

**Universität Stuttgart**

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Prof. Dr.-Ing. habil. P. J. Kühn

**63. Bericht über verkehrstheoretische Arbeiten**

**Modellierung, Verkehrsanalyse und Planung  
von Zentralkanal-Signalisiernetzen im ISDN  
mit besonderer Berücksichtigung  
neuer Dienste der Mobilkommunikation  
und des Intelligenten Netzes**

von

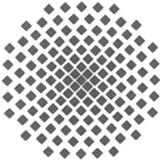
**Marcos Bafutto**

1995

© 1995 Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Druck: Sprint-Druck GmbH, Stuttgart

ISBN 3-922403-73-5



**University of Stuttgart**

Institute of Communications Switching and Data Technics

Prof. Dr.-Ing. habil. P. J. Kühn

**63th Report on Studies in Congestion Theory**

**Modelling, Traffic Analysis and Planning  
of Common Channel Signalling Networks  
in the ISDN with Special Emphasis on  
New Mobile Communication and  
Intelligent Network Services**

by

**Marcos Bafutto**

1995



# Modelling, Traffic Analysis and Planning of Common Channel Signalling Networks in the ISDN with Special Emphasis on New Mobile Communication and Intelligent Network Services

## Summary

This report deals with planning tool concepts for the engineering process of signalling networks. The engineering of signalling networks is critical as all resulting delays directly affect the quality of the supported services.

In a first step, a generic modelling methodology for the signalling load as a result of the various communication services is extended in order to include certain implementation-dependent particularities. The approach allows the derivation of virtual processor models, which in a further step are mapped onto the implementation according to individual architectures. This allows the analysis of signalling networks in a multivendor environment.

The consideration of IN applications requires an extension of these concepts. The procedures for ISDN and mobile communications are described in the recommendations and the corresponding signalling scenarios follow straightforwardly. This is not the case for the Intelligent Networks. The IN concept represents a new approach by network providers to the design and provision of new services. A service is defined as a sequence of standardized functions (SIBs) and the related signalling scenarios depend on the service definition.

In the model derived for the IN level, the signalling network is first considered in a higher abstraction level. The information flow in the IN is obtained from a detailed view of the standardized SIBs. This yields the determination of the IN signalling carried by the signalling network. A hierarchical decomposition is applied on the signalling network and the IN signalling is mixed with the signalling traffic of supported non-IN networks, e.g., ISDN and mobile communications.

Using these principles, a signalling network planning tool concept has been developed, which provides the distinct loading of all hard- and software signalling network resources in ISDN, IN and mobile communication networks. The results of the hierarchical performance analysis and planning procedures allow the support of the planning of signalling networks according to given service, load, and grade of service figures.

**Chapter 1** gives an introduction to the problem of the signalling network planning process and a short introduction into the report.

**Chapter 2** provides an overview on the signalling network structure and protocol architecture according to the CCITT recommendations. The relevant concepts for the understanding of the developed approaches are mentioned. Some engineering and implementation aspects of existing signalling networks are discussed.

**Chapter 3** contains the description of the signalling network as basis for ISDN, IN, and mobile communications. The basic structure of these networks as well as the supported services are briefly described. The signalling scenarios are derived for some important services. Based on the traffic intensity and scenario characteristics, the impact of these services on the signalling network is discussed.

**Chapter 4** deals with the modelling methodology for the signalling network and IN. The signalling network model is obtained considering the signalling system No. 7 protocol functions specified by the CCITT, as well as the information flow through these functions. The global model is analysed through decomposition and aggregation techniques. The decomposed model is a rather general class of M/GI/1 priority system with feedback and it is analysed using the method of the moments. An existing algorithm for the determination of the mean message delay is extended in order to allow results also for the partially saturated system. The IN modelling methodology and the analysis baseline are also described in this chapter.

In **Chapter 5** the developed modelling methodologies are implemented in a planning tool. The objectives and limitations of the tool for the support of the planning process are established and considered in the implementation. The input data include the deployed product architectures, the topology, the message and scenario characteristics and the traffic matrix. The results provide the loading of all hard- and software signalling network resources. The analysis yields the message end-to-end transfer time, and therefore the determination of important quality of service parameters. The basis for the extension of the tool to IN are also discussed.

The theoretical approach developed in this report are complemented by some case studies in the **Chapter 6**. In order to cover the major application areas of the signalling networks, examples for ISDN, mobile communications and IN are provided. The results yield, e.g., the evaluation of the impact of the introduction of a new service or the effects of subscriber mobility on the signalling networks.

**Chapter 7** gives a summary of the developed procedures and modelling methodology and provide an outlook on further extensions of the planning tool.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen	6
<b>1 Einführung</b>	<b>9</b>
1.1 Problematik der Signalisieretzplanung	9
1.2 Überblick über die Arbeit	11
<b>2 Das Signalisiersystem CCITT #7</b>	<b>13</b>
2.1 Grundstruktur des Signalisieretznetzes	13
2.2 Funktionelle Struktur und Architektur des Signalisiersystems CCITT #7	14
2.2.1 Message Transfer Part (MTP)	16
2.2.1.1 Signalling Data Link Function (Ebene 1)	16
2.2.1.2 Signalling Link Functions (Ebene 2)	17
2.2.1.3 Signalling Network Functions (Ebene 3)	18
2.2.2 Signalling Connection Control Part (SCCP)	20
2.2.3 Telephone User Part (TUP)	23
2.2.4 Integrated Services Digital Network User Part (ISDN UP)	26
2.2.5 Transaction Capabilities Application Part (TCAP)	28
2.3 Implementierungs- und Entwurfsaspekte	33

<b>3</b>	<b>Signalisiernetz als Basis für ISDN, Mobilkommunikation und IN</b>	<b>35</b>
3.1	Das ISDN . . . . .	35
3.1.1	Grundstruktur . . . . .	36
3.1.1.1	ISDN-Vermittlungsstelle . . . . .	36
3.1.1.2	Die Netzdatenbanken . . . . .	37
3.1.2	ISDN-Dienste . . . . .	37
3.1.3	Das Signalisiernetz im ISDN . . . . .	38
3.1.3.1	Signalisierszenarien von unterstützten Diensten . . . . .	39
3.1.3.2	Verkehrscharakteristik der Signalisierszenarien . . . . .	40
3.2	Das Mobilkommunikationsnetz . . . . .	41
3.2.1	Grundstruktur des GSM-Netzes . . . . .	42
3.2.1.1	Die Mobilvermittlungseinrichtung . . . . .	44
3.2.1.2	Die Heimatdatei (HLR) . . . . .	44
3.2.1.3	Die Besucherdatei (VLR) . . . . .	45
3.2.2	Mobilfunkdienste und ihre Verkehrscharakteristiken . . . . .	46
3.2.3	Das Signalisiernetz im Mobilkommunikationsnetz . . . . .	47
3.2.3.1	Der Mobile Application Part (MAP) . . . . .	48
3.2.3.2	Mobilitätsmanagement und seine Signalisierszenarien . . . . .	49
3.2.3.3	Signalisierszenarien von unterstützten Diensten . . . . .	49
3.2.3.4	Verkehrscharakteristik der Signalisierszenarien . . . . .	52
3.3	Das IN . . . . .	53
3.3.1	Das IN-CS1 Conceptual Model . . . . .	54
3.3.2	Grundstruktur des IN-CS1 . . . . .	55
3.3.2.1	IN-Vermittlungsstelle . . . . .	57
3.3.2.2	Service Control Point (SCP) . . . . .	58
3.3.2.3	Intelligent Peripherals (IP) . . . . .	59
3.3.3	IN-Dienste und ihre Verkehrscharakteristik . . . . .	60
3.3.4	Implementierungs- und Entwurfsaspekte des IN . . . . .	61
3.3.5	Das Signalisiernetz im IN . . . . .	62
3.3.5.1	Signalisierszenarien von unterstützten Diensten . . . . .	62
3.3.5.2	Verkehrscharakteristik der Signalisierszenarien . . . . .	64

<b>4 Modellierung und Analyse des Signalisiernetzes</b>	<b>65</b>
4.1 Modellierung des Signalisiernetzes . . . . .	65
4.1.1 Modellierung eines Signalisierabschnittes . . . . .	66
4.1.2 Modellierung eines Signalisierpunktes . . . . .	66
4.1.3 Betrachtung der herstellerepezifischen Architekturen . . . . .	71
4.1.4 Modellierung des Verkehrs . . . . .	72
4.1.5 Leistungsgrößen . . . . .	73
4.2 Modellierung des IN . . . . .	74
4.2.1 Modellierung der Netzelemente . . . . .	74
4.2.2 Betrachtung des ISDN- und Mobilkommunikationsverkehrs . . . . .	77
4.2.3 Modellierung des Verkehrs . . . . .	78
4.2.4 Leistungsgrößen . . . . .	78
4.3 Analyse des Signalisiernetzmodells . . . . .	79
4.3.1 Dekomposition in Teilmodelle . . . . .	79
4.3.2 Aggregation des Signalisierverkehrs . . . . .	80
4.3.3 Analyse der Teilmodelle . . . . .	80
4.3.3.1 Die mathematische Grundlage der Mittelwertanalyse von M/GI/1-Prioritätssystemen mit Rückkopplung . . . . .	82
4.3.3.2 Mittelwertanalyse des ungesättigten M/GI/1-Prioritäts- systems mit Rückkopplung . . . . .	83
4.3.3.3 Mittelwertanalyse des gesättigten M/GI/1-Prioritätssys- tems mit Rückkopplung . . . . .	85
4.3.4 Ende-zu-Ende Leistungsuntersuchung im Gesamtnetz . . . . .	88
4.4 Analyse des IN-Modells . . . . .	88
4.4.1 Die hierarchische Dekomposition angewandt auf den Signalisiernetz- teil des IN-Modells . . . . .	90
4.4.2 Ende-zu-Ende Leistungsuntersuchung im Gesamtnetz . . . . .	90

<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Planungswerkzeuges</b>	<b>92</b>
5.1	Planungsprozeß eines Signalisierernetzes . . . . .	92
5.2	Planungsmethode und Ziele . . . . .	94
5.3	Anforderungen an das Planungswerkzeug . . . . .	96
5.4	Implementierung des Planungswerkzeugs . . . . .	98
5.4.1	Eingabedaten . . . . .	99
5.4.1.1	Erzeugung der Netzstruktur . . . . .	99
5.4.1.2	Signalisierszenarien . . . . .	100
5.4.1.3	Verkehrsmatrix und Verkehrslenkungsstrategie . . . . .	101
5.4.2	Ausgabedaten . . . . .	101
5.4.2.1	Last einzelner Netzelemente . . . . .	102
5.4.2.2	Ende-zu-Ende-Meldungstransferzeit . . . . .	102
5.5	Erweiterung des Planungswerkzeugs für das IN . . . . .	102
5.5.1	Betrachtung der SIBs . . . . .	103
5.5.2	Abbildung auf die physikalische Ebene . . . . .	104
5.5.3	Flußanalyse . . . . .	105
5.5.4	Leistungsanalyse . . . . .	106
<b>6</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>108</b>
6.1	Beispiel ISDN . . . . .	108
6.1.1	Netzstruktur und herstellerepezifische Architektur . . . . .	108
6.1.2	Unterstützte Dienste und Verkehrsmatrix . . . . .	110
6.1.3	Meldungstypen und Parameter . . . . .	111
6.1.4	Einführung eines neuen Dienstes . . . . .	112
6.1.5	Ergebnisse . . . . .	113
6.1.5.1	Dienstgüteparameter des Netzes . . . . .	113
6.1.5.2	Einfluß der Prioritätszuweisung . . . . .	113

6.2	Beispiel Mobilkommunikation . . . . .	117
6.2.1	Netzstruktur und herstellerepezifische Architektur . . . . .	117
6.2.2	Unterstützte Dienste . . . . .	118
6.2.3	Mobilitätsmodell . . . . .	119
6.2.4	Verkehrsmatrix . . . . .	120
6.2.5	Meldungstypen und Parameter . . . . .	121
6.2.6	Ergebnisse . . . . .	121
	6.2.6.1 Einfluß des Teilnehmerverkehrsangebotes . . . . .	122
	6.2.6.2 Einfluß der Teilnehmermobilität . . . . .	124
6.3	Beispiel IN . . . . .	127
6.3.1	Netzstruktur und herstellerepezifische Architektur . . . . .	127
6.3.2	IN-Dienste und entsprechende Szenarien . . . . .	128
6.3.3	Meldungstypen und Parameter . . . . .	129
6.3.4	Ergebnisse der IN-Analyse . . . . .	130
	6.3.4.1 Verkehrsflußanalyse und die Anforderung an das Signali- siernetz . . . . .	130
	6.3.4.2 Dienstgüte der IN-Dienste . . . . .	130
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>133</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	133
7.2	Ausblick . . . . .	134
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>136</b>

## Abkürzungen

AD	Adjunct
AE	Application Entity
ASE	Application Service Element
BCSM	Basic Call State Model
BSN	Backward Sequential Number
CCAF	Call Control Agent Functional Entity
CCF	Call Control Functional Entity
CGC	Circuit Group Control
CIC	Circuit Identification Code
CPCI	Call Processing Control Incoming
CPCO	Call Processing Control Outgoing
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSL	Component Sub-Layer
CUG	Closed User Group
DECT	Digital European Cordless Telecommunication System
DFP	Distributed Functional Plane
DPC	Destination Point Code
DUP	Data User Part
FEA	Functional Entity Action
FISU	Fill-In Signal Unit
FSN	Forward Sequential Number
GFP	Global Functional Plane
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
GSM	Global Systems for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
HMDC	Message Discrimination Process
HMDT	Message Distribution Process
HMRT	Message Routing Process
HUP	Handover User Part
IDN	Integrated Digital Network
IN	Intelligent Network
IN CS1	Intelligent Network Capability Set 1
INAP	Intelligent Network Application Protocol
IP	Intelligent Peripheral
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISDN-UP	Integrated Services Digital Network User Part

LI	Length Indicator
LSSU	Link Status Signal Unit
MAP	Mobile Application Part
MDSC	Message Distributing Control
MSDC	Message Sending Control
MSC	Mobile Switching Center
MSU	Message Signal Unit
MTP	Message Transfer Part
NAP	Network Access Point
NSP	Network Service Part
NUP	National User Part
OMAP	Operation and Maintenance Application Part
OMC	Operation and Maintenance Center
OPC	Originating Point Code
POI	Point of Initiation
POR	Point of Return
SCCP	Signalling Connection Control Part
SCF	Service Control Function
SCLC	SCCP Connectionless Control
SCOC	SCCP Connection Oriented Control
SCP	Service Control Point
SCRC	SCCP Routing Control
SDF	Service Data Function
SDP	Service Data Point
SEP	Signalling End Point
SIB	Service Independent Building Block
SIF	Service Information Field
SIO	Service Information Octet
SLS	Signalling Link Selection
SN	Service Node
SP	Signalling Point
SPRC	Signalling Procedure Control
SRF	Specialized Resource Function
SSF	Signalling Switching Function
SSN	Subsystem Number
SSP	Service Switching Point
TCAP	Transaction Capabilities Application Part
TCO	Transaction Coordinator
TSL	Transaction Sub-Layer

TSM	Transaction State Machine
TUP	Telephone User Part
UP	User Part
UPT	Universal Personal Telecommunications
VLR	Visitor Location Register

## Formelzeichen

$\omega_{i,j}$	mittlere Wartezeit von Aufträgen der Klasse "i" vor Phase "j"
$r_{i,j}$	Vorwärtsrekurrenzzeit von Aufträgen der Klasse "i" in Phase "j"
$\rho_{i,j}$	Auslastung des Prozessors durch Aufträge der Klasse "i" in Phase "j"
$\Omega_{i,j}$	mittlere Anzahl wartender Aufträge der Klasse "i" vor Phase "j"
$h_{i,j}$	Erstes Moment der Bedienzeit von Aufträgen der Klasse "i" in Phase "j"
$\lambda_{i,j}$	Ankunftsrate von Aufträgen der Klasse "i" in Phase "j"

# Kapitel 1

## Einführung

Das moderne Telekommunikationsnetz stellt das Bindeglied zur Integration von Kommunikation und Informationsverarbeitung dar. Das gesamte Netz kann als ein großes und komplexes verteiltes System verstanden werden, in welchem mehrere Prozesse in einem funktionellen Verbund in koordinierter Weise ablaufen. Der koordinierte Ablauf erfordert eine Kooperation zwischen den einzelnen Prozessen, er wird durch Interprozesskommunikation unterstützt.

Die an einem Telekommunikationsnetz beteiligten Instanzen sind die Vermittlungsknoten, Netzdatenbanken und andere "intelligente" Knoten. Um die unterschiedlichen Funktionen abwickeln zu können (z.B. Auf- und Abbau einer Verbindung, Datenbankabfrage, Ende-zu-Ende-Datenaustausch, Netzmanagement, etc.), ist es notwendig, daß Botschaften zwischen allen an einer Verbindung beteiligten Instanzen ausgetauscht werden, um den Verbindungsprozess koordinieren zu können. Man kann bei der Signalisierung zwei Komponenten unterscheiden: Signalisierung zwischen dem Benutzer und seinem Anschlußpunkt am Netz und die Signalisierung zwischen den Netzknoten.

Der Austausch von Signalisierinformationen zwischen den Netzknoten ist die Aufgabe des Signalisiernetzes, und die Regeln, die für diesen Austausch gelten, werden in einem Kommunikationprotokoll zusammengefaßt. Die Protokollarchitektur des modernen Signalisiernetzes, welches auf zentralisierten Signalisierkanälen beruht, ist als CCITT Signalisiersystem No. 7 bekannt und wurde bereits im letzten Jahrzehnt von CCITT standardisiert. Ein Satz von Empfehlungen für das Signalisiersystem No. 7 wurde in der Q.700-Reihe [38] veröffentlicht.

### 1.1 Problematik der Signalisiernetzplanung

Die allgemeinen Bestandteile eines Signalisiernetzes sind Signalisierknoten, welche durch Signalisierkanäle miteinander verbunden sind. Über diese Signalisierkanäle werden Signa-

lisierungsinformationen in Form von Signalisier Nachrichten (Pakete) übertragen. Dieser Signalisierungsverkehr hängt von den unterschiedlichen in diesem Netz angebotenen Diensten ab. Für jeden Dienst ist der Austausch von solchen Signalisier Nachrichten notwendig.

Die ersten Anwendungen, welche von Zentralkanal-Signalisier Netzwerken unterstützt wurden, waren überwiegend Sprachdienste. Charakteristisch für einen Sprachdienst ist die Konzentration der Übertragung von Signalisier Informationen während der Verbindungsauf- und abbauphasen. Die Signalisierung, die dem Auf- und Abbau einer physikalischen Verbindung dient, ist als verbindungsbezogene Signalisierung bekannt. In einem solchen Netz bestimmt die Anzahl von Nutzkanälen im Transportnetz die obere Grenze für den Signalisierungsverkehr. In der Praxis steuert ein Signalisierkanal typischerweise 2000 Nutzkanäle [134].

Neue Dienste weisen eine wachsende Komplexität auf und erfordern nicht selten Operationen wie Datenbankabfrage und Aufruf von Prozeduren eines entfernten Prozesses. Einen solchen Signalisier Informationsaustausch nennt man nicht-verbindungsbezogen. Es ist interessant zu bemerken, daß dieser Signalisier Informationsaustausch in jeder Phase einer Verbindung auftreten kann, ja sogar, wenn überhaupt keine Verbindung besteht, wie z.B. beim Aktualisieren des Aufenthaltes eines mobilen Endgerätes in einem Netz.

In einem realen Netz werden unterschiedliche Dienste gleichzeitig genutzt, und jeder Dienst verursacht eine unterschiedliche Belastung der Signalisierkanäle. Diese Belastung ist nicht unbedingt symmetrisch, weshalb die beiden Übertragungsrichtungen getrennt betrachtet werden. Wenn man einen Knoten betrachtet, stellt man fest, daß jedes unterschiedliche Paket von verschiedenen Funktionsblöcken bearbeitet wird, was bedeutet, daß auch die Belastung der Prozessoren in einem Knoten von der Art und Anzahl der Dienste abhängt.

Die Planung des Signalisier Netztes spielt dabei eine wesentliche Rolle, da die Dienstqualität von der Leistung des Signalisier Netztes abhängig ist [9, 10, 11, 14, 121]. Das hat nicht nur in der Entwurfsphase Gültigkeit, sondern auch bei Einführung neuer Dienste und im regulären Betrieb.

Die Planung befaßt sich allgemein mit der Festlegung der Struktur unter Gesichtspunkten der Verkehrsbeziehungen, der Verfügbarkeit und der Kosten. Die Struktur des Signalisier Netztes lehnt sich stark an die Struktur des Nutzkanalnetzes an; da dieses die Kosten dominiert, soll in dieser Arbeit von einer gegebenen Netzstruktur ausgegangen werden. Ein zweiter Aspekt der Planung ist die Auslegung (Dimensionierung) der Signalisier Netzteskomponenten wie Kanäle, Prozessoren oder andere Funktionsblöcke; die Auslegung muß so geschehen, daß das Signalisier Netztes bei Nennlast die geforderten Dienstgütekriterien erfüllt und noch genügend Reserven aufweist für den Fall, daß Komponenten zeitweilig ausfallen oder Überlastsituationen auftreten. Zur Auslegung ist die Analyse der Leistungsfähigkeit bei bestimmten Lastsituationen nötig.

Die Analyse der Leistungsfähigkeit eines Signalisiernetzes kann mit Hilfe von Simulationsprogrammen durchgeführt werden, wobei aber die Simulation eines realen Netzes mit einigen hundert Knoten für den Computer viel zu rechenintensiv wäre. Es ist auch möglich, mathematische Analysemethoden zu benutzen, um die Signalisiernetzleistungen vorherzusagen und mit geeigneter Modellierung von Signalisierkanälen und -knoten wichtige Leistungswerte zu berechnen.

## 1.2 Überblick über die Arbeit

In Kapitel 2 wird zuerst die Grundstruktur eines Signalisiernetzes beleuchtet. Weiterhin wird die Protokollarchitektur des Signalisiersystems CCITT #7, wie sie von CCITT spezifiziert wurde, dargestellt. Die für das Verständnis der Arbeit notwendigen Konzepte sowie die über mehrere CCITT-Empfehlungen verteilte Beschreibung der funktionalen Blöcke des Protokolls werden hier zusammengefaßt. Am Schluß dieses Kapitel werden Implementierungen und Entwurfsaspekte bereits bestehender Signalisiernetze kurz vorgestellt.

Das Kapitel 3 beschäftigt sich mit Aspekten des Signalisiernetzes als Basis für das ISDN, die Mobilkommunikation und das "Intelligente Netz" (IN). Die Grundstruktur der erwähnten Netze sowie die unterstützten Dienste und entsprechende Verkehrscharakteristiken werden betrachtet. Die wichtigsten Dienste des ISDN, der Mobilkommunikation und des IN werden identifiziert und als Signalisierszenarien dargestellt. Anhand der Verkehrscharakteristiken dieser Szenarien wird der Einfluß der Dienste auf das Signalisiernetz diskutiert.

Die Modellierung des Signalisiernetzes und des INs sowie deren Leistungsuntersuchung sind Gegenstand des Kapitels 4. Die Modelle für die funktionalen Blöcke des Signalisierprotokolls werden durch die Anwendung einer allgemeinen Modellierungsmethode direkt aus den CCITT-Empfehlungen hergeleitet. Die Analyse des Signalisiernetzes erfolgt über Aggregierungs- und Dekompositionstechniken. Das gesamte Modell wird in Teilmodelle zerlegt und getrennt analysiert. Die Leistungsgrößen der Teilmodelle im ungesättigten Bereich werden durch eine Mittelwertanalysetechnik ermittelt. Insbesondere wird hier auf die Darlegung der Grundgedanken für die Mittelwertanalyse des Modells im gesättigten Bereich wertgelegt. Darüberhinaus wird ein Modell für das IN vorgeschlagen. In diesem Fall läßt sich das IN-Modell als Warteschlangennetz oder mit der Technik der parametrischen Dekomposition analysieren.

In Kapitel 5 werden die Modellierungskonzepte für das Signalisiernetz in einem Planungswerkzeug implementiert. Die Anforderungen, die von der Planungsmethode und den

angestrebten Zielen des Planungsprozesses an das Planungswerkzeug gestellt werden, werden identifiziert und im Planungswerkzeug realisiert. Die Eingabedaten beschreiben die Netzstruktur einschließlich der Architektur unterschiedlicher Herstellerkomponenten, die Meldungs- und Szenariencharakteristiken und die Werte der Verkehrsmatrix. Als Ausgabedaten werden die Belastungen und mittleren Wartezeiten für Signalisierungsabschnitte und -knoten ermittelt. Außerdem werden Kenngrößen der Dienstgüte, wie z.B. die Verbindungsaufbauzeit und Ende-zu-Ende Datentransferzeit bestimmt.

Die Erweiterung des Planungswerkzeugs auf das IN-Konzept schließt das Kapitel 5 ab. Die IN-Dienste werden als eine Verkettung von "Service Independent Building Blocks" (SIBs) dargestellt. Die SIBs werden in einer Reihe von Sub-SIBs unterteilt. Die Sub-SIBs resultieren aus der Kombination aller möglichen logischen Abläufe eines SIB. Das Verhalten eines SIBs wird durch die Sub-SIBs detaillierter beschrieben und Ausnahmesituationen können besser erfaßt werden. Der im Signalisieretz resultierende Informationsfluß wird unter Berücksichtigung der physikalischen Ebene für jede einzelne Sub-SIB hergeleitet. Die Analyse des IN-Modells erfolgt durch eine hierarchische Dekomposition des Signalisieretznetzes, damit der Einfluß der anderen Signalisiererverkehre mitberücksichtigt wird. Die IN-Dienstgüte wird aus der Leistungsanalyse des IN-Modells ermittelt.

