die gesamte Leistungsfähigkeit als auch andererseits die korrekte Funktion einzelner Leistungsmerkmale vor der Installation beim Benutzer zu ermitteln bzw. nachzuweisen.

Rechnerunterstützte Analyse- und Simulationsverfahren beruhen prinzipiell auf einer Modellabbildung, ermöglichen aber nur Näherungswerte für die Systemleistungsfähigkeit und erlauben keinen Nachweis der korrekten Implementierung einzelner Leistungsmerkmale.

Messungen an realen, im Betrieb befindlichen Systemen ermöglichen exakte Ergebnisse und den eindeutigen Nachweis. Sie sind aber nur in sehr eingeschränktem Umfang ohne Störung des eigentlichen Benutzerbetriebes möglich und sind für Testzwecke, bezüglich unterschiedlicher Gegebenheiten hinsichtlich Systemausbau und -konfiguration, nicht veränderbar.

Wird die Systemumgebung eines Vermittlungssystemes jedoch mit all seinen Besonderheiten und Umfang in Echtzeit und in Hardware nachgebildet, so ist man in der Lage, mit Hilfe eines Vermittlungssystemprototyps bereits im Labor exakte Messungen auch an unterschiedlichen Systemkonfigurationen ohne Beeinträchtigung eines Benutzerbetriebes durchzuführen. Mit Hilfe dieser sogenannten Umweltsimulation ist die Ermittlung und der Nachweis der gesamten Leistungsfähigkeit als auch die korrekte Funktion einzelner Leistungsmerkmale möglich. Eine erstmalige Realisierung eines derartigen Umweltsimulators mit

tens auf Vermittlungssystemreaktionen speziell für private Fernsprechvermittlungssysteme¹⁾ und der Möglichkeit des Testens von Überlast-Abwehrstrategien wird im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt und untersucht.

1.5 Aufbau der Arbeit

Im Anschluß an die Einleitung wird im zweiten Kapitel die Konzeption eines Umweltsimulators für den Funktions- und Lasttest allgemein behandelt. Nach einer Übersicht über die heutige und die zukünftig zu erwartende Situation in der öffentlichen Vermittlungstechnik wie in der Nebenstellentechnik werden auf der Basis dieser Übersicht die Vielfalt der Anforderungen an einen Umweltsimulator als auch die zu einer Bewertung eines Vermittlungssystems notwendigen und damit im Rahmen der Umweltsimulation zu erfassenden Meßgrößen aufgezeigt. Kapitel 2 schließt mit einer Beschreibung des vorgestellten Umweltsimulators hinsichtlich der dem Simulator zugrundeliegenden Modellierung der vermittlungstechnischen Umwelt eines Vermittlungssystems, der Struktur, der Betriebsweise und der Ankopplung an die zu testenden Vermittlungssysteme.

Im dritten Kapitel wird die Modellierung der Umwelt unter Berücksichtigung der notwendigen Differenzierung zwischen analogen und digitalen Teilnehmer- bzw. Amtsanschlußleitungen vorgestellt. Es werden die unterschiedlichen Ursachen aufgezeigt und diskutiert, welche einen signifikanten Einfluß auf die Modellierung der Umwelt haben. Anhand von typischen Betriebsweisen wird die Vorgehensweise zur Ermittlung und zum Nachweis der gesamten Leistungsfähigkeit als auch die korrekte Funktion einzelner Leistungsmerkmale eines Vermitt-

1) : In der Arbeit erfolgt dies am Beispiel von Wählnebenstellenanlagen. Ausführungsformen wie Reihenanlagen, Vorzimmeranlagen oder Mehrfachabfrageanlagen usw. stellen hinsichtlich der Umweltsimulation eine Untermenge von Wählnebenstellenanlagen dar und werden deshalb im folgenden nicht weiter differenziert.

lungssystems vorgestellt und diskutiert.

Das vierte Kapitel befaßt sich mit den wesentlichen Aspekten der Realisierung und des Einsatzes des Umweltsimulators. In einem ersten Schwerpunkt werden die Wechselwirkungen zwischen der Hardware-Implementierung und der gesamten Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators aufgezeigt und diskutiert. Typische Fehlerquellen, welche die mit dem Umweltsimulator ermittelten Meßergebnisse verfälschen, und mögliche Vorgehensweisen zur Berechnung der tatsächlichen Werte werden in einem zweiten Schwerpunkt vorgestellt. Ein dritter Schwerpunkt beinhaltet die Bestimmung der Leistungsfähigkeit bzw. der Güte des durch den Umweltsimulator erzeugten vermittlungstechnischen Verkehrs mittels simulativer Untersuchungen und Messungen. Kapitel 4 endet mit der Vorstellung einer Einbettung von mehreren Umweltsimulatoren in eine industrielle Entwicklungsgebung.

2 Konzeption eines Umweltsimulators für den Funktions- und Lasttest

2.1 Heutige Situation in der öffentlichen Vermittlungstechnik

In der Vergangenheit wurde dem Wunsch zum Transport, Verteilen (Vermitteln), Speichern und Darstellen von Informationen in der öffentlichen Vermittlungstechnik mit der Einführung von individuellen Netzen für verschiedenste Dienste Rechnung getragen. Diese Entwicklung zeigt Tabelle 2.1 mit einer Aufzählung derzeitiger Netze und ihrer zugeordneten Dienste¹⁾. Diese Fernmeldenetze haben sich in der Vergangenheit eigenständig entwickelt und bestehen parallel nebeneinander. Jedes Netz übermittelt Nachrichten in einer netzspezifischen Form (Inhalt, Codierung, Gebührenordnung usw.) und ist dienstespezi-

Netz	Dienst
analoges Fernsprechnet	Fernsprechen, BTX, Telefax, TEMEX (Fernwirken)
digitales Telexnetz	Telex
leitungsvermittelndes digitales Datennetz (Datex-L)	Teletex
paketvermittelndes digitales Datennetz (Datex-P)	Datenübermittlung
Fernseh-Verteilnetz	Fernsehprogramme
Rundfunk-Verteilnetz	Rundfunkprogramme

Tabelle 2.1 : Derzeitige Netze und zugeordnete Dienste

1) : Die Dienste Telex, Datex-L und Datex-P werden im Bereich der Deutschen Bundespost (DBP) im integrierten Text- und Datennetz IDN zusammengefaßt.

fisch ausgelegt. Dies bewirkt eine Abwicklung der unterschiedlichen Dienste über unterschiedliche Netze mit jeweils speziellen Endgeräten. Bild 2.1 zeigt die Anschaltung der Teilnehmer an die jeweiligen Netze und die getrennte Vermittlung der Informationen in jedem Netz mit dedizierten Vermittlungssystemen.

Das Konzept zur Weiterentwicklung der Fernmeldeinfrastruktur der Deutschen Bundespost sieht bis zum Jahre 1995 eine gestaffelte Einführung von integrierenden Daten-/Nachrichtennetzen vor /8,50/. Die geplanten Entwicklungsschritte bis zum Integrierten Breitband-Fernmeldenetz (IBFN), auch Breitband-ISDN (ISDN-B) genannt, sind in Bild 2.2 dargestellt. Der für die Bereiche Fernsprechen und Datenkommunikation wichtige Integrationschritt zu einem integrierten Nachrichtennetz, häufig auch als Schmalband-ISDN bezeichnet (ISDN-S), steht heute (1988) mit den Pilotversuchen in Mannheim und Stuttgart bereits am Beginn einer erfolgreichen Implementierung. Hierbei werden allerdings schwerpunktmäßig zuerst nur jene Merkmale des ISDN behandelt, welche sich unter Verwendung der Kupferkabel des derzeitigen Fernsprechnetzes realisieren lassen (Fernsprechen, Datenübertragung, Teletex, Telefax). Verteildienste wie Rundfunkprogramme oder Fernsehprogramme, und Dienste wie Bewegtbildindividualkommunikation in

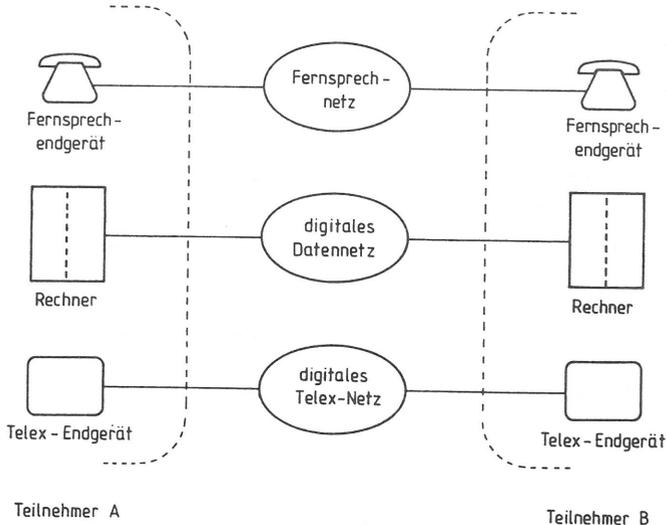


Bild 2.1 : Heterogene Nachrichtennetze

Farbe, werden erst möglich sein, wenn die Teilnehmer über Lichtwellenleiter angeschlossen sind.

Mit einer breiten und flächendeckenden Einführung und Neuinstallation dieses neuen Konzeptes im Bereich des Teilnehmeranschlusses kann im kommenden Jahrzehnt nicht gerechnet werden, einmal aus wirtschaftlichen Gründen und zum anderen aus strategischen Gründen der Deutschen Bundespost, wonach eine Digitalisierung zuerst im Fernnetz und dann erst im untergeordneten Ortsnetzbereich erfolgt. Somit ist der heutige Bestand und der Großteil der in den nächsten Jahren neu hinzukommenden Anschlüsse von neuen Fernsprechteilnehmern und Nebenstellenanlagen im Ortsnetzbereich in der öffentlichen Fernsprechvermittlung weiterhin durch die herkömmliche Vermittlungstechnik gekennzeichnet.

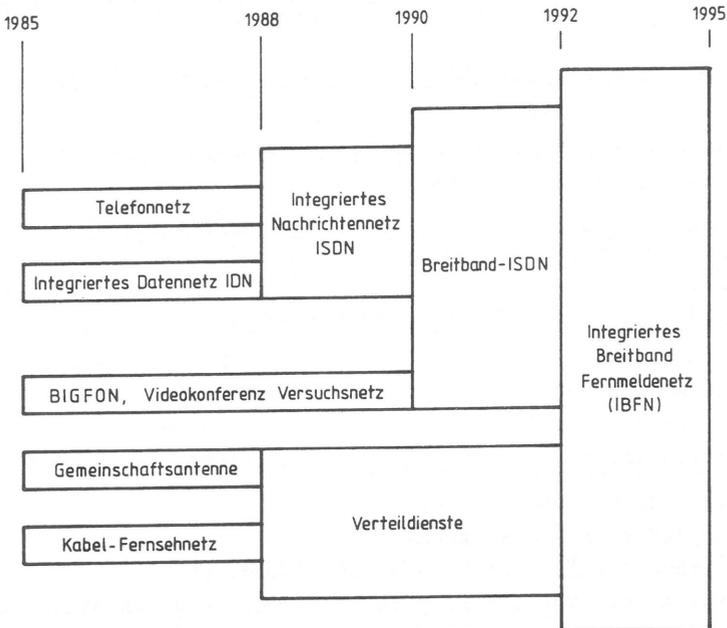


Bild 2.2 : Einführung integrierender Nachrichtennetze

2.2 Nebenstellenvermittlungstechnik

2.2.1 Digitale Nebenstellentechnik

Schon vor den durch die Deutsche Bundespost vorangetriebenen Integrationsbestrebungen in der öffentlichen Vermittlungstechnik sind seit der Einführung der rechnergesteuerten Vermittlungstechnik im Jahre 1965 auf dem Sektor der Nebenstellentechnik in Deutschland benutzerorientierte Leistungsmerkmale für das Fernsprechen wie auch erste Ansätze zur Integration von Fernsprech- und Datenkommunikation innerhalb einer Nebenstellenanlage realisiert worden /16,76,79/. Da jedoch eine herstellerübergreifende Standardisierung nicht möglich war und nicht durchgeführt wurde, müssen diese herstellereigene Systeme immer als geschlossene Lösungen betrachtet werden.

Durch die entsprechende Konkurrenzsituation jedoch besitzen die heutigen Nebenstellenanlagen gleichermaßen einen typischen Umfang von bis zu 250 unterschiedlichen Leistungsmerkmalen bzw. Kombinationsmöglichkeiten einzelner Merkmale wie

- Abwurf
- Mehrfach-Konferenzschaltung
- Makeln
- Aufschalten
- Anrufmitnahme
- Wahlwiederholung
- Ruhe vor dem Telefon
- Nachtschaltung
- freizügige Rufnummernzuteilung
- selbstdefinierbare Kurzwahl
- individuell zuordnungsbare Gebührenabrechnung
- Freigabe bzw. Verhinderung von Durohwahl bzw. Internverkehr
- Einteilung der Teilnehmeranschlüsse in unterschiedliche Berechtigungsklassen.
- Rückfrage
- Anklopfen
- Automatischer Rückruf
- Anrufumleitung
- Rufweitzerschaltung
- Umlegen
- Bündelzuordnung
- Intern- und Externruf

Die Integration von Sprach-, Daten- und Textübermittlung erfolgt über Endsysteme mit Datenverbindungen nach CCITT V.24 (bzw. CCITT

V.28) oder nach CCITT X.21 und einer Übertragung über bereits verfügbare Teilnehmeranschlußleitungen für Fernsprechen. Die Nebenstellenanlage selbst kann somit wahlweise die Funktionen einer Fernsprechnebenstellenanlage als auch die Funktionen eines Datenvermittlungssystemes (im Verbund mit anderen Computereinheiten) übernehmen.

Die Schnittstellen einer Nebenstellenanlage mit ihrer Umwelt wie

- Teilnehmeranschlußleitung (Tln-Asl)
- Auskunft- bzw. Abfrageplatz
- Amtsleitung bzw. Amtsanschlußleitung (Amts-Asl),

im nachfolgenden auch (äußere) Schnittstellen einer Nebenstellenanlage genannt (im Gegensatz zu systemspezifischen und systeminternen Schnittstellen), sind charakterisiert durch :

- eine analoge Sprach- und digitale Datenübertragung
- eine beliebige Anschlußmöglichkeit von analogen oder digitalen Endgeräten aller unterstützten Dienste an einer Fernsprechteilnehmeranschlußleitung
- einen Dienstwechsel an einer Anschlußleitung nur bei einer Neukonfiguration der Anschlußleitung
- eine sehr eingeschränkte Signalisierung während der Gesprächsphase bei Fernsprechen
- eine logische Trennung der einzelnen Dienste und damit unterschiedlichen Rufnummern bei den einzelnen Diensten.

Diese Systeme besitzen somit neben einer hohen Anzahl von Leistungsmerkmalen beim Fernsprechen auch die Möglichkeit, ohne neue Verdrahtungsarbeiten innerhalb des Nebenstellenbereiches eine Daten- und Textkommunikation für betriebsinterne Applikationen bereitzustellen. Eine typische Konfiguration hierzu zeigt Bild 2.3.

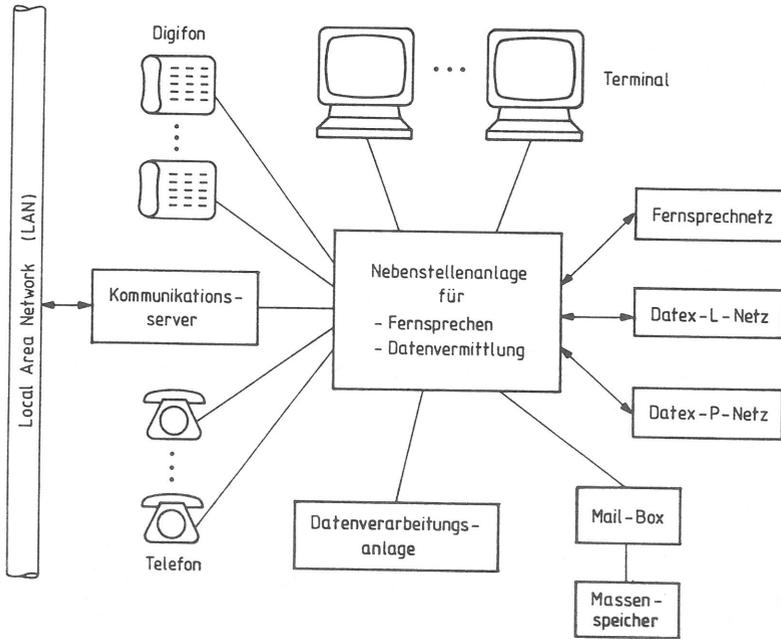


Bild 2.3 : Systemstruktur einer Nebenstellenanlage für Fernsprech- und Datenvermittlung

2.2.2 ISDN-fähige Nebenstellentechnik

Bei der Konzeption von ISDN standen im wesentlichen drei Ziele im Vordergrund /8/ :

- Realisierung eines einheitlichen, digitalen Nachrichtennetzes für alle Dienste
- Integration der Techniken, d.h. Übertragung von Sprachsignalen und Daten auf der Tln-Asl mit denselben digitalen Komponenten und die Verwendung derselben Techniken bei der Übertragung und Vermittlung von Informationen im Netz
- Einführung komfortabler Dienste und Integration der Dienste,

d.h. die Verwendung einer einheitlichen Prozedur des Verbindungsauf- und -abbaus über eine einheitliche Schnittstelle zwischen Endeinrichtung und Netz bei Sprach-, Text-, Daten- und Bildkommunikation.

Die für das ISDN typische Struktur einer Ankoppelung an das digitale Nachrichtennetz zeigt Bild 2.4. Der Anschluß der Endgeräte eines Teilnehmers an eine ISDN-Teilnehmervermittlungsstelle der öffentlichen Vermittlungstechnik oder an eine ISDN-Nebenstellenanlage erfolgt in beiden Fällen über den sogenannten Basisanschluß. Eine ISDN-Nebenstellenanlage kann entweder über einen Basisanschluß oder

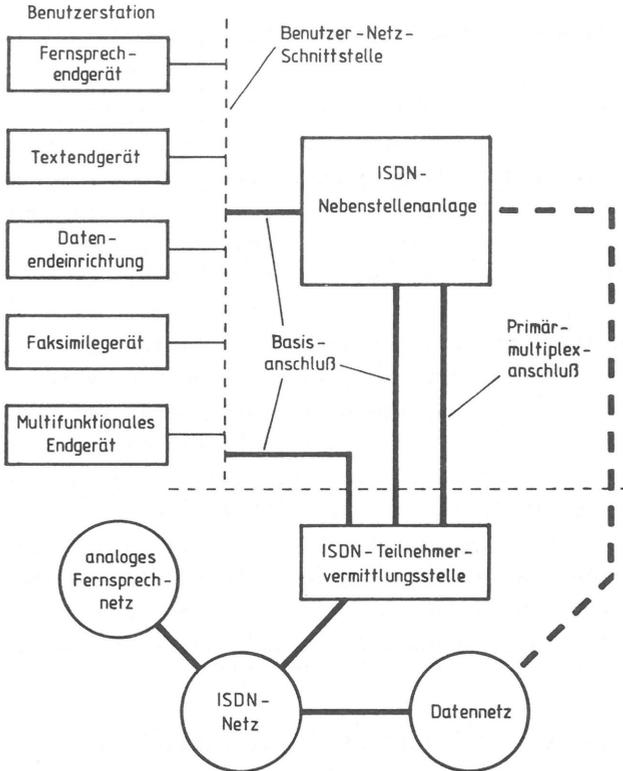


Bild 2.4 : Möglichkeiten der Anschaltung von Teilnehmern bzw. Nebenstellenanlagen an das diensteintegrierende Digitalnetz ISDN

über einen Primärmultiplexanschluß an eine ISDN-Teilnehmervermittlungsstelle angeschlossen werden.

Die für einen ISDN-Teilnehmeranschluß charakteristischen Eigenschaften sind :

- eine digitale Sprach- und Datenübertragung
- eine Übertragung von digitalen Informationen von bis zu zwei unabhängigen Diensten parallel auf einer auch ehemals analogen Tln-Asl
- ein logisches Zusammenfassen der einzelnen Dienste einer Nebenstelle und damit gleiche Rufnummern für verschiedene Dienste
- ein möglicher Wechsel zu einem anderen Dienst
- ein zusätzliches Aktivieren eines zweiten Dienstes.

Da bereits sehr früh in der Nebenstellentechnik die Vorteile einer gemeinsamen Nutzung der Infrastruktur einer verfügbaren Fernsprechnebenstellenanlage für Sprach-, Daten-, Text- und Bildkommunikation erkannt worden waren und in Systeme umgesetzt wurden, ist heute die Nebenstellentechnik sehr flexibel und in der Lage, die Konzeptionen der Deutschen Bundespost hinsichtlich eines diensteintegrierenden Digitalnetzes aufzugreifen. Im Bereich der Neuinstallationen kann in den nächsten Jahren davon ausgegangen werden, daß der Anteil der ISDN-fähigen Nebenstellenanlagen dominieren wird. Der Anschluß an das öffentliche Netz wird jedoch weiterhin auf der Basis der herkömmlichen, analogen Signalisierung erfolgen, da nicht mit einer sofortigen und breiten Einführung von ISDN-fähigen Ortsvermittlungssystemen gerechnet werden kann¹⁾. Dies bedeutet aber auch, daß die neuen, ISDN-orientierten Leistungsmerkmale nur innerhalb des Nebenstellenbereiches genutzt werden können. Andererseits kann auf der Teilnehmerseite aus wirtschaftlichen und von der Notwendigkeit her

1) : Mit dem Einsatz ISDN-fähiger Ortsvermittlungsstellen können ISDN-fähige Nebenstellenanlagen entweder direkt oder über eine Fernanschaltung angeschlossen werden, so daß dann die neuen Dienste und Dienstmerkmale auch im Orts- und Fernverkehr in Anspruch genommen werden können.

gegebenen Gründen nicht jedes Endgerät sofort ein multifunktionales ISDN-Endgerät sein. Es dominiert heute damit auch bei ISDN-fähigen Nebenstellen der Anteil der analogen Fernsprechteilnehmer signifikant, und es wird sich erst im Laufe der nächsten Jahre auf der Teilnehmerseite eine Mischung von analogen und digitalen Endgeräten nur für das Fernsprechen und multifunktionalen ISDN-Terminals einstellen. Von nur wenigen Nebenstellen ausgehend werden Daten- und Textkommunikation nebenstellenanlagenintern diensteintegriert vermittelt werden, bei Übergang in die öffentlichen Netze muß entsprechend auf die dedizierten Datennetze konvertiert werden.

2.3 Anforderungen an die Umweltsimulation aus der Sicht heutiger Vermittlungssysteme

An heutige und zukünftige neue Nebenstellenanlagen wird bei der Neuinstallation ein breites Spektrum von Anforderungen gestellt :

- die Weiterverwendung des bereits verlegten Kupferkabelnetzes ist zu gewährleisten
- der Anschluß sämtlicher bereits installierter Fernsprech-Endgeräte und damit die Kompatibilität zu den zur Zeit verwendeten Signalisierungsprinzipien ist zu garantieren
- die Ankoppelung an Ortsvermittlungsstellen mit analoger, herkömmlicher wie auch die spätere Umstellung auf digitale Signalisierung ist zu gewährleisten
- bereits verfügbare wie auch durch das ISDN neu vorgegebene Leistungsmerkmale und Endgeräte sind bereitzustellen und zu unterstützen
- die Einbettung in die öffentliche ISDN-Vermittlungstechnik ist vorzubereiten und zu gewährleisten.

Die Anforderungen an ein Vermittlungssystem aus der Sicht des Fernsprechenbenutzers sind darüber hinaus in dem umfassenden Begriff der "Technischen Dienstgüte" festgelegt /60/ (siehe auch Abschnitt 2.5). Die Dienstgüte ist in drei Teildienstgütern unterteilt. Diese sind

- die Verkehrsgüte
die Verkehrsgüte ist ein Maß für die Qualität der Verkehrsabwicklung, soweit sie von der Bemessung der technischen Einrichtungen (Betriebsmittel) abhängt
- die Vermittlungsgüte
die Vermittlungsgüte ist ein Maß für den ordnungsgemäßen Ablauf der vermittlungstechnischen Funktionen während den Phasen Verbindungsaufbau, Gesprächszustand (Informationsaustausch) und Verbindungsabbau
- die Übertragungsgüte
die Übertragungsgüte ist ein Maß für die Qualität der übertragungstechnischen Eigenschaften eines Verbindungsweges für Sprachsignale (Datensignale).

Die über diese Definitionen hinausgehenden Merkmale speziell für die Daten- und Textkommunikation während einer bereits aufgebauten Verbindung sind in der NTG-Empfehlung 1203 /63/ beschrieben und werden für den Fall einer Nachbildung der Umwelt einer Fernsprechnebenstellenanlage nicht weiter berücksichtigt.

Damit die Erfüllung der Anforderungen an eine Nebenstellenanlage gegenüber dem Benutzer des Systemes gewährleistet werden kann, ergeben sich aus der Sicht der heutigen Vermittlungssysteme die im folgenden beschriebenen Anforderungen an einen Umweltsimulator :

Bedingt durch den heutigen Stand in der Vermittlungstechnik und der kommenden Umstellung auf die diensteintegrierende Vermittlungstechnik muß ein Umweltsimulator derart ausgerichtet sein, daß er gleichwohl die herkömmliche Nebenstellentechnik wie auch die zukünftige ISDN-orientierte Technik durch einfache Parametrierung des Simulators unterstützt. Hierzu ist eine teilnehmeraktionsorientierte logische Schnittstelle bereitzustellen, welche für alle Signalisierverfahren dasselbe Signalisieralphabet besitzt. Die Umsetzung auf das geforderte analoge oder digitale Signalisierverfahren erfolgt dann schnittstellenbezogen in einem zusätzlichen Schritt. Damit keine Verfälschungen durch die Ankopplung an interne Nebenstellenmodule entstehen können, muß der Verkehrssimulator an den äußeren Schnittstellen angeschlossen werden. Die Leistungsfähigkeit des Simulators muß so bemessen sein, daß die

- Anschaltung aller vorhandenen analogen Anschlußleitungen und Nachbildung aller analogen Teilnehmersignalisierverfahren
- Anschaltung aller vorhandenen, systemspezifischen digitalen Anschlußleitungen und Nachbildung der entsprechenden Signalisierverfahren
- Anschaltung aller vorhandenen analogen Amtsleitungen und Nachbildung aller analogen Amtsleitungssignalisierverfahren
- Aufschaltung auf alle vorhandenen ISDN-Anschlußleitungen und Nachbildung der entsprechenden Signalisierverfahren

möglich ist und damit ein umfassender Test durchgeführt werden kann.

Die Bestimmung der Vermittlungsgüte muß die Überprüfung der tatsäch-

lichen, fehlerfreien Bereitstellung aller spezifizierten Leistungsmerkmale entsprechend des jeweiligen Teilnehmertyps (reiner analoger Fernsprechteilnehmer, multifunktionales Endgerät usw.) enthalten für den Fall

- einer Einzelverbindung
- einer Inanspruchnahme nur eines (bestimmten) Leistungsmerkmals
- einer Inanspruchnahme eines Leistungsmerkmals in Kombination mit anderen Leistungsmerkmalen
- einer Aktivierung eines/mehrerer Leistungsmerkmale(s) und/oder in Kombination mit anderen Leistungsmerkmalen unter der Voraussetzung eines ganz bestimmten, zeitinvarianten Zustands der Umwelt des Vermittlungssystemes (äußerer Systemzustand; gesamter, momentaner Zustand aller angeschlossenen und im System konfigurierten Teilnehmer).

Die Bestimmung der Vermittlungsgüte entspricht damit im wesentlichen dem sogenannten Funktionstest.

Die Bestimmung der Verkehrsgüte muß das Betreiben des Vermittlungssystemes mit einem spezifizierten, vorgegebenen Verkehr (Last) aller angeschlossenen und konfigurierten Teilnehmer (und damit zeitvariantem äußerem Systemzustand) in Echtzeit enthalten. Spezielle Fälle werden mit Nennlast oder Überlast bezeichnet und in Abschnitt 2.5 näher erläutert. Die Bestimmung der Verkehrsgüte entspricht damit im wesentlichen dem sogenannten Lasttest. Hierbei wird

- die tatsächliche und fehlerfreie Bereitstellung der spezifizierten Leistungsmerkmale

und

- die Einhaltung von Grenzwerten bei den Einzelmerkmalen der Verkehrsgüte

unter Nenn- und Überlast in Echtzeit überprüft und nachgewiesen.

Darüberhinaus muß der Simulator für den Test von Überlastabwehrstrategien der Vermittlungssysteme in der Lage sein, zeitvariante (instationäre) und zeitinvariante (konstante) Überlast dem System

aufzuprägen /75/. In diesem Falle erfüllt der Umweltsimulator die Anforderungen, welche typischerweise an einen Verkehrsgenerator gestellt werden.

Die Ermittlung der Verkehrsgüte und der Vermittlungsgüte muß mit allen konzipierten und möglichen Endgeräten durchgeführt werden. Typische Ausbaustufen von Nebenstellenanlagen liegen heute in der Größenordnung von ca. 6 bis 1000 Nebenstellen (Europaweit in Einzelfällen bis zu 10000 und mehr Nebenstellen). Der Umweltsimulator ist somit für die Nachbildung von bis zu 1000 Endgeräten (Nebenstellen) vorzusehen.

Die Bestimmung der Übertragungsgüte bzw. das Abweichen analoger Größen im Übertragungskanal von ihren Sollwerten, verursacht durch Alterung oder Bauteiletoleranzen, ist nicht Bestandteil eines Umweltsimulators, da die Übertragungsgüte zum Beispiel nicht von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Betriebsmittel, der momentanen Systemauslastung oder von einem bestimmten Leistungsmerkmal abhängig ist. Derartige Effekte werden nur dann erfasst, wenn sie zusätzlich die Funktionalität selbst beeinflussen.

2.4 Modell eines Vermittlungssystems aus der Sicht der Umwelt

Die Grundaufgabe eines Vermittlungssystems ist die Vermittlung von Nachrichtenverbindungen zwischen wechselnden Partnern /52/, siehe auch Bild 2.5. Dies trifft bei Fernsprechverbindungen wie bei Datenverbindungen zu und erlaubt damit eine Zusammenfassung unter dem Oberbegriff Verbindung (Nachrichtenverbindung). Die Vermittlung einer Nachrichtenverbindung umfaßt den Aufbau, das Halten während der Phase des Informationsaustausches und den Abbau einer Nachrichtenverbindung zwischen einem rufenden Teilnehmer (A-Tln) und einem gerufenen Teilnehmer (B-Tln). Der Aufbau einer Verbindung ist charakterisiert durch einen Belegungsversuch (Ruf), durch die Übergabe der Zielinformation an das Vermittlungssystem und durch das Bereitstellen (Belegen) von Betriebsmitteln. Der Abbau einer Verbindung ist durch einen Auslösevorgang und der Freigabe der Betriebsmittel gekennzeichnet. Sind A- und B-Tln einer Nachrichtenverbindung an ein und demselben Vermittlungssystem angeschlossen, so spricht man von einer internen Nachrichtenverbindung (engl. Local Call) bzw. von

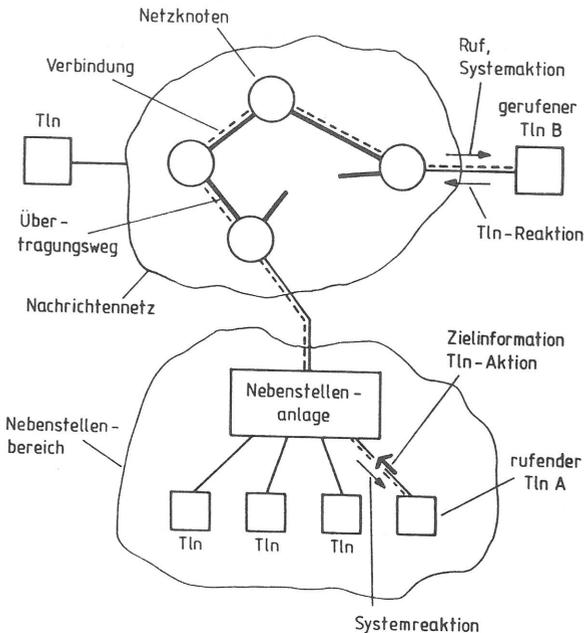


Bild 2.5 : Nachrichtenvermittlung zwischen A-Tln und B-Tln

einem Interngespräch. Im Gegensatz hierzu sind, bezogen auf Nebenstellenanlagen, bei Orts- und Ferngesprächen A- und B-Tln an verschiedenen Vermittlungssystemen angeschlossen¹⁾ (siehe Bild 2.5).

2.4.1 Prozesse eines Vermittlungssystemes

Das Vermittlungssystem stellt für die Nachrichtenverbindung Betriebsmittel zur Verfügung (Übertragungs-, Vermittlungs- und Steuerungseinrichtungen), welche der Verbindung dauernd oder nur zeitweise zugeteilt werden. Diese Bereitstellungen (bzw. Rücknahmen) erfordern einen zeitlichen wie funktionellen Ablauf von Steuerungsvorgängen. Bild 2.5 zeigt, daß ein Vermittlungssystem auch als eine Funktionseinheit angesehen werden kann, welche über Ein- und Ausgangsschnittstellen mit ihrer Umwelt kommuniziert. Der funktionelle Ablauf der Verbindungssteuerung (auch Vermittlungsprozeß genannt) läßt sich deshalb mit Hilfe eines automatentheoretischen Modells beschreiben. Hierbei wird jedem Teilnehmer an seiner Schnittstelle zum Vermittlungssystem ein teilnehmerindividueller Schnittstellenprozeß zugeordnet. Er bildet zu jedem Zeitpunkt den aktuellen Zustand einer Nachrichtenverbindung für genau diesen Teilnehmer ab. Zu jedem Zeitpunkt befindet sich jeder Schnittstellenprozeß in einem bestimmten Zustand. Ein zufällig eintreffendes Ereignis von einem Teilnehmer an der Eingangsschnittstelle (Tln-Anreiz, Tln-Eingangssignal, allg. Signal) stößt den Ablauf einer vom momentanen Zustand des betreffenden Schnittstellenprozesses abhängigen Vermittlungsteilfunktion an, welche nach Ausführen bestimmter Funktionen (Bereitstellen von Betriebsmitteln, Kommunikation mit anderen Schnittstellenprozessen) und Ausgabe bestimmter Systemreaktionen den Schnittstellenprozeß in einen neuen Zustand versetzt. In diesem Zustand wartet dann der

1) : Im nachfolgenden werden Orts- und Ferngespräche unter dem Begriff Externgespräche zusammengefaßt. Befindet sich die Verkehrssenne innerhalb der Nebenstellenanlage, so wird dies als ankommendes Externgespräch bezeichnet. Befindet sich die Verkehrssenne außerhalb der Nebenstellenanlage, so wird dies als gehendes Externgespräch bezeichnet.

Schnittstellenprozeß auf ein erneutes Eintreffen eines Tln-Anreizes.

Damit eine Nachrichtenverbindung erfolgreich von einem A-Tln zu einem B-Tln aufgebaut werden kann, muß ein Schnittstellenprozeß neben den Tln-Anreizen auch Eingangssignale empfangen können, welche als Quelle andere Prozesse aufweisen. Eingangssignale von einem anderen Schnittstellenprozeß werden immer dann empfangen, wenn eine Nachrichtenverbindung auf- oder abgebaut werden soll. Darüber hinaus werden übergreifende Systemprozesse benötigt, welche im Rahmen einer Interprozeßkommunikation anhand der Adresse des gewünschten B-Tln das nun zu dieser einen Verbindung zugehörige Paar von Schnittstellenprozessen ermittelt und zusammenführt. Damit ein Teilnehmer während des Verbindungsauf- bzw. -abbaus Betriebsmittel nicht zeitlich unbegrenzt in Anspruch nehmen (blockieren) kann, werden die Zeitspannen zwischen den einzelnen Teilnehmeraktionen mit Hilfe von Systemprozessen (Überwachungsprozessen) auf einen maximalen Wert überwacht. Die Überwachungsprozesse sind Bestandteil der Betriebssystemfunktionen eines Vermittlungssystemes. Bei Überschreiten eines Maximalwertes wird dann durch das Vermittlungssystem die (teilweise) aufgebaute bzw. abgebaute Verbindung zwangsausgelöst (Zwangsabbau einer im Aufbau bzw. Abbau befindlichen Verbindung).

Da von einer Vielzahl von Teilnehmern simultane Anreize (Anforderungen) auf das Vermittlungssystem aufgebracht werden können, auf welche in einer möglichst kurzen Zeit reagiert werden soll, andererseits die entsprechenden Zustandsübergänge der Schnittstellen- und Systemprozesse eine Bearbeitungszeit benötigen, unterliegen Vermittlungssysteme einer harten Realzeitanforderung.

Bild 2.6 zeigt vereinfacht das Signalisierszenario als auch die zugehörige Interprozeßkommunikation zwischen zwei Schnittstellenprozessen für den erfolgreichen Aufbau einer Nachrichtenverbindung zwischen einem A- und B-Tln. Unter Signalisierung wird hierbei der Austausch von Steuerinformationen (Signalen) zwischen den Teilnehmern und dem Vermittlungssystem als auch zwischen den Schnittstellen- und Systemprozessen für den Auf- und Abbau einer Nachrichtenverbindung verstanden. Erst durch die Wechselwirkung zwischen den A- und B-Teilnehmern und dem Vermittlungssystem bzw. durch die Wechselwirkungen zwischen den Schnittstellen- und Systemprozessen entsteht der

eigentliche Vermittlungsprozeß. Im Gegensatz zur formalen Automaten-
tentheorie wird der Vermittlungsautomat jedoch aus funktionellen
Blöcken (Überwachungsprozesse, Schnittstellenprozesse, Systemprozes-
se usw.) gebildet, deren Funktionen für sich festgelegt werden und,
im systemtheoretischen Sinne, mit ihrer "Umwelt" nur über ihre Ein-
gangs- und Ausgangsschnittstellen kommunizieren.

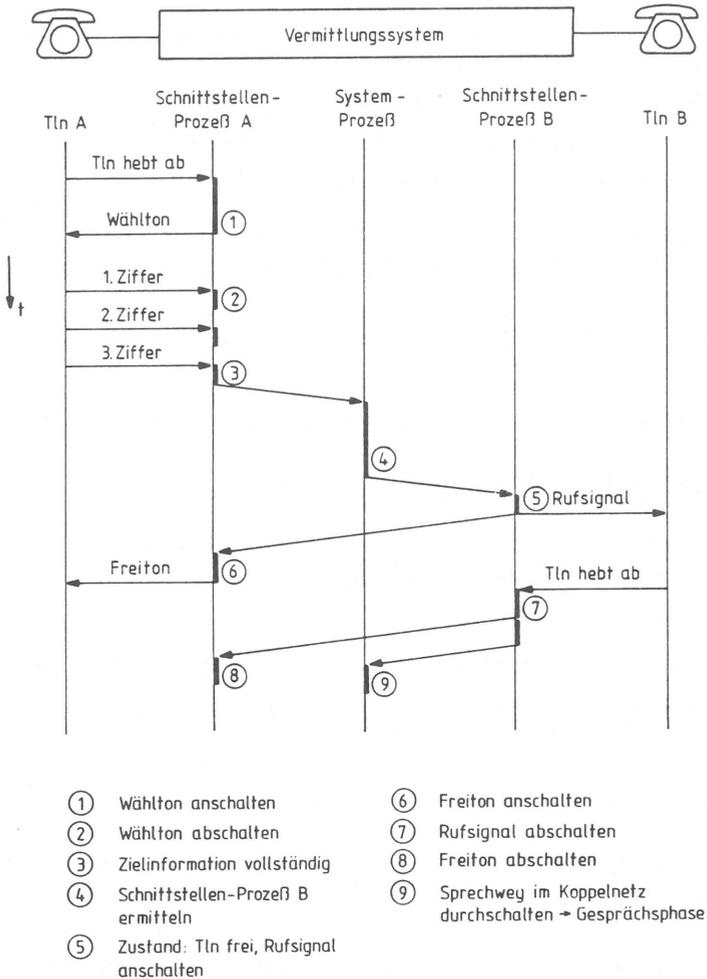


Bild 2.6 : Signalisierszenario und Interprozeßkommunikation

Oftmals wird neben dem Begriff des Vermittlungsprozesses der funktionelle und zeitliche Ablauf der Verbindungssteuerung auch als eine Prozedur (Vermittlungsprozedur) bezeichnet /48/. Die Merkmale der Vermittlungsprozedur und des Vermittlungsprozesses sind gleichermaßen

- definierte Tabellen von Eingangs- und Ausgangssignalen (auch Signalisieralphabet genannt)
- eine definierte Reihenfolge der Eingangssignale für einen erfolgreichen Verbindungsaufbau (auch Signalisiersyntax genannt)
- eine Festlegung aller funktionellen Zusammenhänge zur Realisierung einer bestimmten Aufgabe.

Werden Vermittlungsprozeduren umfassend spezifiziert, d.h. eine genaue Festlegung der Merkmale und Schnittstellen einer Prozedur erarbeitet, so spricht man auch von einem Protokoll (Vermittlungsprotokoll, /48/).

2.4.2 Funktionen eines Vermittlungssystemes

Die Funktionen innerhalb eines Vermittlungssystemes lassen sich in fünf funktionelle Blöcke unterteilen :

- Empfang von äußeren Signalen (engl. signal recognition)
- Aussenden von Signalen (engl. signal sending)
- Steuerung der Verbindung (engl. call handling)
- Erfassen der Gebühren (engl. metering)
- Wartung und Betrieb (engl. maintenance).

Die typischen Interaktionen zwischen diesen Blöcken für einem Teilnehmer mit einer Verbindungssteuerung nach dem HKZ-Verfahren erfolgen anhand von Signalen, wie sie in Bild 2.7 dargestellt sind. Den Blöcken "Signalempfang" und "Signalaussendung" können die in Abschnitt 2.4.1 beschriebenen Schnittstellenprozesse zugeordnet werden. Der Block "Verbindungssteuerung" beinhaltet die Überwachungs-

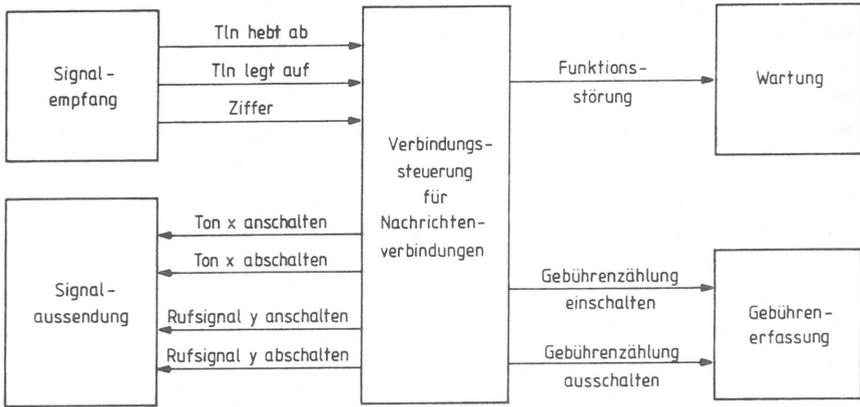


Bild 2.7 : Interaktionen zwischen den unterschiedlichen Blöcken eines Vermittlungssystemes

prozesse und übergreifende Systemprozesse. Von diesen wird eine entsprechende Gebührenzählung verbindungsindividuell im Block "Gebührenzählung" aktiviert bzw. deaktiviert. Der Block **Wartung** und **Betrieb** enthält alle notwendigen Prozesse für die Installation, Konfiguration und den Betrieb der Vermittlungsanlage durch den Betreiber.

2.4.3 Vermittlungsprinzipien

Bei der Vermittlung einer Nachrichtenverbindung werden Verfahren angewandt, welche auf den Prinzipien der Durchschaltvermittlung und der Teilstreckenvermittlung aufbauen.

Bei der Durchschaltvermittlung (auch Leitungsvermittlung genannt) ist die Forderung nach einem unmittelbaren Informationsaustausch zwischen den Teilnehmern einer Verbindung gegeben. Es wird ein der Verbindung fest zugeordneter Kanal durchgeschaltet. Dieser Kanal weist eine konstante Verzögerung auf, welche durch Signallaufzeiten bzw. bei Zeitmultiplexübermittlung durch kurzzeitige Zwischenspeicherungen für Rahmensynchronisation und Zeitlagenwechsel bedingt

ist. Die Forderung der konstanten Verzögerung besteht allerdings nicht für den Verbindungsaufbau. Hier können Wählinformationen zwischengespeichert werden.

Bei der Teilstreckenvermittlung ist die Forderung nach einem mittelbaren Informationsaustausch zwischen den Teilnehmern einer Verbindung gegeben (man spricht auch von einer Nachrichten- oder Speicher- vermittlung). Eine Verzögerung des Informationsaustausches bzw. des Verbindungsaufbaus durch (mehrmalige) Zwischenspeicherung der Wähl- und Nutzinformationen ist zugelassen.

Das Prinzip der Durchschaltevermittlung wird typischerweise bei dem herkömmlichen wie auch zukünftigen (ISDN-) Fernsprechen angewandt. Das Prinzip der Teilstreckenvermittlung wird bei der Datenübertragung im Datex-P-Netz oder bei der Übertragung der Signalisierinformationen bei digitalen Vermittlungsstellen/-netzen (CCITT-Zeichengabesystem Nr.7) eingesetzt.

2.4.4 Realzeitverhalten von Vermittlungssystemen

Bei einem Vermittlungssystem werden von einer Vielzahl von Teilnehmern simultane Anreize (Anforderungen) an das Vermittlungssystem gestellt. Eine der wichtigsten Forderungen an ein Vermittlungssystem ist die Reaktion auf alle äußeren Anreize innerhalb einer kurzen, vorgegebenen Zeit (Echtzeitanforderung an das Vermittlungssystem). Diese Anforderungen sind zum Teil durch die Einzelmerkmale Wähltonverzögerung, Rufverzögerung und Meldeverzögerung der Begriffe "Verkehrsgüte" und "Vermittlungsgüte" beschrieben /60/.

Hinsichtlich des Realzeitverhaltens eines Vermittlungssystems muß, aus der Sicht des Benutzers, unterschieden werden zwischen einem Verlustsystem, einem Wartesystem und einem Warte-Verlust-System. Die Unterscheidung muß für die Fälle erfolgen, bei welchen ein zur Zeit nicht verfügbares Betriebsmittel (zum Beispiel Tongenerator, Wahaufnahmesatz, Verbindung durch das Koppelnetz usw.) angefordert (benötigt) wird (siehe auch ¹⁾ nächste Seite).

Bei einem Verlustsystem besteht die Forderung, daß diese Anforderung in möglichst kurzer Zeit entsprechend zu verwerfen und dem Teilnehmer die Zurückweisung zu signalisieren ist. Bei einem Wartesystem kann der Teilnehmer bis zum Freiwerden des Betriebsmittels warten. Bei einem Warte-Verlust-System (nur zeitbegrenzt warten) kann der Teilnehmer eine vorgegebene Zeit auf das benötigte Betriebsmittel warten. Erst nach dieser Wartezeit wird die Anforderung und damit der gesamte Verbindungsaufbau vom Vermittlungssystem verworfen. Diese voreingestellte Wartezeit ist systemabhängig und kann bis zu mehreren Sekunden betragen. Bei einem Warte-Verlust-System besteht die Forderung, daß nach dem Freiwerden des benötigten Betriebsmittels während der Wartezeit dieses in möglichst kurzer Zeit belegt wird und dies dem Teilnehmer in Form einer Systemreaktion signalisiert wird.

Die Reaktionsgeschwindigkeit des Systemes wird somit von zwei unterschiedlichen Standorten (Meßpunkten) aus interpretiert. Aus der Sicht des Teilnehmers, und damit auch aus der Sicht des Umweltsimulators, ist es bei Wartesystemen nicht direkt möglich, eine systembedingte Reaktionszeit in den Fällen, in welchen eine Wartezeit möglich ist, zu erkennen und zu messen. Dies ist entsprechend bei der Bewertung von bestimmten Meßergebnissen (zum Beispiel Wähltonverzug oder Rufverzug) zu berücksichtigen.

2.4.5 Schnittstellen und Signalisierung einer Nebenstellenanlage

Die Schnittstellen heutiger Nebenstellenanlagen können unterteilt werden in Schnittstellen zu den Fernsprechteilnehmern, den öffentlichen Netzen, den Auskunfts- oder Abfrageplätzen (Vermittlungsplätze, Abfrageterminals) und den Bedienkonsolen für Systemkonfi-

-
- 1) : Bei einem Wartesystem wird zwischen einem ein- und mehrstufigen Wartebetrieb unterschieden (siehe /62/, Abs. 3.1.8.3). Bei einem Warte-Verlust-System ist ein Betrieb mit einem speicherbegrenzten Warten oder einem zeitbegrenzten Warten (bzw. einer Kombination von beidem) möglich (siehe /62/, Abs. 3.1.8.4).

guration und Software-Wartung durch den Betreiber. Sie unterscheiden sich typischerweise in der Anzahl, in der Signalisierung, in der Funktionalität und durch die Möglichkeit und Art des Zugriffes auf Systembetriebsmittel. Bei Schnittstellen zum öffentlichen Netz bzw. zu den Endgeräten besteht die zwingende Forderung zur Einhaltung vorgegebener Spezifikationen durch die Deutsche Bundespost (FTZ-Richtlinien /24-35,66,67/) . Bei den systeminternen Schnittstellen Abfrageplatz bzw. Bedienkonsole existieren größtenteils herstellerspezifische Lösungen.

In den nachfolgenden Abschnitten 2.4.5.1 bis 2.4.5.3 werden die Schnittstellen und ihre Signalisierung nur soweit mit ihren Merkmalen behandelt, wie sie für den Betrieb mit einem Umweltsimulator von Wichtigkeit sind. Dies betrifft vor allem die Schnittstellen für die digitale Tln-Asl und Amts-Asl. Für weiterführende Informationen hinsichtlich den digitalen Schnittstellen sei an dieser Stelle auf die Literaturstellen /8,25,26,27/ verwiesen.

2.4.5.1 Analoge Teilnehmeranschlußleitung

Bei den analogen Teilnehmeranschlußleitungen werden die Nutz- und Steuersignale zwischen Teilnehmerapparat und Vermittlungsstelle in wert- und zeitkontinuierlicher Form ("analog") mit Hilfe von Strom- oder Spannungsgrößen übertragen. Beginn und Ende einer Verbindung (Tln hebt ab, Tln legt auf) werden nach dem Schleifenprinzip signalisiert (HKZ-Verfahren, /24,35/). Im Ruhezustand (Tln hat aufgelegt) ist die Stromschleife geöffnet.

Man unterscheidet bei Tln-Asl mit einer Verbindungssteuerung nach dem HKZ-Verfahren für die Übertragung der Wählinformation vom Endgerät an die Vermittlungsstelle zwischen Anschlüssen mit dem IW-Verfahren und mit dem MF-Verfahren /32/. Der Unterschied zwischen diesen beiden Wählverfahren liegt in der unterschiedlichen Art der Codierung von Wählziffern. Bei dem IW-Verfahren wird die Stromschleife durch einen Kontakt entsprechend der gewählten Ziffer durch den Nummernschalter unterbrochen (bei der Ziffer 1 erfolgt eine, bei der Ziffer 9 erfolgen neun Unterbrechungen). Wesentliche Merkmale bei

diesem Wählverfahren, welches zu einer stark rufnummerabhängigen Wählzeit führt, sind :

- die Zeit zum Aufziehen der Wählscheibe durch den Teilnehmer für eine Ziffer (bis zu 1 Sekunde)
- die Zeit für das vollständige Aussenden einer Ziffer (pro Impuls 90 bis 110 ms)
- die im Endgerät zwangsweise vorgegebene Zwischenwahlzeit je Ziffer von mindestens 0,4 Sekunden¹⁾.

Bei dem MF-Verfahren (Tastwahl) wird der Nummernschalter durch ein 12- oder 16-teiliges Tastenfeld ersetzt. Die im Vergleich zum Nummernschalter zusätzlichen 2 bzw. 6 Signale werden für Sonderfunktionen verwendet. Als Sonderfunktionen lassen sich Dienstmerkmale wie Kurzrufnummer, Ruhe vor dem Telefon oder Rufumleitung sehr benutzerfreundlich realisieren. Zur Wahl einer Ziffer werden beim MF-Verfahren zwei überlagerte Töne mit unterschiedlicher Frequenz ausgesendet /32/. Für jede Ziffer (Taste) wird eine individuelle Tonkombination verwendet. Im Gegensatz zum IW-Verfahren ist die Zeit für die Wahl einer Ziffer nur noch von der Zeitdauer des Tastendruckes des Teilnehmers abhängig (die Zeitdauer für die Übertragung einer Ziffer beträgt jedoch mindestens 80 ms). Dies hat zur Folge, daß ein Teilnehmer bei dem MF-Verfahren (im Vergleich zu einem Teilnehmer mit dem IW-Verfahren) einmal eine wesentlich kürzere Wähldauer aufweist und zum anderen die verfügbaren Sonderfunktionen intensiver nutzt. Diese unterschiedlichen Teilnehmerverhaltensweisen während der Wählphase und die unterschiedliche Aktivierung von Sonderfunktionen sind bei der Nachbildung durch einen Umweltsimulator entsprechend zu berücksichtigen.

Für die Umweltsimulation weiterhin bedeutsam ist die Zeit zum Übertragen einer Ziffer beim IW-Verfahren und die Verwendung von Inter-

1) : Die Zwischenwahlzeit wird benötigt, um das Ende einer Impulsreihe (Ende einer Ziffer) zu erkennen und um Freiwahlvorgänge innerhalb direkt gesteuerter Vermittlungssysteme bzw. ein- oder mehrstufige Einstellvorgänge innerhalb indirekt gesteuerter Vermittlungssysteme abzuschließen.

valltönen oder Intervallrufsignalen (Intervallrufen) zur Darstellung von System(re)aktionen. Für die Ermittlung zum Beispiel des Rufverzuges muß die Testanordnung, wie sie typischerweise bei der Umweltsimulation verwendet wird, berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 2.6.2). Da hierbei die Messung der Zeitdauer und die physikalische Codierung der Wählziffern in getrennten Systemen erfolgt, muß bei der Messung des Rufverzuges berücksichtigt werden, daß die Zeitspanne zwischen Erzeugung der letzten Wählziffer und Eintreffen dieser Wählziffer im Vermittlungssystem nicht zur Rufverzugsdauer gezählt wird. Bei der Ermittlung des Wähltonverzuges muß beachtet werden, daß bei Intervalltönen die Anschaltung des Wähltones durch das System in den Tonpausen erfolgen kann. Abschnitt 3.2 beschreibt die Berücksichtigung dieser Eigenschaft bei der in dieser Arbeit vorgestellten Umweltsimulation.

2.4.5.2 Digitale Teilnehmeranschlußleitung

Die Digitalisierung des Teilnehmeranschlusses ist die wesentliche technische Neuerung des ISDN gegenüber dem bisherigen Fernsprechnetz mit analogen Teilnehmeranschlußleitungen /8/. Bild 2.8 zeigt den

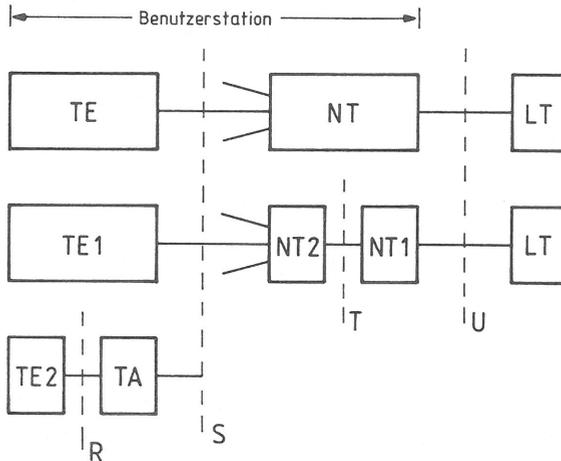


Bild 2.8 : Aufbau und Anschluß einer ISDN-Benutzerstation

Aufbau einer ISDN-Benutzerstation und den Anschluß von ISDN-Endgeräten gemäß den CCITT-Empfehlungen I.410 und I.411. Die Netzabschlußeinheit NT (engl. Network Termination) ermöglicht die Ankopplung an die Tln-Asl und die gemeinsame Nutzung der Anschlußleitung durch mehrere Endeinrichtungen TE (engl. Terminal Equipment). Hierzu kann die Netzabschlußeinheit NT in einen Teil NT1 für die Ankopplung an die Teilnehmeranschlußleitung (Funktionen der Schicht 1) und einen Teil NT2 für den Anschluß mehrerer Endgeräte (Funktionen der Schicht 2 und Schicht 3, Endgeräteverwaltung und Vermittlungsfunktionen) unterteilt werden. Die Funktionseinheit TE kann nun entweder ein für das ISDN ausgelegtes Endgerät TE1 oder ein Endgerät TE2 mit herkömmlicher analoger bzw. digitaler Schnittstelle (Dateneinrichtungen nach den Empfehlungen X.23, X.21, V24 und V28) und Adaption über eine Anpassungseinheit TA (engl. Terminal Adapter) sein.

Zwischen den Funktionseinheiten werden Bezugspunkte definiert:

- Bezugspunkt U zwischen der Leitungsabschlußeinheit LT (engl. Line Termination) und den Netzabschlußeinheiten NT bzw. NT1 (Teilnehmeranschlußleitung)
- Bezugspunkt T zwischen den Netzabschlußeinheiten NT1 und NT2
- Bezugspunkt S zwischen den Netzabschlußeinheiten NT bzw. NT2 und den Endeinrichtungen TE, TE1 bzw. TA (Installationsleitung), S-Schnittstelle, S-Bus)
- Bezugspunkt R zwischen der Anpassungseinheit TA und der Endeinrichtung TE2.

Um dem Benutzer einen universellen Zugang zu den Kommunikationsdiensten des ISDN zu geben, wurden für die S- und T-Bezugspunkte Schnittstellen mit mechanischen, elektrischen und logischen Festlegungen (CCITT I.430 und I.431) standardisiert.

Die auf der Teilnehmeranschlußleitung (Basisanschluß) zur Verfügung gestellte Nettoübertragungsrate von 144 kbit/s (bei einer Gesamtbirtrate von 192 kbit/s) wird im ISDN in zwei B-Kanäle und einen D-Kanal unterteilt. Jeder B-Kanal besitzt eine Übertragungsrate von 64 kbit/s, der D-Kanal besitzt eine Übertragungsrate von 16 kbit/s.

Auf den B-Kanälen erfolgt der Informationsaustausch zwischen den Verbindungspartnern. Hierbei kann es sich beliebig entweder um Fernsprechen oder um eine Datenkommunikation handeln. Auf dem D-Kanal werden die notwendigen Signalisierinformationen zwischen den Endgeräten und dem Vermittlungssystem zur Steuerung des Verbindungsauf- bzw. abbaus nach dem sogenannten D-Kanal-Protokoll (Schicht 2 : CCITT I.440/I.441, Schicht 3 : CCITT I.450 und I.451, /26/) übertragen¹⁾.

Mit der Realisierung einer datenkommunikationsorientierten, digitalen Signalisierung, einer vergleichsweise hohen Übertragungsrate von 16 kbit/s und einer hohen Packungsdichte bei Signalisierinformationen innerhalb einer Signalisiermeldung sind die zeitlichen Merkmale, wie sie (unabhängig von den Systemreaktionszeiten) bei analogen Teilnehmeranschlussleitungen aufgrund des Wählverfahrens IWV bzw. MFV kennzeichnend waren, nicht weiter von Belang.

Die Ankopplung des Umweltsimulators an ISDN-Teilnehmeranschlußleitungen erfolgt durch die Umsetzung von teilnehmerorientierten Signalisierprimitiven in die jeweilige D-Kanal Schicht 3 Signalisierung /26/ (siehe auch Abschnitt 2.7).

2.4.6.3 Schnittstellen zum öffentlichen Fernsprechnet

Die typischen Schnittstellen einer Nebenstellenanlage zum öffentlichen Fernsprechnet können unterteilt werden in /35,66,67/ :

- analoge Amtsleitungen mit dem HKZ-Verfahren (HKZ-1, HKZ-2) für Nebenstellenanlagen (nach Ausstattung 1 und 2²⁾) und den Wählverfahren IWV und MFV für gehende Externgespräche (Amtsleitungen für Nebenstellenanlagen ohne Durchwahlmöglichkeit)

1) : Eine Übertragung von paketierten Nutzinformatioren auf dem D-Kanal ist in Entwicklung. Zur Zeit ist dies jedoch noch nicht möglich.

2) : siehe nächste Seite

- analoge Amtsleitungen mit dem IKZ-Verfahren (IKZ-1, IKZ-2) für Nebenstellenanlagen (nach Ausstattung 1 und 2) und den Wählverfahren IWV für gehende Externgespräche und EIV (Erdimpulswahlverfahren) für kommende Externgespräche (d.h. Amtsleitungen für Nebenstellenanlagen mit Durchwahlmöglichkeit für kommende Externgespräche)
- digitale ISDN-Basisanschlußleitungen
- digitale ISDN-Primärmultiplexanschlußleitungen.

Der prinzipielle Unterschied zwischen Amtsleitungen mit dem HKZ- und dem IKZ-Verfahren liegt bei dem IKZ-Verfahren in der Durchwahlmöglichkeit der kommenden Externgespräche auf eine bestimmte Nebenstelle innerhalb der Nebenstellenanlage. Das IKZ-Verfahren muß damit im Gegensatz zum HKZ-Verfahren in der Lage sein, auch Ziffern von der Ortsvermittlungsstelle an die Nebenstellenanlage signalisieren zu können. Dies ist in der Regel nur bei größeren Nebenstellenanlagen realisiert. Bei kleineren Anlagen erfolgt der analoge Anschluß der Nebenstellenanlage an den Teilnehmeranschlußleitungen der öffentlichen Ortsvermittlungsstelle auf der Basis des HKZ-Verfahrens und des Wählverfahrens IWV oder MFV für gehende Externgespräche. Bei ankommenden Externgesprächen muß bei dem HKZ-Verfahren zuerst immer eine Durchschaltung an den Abfrageplatz erfolgen. Von dort wird dann das Gespräch manuell an die gewünschte Nebenstelle vermittelt.

ISDN-Nebenstellenanlagen können alternativ an den Bezugspunkten S, T oder U an eine ISDN-Ortsvermittlungsstelle angeschlossen werden. Kleine ISDN-Nebenstellenanlagen werden über einen ISDN-Basisanschluß mit der Ortsvermittlungsstelle verbunden. Für den Anschluß von größeren Nebenstellenanlagen ist in der CCITT-Empfehlung I.431 der Einsatz eines Primärmultiplexanschlusses für die Bezugspunkte S und T vorgesehen. Er erlaubt bis zu dreißig Nutzkanäle und einen Hilfska-

2) : Mit dem Begriff der Ausstattung erfolgt im wesentlichen die Festlegung der von der Nebenstellenanlage zu unterstützenden Leistungsmerkmale für die Regel- und Ergänzungsausstattung (siehe /66,67/). Nebenstellenanlagen nach Ausstattung 1 werden in der Regel zur Neuinstallation nicht mehr zugelassen.

nal mit jeweils 64 kbit/s. Unabhängig von der Größe der Nebenstellenanlage muß für die Möglichkeit einer Durchwahl auf einzelne Nebenstellen die Nebenstellenanlage am Bezugspunkt T an eine ISDN-Ortsvermittlungsanlage angeschlossen werden (der einer ISDN-Nummer entsprechende Adressierungsraum reicht nur bis zum Bezugspunkt S und ist nicht zur Subadressierung innerhalb von Endeinrichtungen vorgesehen). Wie bereits bei dem Basisanschluß erfolgt der Einsatz eines Primärmultiplexanschlusses ebenfalls auf den vorhandenen Kupferadernpaaren. Beim Primärmultiplexanschluß gibt es aber nur eine Konfiguration "Punkt zu Punkt" und, im Vergleich zum Bezugspunkt S des Basisanschlusses, keinen passiven Bus. Dies ist einerseits durch die auf ein Zehntel verkürzte Bitdauer und der damit verbundenen schwierigen Realisierung begründet, andererseits ist der Primärmultiplexanschluß gerade für den Anschluß einer Nebenstellenanlage an eine Ortsvermittlungstelle und nicht für den Anschluß mehrerer Endgeräte konzipiert.

Für die logische Nachbildung der analogen Teilnehmeranschlußleitungen ist das verwendete Wählverfahren, für die Nachbildung der analogen Amtsanschlußleitungen das verwendete Zeichengabeverfahren von großer Bedeutung. Es wird im nachfolgenden daher bei den analogen äußeren Schnittstellen unterschieden zwischen einer

- Tln-Asl mit dem HKZ-Verfahren und dem
 - Wählverfahren IWV (im nachfolgenden auch IWV-Tln genannt)
 - Wählverfahren MFV (im nachfolgenden auch MFV-Tln genannt)
- Amts-Asl mit dem HKZ-1/HKZ-2-Verfahren und den Wählverfahren IWV oder MFV (im nachfolgenden auch HKZ-Amtsleitung genannt)
- Amts-Asl mit dem IKZ-1/IKZ-2-Verfahren und den Wählverfahren EIV und IWV (im nachfolgenden auch IKZ-Amtsleitung genannt).

2.4.5.4 Schnittstellen zu Abfrageplatz und Systemkonsole

Die Schnittstellen zu den Abfrageplätzen und Systemkonsolen einer Nebenstellenanlage sind von jeher herstellerepezifisch. Je nach Systemstruktur sind sie an unterschiedlichen Systemhierarchiestufen des Systems angeschlossen. Über ihre physikalische Ankopplung und

ihre systeminterne Signalisierung können deshalb keine allgemeinen Aussagen gemacht werden. Der wesentliche Unterschied zu den üblichen Teilnehmeranschlußleitungen liegt in der stark erweiterten Funktionalität. Ein Abfrageplatz muß neben den üblichen Dienstmerkmalen einer Nebenstelle noch die Fähigkeit besitzen,

- Amtsleitungen auf Nebenstellen für kommende und gehende Gespräche/Verbindungen zu vermitteln
- sich auf andere Verbindungen aufzuschalten
- bei Verbindungen eine Zwangsauslösung durchzuführen usw..

Systemkonsolen können je nach Implementierung Teil des Abfrageplatzes sein, oder sie sind separat ausgeführt. Mit Hilfe der Systemkonsole wird die Systemkonfiguration festgelegt, werden Leistungsmerkmale individuell für jedes Endgerät freigegeben und direkte Wartungsarbeiten wie die Neuinstallation von Systemprogrammen oder das Starten von Diagnoseprogrammen durchgeführt. Die Systemkonsole einer Nebenstellenanlage wird deshalb im Sinne einer vermittlungstechnischen Umwelt bei der Umweltsimulation nicht weiter berücksichtigt.

2.5 Vermittlungssystemrelevante Meßgrößen

Die Gesichtspunkte für ein Gesamturteil des Benutzers über ein Fernsprechnet und seine Vermittlungsstellen sind klassifizierbar in /64/ :

- Ausstattung des Netzes
- Dienstgüte (allgemein)
- Kosten.

Die Ausstattung des Netzes ist unterteilbar

- bezüglich der Menge wie
 - Sprechstellenanzahl, Anzahl und Größenverteilung von Nebenstellenanlagen
 - Sprechstellendichte, Münzfernsprecherdichte
 - Anzahl der Ansagedienste
- bezüglich der Merkmale wie
 - Anschlußarten (Einzel-/Mehrfachanschluß, Haupt-/Nebenanschluß)
 - Leistungsmerkmale wie Kurzwahl, Tastwahl, Fernwahl, Ruhe vor dem Telefon, Anklopfen, Anrufweitschaltung
 - Signale zum Teilnehmer wie Wähl-, Frei-, Besetzt-, Hinweis- und Anklopfton
 - Flexibilität hinsichtlich der Beibehaltung einer Rufnummer oder dem Einrichten neuer Dienste,

während die Kosten aufgeschlüsselt werden können in

- Einrichtungs- und ähnliche Kosten
für Einrichten, Verlegen, Ändern von Anschlüssen, Kosten für Zusatzeinrichtungen oder Entstörungen
- laufende Kosten
wie Grundgebühren, Wartungsgebühren, Gesprächsgebühren und Gebühren für besondere Ansage- oder Auskunftsdienste
- Fernsprechnung
wie Übersichtlichkeit und Detaillierungsgrad.

Die Dienstgüte umfaßt die sogenannte "Technische Dienstgüte" und die "Verwaltungs-Dienstgüte". Die Verwaltungs-Dienstgüte beinhaltet zum

Beispiel die Reaktionsschnelligkeit des Netzbetreibers beim Einrichten, Ändern und Verlegen von Anschlüssen, beim Beheben von Störungen oder beim Installieren von Zusatzeinrichtungen.

Die für eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Vermittlungssystemen bewertbaren Einzelmerkmale (Meßgrößen) sind Teil der Technischen Dienstgüte. Sie ist in der NTG-Empfehlung 0901 /60/ beschrieben als die

Dienstgüte beim Fernsprechen, welche nur die vom Fernsprechteilnehmer wahrgenommene, vom Benutzerverhalten unabhängige Güte einer Fernsprechverbindung beschreibt.

Sie ist unterteilt in die drei Teildienstgütern Verkehrsgüte, Vermittlungsgüte und Übertragungsgüte. Wie bereits in Abschnitt 2.3 erläutert, wird die Übertragungsgüte nicht weiter betrachtet.

Da bei der Definition der Technischen Dienstgüte ein Bezug auf eine Fernsprechverbindung und nicht auf ein Vermittlungssystem erfolgt und die Reaktionsgeschwindigkeit eines Vermittlungssystemes und damit die Verkehrsgüte vom Benutzerverhalten aller Fernsprechteilnehmer abhängig ist, werden im nachfolgenden die Merkmale der Teildienstgütern hinsichtlich ihrer Eignung bei der Beurteilung von Vermittlungssystemen diskutiert.

Die Verkehrsgüte als auch die Vermittlungsgüte setzen sich nach der NTG-Empfehlung 0901 aus bestimmten Zeitintervallen und Belegungsarten wie folgt zusammen :

- Verkehrsgüte :
 - Blockierung
 - Warten auf Abfrage
 - Wähltonverzug
- Vermittlungsgüte :
 - Falschverbindung
 - Doppelverbindung
 - keine Auslösung
 - Zählstörung
 - Rufverzug
 - Meldeverzug
 - fehlende oder falsche Hörtöne
 - unvollständige Verbindung trotz voll-

ständer Wahl
- vorzeitige Auslösung oder Trennung.

Vermittlungssystemrelevante Meßgrößen aus der Sicht des Fernsprechteilnehmers können damit prinzipiell in zwei Gruppen unterteilt werden. Zum einem beziehen sich die Meßgrößen auf den Ablauf und die Zeitintervalle einer Einzelverbindung (Funktionalität im Einzelfall), zum anderen ist die Gesamtheit aller Verbindungen für das gesamte Vermittlungssystem zu betrachten (Funktionalität unter Lastbedingungen).

Bild 2.9 zeigt die einzelnen Phasen und Zeitintervalle einer vollständigen und erfolgreichen Verbindung entsprechend der NTG-Empfehlung 0903 /62/. Die Zeitintervalle

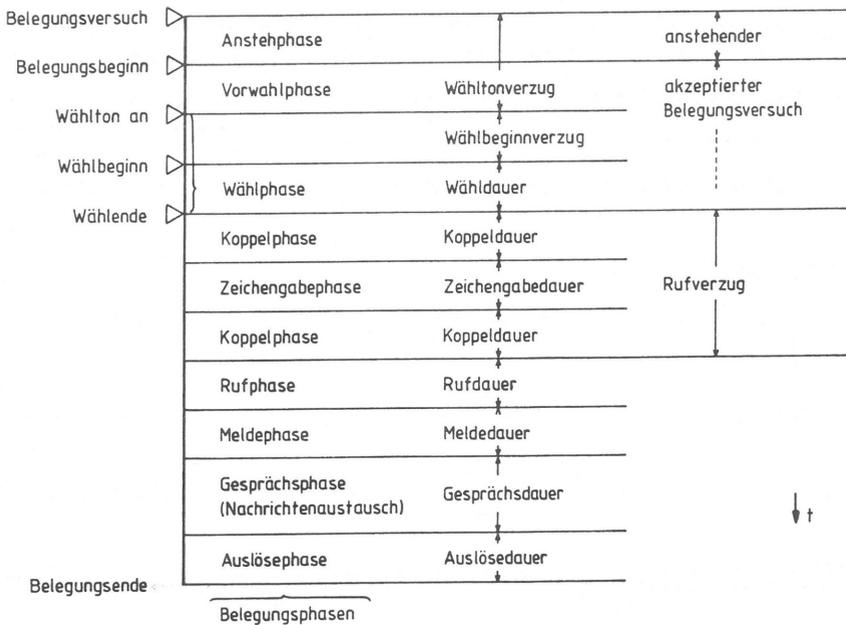
- Wähltonverzug
Dauer der Zeitspanne zwischen Abheben des Handapparates (Einschalten der rufenden Endstelle) und dem Anschalten des Wähltones
- Rufverzug
Dauer der Zeitspanne zwischen Ende des Wählens und Anschalten des Rufsignales
- Meldedauer
Dauer der Zeitspanne zwischen dem Melden der gerufenen Endstelle und dem vollständigen Durchschalten der Verbindung
- Auslösedauer
Dauer der Zeitspanne zwischen dem Veranlassen der Auslösung und dem tatsächlichen Freiwerden aller belegten vermittlungstechnischen Einrichtungen

können als vermittlungssystemabhängige Zeitintervalle bezeichnet werden. Sie stellen Systemreaktionszeiten auf entsprechende Teilnehmeraktionen und damit Meßgrößen zur Beurteilung eines Vermittlungssystems (Nebenstellenanlage) dar.

Die Zeitintervalle

- Wahlbeginnverzug
Dauer der Zeitspanne zwischen dem Einschalten des Wähltones und dem Beginn des Wählens

- Wähldauer
Dauer der Zeitspanne vom Beginn der Eingabe der ersten Ziffer (Wählbeginn) bis zum Ende der Ausgabe der letzten Ziffer (Wahlende)
- Rufdauer
Dauer der Zeitspanne, in welcher das Rufsignal ausgesendet wird
- Gesprächsdauer
Dauer des Nachrichtenaustausches, Zeitspanne zwischen dem Ende der Meldephase bis zum Beginn der Auslösephase
- Freidauer
Zeitintervall zwischen dem Ende einer Belegung und dem Beginn



- Fernsprecherbindungen zwischen zwei Teilnehmern an benachbarten Vermittlungsstellen
- Kein zentraler Zeichenkanal vorhanden

Bild 2.9 : Phasen und Zeitintervalle bei vollständigen und erfolgreichen Fernsprecherbindungen (entnommen aus /62/)

der unmittelbar folgenden Belegung einer Leitung oder Einrichtung,

sowie das in der NTG-Empfehlung 0901 (Nr. 1.2) als Teil der Verkehrsgüte definierte Einzelmerkmal (Zeitintervall)

- Warten auf Abfragen

sind von den an der Verbindung beteiligten Personen abhängig. Sie können damit direkt zur Beurteilung eines Vermittlungssystems (Nebstellenanlage) nicht herangezogen werden. Diese Einzelmerkmale können aber bei der Bestimmung der Verkehrsbelastung und den daraus abgeleiteten Angaben über Verkehrskapazitäten eines Vermittlungssystems verwendet werden.

Als Vermittlungssystemspezifische Meßgrößen können weiterhin unterschiedliche Belegungen (Belegungsarten) betrachtet werden wie

- Verbindung mit Gespräch mit gewünschtem B-Teilnehmer
- Falschverbindung
- Blockierung während oder nach der Wählphase
- fehlende oder falsche Hörtöne
- fehlender Ruf beim B-Teilnehmer
- Doppelverbindung
- vorzeitige Auslösung oder Trennung
- keine Auslösung
- Zählstörung.

Diese Meßgrößen erfassen direkt entweder ein fehlerfreies oder ein fehlerbehaftetes Verhalten des Vermittlungssystems.

Während des Betriebs des Vermittlungssystems ist der momentane Wert der Meßgröße zufällig (da unter anderem von der momentanen Belastung abhängig). Bei der Messung von Zeitintervallen und ihrer statistischen Auswertung sind somit zu ermitteln :

- der Erwartungswert und das Vertrauensintervall des Erwartungswertes der Meßgröße
- der Variationskoeffizient der Meßgröße

- die Verteilungsfunktion der Meßgröße

unter Zugrundelegung bestimmter Parameter wie

- Anzahl der konfigurierten (äußeren) Schnittstellen
- Verkehrswert je Schnittstelle
- Teilnehmerverhalten usw..

So kann dann an Hand der Verteilungsfunktion die für Zeitintervalle wichtige Aussage gemacht werden, wieviel Prozent aller Zeitintervalle bei einer bestimmten Systembelastung eine fest vorgegebene Zeitspanne überschreiten (Überschreitungswahrscheinlichkeit).

Bei der Messung von bestimmten Belegungen oder des Fehlverhaltens sind die relativen Häufigkeiten wiederum unter Zugrundelegung bestimmter Parameter (wie oben angeführt) zu ermitteln. So kann dann die Aussage gemacht werden, bei wieviel Prozent aller Verbindungen bzw. Belegungsversuche mit entsprechendem Fehlverhalten zu rechnen ist.

In der NTG-Empfehlung 0903 werden neben der Vermittlungsgüte und Verkehrsgüte die im nachfolgenden beschriebenen, das Gesamtsystem betreffenden Größen spezifiziert :

Bei Bezug auf das Belegungsangebot, d.h. der Anzahl der in einer vermittlungstechnischen Einrichtung innerhalb einer vorgegebenen Zeit einfallenden Belegungsversuche, und der daraus abgeleiteten Belegungsbelastung, d.h. der Anzahl der akzeptierten Belegungsversuche des Belegungsangebotes, sind Kapazitätsangaben definiert wie

- Belegungs-Nennkapazität
Festlegung einer bestimmten Belegungsbelastung, welche bei vorgegebener Verkehrsgüte gerade noch bewältigt wird
- Belegungs-Grenzkapazität
Festlegung einer bestimmten Belegungsbelastung, welche auch bei einem beliebig hohen Belegungsangebot nicht unterschritten wird
- Belegungs-Überlastkapazität
Festlegung einer bestimmten Belegungsbelastung, welche bei vorgegebener reduzierter Verkehrsgüte gerade noch bewältigt wird.

Bei Bezug auf den Verkehrswert des Verkehrs, d.h. dem Quotienten aus der während eines Beobachtungszeitraumes auftretenden Verkehrsmenge und der Dauer dieses Zeitraumes, und der hieraus abgeleiteten Verkehrsbelastung, d.h. dem Verkehrswert des durch akzeptierte Belegungsversuche verursachten Verkehrs (Leitungsbelastung) sind Kapazitätsangaben definiert wie

- Verkehrs-Nennkapazität
Festlegung einer Verkehrsbelastung, welche bei einer vorgegebenen Verkehrsgüte gerade noch bewältigt wird
- Verkehrs-Grenzkapazität
Verkehrsbelastung, welche auch bei beliebig starker Überbeanspruchung nicht unterschritten wird
- Verkehrs-Überlastkapazität
Verkehrsbelastung, die bei vorgegebener reduzierter Verkehrsgüte gerade noch bewältigt wird.

Der Begriff Hauptverkehrsstunden-Belegungsversuche (engl. Busy Hour Call Attempts, BHCA) allein sollte nicht zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit herangezogen werden. Er beinhaltet nur die Anzahl der während der Hauptverkehrsstunde einfallenden Belegungsversuche ohne Einbeziehung einer Aussage über Verkehrs- und Vermittlungsgüte und wird neben dem Verkehrsangebot hauptsächlich für das Bemessen von Vermittlungseinrichtungen verwendet.

In der FTZ-Arbeitsanweisung 12R2A /31/ und in der FTZ-Richtlinie 12TR3 /33/ sind Vorgaben für die Bemessung von Hauptanschlußleitungen bzw. Teilnehmeranschlußleitungen und Amtsleitungen von Nebensstellenanlagen (Telekommunikationsanlagen) auf der Basis eines vorgegebenen bzw. gemessenen Verkehrswertes, Blockierungswertes (Verlustwahrscheinlichkeit) und Belegungsangebotes spezifiziert. Hinsichtlich der Verkehrsgüte wird in der FTZ-Richtlinie 12TR3 für die Verlustwahrscheinlichkeit des kommenden Externverkehrs einer Nebensstellenanlage ein maximaler Wert von 2% definiert. In den Rahmenregelungen für Kleine bzw. Mittlere und Große W-Anlagen (nach Ausstattung 2, /66,67/) sind neben einer Beschreibung der Dienstmerkmale (Leistungsmerkmale) Bestimmungen für die Bemessung und Beschaltung von Abfragestellen (Abfrageplätzen) auf der Basis der Anzahl der an die Abfragestellen herangeführten Leitungen enthalten.

Darüber hinaus sind in der Literatur keine verbindlichen Aussagen vorzufinden, welche absoluten Größen der Einzelmerkmale eine bestimmte Dienstgüte einer Nebenstellenanlage beschreiben. So sind Begriffe wie Belegungs-Nennkapazität, Verkehrs-Nennkapazität usw. in den NTG-Empfehlungen definiert, es erfolgt aber keine Festlegung der in der Definition dieser Begriffe verwendeten Verkehrsgüte. Auch von der Deutschen Bundespost sind keine Richtlinien über die Einhaltung von Grenzwerten bzw. Vorgaben für Einzelmerkmale veröffentlicht. Dies kann damit erklärt werden, daß die Technische Dienstgüte mit einer Zahl nicht beschrieben werden kann, da dann Teilgütezahlen nach subjektiven Gesichtspunkten gewichtet werden müßten und damit schlechte Werte eines Einzelmerkmals durch gute eines anderen verdeckt werden könnten /64/. Deshalb sollten immer eine Vielzahl von einzelnen Merkmalen erfaßt und bewertet werden. Genau diese Erfassung der absoluten und relativen Größen der oben beschriebenen Einzelmerkmale wird durch den in dieser Arbeit vorgestellten Umweltsimulator möglich. Die Bewertung und damit die Definition einer bestimmten Dienstgüte hat aber immer individuell durch den Anwender zu erfolgen.

In Tabelle 2.2 sind, entnommen aus /64/, auf der Basis einer langjährigen Industriepraxis für einige Einzelmerkmale Erfahrungswerte aufgeführt.

Einzelmerkmal (Fehlverhalten)	Wahrscheinlichkeit p für das Nichtauftreten
kein Freiton kein Besetztton kein Ruf kein Nachrichtenpfad keine Auslösung Fehler bei Gebührenerfassung vorzeitige Trennung	$p > (1 - 10^{-4})$
Doppelverbindung	$p > (1 - 10^{-6})$

Einrichtung	Wahrscheinlichkeit p für das Erreichen der Einrichtung
Wahlaufnahmesatz	$p > (1 - 10^{-3})$
Verbindungssatz	$p > (1 - 10^{-2})$

Einzelmerkmal (Zeitintervall)	Mittelwert bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit
Wähltonverzug (WT_V)	$E[WT_V] < 0,5 \text{ s}$ oder $P\{WT_V < 1 \text{ s}\} > (1 - 10^{-2})$
Rufverzug (R_V)	$E[R_V] = 1...2 \text{ s}$ (Ortsverkehr) $E[R_V] = 2...5 \text{ s}$ (Fernverkehr)

Tabelle 2.2 : Erfahrungswerte für einige Einzelmerkmale der Technischen Dienstgüte (entnommen aus /64/)

2.6 Grundkonzept des Umweltsimulators

2.6.1 Leistungsmerkmale

Der Umweltsimulator UNES (engl. UNiversal Environment Simulator) ist ein automatisch arbeitendes System und ersetzt die bisher üblichen manuellen Tests von Nebenstellenanlagen. Der Umweltsimulator bildet die Funktionalität der Nebenstellen (Endgeräte) und Vermittlungsplätze, als auch die in der zugehörigen Ortsvermittlungsstelle befindlichen Amtsleitungssätze logisch in Echtzeit nach und simuliert somit die Umwelt einer Nebenstellenanlage, siehe Bild 2.10. UNES ermöglicht die Nachbildung von bis zu 1000 derartiger Nebenstellen, Vermittlungsplätzen und Amtsleitungen. Damit der Umweltsimulator so universell wie möglich einsetzbar und damit unabhängig von dem zu testenden Zielsystem ist, wird der Simulator an das Zielsystem mit Hilfe eines Adapters angeschlossen. Damit keine Verfälschungen durch die Ankopplung an nebenstelleninterne Module bzw. Schnittstellen entstehen können, erfolgt der Anschluß des Adapters an den äußeren Schnittstellen einer Nebenstellenanlage (siehe auch Abschnitte 2.6.2

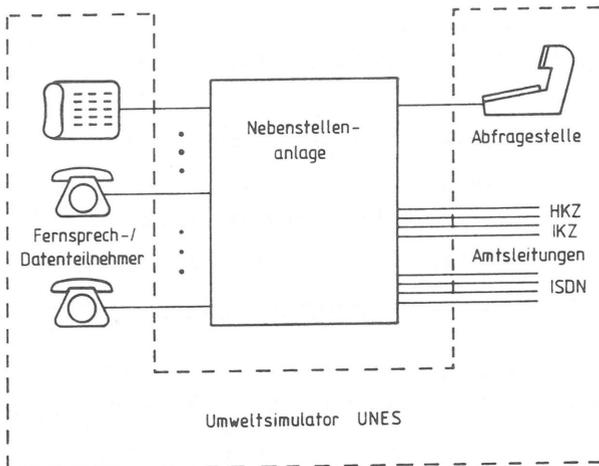


Bild 2.10 : Nachbildung der Umwelt einer Nebenstellenanlage durch den Umweltsimulator UNES

und 2.7).

UNES ermöglicht die Bestimmung der Vermittlungsgüte und der Verkehrsgüte. Die Ermittlung der Vermittlungsgüte basiert auf der Überprüfung der tatsächlichen, fehlerfreien Bereitstellung aller spezifizierten Leistungsmerkmale. Dies erfolgt durch Testen mit vorgegebenen Testsequenzen für alle oder nur wenige Teilnehmer. Die Bestimmung der Verkehrsgüte erfolgt auf der Basis eines vorgegebenen Verkehrswertes der simulierten Teilnehmer und Amtsleitungen von bis zu maximal 1000 Erlang oder eines Belegungsangebotes von bis zu 60000 Belegungsversuchen je Stunde (vollständige und erfolgreiche Verbindungen)¹⁾. UNES überprüft hierbei die tatsächliche und fehlerfreie Bereitstellung der spezifizierten Dienstmerkmale bei gleichzeitiger Messung

- des Erwartungswertes, des Vertrauensintervalles des Erwartungswertes, des Variationskoeffizienten und der Verteilungsfunktion (mit einer Auflösung von 1 ms)
 - des Wähltonverzuges
 - des Rufverzuges
 - des tatsächlichen Anruf-Abstandes
 - der tatsächlichen Verbindungsdauer
- der absoluten und der relativen Häufigkeit
 - von Blockierungen vor, während oder nach der Wahlphase
 - von belegten B-Tln
 - von Verbindungen mit Gespräch
- der Zielverteilung für eine Gruppe von Tln-Asl bzw. Amts-Asl (Messung der ausgewählten B-Teilnehmer)
- der Ursprungsverteilung für eine Gruppe Tln-Asl bzw. Amts-Asl (Messung der anrufenden A-Teilnehmer)
- des tatsächlichen Verkehrswertes für jede Tln-Asl und Amts-Asl
- des tatsächlichen Belegungsangebotes für jede Tln-Asl und Amts-Asl .

Damit das simulierte Teilnehmerverhalten und damit das Verkehrsange-

1) : Die Abschnitte 4.3.2 und 4.3.3 beinhalten Untersuchungen über die Güte des hierbei von UNES erzeugten Verkehrs.

bot der simulierten Teilnehmer bei der Bestimmung der Verkehrsgüte so realistisch wie möglich dem tatsächlichen Teilnehmerverhalten entspricht, sind alle Teilnehmeraktionen und Zeitintervalle zwischen den Teilnehmeraktionen wahlweise zufallsabhängig oder deterministisch. Die Zeitintervalle können mit Mittelwert und Verteilungsfunktionstyp beliebig vorgegeben werden (siehe auch Abschnitt 3.1.1). Darüber hinaus erfolgt erstmalig bei UNES (und damit bei Testsystemen für Vermittlungssysteme) eine Adaption des simulierten und individuellen Teilnehmerverhaltens auf die jeweiligen Reaktionen des Vermittlungssystems. Dies bedeutet zum Beispiel die Nachbildung der Teilnehmerverhaltensweise "Rufwiederholung"¹⁾ und "Gabelschlag"; oder die Nachbildung des entsprechenden weiteren Verhaltens eines Teilnehmers, welcher trotz Falschwahl oder Falschverbindung (gekennzeichnet z.B. durch das Erhalten des Freitones, obwohl die letzte Ziffer noch nicht gewählt wurde) in eine Gesprächsphase mit einem anderen als dem gewünschten Gesprächspartner eintritt. Derartige, typische Teilnehmerverhaltensweisen und ihre Auswirkungen auf die Auslastung von Vermittlungsstellen sind in /84,90,95,106,107,112,113/ aufgezeigt.