Als Ergänzung zu den theoretischen Erkenntnissen werden Anwendungsbeispiele in Kapitel 6 durchgeführt. Damit alle Einsatzgebiete des Signalisieretznetzes abgedeckt werden, werden für das ISDN, die Mobilkommunikation und das IN jeweils ein Beispiel ausgegeben. Die betrachteten Fälle veranschaulichen die Einsatzmöglichkeiten des Planungswerkzeugs anhand unterschiedlicher Netzumgebungen. Die Ergebnisse veranschaulichen den Einfluß von Faktoren, wie z.B. die Einführung neuer Dienste oder Teilnehmermobilitätsmodelle, auf das Signalisieretz.

Das Schlußkapitel faßt die in der Arbeit vorgestellten Konzepte zusammen und gibt Ausblicke auf weitere mögliche Erweiterungen des Werkzeugkonzeptes.

## Kapitel 2

# Das Signalisiersystem CCITT #7

### 2.1 Grundstruktur des Signalisiernetzes

Das Signalisiernetz kann als ein vom Nutzkanalnetz getrenntes und überlagertes Netz verstanden werden. Die Übertragung von Signalisierinformationen erfolgt in einem reservierten Kanal des Nutzkanalnetzes, auf den höheren Funktionsschichten sind die Netze jedoch völlig getrennt. Das Signalisiernetz besteht aus Knoten, die untereinander durch Übertragungskanäle (Links) verbunden sind. Entsprechend ihrer Funktion kann man diese Knoten in Signalisierpunkte (Signalling Points – SPs) und Signalisiertransferpunkte (Signalling Transfer Points – STPs) aufteilen. Die Vermittlungsstellen des Nutzkanalnetzes sind einem SP zugeordnet, in diesem Fall, spricht man von einem vermittelnden Knoten [101], kurz Vermittlungsknoten im ISDN bzw. im Mobilfunknetz. Andere Einrichtungen wie z.B. Netzdatenbanken, oder Netzverwaltungsknoten (Operation and Maintenance Center – OMC) haben keine direkte Verbindung zum Nutzkanalnetz. Netzdatenbanken, die den Dienstablauf unterstützen oder regeln, sind Dienststeuerungsknoten (Service Control Point – SCP). Bild 2.1 verdeutlicht diese Struktur.

STPs sind Hochleistungspaketvermittlungsknoten, die Meldungen zwischen zwei anderen SPs vermitteln. Sie haben ebenfalls keine Verbindung zum Nutzkanalnetz und sind aus Sicherheitsgründen normalerweise dupliziert und geographisch getrennt.

Eine tiefere Behandlung dieses Themas befindet sich in [22, 27, 32, 89, 103, 134, 144] und in den Empfehlungen des CCITT [38].

Wenn zwei SPs miteinander Meldungen austauschen, so sagt man, daß zwischen ihnen eine Signalisierbeziehung besteht. Diese Beziehung hängt nicht von der Verkehrslenkung (Routing) ab. Der Signalisiermodus (Signalling Mode) definiert die Beziehung zwischen den beiden betrachteten SPs und dem Weg, der sie verbindet.

Signalisiermodi kann man aufteilen in:

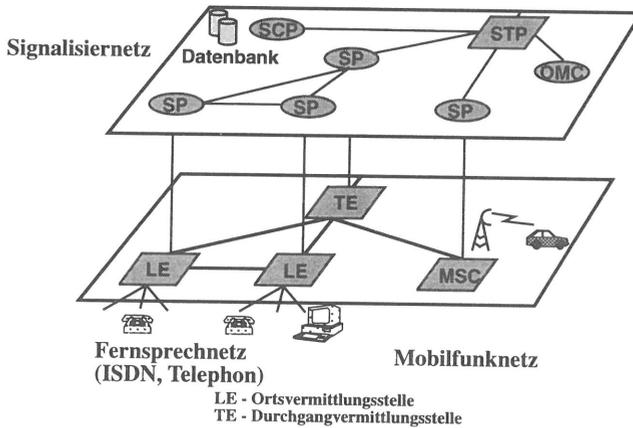


Bild 2.1: Grundstruktur eines Signalisierernetzes

- assoziierte - Es gibt einen direkten Signalisierabschnitt, der den Ursprungs- und den Ziel-SP verbindet.
- Nicht-assozierte - Zwischen Ursprung und Ziel gibt es mehrere Knoten und deshalb zusätzliche Verkehrslenkungsmöglichkeiten.
- Quasi-assozierte - Diese stellen einen Sonderfall des nicht-assozierten Signalisiermodus dar, wobei der Weg für die Signalisiermeldungen festgelegt ist.

Dies führt dazu, daß die Struktur des Signalisierernetzes nicht unbedingt der Struktur des Nutzkanalnetzes entspricht. In realen Netzen werden überwiegend der assoziierte und quasi-assozierte Signalisiermodus angewendet. Mehr über dieses Thema findet sich in [38].

## 2.2 Funktionelle Struktur und Architektur des Signalisiersystems CCITT #7

Die funktionelle Struktur des CCITT #7 unterteilt sich in einen Netzdienstteil (NSP - Network Service Part) und einen Benutzerteil (UP - User Part). Der NSP stellt die den ersten drei Schichten des OSI-Referenzmodelles [40] entsprechenden Schichten dar. Er stellt dem Benutzerteil einen zuverlässigen Meldungs austauschdienst zu Verfügung. Der UP ist der Anwendungsteil und entspricht den oberen OSI-Schichten. Ein Vergleich zwischen der Architektur des Signalisiersystems CCITT #7 und der OSI-Architektur findet sich in [141].

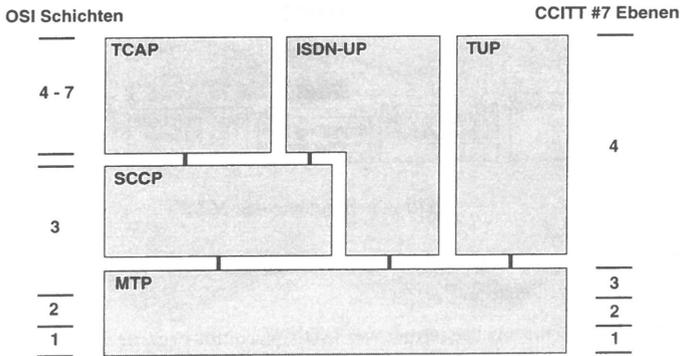


Bild 2.2: Funktionelle Architektur des Signalisiernetzes CCITT #7

Der NSP besteht aus dem MTP (Message Transfer Part) und dem SCCP (Signalling Connection Control Part). Der TUP (Telephone User Part), der ISDN UP (ISDN User Part), der DUP (Data User Part) und der TCAP (Transaction Capabilities Application Part) stellen zusammen den Benutzerteil dar.

Der DUP hat kein großes Interesse geweckt, da die Datenkommunikation in der Vergangenheit über separate Paketvermittlungsnetze abgewickelt wurde. Er wurde nur in wenigen Netzen implementiert; daher wird er in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Der TUP soll im Zukunft von dem ISDN UP ersetzt werden, aber die verbreitete Anwendung des TUP rechtfertigt seine Behandlung in dieser Arbeit.

Es gibt keine Übereinstimmung was die nationalen Anwendungen des UP betrifft. Manche Verwaltungen betrachten den TUP und DUP als Teil des ISDN UP [144], andere definieren einen NUP (National User Part) [81] oder sogar einen HUP (Handover User Part) für die Unterstützung des Mobilteilnehmerdienstes [96]. Die prinzipielle Architektur ist in Bild 2.2 dargestellt.

Die Aufgaben der einzelnen Funktionsblöcke lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- MTP - dient als verbindungsloses Transportsystem für beliebige Nachrichtenpakete der UPs und umfaßt dementsprechend Funktionen der OSI-Schichten 1 bis 3. Die Funktionen der Schicht 3 werden nur teilweise abgedeckt.
- SCCP - erweitert den MTP um verbindungslose und verbindungsorientierte Netzdienste und ergänzt deshalb die OSI-Schicht 3. Die Adressierungsmöglichkeiten werden auch durch Umwandlung von Adressen, die keine MTP-Informationen enthalten (Global Title Translation), erweitert, was bei Netzübergängen und Mobilfunkkommunikationsanwendungen eine wesentliche Rolle spielt.

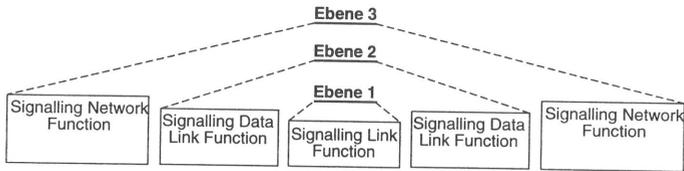


Bild 2.3: Struktur des MTP

- TUP - dient zum Auf- und Abbau von Fernsprechverbindungen und der Steuerung von Mehrwertdiensten.
- ISDN UP - dient zur Steuerung von ISDN-Verbindungen und entsprechenden Mehrwertdiensten.
- TCAP - unterstützt verbindungslose Kommunikation zwischen verteilten Anwendungen, wobei Aufrufe von Prozeduren in anderen SPs und der Austausch von Ergebnissen notwendig sind. Der TCAP benutzt dazu die verbindungslosen Dienste des SCCP. Die Benutzer des TCAP sind die sogenannten "Application Service Elements" (ASE), welche jeweils einzelne, auf die Anwendung zugeschnittene Dienste zur Verfügung stellen, und welche in den "Application Entity" (AE) realisiert sind. Beispiele für AEs sind der Mobilanwendungsteil (Mobile Application Part – MAP) und der IN-Anwendungsteil (Intelligent Network Application Part).

## 2.2.1 Message Transfer Part (MTP)

Es ist die Aufgabe des MTP, einen zuverlässigen Dienst zum Austausch von Nachrichtentpaketen zwischen UPs, die sich in unterschiedlichen SP befinden, sicherzustellen. Entsprechend dem CCITT-Modell kann man die Funktionalität des MTP in drei Ebenen aufteilen. Außerdem reagiert der MTP auf System- und Netzfehler und sorgt dafür, daß der Einfluß dieser Störfälle auf den Meldungstransfer auf ein Minimum beschränkt wird. Bild 2.3 gibt einen Überblick über die Struktur des MTP.

Die Spezifikationen des MTP sind in [38] enthalten. Eine kurze Zusammenfassung findet man auch in [144, 127, 170, 201].

### 2.2.1.1 Signalling Data Link Function (Ebene 1)

Die "Signalling Data Link Function" stellt eine bidirektionale digitale Übertragungsstrecke dar und entspricht den Funktionen der OSI-Schicht 1. Als Übertragungsbasis wird in der Regel ein 64kbit/s-Kanal verwendet. Niedrigere Bitraten sind auch möglich, sofern die geforderte Maximalverzögerung für die UP-Meldungen nicht überschritten wird.

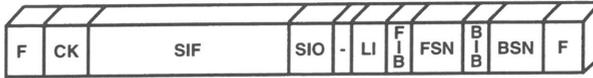


Bild 2.4: Meldungskomponenten der MTP-Ebene 2

Für Anwendungen, die TUP-Verbindungen betreffen, ist die niedrigste mögliche Rate 4.8kbit/s. Anwendungen, die eine höhere Bitrate benötigen, wie z.B. ein Personal Communication Network (PCN), werden durch ein Regionales Netz (MAN) oder durch eine ATM-Verbindung unterstützt. Es gibt noch keine internationale Empfehlungen für höhere Bitraten in der MTP-Schicht 1. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig.

### 2.2.1.2 Signalling Link Functions (Ebene 2)

Die MTP-Ebene 2 enthält Funktionen, die eine gesicherte Übertragung von Nachrichteneinheiten zwischen zwei benachbarten SPs gewährleisten. Unter "gesicherter Datenübertragung" versteht man, daß die Meldungseinheiten ohne Verluste, Verfälschung, Duplizierung und in korrekter Reihenfolge übertragen werden.

Die Funktionen der Ebene 2 sind den bitorientierten Signalisierabschnittsprotokollen des Datennetzes (HDLC, LAP-B, Synchronous Data Link Control SDLC) [188] ähnlich. Die Unterschiede liegen in der geforderten Reaktionszeit im System- oder Komponentenfehlerfall.

Die Meldungseinheiten haben eine variable Länge und werden über einen fehlerbehafteten Signalisierabschnitt übertragen. Im Fehlerfall muß die Meldung wiederholt gesendet werden. Um den Einfluß auf die Transferzeit der anderen Meldungen zu beschränken, ist die maximale Meldungslänge auf 272 Oktetts festgelegt. Bild 2.4 zeigt die Bestandteile einer Meldung der MTP-Ebene 2.

Eine MTP-Meldung fängt mit einem Begrenzer (Flag F) an. Dieses Flag dient zur Identifizierung des Anfangs und des Endes jeder Meldung und spielt auch in der verwendeten "Bit Stuffing"-Technik [188] eine Rolle. Übertragungsfehler werden durch Prüfsummenfehler (Cyclic Redundancy Check - CK) nach CCITT erkannt. Die "Backward Sequence Number" (BSN) und "Forward Sequence Number" (FSN) dienen zusammen mit "Backward Indication Bit" (BIB) und "Forward Indication Bit" (FIB) zur Reihenfolgesicherung und Quittungsindikatorerzeugung. Die Längenindikator (Length Indicator - LI) gibt die Länge der Informationsfelder "Service Information Octet" (SIO) und "Service Information Field" (SIF) an.

Entsprechend dem Längenindikator werden drei Meldungstypen unterschieden:

- Fill-In Signal Unit (FISU) - ( $LI=0$ ). Wenn keine Meldung zu senden ansteht, werden FISUs übertragen. Dadurch wird eine niedrige Reaktionszeit im System- oder Komponentenfehlerfall erreicht.
- Link Status Signal Unit (LSSU) - ( $LI=2$  oder  $LI=1$ ). Sie dient zur Kontrolle von Signalisierabschnitt-Überlast- und Signalisierabschnitt-Fehlerfällen.
- Message Signal Unit (MSU) - ( $LI > 2$ ). In der MSU werden die UP-Meldungen eingebettet und übertragen. Das Service Information Oktett (SIO) legt den UP fest, für den die Meldung bestimmt ist. Das Service Information Field (SIF) enthält die entsprechenden UP-Informationen.

Das empfohlene Fehlerkorrekturverfahren hängt mit der Durchlaufzeit zusammen. Wenn sie kleiner als 15ms ist, benutzt man das "Basic"-Verfahren, sonst das "Preventive Cyclic Retransmission" (PCR)-Verfahren.

- Das Basic-Verfahren arbeitet sowohl mit positiven als auch mit negativen Quittungen, die unter Benutzung der BSN und BIB mitgegeben werden. Eine gesendete MSU wird gespeichert, bis in der erwarteten Reihenfolge eine positive Quittung empfangen wird. Die positive Quittung wird durch entsprechendes Setzen des BSN-Feldes und durch Kopieren des FIB in das BIB einer in Gegenrichtung geschickten SU angezeigt. Falls eine negative Quittung auftritt, müssen alle danach gesendeten MSUs wiederholt werden. Dies entspricht der sogenannten "Go-Back N"-Flußkontrolltechnik [188]. Da die BSN sieben Bits lang ist, dürfen 127 Meldungen übertragen werden, ohne daß eine positive Quittung empfangen wird.
- Das PCR-Verfahren arbeitet nur mit positiven Quittungen und wird bei langen Signallaufzeiten (normalerweise auf Satellitenstrecken) angewendet. Eine gesendete Meldung wird gespeichert, bis eine positive Quittung empfangen wird. Falls es keine neue MSU gibt, werden die noch nicht quitierten MSUs erneut übertragen. Wenn die Anzahl der nicht quitierten MSUs eine Grenze überschreitet, wird die Übertragung von neuen MSUs gestoppt, bis die Anzahl wieder unter der Grenze liegt. Diese Änderung in der "Go-Back N"-Technik wurde eingeführt, um eine bessere Kanalauslastung zu erreichen.

### 2.2.1.3 Signalling Network Functions (Ebene 3)

Die Signalling Network Functions sind dafür zuständig, die Übertragung von Meldungen zwischen zwei beliebigen SPs zu ermöglichen. Sie gewährleistet dies sogar bei Ausfällen einzelner Signalisierabschnitte oder ganzer STPs. Die MTP-Ebene 3 besteht, wie in Bild 2.5 gezeigt ist, aus den Blöcken "Signalling Message Handling" (Bearbeitung der Signaliernachrichten) und "Signalling Network Management" (Signalisiernetz-Management).

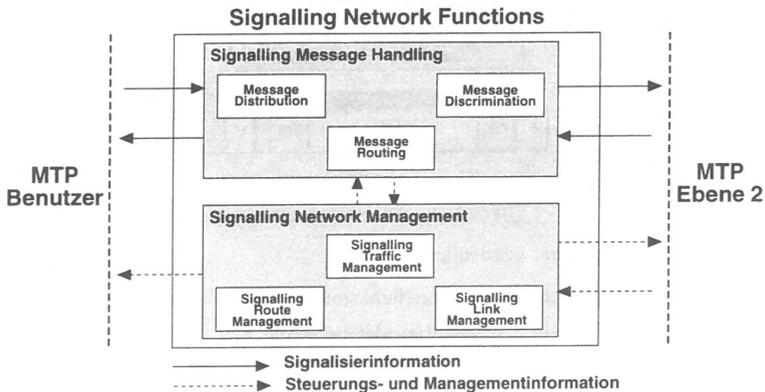


Bild 2.5: Struktur der MTP-Ebene 3

Der Block "Signalling Message Handling" ermöglicht es, daß eine UP-Meldung des Ursprungs-SP beim entsprechenden UP des Ziel-SP abgeliefert wird. Der Block "Message Discrimination" untersucht das "Routing Label" (Verkehrslenkungsfeld) einer aus Ebene 2 angekommenen Meldung und unterscheidet, ob sie für den SP bestimmt ist oder nicht. Falls der SP nicht das Ziel ist, wird die Meldung an den Block "Message Routing" übergeben, von wo sie den SP verläßt. Handelt es sich um den Ziel-SP, geht die Meldung zum Block "Message Distribution" und wird durch Auswertung der SIO an den entsprechenden UP gerichtet.

Im Störfall rekonfigurieren die Management-Funktionen das Netz. Auch dabei soll garantiert werden, daß keine Meldung dupliziert wird oder verlorengeht. Die allgemeinen Prinzipien der Management-Funktion sind die Minimierung der Anzahl von Knoten, welche von Meldungen durchlaufen werden, eine gleichmäßige Lastteilung im Netz sowie die Erhaltung der Verkehrsintegrität bei Ausfall oder Überlast von Signalisiernetzkomponenten. Diese Funktionen gliedern sich in drei Gruppen:

- Signalling Network Management – Die Aufgabe des "Signalling Network Management" ist die Rekonfiguration des Signalisiernetzes bei Signalisierabschnitt- oder SP-Ausfall und das Verkehrsmanagement bei Blockierung oder Überlast.
- Signalling Traffic Management – Das "Signalling Traffic Management" aktualisiert die Verkehrslenkungstabelle durch Analyse der Verfügbarkeit von Signalisierabschnitten, SPs, STPs und der aktuellen Belastungssituation. Diese Funktionen sollen ohne Verlust oder Duplizierung von Meldungen durchgeführt werden.
- Signalling Route Management – Das "Signalling Route Management" verteilt Informationen über die Verfügbarkeit von Signalisierungswegen, damit im Blockierungsfalle

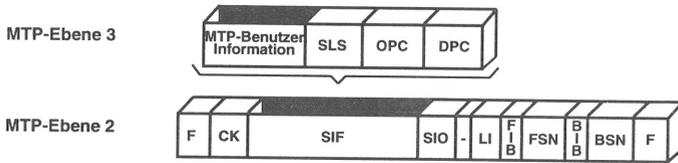


Bild 2.6: Meldungskomponenten der MTP-Ebene 3

das Netz rekonfiguriert werden kann.

- Signalling Link Management – Diese Funktion dient der Verwaltung der zum eigenen SP gehörenden Signalisierungsabschnitte. Als Reaktion auf die von Ebene 2 erzeugten Fehlermeldungen werden Inbetriebnahme und Abschaltung von fehlerhaften Signalisierungsabschnitten durchgeführt.

Die Verkehrslenkungs-Information wird in dem Routing Label einer Meldung transportiert. Das Routing Label besteht aus Adressen des Ziel-SP (DPC - Destination Point Code), des Ursprungs-SP (OPC - Originating Point Code) und den ausgewählten Signalisierungsabschnitten (SLS - Signalling Link Selection). Die Signalisierungsabschnitte, die zwei benachbarte SPs verbinden, bilden ein Signalisierungsabschnittsbündel. Es findet eine Belastungsaufteilung des Verkehrs zwischen den Signalisierungsabschnitten eines Signalisierungsabschnittsbündels statt. Um die Reihenfolge von Meldungen zu sichern, wird dieselbe SLS in allen Meldungen, welche zu einem Ruf gehören, benutzt. Die für das Signalling Message Handling benutzten Meldungskomponenten sind aus Bild 2.6 zu entnehmen.

### 2.2.2 Signalling Connection Control Part (SCCP)

Der SCCP erweitert den MTP, welcher mit ihm zusammen den Network Service Part bildet. Mit der Adressierung des MTP ist es nur möglich, eine Meldung für einen UP eines gewissen SPs zu senden. In vielen Anwendungen, in denen eine Umsetzung der Adresse oder die Identifizierung eines UP-Subsystems notwendig ist, reicht die Adressierung des MTP nicht aus. Die Spezifikation des SCCP findet man in [41], eine ausführlichere Beschreibung ist auch in [144, 51, 202] enthalten.

Der SCCP ergänzt die Dienste des Network Service Part und benutzt als Adresse den "Destination Point Code" (DPC) sowie eine Subsystemnummer (SSN). Die SSN identifiziert einen SCCP-Benutzer in einem SP. Außerdem ist der SCCP fähig, eine Umsetzung von Adressen, die nicht unbedingt Verkehrslenkungsinformationen für den SCCP beinhalten, durchzuführen. Man kennzeichnet diese Adressen als "Global Titles".

Ein Beispiel für eine solche Umsetzung von Adressen kann im Mobilfunk gefunden werden. Im Mobilfunknetz wird der aktuelle Aufenthaltsort eines Teilnehmers registriert.

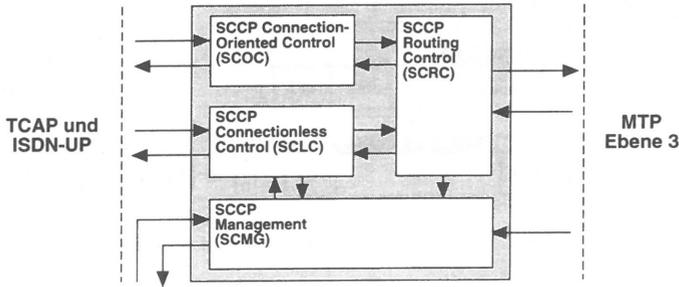


Bild 2.7: Grundstruktur des SCCP

Beim Betreten eines anderen Netzbereiches identifiziert sich der Teilnehmer mit seiner internationalen Rufnummer. Da diese Rufnummer (Global Title) keine Signalisieretzadresse enthält, ist eine Umwertung in eine geeignete Signalisieretzadresse (DPC und SSN) erforderlich.

Die Grundstruktur des SCCP enthält 4 funktionale Blöcke und ist in Bild 2.7 dargestellt. Der Block "Routing Control" wertet die Adressinformation aus und entscheidet, ob die Meldung für einen UP des betrachteten SP bestimmt ist oder nicht. Die Umsetzung von Global Titles findet ebenfalls in diesem Block statt. "Connection Oriented Control" und "Connectionless Control" stellen die Prozeduren für verbindungsorientierten bzw. verbindungslosen Dienst zur Verfügung. Der SCCP Management Part überwacht und verwaltet die Verfügbarkeit von seinen SCCP-Benutzern und anderen SPs des Netzes.

Eine andere Erweiterung des SCCP ist der Transport von Informationen über verbindungslose oder verbindungsorientierte Signalisierverbindungen. Bei der Nutzung dieser Möglichkeit ist jedoch Vorsicht geboten. Der Transport von Daten über das Signalisieretz kann ernste Konsequenzen haben und zur erheblichen Verschlechterung der Netzdienstgüte führen. In den Empfehlungen für internationale ISDN-Netzübergänge sind diese Dienste nur sehr beschränkt zugelassen.