2.6.2 Abbildung der peripheren Konfiguration

Bild 2.11 zeigt eine typische Testanordnung bestehend aus dem Umweltsimulator UNES, dem Adapter und dem Zielsystem. Die Nachbildung der Funktionalität der Nebenstellen, Vermittlungsplätze und Amtsleitungssätze erfolgt innerhalb von UNES durch Zuordnung eines individuellen Teilnehmerprozesses (Tln-Prozess) zu jeder Schnittstelle.

1) : Unter Rufwiederholung wird ein bestimmtes Verhalten eines Fernsprechteilnehmers verstanden, welches typischerweise bei hohen Lastsituationen einer Vermittlungsstelle (VSt) beobachtet wird. Weist eine VSt aufgrund einer hohen Last Verbindungswünsche zurück bzw. kann sie nicht rechtzeitig bearbeiten, versucht der Tln in sehr kurzen Abständen immer wieder die Verbindung aufzubauen. Diese (meist erfolglosen) Versuche belasten jedoch die VSt zusätzlich (Blindlast) und verhindern im allgemeinen somit ein Ende der Überlastsituation (Mitzieheffekt).

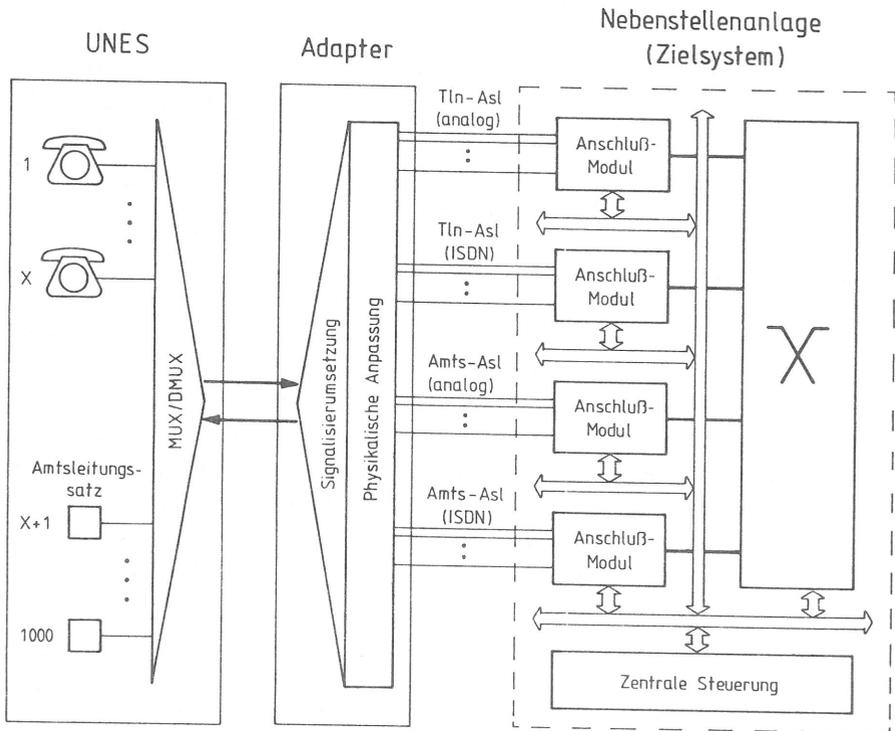


Bild 2.11 : Typische Testanordnung Simulator/Adapter/Zielsystem

Dieser Tln-Prozess bildet zu jedem Zeitpunkt den aktuellen Zustand für genau diese Nebenstelle bzw. Schnittstelle ab und stellt damit ein Spiegelbild des Schnittstellenprozesses innerhalb der Nebenstellenanlage dar¹⁾. Eine eintreffende System(re)aktion der Nebenstellenanlage oder das Ablaufen einer teilnehmerprozessinternen Warte- bzw. Geduldszeit versetzt den Tln-Prozess in einen neuen Zustand.

1) : Die Terminologie "Teilnehmerprozeß" bzw. "Tln-Prozeß" wird im nachfolgenden auch für die Prozesse verwendet, welche die Funktionalität der Vermittlungsplätze, der Amtsleitungssätze und der Leitungs- bzw. Vermittlungsabschlüsse nachbilden.

Die Ein- und Ausgangssignale des Tln-Prozesses bilden das Signaleralphabet an der Schnittstelle zwischen dem Simulator und dem Zielsystem bzw. dem Adapter. Die Umsetzung zwischen diesen Signalerprimitiven und der tatsächlichen, physikalischen Signalisierung, entsprechend der jeweiligen standardisierten oder systemspezifischen Schnittstelle der Nebenstellenanlage, erfolgt innerhalb des Adapters (siehe Abschnitt 2.7). Bei den standardisierten Schnittstellen werden von UNES (und Adapter) die analogen Tln-Asl (und Abfrageplätze) nach dem HKZ-Verfahren, die analogen Amts-Asl nach den HKZ- bzw. IKZ-Verfahren und die ISDN-Basisanschlüsse unterstützt /2/.

2.6.3 Betreiberschnittstellen

Die Schnittstelle zum Anwender (Bild 2.12) besteht bei UNES auf der Hardware-Seite aus

- einem Datensichtgerät
- einem Drucker
- einer Schnittstelle zu einem Hintergrundrechner
- mehreren Massenspeichern.

Durch den Einsatz des Betriebssystems CP/M-68k /91,92/ ist der Umweltsimulator als eigenständiges Testsystem mit dem gesamten Lei-

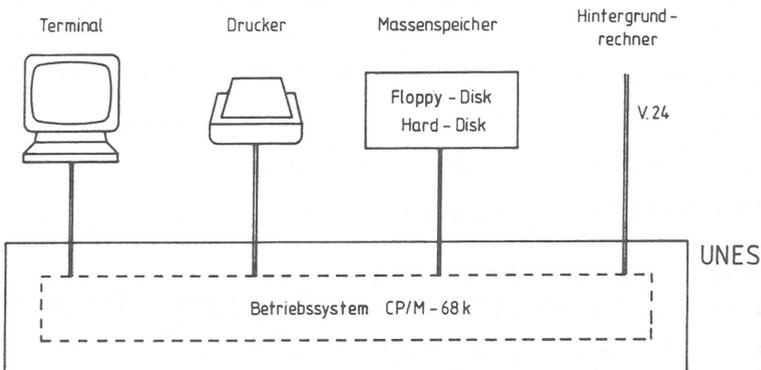


Bild 2.12 : Betreiberschnittstellen des Umweltsimulators

stungsumfang der durch das Betriebssystem bereitgestellten Benutzeroberfläche betreibbar.

Das Betriebssystem ermöglicht

- den Einsatz von Editoren und Compilern für das flexible Erstellen der Test-Software und -vorgabedaten auf dem Simulator selbst
- den Einsatz von beliebigen Massenspeichern für die Datenhaltung
- den Einsatz von beliebigen Peripherie-Geräten für Ein-/Ausgabeoperationen
- die problemlose Einbettung des Simulators in eine bereits bestehende Entwicklungsumgebung durch Ankopplung an einen Hintergrundrechner (siehe auch Abschnitt 4.4).

Die Ergebnisdaten eines Simulationslaufes (Testlaufes) können wahlweise auf dem Datensichtgerät (Terminal) bzw. auf dem Drucker ausgegeben oder auf dem Massenspeicher bzw. Hintergrundrechner abgespeichert werden. Die Verwaltung der Testvorgabedaten und Testergebnisdaten erfolgt mit Hilfe von terminal- und maskenorientierten Tools, welche auch bei großen Datenmengen einen schnellen und gezielten Zugriff auf Einzeldaten erlauben.

2.6.4 Funktionen und Prozesse

Beim Betreiben des Umweltsimulators hinsichtlich eines Lasttests können vier Betriebsarten unterschieden werden :

- Konfiguration
- Wartung und Neuerstellung der Simulations-Software
- Simulationsverwaltung und -auswertung
- Durchführung einer Simulation.

Während der Konfigurationsphase wird UNES über die Benutzerschnittstelle einmal an die Hardware- und Software-Konfiguration und damit an die Teilnehmer-, Platz- und Amtsleitungskonfiguration der zu testenden Nebenstellenanlage angepaßt. Dies umfaßt die Festlegung

- der Anzahl und die Aufteilung der möglichen IWV-/MFV-/ISDN-Teilnehmer und Vermittlungsplätze
- der Anzahl und die Aufteilung der möglichen HKZ-/IKZ-/ISDN-Amtsleitungen
- des für den Simulationslauf voreinstellbaren Teilnehmerverhaltens durch Parametrierung der globalen Prozessparameter.

Wie in Abschnitt 2.6.5 näher beschrieben, ist UNES nach dem Prinzip der Funktionsteilung mit mehreren Modulen realisiert. Während der Betriebsart "Wartung und Neuerstellung der Simulations-Software" werden die bei dem eigentlichen Simulationslauf benötigten Programme für die einzelnen Module mit Hilfe von Editoren und Compilern erstellt, übersetzt und auf dem Massenspeicher abgelegt /37,42,68,55,72/.

Die Konfigurationsdaten und die Simulationsergebnisdaten für verschiedene Simulationsläufe werden wahlweise auf dem Massenspeicher von UNES oder des Hintergrundrechners abgelegt. Das Verwalten und die Manipulation dieser Daten durch den Benutzer erfolgt durch ein terminal- und maskenorientiertes Tool während der Phase für Simulationsverwaltung und -auswertung /70,71/.

Für das Betreiben der drei Betriebsarten "Konfiguration", "Wartung und Neuerstellung der Simulations-Software" und "Simulationsverwaltung und -auswertung" sind nur die Funktionen der Benutzeroberfläche eines Betriebssystems notwendig. Diese Betriebsarten sind somit auch jederzeit auf anderen Rechnersystemen durchführbar, sofern der Datentransfer zwischen diesen Rechnern und UNES gewährleistet ist.

Für die Durchführung eines Simulationslaufes müssen folgende, über die Funktionalität eines Betriebssystems hinausgehenden Funktionalitäten bereitgestellt werden :

- Simulationsorientierte Mensch/Maschine-Schnittstelle (MMS)
- Simulationssteuerung
- Erfassung von Messgrößen und Durchführung von Statistikberechnungen
- Verfolgung und Aufzeichnung von Einzelaktionen (engl. Trace)

- Nachbildung des Zustandsraumes für die Teilnehmerprozesse
- Bereitstellung von Primitiven (Makros) für komplexe Nebenstellenoperationen
- Bereitstellung von Zufallszahlen mit vorgegebenen Verteilungsfunktionen
- Nachbildung der individuellen Warte- und Geduldszeiten der simulierten Teilnehmer
- bidirektionale Meldungspufferung und Meldungsanpassung zum Anschluß des Simulators an das Zielsystem bzw. den Adapter.

Es ist heute noch nicht möglich, all diese Funktionen auf einem Rechner mit einem Betriebssystem unter Einhaltung der folgenden, vorgegebenen Bedingungen zu realisieren :

- Simulation von bis zu 1000 äußeren Schnittstellen einer Nebenstellenanlage parallel in Echtzeit mit 1 ms Zeitauflösung
- Erfassen der notwendigen Meßgrößen für eine entsprechende Bestimmung der Verkehrs- und Vermittlungsgüte
- Verfolgung und Aufzeichnung von allen Einzelaktionen.

Andererseits kann nicht für jede der 1000 Schnittstellen ein eigener Rechnerkern zur Verfügung gestellt werden, da einmal der Hardware-Aufwand hierbei unakzeptabel groß würde und zudem ein erheblicher Aufwand für ein zusätzliches Kommunikationssystem zum Erfassen der nun vollständig verteilten Messpunkte getrieben werden müßte. Die angeführten Funktionalitäten können jedoch bezüglich einer parallelen Bearbeitung in drei Gruppen aufgeteilt werden :

- Systemsteuerung
 - Betriebssystem mit Benutzeroberfläche
 - Simulationsorientierte MMS
 - Simulationssteuerung
 - Erfassung von Meßgrößen und Erstellung von Statistik
 - Verfolgung und Aufzeichnung von Einzelaktionen
- Teilnehmernachbildung (Tln-Modellierung)
 - Nachbildung des Zustandsraumes für die Tln-Prozesse (siehe hierzu auch Abschnitt 3.1.1)

- Bereitstellung von Primitiven (Makros) für komplexe Nebenstellenoperationen
- Bereitstellung von Zufallszahlen und Zufallsvariablen mit vorgegebenen Verteilungsfunktionen (siehe auch Abschnitt 4.1.1)
- Nachbildung der individuellen Warte- und Geduldszeiten der simulierten Teilnehmer
- Schnittstelle UNES/Adapter
 - bidirektionale Meldungspufferung und Meldungsanpassung zum Anschluß des Simulators an das Zielsystem bzw. den Adapter
 - Steuerung des Meldungs-austausches.

Jede Gruppe kann hierbei als ein eigenständiger Prozess aufgefaßt werden. Die Interprozesskommunikation zwischen den Gruppenprozessen erfolgt mit Hilfe definierter Ein- und Ausgangssignale. Wird ein Gruppenprozeß in mehrere Subprozesse aufgebrochen, so müssen die einzelnen Eingangssignale des Gruppenprozesses auf die einzelnen Subprozesse aufgeteilt werden. Dies erfolgt mit Hilfe einer sogenannten "Meldungstrennung", welche Bestandteil der Gruppe ist. Dieses Aufbrechen in Subprozesse und die Einbettung einer "Meldungstrennung" ist in Abschnitt 3.1.3 (siehe Funktionen der TeMo-Ebene-2) bzw. in Abschnitt 3.4.2 am Beispiel "ISDN-Endgerätefunktion" detailliert aufgezeigt. Die einzelnen Gruppen- und Subprozesse werden in UNES entsprechenden (Hardware-) Modulen zugeordnet (siehe Abschnitt 2.6.5). Die Begriffe "Interprozesskommunikation" bzw. "Intermodulkommunikation" werden deshalb im nachfolgenden synonym verwendet.

Innerhalb der Gruppe "Systemsteuerung" ist eine weitere Aufteilung in Subprozesse nicht sinnvoll, da einerseits die Simulationssteuerung, die Statistik und die Trace-Aufzeichnung dieselben Eingangsdaten benötigen und auch bei 1000 simulierten Schnittstellen nur einmal benötigt werden, andererseits die simulationsorientierte MMS, die Statistik und die Trace-Aufzeichnung auf wesentlichen Funktionen der Benutzeroberfläche des "single-user"- und "single-tasking"- Betriebssystems aufsetzen.

Die Gruppe "Teilnehmernachbildung" erlaubt eine weitergehende Modularisierung in die Subprozesse

- Nachbildung des Zustandsraumes für die Tln-Prozesse und Bereitstellung von Primitiven für komplexe Operationen
- Bereitstellung von Zufallszahlen mit vorgegebenen Mittelwerten und Verteilungsfunktionen
- Nachbildung der individuellen Warte- und Geduldszeiten der simulierten Teilnehmer.

Jeder Subprozess kann unabhängig von den anderen und damit parallel bearbeitet werden. Da gerade die Teilnehmernachbildung aus einer Vielzahl parallel aktiver Tln-Prozesse besteht, erfolgt in UNES eine Unterteilung der Teilnehmernachbildung in diese Subgruppen.

Eine weitere Unterteilung der Gruppe "Schnittstelle UNES/Adapter"

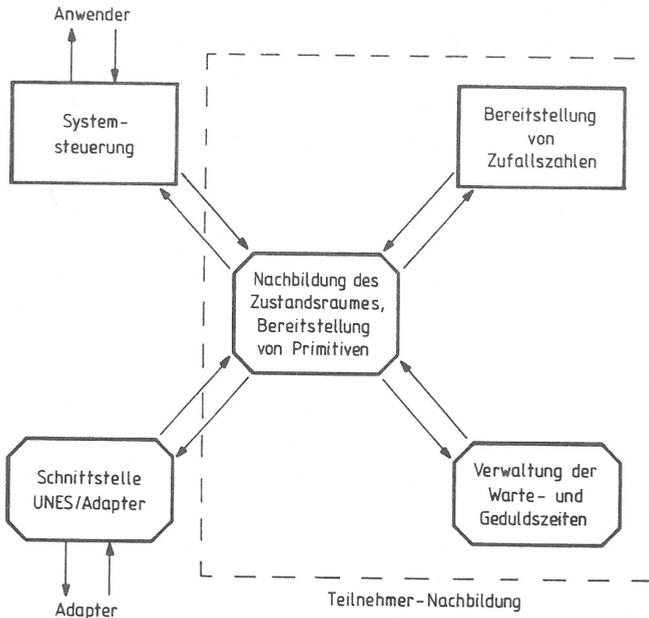


Bild 2.13 : Abbildung von einzelnen Funktionalitäten in eigenständige Module mit entsprechender Intermodulkommunikation

ist möglich, da die bidirektionale Meldungspufferung und Meldungsanpassung unabhängig voneinander durchgeführt werden können. Ob eine Unterteilung dieser Gruppe durchgeführt wird, ist nur von Implementierungsaspekten bzw. von der Leistungsfähigkeit der vorgesehenen Bearbeitungseinheit abhängig. In UNES werden diese Funktionen durch eine Bearbeitungseinheit bereitgestellt.

Bild 2.13 zeigt zusammenfassend die Abbildung der einzelnen Gruppen in eigenständige Prozesse bzw. Subprozesse und ihre Zuordnung zu Modulen mit einer entsprechenden Intermodulkommunikation. Man erkennt die zentrale Stellung des Subprozesses "Nachbildung des Zustandsraumes" hinsichtlich der UNES-internen Intermodulkommunikation zwischen den einzelnen Prozessen und Subprozessen. Die Konsequenzen hieraus auf die Verwaltung und Steuerung der Intermodulkommunikation und der gesamten Teilnehmernachbildung werden in Kapitel 3 diskutiert.

2.6.5 Software- und Hardware-Module

Die in Bild 2.13 aufgezeigte Prozessabbildung ist in UNES entsprechend der in Bild 2.14 dargestellten Hardware-Struktur realisiert. Die hochgradige Prozessparallelität bei der Simulation von bis zu 1000 äußeren Schnittstellen wird damit auf wenige, eigenständige und funktional abgegrenzte Module und die parallele Bearbeitung dieser Module reduziert. UNES besteht hardwaremäßig aus fünf getrennten Modulen :

- Modul SySt (Systemsteuerung)
- Modul TeMo (Teilnehmermodellierung)
- Modul ZuGe (Zufallszahlengenerator)
- Modul ZeVe (Zeitverwaltung)
- Modul ZiIn (Zielsystem-Interface).

Das Modul SySt beinhaltet die Funktionalitäten für die Systemsteuerung wie

- Betriebssystem mit Benutzeroberfläche

- Simulationsorientierte MMS
- Simulationssteuerung
- Erfassung von Messgrößen und Erstellung der Statistik
- Verfolgung und Aufzeichnung von Einzelaktionen.

Das Modul TeMo beinhaltet die Funktionalitäten für die Nachbildung des Zustandsraumes der Tln-Prozesse und die Bereitstellung von Primitiven für komplexe Operationen.

Das Modul ZeVe beinhaltet die Funktionalitäten für die Nachbildung individueller Warte- und Geduldszeiten der simulierten äußeren Schnittstellen.

Das Modul ZuGe beinhaltet die Bereitstellung von Zufallszahlen mit

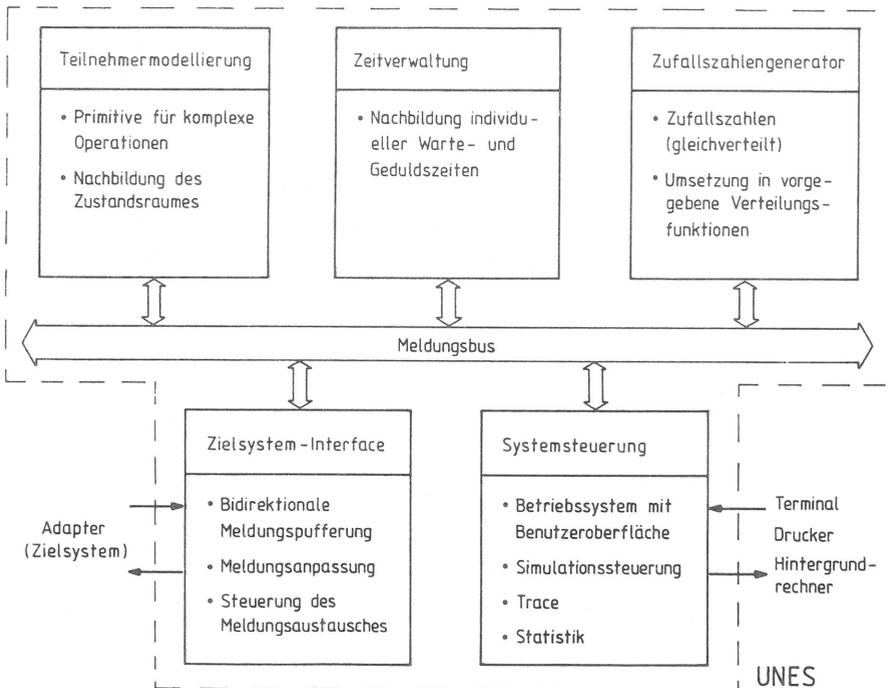


Bild 2.14 : Hardware-Systemstruktur des Umweltsimulators UNES

vorgegebenen Verteilungsfunktionen.

Das Modul ZiIn beinhaltet die Funktionalitäten für die bidirektionale Meldungspufferung bzw. Meldungsanpassung und für die Steuerung des Meldungs-austausches zum Anschluß des Simulators an das Zielsystem bzw. den Adapter.

Die Funktionen der Module SySt, TeMo, ZeVe und ZiIn sind durch Software auf der Basis eines leistungsfähigen Mikrorechners realisiert. Dies ermöglicht durch einfaches Laden individueller, dedizierter Programme rasche Anpassungen der jeweiligen Funktionalitäten auf besondere Anforderungen hinsichtlich

- der Simulation von Schnittstellen im Rahmen eines Funktions-testes oder Lasttestes
- unterschiedlicher Strategien bei der Interprozesskommunikation.

Eine Realisierung dieser Module durch dedizierte Hardware ist deshalb nicht sinnvoll.

Das Modul ZuGe ist als Hardware-Modul realisiert. Dies ist einerseits aufgrund seiner klar begrenzten Funktionalität möglich, andererseits sind Software-Lösungen nicht in der Lage, Zufallsvariablen mit entsprechend vorgegebener Verteilungsfunktion innerhalb einer, auf die Bearbeitungszeiten im Modul TeMo bezogenen, akzeptablen Zeitdauer ($< 5 \mu\text{s}$) bereitzustellen.

2.7 Ankopplung an Vermittlungssysteme

Wie bereits in Abschnitt 2.6.2 (Bild 2.11) dargestellt, erfolgt die Ankopplung des Umweltsimulators an eine Nebenstellenanlage (Zielsystem) mit Hilfe eines Adapters. Die Übertragung der teilnehmer- bzw. amtsleitungsorientierten Signalisierprimitiven des Umweltsimulators (logische Signalisierprimitive, Tln-Signalisierung) für analoge Schnittstellen und die Meldungen der Schicht 3 (D-Kanal-Protokoll) bei ISDN-Schnittstellen zwischen UNES und Adapter erfolgt über eine schnelle, parallele und bidirektionale Schnittstelle (UNES-Adapter-Schnittstelle, UA-Schnittstelle). Die Aufgaben des Adapters sind damit

- die Umsetzung der Tln-Signalisierung in die entsprechend physikalische Signalisierung der jeweiligen äußeren Schnittstelle des Zielsystems und umgekehrt (analoger Tln)
- die gesicherte Übertragung der Meldungen der Schicht 3 (des D-Kanal-Protokolls) zwischen dem Zielsystem und dem Simulator (ISDN-Tln)
- das Multiplexen von Zielsystem(re)aktionen an UNES auf der UA-Schnittstelle
- das Demultiplexen von Tln-Signalisierungen bzw. Schicht 3 Meldungen von UNES an das Zielsystem auf der UA-Schnittstelle.

In der Tabelle 2.3 sind typische Umsetzungen von teilnehmerorientierten Signalisierprimitiven in die jeweiligen Schaltkennzeichen des HKZ-Verfahrens¹⁾ und in die D-Kanal Schicht 3 orientierten Meldungen bei ISDN-Endgeräten aufgezeigt²⁾. Bei der D-Kanal-Signalisierung muß jedoch berücksichtigt werden, daß das D-Kanal-Protokoll im Normalfall nicht in der Form eines Stimulusprotokolls betrieben

-
- 1) : Zwischen Impuls-, Dauer- und Zustandskennzeichen bzw. Registerzeichen wird in Tabelle 2.3 nicht unterschieden /61, Abs. 4.3.2/.
 - 2) : Die Nachrichten der Schicht 3 sind in Englisch aus der CCITT-Empfehlung I.451 in die FTZ-Richtlinie 1R6 bzw. 1TR6 /26/ übernommen worden. In Tabelle 2.3 werden deshalb in Anlehnung an die FTZ-Richtlinie 1TR6 englische Bezeichnungen verwendet.

wird. Das bedeutet, daß einzelne Teilnehmeraktionen nicht linear in einzelne Signalisiermeldungen abgebildet werden. System(re)aktionen können mit unterschiedlichen Meldungen erfolgen, und eine Teilnehmeraktion kann mehrere auszutauschende Informationen zwischen Endgerät und Vermittlungsstelle zur Folge haben /25,26,27/.

Da die Realisierung eines Adapters für bis zu 1000 äußere Schnittstellen einen erheblichen Aufwand an Hardware bedeutet und die Möglichkeiten einer Laborrealisierung eines Hochschulinstitutes übersteigt, wurde der Entwurf und die Implementierung des Adapters im Rahmen einer Projektkooperation durch die Firma PKI (Philips Kommunikations Industrie, Nürnberg) durchgeführt /2/. Im Rahmen dieser Kooperation wurde darüber hinaus in der Entwicklungsabteilung von PKI eine vollständige Testkonfiguration, bestehend aus UNES, Adapter und einer Nebenstellenanlage EBX 180 bzw. ISDX für den Test von neuen System- und Vermittlungsprogrammen wie auch Systemkonfigurationen aufgebaut.

Teilnehmeraktion	IWV-/MFV-Tln (Schaltkennzeichen)	ISDN-Endgerät D-Kanal Schicht 3
Tln hebt ab	Stromschleife schließen	SETUP
Tln wählt Ziffer	Stromschleife pulsen Doppelton senden	INFO
Tln wählt Ziffernblock	---	INFO
Tln aktiviert Leistungsmerkmal	Erdtaste drücken	FAC
Tln legt auf	Stromschleife öffnen	DISC
Tln wird gerufen	Wechselstrom/-spannung anschalten	SETUP

Tabelle 2.3 : Umsetzung von teilnehmerorientierter Signalisierprimitiven

Der Adapter besteht aus einem zentralen und einem peripheren Teil, siehe Bild 2.15. Der zentrale Teil ist ein Multiprozessorsystem auf der Basis der iAPX86 Mikroprozessorfamilie (Intel). Die einzelnen Prozessoren kommunizieren über den genormten Multibus (Intel).

Das UNES-Adapter-Interface (UAI) stellt bezüglich der physikalischen Adaption das Gegenstück zum Modul ZiIn des Umweltsimulator dar. UAI

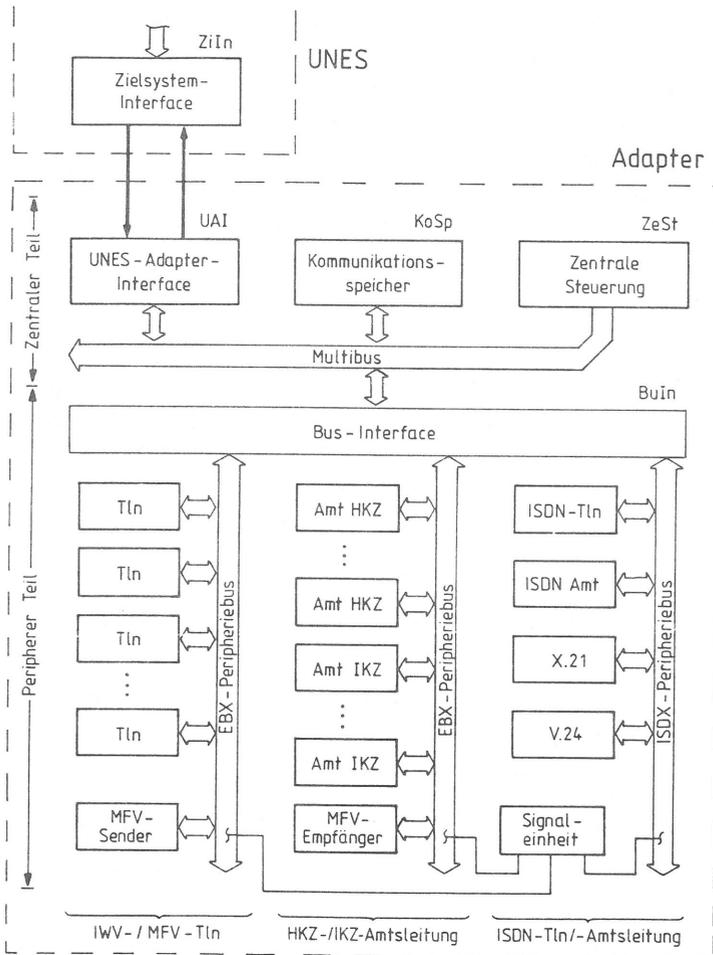


Bild 2.15 : Systemstruktur des Adapters

und ZiIn bilden gemeinsam die UA-Schnittstelle. Die Aufgabe des UAI ist die Steuerung des Meldungsflusses und die Realisierung des Übertragungsprotokolles seitens des Adapters. Dies beinhaltet das Hinzufügen von Synchronzeichen zu den eigentlichen logischen Signalisierprimitiven und die Sicherung gegen Übertragungsfehler. Die Zentrale Steuerung (ZeSt) setzt die logischen Signalisierprimitive des Umweltsimulators in das interne Meldungsformat des peripheren Teils um und umgekehrt. Ferner werden die von UNES benutzten Tln-Prozeßnummern bzw. Anschlußleitungsnummern (siehe Abschnitt 3.1.1) in die Kartenadressen der Peripherie-Baugruppen transformiert. Der Kommunikationsspeicher (KoSp) dient als Meldungspuffer für den Austausch von Informationen zwischen den Prozessoren des zentralen Teils. Das Bus-Interface (BuIn) verbindet den zentralen mit dem peripheren Teil. Es führt eine zyklische Abfrage (engl. Polling) der Peripherie-Baugruppen durch und verteilt an sie die von UNES empfangenen Meldungen bzw. legt die von den Peripherie-Baugruppen gelesenen Meldungen an UNES im Kommunikationsspeicher ab.

Die Aufgabe der Baugruppen des peripheren Teils ist es, den Adapter physikalisch an die Tln-As1 anzukoppeln. Im Falle einer analogen Schnittstelle beinhaltet dies die Entprellung der Detektoren einer Baugruppe, die Bestimmung von Spannungspegel und Stromwerten, die Decodierung der Töne bzw. der Rufesignale und die Bildung von Meldungen an den zentralen Teil des Adapters. In der Gegenrichtung setzen sie Kommandos des zentralen Teils in Aktionen um wie z.B. Schalten von Relais, Anschalten von Tönen und Rufen usw.. Im Falle von ISDN-Schnittstellen erfolgt die Ankopplung entsprechend den Spezifikationen der Schichten 1 und 2 /25,26/.

3 Modellierung der Umwelt

3.1 Modellierung für den Lasttest

Der Lasttest einer Nebenstellenanlage umfaßt die Überprüfung der tatsächlichen und fehlerfreien Bereitstellung von spezifizierten Leistungsmerkmalen und der Einhaltung von Grenzwerten bei den Einzelmerkmalen der Verkehrsgüte bzw. Vermittlungsgüte. Das Ziel des Lasttests ist damit die Ermittlung der Verkehrsgüte und der Vermittlungsgüte auf der Basis eines realen Teilnehmerverhaltens für Nenn- und Überlastfälle.

Der Umweltsimulator UNES ermöglicht dies durch ein realistisches Nachbilden des Verhaltens der Endgeräte (bzw. der Teilnehmer) an allen äußeren Schnittstellen einer Nebenstellenanlage. In den nachfolgenden Abschnitten 3.1 bis 3.4 ist die prinzipielle Vorgehensweise bei der Nachbildung des Teilnehmerverhaltens beschrieben.

3.1.1 Nachbildung des Teilnehmerverhaltens

Die Modellierung der Umwelt einer Nebenstellenanlage für den Lasttest erfolgt innerhalb des Umweltsimulators durch Zuordnung eines individuellen Tln-Prozesses zu jeder äußeren Schnittstelle der Nebenstellenanlage. Diese Zuordnung basiert auf einer (vom Benutzer) festgelegten Anschlußleitungsnummer (Asl-Nummer) für jede äußere Schnittstelle und einer korrespondierenden Tln-Prozeßnummer (im nachfolgenden mit "pn" bezeichnet) für jeden Tln-Prozeß.

Der durch den Tln-Prozeß dargestellte endliche Automat beinhaltet mit seinem Zustandsraum, seinen Zustandsübergängen und seinen externen Ein- und Ausgangssignalen die Nachbildung des an dieser Schnittstelle angeschlossenen Endgerätes bzw. das Verhalten des Benutzers dieses Endgerätes. Unter den externen Ein- und Ausgangssignalen werden hierbei die Botschaften verstanden, welche zwischen dem Modul ZiIn und dem Modul TeMo ausgetauscht werden. Sie bilden das Signali-

sieralphabet (logische Signalisierprimitive, teilnehmerorientierte Signalisierung) zwischen der logischen Nachbildung des Endgeräts/ Benutzers und der physikalischen Anpassung an die Tln-Asl (siehe hierzu auch die Abschnitte 3.3 und 3.4)¹⁾. Eine Auflistung von typischen logischen Signalisierprimitiven zeigt Tabelle 3.1

Der den Automaten beschreibende Tln-Prozeß ist durch die drei Module TeMo, ZuGe und ZeVe realisiert. Hierbei beinhaltet das Modul TeMo in Form eines Programmcodes die Zustände, die Zustandsübergänge, das Empfangen von Eingangssignalen und das Generieren von Ausgangssignalen entsprechend den durchgeführten Zustandsübergängen.

IWV-/MFV-Teilnehmer	ISDN-Teilnehmer	Amtsleitung
Abheben	Abheben	Belegen
Auflegen	Auflegen	Auslösen
Ziffer wählen	Ziffer wählen	Ziffer
Erdtaste kurz drücken	Blockwahl	Freiton
Erdtaste lang drücken	2. Verbindung	Besetztton
Internruf	- anfordern	
Externruf	- auslösen	
Freiton	Dienstmerkmal anfordern :	
Sonderton	-Dreier-Konferenz	
Besetztton	-Makeln	
Aufmerksamkeitston	-autom. Rückruf	
Wählton intern		
Wählton extern		

Tabelle 3.1 : Typische teilnehmerprozeßorientierte Signalisierprimitive

1) : Meldung von Modul TeMo an Modul ZiIn : externes Ausgangssignal,
Meldung von Modul ZiIn an Modul TeMo : externes Eingangssignal.

Der tatsächliche, aktuelle Zustand des Tln-Prozesses und weitere Parameter werden in einem teilnehmerprozeßindividuellen Datenbereich innerhalb des Modules TeMo gespeichert.

Die Intermodulkommunikation zwischen den Modulen TeMo und ZeVe erfolgt durch Botschaften (Signale, Meldungen) anhand einer vorgegebenen Liste von Eingangsmeldungen bzw. Ausgangsmeldungen. Diese Meldungen werden als die internen Ein-/Ausgangssignale eines Tln-Prozesses bezeichnet. Die Kommunikation zwischen den Modulen TeMo und ZuGe erfolgt aufgrund von Echtzeitanforderungen durch direkten Zugriff des Moduls TeMo auf interne Datenregister des Moduls ZuGe. Die Kommunikation zwischen zwei Tln-Prozessen (Tln-Interprozesskommunikation) und die Meldung eines jeden Zustandsüberganges an das Modul SySt (Statistik-Meldung) erfolgen ebenfalls durch Meldungen. Von der Sicht des Tln-Prozesses aus werden diese Meldungen auch als externe Ein- und Ausgangssignale bezeichnet, es besteht jedoch kein Zusammenhang zu oben definierten externen Ein- und Ausgangssignalen mit der Bedeutung von logischen Signalisierprimitiven zwischen dem Modul TeMo und ZiIn.

Desweiteren besteht eine Intermodulkommunikation zwischen den Modulen TeMo und SySt zur Steuerung der Verwaltung der Tln-Prozesse und des Meldungsflusses. Die Beschreibung dieser Kommunikation erfolgt in Abschnitt 3.1.3.

Damit die Anzahl der Zustände in einer überschaubaren Größenordnung bleibt, ist es sinnvoll, bestimmte Gedächtnisfunktionen des teilnehmerprozeßindividuellen Zustandsraumes nicht in Form eines erweiterten Zustandsraumes zu realisieren, sondern für jeden Tln-Prozeß getrennt in prozessglobalen Gedächtnisvariablen $GV_{pn,z}$ abzuspeichern (Zustandsraum mit Zustandsattributen). Diese Gedächtnisvariablen sind Teil des teilnehmerprozeßindividuellen Datenbereiches.

Wesentlich für die Nachbildung der Funktionalität und damit einer realistischen Modellierung einer Schnittstelle sind das Auslösen eines Zustandsüberganges wie auch der hierauf tatsächlich durchgeführte Zustandsübergang des Tln-Prozesses (siehe auch Bild 3.1). Das Auslösen eines Zustandsüberganges kann entweder aufgrund von abgelaufenen teilnehmerprozeßinternen Warte- bzw. Geduldszeiten (Tln-

Zeiten) oder durch das Empfangen einer Reaktion (im Falle des rufenden Tln) bzw. einer Aktion (im Falle des gerufenen Tln) der Nebenstellenanlage erfolgen.

Im nachfolgenden beschreibe Z_i den Zustand vor und Z_{i+} den Zustand nach einem Zustandsübergang (Ausgangszustand, Folgezustand) sowie T_i die Tln-Zeit für den Zustand Z_i und T_{i+} die Tln-Zeit für den Zustand Z_{i+} . Die Tln-Zeit T_i stellt das Zeitintervall dar, in welchem der Automat in dem Zustand Z_i ohne äußere Einwirkung verbleiben würde.

Für alle simulierten äußeren Schnittstellen sind damit innerhalb des Umweltsimulators zu jedem Zeitpunkt parallel in Echtzeit 1000 Tln-Zeiten zu verwalten. Da die Verwaltung dieser Tln-Zeiten durch das Modul ZeVe erfolgt, kommuniziert der Tln-Prozeß mit Hilfe von internen Ein- bzw. Ausgangssignalen mit dem Modul ZeVe. Bei einem Ablaufen der aktuellen Tln-Zeit eines Tln-Prozesses wird von dem Modul ZeVe ein entsprechendes Eingangssignal für diesen Prozeß empfangen, ein Zustandsübergang durchgeführt, eine Tln-Aktion an den Adapter ausgegeben und damit die Eigenschaft von selbständigen Tln-Aktionen nach einer Warte- oder Geduldszeit nachgebildet. Das Starten einer

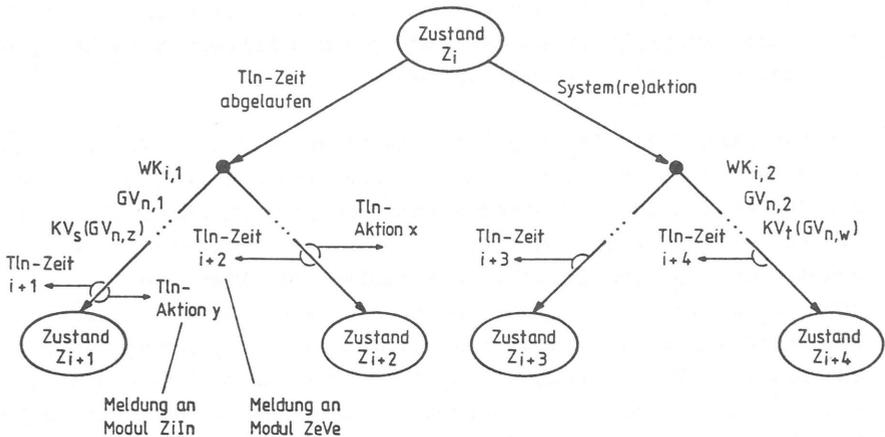


Bild 3.1 : Typischer Zustandsübergang mit Ausgangszustand Z_i des Tln-Prozesses n

Tln-Zeit erfolgt durch eine entsprechende Meldung des Tln-Prozesses (internes Ausgangssignal) an das Modul ZeVe.

Beim Empfang einer System(re)aktion wird typischerweise in dem zugehörigen Zustandsübergang keine Tln-Aktion an den Adapter ausgegeben. Die dem Ausgangszustand Z_1 zugeordnete Tln-Zeit wird durch eine Meldung an das Modul ZeVe angehalten, eine neue Tln-Zeit wird für den Folgezustand Z_{1+} bestimmt und dem Modul TeMo übergeben. Innerhalb des sich nach dieser Wartezeit ergebenden Zustandsüberganges erfolgt dann die Reaktion des Tln auf diese System(re)aktion in Form einer Ausgabe einer Tln-Aktion an den Adapter (bzw. Zielsystem).

Für jeden Zustand Z_1 ist eine individuelle Menge S_1 mit den Elementen $EW_{1,j}$, $VFT_{1,j}$ und $WK_{1,k}$ definiert. Die Tln-Zeit T_{1+} des Zustandes Z_{1+} wird durch die Elemente $EW_{1,j}$ (Mittelwert der Tln-Zeit) und $VFT_{1,j}$ (Verteilungsfunktionsstyp der Tln-Zeit) des Zustandes Z_1 wie folgt bestimmt :

- zuerst wird eine gleichverteilte Zufallszahl im halboffenen Intervall $(0,1]$ erzeugt und durch Transformation mittels einer Verteilungsfunktion bestimmten Typs (negativ-exponentiell, konstant, gleichverteilt usw.) in eine Zufallsvariable abgebildet
- die mit einem Erwartungswert $E[T'_{1+}] = 1$ Sekunde vorgegebenen Verteilungsfunktionen ermöglichen die Bestimmung der Tln-Zeit durch Multiplikation des vorgegebenen Mittelwertes $EW_{1,j}$ mit der ermittelten Zufallsvariable.

Die Bestimmung des Index j zur Auswahl der Tln-Zeit T_{1+} und die Bestimmung des Folgezustandes Z_{1+} erfolgen in Abhängigkeit von der Art der Auslösung, von einer Anzahl von Zufallsgrößen $WK_{1,k}$, von den aktuellen Werten und/oder von einer kombinatorischen Verknüpfung $KV_S(GV_{pn,z})$ von Gedächtnisvariablen. Die Elemente $WK_{1,k}$ der Menge S_1 beinhalten hierbei vorgegebene Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Tln-Entscheidungen k bei dem Ausgangszustand Z_1 , wie zum Beispiel Intern-/Externgespräch, Aktivierung eines Dienstmerkmals, Kurzwahl oder Wahlabbruch. In den Gedächtnisvariablen $GV_{pn,z}$ sind bestimmte Gedächtnisfunktionen z des Tln-Prozesses mit der Tln-Prozessnummer pn abgespeichert, wie z.B: Rufwiederholung aktiv, Rufnummer des zuletzt gewählten B-Tln, Anzahl der bereits gewählten

Ziffern, Ruftyp (Intern-/Externgespräch) usw.. $KV_s(GV_{pn,z})$ entspricht einer kombinatorischen Verknüpfung einer Anzahl von s Gedächtnisvariablen.

Bild 3.1 zeigt den allgemeinen Fall eines Zustandsüberganges. Ausgehend von einem Ausgangszustand Z_1 sind aufgezeigt :

- die möglichen Verzweigungen und ihre Verzweigungsbedingungen
- die zugehörigen internen und externen Ausgangssignale
- die erreichbaren Folgezustände.

Mit dem Zustandsübergang ist die Tln-Aktion (bzw. -Reaktion), sofern eine Aktion (Reaktion) überhaupt erfolgen soll, auf der Basis des Signalisiereralphabets festgelegt. Da die Gedächtnisvariablen auch eine Abhängigkeit von den System(re)aktionen der Vergangenheit besitzen, kann erstmalig bei der Umweltsimulation einerseits durch eine einstellbare und individuelle Priorisierung

- der Gedächtnisvariablen $GV_{pn,z}$
- der Zufallsgrößen $WK_{i,k}$
- der Verknüpfung $KV_s(GV_{pn,z})$ von s Gedächtnisvariablen
- der aktuellen System(re)aktion

bei der Auswahl des durchzuführenden Zustandsüberganges und andererseits durch Verwendung von beliebigen Verteilungsfunktionstypen und Mittelwerten bei der Festlegung der Tln-Zeit T_{1+} eine einstellbare Adaption des individuellen Teilnehmerverhaltens auf die momentanen System(re)aktionen erzielt werden.

3.1.2 Beschreibungssprache SDL

Die Spezifikation der Zustandsräume der Tln-Prozesse, der Kommunikation zwischen zwei Tln-Prozessen und der Intermodulkommunikation zwischen allen Modulen des Umweltsimulators erfolgt mit Hilfe der Beschreibungssprache SDL (engl. Functional Specification and Description Language) /79-82/. SDL sieht zwei unterschiedliche Ausdrucksformen vor :

- SDL/GR

Graphische Repräsentation von Zustandsübergangsdiagrammen

- SDL/PR

Programmartige Repräsentation durch Codierung der Symbole.

In der Tabelle 3.2 sind die wesentlichsten, für die Spezifikation des Tln-Prozesses notwendigen Elemente von SDL/GR aufgeführt.

Bild 3.2 enthält für einen IWV-Tln ein Beispiel der Spezifikation

Symbol	Name	Bedeutung
	Zustand	der Prozeß ist inaktiv und wartet auf ein neues Eingangssignal
	Eingangssignal intern	Ereignis, über welches Informationen von einem anderen Prozeß desselben funktionellen Blockes empfangen werden
	extern	Ereignis, über welches Informationen von einem anderen Prozeß eines anderen funktionellen Blockes empfangen werden
	Ausgangssignal intern	Ereignis, über welches Informationen an einen anderen Prozeß desselben funktionellen Blockes gesendet werden
	extern	Ereignis, über welches Informationen an einen anderen Prozeß eines anderen funktionellen Blockes gesendet werden
	Task	Ausführung einer/mehrerer Operationen innerhalb eines Zustandsüberganges
	Entscheidung	Logische Abfrage/Entscheidung über einzuschlagende Ablauf-Flußlinie
	Bemerkung	Erklärende Zusatzinformationen zur besseren Lesbarkeit der Diagramme

Tabelle 3.2 : SDL/GR-Elemente und ihre Bedeutung

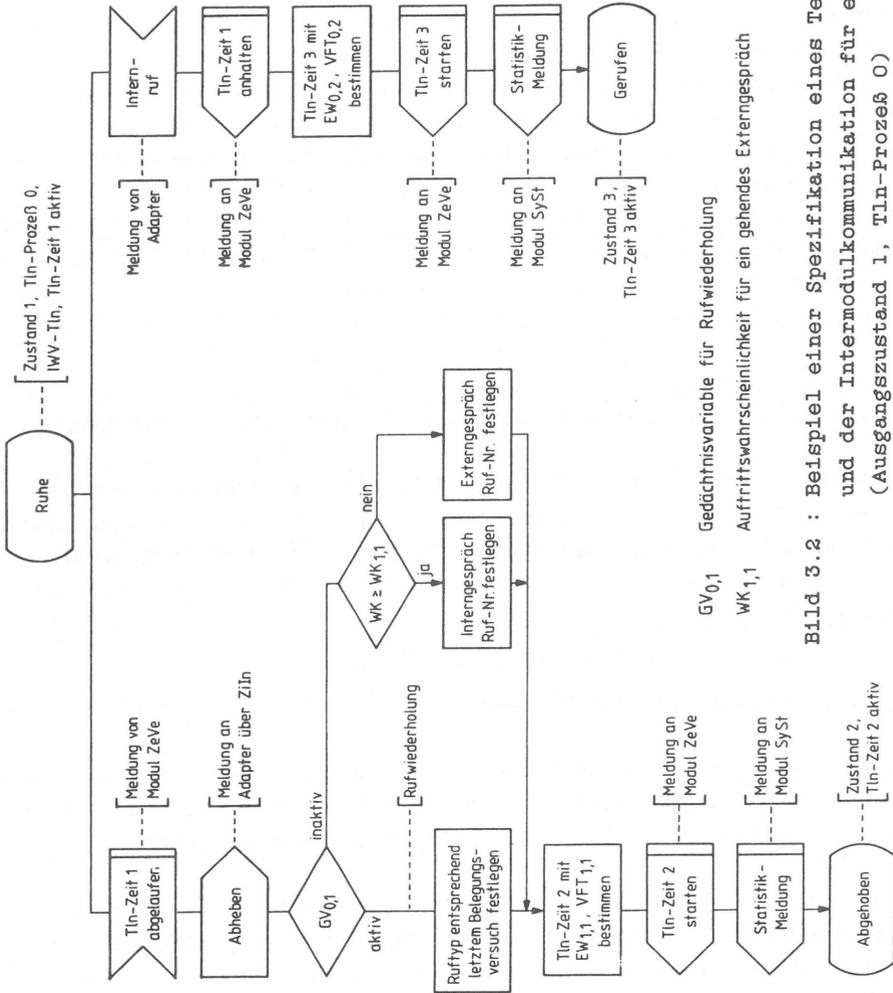


Bild 3.2 : Beispiel einer Spezifikation eines Teilzustandsraumes und der Intermodulkommunikation für einen IWV-TIn (Ausgangszustand 1, TIn-Prozeß 0)

der Intermodulkommunikation und des Zustandsraumes mit Hilfe dieser SDL-Elemente. Ausgehend vom Zustand "Ruhe" (Tln hat aufgelegt) sind typische externe und interne Eingangssignale mit ihren zugehörigen Zustandsübergängen und den externen und internen Ausgangssignalen aufgeführt.

Die Beschreibungssprache SDL kennt keinen Bezug zur tatsächlichen Implementierung. Es werden vielmehr die logischen Abläufe und Zusammenhänge von Prozessen auf einer abstrakten und formalen Ebene, leicht handhabbar für den Anwender, spezifiziert. Aus diesem Grunde könnte prinzipiell die Spezifikation der Kommunikation zwischen den Modulen TeMo und ZuGe ebenfalls in Form einer Interprozesskommunikation mit Ein- und Ausgangssignalen erfolgen. In diesem Falle sind jedoch zusätzliche Zustände für das Warten auf die Antworten von ZuGe erforderlich. Aus diesem Grunde werden, wie in Bild 3.2 dargestellt, die direkten Zugriffe des Moduls TeMo auf die ZuGe-internen Datenregister in Form einer Task spezifiziert.

3.1.3 Verwaltung und Steuerung der Tln-Prozesse und Meldungen

Die Steuerung der Interaktionen (Meldungen) zwischen den Modulen TeMo, ZeVe, ZiIn und SySt als auch die Verwaltung der Tln-Prozesse selbst erfolgen durch das Modul TeMo. Für die Erbringung dieser Funktionalität ist die Software des Moduls TeMo in zwei Teile untergliedert :

- Verwaltung des UNES-internen Meldungsflusses
- Verwaltung der Tln-Prozesse.

Die Verwaltung des Zustandsraumes wird nur dann benötigt, wenn eine Zustandsänderung durchgeführt werden muß. Dies ist der Fall, wenn von den Modulen ZeVe oder ZiIn Meldungen empfangen werden.

Der bidirektionale Austausch von Meldungen zwischen dem Modul TeMo und den Modulen ZiIn, SySt und ZeVe erfolgt über gerichtete Meldungspuffer, welche sich innerhalb der Module SySt, ZiIn und ZeVe befinden (siehe Bild 3.3). Die während eines Zustandsüberganges ei-

nes Tln-Prozesses innerhalb des Moduls TeMo entstehenden Meldungen an die Module SySt, ZiIn und ZeVe werden direkt (während des Zustandsüberganges) in die entsprechenden Meldungspuffer in den jeweiligen Modulen eingeschrieben. Das Einlesen von Meldungen von den Modulen SySt, ZiIn und ZeVe an das Modul TeMo erfolgt durch zyklisches Abfragen der Puffer und Einlesen der Meldungen durch das Modul TeMo. Die direkte Kommunikation zwischen zwei Tln-Prozessen erfolgt durch einen Meldungspuffer innerhalb des Moduls TeMo. Meldungen werden während eines Zustandsüberganges direkt in ihn eingeschrieben und innerhalb des zyklischen Abfragens der Meldungspuffer wieder ausgelesen. Bild 3.3 zeigt neben der Struktur und Meldungsrichtung der Meldungspuffer auch die Bedeutung der zugehörigen, wichtigsten Meldungen.

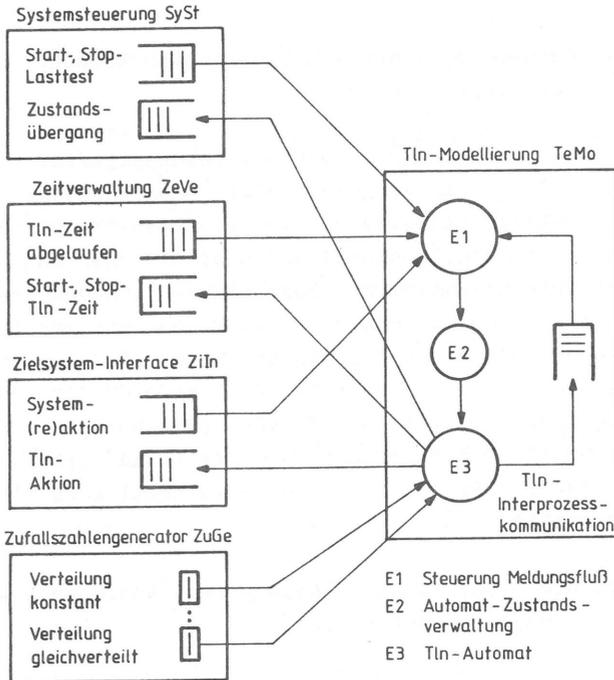


Bild 3.3 : Meldungsfluß und Struktur der gerichteten Meldungspuffer bzw. Register (für den Lasttest)

Die Steuerung des Meldungsflusses an das Modul TeMo wird als TeMo-Ebene-1 bezeichnet und beinhaltet das zyklische Abfragen aller Meldungspuffer und Einlesen der wartenden Meldungen. Es sind dies

- vom Modul SySt
Meldungen für das Starten und Anhalten der Simulation sowie Meldungen für die Steuerung der Initialisierung der Tln-Prozesse
- vom Modul ZeVe
Meldungen entsprechend dem Ablaufen von Tln-Zeiten (im nachfolgenden auch TMO-Meldungen genannt, engl. Time-Out)
- vom Modul ZiIn
Meldungen entsprechend den System(re)aktionen sowie Meldungen mit den exakten Zeitpunkten des Aussendens von Meldungen (Tln-Aktionen) an den Adapter (siehe auch Abschnitt 4.3.3)
- Modul TeMo intern
Meldungen entsprechend der Tln-Interprozesskommunikation zwischen zwei Tln-Prozessen.

Mit dem Einlesen einer Meldung aus einem Meldungspuffer wird die Meldung im Modul TeMo zwischengespeichert. Danach werden auf der Basis der in der Meldung enthaltenen Tln-Prozeßnummer pn^1) die individuellen Tln-Daten bereitgestellt und eine untergeordnete Tln-Prozeß-Zustandsverwaltung aktiviert (TeMo-Ebene-2). Diese Zustandsverwaltung steuert für den adressierten Tln-Prozeß den entsprechenden Zustandsübergang (TeMo-Ebene-3), wie er in Kap. 3.1.1 beschrieben ist. Im Falle einer Meldung vom Modul SySt erfolgt die Abarbeitung dieser Meldung direkt in der TeMo-Ebene-1 (zum Beispiel Start oder Stop des Lasttests). Die Hierarchie und der Ablauf dieser integrierten Steuerung der Tln-Prozesse und des Meldungsflusses sind in Bild 3.4 dargestellt.

Bild 3.4 zeigt auch, daß in TeMo-Ebene-2 zwei Ausnahmesituationen erkannt und abgefangen werden müssen :

1) : Für den Fall eines Lasttests entspricht die Tln-Prozeßnummer der Asl-Nummer.

1) Teilnehmer nicht konfiguriert

Wenn Systemaktionen an einen nicht konfigurierten (nicht aktivierte) Tln-Prozeß empfangen werden, darf kein Zustandsübergang durchgeführt werden, da in diesem Fall keine Zuordnung zu einem bestimmten Zustandsraum möglich und kein teilnehmerprozeß-individueller Datensatz verfügbar ist. Diese Ausnahmesituation kann auftreten, wenn :

- es sich um eine Falschverbindung handelt

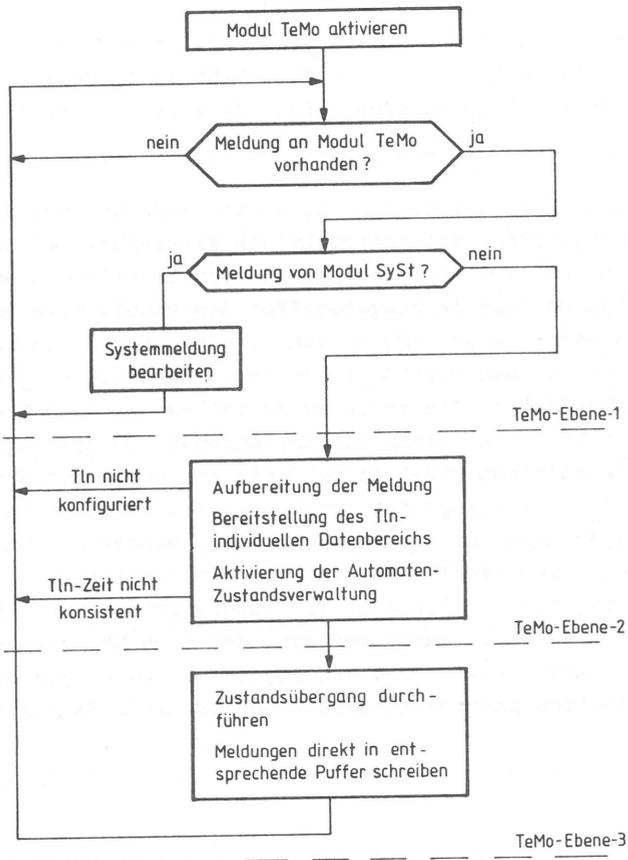


Bild 3.4 : Ablauf und Hierarchie der Steuerung für die Tln-Prozesse und den UNES-internen Meldungsfluß

- das Zielsystem und der Umweltsimulator mit unterschiedlichen Teilnehmerkonfigurationsdaten programmiert sind.

In beiden Fällen wird eine Fehlermeldung über ein separates Fehlerregister an die Simulationssteuerung (Modul SySt) übergeben und die Meldung verworfen /42/.

2) Tln-Zeit nicht konsistent

Zwischen den Modulen TeMo und ZeVe werden nur Meldungen ausgetauscht wie :

- Start-Tln-Zeit (von TeMo nach ZeVe)
- Stop-Tln-Zeit (von TeMo nach ZeVe)
- Tln-Zeit ist abgelaufen (von ZeVe nach TeMo, TMO-Meldung).

Wie in Bild 3.3 ersichtlich, kann sich aufgrund der Struktur der Meldungspuffer zum Zeitpunkt des Eintragens der Meldung "Stop Tln-Zeit T_1 " in den Eingabepuffer bereits die entsprechende TMO-Meldung im Ausgabepuffer des Moduls ZeVe befinden. Aufgrund einer in der TMO-Meldung und in dem teilnehmerprozeß-individuellen Datenbereich enthaltenen Kennzeichnung der einzelnen Tln-Zeiten (Tln-Zeitnummer) ist es der TeMo-Ebene-2 möglich, die Übereinstimmung der empfangenen TMO-Meldung mit der derzeit gültigen Tln-Zeit T_{i+} , wie sie durch den aktuellen Zustand Z_{i+} festgelegt ist, zu überprüfen. Wird keine Übereinstimmung erkannt, so wird diese Meldung verworfen. Damit wird verhindert, daß die TMO-Meldung für die Tln-Zeit T_1 als die TMO-Meldung für die Tln-Zeit T_{i+} interpretiert wird. Diese Ausnahmesituation kann immer aufgrund der nach Übertragungsrichtung getrennten Puffer und den asynchron zueinander arbeitenden Verarbeitungseinheiten innerhalb der Module TeMo und ZeVe auftreten.

3.2 Einfluß des HKZ-Verfahrens auf die Teilnehmermodellierung

Bei IWV- und MFV-Teilnehmern erfolgt die Verbindungssteuerung durch den Teilnehmer und die Nebenstellenanlage entsprechend den Spezifikationen des HKZ-Verfahrens. Im Fall eines Rufes wird an die Tln-Asl eine Gleichspannung mit überlagerter Wechselspannung angelegt (allg. Ruf, engl. ring signal). Bestimmte Zustände einer Nachrichtenverbindung werden dem A-Tln während des Verbindungsaufbaus bzw. A- und B-Tln gleichermaßen während des Verbindungsabbaus durch das Anschalten bestimmter Töne angezeigt. Neben dem einfachen Rufen eines Fernsprechteilnehmers werden in der öffentlichen Vermittlungstechnik nur folgende unterschiedliche Töne verwendet :

- Wählton (engl. Dial Tone)
- Besetztton (engl. Busy Tone)
- Freiton (engl. Ring Tone)
- Hinweiston (engl. Intercept Tone).

In der Nebenstellentechnik sind bei Rufen als auch bei der Anzeige des Verbindungszustandes durch Töne an den Tln zusätzliche Unterscheidungen möglich. Befindet sich ein Teilnehmer im Ruhezustand (Tln hat aufgehört), kann ein Ruf unterschieden werden in einen

- Internruf
- Externruf (Amtsruf)
- Dringlichkeitsruf (Sonderruf)
- Ruf mit besonderer Eigenschaft usw..

Hat ein Tln abgehoben, kann ein Ruf erkannt und unterschieden werden durch einen

- Anklopftön bei wartendem Interngespräch
- Anklopftön bei wartendem Externgespräch
- Anklopftön mit Dringlichkeit usw..

Zur Signalisierung bestimmter Zustände einer Nachrichtenverbindung werden Töne verwendet wie

- Internwählton (normaler Wählton)

- Internwählton mit Indikation einer Aktivierung eines Dienstmerkmals (z.B. Anschluß ist auf Ruhe vor dem Telefon oder auf Auftragsdienst geschaltet)
- Externwählton (Amtswählton)
- Sonderwählton
- Freiton
- Prioritätsfreiton
- Freiton während Anklopfen bei der gerufenen Nebenstelle
- Besetztton aufgrund eines belegten Betriebsmittels
- Besetztton aufgrund eines belegten Teilnehmers
- Besetztton bei Internverbindung
- Besetztton bei Externverbindung
- Sonderbesetztton
- Blockierungston
- Aufmerksamkeitston
- Aufschalteton
- Dauerton
- Sonderton bei gehaltener Verbindung
- Sonderton bei bestimmtem Dienstmerkmal usw..

Wenn ein Teilnehmer sich im Zustand Ruhe befindet, sind die unterschiedlichen Rufe typischerweise durch ein individuelles Ruf/Pausen-Verhältnis innerhalb einer Periode (Rufmerkmal) charakterisiert. Töne zur Anzeige eines Rufes bzw. eines Zustandes einer Verbindung sind gekennzeichnet sowohl durch ihre Frequenzmerkmale wie

- Tonhöhe
- Einzelton/Doppelton
- Frequenzumschaltung (FSK, engl. Frequency Shift Keying)

als auch durch ihre zeitliche Charakteristik (Zeitmerkmale) wie

- Dauerton
- Intervallton (Tonphase/Pausenphase)

- unterschiedliche Intervalle innerhalb einer Periode usw..

Die Aufgabe des Adapters ist es, die physikalische Realisierung dieser Möglichkeiten in logische Signalisiermeldungen an den Umweltsimulator umzusetzen und umgekehrt.

3.2.1 Beginn-Erkennung eines Tones und Rufes

Bei der physikalischen Decodierung des Beginns eines Tones (bzw. Rufes) müssen folgende drei Besonderheiten berücksichtigt werden :

- Unterschiedliche Bedeutungen können bei Rufen bzw. bei Tönen mit gleichen Frequenzmerkmalen nur durch ein unterschiedliches Ton/Pausen-Verhältnis (Intervall) oder durch mehrere unterschiedliche Intervalle innerhalb einer Periode festgelegt werden. Deshalb muß die Decodierlogik im Adapter immer eine bestimmte Zeit abwarten, bis eine eindeutige Identifizierung möglich ist.
- Störimpulse auf der Tln-Asl dürfen zu keiner Initiierung einer logischen Signalisiermeldung führen. Deshalb muß die Decodierlogik im Adapter immer eine bestimmte Zeit abwarten, bis der tatsächliche Beginn eines Tones (bzw. Rufes) verifiziert ist.
- Bei einem Intervallton (bzw. Intervallruf) kann das Anschalten des Tones (bzw. des Rufsignales) durch die Steuerung der Nebenstellenanlage auch in den Tonpausen (bzw. Rufpausen) erfolgen. Der eigentliche Beginn des Tones (bzw. Rufes) und damit der Zeitpunkt der System(re)aktion ist dadurch nicht exakt erkennbar.

Da mit Hilfe der Umweltsimulator/Adapter-Kombination auch das Echtzeitverhalten der Nebenstellenanlage gemessen werden soll, ist die schnelle Feststellung einer System(re)aktion notwendig. Aufgrund der oben aufgezeigten Besonderheiten wird deshalb durch den Adapter sofort bei Erkennen eines beliebigen Tones eine "Tonbeginn"-Meldung (TB-Meldung, logisches Signalisierprimitiv) bzw. im Falle eines Rufes eine "Rufbeginn"-Meldung (RB-Meldung, logisches Signalisierprimitiv) an den Umweltsimulator übergeben und damit der absolute

Zeitpunkt des (erkannten) Tonbeginns (bzw. Rufbeginns) markiert. Der Adapter decodiert dann entsprechend der ihm bekannten Ton- bzw. Rufmerkmale die Bedeutung des empfangenen Tones (bzw. Rufes) und übergibt diese in Form eines logischen Signalisierprimitives an den Simulator. Diese Vorgehensweise ist für das Beispiel des Wähltones (Internwählton) in Bild 3.5 dargestellt.

Zum Zeitpunkt t_1 wird das Endgerät aktiviert (Tln hebt ab, Adapter schließt Stromschleife), und zum Zeitpunkt t_2 erfolgt die Anschaltung des Wähltones durch die Nebenstellenanlage. Nach einer Tonbeginn-Erkennungszeit zur Unterdrückung von Störimpulsen wird zum Zeitpunkt t_3 eine TB-Meldung und zum Zeitpunkt t_4 nach der Decodierung des Tones die Meldung "Internwählton" an UNES übergeben. Die Tonbeginn-Erkennungszeit ist in den Baugruppen des peripheren Teils des Adapters durch einen in Software realisierten Algorithmus bestimmt. Die Länge der Zeitdauer für die Decodierung (Decodierdauer $t_4 - t_3$) ist durch die maximale Periodendauer aller Intervalltöne mit gleichen Frequenzmerkmalen festgelegt. Während der Decodierdauer ist die zu diesem Tln-Prozeß und -Zustand zugehörige Tln-Zeit deaktiviert. Dies verhindert eine Tln-Aktion während dieser Zeitspanne. Damit im Falle eines Fehlers des Adapters ausgeschlossen werden kann, daß dieser Tln-Prozeß aufgrund einer nun fehlenden Tln-Zeit keine eigenständige Aktionen mehr ausführt, wird während dieser Zeitspanne eine UNES-interne Zeitüberwachung aktiviert. Bei Ablauf der Zeitüberwachung wird die Verbindung durch den Teilnehmer beendet. Das weitere Verhalten dieses Teilnehmers wird damit durch eine (nur kurzzeitige) Fehlfunktion des Adapters nicht beeinflusst.

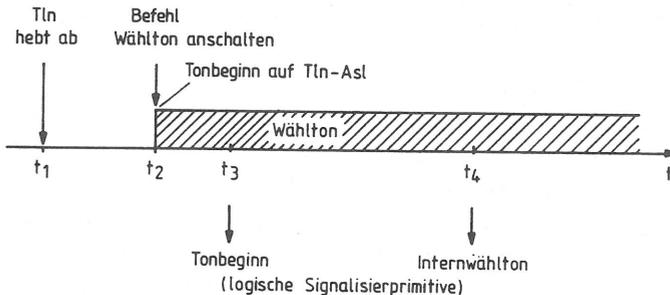


Bild 3.5 : Ton-Erkennung durch den Adapter

Diese Vorgehensweise bedeutet keine Verfälschung des tatsächlichen Teilnehmerverhaltens. Auch der reale Teilnehmer benötigt im Falle von Intervalltönen (bzw. Rufen) eine bestimmte Zeit (unter Umständen mehrere Perioden), um die Bedeutung des Tones (bzw. Rufes) und damit die System(re)aktion zu erkennen.

Erfolgt die Anschaltung des Wähltones während einer Tonpause, so kann mit typischen, realen Periodendauern und Pausendauern die Zeit bis zum Erkennen eines Tonbeginns im Bereich von 0,2 s bis 4 s liegen. Diese Zeitdauer ist hinsichtlich der Tln-Modellierung bei der Geduldszeit "Warten auf Wählton" zu berücksichtigen.

Bild 3.6 zeigt das Anschalten eines Rufes auf einer Tln-Asl. Man erkennt, daß innerhalb des Zeitintervalles $[t_2, t_4]$ der Beginn des Rufes durch den Adapter noch nicht erkannt wird, obwohl die Nebenstellenanlage den Ruf bereits (zum Zeitpunkt t_2) angeschaltet hat und diesem Tln systemintern den Zustand "Gerufen mit Rufsignal" zugewiesen hat. Hebt der derart "gerufene" Teilnehmer nun innerhalb des Zeitintervalles $[t_2, t_4]$ aufgrund einer UNES-internen TMO-Meldung ab (Zeitpunkt t_3 in Bild 3.6), so wird einerseits für den Tln-Prozeß ein Zustandsübergang in den Zustand "Warten auf Wählton" durchgeführt, andererseits erscheint dies für die Nebenstellenanlage jedoch als das Abheben eines B-Tln aus dem Ruhezustand und sie schaltet die Verbindung im Koppelnetz durch. Für den Teilnehmer bedeutet dies, daß er unerwartet sofort nach dem Abheben in eine Gesprächsphase eintritt.

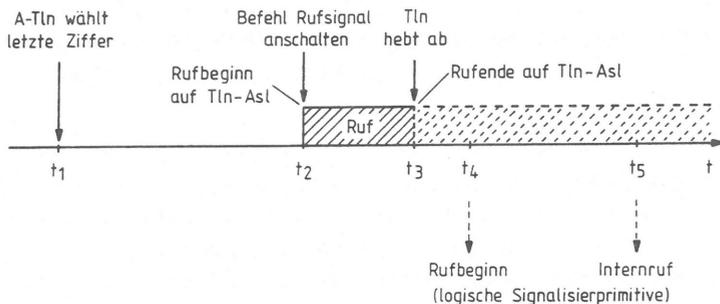


Bild 3.6 : Ruf-Erkennung durch den Adapter

Für den Fall, daß der Teilnehmer zum Zeitpunkt t_3 nicht abhebt, zeigt Bild 3.6 mit den Signalisierprimitiven "Rufbeginn" und "Internruf" zu den Zeitpunkten t_4 und t_5 den Regelfall der Rufbeginn-Erkennung.

Das Eintreten dieses Falles wird um so wahrscheinlicher, wenn zu dem Zeitintervall $[t_2, t_4]$ noch weitere Verzögerungszeiten aufgrund der Meldungspufferung zwischen dem Adapter und dem Modul TeMo hinzukommen oder die Nebenstellenanlage während einer Rufpause den Ruf anschaltet. Da dieser Fall aber ebenso in der Realität auftreten kann, ist er durch eine entsprechende Modellierung in das simulierte Tln-Verhalten mit aufgenommen. Damit ist auch sichergestellt, daß die Messung des Wähltonverzuges hierdurch nicht verfälscht wird.

3.2.2 Ende-Erkennung eines Tones und Rufes

Bei der physikalischen Decodierung des Endes eines Tones (bzw. Rufes) müssen folgende Besonderheiten berücksichtigt werden :

- unterschiedliche Bedeutungen können bei Rufen bzw. bei Tönen mit gleichen Frequenzmerkmalen nur durch unterschiedliche Intervalle (Ton/Pausen-Verhältnisse) oder durch mehrere unterschiedliche Intervalle innerhalb einer Periode festgelegt werden. Deshalb muß immer eine bestimmte Zeit abgewartet werden, bis das Ende eines Intervalltones (bzw. Intervallrufes) eindeutig verifiziert ist.
- Störimpulse auf der Tln-Asl dürfen zu keiner Initiierung einer logischen Signalisierungsführung führen. Deshalb muß eine bestimmte Zeit abgewartet werden, um das Ende eines Tones (bzw. Rufes) zu verifizieren.
- Bei einem Intervallton (bzw. Intervallruf) kann das Abschalten des Tones (bzw. des Rufsignales) durch die Steuerung der Nebenstellenanlage auch in den Tonpausen (bzw. Rufpausen) erfolgen. Das eigentliche Ende des Tones (bzw. Rufes) und damit der Zeitpunkt der System(re)aktion ist dadurch nicht exakt erkennbar.

Bild 3.7 zeigt am Beispiel des Freitones (Dauerton), daß die Meldung

"Tonende" (TE-Meldung, logisches Signalisierprimitiv) nach einer Verzögerungszeit T_{DG} vom Adapter an den Umweltsimulator übergeben wird. Die Zeit T_{DG} setzt sich hierbei aus einer Zeit T_{D1} zur Unterdrückung von Störimpulsen und einer Zeit T_{D2} zur Verifikation des Tonendes bei Intervalltönen zusammen. Die Zeit T_{D1} ist in den Baugruppen des peripheren Teils des Adapters durch einen in Software realisierten Algorithmus bestimmt. Die Zeit T_{D2} ist durch die längste Pausendauer (Pausenphase) aller Intervalltöne mit denselben Frequenzmerkmalen bestimmt. Diese Vorgehensweise bedeutet keine Verfälschung der tatsächlichen Verhältnisse. Auch der reale Teilnehmer benötigt im Falle von Intervalltönen (bzw. Rufen) eine bestimmte Zeit, um das Ende eines Tones (bzw. Rufes) und damit die System(re)aktion zu erkennen.

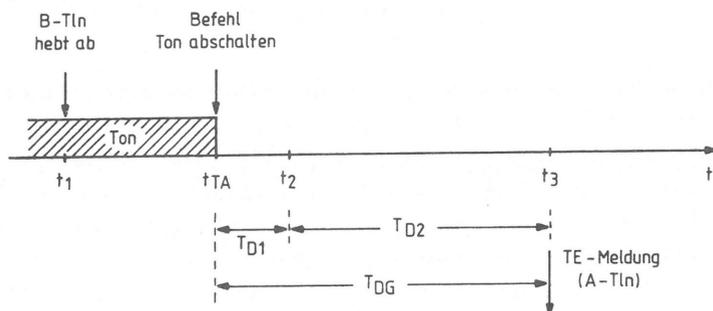


Bild 3.7 : Ende-Erkennung bei einem Dauerton

Für einen A-Tln ist der Beginn einer Gesprächsphase durch das Abschalten des Freitones und durch das Durchschalten des Sprechweges durch das Koppelnetz gekennzeichnet. Bild 3.8 zeigt hierzu die Auswirkung der Tonende-Erkennung auf die Tln-Modellierung. Bei einer Berücksichtigung von typischen Intervalltönen bzw. Intervallrufen beträgt die Verzögerungszeit T_{DG} der Ende-Erkennung bis zu 5 s. Beendet der zugehörige B-Tln während der Ende-Erkennung das Gespräch, so wird dem A-Tln der Besetztton durch die Nebenstellenanlage angeschaltet. Ohne eine TE-Meldung wird dies vom Adapter durch eine TB-Meldung und dem logischen Signalisierprimitiv "Besetztton" angezeigt. Aus der Sicht des A-Tln hat demzufolge kein Gespräch stattge-

funden (Zustandsübergang in den Zustand "B-Tln belegt"¹⁾).

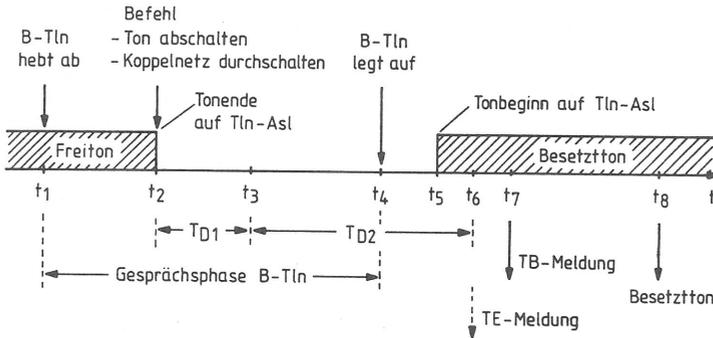


Bild 3.8 : Auswirkung der Tonende-Erkennung auf die Tln-Modellierung

Auch bei Rufen hat das verwendete Verfahren zur Rufende-Erkennung entsprechende Auswirkungen auf die Tln-Modellierung. Bild 3.9 zeigt, daß innerhalb des Zeitintervalles $[t_2, t_4]$ das Ende des Intervallrufes vom Adapter noch nicht erkannt wird, obwohl die Nebenstellenanlage den Ruf bereits (zum Zeitpunkt t_2) abgeschaltet hat (die Zeit T_{DG} setzt sich, analog zur Tonende-Erkennung, aus einem Anteil zur Unterdrückung von Störimpulsen und einem Anteil zur Verifikation des Rufendes bei Intervallrufen zusammen). Der B-Tln-Prozeß befindet sich somit innerhalb des Zeitintervalles $[t_2, t_4]$ in dem Zustand "Gerufen" (siehe auch Bild 3.2). Hebt der derart gerufene B-Tln durch eine UNES-interne TMO-Meldung innerhalb dieses Zeitintervalles ab (Zeitpunkt t_3 in Bild 3.9), so wird einerseits für den Tln-Prozeß in UNES ein Zustandsübergang in den Zustand "Gespräch" durchgeführt, andererseits erscheint dies für die Nebenstellenanlage jedoch als das Abheben eines Tln aus dem Ruhezustand und sie schaltet den Wählton an. Für den Tln bedeutet dies, daß er unerwartet während seiner

1) : Eine Nebenstellenanlage kann direkt vom Freiton auf den Besetztton umschalten. Dies ist dann der Fall, wenn der B-Tln sich nicht meldet und der A-Tln zu lange wartet. Zwischen diesem und dem oben aufgeführten Fall kann nicht unterschieden werden.

Gesprächsphase den Wählton erhält.

Diese Besonderheiten bedeuten aber keine direkte Verfälschung des realen Teilnehmerverhaltens. Da diese Fälle ebenso wahrscheinlich in der Realität auftreten können, sind sie durch eine entsprechende Modellierung in das simulierte Tln-Verhalten mit aufgenommen.

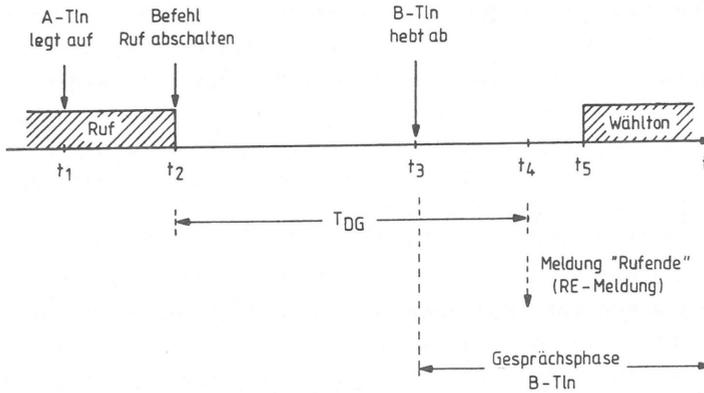


Bild 3.9 : Auswirkung der Rufende-Erkennung auf die Tln-Modellierung

3.3 Modellierung einer analogen Schnittstelle

3.3.1 Analoger Fernsprechteilnehmer

Wie bereits in Abschnitt 3.1 ausgeführt, erfolgt die Nachbildung des eigentlichen Tln-Verhaltens durch ein entsprechendes zeitliches wie logisch sequentielles Ausgeben von einzelnen Tln-Aktionen an den Adapter (bzw. Zielsystem). Bei einem IWV- oder MFV-Teilnehmer ist es möglich, einzelne Tln-Aktionen direkt einem logischen Signalisierprimitiv und dieses wiederum direkt einer eindeutigen physikalischen Codierung auf der Tln-Asl zuzuordnen. Dies führt zu einer linearen Abbildung der Realität auf die Kombination Umweltsimulator/Adapter, wie sie in Bild 3.10 dargestellt ist.

Tabelle 3.3 beinhaltet einen Auszug von typischen Signalisierprimitiven, wie sie von der UNES/Adapter-Kombination bzw. Tln-Interprozesskommunikation für die Nachbildung der analogen Teilnehmer verwendet werden. Mit aufgeführt in der Tabelle sind auch all die Signalisierprimitive, wie sie aufgrund der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Besonderheiten benötigt werden.

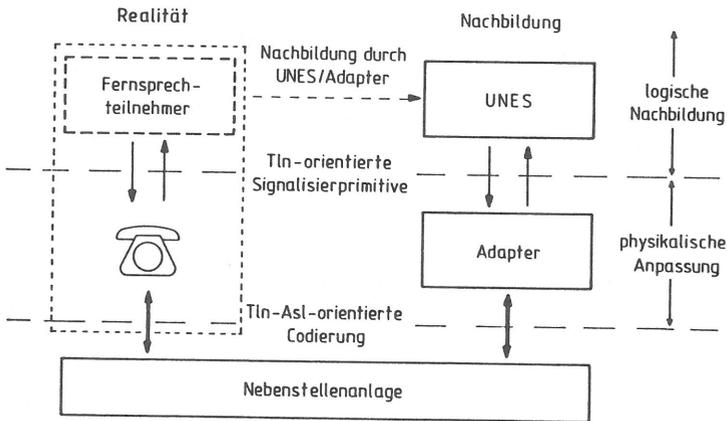


Bild 3.10 : Lineare Abbildung der Realität auf die Kombination Umweltsimulator/Adapter (analoger Fernsprechteilnehmer)

Damit können typische Belegungsarten durch den Umweltsimulator nachgebildet werden, wie zum Beispiel :

- Interngespräch
- gehendes Externgespräch
- gehendes Externgespräch, rückwärtsvermittelt
- Rufe mit abgebrochener Wahl
- B-Tln meldet sich nicht
- Warten auf Freiwerden des gerufenen Tln

Signalisierprimitive UNES ---> Adapter	Signalisierprimitive Adapter ---> UNES
IWV-/MFV-Tln	IWV-/MFV-Tln
Abheben/Auflegen Ziffer 1 bis 0 Erdtaste kurz/lang	Tonbeginn/-ende Wählton intern/extern Belegtton Freiton Aufschalteton Anklopfton Rufbeginn/-ende Internruf/Sonderruf Ton/Rufsignal unbekannt
MFV - Tln	MFV - Tln
Taste A,B,C,D,#,*	---

Tln-Interprozesskommunikation
Gespräch übernehmen/übernommen Gespräch vermittelt Verbindung vermittelt B-Tln meldet sich nicht B-Tln besetzt Rufnummer des gewünschten B-Tln

Tabelle 3.3 : Typische Signalisierprimitive eines IWV-/MFV-Tln

- Kurzwahl
- Anrufwiederholung
- Automatischer Rückruf bei besetztem B-Tln
- Umlegen eines Gespräches usw..

Zur Realisierung dieser Belegungsarten wird der Zustandsraum eines IWV-/MFV-Tln typischerweise mit 60 Zuständen, 10 Gedächtnisvariablen, 25 Tln-Zeiten, 10 Wahrscheinlichkeiten und 3 kombinatorischen Verknufungen modelliert.

In Bild 3.11 ist am Beispiel des Ausgangszustands "Ruhe" eine Feinspezifikation hinsichtlich den Ein- und Ausgangssignalen (Meldungen) eines Tln-Prozesses aufgezeigt¹⁾. Die Meldungen lassen sich in die drei Gruppen "Regelfall", "Sonderfall" und "Fehlerfall" unterteilen.

In der Gruppe "Regelfall" sind all diejenigen Meldungen enthalten, welche einer vorgegebenen Vermittlungsprozedur zugeordnet werden können :

- TMO-1
Die Tln-Zeit für den Zustand "Ruhe" ist abgelaufen und der Teilnehmer hebt ab
- Internruf
Die Nebenstellenanlage hat einen Internruf angeschaltet
- Sonderruf
Die Nebenstellenanlage hat einen Sonderruf angeschaltet.

In der Gruppe "Sonderfall" sind die Meldungen zusammengefaßt, welche sich entweder aufgrund einer kritischen Signalisierung, eines besonderen Tln-Verhaltens (siehe Abschnitt 3.2) oder der asynchronen, gepufferten und je Richtung getrennten Meldungsubertragung zwischen UNES und Adapter ergeben :

1) : In Bild 3.11 wird im Sinne einer übersichtlichen Darstellung auf einen Detaillierungsgrad für die einzelnen Zustandsübergänge, wie er in Bild 3.2 verwendet wurde, verzichtet.

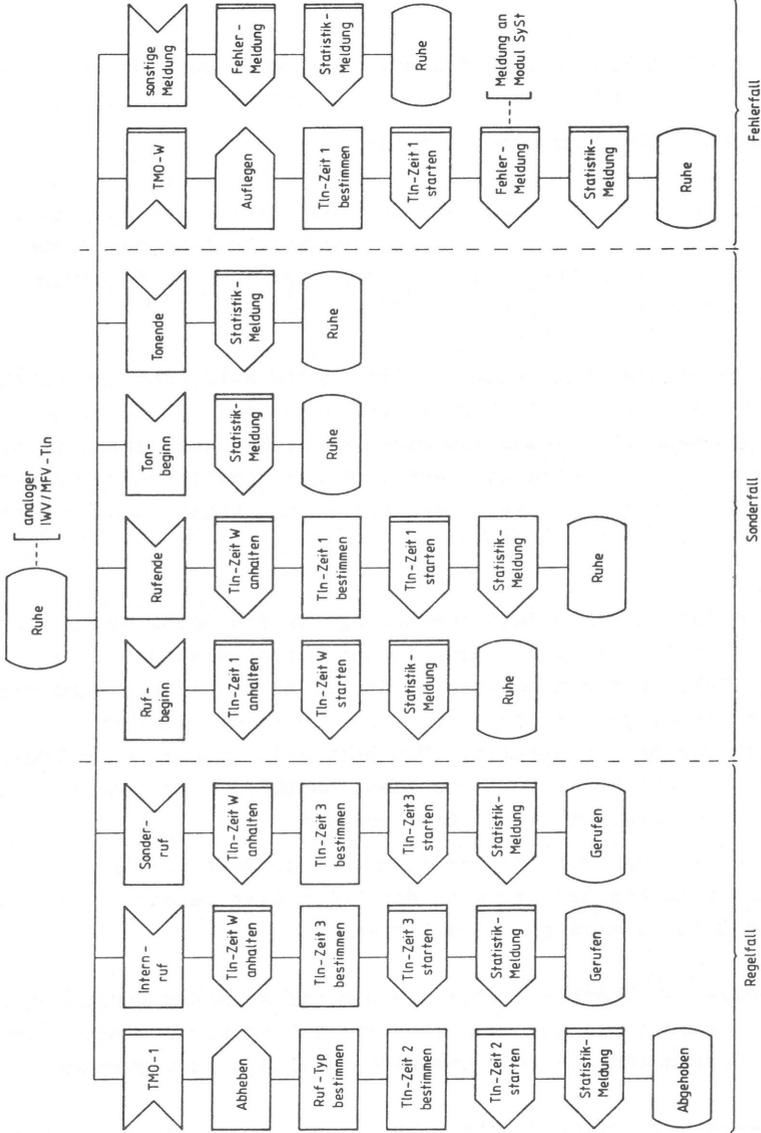


Bild 3.11 : Feinspezifikation des Zustands "Ruhe" hinsichtlich den Ein- und Ausgangssignalen eines Tln-Prozesses

- Rufbeginn

Der Adapter erkennt den Beginn eines Rufes. Die aktuelle Tln-Zeit wird angehalten und die simulatorinterne Zeitüberwachung (Tln-Zeit W) für die Decodierung des Rufes wird aktiviert

- Rufende

Der rufende A-Tln legt wieder auf noch bevor der Ruf in seiner genauen Bedeutung durch den Adapter decodiert werden kann

- Meldungen "Tonbeginn" und "Tonende"

Diese Meldungen befinden sich bereits zu dem Zeitpunkt in einem der Meldepuffer innerhalb des Übertragungswegs vom Adapter zum Modul TeMo, bei welchem innerhalb des Moduls TeMo der Zustandsübergang in den Zustand "Ruhe" durch die eigenständige Tln-Aktion "Auflegen" erfolgte.