Der SCCP stellt seinen UPs folgende Dienstklassen zur Verfügung:

- Klasse 0 - Verbindungsloser Dienst ohne Reihenfolgesicherung. Die Meldungen werden unabhängig voneinander übermittelt und können in einer veränderten Reihenfolge ankommen.
- Klasse 1 - Verbindungsloser Dienst mit Reihenfolgesicherung durch den MTP. Alle Meldungen eines Stromes bekommen denselben SLS-Code, um Überholungen zu verhindern.
- Klasse 2 - Verbindungsorientierter Dienst mit Reihenfolgesicherung, Segmentierung (Segmenting) und Wiedervereinigung (Reassembly). Es handelt sich um einen ein-

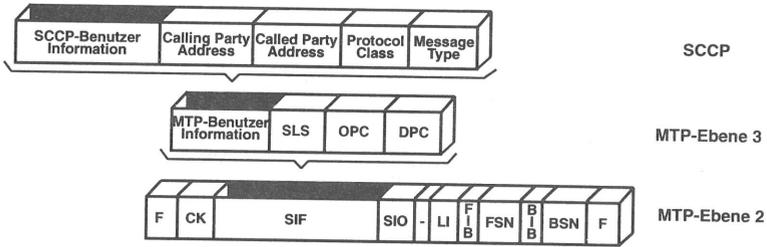


Bild 2.8: Aufbau einer SCCP Unitdata-Meldung

fachen verbindungsorientierten Dienst. Wenn die Meldung länger als 255 Oktetts ist, wird sie aufgrund der maximalen MTP-Meldungslänge geteilt (Segmentierung), in verschiedenen Paketen gesendet und in dem Ziel-UP wieder zusammengestellt (Wiedervereinigung).

- Klasse 3 - Verbindungsorientierter Dienst mit Reihenfolgesicherung, Segmentierung, Wiedervereinigung, Flußsteuerungsmechanismen und Erkennung von Meldungsverlusten und Reihenfolgefehlern.

Eine SCCP-Meldung enthält ein Meldungstypfeld (Message Type) und mehrere Parameter. Die Parameter können vorgeschrieben oder optional sein und weisen feste oder variable Längen auf.

Die Anforderung zum Aufbau einer SCCP-Verbindung erfolgt mit einer "Connection Request" (CR)-Meldung. Ein erfolgreicher Verbindungsaufbau wird durch eine "Connection Confirm" (CC)-Meldung bestätigt. Der Verbindungsabbau findet durch "Released" (RLSD)- und "Release Complete" (RLC)-Meldungen statt. Der Informationsaustausch wird mit "Data Form" (DT)-Meldungen im verbindungsorientierten Dienst und mit "Unitdata" (UDT)-Meldungen im verbindungslosen Dienst abgewickelt.

Die Meldungstypinformation wird durch Parameter ergänzt. Die Reihenfolge und die Länge der Parameter fester Länge hängen mit dem Meldungstyp zusammen. Ein Parameter variabler Länge wird durch ein Namensfeld, einen Längenindikator und ein Informationsfeld beschrieben. Als Beispiel für den Aufbau einer SCCP-Nachricht ist in Bild 2.8 für eine SCCP Unitdata-Meldung illustriert.

Das Wert des "Message Type"-Feldes identifiziert die Meldung als SCCP-Unitdata. Die in Anspruch genommene Dienstklasse wird im "Protocol Class"-Feld festgelegt. Die drei anderen Felder weisen eine variable Länge auf und enthalten die Ursprungs- und Zieladresse sowie die SCCP-Benutzerinformation.

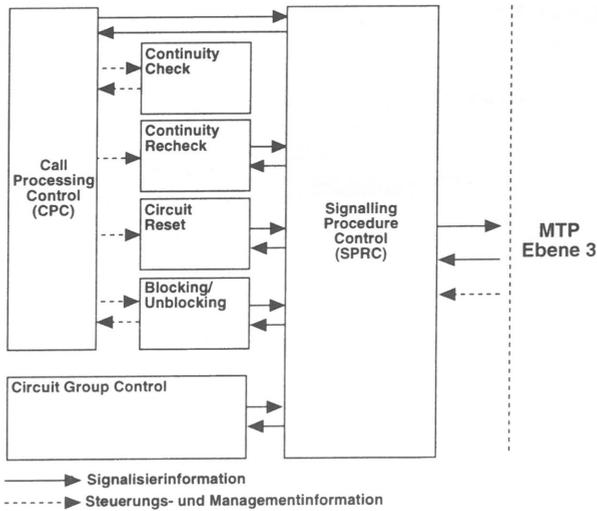


Bild 2.9: Grundstruktur des TUP

### 2.2.3 Telephone User Part (TUP)

Als erster UP wird der TUP betrachtet. Der TUP definiert die Meldungen und Prozeduren für die Steuerung von Fernsprechverbindungen. Obwohl der TUP für internationale Telephonnetze spezifiziert wurde, wird er auch mit entsprechenden Anpassungen in nationalen Netzen angewandt. Der ISDN UP enthält auch die Funktionen des TUP und deshalb zeigt sich die Tendenz, daß der TUP durch den ISDN UP ersetzt wird. Wegen der Größe des Telephonnetzes und seiner wichtigen Bedeutung wird der TUP hier erwähnt.

Das TUP-Protokoll ist überwiegend verbindungsbezogen und seine Aufgabe ist der Verbindungsauf- und abbau von Fernsprechverbindungen. Ferner dient der TUP auch zum Management und zur Kontrolle von Übertragungsstrecken (Circuit and Circuit Groups), aber diese Funktionen werden hier nicht näher erläutert. Ausführliche Informationen darüber findet man in [38].

In Bild 2.9 ist die Grundstruktur des TUP dargestellt. Der Block "Call Processing Control" (CPC) dient zur Signalisiersteuerung von Verbindungsauf- und abbau sowie zur Unterstützung der in zusätzlichen Diensten (Additional Services) erforderlichen Funktionen. Der Block "Circuit Group Control" ist für die Überwachung der Übertragungsstrecke zuständig. Der Block "Signalling Procedure Control" (SPRC) leitet eine Meldung entsprechend des Kontextes (Verbindungssteuerung oder Blockierung, Überwachung und Steuerung der Übertragungsstrecke) an die entsprechenden Funktionen weiter.

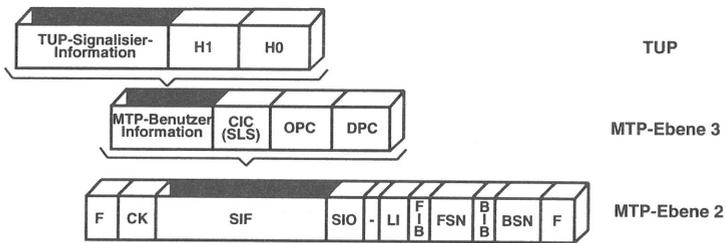


Bild 2.10: Allgemeiner Aufbau einer TUP-Nachricht

Weitere Dienste sind für den TUP definiert und bilden die zusätzlichen Dienste. Beispiele dafür sind geschlossene Benutzergruppen (Closed User Group), Identifikation des rufenden Anschlusses (Calling Line Identification), Anrufum- und Weiterschaltung (Call Forwarding and Redirection) und Netzzugriff auf Rufdaten (Malicious Call Identification or Charge Procedures).

Der TUP benutzt die Transportdienste des MTP. Der allgemeine Aufbau einer TUP-Nachricht ist in Bild 2.10 gezeigt.

Das "Routing Label" enthält den "Destination Point Code" (DPC), "Originating Point Code" (OPC) und "Circuit Identification Code" (CIC). DPC und OPC enthalten die Adresse des Ziel- bzw. Ursprungs-SPs. Der CIC gibt über die Nummer der Leitung (Circuit Code) Auskunft, über welche die Nutzinformation läuft.

Alle TUP-Meldungen beinhalten auch ein H0- und H1-Feld. Der H0-Feld bestimmt die allgemeine Meldungskategorie; eine Meldung, z.B. die Adressinformationen beinhaltet (gewählte Rufnummer), gehört in die Kategorie "Forward Address Message". Die Bedeutung des H1-Feldes hängt mit der Meldungskomplexität zusammen. In der Verbindungsabbauphase steuert die Information des H1-Feldes die Vermittlungsstelle, um die benutzte Sprachleitung freizugeben. In komplexen Meldungen bestimmt das H1-Feld die Informationscharakteristik des SIF.

Im folgenden soll die Funktion des TUP anhand eines grundlegenden Szenarios verdeutlicht werden. Als Beispiel wird ein erfolgreicher Verbindungsaufbau angenommen. Da die Prozesse in Ursprungs-, Zwischen- und Ziel-SP unterschiedlich sind, werden sie getrennt betrachtet (siehe Bild 2.11).

- Ursprungs-SP – Die erste Meldung des Verbindungsaufbaus ist die IAM-Meldung (Initial Address Message). Sie enthält entweder die ganze Zieladresse oder nur einen Teil davon. Wenn nur ein Teil der Zieladresse vorhanden ist, müssen SAM-Meldungen (Subsequent Address Message) folgen. Der Sprachpfad wird nun in abgehender Richtung durchgeschaltet und der SP wartet auf eine ACM-Meldung

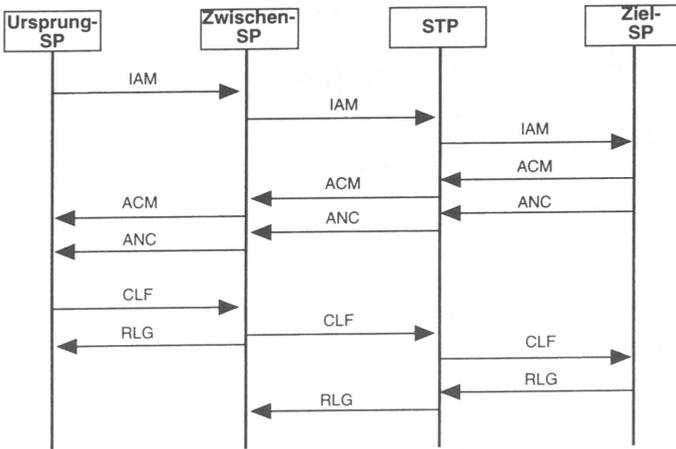


Bild 2.11: Beispiel eines TUP-Szenarios

(Address Complete Message). Der Empfang einer ACM bedeutet, daß der Zielteilnehmer frei ist und der Sprachpfad in beiden Richtungen durchgeschaltet werden darf. Eine ANC-Meldung (Answer Message) meldet, daß der gerufene Teilnehmer in die Verbindung eingetreten ist und die Gesprächsdauermessung beginnen soll. Wenn eine CBK-Meldung (Clear Back) ankommt oder der rufende Teilnehmer auslöst, wird eine CLF-Meldung (Clear Forward) gesendet. Die Leitung wird durch den Empfang einer RLG-Meldung (Release Guard) oder durch Ablauf eines Timers freigegeben.

- Zwischen-SP – Die Zieladresse einer empfangene IAM-Meldung wird bewertet und eine neue IAM-Meldung in Zielrichtung erzeugt. Der Sprachpfad wird in beiden Richtungen durchgeschaltet. Alle anderen empfangenen Meldungen, welche die Verbindung betreffen, werden erneut generiert und in die entsprechenden Richtungen gesendet. Das bedeutet, daß die Verbindungssteuerung (Call Control) im Zwischen-SP über den Zustand einer Verbindung informiert ist. Bei Empfang einer CLF-Meldung oder CBK-Meldung wird der Sprachpfad aufgetrennt.
- Ziel-SP – Wenn eine IAM-Meldung empfangen wird, wird eine ACM-Meldung, falls der gerufene Teilnehmer frei ist, zurückgesendet. Ist der Teilnehmer belegt, wird eine CBK-Meldung erzeugt. Eine ANC-Meldung kennzeichnet, daß der Teilnehmer sich gemeldet hat. Beendet der Teilnehmer die Verbindung, so wird eine CBK-Meldung erzeugt. Eine CLF-Meldung wird durch eine RLG-Meldung beantwortet.

In Bild 2.11 ist eine erfolgreiche Verbindung dargestellt. In dem dargestellten Falle löst der anrufende Teilnehmer aus.

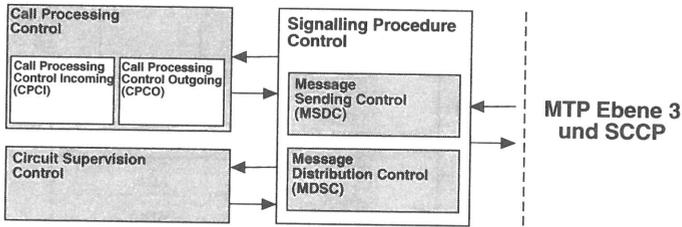


Bild 2.12: Grundstruktur des ISDN UP

## 2.2.4 Integrated Services Digital Network User Part (ISDN UP)

Der ISDN UP ist für die Steuerung der Signalisierfunktionen von ISDN-Verbindungen zuständig. Der ISDN UP wurde ursprünglich als eine Kombination von TUP und DUP geplant, um einige Forderungen an Integration von Sprache und Daten in ISDN-Netzen erfüllen zu können. Das ISDN UP-Protokoll wurde aber flexibel gestaltet und kann neben dem reinen Auf- und Abbau von ISDN-Verbindungen auch die Realisierung der vielfältigen und oftmals komplexen ISDN-Dienstmerkmale unterstützen. Solche Dienstmerkmale sind zum Beispiel die Anrufweitschaltung, geschlossene Benutzergruppen oder die Identifizierung des rufenden Teilnehmers. Im nationalen Bereich können diese Dienste durch Merkmale wie Umschaltung der Endgeräte während einer Verbindung oder automatischer Rückruf, wenn der gerufene Teilnehmer besetzt ist, ergänzt werden. Die Empfehlung [41] enthält eine ausführliche Beschreibung des ISDN UP, daneben sind auch kurze Überblicke in [63, 144, 203] zu finden.

Die Grundstruktur des ISDN UP wird in Bild 2.12 gezeigt. Der Block "Message Distributing Control" (MDC) leitet eine empfangene Meldung an den entsprechenden Prozeß weiter. Der Block "Message Sending Control" (MSDC) übergibt eine abgehende Meldung an den MTP oder SCCP, je nachdem ob diese Meldung nutzkanalbezogen ist oder nicht. Der Block "Call Processing Control" steuert den Auf- und Abbau von ISDN-Verbindungen und behandelt unvollständige Rufe und Fehlerfälle. Dafür benutzt sie die Prozeduren für die Bearbeitung von ankommenden Anrufen (CPCI - Call Processing Control Incoming), abgehenden Anrufen (CPCO - Call Processing Control Outgoing) und die Überwachung von Übertragungsstrecken (Continuity Check Incoming and Outgoing).

Der ISDN UP bietet auch die Möglichkeit der Ende-zu-Ende-Signalisierung zwischen Ursprungs- und Ziel-SP. Der Vorteil bei diesem Verfahren ist die Übertragung von Signalisierinformationen ohne Bewertung in den Zwischen-SPs. Um die Ende-zu-Ende-Signalisierung abzuwickeln, bietet der ISDN UP zwei unterschiedliche Methoden, die SCCP- und die Pass-Along-Methode.

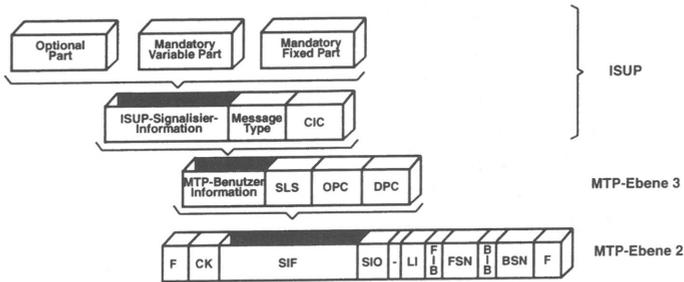


Bild 2.13: ISDN UP-Meldungen

- **SCCP-Methode** - Die SCCP-Methode benutzt die verbindungslosen und verbindungsorientierten Dienste des SCCP als Basis für die Ende-zu-Ende-Signalisierung. Im Falle des verbindungsorientierten Dienstes ist es notwendig, eine Verbindung aufzubauen. Das geschieht durch eine Anforderung (Connection Request - CR) von dem rufenden SP, die durch eine Bestätigung (Connection Confirm - CC) des gerufenen SP quittiert wird. Die SCCP CR-Meldung kann entweder explizit oder implizit gesendet werden.
  - Impliziter SCCP-Verbindungsaufbau (Embedded Set-Up) - Die SCCP-CR wird in einer Meldung der ISDN UP-Verbindungsaufbauphase eingebettet.
  - Expliziter SCCP-Verbindungsaufbau - Der SCCP erzeugt eine CR-Meldung, und diese wird unabhängig davon, ob es eine durchschaltvermittelte ISDN-Verbindung gibt oder nicht, gesendet.
- **Pass-Along-Methode** - Bei dieser Methode wird eine in dem Ursprungs-SP erzeugte Meldung über den Zwischen-SP bis zu dem Ziel-SP gesendet. Die Verkehrslenkungs-Information ist in allen beteiligten SPs während der Dauer eines Anrufes gespeichert. Dies ermöglicht die Weiterleitung einer Meldung ohne Analyse des Meldungsinhaltes in den Zwischen-SPs. Der Nachteil dieser Methode liegt darin, daß eine Durchschaltverbindung aufgebaut werden muß, und findet deshalb nur begrenzt Anwendung.

Die Struktur der Meldungen, die zur Unterstützung der ISDN UP-Dienste dienen, sind in Bild 2.13 dargestellt.

Der prinzipielle Meldungsaufbau enthält einen ISDN UP-Label mit Ziel-SP (DPC), Ursprungs-SP (OPC), "Signaling Link Selection" (SLS) und Leitungsnummer (CIC). Es folgt ein Meldungstypfeld und je nach Meldungstyp ein festgelegter obligatorischer Festteil (Mandatory Fixed Part). Um mehr Flexibilität zu erreichen, gibt es des weiteren eine dynamische Datenstruktur mit variabler Länge, wobei Zeiger auf die obligatorischen

variablen Teile (Mandatory Variable Fields) sowie auf die variablen optionalen Felder zeigen.

Als Beispiel für die Funktion des ISDN UP wird zunächst der normale Aufbau einer durchschaltvermittelten ISDN-Verbindung ohne den expliziten Aufbau einer zugehörigen Ende-zu-Ende-Signalisierungsverbindung betrachtet. Die benutzten Meldungen verwenden demzufolge die Pass-Along-Methode, das Szenario ist ganz analog zu einer TUP-Verbindung (siehe Bild 2.11). Unterschiede bestehen in den Bezeichnungen für die Verbindungsabbaumeldungen, die hier statt "Clear Forward" (CLF) und "Release Guard" (RLG), "Release" (REL) und "Release Complete" (RLC) heißen.

Die zusätzlichen Dienste stellen eine Änderung des obengenannten Grundszenarios dar und erfordern für ihre Abwicklung andere Meldungen. Als Beispiel werde hier die Identifizierung des rufenden Teilnehmers diskutiert. Die Identifizierung des rufenden Teilnehmers (Calling Line Identification - CLI) ermöglicht die Anzeige von Informationen über ankommende Anrufe. In nationalen Anwendungen wird auch die Möglichkeit angeboten, den Anruf anzunehmen oder nicht. Die notwendige Information wird von der IAM-Meldung abgeleitet. Wenn eine ankommende IAM-Meldung die rufende Teilnehmeradresse nicht enthält, wird eine Information Request Message (INR) zum rufenden SP gesendet. Eine Antwort wird in Form einer Information Message (INF) erwartet. Soweit sie die geforderte Information mitteilt, wird der Verbindungsaufbau mit Sendung einer ACM-Meldung normal fortgesetzt.

### **2.2.5 Transaction Capabilities Application Part (TCAP)**

Der TCAP dient verteilten Anwendungen, für welche eine nicht verbindungsbezogene Signalisierung (Non-Circuit Related Signalling) notwendig ist. Diese Anwendungen erfordern den Aufruf von Prozeduren in anderen SPs und den Austausch der entsprechenden Ergebnisse. Der TCAP hat als Basis den verbindungslosen Dienst des SCCP, und die Signalisierung erfolgt zwischen den Application Service Element (ASE). Die funktionelle Gruppe von einem oder mehreren ASEs, die zur Unterstützung eines bestimmten Dienstes miteinander kooperieren, nennt man eine Application Entity (AE). Beispiele für AEs, die die Dienste des TCAPs wahrnehmen, sind der Operation and Maintenance Application Part (OMAP), Mobile Application Part (MAP) oder der Intelligent Network Application Part (INAP).

Eine kurze Zusammenfassung findet man in [144, 108] und anwendungsspezifischer Literatur in [48, 89, 167, 49, 96, 27].

Die Empfehlungen für TCAP sind noch nicht stabil und die "Blue Book"-Empfehlungen [41] sind nicht mehr aktuell. Die überarbeitete Version findet man in [45]. Die

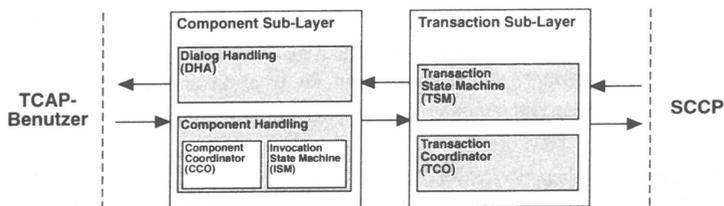


Bild 2.14: Grundstruktur des TCAP

bisherige Dokumentation betrachtet nur die Blöcke MTP und SCCP als mögliche Netz-dienstanbieter. Dies wurde erweitert, damit als Netzschicht auch OSI-Standardprotokolle benutzt werden können. In diesem Fall sollte beachtet werden, daß die Leistungsanforderungen der Anwendungen erfüllt werden.

Das Konzept hinter dem TCAP unterscheidet sich wesentlich vom Telefonsignali-sernetz. Hier wird ein Dialog aufgebaut, um eine spezifische Aktion von anderen SPs anzufordern. Der angeforderte Teil kann mit einem Ergebnis, einer neuen Forderung oder einer Fehlerindikation antworten. Dieser Dialog wird fortgesetzt, bis das Problem gelöst ist.

Ein menschlicher Dialog besteht aus Wörtern, ein TCAP-Dialog besteht aus Kompo-nenten (Components). Als Folge können viele Meldungen mit relativ wenigen Kompo-nenten geschaffen werden. Damit der TCAP sich unabhängig von den verschiedenen Anwendungen verhält, ist die Information einer Komponente anwendungsspezifisch.

Ein Dialog, bei welchem unidirektionale Komponenten, ohne eine Antwort anzufordern, gesendet werden, nennt man einen unstrukturierten Dialog (Unstructured Dialog). Wenn der Anfang und das Ende eines Dialoges durch die Primitiven TR-Begin und TR-End explizit definiert sind, spricht man von einem strukturierten Dialog (Structured Dia-log). Für strukturierte Dialoge wird eine Transaktionsnummer festgelegt, damit ein TC-Benutzer mehrere Dialoge gleichzeitig führen kann.

Die Grundstruktur des TCAP ist in Bild 2.14 zu erkennen.

Der "Transaction Sub-Layer" (TSL) ist für die Transaktionskontrolle zuständig. In einem unstrukturierten Dialog verpackt er die zu sendenden Komponenten in einer UNI-DIRECTIONAL-Meldung und übergibt sie an den Netzdienstanbieter. In dem Fall des strukturierten Dialoges steuert der TSL den Dialog und benutzt dafür die BEGIN-, CONTINUE- und END-Meldung. Die Komponenten werden entsprechend der Dialog-phase in einer von den obengenannten Meldungen eingebettet und an den Netzdienst-anbieter weitergegeben. Ein Dialog kann auch jeder Zeit vom TCAP-Benutzer oder vom TSL durch eine ABORT-Meldung abgebrochen werden.

Die Funktionen des TSL werden in dem "Transaction Coordinator" (TCO) und der "Transaction State Machine" (TSM) abgewickelt. Der TCO führt eine Syntaxüberprüfung der ankommenden Meldungen durch und steuert die Interaktionen mit der individuellen TSM. Die Zustandsinformationen einer Transaktion werden in einer eigenen TSM gespeichert. Außerdem ist die TSM für die Verschachtelung und Sendung von TCAP-Meldungen eines strukturierten Dialogs verantwortlich. Meldungen, die sich auf keine lokale TSM beziehen (ABORT- und UNIDIRECTIONAL-Meldungen), werden vom TCO gesendet.

Der "Component Sub-Layer" (CSL) teilt sich in zwei funktionale Blöcke, das "Dialog Handling" (DHA) und das "Component Handling" (CHA) auf. Die Dienste des DHA werden vom TC-Benutzer durch Dialogprimitive angefordert. Das DHA sendet eine Anforderung an das CHA und als Antwort bekommt es alle noch nicht gesendeten Komponenten. Diese werden an den TSL übergeben.

Das CHA empfängt in dem "Component Coordinator" (CCO)-Block eine Komponente vom TC-Benutzer. Diese wird gespeichert, bis sie vom DHA angefordert wird. Wenn es um eine Invoke-Operation geht, wird eine Kopie davon in der "Invocation State Machine" (ISM) gespeichert, bis das entsprechende Ergebnis (Response) eintrifft.

Eine ankommende Meldung wird von der TSL an das DHA übergeben. Das DHA sendet zum TC-Benutzer das Dialogprimitiv und zum CCO die enthaltenen Komponenten. Der CCO leitet die Komponenten zum TC-Benutzer weiter. Für die Komponenten, die ein Ergebnis enthalten, wird auch eine Quittung für die in der ISM gespeicherten Invoke-Referenzen erzeugt.

Entsprechend dem jeweiligen Fall, erlaubt die CSL drei Klassen von Operationen:

- Klasse 1 - Erfolg und Mißerfolg sind gemeldet.
- Klasse 2 - Nur Mißerfolg ist gemeldet.
- Klasse 3 - Nur Erfolg ist gemeldet.
- Klasse 4 - Weder Erfolg noch Mißerfolg sind gemeldet.