In der Gruppe "Fehlerfall" sind all diejenigen Meldungen enthalten, welche nicht den Gruppen "Regelfall" und "Sonderfall" zugeordnet sind. Hierbei handelt es sich zum einen um nicht zugelassene System(re)aktionen für diesen Zustand bezüglich der Vermittlungsprozedur und zum anderen um die TMO-Meldungen der simulatorinternen Zeitüberwachung :

- Meldung "TMO-W"

Die simulatorinterne Zeitüberwachung für die Decodierung des Rufes (Tln-Zeit W) durch den Adapter ist abgelaufen. Um den Zustand "Ruhe" für den Adapter eindeutig zu markieren, wird die Meldung "Auflegen" ausgegeben. Danach wird die Tln-Zeit für die nächste Tln-Aktion bestimmt (Tln hebt ab). Es wird eine Fehlermeldung an das Modul SySt gesendet. Unabhängig vom Startzustand wird in den Zustand "Ruhe" übergegangen

- Sonstige Meldung vom Adapter (unerwartete System(re)aktion)

Es wird eine Fehlermeldung an das Modul SySt gesendet. Der aktuelle Zustand wird nicht verlassen.

Um einen schnellen Überblick über die wesentlichen Zustandsübergänge zu erhalten, wird neben SDL auch die Darstellung des Zustandsraumes mit seinen Zustandsübergängen entsprechend Bild 3.12 verwendet.

Bild 3.12 zeigt ein Beispiel eines typischen Teilzustandsraumes auf

Desweiteren ist für diese Zustandsübergänge die an den Adapter ausgegebene Tln-Aktion angegeben. Zustandsübergänge, welche durch eine System(re)aktion verursacht werden, sind mit der entsprechenden Meldung vom Adapter beschriftet.

3.3.2 Analoge Amtsanschlußleitung

Bild 3.13 zeigt am Beispiel eines gehenden Externgespräches, daß die Modellierung einer Amtsanschlußleitung zum einen durch die Nachbildung des Amtsleitungssatzes bzw. der Ortsvermittlungsstelle und zum anderen durch die Nachbildung des Verhaltens des Fernsprechnetzes bzw. des B-Teilnehmers erfolgt. So muß während der Phase des Verbindungsaufbaus hinsichtlich der Anschaltung des Wähltones, des Freitones oder des Besetzttones im Falle einer Blockierung bei Ortsgesprächen das Verhalten der zugehörigen Ortsvermittlungsstelle und bei Ferngesprächen das Verhalten der zugehörigen Ortsvermittlungsstelle und des Fernnetzes berücksichtigt werden. Während der Ruf- oder Gesprächsphase hingegen ist ein teilnehmerindividuelles Verhalten nachzubilden.

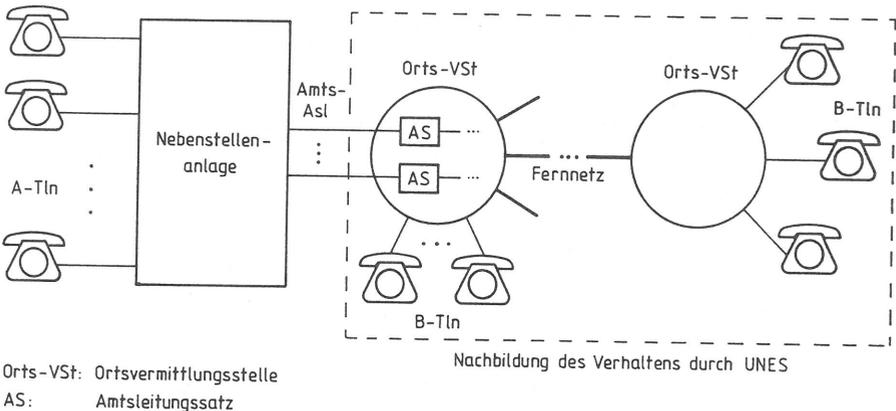


Bild 3.13 : Nachbildung und Modellierung einer analogen Amtsanschlußleitung durch UNES

Bei ankommenden Externgesprächen kann näherungsweise hinsichtlich der Nachbildung von zum Beispiel den Geduldszeiten, der Gesprächsdauer, der Wähldauer, der Zeitdauer zwischen zwei Ziffern oder der Wahlabbruchwahrscheinlichkeit bei IKZ-Amtsleitungen direkt von einem Teilnehmerverhalten ausgegangen werden.

Damit können, analog zu einem IWV-/MFV-Teilnehmer, einzelne Aktionen direkt einem logischen Signalisierprimitiv und dieses wiederum direkt einer eindeutigen physikalischen Realisierung auf der Amts-Asl zugeordnet werden (siehe Bild 3.14). Tabelle 3.4 beinhaltet hierzu einen Auszug mit typischen Signalisierprimitiven, wie sie von der UNES/Adapter-Kombination für die Nachbildung einer analogen Amts-Asl (HKZ-/IKZ-Amtsleitung) verwendet werden.

Mit Hilfe dieser Primitive können, bezogen auf eine Amts-Asl, typische Belegungsarten von UNES nachgebildet werden, wie :

- gehendes Externgespräch

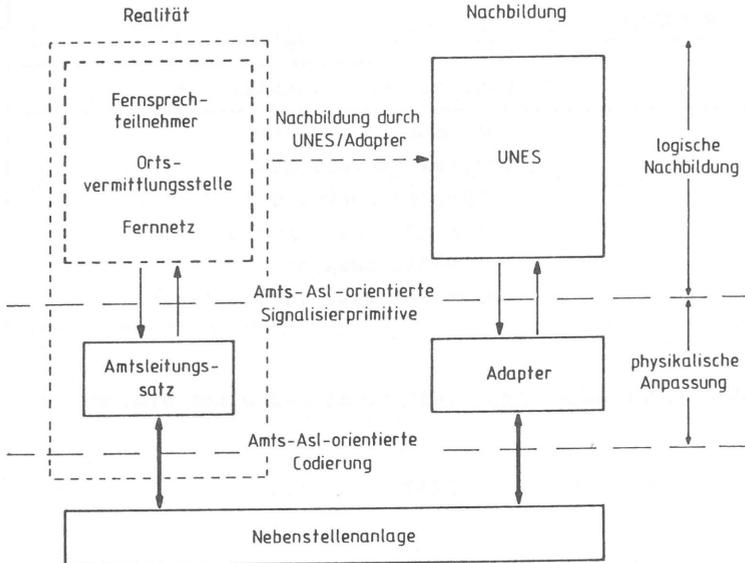


Bild 3.14 : Lineare Abbildung der Realität auf die Kombination Umweltsimulator/Adapter (analoge Amts-Asl)

- ankommendes Externgespräch, vermittelt
- ankommendes Externgespräch, Durchwahl
- gehendes Externgespräch, rückwärtsvermittelt, Warten des A-Tln im Ruhezustand auf die Vermittlung des Externgesprächs
- gehendes Externgespräch, rückwärtsvermittelt, Warten des A-Tln auf die Vermittlung des Externgesprächs im gehaltenen Zustand
- ankommendes Externgespräch mit abgebrochener Wahl
- ankommendes Externgespräch mit Umlegen eines Gesprächs usw..

Signalisierprimitive UNES ---> Adapter	Signalisierprimitive Adapter ---> UNES
Rufsignal Wählton Freiton Besetztton	Belegen/Auslösen Ziffer 1 bis 0

Tln-Interprozesskommunikation
Gespräch übernommen Gespräch vermittelt Verbindung vermittelt B-Tln meldet sich nicht B-Tln besetzt Rufnummer des gewünschten B-Tln

Tabelle 3.4 : Typische Signalisierprimitive einer analogen Amts-Asl

3.4 Modellierung einer ISDN-Schnittstelle

Eine allgemeine Beschreibung und Diskussion der wichtigsten Eigenschaften von ISDN-Schnittstellen einer Nebenstellenanlage sind in den Abschnitten 2.2.2, 2.4.5.2 und 2.4.5.3 enthalten. Darüberhinaus werden im nachfolgenden allgemeine Begriffe und Abkürzungen aus den Bereichen "ISDN" bzw. "ISDN-D-Kanal-Protokoll" als bekannt angenommen. Desweiteren werden, in Anlehnung an die FTZ-Richtlinie 1TR6 /26/, die in Englisch aus der CCITT-Empfehlung I.451 übernommenen Bezeichnungen auch in dieser Arbeit entsprechend verwendet. Eine exakte Definition der so im nachfolgenden verwendeten Fachbegriffe kann bei Bedarf in /8,25,27,46,57,61/ nachgeschlagen werden.

Bei einer ISDN-Endgerätekonfiguration muß, im Vergleich zu einem analogen Fernsprechteilnehmer, eine wesentlich komplexere Realität nachgebildet werden. Bild 3.15 verdeutlicht dies am Beispiel einer typischen Endgerätekonfiguration für die Dienste "Fernsprechen", "Bildschirmtext", "Telefax", "Teletex" und "Datenfernübertragung".

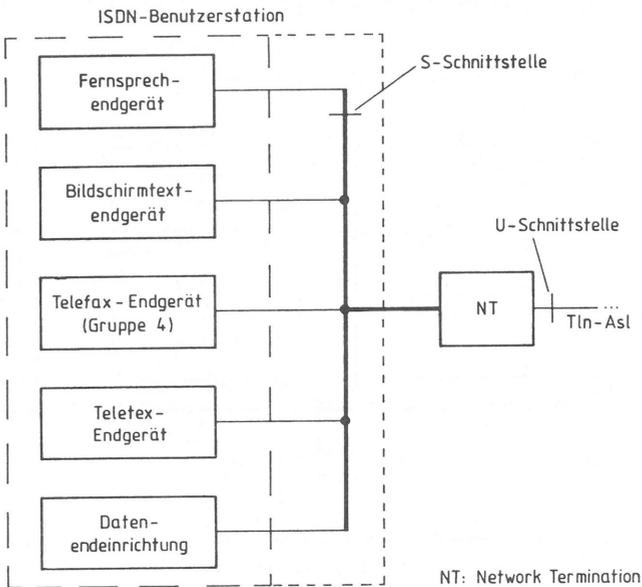


Bild 3.15 : Typische ISDN-Endgerätekonfiguration

Bild 3.16 zeigt die Abbildung eines realen ISDN-Fernsprechteilnehmers bzw. Telefax-/Teletex-Teilnehmers (allg. ISDN-Tln) und des zugehörigen Endgeräts auf ein Modell eines ISDN-Teilnehmers (im nachfolgenden auch ISDN-Tln-Modell genannt) bzw. auf die Kombination Umweltsimulator/Adapter.

Das ISDN-Tln-Modell besteht aus den zwei Blöcken "Teilnehmernachbildung" (BlTn) und "Ankopplung" (BlAn). Der Block "Ankopplung" dient der gesicherten Übertragung der Meldungen (Signale) zwischen dem Block "Teilnehmernachbildung" und der ISDN-Nebenstellenanlage auf der Basis der Spezifikationen für das D-Kanal-Protokoll (Schicht 1 bis 3, /25,26/). Diese Funktionen werden durch den Adapter bereitgestellt (siehe auch Abschnitt 2.7).

Der Block "Teilnehmernachbildung" selbst besteht aus den zwei Teil-

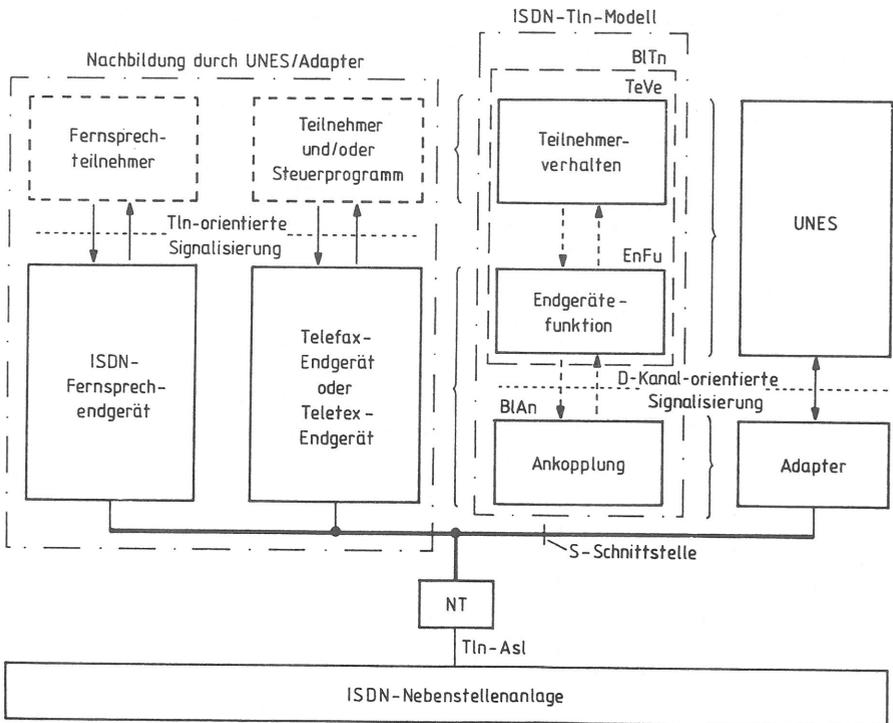


Bild 3.16 : Abbildung der Realität auf ein ISDN-Tln-Modell

blöcken "Teilnehmerverhalten" (TeVe) und "Endgerätefunktion" (EnFu) :

Der Teilblock "Endgerätefunktion" setzt die vom Teilblock "Teilnehmerverhalten" empfangenen Signalisierprimitiven in Meldungen der Schicht 3 des D-Kanals um und umgekehrt. Diese Umsetzung ist nicht linear. Sie ist vom Zustand des Endgerätes, von den empfangenen Meldungen der Schicht 3 des D-Kanals und von den Aktionen bzw. Reaktionen des Teilnehmers abhängig.

Der Teilblock "Teilnehmerverhalten" beinhaltet die Nachbildung des Verhaltens des Menschen gegenüber dem Fernsprechendgerät. Diese Nachbildung basiert auf den Prinzipien der Teilnehmermodellierung einer analogen Schnittstelle, wie sie bereits in Abschnitt 3.1.1 beschrieben wurden. Prinzipiell wäre damit ein Zusammenfassen der beiden Teilblöcke TeVe und EnFu möglich. Da aber gerade die Umsetzung der teilnehmerorientierten Signalisierprimitiven nicht linear ist (und im Sinne einer besseren Übersichtlichkeit und einer leichten Änderbarkeit), wird eine Trennung in die zwei beschriebenen Teilblöcke durchgeführt.

Die von den Teilblöcken TeVe und EnFu geforderte Funktionalität wird in UNES durch einen Tln-Prozeß (ISDN-Tln-Prozeß) für den Teilblock TeVe (siehe auch Abschnitt 3.4.1) und drei eigenständige Prozesse für den Teilblock EnFu (siehe auch Abschnitt 3.4.2) erbracht. Hierbei beinhalten das Modul TeMo für den ISDN-Tln-Prozeß und das Modul ZiIn für die drei Prozesse des Teilblocks EnFu in Form eines Programmmodes die Zustände, die Zustandsübergänge, das Empfangen von Eingangssignalen und das Generieren von Ausgangssignalen entsprechend den durchgeführten Zustandsübergängen. Der tatsächliche Zustand und weitere Parameter werden jeweils in einem ISDN-Tln-Prozeß-individuellen Datenbereich innerhalb der Module TeMo bzw. ZiIn gespeichert.

In den nachfolgenden Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2 wird am Beispiel des Dienstes "Fernsprechen" aufgezeigt, wie mit Hilfe des Umweltsimulators UNES ein ISDN-Tln bzw. ein ISDN-Fernsprechendgerät nachgebildet werden. Detaillierte Implementierungsaspekte hierzu und die Modellierung weiterer Dienste durch UNES sind in /57/ beschrieben.

3.4.1 ISDN-Fernsprechteilnehmer

Die Vorgehensweise bei der Nachbildung des Verhaltens eines ISDN-Teilnehmers entspricht der Vorgehensweise, wie sie für den Fall eines analogen Teilnehmers bereits in Abschnitt 3.1.1 diskutiert wurde. Hinsichtlich einer Realisierung müssen jedoch zwei Besonderheiten berücksichtigt werden :

- durch die in Bild 3.15 aufgezeigte, typische Endgerätekonfiguration und durch die Bereitstellung zweier B-Kanäle bzw. eines D-Kanales ist, auch während einer bestehenden Verbindung, entweder ein Hinzunehmen eines weiteren Dienstes oder ein Dienstwechsel möglich
- Dienstmerkmale werden typischerweise durch das Betätigen einer (zusätzlichen) Taste angefordert.

Die Modellierung eines ISDN-Tln erfolgt innerhalb von UNES durch die Zuordnung jeweils eines individuellen (ISDN-) Tln-Prozesses, wie er bereits in Abschnitt 3.1.1 definiert wurde, zu jeweils einem Fernsprechendgerät, einem Telefax- und einem Teletex-Endgerät. Die Eigenschaft des Hinzunehmens eines weiteren Dienstes wie zum Beispiel Telefax zum Dienst "Fernsprechen" kann damit auf zwei Arten nachgebildet werden :

- der ISDN-Tln-Prozeß des ISDN-Fernsprechteilnehmers aktiviert den ISDN-Tln-Prozeß des zugehörigen Telefax-Dienstes mit Hilfe der Tln-Interprozesskommunikation
- der ISDN-Tln-Prozeß für Telefax initiiert eigenständig einen Verbindungsaufbau aufgrund einer abgelaufenen Tln-Zeit.

Die Eigenschaft des Dienstwechsels kann prinzipiell durch einen erweiterten Zustandsraum für alle Dienste modelliert werden. Der Detaillierungsgrad dieser Modellierung ist nur von einer noch praktischen Handhabung des Zustandsraumes (Anzahl der Zustände, Zustandsübergänge und Ein-/Ausgangssignale) durch den Benutzer begrenzt.

Im Vergleich zu einem IWF-Tln bewirkt die zweite Besonderheit zwar eine Vergrößerung des Signalisieralphabets, sie hat aber den Vorteil, daß die Anzahl der Zustände des Tln-Prozesses für die Nachbil-

dung eines Dienstmerkmals wesentlich kleiner ist. Ein Beispiel hierfür ist die Aktivierung des Dienstmerkmals "Automatischer Rückruf bei besetztem B-Tln". Dies erfolgt bei einem ISDN-Tln typischerweise durch Drücken einer Taste. Ein IWF-Tln muß in der Regel nach der Betätigung der Erdtaste eine Folge von Ziffern wählen. Das ISDN ermöglicht eine Inanspruchnahme dieses Dienstmerkmals innerhalb von Nebenstellenanlagen und im gesamten Netz. In der bisherigen (analogen) Technik ist dies nur innerhalb einer Nebenstellenanlage möglich.

Tabelle 3.5 beinhaltet einen Auszug von typischen Signalisierprimitiven, wie sie innerhalb des Umweltsimulators für die Nachbildung eines ISDN-Fernsprechteilnehmers verwendet werden. Für die Nachbildung weiterer Dienste (z.B. Telefax und Teletex) muß diese Liste typischerweise nur um solche dienstespezifischen Primitiven erweitert werden, wie sie in /57/ aufgezeigt sind.

Signalisierprimitive	
Block TeVe ----> EnFu	Block TeVe <---- EnFu
Abheben	Wählton
Verbindungs-Aufbau	Freiton
Auflegen	Besetztton
Verbindungs-Abbau	Tonende
Ziffer	Auslösung
Ziffernblock	Rufsignal
Makeln	Rufende
Dreier-Konf.-Aufbau	pos./neg. Bestätigung Dreier-Konf.
Dreier-Konf.-Abbau	Aufbau
Automatischer Rückruf	pos./neg. Bestätigung Dreier-Konf.- Abbau
	pos./neg. Bestätigung autom. Rück- ruf
	pos./neg. Bestätigung Makeln

Tabelle 3.5 : Typische Signalisierprimitive eines ISDN-Fernsprechteilnehmers

Das ISDN-Fernsprechen unterstützt den Teilnehmer mit Tönen auf dem B-Kanal. Da Töne die Übersichtlichkeit und das Verständnis bei der Tln-Modellierung wesentlich fördern, werden sie, wenn möglich, innerhalb des Teilblocks EnFu zusätzlich aus den D-Kanal-Signalisierungen abgeleitet und dem Tln-Prozeß zugeführt. Aufgrund der Signalisierung auf der Basis des D-Kanals entfallen bei der Nachbildung eines ISDN-Teilnehmers die in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 diskutierten Besonderheiten und ihre Auswirkungen auf die Tln-Modellierung.

3.4.2 ISDN-Fernsprechengerät

Hinsichtlich der Signalisierung zeigt Bild 3.17 die typische Architektur eines ISDN-Endgerätes bis zur Schnittstelle 3C/3U. Auf der Basis eines gemeinsamen Transport-Prozesses (Schicht 2) bearbeitet

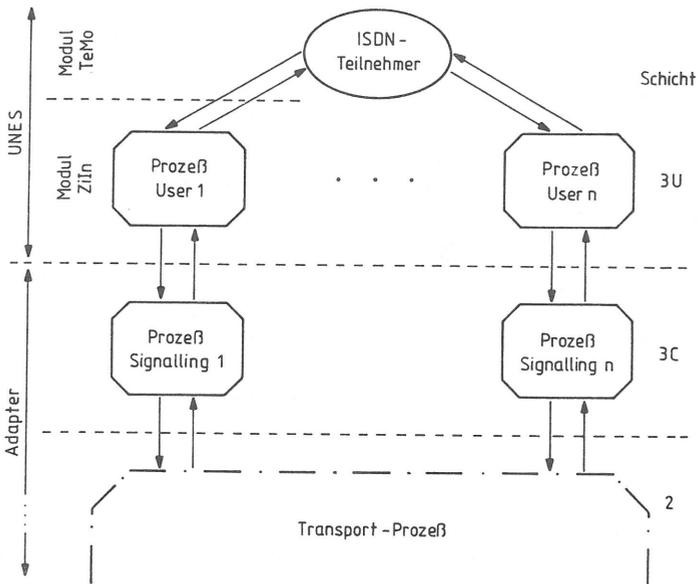


Bild 3.17 : Typische Architektur und Nachbildung eines ISDN-Endgerätes (Signalisierung)

für jede "Call Reference" ein Prozeß "Signalling" die Transaktionen für diese "Call Reference". Auf den Prozessen "Signalling" setzen die Prozesse "User" auf, welche mit einer Schnittstelle zum Teilnehmer abgeschlossen werden. Es ist denkbar, daß Endgeräte für verschiedene Dienste bis zur Schicht 3C identisch aufgebaut werden und ihre dienstspezifische Funktionalität erst durch einen dienstspezifischen Prozeß "User" erhalten.

Bild 3.17 zeigt auch, daß hinsichtlich der Kombination Umweltsimulator/Adapter die Funktionalitäten der Schicht 2 und der Prozesse "Signalling" durch den Adapter erbracht werden. Dies hat zur Folge, daß zwischen UNES und Adapter keine teilnehmerorientierte Signalisierung mehr erfolgt, sondern Meldungen der Schicht 3C/3U übertragen werden. Notwendige Kompatibilitäts- und Berechtigungsprüfungen werden vom Adapter durchgeführt.

Die Umsetzung dieser Meldungen in die logischen Signalisierprimitive des ISDN-Tln-Prozesses und umgekehrt ist nicht linear. Sie ist vom Zustand des Endgerätes, von den empfangenen Meldungen der Schicht 3C sowie von den Aktionen bzw. Reaktionen des Teilnehmers abhängig (eine Tln-Aktion bewirkt unter Umständen eine Reihe von auszutauschenden Signalen der Schicht 3 zwischen der Nebenstellenanlage und dem Endgerät, bzw. eine Meldung der Schicht 3C kann nicht immer direkt in ein logisches Signalisierprimitiv des Tln-Prozesses umgesetzt werden).

Weiterhin muß bei der Umsetzung auf die Verwaltung der "Call Reference" geachtet werden. Dies zeigt sich am Beispiel des Dienstmerkmals "Makeln", wo zwischen einer aktiven und einer gehaltenen Verbindung gewechselt werden kann. Für beide Verbindungen ist jeweils derselbe B-Kanal belegt, jedoch erfolgt die Signalisierung für jede Verbindung mit einer eigenen "Call Reference".

Die Umsetzung der Meldungen erfolgt innerhalb des Umweltsimulators für jeweils ein Endgerät mit Hilfe der drei Prozesse "Verwaltung" (VWG), "Gespräch-1" (GSP-1) bzw. "Gespräch-2" (GSP-2), siehe Bild 3.18. Sofern keine Unterscheidung notwendig ist, werden im nachfolgenden die Prozesse "GSP-1" und "GSP-2" allgemein mit "GSP" bezeichnet). Zusammengenommen erbringen diese drei Prozesse die vom Teil-

block "Endgerätefunktion" geforderte Funktionalität eines Fernsprechendgerätes und sind innerhalb des Umweltsimulators dem Modul ZiIn zugeordnet.

Die in Bild 3.18 aufgezeigte Funktion "Meldungstrennung" im Modul ZiIn dient der Separation zwischen den Meldungen der analogen bzw. digitalen TIn-Prozesse und der Verteilung dieser Meldungen auf die jeweiligen Meldungspuffer in Richtung "UNES-Adapter-Interface", Prozeß "VWG" und "Steuerung Meldungsfluß" (Modul TeMo). Die Meldungen eines analogen TIn werden durch die "Meldungstrennung" nach einer linearen Meldungsumsetzung direkt in die jeweiligen Ausgabepuffer von ZiIn eingetragen. Die vom Adapter oder vom Modul TeMo empfangenen Meldungen eines ISDN-Teilnehmers werden immer an den Prozeß "VWG" weitergeleitet. Die von den "GSP"-Prozessen empfangenen Meldungen werden entsprechend ihrem Zielprozeß in die Ausgabepuffer

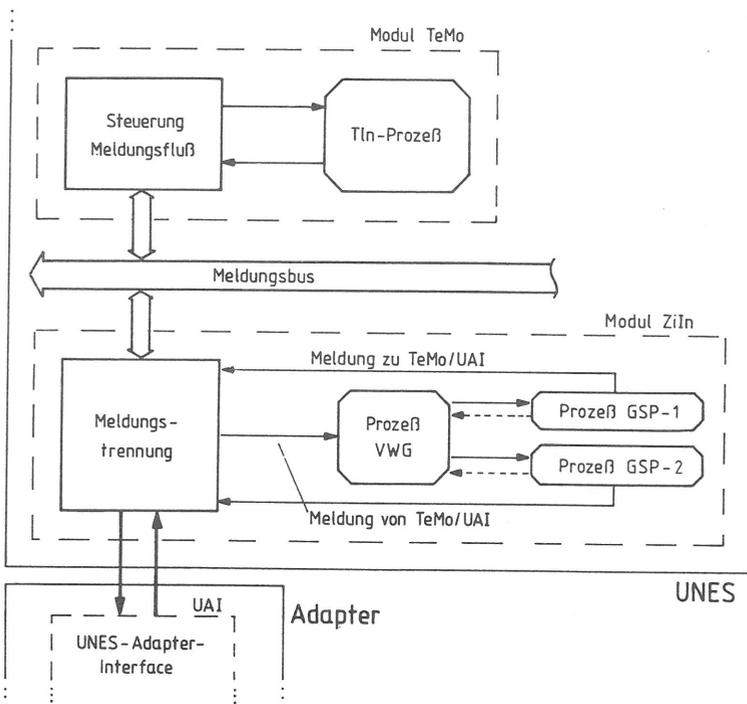


Bild 3.18 : Prozeß-Struktur des Teilblocks "Endgerätefunktion"

eingetragen.

Der Prozeß "VWG" ist für die Verwaltung der "Call References" sowie für die Verteilung der vom Adapter bzw. Tln-Prozeß empfangenen Meldungen (eines digitalen Tln) auf die Prozesse "Gespräch-1" und "Gespräch-2" verantwortlich. Als zentrale Instanz kennt er von beiden "GSP"-Prozessen sogenannte Globalzustände wie

- Ruhe
- Verbindungsaufbau
- Gesprächsphase
- Verbindungsabbau
- Blockiert.

Nach jedem Zustandsübergang meldet der "GSP"-Prozeß seinen (neuen) Globalzustand an den "VWG"-Prozeß und bestätigt damit gleichzeitig die empfangene Meldung.

Die Prozesse "GSP-1" und "GSP-2" setzen die vom Adapter empfangenen Meldungen der Schicht 3C in die Meldungen des Tln-Prozesses um und umgekehrt. Hierbei kann jeder Prozeß jeweils ein Gespräch (Verbindung) verwalten. Dies gilt für eine aktive Verbindung wie für eine gehaltene Verbindung (bei einer Modellierung der Eigenschaft "Dienstwechsel" werden für die notwendigen Meldungsumsetzungen entsprechend erweiterte "GSP"-Prozesse in UNES bereitgestellt).

Jede Meldung, welche der Prozeß "VWG" an einen der "GSP"-Prozesse weiterleitet, wird um die Informationen "Call Reference" und "Globalzustand des jeweils anderen "GSP"-Prozesses" erweitert. Der Globalzustand des anderen "GSP"-Prozesses wird zum Beispiel beim Aufbau einer zweiten Verbindung (Rückfrage) benötigt. Durch Prüfen des Globalzustandes des "GSP-1"-Prozesses stellt der "GSP-2"-Prozeß fest, daß bereits eine Verbindung aufgebaut wurde und fügt der "SETUP"-Meldung den Parameter "B-Kanal übernehmen" bei. Die "Call Reference" wird von den "GSP"-Prozessen für die Meldungen an die Nebenstellenanlage benötigt.

Die Verwaltung der "Call Reference" durch den Prozeß "VWG" umfaßt

typische Fälle wie

- Verbindungsaufbau (Erstverbindung gehend, allg. kommend)
Bereitstellung einer "Call Reference" bzw. Zuordnung zu
freiem "GSP"-Prozeß
- Aufbau einer zweiten Verbindung (Rückfrage)
Bereitstellung einer eigenen "Call Reference"
- Aufbau einer zweiten Verbindung (Anklopfen)
Bereitstellung einer eigenen "Call Reference"
- Makeln
Anforderung der Umschaltung mit einer "FAC"-Meldung durch den
"GSP"-Prozeß der gehaltenen Verbindung (und damit mit der
"Call Reference" der gehaltenen Verbindung).

3.5 Funktionstestaspekte

Der Funktionstest einer Nebenstellenanlage umfaßt die Überprüfung der fehlerfreien Bereitstellung von vorgegebenen Leistungsmerkmalen bei einem dem Regelfall entsprechenden Tln-Verhalten bzw. die Überprüfung auf ein korrektes Verhalten der Nebenstellenanlage auf ein dem Regelfall nicht entsprechendes Tln-Verhalten. Die Überprüfung erfolgt hierbei für den Fall

- einer Einzelverbindung
- einer Inanspruchnahme nur eines (bestimmten) Leistungsmerkmals
- einer Inanspruchnahme eines Leistungsmerkmals in Kombination mit anderen Leistungsmerkmalen
- einer Aktivierung eines/mehrerer Leistungsmerkmale(s) und/oder in Kombination mit anderen Leistungsmerkmalen unter der Voraussetzung eines bestimmten Zustandes aller anderen äußeren Schnittstellen.

Das Ziel des Funktionstests ist die Ausführung von möglichst vielen logischen Zweigen und deren Kombinationen der gesamten Vermittlungssystem-Software und damit die Ermittlung von Fehlern in der Software der Nebenstellenanlage. Diese Tests können mit Hilfe der Kombination Umweltsimulator/Adapter effektiv durchgeführt werden, da keine Änderungen in der Hard- und Software des zu testenden Zielsystems für den Test vorgenommen werden müssen /4,78/.

3.5.1 Interaktiver Funktionstest

Bei einem interaktiven Funktionstest werden direkt durch den Benutzer an der Betreiberschnittstelle (siehe Bild 2.12) alle Tln-Aktionen eingegeben und alle System(re)aktionen bewertet. Bild 3.19 zeigt, daß der interaktive Funktionstest mit Hilfe der logischen Signalisierprimitive, wie sie an der Schnittstelle des Moduls ZiIn sowohl für analoge wie auch für digitale Teilnehmer definiert und verfügbar sind, durchgeführt wird (siehe auch Abschnitt 3.3.1, 3.3.2 und 3.4.1). Damit unterscheidet sich die Funktionalität des

Moduls ZiIn für die Fälle "Lasttest" und "Funktionstest" nicht. Die Steuerung des Meldungsflusses erfolgt durch einen direkten Zugriff des Moduls SySt auf die Meldungspuffer innerhalb des Moduls ZiIn. Die Module TeMo, ZeVe und ZuGe werden für den interaktiven Funktionstest nicht benötigt.

Die Steuer-Software des Moduls SySt setzt die empfangenen logischen Signalisierprimitiven in eine benutzerorientierte Darstellung auf dem Terminal um und umgekehrt. Die Ankopplung der Steuer-Software an das Betriebssystem ermöglicht eine Protokollierung der eingegebenen Tln-Aktionen und System(re)aktion auf Massenspeicher und/oder Drucker.

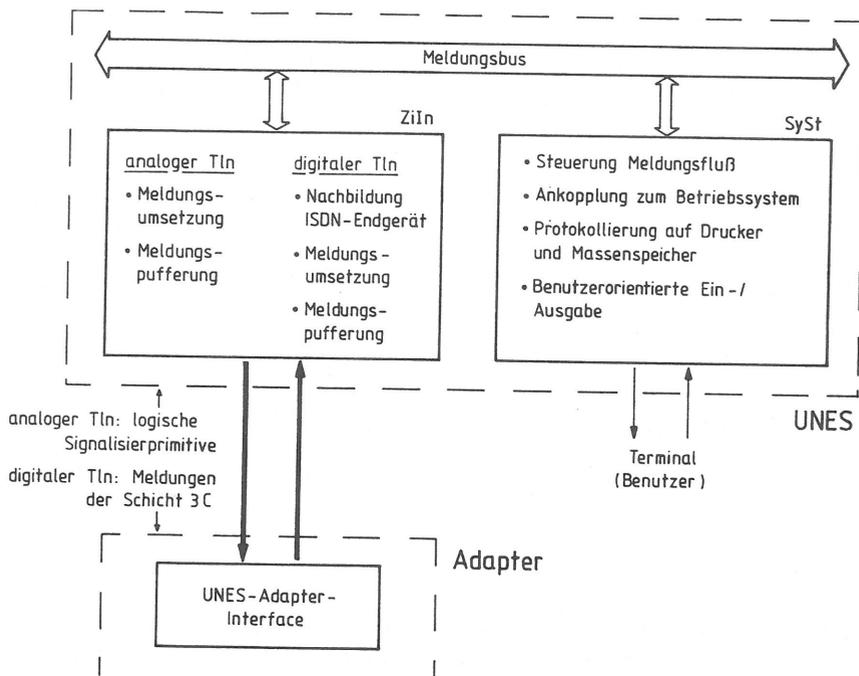


Bild 3.19 : Aktive Module beim interaktiven Funktionstest

3.5.2 Automatisierter Funktionstest

Die Festlegung einer Testsequenz für den automatisierten Funktionstest erfolgt durch die Bereitstellung von insgesamt nur einem Tln-Testprozeß (Tln-T-Prozeß) für alle äußeren Schnittstellen der Nebstellenanlage. Der Tln-T-Prozeß entspricht hinsichtlich der Definition dem Tln-Prozeß nach Abschnitt 3.1.1, die Spezifikation des Zustandsraumes erfolgt, analog zu der Spezifikation der Tln-Prozesse, in SDL (siehe Abschnitt 3.1.2). Er ist durch die zwei Module TeMo und ZeVe realisiert und beinhaltet weiterhin die Zuordnung einer Anschlußleitungsnummer (Asl-Nummer) bzw. Tln-Prozeßnummer zu jeweils einer äußeren Schnittstelle. An der Schnittstelle zum Modul ZiIn bestehen deshalb, hinsichtlich den Meldungsformaten und Informationen zwischen dem Funktionstest und dem Lasttest keine Unterschiede. Da es sich im Falle des automatisierten Funktionstests um eine Unterscheidung zwischen Anschlußleitungen bzw. äußeren Schnittstellen handelt, wird beim automatisierten Funktionstest (und im nachfolgenden) von einer Asl-Nummer gesprochen.

Der Tln-T-Prozeß unterscheidet sich von einem Tln-Prozeß in dreierlei Hinsicht :

- es werden keine Zufallsvariablen zur Bestimmung einer Tln-Aktion, einer Tln-Zeit oder eines Folgezustands verwendet
- die Tln-Zeit T_{i+} ist vom Folgezustand Z_{i+} und nicht mehr vom Ausgangszustand Z_i eines Zustandsüberganges bestimmt
- bei der Festlegung von zugelassenen (bzw. erwarteten) System(re)aktionen werden zusätzlich jeweils eine oder mehrere Asl-Nummern festgelegt.

Wesentliche Merkmale des Tln-T-Prozesses sind

- das Auslösen eines Zustandsüberganges
- die Gedächtnisvariable (Attribut) "Warten" des aktuellen Zustands.

Das Auslösen eines Zustandsüberganges kann entweder aufgrund einer abgelaufenen Tln-Zeit (TMO-Meldung) oder durch das Empfangen einer System(re)aktion erfolgen¹⁾. Mit Hilfe der Gedächtnisvariablen

"Warten" wird in jedem Zustand des Tln-T-Prozesses unterschieden zwischen einem

- Warten auf eine Systemreaktion

und einem

- Warten auf eine Tln-Aktion.

Für den Fall "Warten auf eine System(re)aktion" besitzt die Tln-Zeit die Bedeutung einer Zeitüberwachung, und der Empfang der TMO-Meldung charakterisiert den Fehlerfall "Fehlende zeitgerechte System(re)aktion". Für den Fall "Warten auf eine Tln-Aktion" wird beim Empfang der TMO-Meldung die durch den Zustand (und/oder weiterer Gedächtnisvariablen) bestimmte, nächste Tln-Aktion an den Adapter (über das Modul ZiIn) ausgegeben.

Beim Empfang einer System(re)aktion wird typischerweise in dem zugehörigen Zustandsübergang keine Tln-Aktion an den Adapter ausgegeben. Die dem Ausgangszustand zugeordnete Tln-Zeit (Zeitüberwachung) wird angehalten, eine neue Tln-Zeit wird für den Folgezustand bestimmt und dem Modul ZeVe übergeben. Dieser Zustandsübergang erfolgt jedoch nur dann, wenn für die in der Meldung enthaltene Asl-Nummer und System(re)aktion ein entsprechender Zustandsübergang spezifiziert wurde. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, charakterisiert dies den Fehlerfall "Nicht definierte System(re)aktion". Im Falle eines Funktionstests ist eine Tln-Aktion prinzipiell auch während eines durch eine System(re)aktion initiierten Zustandsüberganges möglich. Mit der oben beschriebenen Vorgehensweise werden aber damit auch im Falle eines Funktionstests kurze Verzögerungen, wie sie typischerweise bei einer manuellen Bedienung eines Endgerätes entstehen, nachgebildet.

Bild 3.20 zeigt hierzu am Beispiel des Ausgangszustands "erster Tln abgehoben" die typische Spezifikation eines Zustands mit seinen Zustandsübergängen und seinen Ein- und Ausgangssignalen (logischen

1) : Analog zur Zeitverwaltung der Tln-Zeiten der Tln-Prozesse (siehe Abschnitt 3.1.1) erfolgt auch beim automatisierten Funktionstest die Verwaltung der Tln-Zeiten durch das Modul ZeVe.

Signalisierprimitiven) für die Anwendung im automatisierten Funktionstest.

Jeder Zustandsübergang wird zu Protokollzwecken an das Modul SySt gemeldet (Protokoll-Meldung). Wird ein Fehler erkannt, so wird dies mit einer Fehlermeldung protokolliert und der Test abgebrochen (Übergang in den Folgezustand "Testende").

Die in Bild 3.20 aufgezeigten Meldungen lassen sich analog zu den Meldungen der TIn-Prozesse in die drei Gruppen "Regelfall", "Sonderfall" und "Fehlerfall" unterteilen. Die Zuordnung der einzelnen Meldungen zu den Gruppen unterscheidet sich jedoch signifikant von der in Abschnitt 3.3.1 aufgezeigten Zuordnung.

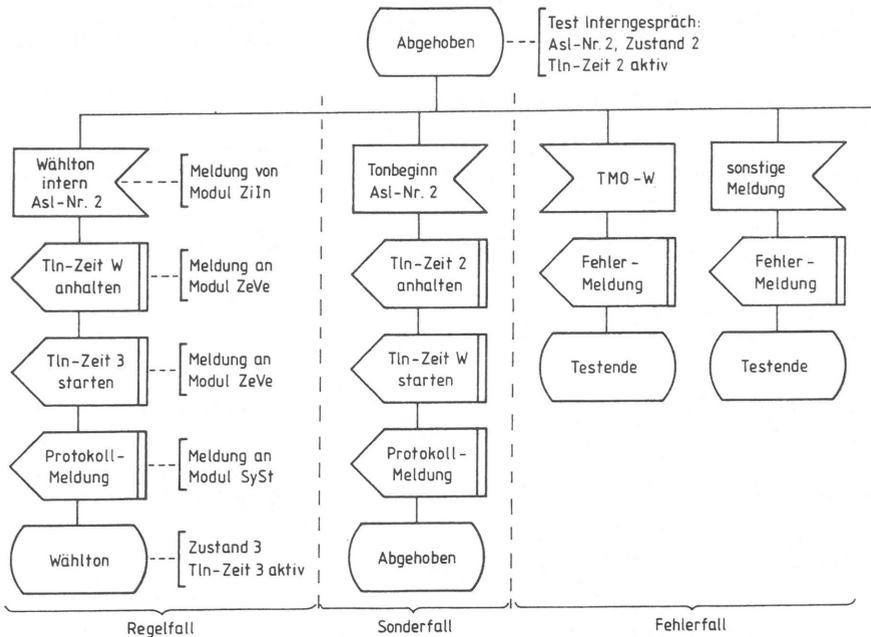


Bild 3.20 : Spezifikation eines Zustandsüberganges für den automatisierten Funktionstest

Beim Lasttest werden die einzelnen Tln-Zeiten auf der Basis von vorgegebenen Verteilungsfunktionen bestimmt. Es ist damit nicht möglich, einen Zustand "erster Tln abgehoben" zu definieren, sondern nur den logisch entsprechenden Zustand "Abgehoben". Für den Zustand "Abgehoben" müssen die Systemreaktionen "Wählton" und "Besetztton" dem Regelfall zugeordnet werden. Es ist bei einem beliebig herausgegriffenen Belegungsversuch aus der Sicht des Umweltsimulators nicht möglich, zu beurteilen, ob die Systemreaktion "Besetztton" einen Fehlerfall der Vermittlungssystem-Software darstellt oder aufgrund der Tatsache, daß benötigte Betriebsmittel belegt sind, verursacht wurde. Beim Funktionstest ist für den Ausgangszustand "erster Tln abgehoben" bekannt, daß es sich um den ersten Tln handelt und die Reaktion "Besetztton" muß als Fehlerfall betrachtet werden.

Beim automatisierten Funktionstest erfolgt die Steuerung des Meldungsflusses und die Verwaltung des Tln-T-Prozesses (analog zum Last-

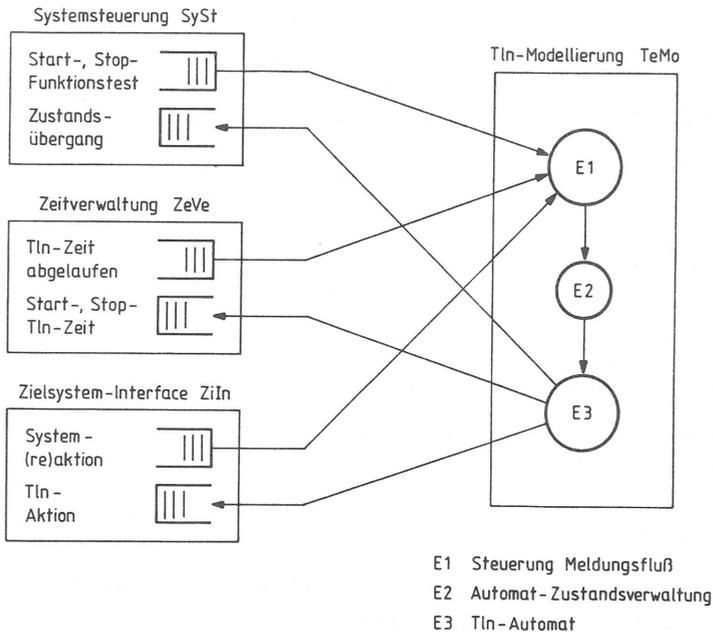


Bild 3.21 : Meldungsfluß und Struktur der gerichteten Meldungspuffer für den automatisierten Funktionstest

test) durch das Modul TeMo und ist in Bild 3.21 aufgezeigt. Im Vergleich zur Steuerung des Meldungsflusses beim Lasttest (siehe Abschnitt 3.1.3) bestehen jedoch folgende Unterschiede :

- es erfolgen keine Zugriffe auf das Modul ZuGe
- es erfolgt keine Tln-Interprozesskommunikation
- der Fehlerfall der TeMo-Ebene-2 "Tln nicht konfiguriert" entfällt. An seiner Stelle erfolgt eine Überprüfung, ob für die in der Meldung enthaltene Asl-Nummer und System(re)aktion ein entsprechender Zustandsübergang spezifiziert wurde. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, charakterisiert dies den Fehlerfall "Nicht definierte System(re)aktion".

Die Steuer-Software des Moduls SySt setzt die empfangenen Protokoll-Meldungen in eine benutzerorientierte Darstellung auf dem Terminal um. Die Ankopplung der Steuer-Software an das Betriebssystem ermöglicht eine Protokollierung der einzelnen Testabläufe auf Massenspeicher und/oder Drucker und eine unabhängige Auswertung der Protokolle durch terminal- und maskenorientierte Tools.

4 Realisierung und Einsatz des Umweltsimulators

4.1 Aspekte der Implementierung

UNES besteht hardwaremäßig aus den fünf getrennten Modulen (siehe auch Abschnitt 2.6.5, Bild 2.14) :

- Systemsteuerung (Modul SySt)
- Teilnehmermodellierung (Modul TeMo)
- Zufallszahlengenerator (Modul ZuGe)
- Zeitverwaltung (Modul ZeVe)
- Zielsystem-Interface (Modul ZiIn).

Alle Module des Umweltsimulators sind mit Doppелеuropakarten entsprechend der VME-Bus-Norm /117/ realisiert. Die einzelnen Module kommunizieren untereinander auf der Basis des VME-Busses (Systembus, Meldungsbus, siehe auch Abschnitt 2.6.5, Bild 2.14). Die Module SySt und TeMo bestehen aus mehreren, industriell gefertigten Karten und beinhalten jeweils als Verarbeitungseinheit einen 16/32-Bit Mikroprozessor (Rechnereinheit) /42,115/. Die Module ZiIn und ZeVe bestehen aus speziell entwickelten Karten entsprechend der geforderten Modulfunktionalität und beinhalten ebenfalls jeweils einen 16/32-Bit Mikroprozessor (Rechnereinheit) /74,81/. Das Modul ZuGe ist mit schnellen Standardschaltkreisen aufgebaut /38/.

An den Beispielen der Module ZuGe und ZeVe werden in den nachfolgenden Abschnitten 4.1.1 und 4.1.2 die Wechselwirkungen zwischen den Aspekten bei einer Hardware-Implementierung und den Aspekten der Gesamtbetriebsweise, des Meldungflusses bzw. der Intermodulkommunikation, der Modellierung des Tln-Verhaltens bzw. der Durchführung eines Zustandsüberganges und der Leistungsfähigkeit von UNES aufgezeigt. Während eines Lasttests steht in UNES zur Intermodulkommunikation nur ein Meldungsbus (Systembus) zur Verfügung. Abschnitt 4.1.3 beschreibt hierzu eine speziell auf diese Situation angepasste Gesamtstruktur der Programme (Software) in den einzelnen Hardwaremodulen.

4.1.1 Modul Zufallszahlengenerator

In Abschnitt 3.1 ist beschrieben, inwieweit mit Hilfe von Zufallsvariablen ein realistisches Tln-Verhalten nachgebildet werden kann. Diese Zufallsvariablen werden vom Modul ZuGe dem Modul TeMo zur Verfügung gestellt.

Die Ermittlung von Zufallsvariablen im Modul ZuGe erfolgt auf der Basis von Pseudo-Zufallszahlen. Eine Pseudo-Zufallszahl ist eine Zufallszahl, welche durch ein deterministisches Verfahren (arithmetische Operation) aus der vorausgehenden Zufallszahl berechnet wird. Durch eine Transformation mittels einer Verteilungsfunktion werden die einzelnen Zufallszahlen in die entsprechenden Zufallsvariablen abgebildet (/11/, siehe Bild 4.1).

Für die Bestimmung von Pseudo-Zufallszahlen in der Umweltsimulation sind zum Beispiel die Verfahren vorteilhaft /69,101/, welche zusammenfassend durch eine lineare Rekursion nach Gleichung (4.1) (im nachfolgenden mit Gl.(4.1) abgekürzt) darstellbar sind :

$$PZ_{n+1} = \sum_{i=0}^j a_i \cdot PZ_{n-i} + u \pmod{P} \quad a_0 \dots a_j, u, P \text{ ganze Zahlen} \quad (4.1)$$

Bei entsprechender Wahl von a_j , u und P (siehe Tabelle 4.1) ist eine Unterteilung in drei Methoden möglich :

- multiplikative Kongruenzmethode /105/
durch geeignete Wahl von a_0 und P kann erreicht werden, daß

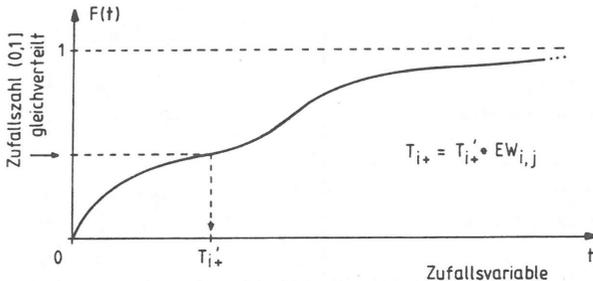


Bild 4.1 : Transformation einer gleichverteilten Zufallszahl in eine Zufallsvariable mittels einer Verteilungsfunktion

die Folge PZ_1, PZ_2, \dots eine Permutation der Zahlen $1 \dots (P-1)$ darstellt. Wenn P eine Primzahl darstellt, ist der Zyklus maximal lang (Zyklus = $P-1$), ansonsten besteht der Zyklus aus höchstens $P/4$ Zufallszahlen.

- gemischte Kongruenzmethode /98,114/
basierend auf der multiplikativen Kongruenzmethode kann durch geeignete Wahl von a_0 und u ein maximal langer Zyklus auch für beliebiges P erreicht werden
- additive Kongruenzmethode /96,97/
für $j=1$ auch Fibonacci-Generator genannt. Eine sehr schnelle Berechnung der Zufallszahl ist möglich, der Zyklus zerfällt jedoch in verschieden lange Teilzyklen.

Werden durch das Modul ZuGe aufeinanderfolgende Zufallsvariablen spätestens nach einer Zeit bereitgestellt, welche der minimalen Zeitspanne zwischen zwei benötigten Zufallsvariablen entspricht, so bewirkt dies eine signifikante Leistungssteigerung des Umweltsimulators. Es kann dann gewährleistet werden, daß die Zeitdauer eines Zustandsüberganges auch bei mehrmaligen Zugriffen auf das Modul ZuGe nicht durch die Zeitdauer für die Berechnung von einzelnen Zufallsvariablen verlängert wird.

Methode	Werte für a_1 und P
multiplikative Kongruenzmethode	$a_0 > 0$ $a_1 \dots a_j = 0$ $u = 0$
gemischte Kongruenzmethode	$a_0 > 0$ $a_1 \dots a_j = 0$ $u > 0$
additive Kongruenzmethode	$a_0, a_j = 1$ $a_1 \dots a_{j-1} = 0$ $u = 0$

Tabelle 4.1 : Kongruenzmethoden und ihre Parameter

Die Implementierung einer langsameren aber nach Möglichkeit voraus-eilenden Berechnung von Zufallsvariablen und einer Abspeicherung in logischen Meldungspuffern ist prinzipiell möglich. Dieses Prinzip wird in UNES nicht verwendet, da nur mit einem erheblichen Implementierungsaufwand erreicht werden kann, daß zu jedem Zeitpunkt ein Zugriffes durch das Modul TeMo auch in allen Meldungspuffern Zufallsvariablen verfügbar sind.

Die einzelnen Zufallsvariablen werden deshalb mittels direkten Leseoperationen (Speicherzugriffen) der TeMo-Verarbeitungseinheit auf Hardware-Register innerhalb des Moduls ZuGe eingelesen, siehe auch Bild 4.2. Damit liegt die minimale Zeitspanne zwischen zwei bereitzustellenden Zufallsvariablen in der Größenordnung von zwei aufeinanderfolgenden Speicherzugriffen der TeMo-Verarbeitungseinheit (typisch 5 μ s). Dieses Verfahren entspricht einer Realisierung mit getrennten Meldepuffern für jeden Verteilungsfunktionsstyp bzw. jede Einzelwahrscheinlichkeit (siehe Abschnitt 3.1.1) und besitzt den

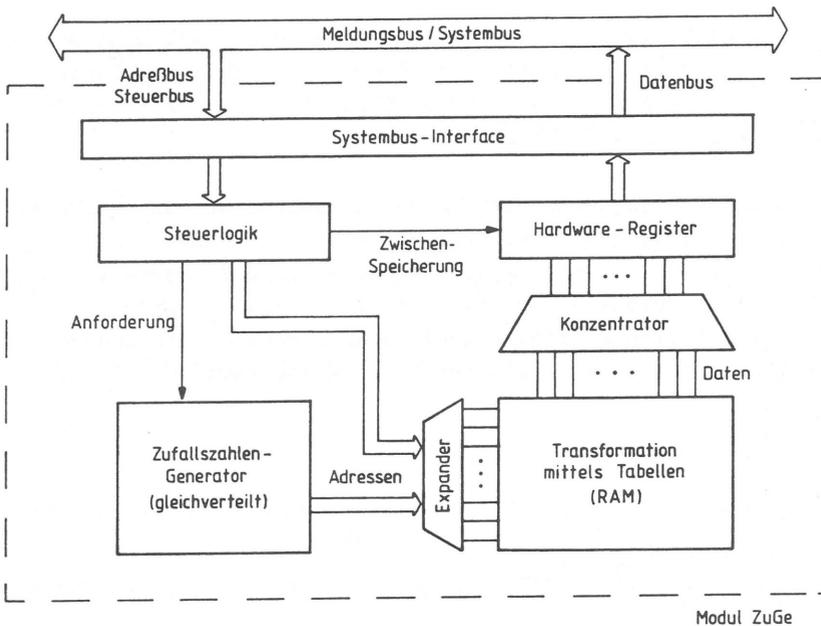


Bild 4.2 : Hardware-Struktur des Moduls ZuGe

Vorteil, daß keine Bearbeitungszeiten für die Verwaltung der Puffer oder für die Übertragung von Zufallsvariablen in Form von Meldungen anfallen. Die Berechnung der Zufallszahlen erfolgt durch schnelle Standardschaltkreise. Die Zufallszahlen werden dann mittels in schnellen Schreib-/Lesespeichern (RAM, engl. Random Access Memory) abgelegten Tabellen für jedes Register in die jeweiligen Zufallsvariablen transformiert, was auch die Verwendung von gemessenen Verteilungsfunktionen ermöglicht. Die Berechnung der Zufallszahl als auch die Transformation erfolgen damit innerhalb der oben definierten minimalen Zeitspanne.

Hinsichtlich der Datenbreite der Multiplikatoren ermöglichen typische Standardschaltkreise einen vorteilhaften Aufbau eines Multiplizierwerkes in Schritten von 2^n Bit. Zur Realisierung ist weiterhin eine Festlegung der Datenbreite $DE = 2^e$ des Ergebnisses auf dieselbe Datenbreite $DM = 2^m$ der Multiplikatoren vorteilhaft ($e = m$). Wird $P = 2^{DE}$ gewählt, dann beinhaltet die Durchführung der Multiplikation automatisch die Anwendung der Modulooperation.

Einen Kompromiss zwischen dem Implementierungsaufwand einerseits und eines für die Umweltsimulation genügend großen Zyklusses andererseits stellt $P = 2^{32}$ ($DE = 32$) dar. Damit ist ein maximaler Zyklus von 2^{30} Zufallszahlen möglich¹⁾.

Bei der Modellierung eines IWV-/MFV-Teilnehmers werden teilweise bis zu 10 unterschiedliche Zufallsvariablen während eines Zustandsüberganges verwendet. Aus diesem Grunde werden in UNES Werte für a_0 und PZ_0 verwendet, welche den maximal möglichen Zyklus ermöglichen und zusätzlich auf eine möglichst große Unabhängigkeit aufeinanderfolgender Zufallszahlen ausgerichtet sind (siehe auch /69,101,105/).

1) : unter der Annahme, daß alle 10 μ s eine Zufallsvariable benötigt wird (100000 Zufallszahlen in der Sekunde), wiederholt sich der Zyklus nach ca. 1000 Stunden (45 Tage).

4.1.2 Modul Zeitverwaltung

In Abschnitt 3.1 ist beschrieben, inwieweit mit Hilfe von Tln-Zeiten selbständige Aktionen eines simulierten Teilnehmers und damit realistische Teilnehmerverhaltensweisen nachgebildet werden können. Die Verwaltung der Tln-Zeiten für alle simulierten, äußeren Schnittstellen bzw. Tln-Prozesse parallel in Echtzeit und die Bereitstellung der absoluten UNES-Systemzeit sind die Aufgaben des Moduls ZeVe.

Die UNES-Systemzeit ist Teil der Statistikmeldungen der TeMo-Ebene-3 (Durchführung der Zustandsübergänge) an das Modul SySt. Sie kennzeichnet den absoluten Zeitpunkt eines Zustandsüberganges und ermöglicht so dem Modul SySt die Erfassung von Zeitdauern (Meßgrößen, siehe auch Abschnitt 2.5) und die Erstellung der Statistik. Darüberhinaus wird sie im Modul TeMo für die Bestimmung des absoluten Endezeitpunktes der Tln-Zeit T_{i+} benötigt. Die Berechnung des Endezeitpunktes erfolgt durch Aufsummierung der der Tln-Zeit T_{i+} entsprechenden, vom Modul ZuGe eingelesenen Zufallsvariablen zur derzeit aktuellen UNES-Systemzeit. Die Verwaltung der absoluten Endezeitpunkte der Tln-Zeiten durch das Modul ZeVe beinhaltet damit die in Abschnitt 3.1.1 definierte Verwaltung der Tln-Zeiten der einzelnen Tln-Prozesse.

Die UNES-Systemzeit wird vom Modul TeMo in Form einer direkten Leseoperation auf ein Hardware-Register innerhalb des globalen Bereichs des Moduls ZeVe eingelesen. Bild 4.3 zeigt, daß dies jederzeit ohne eine Beeinträchtigung der Aktivitäten des lokalen ZeVe-Mikroprozessors erfolgen kann, da innerhalb des lokalen Bereichs eine mit der UNES-Systemzeit synchronisierte, lokale Systemzeit separat für die Verwaltung der Endezeitpunkte der Tln-Zeiten zur Verfügung steht.

Die Kommunikation zwischen den Modulen TeMo und ZeVe hinsichtlich der Verwaltung der Endezeitpunkte der Tln-Zeiten erfolgt mit Hilfe der Meldungen "Start-Tln-Zeit" (StTZ-Meldung), "Stop-Tln-Zeit" (SpTZ-Meldung) und "Tln-Zeit ist abgelaufen" (TMO-Meldung) über gerichtete Ein- und Ausgabepuffer nach der FIFO-Abfertigungsstrategie (FIFO, engl. First In First Out) im globalen Bereich des Moduls ZeVe. Diese Puffer sind durch Software-gesteuerte Ringpuffer realisiert. Das Modulbus-Interface ermöglicht dem Modul TeMo parallel zu

den lokalen Aktivitäten des ZeVe-Mikroprozessors Meldungen in den Eingabepuffer einzuschreiben bzw. aus dem Ausgabepuffer auszulesen.

Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Moduls ZeVe ist die Handhabung der 1000 Endezeitpunkte in Echtzeit signifikant. Die Endezeitpunkte sind zyklisch mit der lokalen Systemzeit zu vergleichen. Hierzu sind die Endezeitpunkte als Elemente in einer geordneten Struktur im lokalen Bereich zu speichern. Wird ein Endezeitpunkt durch die Systemzeit überschritten, so ist der Endezeitpunkt aus der geordneten Struktur herauszunehmen und für den zugehörigen Tln-Prozeß eine TMO-Meldung in den Ausgabepuffer einzutragen.

Für den Aufbau von geordneten Strukturen kann nach der Methode der "verketteten Liste" oder der "geordneten Tabelle" vorgegangen werden /74/.

Der Vorteil bei der Methode der "verketteten Liste" besteht darin, daß beim Einfügen oder Herausnehmen eines Listenelementes keine Ver-

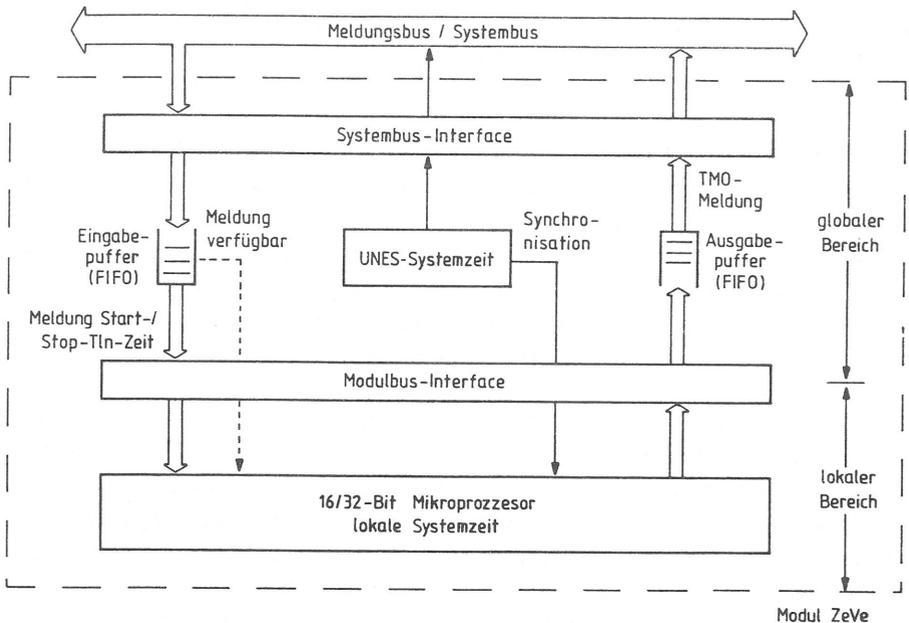


Bild 4.3 : Struktur des Moduls Zeitverwaltung (ZeVe)

schiebeoperationen notwendig sind. Der entscheidende Nachteil liegt im prinzipiell größeren Speicherplatzbedarf durch den bzw. durch die für jedes Listenelement benötigten Zeiger. Im Vergleich zu der Methode der "geordneten Tabelle" werden 150% mehr Speicherplatz für die im Modul ZeVe zu verwaltenden Listenelemente (im nachfolgenden auch Tabellenelemente genannt) benötigt. Da aus Implementierungsaspekten der im lokalen Bereich zur Verfügung stehende Speicherplatz hierfür nicht ausreicht, erfolgt der Aufbau der geordneten Struktur nach der Methode der "geordneten Tabelle".

Werden die einzelnen Tabellenelemente monoton aufsteigend nach ihrem Endezeitpunkt geordnet, so hat dies den Vorteil, daß nur das erste Tabellenelement zyklisch mit der Systemzeit verglichen werden muß. Andererseits müssen beim Einfügen oder Herausnehmen eines Tabellenelementes Suchoperationen über die gesamte Tabelle und Verschiebeoperationen über den nachfolgenden Teil der Tabelle durchgeführt werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn entweder eine StTZ- bzw. SpTZ-Meldung empfangen oder wenn ein Endezeitpunkt überschritten wurde.

Die Anzahl der Such- bzw. Verschiebeoperationen kann, wie im nachfolgenden beschrieben, reduziert werden :

Die in der Struktur geordneten Tabellenelemente enthalten als Information den Endezeitpunkt, die Tln-Prozeßnummer und die Tln-Zeitnummer (siehe hierzu auch die Abschnitte 3.1.1 und 3.1.3). Mit Hilfe der Tln-Prozeßnummer wird die geordnete Struktur in mehrere Tabellen aufgebrochen, was einer ZeVe-internen Einteilung der Tln-Prozesse in "Gruppen" entspricht. Dies hat den Vorteil daß sich die Anzahl der Such- bzw. Verschiebeoperationen verkleinert, hat aber auch den Nachteil, daß pro Vergleichszyklus die ersten Tabellenelemente von mehreren Tabellen mit der Systemzeit verglichen werden müssen.

Da die maximale Anzahl von Meldungen je Tabelle bekannt ist, kann durch die Organisation einer Tabelle in Form eines Ringpuffers erreicht werden, daß ein Verschieben der nachfolgenden Tabellenelemente entfällt, wenn die Systemzeit den Endezeitpunkt des ersten Tabellenelements überschritten hat.

Einen Ansatz zur Bestimmung der optimalen Tabellenanzahl l_{opt} mit Hilfe der mittleren Anzahl von TZY Taktzyklen für das Einfügen oder das Löschen eines Listenelementes und Abfragen aller Tabellen auf einen überschrittenen Endezeitpunkt einschließlich des Eintragens eventuell entstehender TMO-Meldungen in den Ausgabepuffer zeigt Gl.(4.2). Gl.(4.4) verdeutlicht, daß eine optimale Anzahl von Tabellen existiert (siehe Gl.(4.5)), bei welcher die Anzahl der Taktzyklen und damit die Bearbeitungsdauer $T_{ZeVe,M}$ beim Empfang einer StTZ- oder SpTZ-Meldung minimal ist. In Bild 4.4 sind als Funktion der Tabellenanzahl l und der Wahrscheinlichkeit p_E die Bearbeitungsdauern $T_{ZeVe,M}$ für die Fälle einer Codierung der Steuersoftware in Assembler und zwei höheren Programmiersprachen (C, Pascal) aufgezeigt. Der Wertebereich (0,1) der Wahrscheinlichkeit p_E kann in zwei Teilbereiche aufgeteilt werden :

$$TZY = K + p_E (C_E \ln(n_l) + C_V \frac{n_l}{2}) + p_L (C_L \frac{n_l}{2} + C_V \frac{n_l}{2}) + C_A l \quad (4.2)$$

- n Gesamtzahl aller in Tabellen befindlicher Meldungen
- l Anzahl von Tabellen
- n_l Anzahl von Meldungen pro Tabelle; $n_l = \frac{n}{l}$
- K von n oder l unabhängige Konstante, gibt eine Anzahl von Taktzyklen an
- p_E Wahrscheinlichkeit dafür, daß die eintreffende Meldung eine StTZ-Meldung ist (→ Einordnen)
- p_L Wahrscheinlichkeit dafür, daß die eintreffende Meldung eine SpTZ-Meldung ist (→ Löschen); $p_L = 1 - p_E$
- C_E Ein Suchschritt beim Einordnen
- C_V Verschiebung einer Meldung; keine Unterscheidung zwischen Einordnen und Löschen
- C_L Ein Suchschritt beim Löschen
- C_A Abfragen einer Tabelle nach abgelaufener Zeit

$$TZY = K + E \cdot \ln\left(\frac{n}{l}\right) + D \cdot \frac{n}{l} + C_A \cdot l \quad E = \frac{p_E C_E}{\ln 2} \quad D = \frac{1}{2} (C_V + p_L C_L) \quad (4.3)$$

$$\frac{d TZY}{d l} = -E \cdot \frac{1}{l} - D \cdot \frac{n}{l^2} + C_A \quad \frac{d^2 TZY}{d l^2} = E \cdot \frac{1}{l^2} + D \cdot \frac{n}{l^3} > 0 \quad (4.4)$$

$$l_{opt} = \frac{p_E \cdot C_E}{2 C_A \cdot \ln 2} + \sqrt{\left(\frac{p_E \cdot C_E}{2 C_A \cdot \ln 2}\right)^2 + \frac{n}{2 C_A} \cdot (C_V + p_L \cdot C_L)} \quad (4.5)$$

- $0.0 \leq p_E < 0.5$
dieser Fall kann in der Praxis nicht auftreten, da sonst im Mittel mehr SpTZ- wie StTZ-Meldungen empfangen werden
- $0.5 \leq p_E \leq 1.0$
je mehr p_E näher bei 1 liegt, desto weniger SpTZ-Meldungen werden empfangen. Dies bedeutet, daß immer weniger System(re)aktionen innerhalb den Warte-/Geduldszeiten empfangen werden.

In Bild 4.4 als auch in Tabelle 4.2 sind für $p_{n_{\max}} = 1000$ die Auswirkungen von p_E auf die Bearbeitungszeit $T_{ZeVe,M}$ und die optimale Tabellenanzahl l_{opt} aufgezeigt. Man erkennt, daß nur bei kleinen l beachtenswerte Unterschiede in der Bearbeitungszeit $T_{ZeVe,M}$ für verschiedene p_E auftreten. Die Berechnung für l_{opt} kann deshalb unabhängig von dem sich tatsächlich einstellenden Wert für p_E erfolgen.

Der Fall, daß keine Meldung empfangen wird und nur l_{opt} Tabellen abgefragt und l_{opt} TMO-Meldungen in den Ausgabepuffer eingetragen werden müssen, bewirkt maximal eine Bearbeitungszeit $T_{ZeVe,A}$ von $l_{opt} * c_A$ Taktzyklen und liegt im Bereich von 0.3 ms (Assembler) bis 1.0 ms (Pascal).

Die Auflösung der UNES-Systemzeit beträgt 1 ms. Tabelle 4.2 verdeutlicht damit die Notwendigkeit der Realisierung der ZeVe-Software durch eine Assembler-Codierung. Beim Einsatz einer Hochsprache kann nicht erreicht werden, daß die Summe der Bearbeitungszeiten $T_{ZeVe,M}$

	$p_E = 0.6$			$p_E = 0.9$		
	l_{opt}	$T_{ZeVe,M}$	T_{ZeVe}	l_{opt}	$T_{ZeVe,M}$	T_{ZeVe}
Assembler	24	0.6 ms	0.9 ms	23	0.6 ms	0.9 ms
C	22	1.3 ms	1.9 ms	21	1.2 ms	1.7 ms
Pascal	26	2.2 ms	3.2 ms	25	2.1 ms	3.1 ms

Tabelle 4.2 : Optimale Tabellenanzahl l_{opt} und Bearbeitungszeiten $T_{ZeVe,M}$ bzw. T_{ZeVe}

und $T_{ZeVe,A}$ (in Tabelle 4.2 mit T_{ZeVe} bezeichnet) kleiner ist als diese Auflösung. Dies würde bedeuten, daß vorgegebene Zeitintervalle bereits im Modul ZeVe erkennbar in ihrer Länge verfälscht würden.

Eine Untersuchung der von den Compilern erzeugten Maschinencodes zeigt, daß die Ursache der signifikanten Unterschiede einmal in dem erzeugten Programmcode zum Verschieben von Listenelementen und zum zweiten in der Verwendung des Registersatzes des Mikroprozessors liegt. Die untersuchten Hochsprachen-Compiler sind nicht in der Lage, alle Register des Registersatzes oder vorteilhafte Befehle für die Bildung von Programmschleifen zu verwenden.

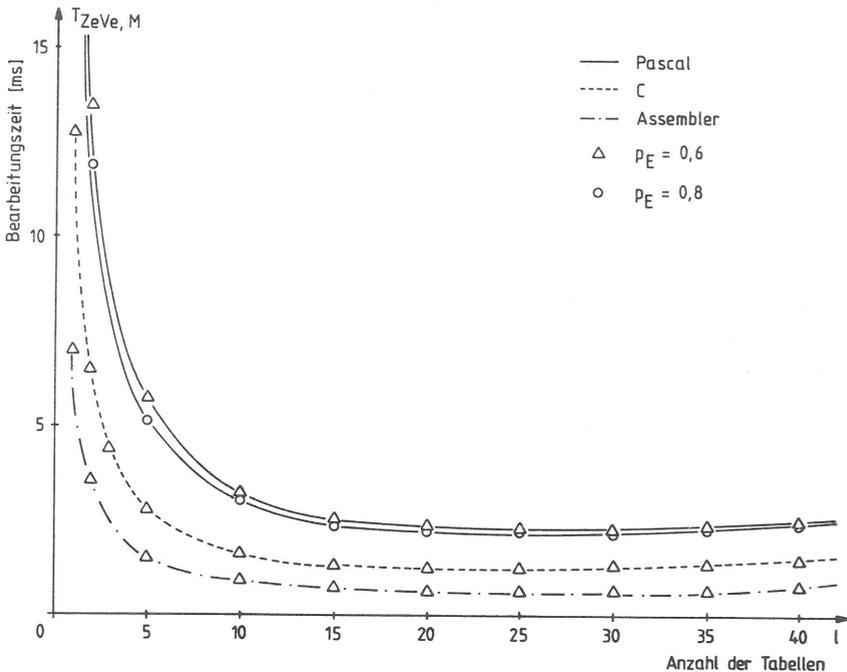


Bild 4.4 : Einfluß der Tabellenanzahl l und der Art der Codierung auf die Bearbeitungsdauer $T_{ZeVe, M}$ ($p_{n,max} = 1000$)

4.1.3 Struktur der Lasttest-Software

Basierend auf der in Abschnitt 2.6.5 aufgezeigten Hardware-Struktur und der in Abschnitt 3.1 beschriebenen TIn-Modellierung ist die bei einem Lasttest verwendete Gesamtstruktur der Programme (Firmware) der einzelnen Hardwaremodule in Bild 4.5 dargestellt. Die Gesamtstruktur ist hierarchisch in 3 Ebenen aufgeteilt. Ebene 1 beinhaltet die der Systemsteuerung zugeordneten Funktionen (Modul SySt, siehe auch die Abschnitte 2.6.4 und 2.6.5). Ebene 2 beinhaltet während einer Simulation (Lasttest) die Nachbildung des Zustandsraumes der TIn-Prozesse und die Steuerung des UNES-internen Meldungsflusses (Modul TeMo). Ebene 3 beinhaltet die Unterstützungsfunktionen der Module ZeGe, ZeVe und ZiIn, wobei in Bild 4.5 das Modul ZiIn aufgrund einer Implementierung mit Hilfe von Standardschaltkreisen nur der Vollständigkeit halber mit aufgeführt ist.

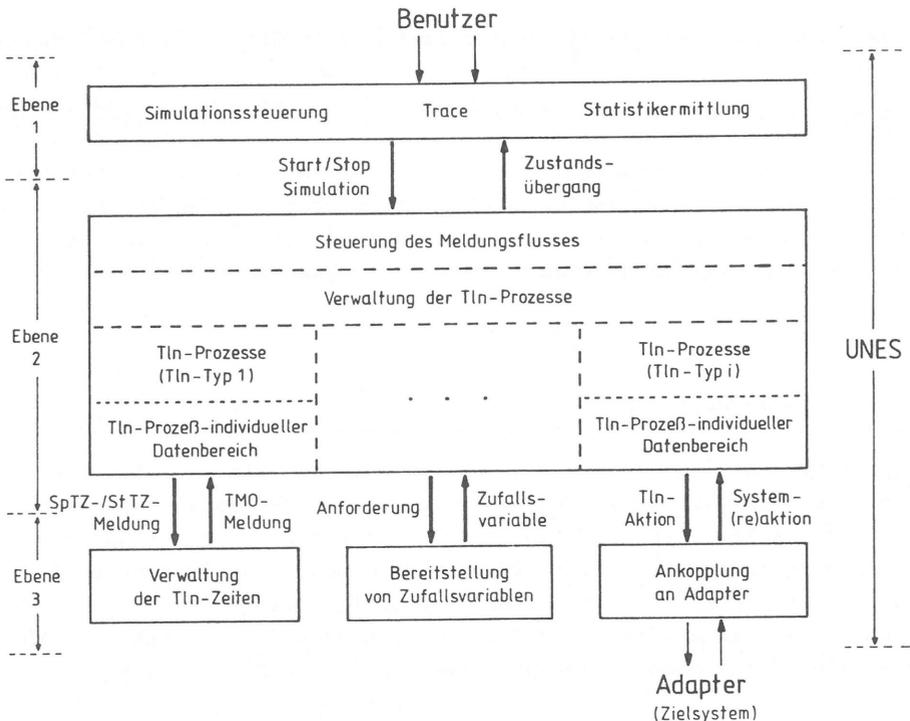


Bild 4.5 : Struktur der Lasttest-Software

Nach dem Start eines Lasttests wird mit Hilfe der Ebene 1 zum einen der Programmcode der einzelnen Hardware-Module vom Massenspeicher eingelesen und direkt in die jeweiligen Modulspeicher eingeschrieben und zum anderen eine Initialisierung des Multiplizierwerks und der Tabellen des Moduls ZuGe durchgeführt. Danach aktiviert Ebene 1 durch Hardware-Steuerleitungen die Verarbeitungseinheiten der Ebenen 2 und 3 und übergibt die Steuerung des Systems an Ebene 2. Nach einer ebeneninternen Initialisierung werden durch die Ebene 2 für alle Tln-Prozesse zum einen die individuellen Datenbereiche initialisiert als auch die zugehörigen Tln-Zeiten bestimmt und an das Modul ZeVe weitergegeben. Dies kennzeichnet den Beginn eines Lasttests.

Während der Durchführung eines Lasttests erfolgt durch das Modul TeMo die Steuerung der Interaktionen (Meldungen) zwischen den Modulen TeMo, ZeVe, ZiIn und SySt als auch die Verwaltung der Tln-Prozesse entsprechend der Beschreibung in Abschnitt 3.1.3.

Das Ende eines Lasttests wird von Ebene 1 mit Hilfe einer Meldung an Ebene 2 signalisiert. Von Ebene 2 wird daraufhin kein Verbindungswunsch mehr initiiert. Sind alle Tln-Prozesse nach einer bestimmten Zeit inaktiv (Zustand Ruhe), so wird dies der Ebene 1 gemeldet. Ebene 1 deaktiviert daraufhin Ebene 2 und 3 durch Hardware-Steuerleitungen und übernimmt wieder die Steuerung über das Gesamtsystem. Mit dieser Vorgehensweise kann überprüft werden, ob auch das Zielsystem ohne weitere äußere Anreize wieder in den Ruhezustand zurückkehrt.

4.1.4 Zusammenfassung

Die Länge des Zyklus, die Gleichverteilung und die Unabhängigkeit der vom Zufallszahlengenerator bereitgestellten Pseudo-Zufallszahlen (bzw. Zufallsvariablen) haben einen direkten Einfluß auf das simulierte Teilnehmerverhalten. Da während eines Zustandsüberganges jeweils eine Reihe von Zufallszahlen benötigt werden, sollten der gewählte Algorithmus bzw. die Startwerte auch auf eine Unabhängigkeit mehrerer aufeinanderfolgender Zufallszahlen ausgerichtet sein.

Die Zeitdauer für die Bereitstellung und die Übertragung einer Zu-

fallszahl bzw. -variable haben einen direkten Einfluß auf die Zeitdauer eines Zustandsüberganges. Dieser Effekt ist nur dann vermeidbar, wenn die Summe der Einzelzeiten zur Bereitstellung einer Zufallszahl und zur Transformation in eine Zufallsvariable in derselben Größenordnung von zwei aufeinanderfolgenden Speicherzugriffen der übergeordneten Verarbeitungseinheit liegt und die Übertragung einzelner Zufallsvariablen auf der Basis von direkten Leseoperationen auf Hardware-Register erfolgt.

Typische Lösungen auf der Basis von industriell verfügbaren Verarbeitungseinheiten und einer entsprechenden Software sind nicht verwendbar, da die oben aufgeführten Zeitbedingungen nicht eingehalten werden können. Es würde auch kein Vorteil bei der Transformation von Zufallszahlen in Zufallsvariablen bestehen. Analog zu der in Abschnitt 4.1.1 beschriebenen Lösung müßten für diese Transformationen entsprechende Tabellen verwendet werden.

Am Beispiel des Moduls ZuGe ist aufgezeigt, daß mit Hilfe von schnellen Standardschaltkreisen, einer Transformation von Zufallszahlen in Zufallsvariablen mittels Tabellen und der multiplikativen Kongruenzmethode mit speziell gewählten Startwerten für die Erzeugung von Pseudo-Zufallszahlen ein für die speziellen Belange der Umweltsimulation optimierter Zufallsvariablen-generator realisierbar ist und damit die Rückwirkungen auf das simulierte Teilnehmerverhalten bzw. auf die Leistungsfähigkeit des Simulators minimiert werden können.

Die Zielsetzung für das Modul ZeVe ist die Bereitstellung der in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Funktionalität ohne eine Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Moduls TeMo.

Dies ermöglicht das Modul ZeVe durch eine strikte Trennung der lokalen Modulaktivitäten und den allgemeinen Systemaktivitäten auf der Ebene der Hardware. Diese Trennung ist am Beispiel des Modulbus-Interfaces und der UNES-Systemzeit aufgezeigt. Vergleiche zeigen, daß diese Anforderung bei typischen, industriell verfügbaren Baugruppen aufgrund der auf Universalität ausgelegten Merkmale nicht erfüllt werden kann.

Die Leistungsfähigkeit des Moduls ZeVe ist wesentlich durch die Handhabung der 1000 Endezeitpunkte in Echtzeit bestimmt. Durch die Berücksichtigung mehrerer Einzelinformationen einer Meldung bzw. eines Tabellenelementes, einer damit der Aufgabenstellung angepaßten Datenstruktur und durch eine Codierung der Software in Assembler ist, im Vergleich zu typischen Standardimplementierungen, eine um Faktoren höhere Leistungsfähigkeit erreichbar.

Die Hardware des Umweltsimulators UNES besteht aus mehreren Modulen, mehreren Verarbeitungseinheiten und einem Meldungsbus/Systembus. Die Hardware-Struktur von UNES entspricht damit prinzipiell der typischen Struktur eines Standardmehrrechnersystems. Zwischen den einzelnen Modulen werden Meldungen über den Systembus ausgetauscht. Die Tatsache, daß nur ein Systembus verfügbar ist, stellt in der Regel einen Engpaß dar. Muß ein Modul auf das Freiwerden des Systembusses warten, dann entspricht dies direkt einem Warten der Verarbeitungseinheit des Moduls, was zu einer ineffizienten Auslastung führt.

Am Beispiel der Struktur der Lasttest-Software und der Steuerung des UNES-internen Meldungsflusses ist der Einfluß einer vorgegebenen Hardware-Struktur auf die Gesamtbetriebsweise aufgezeigt. Durch eine strikte Trennung der Zugriffsrechte auf den Systembus und einer hieran angepaßten Aufteilung der Einzelfunktionalitäten entstehen keine Wartezeiten für die einzelnen Verarbeitungseinheiten. Durch die Trennung der Zugriffsrechte als auch durch die Bereitstellung von Unterstützungsfunktionen in Hardware-Registern, wie sie in den Abschnitten 4.1.1 und 4.1.2 beschrieben wurden, kann erreicht werden, daß die Leistungsfähigkeit des zentralen Moduls TeMo nicht durch andere Module reduziert wird.

4.2 Meßverfahren und Auswertung

4.2.1 Erstellung der Statistik

Die Durchführung bzw. Steuerung eines Lasttests als auch die Erstellung der Statistik für Zeitintervalle erfolgt nach den Prinzipien der "stationären Simulation"¹⁾ /12,36,37,68,75/. Bei Belegungsarten oder Fehlverhalten erfolgt eine Bestimmung der absoluten oder relativen Häufigkeit über die gesamte Dauer eines Lasttests (siehe hierzu auch die Abschnitte 2.5 und 2.6.1, /37,68,70/).

Bei der stationären Simulation wird ein Simulationslauf in eine Vorlaufphase und eine Nutzphase unterteilt. Die Vorlaufphase dient zum Erreichen des stationären Zustands des Zielsystems und des Umweltsimulators. Die Nutzphase wird in Teiltests unterteilt. Während der Teiltests werden entsprechende Meßdaten gesammelt, die am Ende eines jeden Teiltests ausgewertet werden, um Stichproben für die einzelnen Meßgrößen (Auswerteobjekte) zu erhalten. Aus den Stichproben werden am Ende der Simulation empirische Schätzwerte für Mittelwert, Varianz und mit Hilfe des Student-t-Tests /36,37/ ein Konfidenzintervall für eine bestimmte Aussagesicherheit ermittelt.

4.2.2 Erfassung von Meßgrößen

Während eines Lasttests werden innerhalb des Moduls SySt die vom Modul TeMo empfangenen Statistik-/Fehler-Meldungen zur Bestimmung von vermittlungssystem- und teilnehmerprozeßrelevanten Meßgrößen (Aus-

1) : Durch ein Modifizieren von spezifischen Tabellen des Moduls TeMo durch das Modul SySt und ein neues Starten der aktiven Tln-Zeiten im Modul ZeVe nach den Prinzipien einer Treppenstufenapproximation während eines Simulationslaufes ist die Durchführung eines Lasttests im Sinne einer instationären Simulation, wie sie in /75/ beschrieben ist, möglich.

werteobjekte) in Echtzeit ausgewertet /37/. Die Bestimmung der vermittlungssystemrelevanten Auswerteeobjekte umfaßt typische Meßgrößen wie

- Wähltonverzug
- Ruftonverzug
- Blockierung vor, während oder nach der Wahlphase
- Fehlverhalten der Nebenstellenanlage
(siehe auch die Abschnitte 2.5 und 3.3.1, Bild 3.11)
- erfolgreiche Verbindungen usw..

Die Bestimmung der teilnehmerprozeßrelevanten Auswerteeobjekte umfaßt typische Meßgrößen wie

- Zielverteilung für eine Gruppe von Tln-Asl bzw. Amts-Asl
(Messung der ausgewählten B-Tln)
- Ursprungsverteilung für eine Gruppe Tln-Asl bzw. Amts-Asl
(Messung der anrufenden A-Tln)
- Verkehrswert für jede Tln-Asl und Amts-Asl
- Belegungsangebot für jede Tln-Asl und Amts-Asl
- Gesprächsdauer eines A-Tln bzw. B-Tln
- Wählzeit zwischen zwei Ziffern (Zwischenwählzeit)

usw., siehe auch Abschnitt 2.6.

Diese Meßgrößen dienen vor allem der Überprüfung der Parameter, welche während der Konfigurationsphase für die Nachbildung des Tln-Verhaltens vom Benutzer vorgegeben werden /70,71/ bzw. zur Ermittlung der Güte des von UNES erzeugten Meldungsverkehrs (siehe auch Abschnitt 4.3.3). Die Meßgrößen Ursprungsverteilung, Verkehrswert, Belegungsangebot können aber auch zum Teil zur Bewertung der vermittlungssystemrelevanten Auswerteeobjekte herangezogen werden.

Die Ermittlung der Auswerteeobjekte kann für eine Anzahl von Auswerteeinheiten parallel erfolgen. Eine Auswerteeinheit besteht aus einem oder aus mehreren Teilnehmern (Tln-Prozessen) und kann einem von drei unterschiedlichen Typen von Auswerteeinheiten zugeordnet werden :

- ein einzelner Tln-Prozeß
- eine zusammenhängende Gruppe von Tln-Prozessen
- alle maximal möglichen Tln-Prozesse (Sonderfall der Gruppe).

Dies ermöglicht eine sinnvolle Zuordnung bzw. Bestimmung von Meßgrößen für zum Beispiel Teilnehmer- oder Amtsanschlußleitungen.