Die TCAP-Meldung teilt sich auf in einen Transaktions-, Dialog- und einen Komponententeil. Die Struktur einer Meldung enthält Namens-, Längen- und Inhaltsfelder. Der Inhalt weist in einer rekursiven Weise wieder dieselbe Struktur auf. Diese Darstellung führt zu einer langen Bearbeitungszeit der Meldung, bietet aber eine bessere Flexibilität des Protokolls.

Der Transaktionsanteil (Transaction Portion) besteht aus Meldungstyp, Meldungslänge und Meldungsinformation. Der Meldungstyp teilt den Zustand der Transaktion mit. Ein BEGIN initialisiert eine Transaktion, die mit CONTINUE fortgesetzt wird. Das Ende ist im Normalfall durch ein END und in Störfällen durch ABORT gekennzeichnet. Die

Länge legt die Oktettanzahl des Informationsfeldes fest. Das Informationsfeld enthält die Komponenten.

Der Komponententeil (Component Portion) hat dieselbe Struktur wie der Transaktionsanteil: Name, Länge und Wert der Komponente. Eine Komponente ermöglicht den Austausch von Anforderungen und Ergebnissen zwischen den SPs und kann wie folgt klassifiziert werden:

- Invoke - enthält eine Anforderung für den Aufruf einer entfernten Prozedur.
- Return Result Last - enthält die Rückgabe des Ergebnisses, bzw letzten Teilergebnisses eines Aufrufs.
- Return Result Not Last - enthält ein Teilergebnis, das noch durch andere Teilergebnisse ergänzt wird.
- Return Error - meldet einen Fehler, der bei der Ausführung der entfernten Operation aufgetreten ist.
- Reject - die angeforderte entfernte Operation ist unbekannt konnte nicht durchgeführt werden.

Der Dialoganteil (Dialog Portion) ist ein optionaler Meldungsanteil und ermöglicht die Aushandlungen des Anwendungskontextes und den transparenten Austausch von nicht-standardisierten Benutzerinformationen. Mit der wachsenden Anzahl von Anwendungen wird die Identifizierung des Anwendungskontextes benötigt, damit zwischen den Kommunikationsinstanzen unterschieden werden kann. Im GSM, zum Beispiel, wird der Anwendungskontext benutzt, um einzelne Anwenderteile (Funktionen des Kurznachrichtendienstes, Zusatzdienste, etc.) zu adressieren und Versionen der einzelnen Anwenderteile aushandeln zu können. Die Benutzerinformation bietet den GSM-Netzbetreibern die Möglichkeit, netzspezifische Informationen auszutauschen, wie z.B. Rechnungen, oder dem Benutzer des eigenen Netzes Zusatzfunktionen, die aus Wettbewerbsgründen nicht offengelegt sind, anzubieten [84].

Bild 2.15 zeigt den Aufbau einer TCAP-BEGIN-Meldung mit einer INVOKE-Komponente.

Als Beispiel für TCAP-Anwendungen werde hier der 130-Dienst betrachtet, andere Anwendungsbeispiele sind in der erwähnten Literatur ausgeführt.

Im 130-Dienst findet ein Wechsel der Gebührenübernahme statt, d.h. der gerufene Teilnehmer übernimmt die Gebühren. Der gerufene Teilnehmer erwünscht aus Marketinggründen eine einheitliche nationale Rufnummer, obwohl die Bedienung normalerweise in Regionen aufgeteilt ist. Daher muß die nationale Rufnummer umgewandt und der Ruf an die regionale Bedienstelle geleitet werden. Es wird angenommen, daß die notwendigen

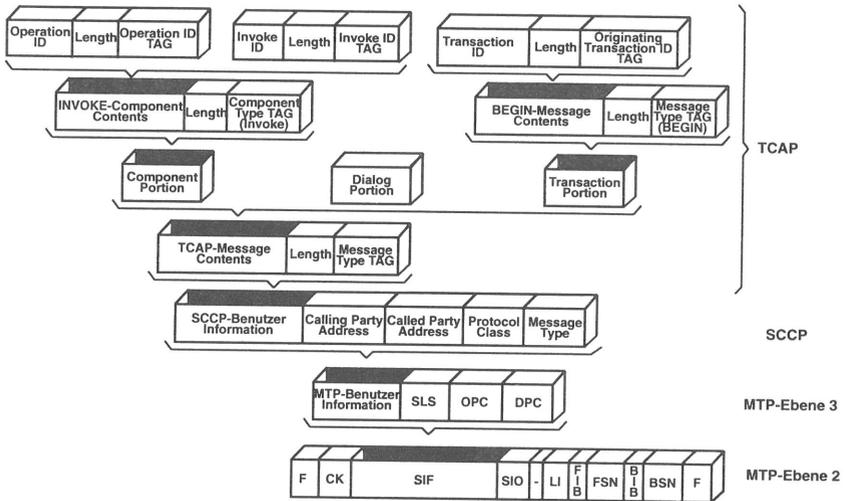


Bild 2.15: Grundstruktur einer TCAP-Meldung

Daten für die Verkehrslenkung der Verbindung in einer Netzdatenbank liegen und der Dienst mit Unterstützung des TCAP realisiert wird. Um ein vollständiges Beispiel zu illustrieren, nimmt man noch an, daß, nachdem die Netzdatenbank die Abfrage empfangen hat, sie den Ursprungs-SP auffordert, eine automatische Ansage zu aktivieren, zusätzliche Ziffern zu sammeln und sie an die Datenbank zu übergeben. Mit diesen Informationen ermöglicht die Datenbank die entsprechende Verkehrslenkung:

- Der Ursprungs-SP sendet eine BEGIN-Meldung, um einen strukturierten Dialog aufzubauen, und sie enthält eine INVOKE-Komponente mit einer "Retrieve Routing" Operation. Diese Forderung identifiziert man mit ID #1.
- Die Netzdatenbank sendet eine CONTINUE-Meldung zurück und fordert den Ursprungs-SP auf, eine Ansage zu aktivieren und extra Ziffern zu sammeln. Sie bekommt ID #2 und ist mit ID #1 verbunden (Linked Operation).
- Der Ursprungs-SP erledigt ihre Aufgabe und übermittelt die Ergebnisse in einer CONTINUE-Meldung mit einer RETURN RESULT-Komponente mit ID #2 und den gesammelten Ziffern.
- Die Datenbank bearbeitet diese Daten und erzeugt eine END-Meldung mit einer RETURN RESULT LAST-Komponente mit ID #1, welche die angeforderten Verkehrslenkungs-Informationen enthält.

Nachdem der Ursprungs-SP die Verkehrslenkungsinformation bekommen hat, wird der Anruf wie ein normaler ISDN-Anruf fortgesetzt.

## 2.3 Implementierungs- und Entwurfsaspekte

Die Signalisiernetzelemente können auf unterschiedliche Weise angeordnet werden, um einen Signalisierungsweg zwischen zwei Endpunkten zu ermöglichen. Die kritische Rolle des Signalisiernetzes fordert aber eine sehr hohe Zuverlässigkeit. Alternativen sollen bei Ausfällen vorhanden sein, damit das Netz so schnell wie möglich rekonfiguriert werden kann und die Dienste wieder verfügbar sind.

Die Netzelemente werden dupliziert, um die erwünschte Zuverlässigkeit zu erreichen. Die STPs werden als duplizierte und geographisch getrennte Paare implementiert. Die STPs sind durch A-Links (Access Links) mit den einzelnen STPs eines lokalen STP-Paares verbunden. Die Signalisierabschnitte zwischen den STPs eines STP-Paares nennt man C-Links (Cross Links). Der Übertragungsweg zwischen zwei STP-Paaren wird durch B-Links (Bridge Links) in einer vollvermaschten Struktur (Quad Structure) abgewickelt. Die STP-Paare können auch eine hierarchische Struktur bilden und nach lokalen, regionalen und nationalen STP-Paaren unterteilt werden.

Allein die Duplizierung von Netzelementen reicht nicht aus, um die Zuverlässigkeit des Netzes zu garantieren. Der Ausfall von zentralisierten Funktionen, wie z.B. Adressumwandlung (Global Title Translation), kann ein Netz aus der Sicht mancher Dienste zum Zusammenbruch bringen.

Die Entscheidung für eine gewisse Architektur hängt von vielen Faktoren ab, z.B., der existierenden Infrastruktur, Zielmarktcharakteristik, Verfügbarkeit von Investitionsmitteln, etc. Als allgemeine Richtlinie für die Planung eines Netzes können noch erwähnt werden:

- Im lokalen Bereich wird überwiegend die assoziierte Signalisierbeziehung angewandt, so daß ein fester Zusammenhang zwischen Festnetz und Signalisiernetz entsteht.
- In einem Ballungsraumgebiet kann die Bearbeitung des Verkehrs zuviel Kapazität der Transitvermittlungsstellen fordern. Daher kann die Implementierung eines isolierten STP gerechtfertigt werden.
- Zwischen Regionen wird die quasi-assozierte Signalisierbeziehung angewandt. Die allgemeine Struktur kann hierarchisch oder nichthierarchisch sein. Die hierarchische Struktur weist eine einfache Verkehrslenkung auf und wird manchmal aufgrund der Festnetzstruktur bevorzugt. Die nichthierarchische Struktur ist komplexer und hat einen höheren Managementaufwand, ist dafür aber sehr flexibel.

Die ersten Signalisiernetze sind überwiegend vor dem Abschluß der Standardisierungsarbeiten entstanden. Dies hat zu einer Reihe von nichtkompatiblen nationalen Varianten der UPs geführt. In dieser "inselförmigen" Implementierung des Signalisiernetzes ist das

Angebot von europäischen und weltweiten Diensten nur schwer realisierbar. Dazu können viele standardisierte Dienste wegen fehlender Abkommen zwischen den Ländern noch nicht angeboten werden.

Einen Sonderfall bilden die USA mit den Standards des "American National Standards Institute" (ANSI). Diese Standards stimmen in der MTP-Ebene mit den CCITT-Standards nicht überein. Die Unterschiede zu den CCITT-Standards bestehen in der Übertragungsrate (56 Kbits/s statt 64 Kbits/s), der Länge des SLS-Feldes (5 bits statt 4 bits) und der Länge des OPC- und DPC-Feldes (24 bits statt 14 bits).

Beispiele für Implementierungen von Signalisiernetzen findet man für Europa in [36, 66, 96], für USA in [89, 98, 136, 144], für Asien und Australien in [112] und für Brasilien in [16].

Die Netzelemente werden von einer großen Anzahl von Herstellern am Markt angeboten. Obwohl die Standards eindeutig sind, ist die Zusammenarbeit zwischen Anlagen verschiedener Hersteller keineswegs selbstverständlich. In diesem Fall ist das schon vorhandene Potential für Software- und Hardwarefehler noch größer. Außerdem können Fehler, die erst in komplexen und seltenen Ereignisreihenfolgen auftauchen, für Überraschungen sorgen.

Die Verteilung der funktionalen Blöcke des Signalisiernetzes (MTP-Ebenen 2 und 3, SCCP, TCAP, TUP, and ISUP) auf die Hardware hängt streng mit der Architektur des Vermittlungssystems zusammen. Bei einer zentralisierten Architektur ist es durchaus möglich, daß alle funktionalen Blöcke von einem einzelnen Prozessor bearbeitet werden, während bei einer dezentralen Lösung die Funktionalitäten von getrennten Prozessoren erbracht werden. In den meisten Fällen kann eine Tendenz zur Dezentralisierung bei den Signalisierungsabschnitt- und Teilnehmerfunktionen (ISUP und MTP-Ebene 2) beobachtet werden.

Beispiele für Implementierungen von Signalisiernetzelementen sind AT&T 5ESS [31] und STP No. 2 [162] von AT&T, EWSD [184] von Siemens, ALCATEL 1000 S12 [47] und System 8300 [122] von Alcatel, System X [74] von British Telecom, ALCATEL 1000 E10 [54] von Alcatel/CIT, AXE10 [159] von L.M. Ericsson, DMS [123] von Northern Telecom, NEAX61 [142] von NEC, FETEX-150 [86] von Fujitsu, MS7 [88] von GTE, etc.

## Kapitel 3

# Signalisiernetz als Basis für ISDN, Mobilkommunikation und IN

### 3.1 Das ISDN

Die Kommunikationstechnik hat sich in diesem Jahrhundert im Zuge des Fortschritts sehr weit entwickelt. Die Notwendigkeit, neue Lösungen so schnell wie möglich zu finden, und die damit verbundenen technischen Ansprüche, führen zu einer etwas schwierigen Lage, die dadurch gekennzeichnet ist, daß unterschiedliche Anwendungen in getrennten Netzen angeboten werden. Diese Struktur ist von Schwierigkeiten geprägt, wie z.B., daß die Dienste in verschiedenen Netzen mit unterschiedlicher Technologie angeboten werden, daß die Zahl der Schnittstellen ständig steigt, daß unterschiedliche Signalisierungen und Numerierungen angewandt werden, daß keine Parallelität der Dienste möglich ist (z.B. Telefon und Datentransfer gleichzeitig) oder die Inflexibilität und höhere Kosten der spezifischen Geräte.

Um diesen Zustand zu ändern, war es notwendig, die übermittelten Informationen in einem einheitlichen Format darzustellen. Dies geschah durch Kodierung in Binärsignalen. Dieses Konzept führte zu dem sogenannten integrierten Digitalnetz (IDN). Obwohl dessen Entstehung viel mehr auf technische als auf wirtschaftliche Interessen zurückzuführen ist, wurde dabei die ideale Basis geschaffen, neben Sprache auch Daten, Text und Bilder zu übertragen. Die Erweiterung dieses Netzes ermöglichte die Integration von Diensten und die Beseitigung von vielen der obengenannten Probleme: es war der Anfang des ISDN [16, 22, 37, 109, 192].

Das ISDN kann nicht unabhängig von den bestehenden Netzen betrachtet werden. Das ISDN-Konzept stellt eine Integration der vorhandenen Netze dar, aber es bedeutet auf keinen Fall, daß die existierenden Netze und die damit verbundenen Investitionen vernachlässigt werden können.

### 3.1.1 Grundstruktur

Der grundlegende Aufgabe des ISDN ist die Durchschaltvermittlung von 64 kbit/s-Kanälen zwischen den einzelnen Teilnehmern. Daher bilden die digitalen Netzkomponenten des Fernsprechnetzes die Basis für das ISDN. Die Elemente des ISDN sind die ISDN-Vermittlungsstelle, das Signalisieretz und die Netzdatenbanken.

#### 3.1.1.1 ISDN-Vermittlungsstelle

Eine ISDN-Vermittlungsstelle ist im wesentlichen eine Erweiterung einer digitalen Vermittlungsstelle, wobei neue Anforderungen an das Vermittlungssystem gestellt werden. Die prinzipielle Struktur einer ISDN-Vermittlungsstelle gliedert sich in Teilnehmeranschluß, Koppelnetz, Systemsteuerung, Zwischenamtsanschluß, Signalisierung, Betrieb und Wartung sowie Takterzeugung und Netzsynchronisierung.

Die Teilnehmeranschlüsse bilden das Zugangnetz (Access Network), und beinhalten neben traditionellen analogen Sprachleitungen auch digitale Anschlüsse. Der digitale Anschluß stellt neben Informationskanälen – 2x64 kbit/s für den Basisanschluß (Basic Rate Interface – BRI) und 30x64 kbit/s für den Primäranschluß (Primary Rate Interface – PRI) – auch Kanäle für Teilnehmersignalisierung (16 kbit/s für den BRI und 64 kbit/s für den PRI). Die Teilnehmersignalisierung läßt sich unter Zugriffssignalisierung klassifizieren und kann unabhängig von der Zwischenamtssignalisierung betrachtet werden. Eine ausführliche Beschreibung des ISDN-Teilnehmeranschlusses findet man in [16, 22, 37, 109].

Die ISDN-Systemsteuerung enthält neben den Funktionen einer digitalen Vermittlungsstelle Funktionen zur Unterstützung von ISDN-Zusatzdienstmerkmalen und Netzübergänge zum dienstspezifischen Netz. Die Systemsteuerungsfunktionen des Sprachdienstes haben sich im ISDN nicht viel geändert, fordern aber wegen der Diensteintegration zusätzliche Merkmale. Die Verbindungsbehandlung muß dienstspezifisch vorgenommen werden, z.B., ist ein transparenter leitungsvermittelter Datenübermittlungsdienst für die Übertragung von Sprache und Daten geeignet, während ein nur für Sprachübertragung dimensionierter Datenübermittlungsdienst wegen mangelnder Bit-Transparenz keine Datenübertragung unterstützen kann. Außerdem verlangt die flexible Konfigurierbarkeit am Basisanschluß die Verwaltung der jeweils angeschlossenen Endgeräte.

Die Zwischenamtssignalisierungsfunktionen müssen um den ISDN-UP erweitert werden. Für die Realisierung einiger Zusatzdienste müssen auch die TCAP-Funktionen vorhanden sein. Die anderen Blöcke einer ISDN-Vermittlungsstelle (Koppelnetz, Zwischenamtsanschluß, Betrieb und Wartung, und Takterzeugung und Netzsynchronisierung) weisen auch einige Unterschiede auf, die im Rahmen dieser Arbeit nicht erwähnt werden.

Der Weltmarkt für ISDN-Vermittlungsstellen ist von Produkten unterschiedlicher Hersteller geprägt. Beispiele für die Implementierung und Architekturkonzepte von ISDN-Vermittlungsstellen findet man für EWSD von Siemens AG in [22], für E10 und System 12 von Alcatel in [22, 110, 139], für AT&T U.S. 4ESS und AT&T U.S. 5ESS von AT&T, AXE 10 von L.M. Ericsson, NEAX 61 von NEC, und DMS 100 von GTE in [139, 171].

### 3.1.1.2 Die Netzdatenbanken

Die Prozeßdaten einer Vermittlungsstelle werden in lokalen Datenbanken gespeichert. Diese Datenbanken enthalten die notwendigen Informationen für den Betrieb der Vermittlungsstelle; die Daten betreffen lediglich die Teilnehmer und Dienste der entsprechenden Vermittlungsstelle. Die flächendeckende Realisierung mancher Dienstmerkmale fordert die zentralisierte Verfügbarkeit von Informationen. In diesem Falle werden die Informationen in einer Netzdatenbank für die an dem Dienst beteiligten Vermittlungsstellen zur Verfügung gestellt.

Ein Beispiel für einen Dienst, der die Unterstützung einer Netzdatenbank erfordert, bildet die geschlossene Benutzergruppe. Die Informationen über die Benutzergruppe (Berechtigung, individuelle Benutzercharakteristik, etc.) werden in einer zentralen Datenbank gespeichert. Die Vermittlungsstellen benutzen die TCAP-Funktionen des Signalisiernetzes, um auf diese Daten zuzugreifen.

## 3.1.2 ISDN-Dienste

Die Kommunikationsmöglichkeiten des ISDN werden als Dienste dem Benutzer zur Verfügung gestellt. Hier muß man zwischen ISDN-Diensten und ISDN-Anwendungen unterscheiden. Ein Beispiel für einen ISDN-Dienst ist der 64kbit/s transparente Datenübermittlungsdienst, eine Anwendung dafür ist die Übertragung von Sprache über dieser Verbindung.

Ein Dienst wird durch Dienstmerkmale beschrieben. Die Dienstmerkmale sind weiter in Basis- und Zusatzdienstmerkmale unterteilt. Die Basisdienstmerkmale informieren über die Grundausstattung eines Dienstes, wie z.B., den Informationstransfermodus (leitungsvermittelt oder paketvermittelt), der Übertragungsrate (64 kbit/s, 384 kbit/s, 1536 kbit/s oder 1920 kbit/s), die Verbindungsart (Wähl- oder Festverbindung), etc. Die Zusatzdienstmerkmale werden nur in Verbindung mit einem Basisdienst angeboten, um einen höheren Kommunikationskomfort oder eine höhere Qualität zu erreichen. Daher kann ein Zusatzdienstmerkmal bei mehreren Diensten eingesetzt werden. Beispiele für Zusatzdienstmerkmale sind Kurzwahl, Anklopfen mit Anzeige, Anrufumleitung, etc.

Die von CCITT standardisierten ISDN-Dienste können in Übermittlungsdienste (Bearer Services), Standarddienste (Teleservices), und Zusatzdienste (Supplementary Services) unterteilt werden.

Die Übermittlungsdienste stellen dem Benutzer wählvermittelte Kanäle bestimmter Übertragungskapazität zur Verfügung. Die Übertragungsraten sind 64 kbit/s, 384 kbit/s, 1536 kbit/s oder 1920 kbit/s. Die Merkmale "8kHz-strukturiert" bedeutet, daß die Abtastreihenfolge eines Binär-Signales garantiert wird. Der Kanal kann ohne Einschränkungen für Sprache oder für 3,1 kHz-Audio benutzt werden.

Die Standarddienste gliedern sich in ISDN-Fernsprechen, -Teletex, -Telefax-Gruppe 4, -Textfax, -Videotext und -Telex. In internationalen Netzen ist der Telexdienst nicht vorgesehen.

Die Zusatzdienste entstehen aus einer Kombination von Zusatzdienstmerkmalen mit den Basisdienstmerkmalen. Der Zusatzdienste betreffen die Identität des rufenden oder angerufenen Teilnehmers, die Behandlung ankommender Anrufe, Konferenzverbindungen, geschlossene Benutzergruppen, Gebührenerfassung und Ende-zu-Ende Informationstransfer. Viele von diesen Zusatzdiensten wurden bereits in lokalen digitalen Vermittlungsstellen angeboten. Im internationalen Bereich sind im wesentlichen Dienste zur Identifizierung des rufenden Teilnehmers (Calling Line Identification - CLI), zur Identifizierung des angerufenen Teilnehmers (Connected Line Identification - COL) und geschlossene Benutzergruppen zugelassen. Der Austausch von Daten zwischen zwei Benutzern ist lediglich auf eine einfache Form (UUI 1) begrenzt.

### 3.1.3 Das Signalisieretz im ISDN

Die Grundstruktur eines Signalisieretztes im ISDN enthält für jede Vermittlungsstelle einen entsprechenden SP. Diese SPs sind direkt oder über STPs miteinander verbunden (siehe Bild 2.1). Weitere Netzelemente sind das Betriebs- und Wartungszentrum und die Netzdatenbanken.

Das Signalisieretz unterstützt den abschnittswiseen Auf- und Abbau von Verbindungen zwischen beteiligten ISDN-Vermittlungsstellen, sowie den Austausch von Ende-zu-Ende-Signalisieretznachrichten zwischen Vermittlungsstellen oder zwischen Vermittlungsstelle und Netzdatenbanken für die Abwicklung von Dienstmerkmalen des ISDN.

Die Protokollstruktur eines Signalisieretztes im ISDN enthält, außer den Funktionen des MTP und SCCP, den ISDN-UP und den TCAP. Obwohl die Empfehlungen von CCITT schon seit 1988 zur Verfügung stehen, wurden weltweit überwiegend inkompatible "nationale Spezifikationen" entwickelt. In Europa wurde 1989 ein Abkommen (Memorandum of Understanding - MoU) unterschrieben, das die grenzüberschreitende Einführung

des ISDN bis 1992 vorsah. Als Übergangslösung für das Signalisieretz wurde der TUP von der CEPT zum sogenannten "TUP+" erweitert. Allerdings wurden vom "TUP+" nur Rufnummernanzeige und die Geschlossene Benutzergruppe unterstützt. Erst im 2. Halbjahr 1992 wurde in Deutschland der ISDN UP in den Auslandsvermittlungsstellen implementiert; die ersten Verkehrsbeziehungen wurden im 1. Halbjahr 1993 mit der Schweiz aufgenommen [196].

### 3.1.3.1 Signalisierszenarien von unterstützten Diensten

Die Abwicklung eines ISDN-Dienstes zwischen zwei Vermittlungsstellen entspricht im Signalisieretz einem Austausch von Meldungen zwischen den entsprechenden SPs. Die Reihenfolge von ausgetauschten Meldungen nennt man ein Signalisierszenario.

Der Ablauf eines Dienstes weist mehrere Variationen auf. Diese Variationen decken alle mögliche Szenarien für einen erfolgreichen und erfolglosen Dienst ab und hängen mit Faktoren, wie z.B. der Reaktion des rufenden Teilnehmers, der Erreichbarkeit des angerufenen Teilnehmers oder systembezogene Parameter, zusammen. Da jede Variante eine unterschiedliche Lastsituation auf dem Signalisieretz verursacht, müssen alle Varianten betrachtet werden.

Die Anzahl von Signalisierszenarien, die mit einem Dienst verbunden sind, kann sehr groß sein. In einem normalen ISDN-Verbindungsaufbau sind zumindest drei Signalisierszenarien zu erkennen, nämlich "erfolgreicher Verbindungsaufbau", "Zielteilnehmer besetzt" und "Zielteilnehmer meldet sich nicht". Weitere Fälle können die Liste wesentlich länger machen, wie z.B. der Teilnehmer verwählt sich, der angerufene Teilnehmer hat irgendeinen Zusatzdienst (Anrufumleitung, Identifizierung des rufenden Teilnehmers, etc.) aktiviert, etc.

Eine vollständige Liste von Signalisierszenarien im ISDN ist sehr lang und wird hier nicht ausgearbeitet. In den CCITT-Testspezifikationen für den ISDN UP (Q.784 [42] und Q.785 [43]) identifiziert man eine Reihe von mehr als 100 Signalisierszenarien, wobei manche Zusatzdienste "weitere Studien" benötigen und nicht aufgeführt werden. Als Beispiel für ein ISDN-Signalisierszenario werde hier die Geschlossene Benutzergruppe mit zentralisierter Verwaltung diskutiert.

Ein Geschlossene Benutzergruppe (Closed User Group - CUG) ist eine Teilnehmergruppe, in der die Kommunikation nur zwischen den Gruppenteilnehmern erlaubt ist. Wenn ein Teilnehmer eine Verbindung zu einer CUG aufbauen will, muß zunächst geprüft werden, ob er zu dieser CUG gehört. Diese Information kann entweder in den SPs verteilt sein (Decentralized Administration) oder in einer zentralisierten Netzdatenbank (Service Control Point - SCP) liegen. Die Kommunikation mit der Netzdatenbank wird durch

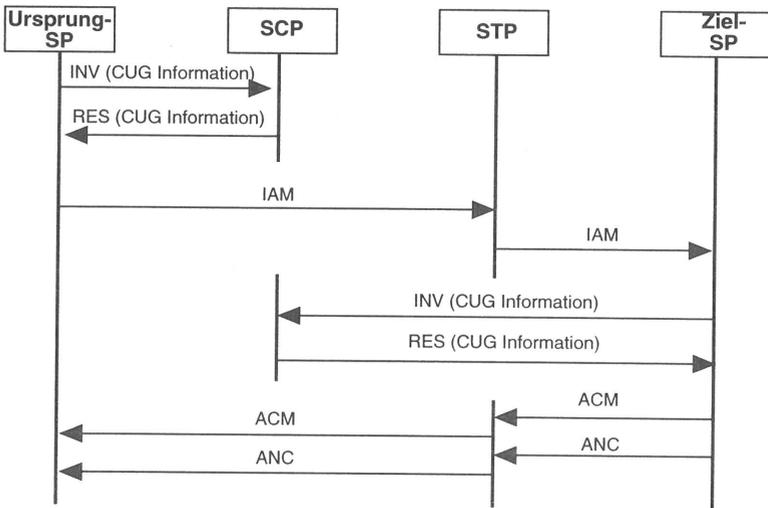


Bild 3.1: CUG-Szenario mit zentralisierter Datenbank

den TCAP unterstützt. Im Fall einer zentralisierten Datenbank erfolgt die Abfrage durch den Ursprung-SP. Mit dem Ergebnis wird informiert, ob der rufende Teilnehmer ein Mitglied der CUG ist oder nicht. Bei einer erfolgreichen Verbindung wird eine IAM-Meldung gesendet. Wenn diese IAM-Meldung den Ziel-SP erreicht, muß dieser auch eine entsprechende Abfrage stellen, um zu erfahren, ob der gerufene Teilnehmer zur geforderten CUG gehört. Ab diesem Punkt ist die Signalisierung dem Grundscenario ähnlich. Bild 3.1 zeigt ein CUG-Szenario mit zentralisierter Datenbank.

### 3.1.3.2 Verkehrscharakteristik der Signalisierszenarien

Der dominierende ISDN-Dienst ist i.a. der Sprachdienst, und im Privatteilnehmerbereich wird dies auch noch mittelfristig der Fall sein. Im Geschäftsteilnehmerbereich finden die ISDN-Zusatzdienste eine breitere Anwendung, die mit dem flächendeckenden Einsatz des ISDN eine steigende Tendenz aufzeigt.

Aus Sicht des Signalisierernetzes ist der Sprachdienst dadurch gekennzeichnet, daß der Austausch von Signalisiermeldungen auf den Verbindungsauf- und abbau konzentriert ist. Das heißt, es werden Meldungen zur Unterstützung des Verbindungsaufbaus übertragen; es folgt eine Pause für die Dauer des Gesprächs, und am Gesprächsende wird die Verbindung durch entsprechende Meldungen abgebaut.

In [178] wurde der Einfluß von Korrelationen zwischen den einzelnen Meldungen des Sprachdienstes untersucht, und es wurde festgestellt, daß diese Effekte vernachlässigt

werden können. Diese Ergebnisse waren zu erwarten, da die Reaktionszeit der Verbindungssteuerung von Vermittlungsstellen wesentlich länger als die Bearbeitungszeit einer Meldung in der Signalisieretzkomponente ist.

Die Zusatzdienste bewirken eine Änderung des Signalisierverkehrsprofils. In diesem Fall werden Meldungen auch während der Aktivphase der Verbindung ausgetauscht. Eine zusätzliche Komplizierung stellt die nicht verbindungsbezogene Signalisierung, wie z.B. Datenbankabfrage, dar. Eine Folge davon ist, daß der Spitzenverkehr des Signalisieretznetzes nicht mehr als eine Funktion der verfügbaren Nutzübertragungskanäle angesehen werden kann.

## 3.2 Das Mobilkommunikationsnetz

Es muß zunächst darauf hingewiesen werden, daß der Begriff Mobilkommunikation in einer Vielzahl unterschiedlicher Bedeutungen verwendet wird. Der Grund dafür ist das reichliche Angebot von Diensten in vielen Anwendungsbereichen, die nicht nur Übertragung von Sprach- und Dateninformationen in verschiedenen Umgebungen einschließen, sondern auch Paging-, Navigations- und Positionierungssysteme. In dieser Arbeit wird nur auf mobile Telekommunikationssysteme zur Übertragung von Sprach- und Dateninformationen eingegangen.

Ein Mobilkommunikationsnetz besteht aus festen Basisstationen, die die Flächendeckung des Netzes bestimmen. Die Mobilität der Teilnehmer wird durch eine Funkverbindung mit der Basisstationen unterstützt. In diesem Sinn kann man die Mobilkommunikation in schnurlose Systeme und zellulare Systeme unterteilen.

- *Schnurlose Systeme* – Die schnurlosen Systeme sind charakterisiert als Systeme bei denen ein oder mehrere mobile Stationen (Portables) mit einer an das öffentliche Netz angeschlossenen Feststation kommunizieren können. Da die Mobilität auf die nähere Umgebung begrenzt ist, finden diese Systeme ihren Einsatz in Haushalten, Firmen, lokalen Rechnernetzen und Telepoint-Anwendungen. Mit der Deregulierung des Telekommunikationsmarktes sind auch Anwendungen im Bereich des schnurlosen öffentlichen Wählnetzes zu erwarten. Eine Voraussetzung für den breiteren Einsatz solcher Systeme wurden mit internationalen Standards (CT2 [4, 191] und DECT [4, 94, 191, 198]) geschaffen. Die schnurlosen Systeme haben aufgrund ihrer Charakteristiken einen geringen Einfluß auf das Signalisieretz und werden im Lauf dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.
- *Zellulare Systeme* – Im zellularen System wird das gesamte Gebiet zellenförmig abgedeckt. Jeder Zelle ist eine Funkfrequenz zugeordnet. Dieselbe Funkfrequenz kann in einer räumlich entfernten Zelle wiederverwendet werden. Diese Technik erlaubt eine

ökonomische Nutzung des knappen öffentlichen Funkspektrums. Damit sind viele technische Probleme verbunden, wie z.B. die automatische Weiterschaltung einer bestehenden Verbindung, wenn die Teilnehmer die Grenze einer Zelle überschreiten, oder die Bestimmung des Teilnehmeraufenthalts bei einem ankommenden Anruf. Hier muß man zwischen Systemen mit nationaler/internationaler Flächendeckung und Systemen mit regionaler Flächendeckung unterscheiden.

- Systeme mit nationaler/internationaler Flächendeckung – In diesen Systemen muß der Zellenradius in wenig besiedelten Gebieten aus wirtschaftlichen Gründen groß sein (zwischen 20 und 30 km). Daher ist eine höhere Leistung des Endgerätes (bis zu 8 Watt) erforderlich. Beispiele für solche Systeme sind “Global Systems for Mobile Communications” (GSM) in Europa [64, 84, 133], CTIA IS-54 [61], CDMA [151, 195] und E-TDMA [61] in den USA, und das JDC (Japanese Digital Cellular) in Japan [61].
- Systeme mit regionaler Flächendeckung – In Stadt- und Großraumgebieten sind die Zellenradien kleiner, was ein leichteres und tragbares Endgerät mit einer Leistung unter 1 Watt ermöglicht. In Europa wurde eine Variation des GSM-Systems, nämlich die DCS1800 [150], von ETSI definiert und als Standard ausgegeben. In Deutschland wird dieses System E1-Netz genannt.

Die Systeme mit regionaler Flächendeckung benötigen einen geringen Aufwand im Signalisiernetz, da die Systeme normalerweise von lokalen Vermittlungsstellen unterstützt werden. Das zellulare System dagegen ist vollkommen auf die Funktionen des Signalisiernetzes angewiesen und wird im folgenden näher betrachtet. Als Basis wurden die europäischen GSM-Empfehlungen ausgewählt.

### 3.2.1 Grundstruktur des GSM-Netzes

GSM umfaßt eine Reihe von Standards, die von einer Gruppe der “Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications” (CEPT) erarbeitet wurde, und ermöglicht ein europaweites Angebot des Mobilkommunikationsdienstes. Die GSM-Grundstruktur weist als erste Verbindungsinstanz zu den Teilnehmern die “Base Transceiver Station” (BTS) auf. Die BTSs bestimmen die Flächendeckung des Netzes und entsprechen genau einer Zelle bei omnidirektionalen Antennen oder drei Zellen bei sektorisierten Antennen. Ein “Base Station Controller” (BSC) verwaltet ein oder mehrere BTSs, und steuert auch die Verwaltung der Frequenzen und die Zuweisung der Kanäle an die Mobilstation. Ein oder mehrere BSCs bilden einen Aufenthaltsbereich (Location Area – LA) und ein oder mehrere Aufenthaltsbereiche sind einer Mobilfunkvermittlungsstelle (Mobile Switching Center – MSC) zugeordnet. Diese Struktur sieht man in Bild 3.2.

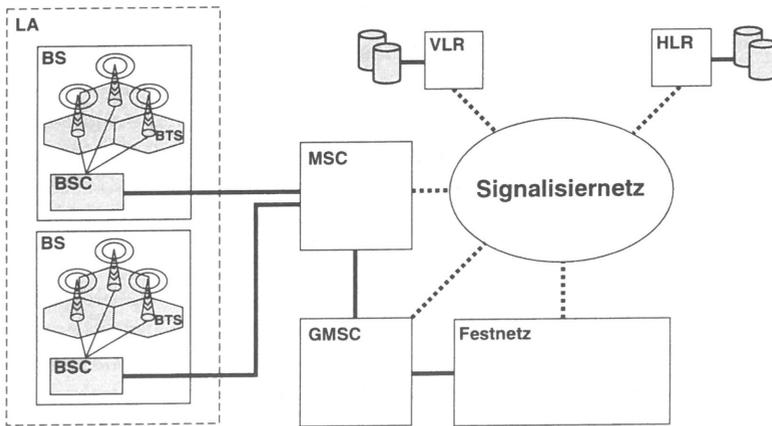


Bild 3.2: GSM-Struktur im lokalen Bereich

Das Management der Teilnehmermobilität stellt zusätzliche Anforderungen an das Netz. Es muß garantiert werden, daß der Aufenthaltsort eines aktiven Teilnehmers automatisch aktualisiert wird, und daß ihm dort gebuchte Dienste zur Verfügung gestellt werden. Außerdem muß eine bestehende Verbindung aufrechterhalten bleiben, wenn sich der Teilnehmer von einer Zelle zu einer anderen bewegt. Des weiteren wirft die freie Funkstrecke zwischen Basisstation und Teilnehmer sicherheitsrelevante Fragen bezüglich der Identifizierung und des Schutzes der Persönlichkeitssphäre der Teilnehmer sowie der Zulässigkeit des Endgerätes auf.

Die notwendigen Informationen für die Abwicklung dieser Funktionen sind in Netzdatenbanken zu finden. Um eine dynamische Optimierung der Informationsverteilung zu erreichen, werden diese Datenbanken in einer zweistufigen und hierarchischen Struktur organisiert. Die obere Ebene ist die Heimatdatei (Home Location Register - HLR) und enthält Grundinformationen über die Teilnehmer, während in einer zweiten Ebene, der Besucherdatei (Visitor Location Register - VLR), die Daten über die sich momentan in einem Bereich aufhaltenden Teilnehmer registriert werden.

Eine Lösung, bei der alle Daten in einer zentralisierten Datenbank integriert sind, wäre prinzipiell möglich, wird aber aus Ausfallsicherheits- und Verfügbarkeitsgründen nicht eingesetzt. Die hohen vorgesehenen Benutzerzahlen und der damit verbundene Datenzugriffs- und Signalisierungsaufwand schließen eine zentralisierte Lösung praktisch aus. In einer dezentralisierten Architektur wird die im HLR am häufigsten geänderte Aufenthaltinformation erst aktualisiert, wenn der Benutzer einem neuen VLR-Bereich zugeordnet wird. Alle lokale Veränderungen innerhalb des Aufenthaltsbereichs, also z.B. die Zuordnung zum momentanen BSC und BTS, werden nur im VLR registriert.

### 3.2.1.1 Die Mobilvermittlungseinrichtung

Ein MSC ist eine erweiterte ISDN-Vermittlungsstelle mit zusätzlichen Funktionen für die Unterstützung der Teilnehmermobilität. Diese neuen Funktionen lassen sich in Mobilitäts- und Funkressourcenverwaltungsfunktionen unterteilen. Die Mobilitätsfunktionen sorgen dafür, daß ein aktiver Teilnehmer lokalisiert und erreicht werden kann und daß bestehende Verbindungen entsprechend der Bewegung der Teilnehmer zwischen Basisstationen oder MSCs weitergeschaltet werden. Die Funkressourcenverwaltungsfunktionen sind für die Steuerung der Basisstationen zuständig.

Die Systemsteuerung eines MSC stellt im Vergleich mit der des ISDN neue Anforderungen. Die Abwesenheit eines Festanschlusses erfordert eine laufende Überwachung der Teilnehmer mit erheblichem Aufwand des Systemes, nicht nur während einer Verbindung, sondern auch, wenn keine Verbindungswünsche bestehen. Das System muß neben dem im ISDN üblichen Auf- und Abbau von Verbindungen die offene Funkverbindung schützen und einen Teilnehmer jederzeit identifizieren. Außerdem müssen Signalisierungsereignisse analysiert werden und erforderliche Datenbankabfragen beim HLR oder VLR erkannt und durchgeführt werden.

Im Bereich der Signalisierung wurden ebenfalls Änderungen vorgenommen. Bei der Zugriffssignalisierung unterscheidet man die Schnittstelle zwischen Mobilteilnehmer und BTS (Schnittstelle  $U_m$ ), zwischen BTS und BSC (Schnittstelle  $A_{bis}$ ) und zwischen BSC und MSC (Schnittstelle  $A$ ). Diese Schnittstellen weisen eigene Signalisierungsprotokolle auf, die hier nicht näher betrachtet werden; ein ausführliche Behandlung dieses Themas findet man in [133]. Im Zentralkanalbereich wurde die im ISDN vorhandene Architektur um den Mobilanwenderteil (Mobile Application Part – MAP) erweitert. Die zentrale Aufgabe des MAP ist die Abfrage und Aktualisierung der im Netz verteilten Informationen zur Unterstützung der Mobilitätsfunktionen. Der MAP ist ein Dienstbenutzer des TCAP.

Die verfügbaren MSC-Implementierungen sind Änderungen oder Erweiterungen von bestehenden ISDN-Vermittlungsstellen. Der Unterschied zwischen den Produkten hängt mit dem Zentralisierungsgrad der Vermittlungsstellenarchitektur zusammen. Beispiele für MSC-Implementierungen bildet die System ECR-900 Konfiguration des System 12 von Alcatel [15], und das Digital Mobile System D-900 von Siemens [92].

### 3.2.1.2 Die Heimatdatei (HLR)

Die Heimatdatei (HLR) stellt den zentralisierten Teil der Datenbankstruktur des GSM dar. Die Informationen im HLR kann man in dynamische und statische Informationen unterteilen. Die dynamischen Informationen betreffen das Mobilitätsmanagement und enthalten die Adresse des VLR, in dessen Bereich der Teilnehmer zu erreichen ist. Die

Informationen, die am seltensten geändert werden, beschreiben teilnehmerspezifische Charakteristiken, wie z.B. die Identifizierung (internationale Funkkennung und Rufnummer), Sicherheitsmerkmale (geheimer Authentifikations- und Übertragungsschlüssel), Dienstprofil, etc.

Die Heimatdatei enthält die Informationen über alle in seinem Netzteil "immatrikulierten" Teilnehmer und dient als Referenzpunkt zu der Teilnehmerlokalisierung bei ankommenden Anrufen. Da die HLR-Adresse aus der Teilnehmerrufnummer abgeleitet werden kann, wird bei ankommenden Anrufen zunächst bei dem entsprechenden HLR nach der Verkehrslenkung zum VLR, in dem der Zielteilnehmer zuletzt registriert wurde, abgefragt.

Die wachsende Teilnehmerzahl in Mobilkommunikationsnetzen stellt eine große Herausforderung an der HLR-Technik dar. Die Heimatdatei ist als zentralisiertes Netzelement ein potentieller Engpaß, und außerdem bestimmt die HLR-Leistung wichtige Dienstgüteparameter. Die Anforderungen, die an das HLR gestellt werden, sind die Bearbeitung von hunderten von Operationen pro Sekunde mit der Bedingung, daß eine Abfrage so schnell wie möglich (inklusive Signalisieretzverzögerung) abgeschlossen sein soll.

Beispiele für HLR-Implementierungen findet man im System D-900 von Siemens [92], und im Alcatel System 8300 [207].

### **3.2.1.3 Die Besucherdatei (VLR)**

Die Besucherdatei stellt die lokale Ebene der verteilten GSM-Datenbankarchitektur dar und enthält Informationen über alle in seinem Bereich registrierten Benutzer. Wird ein neuer aktiver Teilnehmer im Versorgungsbereich eines VLR registriert, dann wird das zuständige HLR über den neuen Aufenthaltsort des Teilnehmers informiert. Das VLR bekommt mit der Quittierung dieser Operation alle notwendigen Informationen zur Behandlung von ankommenden und abgehenden Anrufen für die betroffenen Teilnehmer. Die GSM-Standards bieten auch eine Variante der erwähnten Prozedur, und die Teilnehmerinformationen können auch von dem bisher zuständigen VLR, statt vom HLR, übergeben werden.

Das VLR speichert neben den vom HLR empfangenen Informationen auch lokale Informationen über die temporäre Teilnehmerfunkkennung (Temporary Mobile Subscriber Identity - TMSI), die Aufenthaltsbereichskennung (Location Area Identification - LAI) und den Teilnehmerzustand. Die TMSI ist ein Sicherheitsmerkmal und ermöglicht das zeitliche Wechseln der Funkkennung. Damit verhindert man die Verfolgung der Teilnehmer durch Abhören der Funkschnittstelle. Die LAI identifiziert die LA, in dem der Teilnehmer gerufen wird.

Ein VLR kann für eine oder mehrere MSCs zuständig sein. Der Austausch von Signalisierinformationen zwischen VLR und MSC ist nicht unerheblich und soll näher betrachtet werden. Die Zentralisierung der VLR-Funktionen kann in manchen Fällen ernste Folgen auf die Signalisiernetzleistung haben [140]. Daher werden die VLRs überwiegend in den MSCs integriert.

### 3.2.2 Mobilfunkdienste und ihre Verkehrscharakteristiken

Das strategische Ziel der GSM-Dienste ist es, den Benutzern die Telekommunikationsmerkmale eines mobilen Büros zur Verfügung zu stellen. Das ist allerdings auf Grund der physikalischen GSM-Funkschnittstelle nur mit gewissen Einschränkungen möglich. Im GSM ist die Übertragungsgeschwindigkeit, im Gegensatz zur Rate von 64 kbit/s des ISDN-Kanals, auf 13 kbit/s für Sprache und 12 kbit/s für Daten begrenzt. Außerdem ist die Bitfehlerrate höher als im Festnetz; die Signallaufzeit ist nicht konstant, sondern eine Funktion der Entfernung zwischen Teilnehmer und Basisstation. Daher können nur Telekommunikationsdienste, die sich an diese Charakteristik anpassen lassen, angeboten werden.

Das Fernsprechen bleibt, wie bisher im Festnetz, der wichtigste im GSM angebotene Dienst. Neben Sprache werden auch andere Teledienste ermöglicht, wie z.B. Telefaxdienst Gruppe 3 (Adapter am Endgerät und an der Schnittstelle zum Festnetz vorausgesetzt), europaweit einheitlicher Notruf (Rufnummer 112), Kurznachrichtendienst (Kurznachrichten bis zu 140 Bytes im Punkt-zu-Punkt Modus und 93 Bytes im zellenweisen Modus). Zusatzdienste des Festnetzes, wie z.B. Rufsperrung, Anrufweiterleitung, Identifizierung der rufenden Teilnehmer, etc. sind auch im GSM verfügbar.

Eine Besonderheit des GSM bildet die persönliche Berechtigungskarte (Subscriber Identity Module – SIM). Die SIM ist eine Speicherkarte, die neben allen den Teilnehmer identifizierenden Daten auch Gebühreninformationen, Verzeichnis von Kurzwahlnummern, empfangene Kurznachrichten, etc. enthält. Die Informationen der SIM-Karte sind durch eine persönliche Codennummer zugriffsgeschützt, und ohne die SIM-Karte erhält das Endgerät keinen Zugang zum Netz. Dies bedeutet einen ersten Schritt in Richtung Universelle Persönliche Telekommunikation (Universal Personal Telecommunications – UPT). Im UPT-Konzept ist die Mobilität auf den Teilnehmer und nicht auf das Endgerät bezogen.

Der GSM-Standard unterstützt auch Datendienste. Die Übertragung kann transparent oder nichttransparent erfolgen. Unter transparenter Übertragung versteht man, daß sich die Übertragungssicherheit auf ein fehlerkorrigierendes Kodierungsverfahren beschränkt,

welches mittels sequentieller Kodierung realisiert wird. Bei nichttransparenter Übertragung wird die Übertragungssicherheit durch eine Variante des HDLC-Protokolls erhöht. Die Datendienste des GSM sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Datendienste des GSM

Dienst	Merkmal	Vermittlung	Synchronismus	Rate [bit/s]
1	Datenübertragung	leitungvermittelt	asynchron	300 bis 9600
2	Datenübertragung	leitungvermittelt	synchron	1200 bis 9600
3	Dedizierter PAD	leitungvermittelt	asynchron	300 bis 9600
4	Datenübertragung	packetvermittelt	synchron	2400 bis 9600

### 3.2.3 Das Signalisieretz im Mobilkommunikationsnetz

Das Signalisieretz stellt eine Verbindungsplattform zwischen den GSM-Netzelementen zur Verfügung und spielt im Gesamtsystem eine grundlegende Rolle. Das GSM stellt eine Echtzeitumgebung dar mit grundsätzlich komplexeren Operationen als im ISDN. Die Dienstgütern aus der Teilnehmersicht sollen jedoch in beiden Netzen keine großen Unterschiede aufweisen. Daher entstehen höhere Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit des Signalisieretzes.

Das Signalisieretz im GSM verfügt über eine ähnliche Struktur wie im ISDN. Den MSCs entsprechen in der Signalisieretzebene die SPs, und die Netzdatenbanken (HLRs und VLRs) werden in SCPs implementiert. Der Unterschied zwischen ISDN- und GSM-Signalisieretz besteht nur in dem Anwendungsteil (OSI-Protokollschichten 4 bis 7).

Obwohl in der Signalisieretzebene die unterstützten Fest- und Mobilnetze nicht unterschieden werden müssen, ist in Deutschland das Netztrennungsprinzip im Signalisieretz angewandt. Die Signalisieretze des Festnetzes und der Mobilnetze bilden drei verschiedene, voneinander getrennte Netze. Dieser Ansatz ermöglicht einen geringeren gegenseitigen Einfluß bei der Planung der Signalisieretze und eine weitgehende Entkopplung aus Sicherheitsgründen. Ein weiteres Argument ist die Anforderung nach Gleichbehandlung der Mobilnetzbetreiber. Die Netztrennung wurde durch einen Netzübergang eingerichtet. Der Netzübergang wird dadurch charakterisiert, daß verschiedene "Network Indicator"-Werte im SIO-Feld des MTP in den unterschiedlichen Signalisieretzen verwendet werden [91].

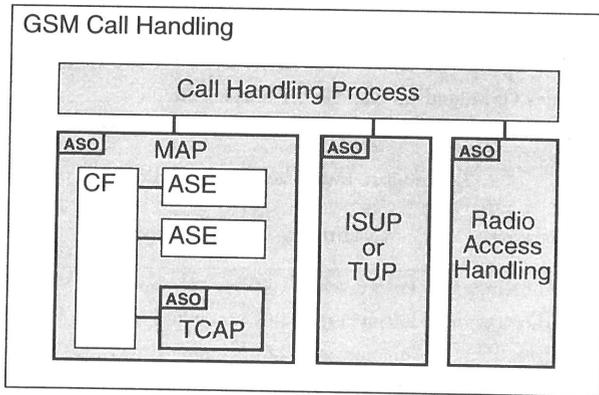


Bild 3.3: XALS-Struktur der GSM-Verbindungssteuerung

### 3.2.3.1 Der Mobile Application Part (MAP)

Der MAP unterstützt die GSM-Anwendungen und entspricht der OSI-Schicht 7. Die Modellierung der OSI-Schicht 7 stellt ein immer noch nicht vollkommen gelöstes Problem dar, und der jüngste Ansatz ist die "Extended Application Layer Structure" (XALS). Das XALS-Modell basiert auf einem objektorientierten Konzept und kann in Anwendungsobjekte (Application Service Object – ASO) unterteilt werden. Die ASOs stellen ihren Benutzern bestimmte Dienste zur Verfügung und bestehen aus einer Steuerungsfunktion (Control Funktion – CF) und mehreren "Application Service Elements" (ASE) oder, in einer rekursiven Struktur, aus anderen ASOs. Die XALS-Struktur der GSM-Verbindungssteuerung ist im Bild 3.3 dargestellt.