Am Beispiel der Meßgröße "Wähltonverzug" eines IWV-/MFV-Tln wird im nachfolgenden die typische Vorgehensweise bei der Messung eines Zeitintervalles aufgezeigt.

Jeder Zustandsübergang eines Tln-Prozesses wird mit Hilfe einer Statistik- bzw. einer Fehler-Meldung an das Modul SySt gemeldet. Diese Meldungen enthalten im wesentlichen :

- die Tln-Prozeßnummer
- den Zeitpunkt des Zustandsüberganges (UNES-Systemzeit)
- den Typ der Meldung (Statistik-/Fehler-Meldung)
- den Ausgangs- und Folgezustand
- den Grund des Zustandsüberganges
(Tln-Zeitnummer einer TMO-Meldung oder System(re)aktion)
- weitere Parameter (z.B. gewählte Ziffer).

Anhand der Tln-Prozeßnummer wird die zugehörige Auswerteeinheit bestimmt. Damit ist festgelegt, welche Auswerteobjekte zu messen sind und ob die empfangene Meldung zur Messung eines Auswerteobjektes herangezogen werden muß.

Bei der Festlegung des Beginns und des Endes eines Intervalles müssen der Zustandsübergang und das auslösende Ereignis gleichermaßen berücksichtigt werden. Desweiteren darf aufgrund der Sonderfälle, wie sie in Abschnitt 3.3.1 (Bild 3.11) beschrieben wurden, bei bestimmten Zustandsübergängen nur das Zeitintervall bestimmt und zwischengespeichert werden. Ob ein Hinzunehmen dieses Zeitintervalles zu den Teilttest-Statistikberechnungen möglich ist, entscheidet einer der nachfolgenden Zustandsübergänge.

Bild 4.6 zeigt, daß der Beginn des Zeitintervalles durch den Zustandsübergang "Ruhe --> Abgehoben" bestimmt ist (Symbol "ZB", Zeitintervall-Beginn). Das auslösende Ereignis (TMO-Meldung) muß nicht weiter berücksichtigt werden, da dieser Zustandsübergang eindeutig ist.

Das Ende des Zeitintervalles ist durch die zwei möglichen Ereignisse "TB-Meldung" oder "TMO-Meldung" bestimmt :

Beim Empfang der "TMO-Meldung" hat das Zielsystem innerhalb der Geduldszeit "Warten auf Wählton" nicht reagiert. Die Zeitpunkte der Zustandsübergänge "Abgehoben --> Ruhe" oder "Abgehoben --> 1. Ziffer gewählt" werden als das Ende des Zeitintervalles festgelegt. Das so bestimmte Zeitintervall wird zu den Teilttest-Statistikberechnungen hinzugenommen. Dies ist in Bild 4.6 mit den Symbolen "ZE" (Zeitintervall-Ende) und "ZS" (Zeitintervall-Statistik) gekennzeichnet.

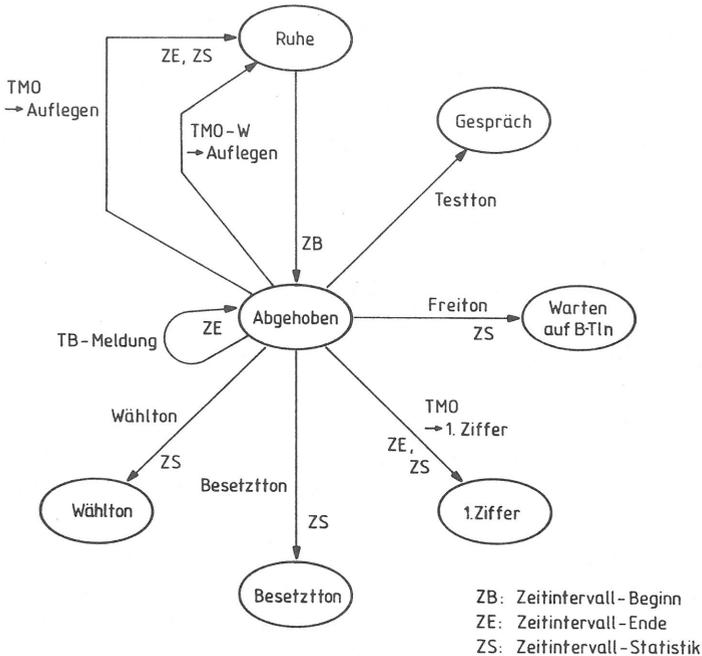


Bild 4.6 : Messung eines Zeitintervalles (Wähltonverzug)

Beim Empfang der "TB-Meldung" ist nur das Ende des Zeitintervalles bestimmt. Ob ein Hinzunehmen dieses Zeitintervalles zu den Teilttest-Statistikberechnungen möglich ist, entscheidet einer der nachfolgenden Zustandsübergänge.

Das durch die "TB-Meldung" bestimmte Zeitintervall darf dann nicht für die Teilttest-Statistikberechnungen verwendet werden, wenn

- eine "TMO-W-Meldung" empfangen und dadurch ein Zustandsübergang "Abgehoben --> Ruhe" durchgeführt wird (Fehler im Adapter)
- eine "Testton"-Meldung empfangen und dadurch ein Zustandsübergang "Abgehoben --> Gespräch" durchgeführt wird. In diesem Fall handelt es sich z.B. um den in Abschnitt 3.2.1 (Bild 3.6) beschriebenen Sonderfall der Ruferkennung.

Die Zustandsübergänge "Abgehoben --> Wählton" (Empfang der Meldung "Wählton"), "Abgehoben --> Warten auf B-Tln" (Empfang der Meldung "Freiton") und "Abgehoben --> Besetztton" (Empfang der Meldung "Besetztton") stellen dem Regelfall entsprechende Systemreaktionen dar und ermöglichen die Hinzunahme des zuvor durch die "TB-Meldung" bestimmten Zeitintervalles zu den Teilttest-Statistikberechnungen.

Die oben beschriebene Vorgehensweise ist für die Fälle

- "TMO-Meldung" und Zustandsübergang "Abgehoben --> Ruhe"
- "Testton-Meldung" und Zustandsübergang "Abgehoben --> Gespräch"

aber nur dann sinnvoll, wenn die Geduldszeit bzw. Zufallsvariable "Warten auf Wählton" eine untere Schranke besitzt, welche größer ist als die längste Pausenphase aller Intervalltöne mit denselben Frequenzmerkmalen. Nur diesem Fall ist eine effektive Modellierung des Sonderfalles der Rufbeginn-Erkennung, wie er in Abschnitt 3.2.1 (Bild 3.6) beschrieben wurde, durch das Anschalten eines Testtones durch den A-Tln während der Gesprächsphase möglich. Wenn die Geduldszeit keine derartige untere Schranke besitzt, so kann dies zur Folge haben, daß aufgrund der Besonderheiten der Tonende-Erkennung für den A-Tln (siehe Abschnitt 3.2.2) noch kein Testton als Merkmal der Gesprächsphase vom A-Tln angeschaltet werden kann, bei dem eigentlich gerufenen B-Tln die Geduldszeit "Warten auf Wählton" abläuft und er aufgrund der TMO-Meldung wieder auflegt. Das so be-

stimmte Zeitintervall (TMO-Meldung und Zustandsübergang "Abgehoben --> Ruhe" bzw. "Abgehoben --> 1. Ziffer gewählt") darf dann im Gegensatz zum oben beschriebenen Fall nicht zu den Teilttest-Statistikberechnungen hinzugenommen werden.

4.2.3 Einfluß des HKZ-Verfahrens auf die Auswertung von Meßergebnissen

Durch einen Simulationslauf werden die Stützpunkte der diskreten Verteilung und der diskreten, komplementären Verteilungsfunktion für die Zeitdauer einer bestimmten System(re)aktion auf der Basis eines Histogrammes bestimmt. Durch die Klassenbildung und die Zusammenfassung/Abbildung der einzelnen Meßwerte innerhalb einer Klasse auf die obere Schranke einer Klasse stellen die Stützpunkte nur eine Approximation bezüglich der tatsächlichen Verteilung dar. Die Güte dieser Approximation ist durch die Anzahl der Klassen und die Klassenbreite festgelegt. Sie ist mit bis zu 100 Klassen (bei beliebig vorgegebener Klassenbreite und oberer Schranke der ersten Klasse) für den Einsatz innerhalb des Umweltsimulators hinreichend genau.

Wie bereits in Abschnitt 3.2 beschrieben, ist aufgrund der implementierten Störimpulsunterdrückung im Adapter einerseits und der Problematik des Anschaltens bzw. des Abschaltens eines Tones (bzw. Rufes) während einer Tonpause (bzw. Rufpause) andererseits die Messung des exakten Zeitpunktes des Anschaltens bzw. Abschaltens eines Tones (bzw. Rufes) mit der gegebenen Simulator/Adapter-Kombination direkt nicht möglich. Dadurch sind auch die hierdurch bestimmten Zeitintervalle wie Wähltonverzug, Rufverzug oder Meldedauer nicht direkt messbar.

In den nachfolgenden beiden Abschnitten 4.2.3.1 und 4.2.3.2 ist an den Beispielen "Wähltonverzug" und "Meldedauer" beschrieben, inwieweit anhand der gemessenen Werte und den bekannten Verfälschungen durch die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Besonderheiten die tatsächlichen Verteilungen der gewünschten Zeitdauern (näherungsweise) bestimmt werden können.

4.2.3.1 Wähltonverzug

Bild 4.7 zeigt für den Fall des Wähltones und dem Zeitmerkmal Dauerton, daß der durch Messung ermittelte Wähltonverzug WT_G der Summe des tatsächlichen Wähltonverzuges WT_V und der Zeitdauer WT_{D2} für die Störpulsunterdrückung entspricht. Die Zeitdauer für die Störpulsunterdrückung ist in den Baugruppen des peripheren Teils des Adapters durch einen in Software realisierten Algorithmus bestimmt und besitzt typischerweise die in Bild 4.8 dargestellte diskrete Verteilung und komplementäre Verteilungsfunktion. Die Notwendigkeit, kurze Störimpulse auf der Tln- bzw. Amts-Asl zu unterdrücken und der Implementierungsaspekt, verfügbare Peripheriebaugruppen einer Nebenstellenanlage ohne Modifikationen der Hardware innerhalb des peripheren Teils des Adapters einzusetzen, bewirken den in Bild 4.8 aufgeführten prinzipiellen Verlauf der komplementären Verteilungsfunktion.

Der Erwartungswert $E[WT_V]$ kann durch Subtraktion der einzelnen Erwartungswerte $E[WT_G]$ und $E[WT_{D2}]$ ermittelt werden :

$$E[WT_G] = E[WT_V] + E[WT_{D2}] \quad (4.6)$$

$$E[WT_V] = E[WT_G] - E[WT_{D2}]$$

Die Verteilung der Summe zweier unabhängiger Zufallsgrößen ist durch die Anwendung der Faltungsoperation auf die Verteilungen der Zufallsgrößen bestimmbar. Somit kann die gemessene, diskrete Verteilung $p_{WTG}(t)$ als das Ergebnis einer Faltung von $p_{WTV}(t)$ mit $p_{WT_{D2}}(t)$

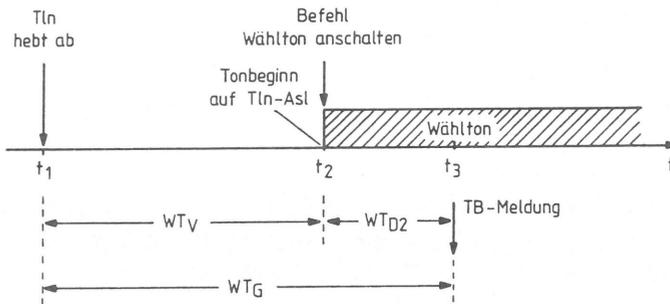


Bild 4.7 : Messung des Wähltonverzuges durch UNES (Dauerton)

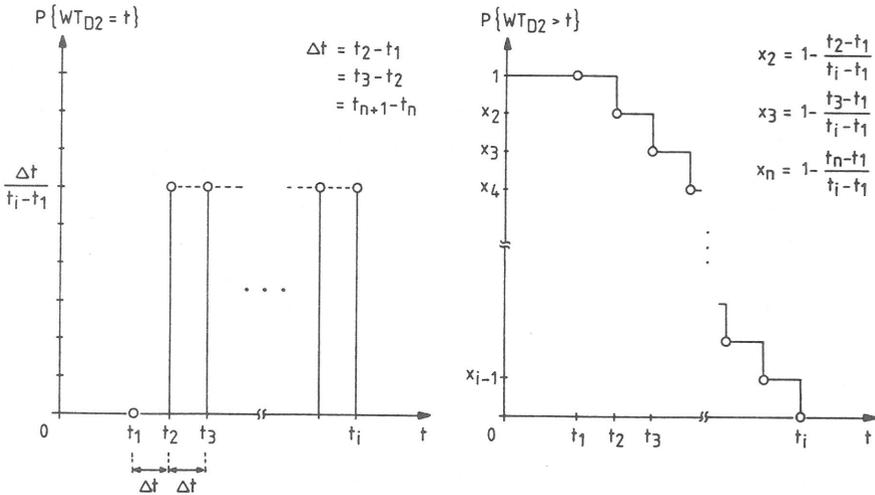


Bild 4.8 : Verteilung und komplementäre Verteilungsfunktion der Zeitdauer WT_{D2} (Störimpulsunterdrückung)

$$\begin{aligned}
 P_{WTV}(t) &= P\{WT_V = t\} & t &= t_0, t_1, t_2, \dots \\
 P_{WTD2}(t) &= P\{WT_{D2} = t\} & t &= t_0, t_1, t_2, \dots \\
 P_{WTG}(t) &= P\{WT_G = t\} & t &= t_0, t_1, t_2, \dots
 \end{aligned}
 \tag{4.7}$$

$$P_{WTG}(t_x) = \sum_{i=0}^x P_{WTV}(t_{x-i}) \cdot P_{WTD2}(t_i) \quad x = 0, 1, 2, \dots
 \tag{4.8}$$

$$P_{WTV}(t_x) = \begin{cases} \frac{P_{WTG}(t_k)}{P_{WTD2}(t_k)} & x = 0 \\ \frac{P_{WTG}(t_{k+x})}{P_{WTD2}(t_k)} - \frac{1}{P_{WTD2}(t_k)} \sum_{i=0}^{x-1} P_{WTD2}(t_{k+x-i}) \cdot P_{WTV}(t_i) & x = 1, 2, 3, \dots \end{cases}
 \tag{4.9}$$

$$k = \min\{j | P_{WTD2}(t_j) \neq 0\}$$

(Gl.(4.7)) aufgefaßt werden, wobei dann die einzelnen Stützpunkte der Verteilung $p_{WTG}(t)$ entsprechend Gl.(4.8) festgelegt sind. Eine Aufsummierung im Intervall $[0, X]$ ist ausreichend, da bei der Faltung nur in diesem Intervall Stützpunkte mit einem Wert größer Null auftreten /1/.

In der Beziehung $WT_G = WT_V + WT_{D2}$ sind die Verteilungsfunktionen der Größen WT_G und WT_{D2} aus der Messung bzw. dem Störpulsunterdrückungsalgorithmus bekannt. Da WT_V und WT_G statistisch unabhängig voneinander sind, kann die Verteilungsdichtefunktion von WT_G aus den Verteilungsdichtefunktionen von WT_V und WT_{D2} durch die Faltungsoperation formal dargestellt werden. Die Verteilungsdichtefunktion der gesuchten Zufallsgröße WT_V folgt nach der Theorie der Faltung als Lösung einer "Integralgleichung 1. Art". Diese Integralgleichung ist im allgemeinen Falle nicht auflösbar. Im diskreten Falle dagegen können die Werte der gesuchten Verteilung $p_{WT_V}(t)$ sukzessive bestimmt werden ("Rückfaltung"), vergl. Gl.(4.9). Die Variable k repräsentiert den Index des Zeitpunktes t_k des ersten Stützpunktes der Verteilung $p_{WT_{D2}}(t)$ mit einem Wert ungleich Null. Damit wird sichergestellt, daß keine Division durch Null durchgeführt wird.

Durch die Klassenbildung bzw. unterschiedlich langen Verzögerungszeiten in den einzelnen Meldungspuffern ist es möglich, daß bei der Bestimmung der einzelnen Stützpunkte für $p_{WT_V}(t)$ negative Werte ermittelt werden. In diesem Falle wird von einer Unabhängigkeit der beiden Zufallsgrößen WT_G und WT_{D2} ausgegangen und die Differenz der

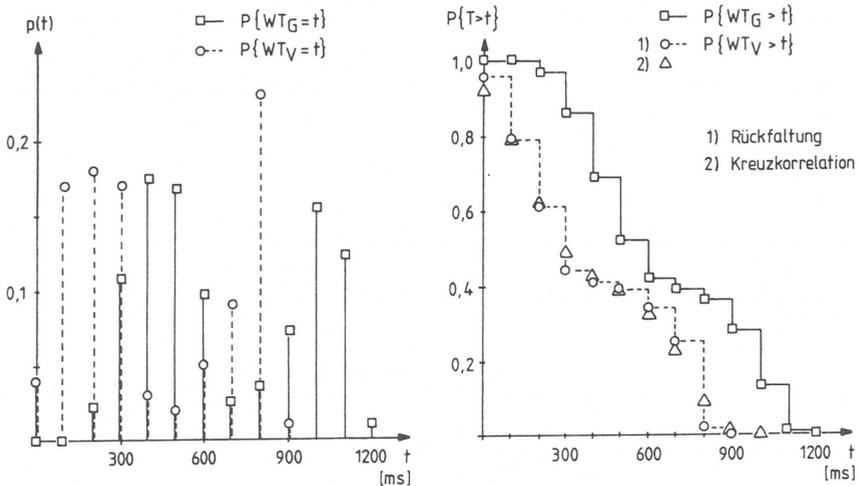


Bild 4.9 : Verteilung und komplementäre Verteilungsfunktion des gemessenen und tatsächlichen Wähltonverzuges (Dauerton)

Verteilungen mittels der Kreuzkorrelationsfunktion bestimmt. In Bild 4.9 sind mit typischen Werten für eine gemessene Verteilung $p_{\text{WTG}}(t)$ (für den Fall eines Dauertones) und der in Bild 4.8 aufgezeigten Verteilung $p_{\text{WTD}_2}(t)$ für die Störimpulsunterdrückung die hieraus mit Hilfe der "Rückfaltung" bzw. durch Anwendung der Kreuzkorrelation ermittelte Verteilung und komplementäre Verteilungsfunktion des tatsächlichen Wähltonverzuges WT_V dargestellt. Bei der Anwendung der Kreuzkorrelation wird, trotz möglicher "Rückfaltung", hierbei von einer Unabhängigkeit der Zufallsgrößen WT_G und WT_{D_2} ausgegangen. Bild 4.9 zeigt, daß auch mit Hilfe der Kreuzkorrelation eine für die Praxis hinreichend genaue Verteilung für WT_V ermittelt werden kann.

Für den Fall des Wähltones mit dem Zeitmerkmal "Intervallton" zeigt Bild 4.10, daß der durch Messung ermittelte Wähltonverzug WT_G durch die Summe der Zeitdauer WT_{D_1} , des tatsächlichen Wähltonverzuges WT_V und der Zeitdauer WT_{D_2} für die Störimpulsunterdrückung bestimmt ist. In Bild 4.11 sind mehrere Intervallwählöne mit verschiedenen Ton-/Pausen-Verhältnissen und die Möglichkeit der Anschaltung des Wähltones durch die Systemsteuerung während der Tonphase oder während der Pausenphase aufgezeigt. Die Größe WT_{D_1} entspricht damit der Zeitdauer zwischen dem Anschalten des Wähltones durch die Systemsteuerung während einer Tonpause und dem Ende der Tonpause (Beginn der folgenden Tonphase). Zur Bestimmung des tatsächlichen Wähltonverzuges WT_V werden in einem ersten Schritt die einzelnen Zeitdauern WT_{D_1} und WT_{D_2} in einer Größe WT_D zusammengefaßt. In einem zweiten Schritt werden die gemessene Verteilung $p_{\text{WTG}}(t)$ als das Ergebnis einer Faltung von

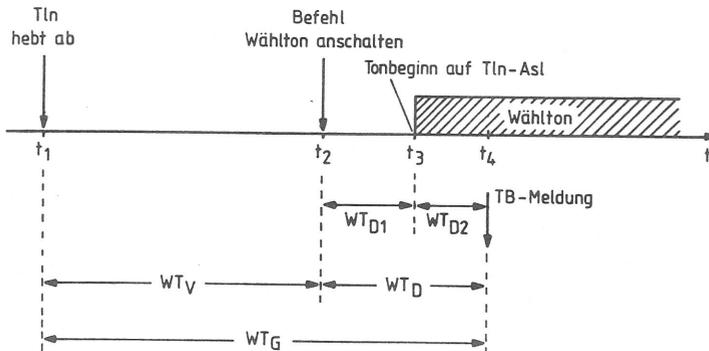


Bild 4.10 : Messung des Wähltonverzuges (Intervallton)

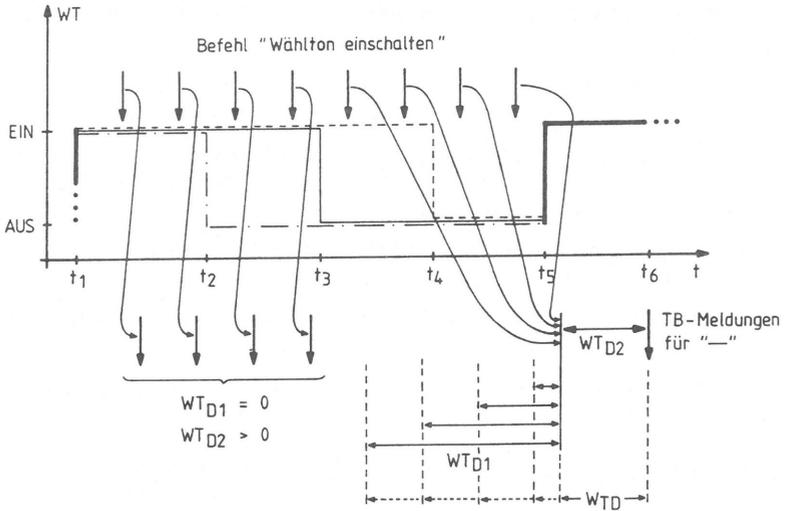


Bild 4.11 : Intervallwählöne mit unterschiedlichen Ton/Pausen-Verhältnissen

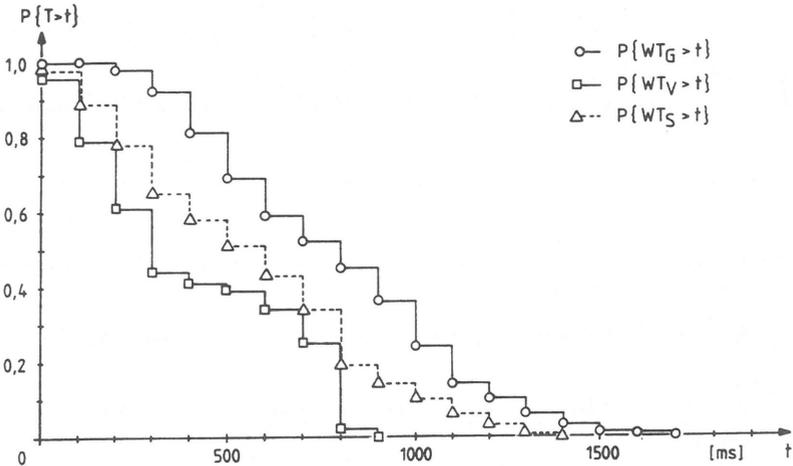


Bild 4.12 : Komplementäre Verteilungsfunktion des gemessenen und des tatsächlichen Wähltonverzuges (Intervallton)

$p_{WTV}(t)$ mit $p_{WTD}(t)$ aufgefaßt und eine diskrete Form der Verteilung $p_{WTV}(t)$ entsprechend der oben aufgezeigten "Rückfaltung" bzw. Anwendung der Kreuzkorrelation ermittelt.

Bild 4.12 zeigt mit typischen Werten für eine gemessene Verteilung $p_{WVG}(t)$, einer Verteilung $p_{WTD2}(t)$ entsprechend Bild 4.8, einer Verteilung $p_{WTD1}(t)$ nach Bild 4.11 mit einer Periode von 1 Sekunde ($t_p = 1$ s) und einem Ton/Pausen-Verhältnis von 1:1 die hieraus ermittelte komplementäre Verteilungsfunktion des tatsächlichen Wähltonverzuges WTV . Mit aufgezeigt zum Vergleich ist die komplementäre Verteilungsfunktion $P\{WTS, t\}$, bei welcher fälschlicherweise nur die Störpulsunterdrückung bei der "Rückfaltung" berücksichtigt wurde.

4.2.3.2 Meldedauer

Die Meldedauer M_D (Meldeverzug) eines Fernsprechvermittlungssystems ist auf der Seite des A-Tln durch den Beginn der Gesprächsphase und damit durch das Ende des Freitones und das Durchschalten der Verbindung durch das Koppelnetz festgelegt, siehe auch Abschnitt 2.5, Bild 2.9.

Bild 4.13. zeigt am Beispiel des Freitones (Dauerton), daß die Meldung "Tonende" (TE-Meldung, logisches Signalisierprimitiv) nach ei-

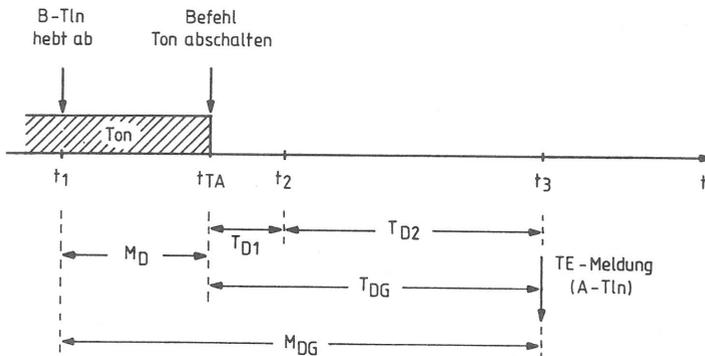


Bild 4.13 : Ende-Erkennung bei einem Dauerton

ner Verzögerungszeit T_{DG} vom Adapter an den Umweltsimulator übergeben wird. Die Zeitdauer T_{DG} setzt sich aus einer Zeitdauer T_{D1} zur Unterdrückung von Störimpulsen und einer Zeitdauer T_{D2} zur Verifikation des Tonendes und die gemessene Meldedauer M_{DG} aus der tatsächlichen Meldedauer M_D und der Zeitdauer T_{DG} zusammen. Zur Bestimmung von M_D muß hinsichtlich der Tonende-Erkennung zwischen einem Dauerton und einem Intervallton unterschieden werden :

Für den Fall eines Dauertones wird in einem ersten Schritt die Verteilung $p_{TDG}(t)$ durch die Faltung von $p_{TD1}(t)$ mit $p_{TD2}(t)$ bestimmt. In einem zweiten Schritt wird eine diskrete Form von $p_{MD}(t)$ mit Hilfe der "Rückfaltung" bzw. durch Anwendung der Kreuzkorrelation ermittelt.

Für den Fall eines Intervalltones ist die Bestimmung der Meldedauer prinzipiell nicht möglich. Bild 4.14 zeigt, daß die Zeitpunkte "B-Tln hebt" (Zeitpunkt t_B) und "Befehl Ton abschalten" (Zeitpunkte t_6, t_7, t_8) innerhalb einer Pausenphase liegen können. Es wird hierbei unabhängig von den Zeitpunkten $t_B, t_6, t_7,$ und t_8 eine TE-Meldung zum Zeitpunkt t_{11} übertragen. Für hinreichend genaue Messungen sind damit während eines Testbetriebes die Impulstöne durch Dauertöne zu ersetzen.

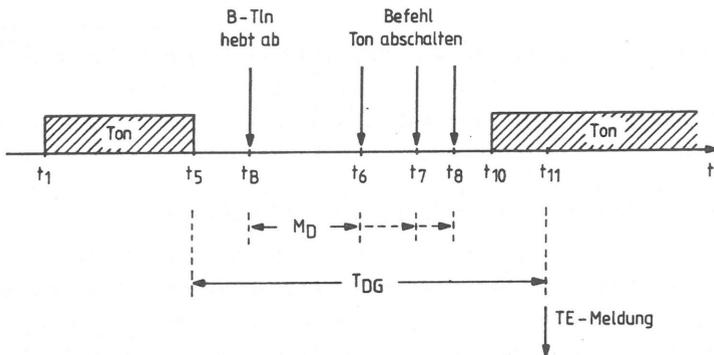


Bild 4.14 : Ende-Erkennung bei einem Intervallton, B-Tln hebt ab während der Pausenphase

4.2.4 Zusammenfassung

Die Durchführung bzw. Steuerung eines Lasttests als auch die Erstellung der Statistik für Zeitintervalle erfolgt nach den Prinzipien der "stationären Simulation" (siehe Abschnitt 4.2.1). Die Zahl der Teiltests und die Anzahl der Ereignisse pro Teiltest haben einen signifikanten Einfluß auf die Genauigkeit der Ergebnisse. Typische Werte sind 10 Teiltests und für jedes Auswertobjekt bis zu 10000 Ereignisse je Teiltest. Dies kann zu einer Dauer eines Lasttests von mehreren Tagen bzw. Wochen führen, so daß entweder die Anzahl der Teiltests oder die Anzahl von Ereignissen je Teiltest reduziert werden muß, obwohl dies zu einer kleineren Aussagesicherheit bei den Ergebnissen führt. Je nach Anzahl der insgesamt simulierten äußeren Schnittstellen können aus der Praxis Vorgaben mit 5 bis 10 Teiltests mit jeweils 500 bis 2000 Ereignissen je Teiltest als akzeptabel hinsichtlich der Dauer eines Simulationslaufes als auch hinsichtlich der Genauigkeit der ermittelten Ergebnisse genannt werden. Bezüglich der Dauer eines Simulationslaufes unterscheidet sich jedoch auch bei diesen Vorgaben die Umweltsimulation immer noch signifikant von typischen Simulationsverfahren wie z.B. der zeittreuen Simulation.

Im Gegensatz zum ISDN bewirkt das HKZ-Verfahren eine Reihe von Besonderheiten hinsichtlich einer Beginn- bzw. Ende-Erkennung bei Tönen und Rufen. In den Abschnitten 3.2 und 3.3.1 ist aufgezeigt, daß dies zwar zu einer größeren Anzahl von logischen Signalisierprimitiven führt, aber eine bestimmte Modellierung eines Teilnehmerverhaltens prinzipiell nicht unmöglich macht. Während eines Lasttests werden von UNES vermittlungssystem- und teilnehmerprozeßrelevante Auswertobjekte in Echtzeit ausgewertet. Auf der Basis des HKZ-Verfahrens zeigt Abschnitt 4.2.2 hierzu deutlich die Wechselwirkungen zwischen der Modellierung des Teilnehmerverhaltens und der Erfassung von Meßgrößen. Soll zum Beispiel die Teilnehmerverhaltensweise "Wahlbeginn vor Wählton" ein typisches, wesentliches Merkmal der Teilnehmermodellierung darstellen, so darf die Geduldszeit "Warten auf Wählton" keine untere Schranke in der Größenordnung der längsten Pausenphase besitzen. Dies muß insofern berücksichtigt werden, daß nun bestimmte, bereits erfasste Meßdaten aufgrund einer derzeitig nicht eindeutig interpretierbaren System(re)aktion vor dem Hinzunehmen zu den Teiltest-Statistikberechnungen verworfen werden müssen.

Weiterhin bewirken die Besonderheiten eine Verfälschung der von UNES ermittelten Meßergebnisse. Abschnitt 4.2.3 beschreibt die eintretenden Verfälschungen und eine mögliche Vorgehensweise zur Berechnung der tatsächlichen Verteilung der Zeitdauern bei all den Auswerteeobjekten, bei welchen der Beginn der Zeitdauer durch eine Tln-Aktion und das Ende der Zeitdauer durch eine System(re)aktion an denselben Tln charakterisiert sind. Dies beinhaltet typische vermittlungssystemrelevante Auswerteeobjekte wie Wähltonverzug oder Rufverzug.

Abschnitt 4.2.3 zeigt aber auch, daß bei all denjenigen Auswerteeobjekten, bei welchen der Beginn und das Ende durch Tln-Aktionen oder System(re)aktionen auf unterschiedlichen Teilnehmeranschlußleitungen charakterisiert sind, unterschieden werden muß zwischen einer Signalisierung mit einem Dauerton/Dauerruf oder einem Intervallton/Intervallruf. Bei einem Dauerton/Dauerruf ist approximativ eine Bestimmung der Verteilung der gesuchten Systemreaktionszeit möglich, bei einem Intervallton/Intervallruf jedoch nicht.

4.3 Leistungsgrenzen und Güte des Umweltsimulators

Mit Hilfe des Umweltsimulators UNES ist der Benutzer in der Lage, die Systemumgebung eines real vorhandenen Vermittlungssystems (Zielsystems) mit all seinen Besonderheiten und seinem Ausbau real in Echtzeit nachzubilden. Dies erfolgt für bis zu 1000 äußere Schnittstellen und erfordert somit auch auf Seiten des Umweltsimulators eine hohe Leistungsfähigkeit.

Da eine derartig vollständige Testkonfiguration nur selten zur Verfügung steht, kann die Feststellung der Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators nicht immer durch Messungen ermittelt werden. Deshalb wird für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators selbst, und damit für die Bestimmung einer optimalen UNES-internen Betriebsweise, der Umweltsimulator in ein Warteschlangenmodell mit einer entsprechenden Anzahl von Verarbeitungseinheiten (Bedienungseinheiten), Speicher- und Übertragungseinrichtungen umgesetzt. Dies erfolgt analog zu den bereits in Abschnitt 1.3 beschriebenen allgemeinen Vorgehensweisen zur Leistungsbestimmung eines Vermittlungssystems bzw. einer vermittlungstechnischen Einrichtung. Mit Hilfe einer simulativen Untersuchung nach den Prinzipien der stationären Simulation (siehe auch Abschnitt 4.2) werden das UNES-interne Ablaufgeschehen bzw. die dynamischen Vorgänge während eines Lasttests anhand des Modellabbildes auf einer Rechenanlage nachgebildet /53,80/.

In den nachfolgenden Abschnitten 4.3.1 und 4.3.2 werden eine derartige Abbildung des Umweltsimulators in ein Warteschlangenmodell und typische Simulationsergebnisse vorgestellt.

In Abschnitt 4.3.3 wird die Güte des von UNES erzeugten Meldungsverkehrs anhand von Messergebnissen aufgezeigt.

4.3.1 Simulations-Modell des Umweltsimulators

4.3.1.1 Verarbeitungseinheiten

Basierend auf der in den Abschnitten 2.6.5 und 4.1 aufgeführten Systemstruktur, Modulstruktur, Betriebsweise und dem Meldungsfluß zeigt Bild 4.15 die Abbildung des Umweltsimulators UNES in ein Warteschlangenmodell. Die im Modell enthaltenen Verarbeitungseinheiten sind über Puffer (FIFO-Abfertigungsstrategie) gekoppelt und entsprechen den einzelnen Rechereinheiten (Mikroprozessoren) in den jeweiligen Hardware-Modulen wie folgt :

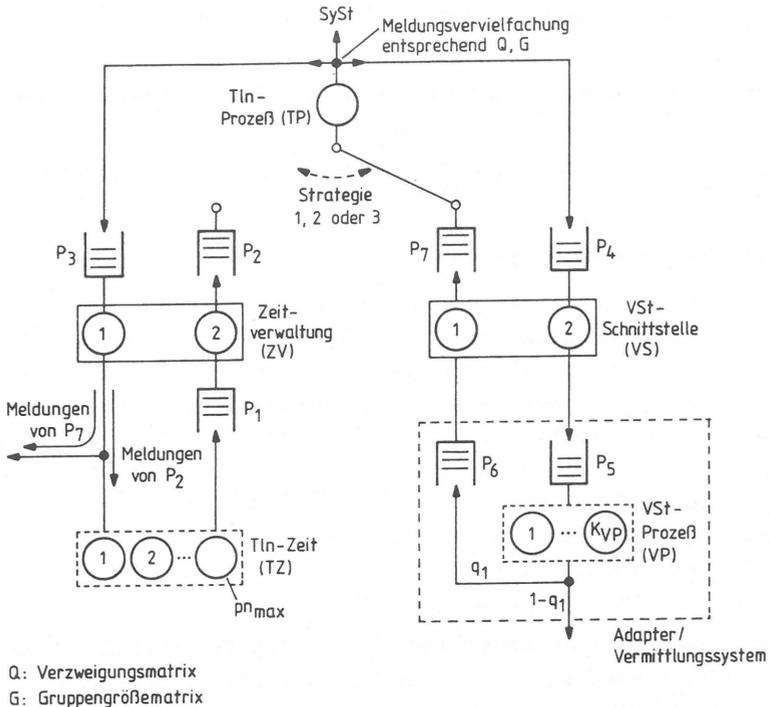


Bild 4.15 : Warteschlangenmodell des Umweltsimulators UNES für eine simulative Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators selbst

1) Verarbeitungseinheit "Zeitverwaltung" (ZV)

Die lokale Rechneinheit (16/32-Bit Mikroprozessor) des Hardware-Moduls ZeVe wird durch die Verarbeitungseinheit "Zeitverwaltung" modelliert. Sie beinhaltet die Verarbeitungszeiten für das Auslesen von Meldungen aus dem Eingabepuffer (Bedienphase 1), für das Einschreiben von Meldungen in den Ausgabepuffer und das Abfragen aller ersten Tabellenelemente (Bedienphase 2), siehe hierzu auch Abschnitt 4.1.2.

2) Verarbeitungseinheit "Tln-Zeit" (TZ)

Die Gruppe von $p_{n_{max}}$ Verarbeitungseinheiten "Tln-Zeit" repräsentiert die Tln-Zeiten der $p_{n_{max}}$ aktiven Tln-Prozesse. Der Ausgangsprozess (engl. departure process, siehe auch /53/) dieser Gruppe bildet den "TMO-Meldungs"-Verkehr, mit welchem die eigenständigen Tln-Aktionen der Tln-Prozesse nachgebildet werden (siehe auch die Abschnitte 3.1.1 und 4.1.2).

3) Verarbeitungseinheit "Tln-Prozeß" (TP)

Die lokale Rechneinheit (16/32-Bit Mikroprozessor) des Hardware-Moduls TeMo wird durch die Verarbeitungseinheit "Tln-Prozeß" modelliert. Sie bildet die Verarbeitungszeiten für die Steuerung des Meldungsflusses, für die Automaten-Zustandsverwaltung und für die Durchführung eines Zustandsüberganges nach (siehe auch Abschnitt 3.1.3).

4) Verarbeitungseinheit "VSt-Schnittstelle" (VS)

Die lokale Rechneinheit (16/32-Bit Mikroprozessor) des Hardware-Moduls ZiIn wird durch die Verarbeitungseinheit "VSt-Schnittstelle" modelliert. Sie beinhaltet die Verarbeitungszeiten für die bidirektionale Meldungspufferung, die Meldungsanpassung (analoge äußere Schnittstelle), die Nachbildung der Endegerätefunktionalität (digitale äußere Schnittstelle) und für die Steuerung des Meldungs austausches zwischen UNES und Adapter (Bedienphase 1 : Meldungen vom Zielsystem, Bedienphase 2 : Meldungen an das Zielsystem).

5) Die System(re)aktionen und -zeiten des Vermittlungssystems als auch die Bearbeitungszeiten des Adapters werden näherungsweise durch die Gruppe der Verarbeitungszeiten "VSt-Prozeß" (VP) nachgebildet.

Die Rechnereinheit des Moduls SySt und das Modul ZuGe sind in das Warteschlangenmodell nicht mit aufgenommen. Die Zugriffe auf das Modul ZuGe erfolgen mittels schnellen Leseoperationen auf Hardware-Register und sind in den Verarbeitungszeiten der Verarbeitungseinheit "Tln-Prozeß" enthalten (siehe auch die Abschnitte 4.1.1 und 4.1.3). Die Meldungen des Moduls TeMo an das Modul SySt werden direkt in einen Meldungspuffer innerhalb des Moduls SySt eingeschrieben (siehe auch Abschnitt 3.1.3). Der im Modul SySt implementierte Verarbeitungsalgorithmus gewährleistet, daß die empfangenen Meldungen im Mittel schneller aus dem Puffer ausgelesen und verarbeitet werden als sie durch das Modul TeMo eingeschrieben werden können /37,68/. Wie in Abschnitt 4.3.1.3 näher beschrieben, ist die zeitliche Belegung von TP für die Steuerung dieser Meldungsübertragung entsprechend berücksichtigt.

Die Bedienung der Puffer durch die einzelnen Verarbeitungseinheiten ist wie folgt :

Entsprechend dem in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Algorithmus zur Bearbeitung der Tabellen im Modul ZeVe erfolgt durch die Verarbeitungseinheit ZV zyklisch für Puffer P_1 eine erschöpfende und für Puffer P_3 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung.

Ein wesentliches Ziel des Umweltsimulators ist eine möglichst genaue Erfassung und Messung von Reaktionszeiten des Vermittlungssystems. Dies soll unter der Vorgabe erfolgen, daß die statistischen Eigenschaften des von UNES erzeugten Meldungsverkehrs möglichst beibehalten werden. Für die beiden Verarbeitungseinheiten TP und VS sind ohne Berücksichtigung von Mischformen prinzipiell drei unterschiedliche Bedienungs-Strategien der von ihnen auszulesenden Puffer möglich :

- Strategie 1

- Verarbeitungseinheit TP

Es erfolgt zyklisch für Puffer P_7 eine erschöpfende und für Puffer P_2 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung

- Verarbeitungseinheit VS

Es erfolgt zyklisch für Puffer P_6 eine erschöpfende und für Puffer P_4 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung

- Strategie 2
 - Verarbeitungseinheit TP
Es erfolgt zyklisch für Puffer P_7 und für Puffer P_2 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung
 - Verarbeitungseinheit VS
Es erfolgt zyklisch für Puffer P_6 und für Puffer P_4 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung
- Strategie 3
 - Verarbeitungseinheit TP
Es erfolgt zyklisch für Puffer P_2 eine erschöpfende und für Puffer P_7 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung
 - Verarbeitungseinheit VS
Es erfolgt zyklisch für Puffer P_4 eine erschöpfende und für Puffer P_6 eine auf eine Meldung begrenzte Bedienung.

Strategie 1 favorisiert die Genauigkeit der Messungen von System-(re)aktionen, während Strategie 3 das Ausgeben von TIn-Aktionen an den Adapter (Zielsystem) priorisiert. Strategie 2 behandelt die Meldungsflüsse "UNES --> Adapter" und "UNES <-- Adapter" gleichgewichtig. Im nachfolgenden Abschnitt 4.3.2 werden einige typische Auswirkungen der Strategien 1 und 2 auf die Zeitdauern bis zur endgültigen Ausgabe einer Meldung bzw. bis zum Verarbeiten einer Meldung durch die Verarbeitungseinheit TP aufgezeigt. Simulationsergebnisse der Strategie 3 werden in den Diagrammen des Abschnitts 4.3.2 nicht aufgeführt. Praktische Untersuchungen an der Testkonfiguration haben ergeben, daß bei dieser Strategie im Falle eines höheren Belegungsangebotes die im Adapter gepufferten (anstehenden) System(re)aktionen nicht mehr rechtzeitig durch UNES eingelesen werden. Dies führt zum einen zu einer signifikanten Verfälschung von Messungen und zum anderen zu einem nicht mehr sinnvollen Teilnehmerverhalten. Dieses "nicht sinnvolle" Teilnehmerverhalten ist mit der hier vorgestellten Abbildung nicht modellierbar.