Eine Reihe von funktionellen zusammenhängenden Prozeduren bildet einen Anwender des GSM-XALS-Modelles. Den Anwendern können im XALS-Modell die Kontrollfunktionen zugeordnet werden; sie koordinieren nicht nur MAP-Prozeduren, sondern auch deren Zusammenspiel mit ISUP- und Funkschnittstellenprozeduren. Im GSM werden als Anwender das Mobilitätsmanagement, Betrieb und Wartung, Rufbehandlung, Zusatzdienste und Kurznachrichten definiert. Die Prozeduren der Mobilitätsmanagementanwendung sind, zum Beispiel: Registrierung am Netzzugang, Registrierung zwischen VLR und HLR, Löschen von Daten im VLR, Abfrage von Routinginformation zwischen VLR und HLR, Fehlerbehandlung zwischen Datenbanken, Weiterreichen von Gesprächsverbindungen, Verwaltung der Geräteerkennung sowie Datenabfrage zwischen VLR und HLR und zwischen VLRs. Eine ausführliche Behandlung des Themas findet man in [84, 107].

### 3.2.3.2 Mobilitätsmanagement und seine Signalisierszenarien

Die Aufenthaltsmanagementprozedur ist für die Aktualisierung des Teilnehmeraufenthalts zuständig. Diese Prozedur wird hier getrennt betrachtet, weil sie durchgeführt werden muß unabhängig davon, ob irgendein Telekommunikationsdienst in Anspruch genommen wird oder nicht. Das ist ein Charakteristik von Netzen mit mobilen Teilnehmern und stellt große Anforderungen an das Signalisiernetz dar.

Die Aktualisierung des Teilnehmeraufenthalts im HLR findet statt, wenn der Teilnehmer den VLR-Bereich wechselt. Dafür vergleicht die Mobilstation ständig die in der Zelle ausgestrahlte LAI mit der bisherigen auf der Teilnehmerkarte gespeicherten LAI.

Für die Erklärung der Aufenthaltsaktualisierungsprozedur wird zunächst angenommen, daß die beteiligten VLR zum selben Netz gehören, daß das bisherige VLR (Previous VLR – PVLR) über alle Teilnehmerdaten verfügt und daß die VLR-Funktion im MSC integriert ist. In diesem Falle sendet die Mobilstation ein "Location Update Request" an das neue MSC. Die Anforderung enthält u.a. Informationen über die TMSI und die alte LAI. Diese Parameter werden zusammen mit der neuen LAI an das VLR weitergeleitet. Das VLR leitet die Adresse des PVLR aus der alten LAI ab und fordert die Teilnehmerinformationen vom PVLR mit einer "Send Parameters" MAP-Meldung. Mit dieser Information wird die Identität des Teilnehmers überprüft und das der Teilnehmerkennung zugeordnete HLR mit einer "Update Location" MAP-Meldung benachrichtigt. Das HLR aktualisiert die Teilnehmeraufenthaltsinformation und stellt dem VLR zusätzliche Teilnehmerinformationen (Dienstprofil, Berechtigung, etc.) mit einer "Insert Subscriber Data" MAP-Meldung zur Verfügung. Nachdem die Quittierung dieser Operation empfangen worden ist, wird die "Location Update"-Anforderung des VLR quittiert. Parallel zur Aktualisierung des HLR sorgt das VLR dafür, daß die Funkverbindung verschlüsselt wird und der Teilnehmer eine neue TMSI bekommt. Dazu muß das HLR die Informationen in dem PVLR durch eine quittierte "Cancel Location"-Operation löschen. Dieses Szenario ist in Bild 3.4 dargestellt.

Eine Variante dieses Szenarios bildet der Fall, in dem das PVLR die notwendige Information nicht zur Verfügung stellt oder überhaupt kein PVLR besteht (Einbuchung). In diesem Fall muß der Teilnehmer seine "International Mobile Subscriber Identity" (IMSI) mitteilen und über diese kann das VLR das zugeordnete HLR abfragen.

### 3.2.3.3 Signalisierszenarien von unterstützten Diensten

Die GSM-Dienste basieren auf der Bereitstellung und der Erhaltung einer Verbindung mit Rücksicht auf die Bewegung des Teilnehmers. Die Zusatzdienste können, wie im ISDN,

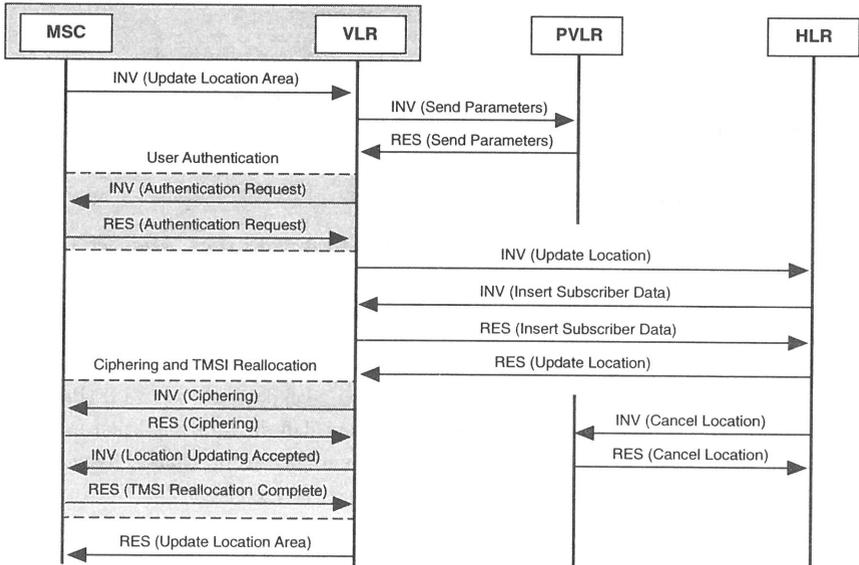


Bild 3.4: Aufenthaltsaktualisierungsszenario

als eine Variation dieser Grundszenerien dargestellt werden. Daher werden hier prinzipiell die Verbindungsaufbau- und Verbindungserweiterungsszenarien betrachtet.

Das Verbindungsaufbauszenario muß im GSM in ankommenden und abgehenden Verbindungsaufbau unterteilt werden. Diese Unterteilung ist notwendig, da beim ankommenden Ruf zunächst keine Information über den Aufenthaltsort des Teilnehmers vorhanden ist und das dem Teilnehmer zugeordnete HLR abgefragt werden muß. Im Fall eines abgehenden Verbindungsaufbaus unterscheidet sich das GSM-Szenario nicht von dem entsprechenden ISDN-Szenario, vorausgesetzt, daß die VLR-Funktionen im MSC implementiert sind.

Bei einem ankommenden Ruf aus dem Festnetz erreicht eine IAM-Meldung zunächst einen GMSC. Der GMSC leitet die Adresse des dem Teilnehmer zugeordneten HLR aus der Rufnummer ab und fordert vom HLR mit einer "Send Routing Info" MAP-Meldung die Routinginformation zum aktuellen Aufenthaltsort des Teilnehmers. Das HLR prüft die Teilnehmerberechtigung und verlangt vom VLR, in dessen Bereich sich der Teilnehmer befindet, mit einer "Provide Roaming Number" MAP-Meldung die Bereitstellung einer für die Dauer des Gesprächs zugewiesene Netzzentralnummer (Mobile Station Roaming Number - MSRN). Das VLR weist den Ruf einer MSRN zu und sendet sie als Antwort zum HLR. Das HLR reicht diese Information weiter an den GMSC. Der GMSC ersetzt die Rufnummer in der IAM-Meldung durch die MSRN, und die Verkehrslenkung bis zum Ziel-

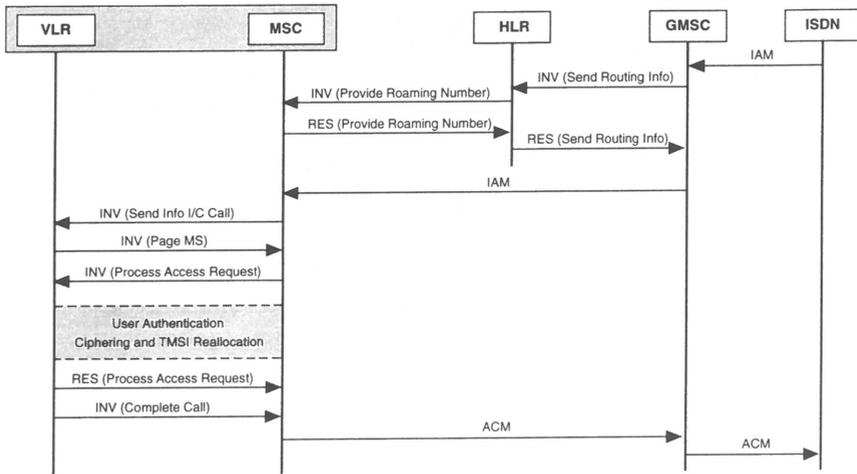


Bild 3.5: Ankommende Ruf aus dem Festnetz

MSC wird auf MSRN-Basis abgewickelt. Das MSC fordert vom VLR die Informationen für die Behandlung des Rufes (letzte LAI, TMSI, etc.), und die Zugriffsberechtigungs- sowie Datensicherheitsprozeduren werden vom VLR durchgeführt. Ab diesem Punkt ist der Szenarioablauf ähnlich wie im ISDN. Die ganze Szenario ist im Bild 3.5 dargestellt.

Ein mobiler Teilnehmer kann während der aktiven Phase einer Verbindung die Zelle wechseln. In diesem Falle muß die Verbindung vom Netz automatisch und möglichst schnell weitergereicht werden. Der Zellenwechsel innerhalb eines LA wird zwischen MSC und Basisstation abgewickelt, und hat keinen Einfluß auf das Signalisieretz. Bei Wechsel der LA informiert das MSC das VLR; da aber in den meisten Implementierungen das VLR in das MSC integriert ist, wird dieser Fall hier nicht berücksichtigt. Eine komplizierte und aufwendige Prozedur stellt den Wechsel des MSC-Bereichs dar und wird im folgenden beschrieben. Aufgrund von Meßergebnissen an der Funkschnittstelle teilt die Mobilstation dem Ursprungs-MSC mit, daß bessere Bedingungen bei einem anderen MSC vorhanden sind. Das Ursprungs-MSC fordert des Ziel-MSC auf, die erforderlichen Betriebsmittel bereitzustellen ("Perform Handover" MAP-Meldung). Das Ziel-MSC baut eine Funkverbindung zum Teilnehmer auf und sein VLR stellt eine Umschaltnummer zur Verfügung. Die Verbindung zwischen den beteiligten MSCs wird durch eine IAM und eine ACM-Meldung aufgebaut. Die erfolgreiche Umschaltung des Teilnehmers wird durch eine "Send End Signal" MAP-Meldung an das Ursprungs-MSC gemeldet, gleichzeitig ist auch die Verbindung zwischen den MSCs in beiden Richtungen durchgeschaltet (ANS-Meldung) und das Ursprungs-MSC kann die für den Teilnehmer bereitgestellten Mittel freigeben. Bild 3.6 zeigt dieses Szenario.

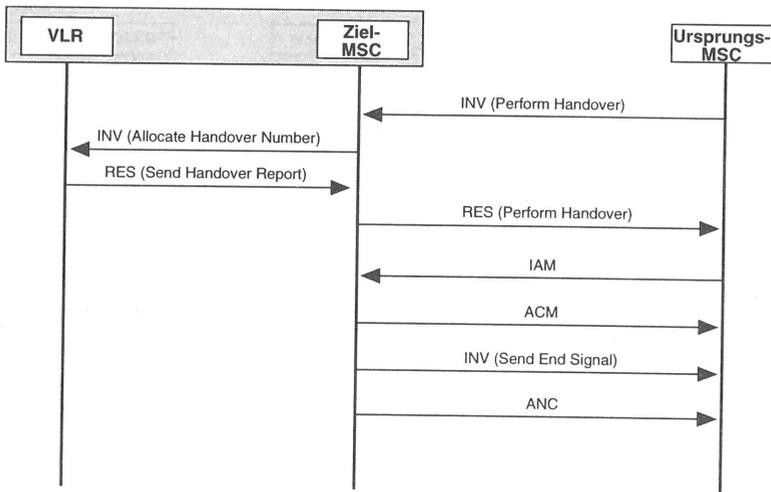


Bild 3.6: Weiterschaltung einer Verbindung

### 3.2.3.4 Verkehrskarakteristik der Signalisierszenarien

Die Verkehrskarakteristik der Signalisierszenarien hängt mit mehreren Faktoren zusammen und kann entsprechend von Netz zu Netz Unterschiede aufweisen. Im allgemeinen kann man davon ausgehen, daß die Rufe überwiegend lokal sind [6, 19, 55] und daß das Hauptverkehrsziel im Festnetz liegt. Diese Feststellung gilt unter normalen Bedingungen, bei denen Ereignisse, wie z.B., Veranstaltungen, Messen, und Feiertage nicht berücksichtigt sind.

Der Signalisierverkehr, der durch das Mobilitätsmanagement (Aktualisierung des Aufenthaltsbereichs und Verbindungsweiterreichung) erzeugt wird, ist ein komplexes Problem und eine Funktion der Netzstruktur und der Teilnehmermobilität. Die Optimierung der Netzstruktur ist eine Kompromißlösung zwischen Verwaltung des Teilnehmeraufenthaltsortes (Location Update) und der Informationsgenauigkeit zur Lokalisierung eines Teilnehmers (Paging) dar. Darüberhinaus spielt natürlich die Zellstruktur des Mobilkommunikationsnetzes eine Rolle. In größeren Zellen beobachtet man weniger Aktualisierungen des Aufenthaltsbereichs und weniger Verbindungsweiterreichungen, aber dafür ist der Aufwand zur Lokalisierung eines Teilnehmers größer. Ansätze zur Lösung dieses Problems findet man in [28, 168].

Ein weiteres Problem, das berücksichtigt werden muß, ist die maximale Anzahl von Sprachkanälen in einer Zelle. Für dicht besiedelte Gebiete sind Ansätze einer hierarchischen Zellenstruktur bestehend aus Mini- und Makrozelle vorhanden, wobei die überla-

gerten Makrozellen als Überlaufsystem dienen.

Der Signaliserverkehr ist eine Funktion der Zellform, der momentanen Anzahl von Teilnehmern pro Zelle, der mittleren Gesprächsdauer und der Charakteristik der Teilnehmermobilität (Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung). Die meisten Modelle in der Literatur [6, 55, 140] gehen von einer vereinfachten Zellform (Sechseck oder Kreis) aus, weiterhin wird die Teilnehmerbewegung als gleichverteilt in alle Richtungen mit konstanten Geschwindigkeiten angenommen. Verfeinerungen dieser Modelle mit Einführung anderer Zellgeometrie und Bewegungscharakteristik sind in [147, 3] zu finden.

Unabhängig von der Netzstruktur ist ein gewaltiger Signalisieraufwand in zukünftigen Mobilkommunikationsnetzen zu erwarten, speziell beim Übergang auf mikrozellulare Netze. In [140] wird der Signalisieraufwand des GSM, je nach Positionierung des VLR, auf 4 bis 11 mal höher als dem des ISDN geschätzt. Eine starke Empfindlichkeit der Ergebnisse in Bezug auf Parametervariationen wurde festgestellt, was auf die Notwendigkeit von Planungswerkzeugen für das Mobilkommunikationsnetz hindeutet.

### 3.3 Das IN

Das IN [21, 69, 138, 158, 161] ist ein neues Konzept, das eine schnellere, einfachere und elegante Einführung neuer Dienste im gesamten Netz erlaubt. In den bisherigen Netzen weisen die Vermittlungsstellen verschiedener Hersteller überwiegend dieselben Grundfunktionen auf, aber diese sind auf unterschiedliche Weise implementiert. Daher fordert die Einführung neuer Dienste zunächst neue Softwareversionen aller beteiligten Vermittlungsstellen. Die Hersteller, die auf diese Wünsche des Netzbetreibers reagieren, benötigen eine gewisse Zeit, um die Softwareänderungen zu spezifizieren, zu entwickeln und zu testen. Bekommt der Netzbetreiber alle neuen Softwareversionen, dann müssen diese installiert werden, was für das Netz eine empfindliche Operation ist. Aufgrund dieses engen Zusammenhangs zwischen Diensten und Netzstruktur ist die Einführung neuer Dienste ein teures, zeitaufwendiges und riskantes Unternehmen.

Die Grundidee des IN basiert auf Softwaretrennung. Die Grundfunktionen, die für die Behandlung von nicht-IN-Rufen notwendig sind, werden von den fortgeschrittenen Funktionen, die den Rufablauf bei Dienstmerkmalen bestimmen, getrennt. Die fortgeschrittenen Funktionen sind in einer Netzdatenbank zentralisiert und kommunizieren mit den in der Vermittlungsstelle liegenden Grundfunktionen über eine standardisierte Schnittstelle. Die gesamte "Intelligenz" des Netzes konzentriert sich in der Netzdatenbank, und der Vermittlungsstelle wird lediglich die Identifizierung und Anmeldung von IN-Dienstereignissen überlassen.

Die Einführung dieses Konzeptes wurde zunächst durch das Angebot von Diensten wie z.B. 130-Dienst, Televotum und Privater Informationdienst in zentralisierten Netzdatenbanken erreicht. Damit Uneinigkeiten in verschiedenen Netzen vermieden werden können und daher eine homogene Basis für die Anbindung konkurrierenden Dienstanbieter ermöglicht wird, wurde diese Struktur von CCITT Study Group XI definiert und als "IN Capability Set 1" (IN-CS1) in der Q.1200-Reihe [44] international standardisiert. Eine Einführung in dieses Thema findet man auch in [21, 68, 69, 70, 87, 158].

Im IN-CS1 wurde eine Reihe dienstunabhängigen fortgeschrittenen Funktionen identifiziert und standardisiert. Diese Funktionen stehen den Dienstentwicklern als Grundsteine zur Verfügung. Ein neuer Dienst wird aus einer vom Dienstentwickler beliebig zusammengesetzten Verkettung von Grundsteinfunktionen definiert. Dieses Konzept entspricht einer Entkopplung zwischen Dienstentwicklung und Netzinfrastruktur und daher wird eine schnellere, herstellerunabhängige und unriskante Einführung neuer Dienste ermöglicht.

### 3.3.1 Das IN-CS1 Conceptual Model

Das IN Conceptual Model enthält die Rahmenbedingungen für den Entwurf und die Beschreibung der IN-Architektur. Das Modell wird in vier Ebenen unterteilt und jede dieser Ebenen entspricht unterschiedlichen Abstraktionsniveaus der vom IN zur Verfügung gestellten Merkmale. Diese Abstraktionsniveaus betreffen Aspekte der Dienste, globale Funktionalität, verteilte Funktionalität und physikalische Struktur. Bild 3.7 verdeutlicht dieses Modell.

In der Dienstebene (Service Plane) werden ausschließlich Dienstaspekte betrachtet. Informationen über die Implementierung von Diensten im IN-Netz können in dieser Ebene nicht erhalten werden. Die dienstbezogenen Beziehungen, die von einem Dienstbenutzer erfahren werden, sind hier dargestellt. Ein Dienst ist durch Dienstmerkmale (Service Features - SFs) beschrieben.

Die globale funktionale Ebene (Global Functional Plane - GFP) modelliert das IN als einheitlichen Block. Die GFP enthält eine Reihe von dienstunabhängigen Funktionen, die "Service Independent Building Blocks" (SIBs). Die SIBs sind modulare und wiederverwendbare Funktionen, mit denen eine Dienstlogik definiert wird. Ein Dienst kann als eine Kette von SIBs charakterisiert werden. Der "Basic Call Process" (BCP) entspricht dem normalen nicht-IN-Verbindungssteuerungsprozeß. Der Startpunkt eines Dienstes im BCP ist als "Point of Initiation" (POI) gekennzeichnet. Am Ende einer SIB-Kette liegt die Dienstlogik fest, an welchem Punkt des BCP (Point of Return - POR) die Verbindungssteuerung fortgesetzt wird.

Die Betrachtung der verteilten Struktur eines IN-Netzes erfolgt in der verteilten funktionalen Ebene (Distributed Functional Plane - DFP). Die DFP identifiziert funktionale

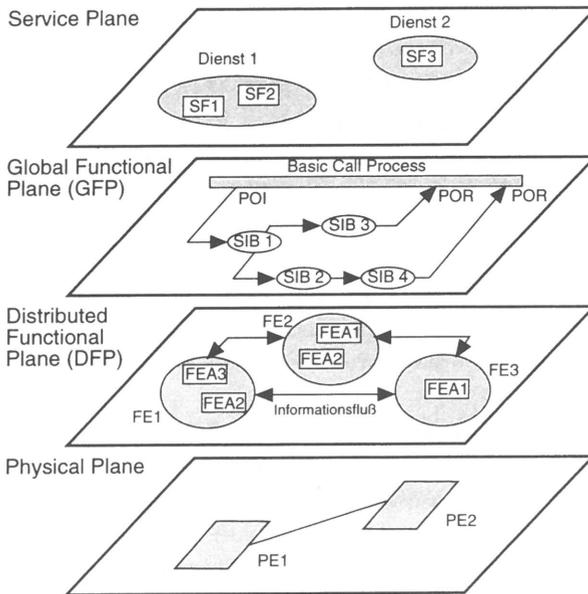


Bild 3.7: Das IN Conceptual Model

Einheiten (Functional Entities – FEs) und die Aktionen dieser funktionalen Einheiten (Functional Entity Action – FEA). Ein SIB der oberen Ebene wird hier durch eine entsprechende Reihenfolge von FEAs verwirklicht. Die Durchführung einiger dieser FEAs kann den Austausch von Informationen zwischen FEs erfordern.

Die physikalische Struktur des IN-Netzes ist in der physikalischen Ebene (Physical Plane) dargestellt. Die physikalischen Einheiten (Physical Entities – PE) und die benutzten Protokolle werden in dieser Ebene modelliert. Ein oder mehrere FEs der oberen Ebene können einem PE zugeordnet werden.

### 3.3.2 Grundstruktur des IN-CS1

Die Realisierung des IN-Konzeptes erfordert unterschiedliche Funktionalitäten zur Unterstützung des Benutzerzugangs, zum Aufruf von Diensten, zur Dienststeuerung, zum Informationsaustausch mit dem Benutzer (User Interactions) und Dienstmanagement. Diese Funktionalitäten sind entsprechend dem "IN Conceptual Model" in den verschiedenen FEs enthalten. Die FEs können unterteilt werden in:

- *Call Control Agent Function (CCAF)* – Diese Funktionen unterstützen den Benutzerzugang zu IN-Diensten und bilden die Schnittstelle zwischen den Benutzern und den Verbindungssteuerungsfunktionen des Netzes.
- *Call Control Function (CCF)* – Die CCF reagiert auf Anforderungen der CCAF und nimmt den Aufbau, die Steuerung und den Abbau einer Verbindung wahr. Die CCF entspricht den Verbindungssteuerungsfunktionen im klassischen Sinne. Außerdem ermittelt die CCF durch Auslösermechanismen (Trigger Mechanism) den Aufruf eines IN-Dienstes.
- *Service Control Function (SCF)* – Die IN-Dienstlogik ist in der SCF enthalten. Der Ablauf von IN-Diensten wird von der SCF aus gesteuert. Die SCF kommuniziert mit anderen FEs, um zusätzliche Informationen zur Bearbeitung der IN-Dienste zu erhalten.
- *Service Switching Function (SSF)* – Die SSF stellt die Schnittstelle zwischen CCF und SCF dar und unterstützt den Austausch von Informationen zwischen CCF und SCF. Darüberhinaus identifiziert die SSF von CCF empfangene Dienstauslöser (Service Trigger) und bestimmt die SCF, in der der entsprechende IN-Dienst gespeichert ist. Außerdem koordiniert die SSF die Signalisierungsprozeduren und die Überlastabwehrmechanismen zwischen CCF und SCF.
- *Service Data Function (SDF)* – Die Teilnehmer- und Netzdaten, die den Betrieb und die Bereitstellung von IN-Diensten betreffen, werden in der SDF gespeichert und auf einer Echtzeitbasis der SCF zur Verfügung gestellt.
- *Specialized Resource Function (SRF)* – Die SRF ermöglicht den Austausch von Informationen zwischen Benutzer und IN-Dienstlogik. Dieser Austausch findet im allgemeinen während des Dienstablaufs in Form von automatischen Ansagen, Empfang von Ziffern, Spracherkennung etc., statt. Die SRF weist eine Kommunikationsschnittstelle zu SCF und SSF auf.

Diese Funktionen werden in den PEs der physikalischen Ebene abgebildet. Die PEs können in Service Switching Point (SSP), Network Access Point (NAP), Service Control Point (SCP), Service Data Point (SDP), Adjunct (AD), Intelligent Peripherals und Service Node (SN) unterteilt werden.

Der SSP ist eine IN-Vermittlungsstelle und erkennt und bearbeitet IN-Dienstansforderungen. Darüberhinaus kommuniziert der SSP mit anderen PEs, die die SCF-Funktion enthalten. Die Funktionen im SSP sind die CCF, SSF und, falls der SSP eine lokale Vermittlungsstelle ist, die CCAF. Als optionale Anordnung können auch die SCF, SDF und SRF im SSP implementiert werden.

Die Einführung des IN-Konzeptes kann zunächst in der Durchgangvermittlungsstelle erfolgen. In diesem Fall sind die lokalen Vermittlungsstellen als NAPs gekennzeichnet.

Die NAPs enthalten die CCF- und CCAF-Funktionen, aber keine SSF-Funktionen. Daher kann ein NAP wesentlich bestimmen, wann ein IN-Dienst aufgerufen wird, aber er wird keine Kommunikation mit der SCF-Funktion unterstützen. Ein IN-Dienst wird zu einem SSP weitergeleitet.

Der SCP entspricht den Netzdatenbanken und schließt die IN-Dienstlogik und die notwendigen Netz- und Benutzerdaten ein. Die SCF- und SDF-Funktionen sind hier implementiert. Die wachsende Anzahl an Anwendungen, die eine verteilte Datenbankstruktur benötigt, fordern die Implementierung der SDF-Funktionen in isolierten SDPs.

Die ADs weisen dieselbe Funktionen wie die SCPs auf, sind aber direkt an den SSPs über eine Hochgeschwindigkeitskommunikationsschnittstelle angeschlossen. Diese Alternative führt zu unterschiedlichen Charakteristiken der Dienstleistung. Ein IN-Dienst kann während der Einführungsphase von einem SCP aus angeboten und zu einem zukünftigen Zeitpunkt im AD implementiert werden.

Die IPs nehmen den Austausch von Informationen zwischen IN-Dienstlogik und Benutzer (SRF-Funktion) wahr. Die IPs können isolierte Einheiten sein oder im SSP integriert werden.

In der SNs sind Funktionen einer IP (SRF-Funktion) und eines SCP (SCF- und SDF-Funktionen) integriert. Die SCF- und SDF-Funktionen in einem SN unterstützen, im Gegenteil zum SCP, nur spezifische Dienste. Die SNs ermöglichen die Abwicklung von komplexen IN-Diensten, deren Dienstlogik einen starken Zusammenhang mit den Netzelementen aufweist. Damit wird verhindert, daß ein solcher Dienst aufgrund der Netzstruktur nur begrenzt zur Verfügung gestellt wird.

Die Abbildung der IN-Struktur auf die physikalischen Einheiten wird in Bild 3.8 verdeutlicht.

### **3.3.2.1 IN-Vermittlungsstelle**

Die IN-Vermittlungsstelle ist eine ISDN-Vermittlungsstelle, in der die SSP-Funktionalitäten durch Änderungen in der Vermittlungsstellensoftware gewonnen werden. Die Vermittlungsstellensoftware soll die Grundfunktionen einer Verbindung in einer abstrakten Weise darstellen, damit eine vereinfachte Sicht der Vermittlungsfunktionen vom SCP aus erreicht wird.

Das BCM-Modell (Basic Call Model) liefert ein objektorientiertes Referenzmodell der Grundfunktionen einer Verbindung sowie die spezifischen Punkte in dem Verbindungsablauf, aus welchen ein IN-Dienst aufgerufen werden kann. Damit eine Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Implementierungen ermöglicht wird, wurde das BCM-Modell für das IN-CS 1 in der Empfehlungen Q.1213 [44] international standardisiert.

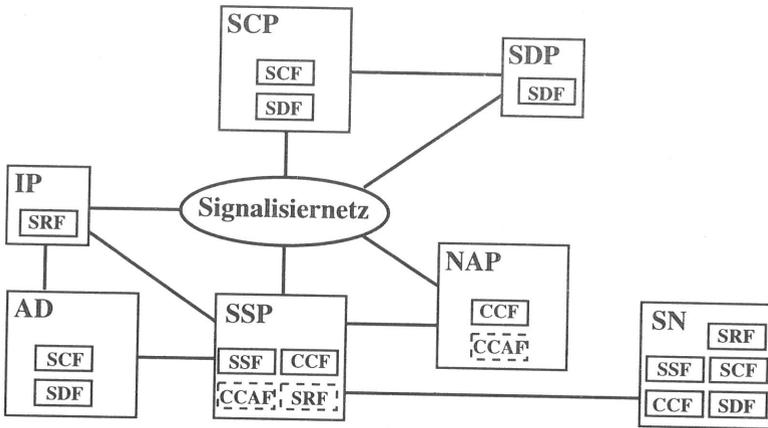


Bild 3.8: Zusammenhang zwischen logischer und physikalischer Struktur im IN

Ein IN-Dienst wird durch die Aktivierung eines Dienstauslösers (Service Trigger) gestartet. In diesem Fall stoppt die IN-Vermittlungsstelle den Rufsteuerungsprozeß und fordert weitere Instruktionen vom SCP. Die Prozeduren zur Bearbeitung der Dienstauslöser, die Steuerung der Kommunikation mit dem SCP, die IN-Flußkontrolle und der Überlastabwehrmechanismus sind Erweiterungen, die in der IN-Vermittlungsstellensoftware vorgenommen werden.

Die empfangenen Steuerkommandos des SCPs müssen bearbeitet und die entsprechenden Operationen in der Vermittlungsstelle ausgeführt werden. Darüberhinaus werden rufbezogene Ereignisse, wie z.B. "Zielteilnehmer hebt ab" oder "Ursprungsteilnehmer gibt auf", an den SCP berichtet.

Beispiele für die Implementierung von IN-Vermittlungsstellen befinden sich für Alcatel System 12 von Alcatel in [181], für GTD-5 EAX von GTE in [166, 128], für DX 200 von NOKIA in [125], für NEAX 61E von NEC in [155, 173] und für 5ESS von ATT in [20].

### 3.3.2.2 Service Control Point (SCP)

Der SCP enthält die Funktionen, die für die Echtzeitbearbeitung der IN-Dienstlogik erforderlich sind (SCF-Funktionen). Die IN-Dienstlogik wird im SCP als "Service Logic Processing Programs" durch SLP-Programme dargestellt. Das SLP-Programm steuert den Dienstablauf und kann die Vermittlungsstellenressourcen im SSP und andere Netzressourcen beliebig manipulieren. Außerdem sind im SCP auch die Netz- und Benutzerinformationen, die sich auf IN-Dienste beziehen, gespeichert (SDF-Funktionen).

Der SCP nimmt den Aufruf und die Ausführung von SLP-Programmen wahr und koordiniert Aspekte, wie z.B. die gleichzeitige Ausführung mehrere SLP-Programme, Erhaltung der SLP-Programmdaten, Management des Informationsaustausches zwischen dem SLP-Programm und den beteiligten Instanzen in andere Netzelementen, Erreichbarkeit und Adressierung von Netzressourcen, Flußkontrolle und Überlastabwehrmechanismen, etc.

Die Echtzeitcharakteristik der IN-Dienste stellt große Anforderungen an die SCP-Leistung. Die SCP-Leistung spielt bei der IN-Dienstqualität eine entscheidende Rolle. Der SCP unterstützt eine Reihe von IN-Diensten mit unterschiedlicher Komplexität und Verkehrscharakteristik. Der 130-Dienst, zum Beispiel, weist meistens eine einfache Dienstlogik (Umwandlung der Rufnummer) auf, kann aber die Bearbeitung einer großen Anzahl von Rufen erfordern. Andere Dienste, wie Konferenzdienste, sind wesentlich komplexer, werden dagegen seltener aufgerufen. Eine Alternative für die Verteilung von IN-Diensten auf mehrere SCPs und die resultierende Leistung findet man in [24, 165].

Die SDF-Funktionen im SCP werden in einer Datenbank abgewickelt. Hier sind bekannte Probleme der Datenbanktheorie, die die SCP-Leistung beeinflussen können, zu bemerken. Diese Probleme sind u.a. mit der Datenkonsistenz (Data Consistence) und Auslösung von Verklemmungen (Deadlock Resolution) eng verknüpft. Eine Einführung in diesem Thema sowie einen breiten Literaturüberblick können in [189] gefunden werden.

Beispiele für die Implementierung von SCPs findet man im System 8300 von Alcatel [181], in TPN von Tandem Telecommunications Systems [186], in XA2000 von NEC [173], in DX200 SCP von NOKIA [125] und in Konzepten von NTT [146] und British Telecom [99].

### **3.3.2.3 Intelligent Peripherals (IP)**

Die IPs stellen den IN-Diensten eine Reihe von dienstunabhängigen Funktionalitäten für den Austausch von Informationen in der aktiven Phase eines Dienstes zwischen Benutzer und IN-Dienstlogik zur Verfügung (SRF-Funktionen). Da manche im IP angebotenen Merkmale, wie z.B. Empfang von Ziffern und automatische Ansagen, bereits in digitalen Vermittlungsstellen integriert sind, stellt sich die Frage nach den Sinn der Zentralisierung dieser Funktionen im Netz. Die von IP bereitgestellten Mittel schließen auch spezialisierte, selten benutzte oder technologisch unausgereifte Mittel ein, die sich ungünstig in einer Vermittlungsstelle implementieren lassen.

Die IPs bieten neben den schon in digitalen Vermittlungsstellen bereitgestellten Mitteln auch Merkmale, wie z.B. Ansagen via Text-zu-Sprache Umwandlung, Spracherkennung, etc. Für zukünftige Dienste kann man sich Erweiterungen vorstellen, wie z.B.

Kryptographie, fortgeschrittener Facsimiledienst, Konvertierung von Signalisierprotokollen, Identifizierung des Teilnehmers durch Sprachcharakteristiken, etc.

Die Signalisierung zwischen den IPs und den anderen Netzelementen erfolgt über das Signalisiernetz. Die IPs können auch integriert in einem SSP implementiert werden. In diesem Fall basiert die Kommunikationsschnittstelle auf dem von CCITT standardisierten Q.931 Protokoll [39], und die Informationen werden in "Facility Information Elements" von Disconnect-, Facility-, Release-, Release Complete- und Setup-Meldungen übertragen.

Manche IP-Merkmale sind bereits in einigen Netzen implementiert, Beispiele dafür findet man bei der italienischen SIP [25], bei der British Telecom [2], in Japan [210] und in USA [102, 111].

### 3.3.3 IN-Dienste und ihre Verkehrscharakteristik

Die IN-Dienste dienen prinzipiell geschäftlichen Anwendungen und sind für die Netzbetreiber von einer strategischen Bedeutung. Der traditionelle Sprachdienst weist aus politischen Gründen eine inflexible Tarifstruktur auf. Die IN-Dienste bieten die Möglichkeit, neue Einnahmequellen in Form von Partnerschaften mit Dienst Anbietern aufzubereiten. Außerdem wird das Nutzpotalential des Netzes mit dem IN-Konzept besser ausgenutzt.

Die IN-Dienste werden als eine Verkettung von SIBs definiert. Aus dieser flexiblen Struktur ist eine größere Anzahl von neuen Diensten zu erwarten. Diese Dienste sind durch unterschiedliche Verkehrswerte und unterschiedlichen Komplexitätsgrad charakterisiert. Die Kombination dieser zwei Faktoren in gegebenem Umfang können wesentliche kritische Anforderungen an die Netzstruktur stellen. In den IN CS1-Empfehlungen wird eine Reihe von Diensten als potentielle Anwendungen aufgelistet. Eine vollständige Dienstliste soll hier nicht ausgearbeitet werden; als Beispiel werden einige in Deutschland angebotenen 130-Dienste und der Televotum-Dienst sowie ihre Verkehrscharakteristik betrachtet.

Der 130-Dienst, auch international als "Freephone"- oder "Toll Free"-Dienst bekannt, ermöglicht einen Wechsel der Gebührenpflicht. Der 130-Dienstkunde kann von jedem Telefonanschluß der Telekom oder nach Wunsch auch von ausländischen Netzen zum Nulltarif erreicht werden. Die Dienstlogik kann zusätzliche Leistungsmerkmale erfüllen, wie z.B. eine ursprungsabhängige oder zeitabhängige Zielsteuerung auf einen vom Kunden definierten Anschluß bzw. Abblocken im anderen Falle. Der 130-Dienst, obwohl sehr verbreitet in anderen Ländern, hat eine relative späte Marktdurchdringung (Market Penetration) in Deutschland erlebt und eine Prognose der Telekom [117] weist auf 15000 130-Rufnummern in 1994. Das Verkehrsvolumen des 130-Dienstes hat sich schlagartig von 24.3 Millionen Gebührenminuten/Jahr in 1987 auf 303.3 Millionen Gebührenminuten/Jahr in 1991 entwickelt.

Der Televotum-Dienst bietet die Möglichkeit, Abstimmungen mittels des Telefonnetzes durchzuführen. Die Teilnehmer können z.B. während einer Fernsehsendung ihre Meinung durch Wahl bestimmter Rufnummern äußern. Als Erweiterung der Dienstlogik können Leistungsmerkmale, wie z.B. Durchschaltung zufällig ausgewählter Anrufer zu dem Sendungsmoderator, implementiert werden. Der Televotumkunde kann unter Anwendung eines Paßwortes die Ergebnisse bei einer Zentrale abfragen. Die Dienstlogik ist in diesem Fall einfach, aber das Anrufaufkommen kann in einer Zeitspanne von wenigen Minuten Werte in der Größenordnung von mehreren 100000 Anrufen aufweisen. Diese Verkehrswerte können ernste Folgen für das gesamte Netz haben und sogar Softwarefehler entlarven und zum Zusammenbruch des Netzes führen, wie es in Schweden [96] der Fall war.

### 3.3.4 Implementierungs- und Entwurfsaspekte des IN

Die Grundelemente der physikalischen Ebene des IN-CM (SSP, SCP, SDP, IP, AD und SN) ermöglichen unterschiedliche Variationen der IN-Architektur. Da mehrere funktionale Einheiten (FEs) in den IN-Grundelementen als optional gekennzeichnet sind, ist die resultierende IN-Architektur eine Funktion der in den Grundelementen implementierten Merkmale. Außerdem müssen zusätzlichen Faktoren, wie z.B. existierende Netzinfrastruktur, Marktcharakteristika, verfügbare Investitionsmittel für die Modernisierung des Netzes, etc. betrachtet werden.

Die Festlegung der Netzebene, in welcher die SSPs implementiert werden, stellt eine Kompromißlösung dar und kann das Basisnetz sowie das Signalisieretz auf unterschiedlichen Weise beeinflussen. Die von Telekom in Deutschland ausgewählte Strategie [68, 35, 116, 117] ist die Implementierung eines überlagerten IN-Netzes (Overlay IN-Network). In diesem Fall werden die SSPs in Sondervermittlungsstellen, die ausschließlich IN-Rufe behandeln, realisiert. Diese Alternative ist kostengünstig und minimiert das Risiko von Störungen im Basisnetz durch die IN-Funktionalitäten. Mit der Zunahme des IN-Verkehrs sind jedoch in dieser Struktur Engpässe zu erkennen. Eine verteilte Lösung stellt den Einsatz der SSPs in den Durchgangsvermittlungsstellen dar. Diese Möglichkeit erfordert Software- und Hardwareänderungen in den Vermittlungsstellen und Auswirkungen auf das Basisnetz durch Fehler im IN-Netz können nicht ausgeschlossen werden. Die flexibelste Lösung bietet die Anordnung der SSPs an den Ortvermittlungsstellen, damit sind aber höherer Kosten- und Realisierungsaufwand verbunden.

Die IPs können als isolierte Einheiten oder integriert in den SSPs implementiert werden. In den CCITT-Empfehlungen [44] sind 5 Möglichkeiten für den Anschluß eines IPs an das Netz vorgesehen. Diese Alternativen können für dieselben Operation zu unterschiedlichem Informationsfluß bzw. Auslastung des Signalisieretztes führen.

Die SCPs unterstützen zentralisierte Funktionen und werden deshalb als geographisch getrennte Paare realisiert. Die Auslastung eines SCPs hängt mit der Anzahl und dem Typ der angeforderten Operationen zusammen. Daher kann aufgrund der Komplexität bzw. Verkehrswerte eines Dienstes die Verwendung von ADs oder SNs gerechtfertigt werden. In manchen Fällen werden sogar dienstspezifische ADs vorgeschlagen [53].

Die Heterogenität der Produkte unterschiedlicher Hersteller und die nicht ausreichend fortgeschrittenen Empfehlungen haben weltweit zu inselformigen Implementierungen des IN-Konzeptes geführt. Diese Systeme entsprechen nicht vollständig den Konzepten des IN-CS 1. Beispiele für den Stand der IN-Realisierung finden sich für Europa in [34, 54, 67, 72, 93, 100, 135, 172], für die USA in [59, 124, 164, 179] und für Asien in [85, 106, 173, 185].

### **3.3.5 Das Signalisiernetz im IN**

Das Signalisiernetz stellt die Kommunikationsschnittstelle dar zwischen die SSPs, SCPs, SDPs und IPs. Die andere Netzelemente (ADs und SNs) sind direkt mit dem SSP verbunden und benutzen andere Kommunikationsschnittstellen (Q.931 und Q.932). Das IN wird auf dem ISDN aufgebaut, und daher ist die Struktur des Signalisiernetzes im IN der des ISDN ähnlich (Vergleiche Abschnitt 3.1.3). Die SSPs, SCPs, SDPs und IPs entsprechen jeder einem SP des Signalisiernetzes und die Signalisiernetzarchitektur wird durch STPs ergänzt.

#### **3.3.5.1 Signalisierszenarien von unterstützten Diensten**

Das IN-Konzept bietet eine flexible Plattform für die Entwicklung und Einführung neuer Dienste und erlaubt die Anbindung konkurrierender Dienstanbieter ans Netz. Daher ist eine große Anzahl von Diensten zu erwarten. Jeder einzelne Dienst erfordert den Transport von Steuerungsinformationen über das Signalisiernetz. Diese zusätzliche Last durch IN-Dienste darf nicht unterschätzt werden und ihr Einfluß auf die Signalisiernetzelemente soll sorgfältig analysiert werden.

Im IN ist der Ablauf der Dienstlogik abhängig von Faktoren, wie z.B. Reaktionen der Benutzer, Ergebnis des Informationsaustausches mit dem Benutzer, Ausführung von Sicherheitsprozeduren, Zeit oder Ursprung eines Rufes, etc. Da jeder mögliche Ablauf eines Dienstes im allgemeinen zum Austausch von unterschiedlichen Meldungen über das Signalisiernetz führt, müssen alle Fälle als Subszenarien des Dienstes betrachtet werden. Die resultierende Anzahl von Szenarien kann sehr groß sein. Ein Studium der CSELT Italien hat allein für die in Italien vorgesehenen IN-Dienste über 300 Szenarien identifiziert [135].

Als Beispiel werde hier ein mögliches Szenario für den erfolgreichen Verbindungsaufbau in einem Kreditkarten-Dienst durchleuchtet. Dieser Dienst ermöglicht dem Benutzer,

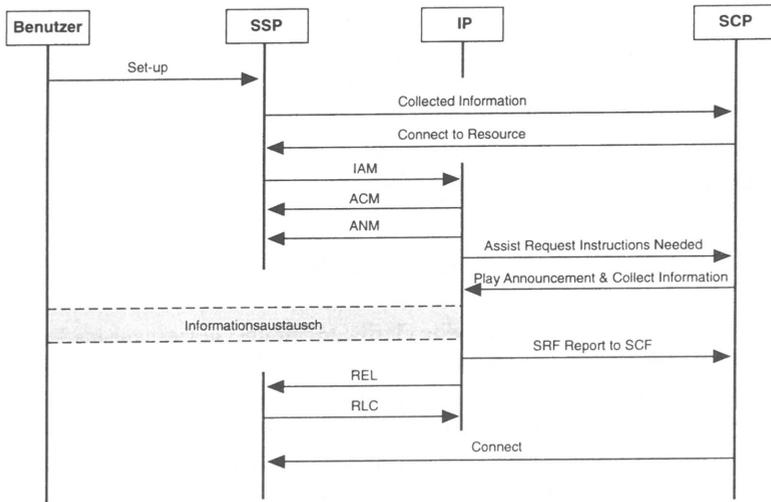


Bild 3.9: Signalisierszenario für den Kreditkarten-Dienst

von irgendeinem Netzanschluß durch Angabe seiner persönlichen Kartennummer und eines Paßwortes eine Verbindung aufzubauen. Die anfallenden Gebühren werden über eine festgelegte Anschlußnummer abgerechnet. Der Informationsaustausch ist in Bild 3.9 dargestellt.

- *Im SSP* – Der Benutzer wählt die Dienstkennzahl und die Rufnummer und ein Auslöser (Trigger) bestimmt, daß es sich um einen IN-Dienst handelt. Der SSP suspendiert die Verbindungssteuerung und fordert weiteren Komandos vom SCP durch eine “Collected Information”-Operation.
- *Im SCP* – Die entsprechende Dienstlogik wird aufgerufen, und es wird festgestellt, daß eine Ansage für den Dienstbenutzer gespielt und zusätzliche Ziffern empfangen werden sollen. Der SCP befiehlt dem SSP, den Benutzer an einen IP weiterzuleiten (“Establish Temporary Connection”-Operation).
- *Im SSP* – Die empfangene Meldung wird bearbeitet und eine ISDN-Verbindung wird durch die IAM-, ACM- und ANM-Meldungen mit dem IP aufgebaut.
- *Im IP* – Die Verbindungsaufbaumeldungen vom SSP enthalten keine Information über die zu erfüllenden Aufgaben und eine “Assist Request Instructions Needed”-Operation wird an den SCP gesendet.
- *Im SCP* – Der SCP entscheidet, daß eine bestimmte Ansage gespielt und weitere Ziffern empfangen werden sollen. Dieser Vorgang wird mit einer “Play Announcement and Collect Information”-Operation an den IP mitgeteilt. Außerdem darf der IP

nach der Ausführung der Operation die Verbindung mit dem SSP abbauen.

- *Im IP* – Die Aufgabe wird erfüllt und die vom Benutzer bereitgestellte Information wird durch eine “SRF Report To SCF”-Operation an den SCP weitergereicht und die Verbindung mit dem SSP durch REL- und RLC-Meldungen abgebaut.
- *Im SCP* – Die Benutzeridentität wird überprüft und im erfolgreichen Falle wird der SSP den Verbindungsaufbau fortsetzen.

### 3.3.5.2 Verkehrscharakteristik der Signalisierszenarien

Die durch das IN-Konzept bereitgestellte Flexibilität für die Entwicklung und Einführung neuer Dienste führt zu einer größeren Anzahl von verfügbaren Diensten im Netz. In diesem Falle wird die Abschätzung des Verkehrsaufkommens besonders erschwert, da für viele neue Dienste die in traditionellen Netzen benutzten Erfahrungswerte oder Messungen nicht vorhanden sind. Außerdem muß man für den Signaliserverkehr neben dem Verkehrsaufkommen auch die Komplexität des Dienstes betrachten. Für komplexe Dienste, die viel Informationsaustausch zwischen den Netzelementen erfordern, kann bei einem relativ niedrigen Verkehrsaufkommen schon eine große Last auf das Signalisiernetz gebracht werden.

Die IN-Dienste weisen unterschiedliche Verkehrscharakteristik auf. Neben Diensten, deren Verhalten mit den im ISDN angebotenen Diensten vergleichbar ist, sind auch Dienste, die durch hunderttausende Rufversuche innerhalb weniger Minuten gekennzeichnet sind. Die resultierende Mischung von Signalisierszenarien wird auf das Signalisiernetz übertragen.

Weitere Herausforderungen stellt die Einbettung der Mobilkommunikation [46] und der universellen persönlichen Rufnummer im IN dar. Die Charakterisierung des Signaliserverkehrs, die für die Unterstützung von Mobilitätsmanagementprozeduren benötigt wird, hängt mit Erweiterungen des IN-Konzeptes zusammen. Diese Erweiterungen wurden jedoch von den Standardisierungsgremien noch nicht festgelegt.

## Kapitel 4

# Modellierung und Analyse des Signalisiernetzes

### 4.1 Modellierung des Signalisiernetzes

Die Analyse eines realen Signalisiernetzes erfordert zunächst eine entsprechende Modellierungsmethode, welche die für das Signalisierprotokoll bedeutsamsten Charakteristika darstellen kann. Die Betrachtung aller internen Mechanismen eines Protokolls kann jedoch zu einem Modell führen, das sich mit dem gegenwärtigen Stand der Verkehrstheorie nicht exakt analysieren läßt. Dennoch können allgemeine Modellierungsmethoden, die die Berechnung wichtiger Leistungsgrößen von Kommunikationssystemen ermöglichen, in der Literatur [56, 57, 115, 157, 204, 205] gefunden werden. In [56, 57, 115] werden zwei allgemeine Methoden vorgeschlagen, die auf "Multiple Chains"-Warteschlangennetzen basieren. Ein weiterer Ansatz, der sich auf Aggregations- und Dekompositionstechniken stützt, wurde in [204, 205] veröffentlicht. Ein Vergleich zwischen einigen dieser Modellierungsmethoden wurde in [58] gezogen.

Die in dieser Arbeit angewandte Modellierungsmethode folgt [204, 205]. Alle Submodelle werden direkt aus den CCITT-Empfehlungen hergeleitet und wichtige interne Charakteristika der funktionalen Blöcke, wie z.B. Aufspaltung und Verzweigung von Meldungen, werden betrachtet. Die Grundidee bei dieser Modellierungsmethode folgt aus der Beobachtung, daß die CCITT-Empfehlungen eine Reihe von funktionalen Einheiten sowie den detaillierten Informationsfluß zwischen diesen Einheiten definiert. Daraus können "virtuelle" Prozessormodelle abgeleitet werden.