4.3.1.2 Verkehrsquellen

Bei dem in Bild 4.15 dargestellten Modell handelt es sich um ein sogenanntes "geschlossenes Warteschlangenmodell", bei welchem keine

äußeren Verkehrsquellen existieren. Das Modell berücksichtigt jedoch die Tatsache einer Meldungsgenerierung (Meldungsvervielfachung) nach einer Bedienung in der Bearbeitungseinheit TP im Sinne einer Meldungsverzweigung (engl. branching process). Am Knoten der Meldungsvervielfachung (siehe Bild 4.15) bewirkt in Abhängigkeit des Ankunfts-puffers i ($i = 1, 2$ für die Meldungspuffer P_2, P_7) und der Zielverarbeitungseinheit j ($j = 1, 2, 3$ für die Verarbeitungseinheiten ZV, SySt, ZS) eine soeben in der Verarbeitungseinheit TP bearbeitete Meldung die Generierung einer Gruppe von Meldungen mit der Größe g_{ij} in Richtung j mit der Verzweigungs-Wahrscheinlichkeit q_{ij} entsprechend der Gruppengrößematrix G und der Verzweigungsmatrix Q (Gl.(4.10),(4.11)). Dies modelliert das Aussenden mehrerer Meldungen an unterschiedliche Zielmodule während eines Zustandsüberganges, wobei der Zustandsübergang durch eine Meldung verursacht wurde.

$$G = (g_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{bzw.} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

$$Q = (q_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ q_2 & q_3 & q_4 \end{pmatrix} \quad \text{bzw.} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1-q_2 & 1-q_3 & 1-q_4 \end{pmatrix} \quad (4.11)$$

Die Modellierung des von einem Teilnehmer erzeugten Meldungsverkehrs erfolgt mit Hilfe des unterbrochenen Poisson-Prozesses (UP-Prozeß, engl. IPP, Interrupted Poisson Process) und berücksichtigt damit die Eigenschaften der Wählphase, der Gesprächsphase und der Phase zwischen zwei Belegungen (Ruhephase) /62,116/. Die "Ein"-Phase des Prozesses entspricht der Wählphase, die "Aus"-Phase des Prozesses entspricht der Gesprächs- und Ruhephase. Die Zeitdauern zwischen zwei selbständigen Aktionen (Meldungen) eines Teilnehmers werden durch die stochastischen Bearbeitungsdauern T_x der Verarbeitungseinheiten TZ modelliert. Für den allgemeinen Fall entspricht die Verteilung der Bearbeitungsdauer T_x der Verteilung der Zwischenankunftsabstände eines allgemeinen, unterbrochenen Poisson-Prozesses /75, 116/. Unter der Annahme von Markoffschen "Ein"- und "Aus"-Phasen ergibt sich eine hyperexponentielle Verteilung zweiter Ordnung (H_2 -Verteilung) für die Bearbeitungsdauer T_x .

4.3.1.3 Meldungsfluß

TMO-Meldungen werden am Ende ihrer jeweiligen Bearbeitungsdauer von den pn_{\max} Bearbeitungseinheiten TZ in den Puffer P_1 eingetragen. Diese Meldungen werden nach der Belegung der Bedienphase 2 der Verarbeitungseinheit ZV in den Puffer P_2 abgelegt. Erreichen die TMO-Meldungen nach der Belegung von TP den Knoten der Meldungs-Vervielfachung, so bricht jede TMO-Meldung entsprechend den oben aufgeführten Gruppengröße- und Verzweigungsmatrixen G und Q in insgesamt drei Meldungen auf :

- eine Meldung in Richtung SySt
diese Meldung entspricht der Statistik-Meldung
- eine Meldung in Richtung ZV über Puffer P_3
diese Meldung entspricht der Start-Tln-Zeit-Meldung
- eine Meldung in Richtung VS über Puffer P_4
diese Meldung entspricht der Ausgabe der Tln-Aktion an das Zielsystem.

Die im Puffer P_3 abgelegten Meldungen belegen nach einer Bearbeitung in ZV (Bedienphase 1) eine entsprechend freie Verarbeitungseinheit innerhalb der Gruppe TZ. Die in Puffer P_4 abgelegten Meldungen werden durch VS (Bedienphase 2) bearbeitet und durch die Eintragung in Puffer P_5 an das Zielsystem ausgegeben.

Die Bearbeitungseinheiten VP repräsentieren die Bearbeitungszeiten des Adapters und die Reaktionszeiten des Zielsystems. Da auf eine Tln-Aktion nicht immer eine System(re)aktion erfolgt, werden Meldungen, welche VS verlassen, mit einer Wahrscheinlichkeit q_1 als System(re)aktion über P_6 an den Umweltsimulator zurückgeschleift.

Meldungen, welche von VP in Puffer P_6 eingetragen wurden, belegen VS (Bedienphase 1) und warten anschließend in Puffer P_7 auf eine Bearbeitung durch TP. Nach der Belegung von TP erreichen diese Meldungen den Knoten der Meldungsvervielfachung. Jede dieser System(re)aktionsmeldungen bricht nun entsprechend den in Abschnitt 4.3.1.2 aufgeführten Gruppengröße- und Verzweigungsmatrixen G und Q in mehrere Meldungen mit unterschiedlichen Zielen auf :

1) Richtung ZV

Mit der Wahrscheinlichkeit q_2 wird die derzeitige Tln-Zeit T_1 angehalten (Stop-Tln-Zeit-Meldung), ein Zustandsübergang durchgeführt und eine neue Tln-Zeit T_{1+} gestartet (Start-Tln-Zeit-Meldung, siehe auch die Abschnitte 3.1.1 und 3.1.3). Dies entspricht einem Eintragen von 2 Meldungen in den Puffer P_3 . Nach einer Belegung der Bedienphase 1 von ZV verlassen diese Meldungen das Modell. Dies bewirkt eine realistische Nachbildung des Meldungsflusses unter Vernachlässigung einer erzwungenen Beendigung einer Belegung und sofortigen Neubelegung einer Verarbeitungseinheit der Gruppe TZ. Mit der Wahrscheinlichkeit $1-q_2$ werden der derzeitige Zustand bzw. die derzeitige Tln-Zeit T_1 beibehalten und keine Meldungen in Richtung ZV übertragen.

2) Richtung SySt

Mit der Wahrscheinlichkeit q_3 stellt die empfangene Meldung (bzw. System(re)aktion) den "Fehlerfall" dar und es werden zwei Meldungen (Statistik- und Fehler-Meldung) an das Modul SySt übertragen. Mit der Wahrscheinlichkeit $1-q_3$ wird für den "Regelfall" bzw. den "Sonderfall" nur eine Statistik-Meldung übertragen (siehe auch Abschnitt 3.3.1). Wie bereits in Abschnitt 4.3.1.1 beschrieben, wird die weitere Verarbeitung dieser Meldungen im Modell nicht berücksichtigt.

3) Richtung VS

Mit der Wahrscheinlichkeit q_4 wird sofort beim Empfang einer System(re)aktion eine Tln-Aktion ausgegeben (Meldung an VS). Nur bei der Modellierung von Steuerprogrammen ist $q_4 > 0$, für die Nachbildung von realen Teilnehmern ist q_4 zu 0 gesetzt (siehe auch Abschnitt 3.1.1).

4.3.2 Ergebnisse

Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators werden neben den Auslastungen der Verarbeitungseinheiten die folgenden Transferzeiten innerhalb des Umweltsimulators auf der Basis einer simulativen Untersuchung verwendet :

- Einlesetransferzeit $T_{TF, Ein}$
Zeitdauer für das Einlesen einer Meldung (System(re)aktion) durch VS (Bedienphase 1), für die Durchführung des Zustandsüberganges durch Belegung von TP, Erzeugung und Eintragung aller entstehenden Meldungen am Knoten der Meldungsvervielfachung, für das Bearbeiten der Meldung durch die Bedienphase 1 der Verarbeitungseinheit ZV und für das Warten in den Puffern
- Ausgabetransferzeit $T_{TF, Aus}$
Zeitdauer für das Einschreiben einer TMO-Meldung in den Puffer P_1 , für die Belegung von ZV (Bedienphase 2), Durchführung des Zustandsüberganges durch Belegung von TP, Erzeugung und Eintragung aller entstehenden Meldungen am Knoten der Meldungsvervielfachung, für das Bearbeiten der Meldung durch die Bedienphase 2 von VS und für das Warten in den Puffern
- Zirkulartransferzeit $T_{TF, Zir}$
Zeitdauer für das Einschreiben einer TMO-Meldung in den Puffer P_1 , für die Belegung von ZV (Bedienphase 2), Durchführung des Zustandsüberganges durch Belegung von TP, Erzeugung und Eintragung aller entstehenden Meldungen am Knoten der Meldungsvervielfachung, Bearbeitung der Meldung durch die Bedienphase 1 der Verarbeitungseinheit Z und für das erneute Belegen einer Verarbeitungseinheit der Gruppe TZ und Warten in den Puffern.

Hinsichtlich einer Eingrenzung der möglichen Simulationsergebnisse einerseits als auch einer oberen Abschätzung der Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators bei einer realistischen Parametrierung andererseits sind die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse durch folgende Parameterwerte des Warteschlangenmodells bestimmt¹⁾ :

- $q_1 = 1$
- $Q = (q_{ij}) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$ bzw. $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$
- $K_{VP} = 100$

1) : In /54/ sind ausführlich eine Beschreibung des eingesetzten Simulationsprogrammes und eine Diskussion von Simulationsergebnissen enthalten.

- Verarbeitungseinheit VS
 Bedienphase 1 : $E[T_{VS,1}] = 0,63 \text{ ms}$, $c_{TVS,1} = 0$
 Bedienphase 2 : $E[T_{VS,2}] = 1,07 \text{ ms}$, $c_{TVS,2} = 0$
- Verarbeitungseinheit ZV
 Bedienphase 1 : $E[T_{ZV,1}] = 0,50 \text{ ms}$, $c_{TZV,1} = 0$
 Bedienphase 2 : $E[T_{ZV,2}] = 0,19 \text{ ms}$, $c_{TZV,2} = 0$
- Verarbeitungseinheit VP
 $E[T_{VP}] = 100 \text{ ms}$, $c_{TVP} = 1$

Die Zeiten für die einzelnen Bedienphasen der Verarbeitungseinheiten VS und ZV wurden durch Messungen an einer Testkonfiguration ermittelt. Die gewählten Bearbeitungsdauern der Gruppe VP entsprechen approximativ den Reaktionszeiten der Kombination Adapter/Zielsystem. Die Verteilung der Bearbeitungsdauer T_x entspricht einer H_2 -Verteilung. Unter Zugrundelegung der Symmetrieannahme für beide Phasen ist die Bearbeitungsdauer T_x durch Mittelwert $E[T_x]$ und Variationskoeffizient c_{TX} bestimmt /53/.

In Bild 4.16 ist eine mögliche Vorgehensweise für die Bestimmung des Mittelwertes $E[T_x]$ aufgezeigt. Auf der Basis eines erfolgreichen Interngesprächs (5 Wählziffern, Zwischenwählzeit : $E[T_Z] = 2 \text{ s}$, $c_{TZ} = 1$, B-Tln legt zuerst auf) ergeben sich die in Tabelle 4.3 aufgeführten Mittelwerte $E[T_x]$ und Variationskoeffizienten c_{TX} . In den nachfolgenden Diagrammen sind die jeweiligen Simulationsergebnisse mit ihren 95%-Konfidenzintervallen (Vertrauensintervall) aufgeführt. Die Vertrauensintervalle sind im Sinne einer besseren Verständlich-

	Gesprächsdauer 90 s	Gesprächsdauer 120 s
Verkehrswert 0,12 Erl	$E[T_x] = 94,3 \text{ s}$ $c_{TX} = 3,16$	$E[T_x] = 125,7 \text{ s}$ $c_{TX} = 3,26$
Verkehrswert 0,15 Erl	$E[T_x] = 72,8 \text{ s}$ $c_{TX} = 3,16$	$E[T_x] = 97,1 \text{ s}$ $c_{TX} = 3,26$

Tabelle 4.3 : Mittelwert $E[T_x]$ und Variationskoeffizient c_{TX} in Abhängigkeit des Verkehrswerts einer Tln-Asl

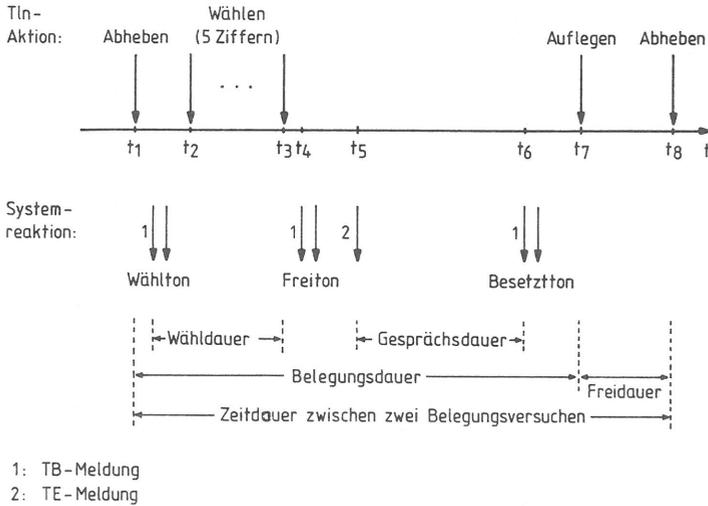


Bild 4.16 : Bestimmung des Mittelwertes $E[T_x]$

keit der Kurvenzüge immer dann nicht enthalten, wenn ihre Größe kleiner ist als 2% des zugehörigen Absolutwertes.

Bild 4.17 zeigt für 1000 aktive Tln-Prozesse ($p_{n,max} = 1000$) die Abhängigkeit der Transferzeiten $T_{FZ,Aus}$ und $T_{FZ,Zir}$ von den Parametern $E[T_x]$ und c_{TX} . Bis zu einem Verkehrswert von 0,6 Erlang je Teilnehmer sind die Mittelwerte der UNES-internen Verzögerungszeiten kleiner als 10 ms. Die Kurvenzüge für $c_{TX} = 1, 3$ und 5 zeigen, daß ein unterschiedliches Teilnehmerverhalten nur einen kleinen Einfluß auf die Verzögerungszeiten ausübt. Der Variationskoeffizient $c_{TX} = 5$ bewirkt die größten Verzögerungszeiten. Dies kann damit erklärt werden, daß in diesem Falle der TMO-Meldungsverkehr von kurz aufeinanderfolgenden Meldungen gekennzeichnet ist ("Ein"-Phase des UP-Prozesses) und sich die "Aus"-Phase nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit ($p < 0,02$) einstellt. Obwohl durch den Knoten der Meldungsvervielfachung mehr Meldungen in Puffer P_3 wie in Puffer P_4 eingeschrieben werden, ist aufgrund der kleineren ZV-Bearbeitungszeiten im Vergleich zu den VS-Verarbeitungszeiten die Zirkulartransferzeit $T_{FZ,Zir}$ kleiner als die Ausgabetransferzeit $T_{FZ,Aus}$.

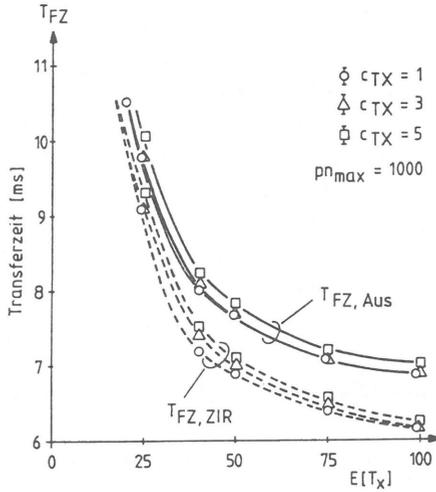


Bild 4.17 : Abhängigkeit der Transferzeiten $T_{TF, Aus}$ und $T_{TF, Zir}$ von $E[T_x]$ und c_{TX} (Strategie 2)

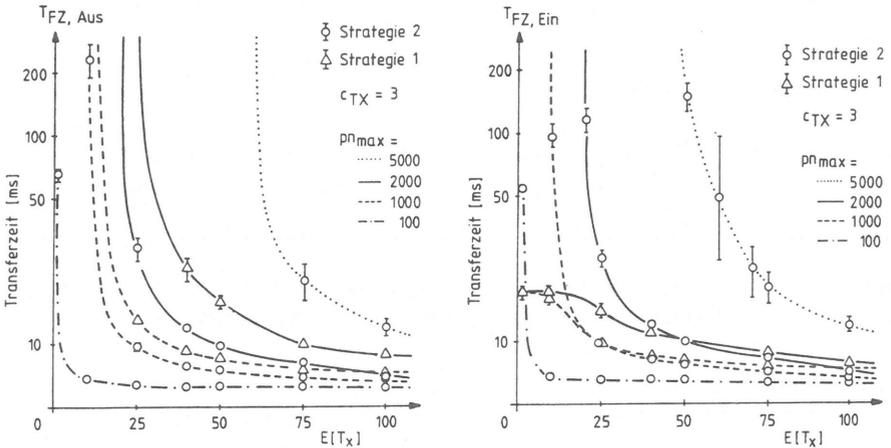


Bild 4.18 : Abhängigkeit der Transferzeiten $T_{TF, Ein}$ und $T_{TF, Aus}$ von $E[T_x]$ und pn_{max}

Bild 4.18 zeigt für unterschiedliche pn_{max} aktive Tln-Prozesse ($pn_{max} = 100 \dots 5000$) die Abhängigkeit der Transferzeiten $T_{FZ, Ein}$ und $T_{FZ, Aus}$ von den Parametern $E[T_x]$ und pn_{max} . Obwohl der Umweltsimulator nur für 1000 Tln-Prozesse entworfen wurde, ist durch seine modulare Struktur eine Erhöhung von pn_{max} jederzeit möglich¹⁾. Die Bilder 4.18 und 4.19 zeigen, daß bei bis zu 5000 Tln-Prozessen die internen Verzögerungszeiten und Auslastungen einen realistischen Betrieb mit einem Verkehrswert von 0,12 bis 0,15 Erl je Tln-Asl zulassen. Bild 4.21 zeigt weiterhin, daß ein mit $c_{TX} = 5$ charakterisiertes Tln-Verhalten nur bei Werten von $pn_{max} > 2000$ zu einer signifikant höheren Auslastung von TP führt.

Zum Vergleich der in Abschnitt 3.4.3.1 beschriebenen Strategien 1 und 2 sind für $pn_{max} = 1000$ und $pn_{max} = 2000$ die Transferzeiten $T_{TF, Ein}$ und $T_{TF, Aus}$ in Bild 4.18 aufgetragen :

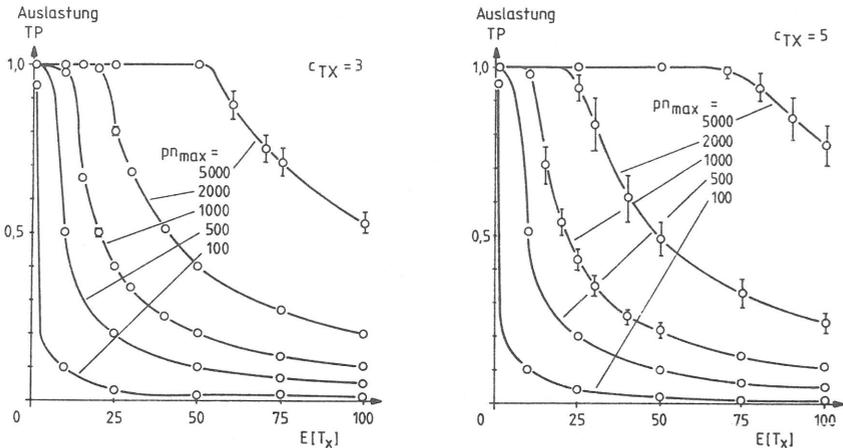


Bild 4.19 : Abhängigkeit der mittleren Auslastung der Verarbeitungseinheit TP von pn_{max} und $E[T_x]$ (Strategie 2)

1) : Nur das Modul ZeVe besitzt aufgrund seines begrenzten lokalen RAM-Speichers eine Begrenzung in der Verwaltung von Tln-Zeiten. In /10/ ist eine ausführliche Beschreibung enthalten, daß eine Vergrößerung der maximalen Anzahl von aktiven Tln-Prozessen durch einfaches Hinzufügen weiterer ZeVe-Module erreicht wird.

Bei Verwendung der Strategie 2 zeigt sich für beide Transferzeiten ein gleichlaufender Anstieg bei kleiner werdendem $E[T_x]$. Für den vorgesehenen Maximalausbau des Umweltsimulators von $pn_{\max} = 1000$ Tln-Prozessen kann bei einer akzeptierten Verzögerung (Mittelwert) von 10 ms innerhalb des Umweltsimulators ein Verkehrswert für eine Tln-Asl im Bereich von 0,45 Erl bis 0,6 Erl erzeugt werden. Bei 1000 Tln-Prozessen und dem in Bild 4.16 skizzierten Meldungsszenario bedeutet dies bis zu 40 Meldungen bzw. Tln-Aktionen je Sekunde (24000 BHCA). Bild 4.19 zeigt, daß bei dieser Meldungsrate die mittlere Auslastung der Verarbeitungseinheit TP unter 45% liegt. Die Auslastungen der Verarbeitungseinheiten TZ und VS sind für Erwartungswerte $E[T_x] > 10$ s kleiner als 20% /54/ und aus diesem Grunde in den Diagrammen nicht mit aufgeführt. Sind Verzögerungszeiten von 20 ms innerhalb des Umweltsimulators von untergeordneter Bedeutung, so kann durch den Umweltsimulator ein Meldungsfluß von bis zu 66 Meldungen je Sekunde (40000 BHCA, $E[T_x] = 15$ s, Verkehrswert $> 0,9$ Erl je Tln-Asl) erzeugt werden. Höhere Meldungsraten können eingestellt werden ($E[T_x] < 15$ s, 360000 BHCA bei $E[T_x] = 10$ s, $pn_{\max} = 1000$), jedoch steigt dann die Auslastung der Verarbeitungseinheit TP über 50% an, siehe Bild 4.19, und die Verzögerungszeiten erreichen 100 bis 200 ms und mehr, siehe Bild 4.18.

Bei Verwendung der Strategie 1 zeigt sich für die Ausgabetransferzeit $T_{TF,Aus}$ eine deutlich höhere Verzögerungszeit mit derselben Kurvencharakteristik wie bei Strategie 2, siehe Bild 4.20. Die Einlesetransferzeit $T_{TF,Ein}$ ist für $E[T_x] > 40$ s geringfügig größer als der vergleichbare Wert von Strategie 2. Dies kann damit erklärt werden, daß anstehende System(re)aktionen schneller durch das Modul ZiIn und damit durch die Verarbeitungseinheit VS eingelesen werden. Anstatt innerhalb des Adapters eine Verzögerung zu erfahren, warten die Meldungen nun innerhalb des Umweltsimulators in Puffer P_T auf Bedienung durch TP und tragen somit zu der oben definierte Einlesetransferzeit $T_{TF,Ein}$ bei. Der Effekt der Strategie 1 hinsichtlich der Einlesetransferzeit ist für 2000 Tln-Prozesse bei Werten von $E[T_x] < 30$ s und für 1000 Tln-Prozessen bei Werten von $E[T_x] < 15$ s mit einer maximalen Verzögerungszeit von 18 ms jedoch deutlich zu erkennen. Für den spezifizierten Maximalausbau des Umweltsimulators von bis zu 1000 Tln-Prozessen und einem minimalen Erwartungswert von $E[T_x] = 15$ s bedeutet dies jedoch, daß aufgrund der signifikant

höheren Ausgabetransferzeit $T_{TF,Aus}$ bei Strategie 1 die Strategie 2 für den praktischen Einsatz bevorzugt werden sollte.

In den Abschnitten 3.2 und 4.3.3 sind detailliert die Auswirkungen des HKZ-Verfahrens auf die Teilnehmermodellierung bzw. auf die Erfassung und Auswertung von Meßgrößen aufgezeigt. Diese Besonderheiten bewirken im Mittel eine Verlängerung von $E[T_x]$ um 2,5 s, so daß bei Werten von $E[T_x] < 50$ s Dauertöne und Dauerrufe mit entsprechend kurzen Decodierzeiten im Adapter verwendet werden sollten. Bei digitalen (ISDN-) Tln-Asl müssen derartige Besonderheiten nicht berücksichtigt werden.

4.3.3 Güte des erzeugten Meldungsverkehrs

Die Ermittlung der Güte des von UNES erzeugten Meldungsverkehrs erfolgt durch Messung von teilnehmerspezifischen Zeitintervallen an einer Testkonfiguration. Durch einen Vergleich zwischen den durch Messung ermittelten statistischen Eigenschaften und den während der Konfigurationsphase vorgegebenen statistischen Eigenschaften wie zum Beispiel Mittelwert, Variationskoeffizient und Verteilungsfunktion sind eventuelle Abweichungen erkennbar und damit eine Aussage über die Güte des erzeugten Meldungsverkehrs möglich.

Da durch das Modul SySt alle Voraussetzungen zur Ermittlung einer Statistik erfüllt sind, ist der Umweltsimulator in der Lage, die Güte des von ihm erzeugten Meldungsverkehrs während eines Lasttests selbst zu bestimmen (siehe auch Abschnitt 4.2.2). Die Ermittlung der Zeitintervalle erfolgt analog zu der in Abschnitt 4.2.2 beschriebenen Vorgehensweise mit Hilfe der vom Modul TeMo empfangenen Meldungen. In /36/ sind hierzu für alle teilnehmerrelevanten Meßgrößen die genaue Vorgehensweise für die Festlegung der Meßpunkte bzw. für die Ermittlung der Statistik und eine Darstellung von durch Messungen an einer Testkonfiguration ermittelten Ergebnisse enthalten.

Für die Ermittlung der teilnehmerspezifischen Zeitintervalle wird im Modul ZiIn auf der Basis der UNES-Systemzeit der Zeitpunkt des Einlesens bzw. des Aussendens einer Meldung an den Adapter festgehalten. Im nachfolgenden wird dies mit dem Begriff "Zeitmarkierung" bezeichnet. Eine Zeitmarkierung ist möglich, da analog zu der loka-

len Systemzeit im Modul ZeVe auch das Modul ZiIn eine auf der Hardware-Ebene mit der UNES-Systemzeit synchronisierte lokale Systemzeit besitzt. Die Zeitmarkierung im Modul ZiIn besitzt darüber hinaus den Vorteil, daß die Zeitpunkte von System(re)aktionen an der Schnittstelle UNES/Adapter ohne Verfälschungen durch UNES-interne Verzögerungszeiten meßbar sind.

In Bild 4.20 ist an den Beispielen einer TMO-Meldung und einer System(re)aktion der Meldungsfluß aufgezeigt :

Eine TMO-Meldung des Moduls ZeVe wird vom Modul TeMo eingelesen (Punkt 1), ein Zustandsübergang durchgeführt, eine Teilnehmeraktion an das Modul ZiIn (Punkt 3) und eine Statistik-Meldung an das Modul SySt (Punkt 2) ausgegeben. Direkt nach dem vollständigen Aussenden der Meldung an den Adapter (Punkt ZA) wird der Zeitpunkt des Aussendens vom Modul ZiIn in Form einer Zeitmarkierungs-Meldung (ZM-Meldung) in den Ausgabepuffer in Richtung TeMo eingeschrieben.

Aufgrund den in jeder Meldung vom Modul ZiIn zum Modul TeMo enthaltenen Informationen wie

- Asl-Nummer
- Aktion (Tln-Aktion, System(re)aktion)
- Zeitmarkierung

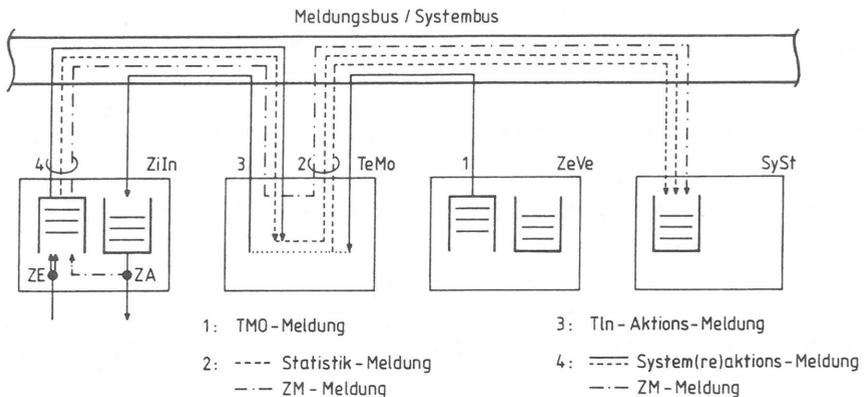


Bild 4.20 : Zeitmarkierung im Modul ZiIn und Meldungsfluß

ist die Übertragung des Zeitpunkts einer vom Adapter eingelesenen Meldung (Punkt ZE) ohne eine Erweiterung des Meldungsverkehrs hinsichtlich der Übertragung einer System(re)aktion (SR-Meldung) an das Modul TeMo möglich. Der in der SR-Meldung enthaltene Zeitpunkt wird in der Statistik-Meldung des entsprechenden Zustandsüberganges (Punkt 2) an das Modul SySt weitergegeben. Die einzelnen Zeitpunkte des Aussendens bzw. des Einlesens werden somit innerhalb des regulären Meldungsflusses vom Modul ZiIn an das Modul TeMo weitergegeben.

ZM-Meldungen vergrößern das Meldungsaufkommen in Richtung der Module TeMo und SySt. Ihre Bearbeitung in der TeMo-Ebene-1 besteht jedoch nur aus einem direkten Weiterleiten der Meldungen an das Modul SySt (siehe Punkt 2 in Bild 4.20). Hierfür wird je ZM-Meldung eine Bearbeitungsdauer kleiner als 30 μ s benötigt, welche im Vergleich zu der im Millisekundenbereich liegenden Verarbeitungszeit für einen Zustandsübergang vernachlässigt werden kann. Diese Vernachlässigung ist auch bei hohen Meldungsraten gerechtfertigt, da bei der verwendeten Strategie 2 mindestens jede zweite Meldung im Meldungspuffer in Richtung TeMo eine SR-Meldung ist. Mit einer maximalen Kapazität von 2000 Meldungen je Puffer sind die Puffer in allen Modulen des Umweltsimulators auch für diesen erhöhten Meldungsfluß ausreichend groß dimensioniert.

Bild 4.21 zeigt am Beispiel des Mittelwerts und des Variationskoeffizienten der Zwischenwählzeit T_z für einen IWV-/MFV-TIn die Abweichungen der sich tatsächlich einstellenden Zwischenwählzeit von den vorgegebenen Werten und damit die Güte des von UNES erzeugten Meldungsverkehrs. Da die Zwischenwählzeit typischerweise die kürzeste Zeitspanne zwischen zwei einzelnen Teilnehmeraktionen beinhaltet, können Verfälschungen sehr sensitiv erkannt werden. Die Meßergebnisse sind analog zu den Simulationsergebnissen als Funktion des mittleren Meldungsabstandes $E[T_x]$ aufgetragen. Dies ermöglicht einen leichten Vergleich der einzelnen Ergebnisse.

In Bild 4.21 ist eine Zwischenwählzeit mit einem Mittelwert von 2 Sekunden und einer negativ-exponentiellen Verteilung vorgegeben. Man erkennt auch für große $E[T_x]$ eine Abweichung des gemessenen Mittelwertes $E[T_z]$ vom vorgegebenen Wert. Dies liegt daran, daß bei der Umsetzung einer gleichverteilten Zufallszahl in eine Zufallsvariable

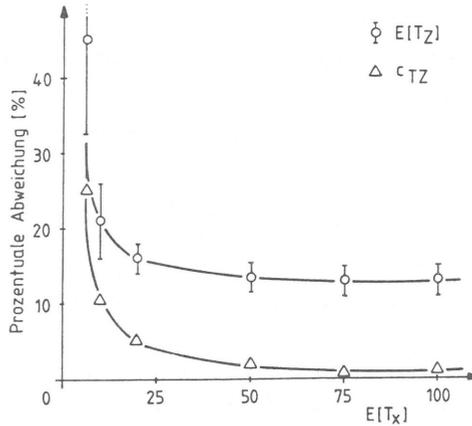


Bild 4.21 : Abweichungen der sich tatsächlich einstellenden Zwischenwählzeit von den vorgegebenen Werten

eine minimale Zwischenwählzeit als untere Schranke für mögliche Werte der Zufallsvariablen und damit ein typisches, durch die Mechanik bestimmtes endgerätespezifisches Merkmal berücksichtigt ist. Dies kann für eine Beurteilung vernachlässigt werden, da hier vor allem die Änderung bei kleiner werdendem $E[T_x]$ interessiert.

Eine Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den gemessenen Verhältnissen ist deutlich mit dem Anstieg der Abweichungen bei Werten von $E[T_x] < 20$ s zu erkennen. Die Messungen verifizieren die Erkenntnis aus den Simulationsergebnissen, daß der Umweltsimulator bei Werten von $E[T_x] > 20$ s für $p_{n_{max}} = 1000$ realistisch betrieben werden kann.

4.3.4 Zusammenfassung

Ein wesentliches Ziel des Umweltsimulators ist eine möglichst genaue Erfassung und Messung von Reaktionszeiten des Vermittlungssystems bzw. Belegungsarten unter Einhaltung einer möglichst unverfälschten

Erzeugung eines die Tln-Aktionen beinhaltenden Meldungsverkehrs. Im Abschnitt 4.1 sind hinsichtlich einer hohen Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators die gewählten Hardware-Strukturen der einzelnen Module bzw. des gesamten Umweltsimulators und die Gesamtbetriebsweise während eines Lasttests aufgezeigt. Die auf dieser Basis in den Abschnitten 4.3.1 bis 4.3.3 aufgeführten Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators und die Güte des erzeugten Meldungsverkehrs zeigen :

- 1) Durch die Abtrennung der Rechereinheiten in den Modulen ZeVe und ZiIn in lokale Bereiche und durch die vollständige Steuerung des Meldungsverkehrs durch das Modul TeMo stehen die verfügbaren Rechnerkapazitäten in den Modulen ZeVe und ZiIn vollständig der Erbringung der Modulfunktionalität zur Verfügung. Dies führt auch bei hohen Verkehrswerten ($> 0,9$ Erl) bzw. hohen Meldungsraten ($15 \text{ s} < E[T_x] < 25 \text{ s}$) je Tln-Asl zu einer Rechenerauslastung der Module ZeVe und ZiIn, welche kleiner ist als 20%.
- 2) Für ein Belegungsangebot von bis zu 40 Belegungsversuchen je Stunde und je Tln werden minimale UNES-interne Verzögerungszeiten für das Einlesen von Vermittlungssystem(re)aktionen wie für das Ausgeben von Teilnehmeraktionen durch eine Steuerung des Meldungsflusses ohne Meldungsprioritäten erreicht (Strategie 2).
- 3) Für den vorgesehenen Maximalausbau des Umweltsimulators von bis zu 1000 aktiven Teilnehmerprozessen sind ein Verkehrswert größer als 0,9 Erl je Tln-Asl und ein Belegungsangebot von bis zu 40000 Hauptverkehrsstunden-Belegungsversuche (vollständige und erfolgreiche Verbindungen) ohne nennenswerte Verfälschungen des erzeugten Meldungsverkehrs und der gemessenen Reaktionszeiten des Vermittlungssystems möglich.
- 4) Werden Einschränkungen bei der Güte des erzeugten Meldungsverkehrs und der Genauigkeit der gemessenen Reaktionszeiten des Vermittlungssystems zugelassen, so kann bei 1000 aktiven Teilnehmerprozessen ein Belegungsangebot von bis zu 60000 Hauptverkehrsstunden-Belegungsversuche (vollständige und erfolgreiche Verbindungen) an das Vermittlungssystem herangetragen werden.

- 5) Unter Zugrundelegung eines realistischen Meldungsverkehrs je Tln-Asl (3 bis 4 Belegungsversuche je Stunde, Verkehrswert 0,12 bis 0,15 Erl) ist durch einfaches Hinzufügen weiterer ZeVe-Module eine Erweiterung auf maximal 5000 aktive Teilnehmerprozesse möglich. Eine nennenswerte Verfälschung des erzeugten Meldungsverkehrs und der gemessenen Reaktionszeiten des Vermittlungssystems tritt hierbei noch nicht ein.
- 6) Mit den unter den Punkten 2) und 3) aufgeführten Belegungsangeboten kann ein Test einer Überlastabwehrstrategie des Vermittlungssystems durchgeführt werden.
- 7) Das HKZ-Verfahren und die typischerweise im Adapter verwendeten Decodierzeiten haben bei einem hohen Belegungsangebot je Teilnehmeranschlußleitung einen Einfluß auf den sich einstellenden mittleren Meldungsabstand $E[T_x]$. Dieser Einfluß sollte durch die Verwendung von Dauertönen und Dauerrufen minimiert werden.

4.4 Betriebliche Erfahrungen

Zur Zeit sind drei Systeme des Umweltsimulators UNES im Einsatz :

Am Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung wird mit Hilfe eines Systemes die Weiterentwicklung bestehender Last- und Funktionstest-Software durchgeführt. Dies ermöglicht die Untersuchung und die Messung des Einflusses bestimmter Teilnehmerverhaltensweisen, zukünftiger Teilnehmertypen und neuer Gesamtbetriebsweisen auf die Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators selbst. Wesentliche Ziele zukünftiger Arbeiten auf dem Gebiet der Umweltsimulation sind hierbei Untersuchungen über die Möglichkeit einer schnittstellenunabhängigen Tln-Modellierung und über Methoden zur formalen Spezifikation von Leistungsmerkmalen einer Nebenstellenanlage sowie der Extraktion von Testsequenzen aus der formalen Spezifikation.

In die Entwicklungsumgebung von PKI sind für den Entwurf und Test von Nebenstellenanlagen zwei Systeme des Umweltsimulators inte-

griert, siehe Bild 4.22. Mit Hilfe dieser zwei Systeme können während eines aktivierten Lasttests oder Funktionstests parallel die Simulationsauswertung eines vorhergehenden Tests oder die Erstellung neuer Konfigurationsdaten für einen nachfolgenden Test durchgeführt werden.

Der praktische Einsatz des Umweltsimulators UNES beweist eine signifikante Effizienz beim Test neuer Vermittlungssystem-Software durch die Möglichkeit der Kombination des automatisierten Funktions- und Lasttests. Es zeigt sich, daß bestimmte Fehler in der Vermittlungssystem-Software erst durch einen Lasttest aufgedeckt werden. Hierbei sind die realistischen Reaktionen der simulierten Teilnehmer auf die ausgegebenen System(re)aktionen eine wesentliche Voraussetzung für das Auftreten der Fehler. Mit den bisher bekannten und verwendeten Funktionstesteinrichtungen bzw. Verkehrsgeneratoren ist die Aufdeckung derartiger Fehler während der entwicklungs-internen Testphase nicht möglich.

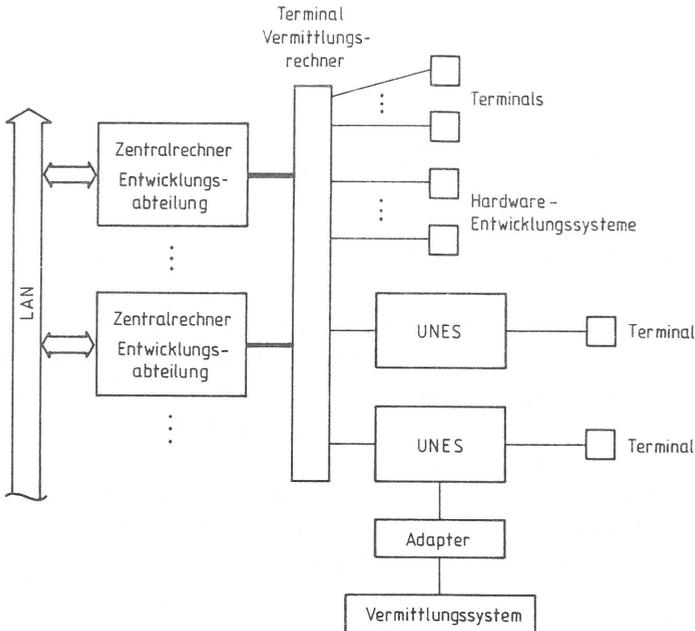


Bild 4.22 : Einbettung von Umweltsimulatoren in die Entwicklungsumgebung von PKI

5 Zusammenfassung

Im ersten Kapitel wurde einleitend auf der Basis der historischen Entwicklung der Systemstrukturen von Vermittlungssystemen in den heutigen und zukünftigen Stand der Vermittlungstechnik eingeführt. Es wurden die grundsätzlichen Probleme aufgezeigt, die bei SPC-Systemen mit der Realisierung und fehlerfreien Bereitstellung neuer Dienste bzw. Dienstmerkmale verbunden sind. Es wurde die Notwendigkeit aufgezeigt, daß der Nachweis der gesamten Leistungsfähigkeit des Systems anhand eines Laborprototyps bereits während der entwicklungsinternen Testphase zu erbringen ist.

Die Konzeption eines Umweltsimulators für den Funktions- und Lasttest wurde im zweiten Kapitel allgemein behandelt. Dazu wurden in einem ersten Schritt die heutige Situation in der öffentlichen Vermittlungstechnik wie in der privaten Nebenstellentechnik und der Einfluß dieser Situation auf die Umweltsimulation vorgestellt. Die Vielfalt der von der Umweltsimulation zu berücksichtigenden Eigenschaften wurde an den Beispielen der Prozesse, der Funktionen, der Schnittstellen, der Signalisierung, der Vermittlungsprinzipien und dem Realzeitverhalten eines Vermittlungssystems verdeutlicht. Die für eine Beurteilung eines Vermittlungssystems relevanten Meßgrößen wurden aufgezeigt, wobei die prinzipielle Verwendbarkeit der in den NTG-Empfehlungen 0901, 0902 und 0903 aufgeführten Einzelmerkmale der Technischen Dienstgüte im Rahmen einer Umweltsimulation diskutiert wurde. Auf der Basis dieser Anforderungen wurde das Grundkonzept des Umweltsimulators UNES hinsichtlich der prinzipiellen Vorgehensweise bei der Modellierung der vermittlungstechnischen Umwelt eines Vermittlungssystems, der Hardware-Gesamtstruktur, den Betriebsweisen, den Leistungsmerkmalen und der Ankopplung an die zu testenden Vermittlungssysteme vorgestellt.

Das dritte Kapitel befasste sich mit der Modellierung der vermittlungstechnischen Umwelt. Die Vorgehensweise bei der Spezifikation, die Nachbildung des Teilnehmerverhaltens in der Form eines endlichen Automaten und die Abbildung auf die Hardware-Module des Umweltsimulators wurden beschrieben. Ein Schwerpunkt bildete neben der detaillierten Beschreibung der Nachbildung des Teilnehmerverhaltens die Differenzierung der unterschiedlichen Modellierungen bei einer

analogen Teilnehmer- bzw. Amtsanschlußleitung und einer digitalen ISDN-Schnittstelle, wobei eine mögliche Vorgehensweise zur Extraktion des ISDN-Teilnehmermodells aus dem Modell eines analogen Teilnehmers vorgestellt wurde. Der signifikante Einfluß des HKZ-Verfahrens bei analogen Anschlußleitungen und bei der verwendeten Umweltsimulator/Adapter-Kombination auf die Teilnehmermodellierung wurde an den typischen Beispielen der Erkennung des Beginns und des Endes eines Tones herausgearbeitet. Für ein Betreiben des Umweltsimulators hinsichtlich eines Funktionstests wurde gezeigt, daß dies vollständig mit den verfügbaren Modulfunktionalitäten möglich ist.

Typische Aspekte einer Realisierung und eines Einsatzes sind die Schwerpunkte des Kapitels 4. Hierzu wurden zuerst die Wechselwirkungen zwischen den Aspekten bei einer Hardware-Implementierung und den Aspekten der Gesamtbetriebsweise, des UNES-internen Meldungsflusses bzw. der Intermodulkommunikation, der Modellierung des Teilnehmerverhaltens bei analogen und digitalen äußeren Schnittstellen und der Leistungsfähigkeit des Umweltsimulators diskutiert. Neben den in Kapitel 3 beschriebenen Einflüssen auf die Teilnehmermodellierung bewirkt das HKZ-Verfahren signifikante Verfälschungen der von UNES ermittelten Reaktionszeiten des Vermittlungssystems. Es wurde eine approximative Bestimmung der tatsächlichen Reaktionszeiten auf der Basis der gemessenen Zeitdauern für typische Fälle aufgezeigt und die Problematik herausgearbeitet, daß eine Bestimmung nicht in allen Fällen prinzipiell möglich ist. Die hohe Leistungsfähigkeit bzw. die Leistungsgrenzen des Umweltsimulators selbst und die Güte des erzeugten vermittlungstechnischen Verkehrs wurden in Form einer simulativen Untersuchung auf einer Rechenanlage und durch Messungen an einer realen Testkonfiguration nachgewiesen.

Der praktische Einsatz des Umweltsimulators UNES hat gezeigt, daß der Funktionstest von Vermittlungssystemen effizient gestaltet werden kann und damit zur Sicherung der Produktqualität beiträgt. Darüberhinaus wurde erstmalig ein realistischer Lasttest unter statistischen Teilnehmerverkehren einschließlich ihrer Beeinflussung durch Systemrückwirkungen durchgeführt.