Für die Modellierung eines Signalisiernetzes werden die Signalisierabschnitte und die Signalisierpunkte getrennt betrachtet. Die Signalisierabschnitte entsprechen in der Protokollarchitektur den MTP-Ebenen 1 und 2. Die Funktionen der MTP-Ebene 3 sowie die Benutzerteile sind in den Signalisierpunkten integriert.

### 4.1.1 Modellierung eines Signalisierabschnittes

Die MTP-Ebene 1 stellt eine bidirektionale digitale Übertragungsstrecke dar. Sie wird in Form eines Systems mit unendlich vielen Bedieneinheiten modelliert, in dem die Bedienzeit der Meldungsdurchlaufzeit entspricht. Das Modell für die MTP-Ebene 2 schließt Mechanismen für die gesicherte Übertragung von Nachrichteneinheiten zwischen zwei benachbarten SPs ein, d.h. die Meldungen werden ohne Verlust, Verfälschung, Duplizierung und in korrekter Reihenfolge übertragen. Ein in der CCITT-Empfehlung Q.706 vorhandenes Modell für die Funktionen der MTP-Ebene 2 wurde übernommen. Dort wurde für die Funktionen der MTP-Ebene 2 mit einigen vereinfachenden Annahmen ein M/G/1-Prioritätssystem mit den entsprechenden Betrachtungen des Fehlerkorrekturprotokolls abgeleitet. Die Ergebnisse für die Meldungsdurchlaufzeiten (einschließlich der o.g. Korrekturen bei Verfälschungen) werden in ein Verzögerungsglied abgebildet, für welches in der Verkehrstheorie ein sog. "Infinite Server"-Modell als Ersatzmodell dient.

### 4.1.2 Modellierung eines Signalisierpunktes

Der Signalisierpunkt entspricht den oberen Ebenen des Signalisierprotokolls, d.h. der MTP-Ebene 3, und den Funktionen SCCP, ISDN UP, TUP und TCAP. Um die Herleitung des Modells direkt aus den CCITT-Empfehlungen zu verdeutlichen, wird der detaillierte Fall eines TCAP-Modells betrachtet. Laut [38], Bild A-2A/Q.774, ist der TCAP in zwei Unterblöcke unterteilt: der "Transaction Sub-Layer" (TSL)-Unterblock und der "Component Sub-Layer" (CSL)-Unterblock. Der CSL besteht aus den Funktionen "Component Handling" (CHA) und "Dialog Handling" (DHA). Die CHA-Funktion schließt die Subfunktionen "Component Coordinator" (CCO) und "Invocation State Machine" (ISM) ein. Im TSL-Unterblock unterscheidet man die Funktionen "Transaction Coordinator" (TCO) und "Transaction State Machine" (TSM). Aus dieser funktionalen Struktur wird ein Prozessmodell mit 5 Bedienphasen und 5 Warteschlangen – je eine pro identifizierter Einheit – hergeleitet. Die Identifizierung dieser funktionalen Einheiten reicht allein nicht aus, um ein vollständiges Modell zu gewinnen. Dazu muß auch der Fluß von Informationen durch die Phasen berücksichtigt werden. Als Beispiel wird der Ablauf einer "TCAP-Begin"-Meldung, welche zwei "Invoke"-Komponenten enthält, durch die Phasen verfolgt und im Bild 4.1 gezeigt.

- Die vom TC-Benutzer empfangene "TC-BEGIN req"-Primitive wird im DHA bearbeitet. Der CCO wird durch ein "request components"-Signal aufgefordert, die vorhandenen Komponenten (hier 2 "Invoke"-Komponenten) zu übergeben.
- Der CCO bearbeitet des "requested components"-Signal und erzeugt drei Ausgangssignale; zwei "operation sent"-Signale (Aufspaltung) für die ISM – eine für jede "Invoke"-Komponente – und ein "requested components"-Signal für den DHA.



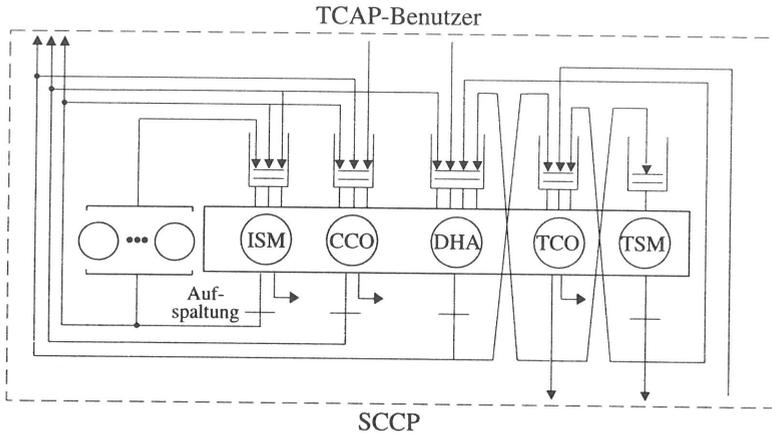


Bild 4.2: Modell für den TCAP-Block

ohne Bedeutung und werden hier nicht eingeschlossen. Das Signalling Message Handling kann in drei Prozesse unterteilt werden: den Message Discrimination Process (HMDC), Message Distribution Process (HMDT) und Message Routing Process (HMRT). Durch Anwendung der Modellierungsmethode erhält man ein Prozessmodell mit drei unterschiedlichen Prozeßphasen. Das resultierende Modell wird in Bild 4.3 verdeutlicht.

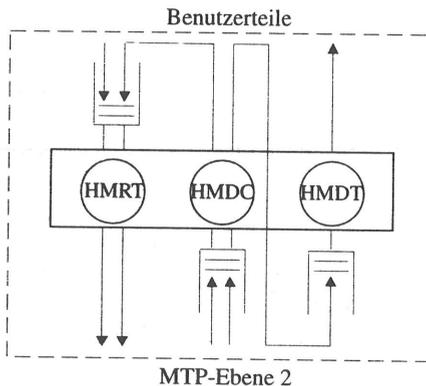


Bild 4.3: Modell für den MTP-Ebene 3

Entsprechend den Aufgaben des SCCPs und den von ihm angebotenen Diensten besteht dieser Funktionsblock aus vier internen Blöcken: Routing Control, Connection-oriented Control, Connectionless Control und SCCP Management. Da Managementpro-

zesse hier nicht betrachtet werden, kommen für die SCCP-Submodelle nur drei Prozesse in Frage. Um Vieldeutigkeit zu vermeiden, werden diese Prozesse in Sende- und Empfangsprozesse weiter unterteilt. Insgesamt unterscheidet man sechs verschiedene Prozesse: Connection-Oriented Control Transmission (SCOT), Connectionless Control Transmission (SCLT), Connection-Oriented Control Reception (SCOR), Connectionless Control Reception (SCLR), Routing Control Transmission (SCRT) und Routing Control Reception (SCRR). Daraus entsteht ein Modell mit 6 Bearbeitungsphasen, und die Betrachtung aller Meldungstypen ergibt das in Bild 4.4 gezeigte Modell.

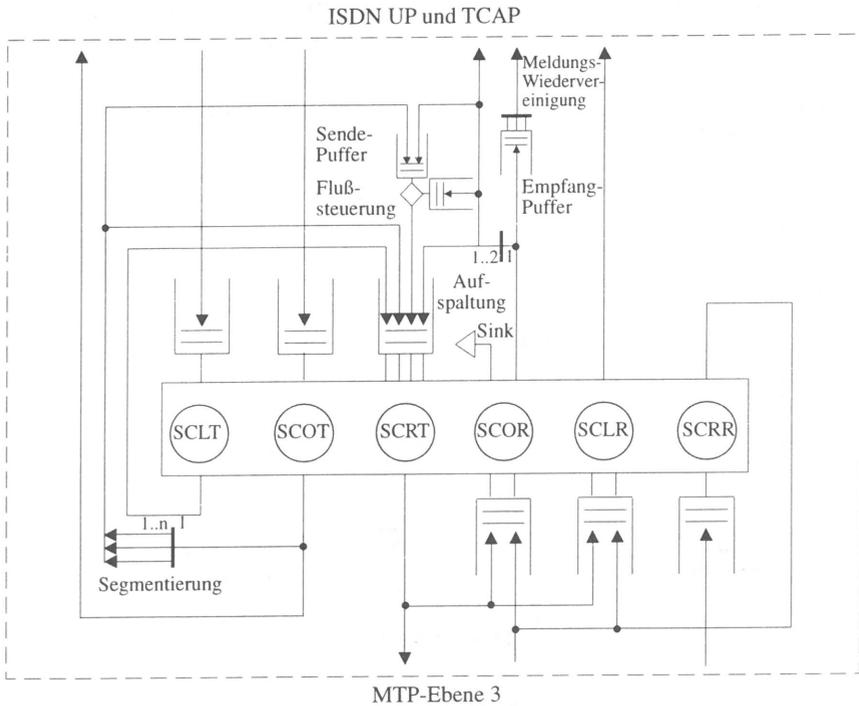


Bild 4.4: Modell für den SCCP

Das SCCP-Protokoll enthält Prozeduren der Protokollklasse 2 und 3 für Aufspaltung und Wiedervereinigung von Meldungen und den Flußsteuerungsmechanismus mit der entsprechenden Partner-Instanz der Protokollklasse 3. Diese Charakteristika machen das Modell wesentlich komplizierter. Der Flußsteuerungsmechanismus der Protokollklasse 3 ist eng mit der SCCP-Verbindung gekoppelt und dies kann die Anwendbarkeit des gesamten Modells begrenzen. Die Protokollklasse 3 des SCCP wird jedoch selten angewendet. Hier

wird angenommen, daß die Protokollklasse 3 nicht benutzt wird und daher die gemessenen Leistungsgrößen nicht stark beeinflusst werden.

Die TUP-Blockstruktur beinhaltet drei Blöcke: die Signalling Procedure Control (SPRC), die Call Processing Control (CPC) und die Circuit Group Control (CGC). Die CGC hat die Aufgabe, die Übertragungsstrecke zu prüfen und Belegt- und Überlastsituationen zu erkennen und zu beheben; sie wird in das Modell nicht eingeschlossen. Die SPRC und die CPC werden, wie im SCCP-Fall, in zwei Prozesse unterteilt, die Signalling Procedure Control Transmission (SPRT), die Signalling Procedure Control Reception (SPRR), die Call Processing Control Transmission (CPCT) und die Call Processing Control Reception (CPCR). Weitere Funktionen, wie z.B. Blockierung, Entblockierung und Überprüfung (Continuity Check) von Übertragungsstrecken u.a. sind der Verbindungsebene zugeordnet. Das resultierende Modell mit 4 Bearbeitungsphasen ist in Bild 4.5 abgebildet.

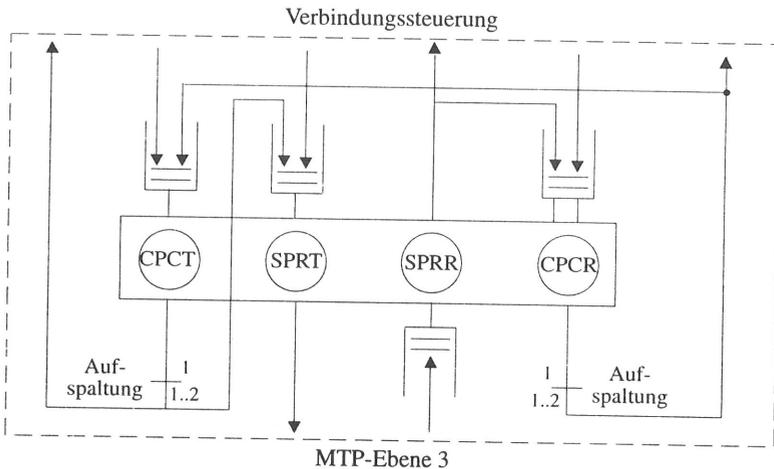


Bild 4.5: Modell für den TUP

Der funktionale Block des ISDN UP unterteilt sich in drei Subblöcke: Call Processing Control, Signalling Processing Control und Circuit Supervision Control. Wie für den TUP angenommen, ist die Circuit Supervision Control, die Übertragungsstrecken prüft und Belegt- und Überlastsituationen erkennt und behebt, für das Modellierungsziel nicht von Bedeutung. Die Signalling Procedure Control schließt die Message Sending Control (MSDC) und die Message Distributing Control (MDSC) ein. Die Call Processing Control besteht aus vier Prozessen, von denen nur die Call Processing Control Incoming (CPCI) und Call Processing Control Outgoing (CPCO) für die Modellierung eine Rolle spielen.

Das Modell für den ISDN UP enthält 4 Bearbeitungsphasen; die Betrachtung aller ISDN UP-Meldungen ermöglicht die Herleitung des in Bild 4.6 dargestellten Modells.

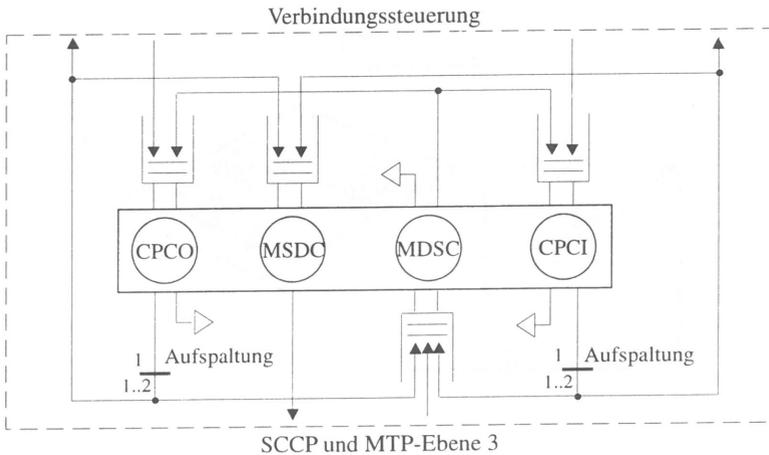


Bild 4.6: Modell für den ISDN UP

### 4.1.3 Betrachtung der herstellerepezifischen Architekturen

Die CCITT-Empfehlungen sind allgemeine Richtlinien, die das funktionale Verhalten des Signalisieretztes bestimmen. Den Herstellern wird ausreichend Spielraum gelassen, die Empfehlungen entsprechend ihrer Interessen zu implementieren. Das Signalisieretz stellt eine Fortentwicklung der Vermittlungsstellen- und Telekommunikationstechniken dar. Daher ist die Implementierungsarchitektur der funktionalen Blöcke des Signalisieretztes eng mit der Hardwarearchitektur der Vermittlungsstellen verknüpft. Im allgemeinen können Dezentralisierungstendenzen bei den Funktionen, die die Signalisieretzabschnitte (MTP-Ebene 2) und die Teilnehmer (ISDN UP) behandeln, beobachtet werden.

Die Architektur der Signalisieretzkomponenten muß beim Modellierungsprozeß betrachtet werden. Die hergeleiteten Teilmodelle wurden als "virtuell" gekennzeichnet, weil die funktionalen Blöcke auf unterschiedliche Weise realisiert werden können. In einer verteilten Vermittlungsstellenarchitektur kann jeder funktionale Block eines SPs (MTP-Ebene 3, SCCP, TCAP, ISDN UP und TUP) in einem isolierten Prozessor abgewickelt werden, während in einer zentralisierten Vermittlungsstellenarchitektur sich mehrere funktionale Blöcke denselben Prozessor teilen können.

Um einen besseren Überblick zu geben, wird die Abbildung eines SP-Modelles auf eine hypothetische Implementierung in Bild 4.7 dargestellt. Es wurde angenommen, daß der

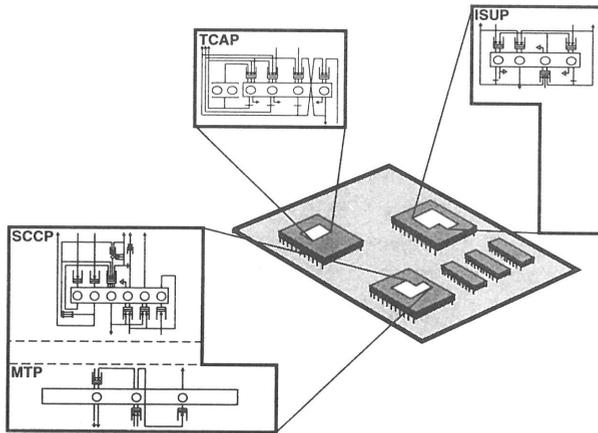


Bild 4.7: Abbildung eines SP-Modelles auf eine hypothetische Implementierung

ISDN UP- und der TCAP-Block von isolierten Prozessoren unterstützt werden, während die MTP-Ebene 3 und der SCCP-Block sich denselben Prozessor teilen.

Um eine realistische Modellierung eines gesamten Signalisiernetzes zu bekommen, reichen die Betrachtungen über Links und hierarchische Struktur des SP nicht aus. Andere Faktoren wie Meldungstransferzeit zwischen Prozessoren, Vermittlungszeit und Meldeverzug des Teilnehmers müssen betrachtet werden.

#### 4.1.4 Modellierung des Verkehrs

Die Verkehrstypen werden durch verschiedene Szenarien dargestellt. Die Szenarien bestehen aus Meldungen. Hingewiesen sei an dieser Stelle auf den Unterschied zwischen Szenario und Dienst. Ein Szenario ist eine charakteristische Sequenz von Meldungen, welche zwischen Instanzen ausgetauscht werden, um eine bestimmte Funktionalität zu erbringen, es ist somit ein Teil eines Dienstes. Der Telephondienst besitzt zum Beispiel als Szenarien die folgenden Fälle: "Teilnehmer besetzt", "Teilnehmer meldet sich nicht" und "erfolgreiches Gespräch", wovon jedes Szenario einen anderen Austausch von Meldungen erfordert. Außerdem wird eine Meldung in verschiedenen Subsystemen eines SPs bearbeitet. Darüberhinaus muß die Bearbeitung einer Meldung in einem Ursprungs-SP, in einem Ziel-SP und in einem Zwischen-SP unterschieden werden, weil sie nicht unbedingt gleich ist.

Zu einem Szenario gehören noch die Meldungslänge, Laufrichtung und der SCP-Identifizierung. Wenn eine SCP-Identifizierung gegeben ist, handelt es sich um eine nicht

für den Ursprungs- oder Ziel-SP bestimmte Meldung. Es gibt Fälle, wobei die Signalisierbeziehung sich nicht auf Ursprungs-, Ziel- und Zwischen-SP beschränkt, sondern auch einen dritten Knoten (SCP) betrifft. Das ist typisch für Anwendungen, die Datenbankabfragen benötigen (130-Dienst, Credit Card, Mobilteilnehmer, etc.). Ein Pfad muß zwischen dem Ursprung der Abfrage und der betrachteten Datenbank geschaffen werden, und auf diesem Pfad müssen die entsprechenden Verkehrsflußprozeduren durchgeführt werden.

Aus den behandelten Beispielen kann man schlußfolgern, daß die Meldungen, die von einer Verkehrsquelle erzeugt werden, eine Kette aus verschiedenen Meldungstypen bilden. Da alle Meldungen, die zu demselben Typ gehören, eine ähnliche Bearbeitungsprozedur in jedem Subsystemen erfordern, ist es erlaubt, eine Aggregation der verschiedene Verkehrsquellen in den Subsystemen durchzuführen. Wenn es sich um Signalisierabschnitte handelt, ist nur die Meldungslänge von Bedeutung und es ist nicht notwendig, zwischen den Meldungstypen zu unterscheiden. Die Verkehrswerte für den unterschiedliche Verkehrsströme werden aus der mittlere Hauptverkehrsstunde abgeleitet.

#### 4.1.5 Leistungsgrößen

Die Reaktionszeiten des Signalisiernetzes sind ein entscheidendes Leistungsmerkmal, und sie üben einen starken Einfluß auf die Dienstqualität aus. Da eine Operation einem Austausch von Meldungen im Signalisiernetz entspricht, ist die mittlere Ende-zu-Ende-Durchlaufzeit der einzelnen Meldungstypen eine bedeutende Leistungsgröße.

Weitere wichtige Leistungsgrößen eines Systems sind die mittlere Auslastung und die mittlere Warteschlangenlänge. Mit der mittleren Auslastung ist es möglich, zu berechnen, wieviele Informationen pro Zeiteinheit bearbeitet werden. In einem Signalisiernetz kann man dieses Konzept auf die Signalisierabschnitte, SPs und STPs anwenden. Wenn die Anzahl von Oktetten, die auf einem Signalisierabschnitt übertragen werden müssen, bekannt ist, kann die notwendige Anzahl von Signalisierabschnitten pro Signalisierabschnittsbündel festgestellt werden. In einem SP oder STP bestimmt die Auslastung der Prozessoren, wieviel Prozent der Zeit ein Prozessor sich mit der Bearbeitung von Meldungen beschäftigt. Die mittlere Warteschlangenlänge stellt Informationen über die Pufferbelegung in den Signalisiernetzelementen bereit.

Aller charakteristischen Leistungsgrößen werden als Mittelwerte betrachtet. Die Berechnung der häufig benötigten Verteilungsfunktionen bzw. Quantile für diese Leistungsgrößen scheidet gegenwärtig noch an der mathematischen Komplexität des Modells.

## 4.2 Modellierung des IN

Das Ziel der Modellierung des INs ist die Darstellung der internen Prozesse des IN-Protokolls. Das Protokoll, das den Austausch von Informationen zwischen funktionalen Einheiten (FEs) der IN-Architektur abwickelt, ist das "Intelligent Network Application Protocol (INAP)"-Protokoll. Das INAP unterstützt die Abbildung der SSF-, SCF-, SDF- und SRF-Funktionen auf die Elemente der physikalischen Ebene. Das INAP basiert auf der von OSI definierten "Application Layer"-Struktur und ist ein Benutzer des "Remote Operation Service Element (ROSE)"-Protokolls. Die Merkmale des ROSE-Protokolls sind im TCAP-Block des Signalisierprotokolls sowie im "Digital Subscriber Signalling System No. 1 (DSS 1)"-Protokoll [39] enthalten; das Signalisiernetz kann als Übertragungsbasis benutzt werden.

In den CCITT-Empfehlungen des INAPs werden die Protokollarchitektur sowie die Operationen, die zwischen den FEs durchgeführt werden, definiert. Außerdem werden auch die Protokollprozeduren in den einzelnen FEs spezifiziert. Die Protokolloperationen und ihre Parameter werden im "Abstract Syntax Notation 1 (ASN.1)"-Format beschrieben und entsprechend ihre Funktionen in "Application Service Elements" (ASEs) eingeteilt. Eine erste Version des INAPs wurde von CCITT in der Empfehlung Q.1218 [44] standardisiert. Diese Version ist jedoch noch nicht stabil [68] und eine überarbeitete Version wird erwartet.

### 4.2.1 Modellierung der Netzelemente

Die Schnittstelle zwischen den IN-Elementen sowie die entsprechenden Informationsflüsse und Datenformate werden in den CCITT-Empfehlungen des INAPs beschrieben. Die Funktionalität der einzelnen Elemente wird als Zustandsübergangsdiagramm dargestellt, die interne Elementestruktur kann nicht ohne weiteres überblickt werden. Die für das Signalisiernetz angewandte Modellierungsmethode kann wegen mangelnder Beschreibung der funktionalen Blöcke und Informationsflüsse hier nicht verwendet werden.

Eine Modellierungsmethode, die ein Modell direkt aus dem Zustandsübergangsdiagramm eines Protokolls herleitet, wird in [115] vorgeschlagen. Das ursprüngliche Zustandsübergangsdiagramm wird in ein äquivalentes übergangsbezogenes Diagramm umgewandelt. Die Grundidee ist die Betrachtung der Bearbeitung von Ereignissen in einem Zustandsübergangsdiagramm, d.h. während der Übergänge. Die Knoten dieses neuen Diagramms entsprechen den Übergängen des bisherigen Zustandsübergangsdiagramms. Der Vorteil dieser letzten Darstellung liegt darin, daß eine Aufenthaltszeit den Zuständen zugeordnet werden kann. Die Zustände des neuen Diagramms werden in aktive und passive Zustände unterteilt. Die aktiven Zustände sind die, die die Bearbeitung von Befehlen



und die entsprechende Dienstlogik aufgerufen. Der resultierende Übergang ist (IDLE  $\Rightarrow$  PREPARING SSF INSTRUCTION). Die Dienstlogik veranlaßt, daß eine Ansage für den Teilnehmer gespielt wird und zusätzliche Ziffern (Kreditkartennummer und persönliche Schlüsselnummer) angefordert werden. Dies hat den Übergang (PREPARING SSF INSTRUCTION  $\Rightarrow$  ROUTING TO RESOURCE @ DETERMINE MODE) zur Folge. Die SCF stellt fest, daß der SSP über keine SRF-Funktion verfügt. Die "Establish Temporary Connection"-Operation, die als Parameter die SRF-Adresse enthält, wird an den SSF übergeben (2). Der Übergang im Zustandsübergangsdiagramm ist (ROUTING TO RESOURCE @ DETERMINE MODE  $\Rightarrow$  ROUTING TO RESOURCE @ WAITING FOR ASSIST INSTRUCTIONS).

- *In der SSF* – Die ankommende Meldung wird bearbeitet und eine Verbindung zur fernen SRF wird aufgebaut (3). Dies entspricht dem Übergang (WAITING FOR INSTRUCTIONS  $\Rightarrow$  WAITING FOR END OF TEMPORARY CONNECTION). Für den Verbindungsaufbau zur SRF werden ISDN UP-Prozeduren und die üblichen Meldungen (IAM-, ACM-Meldung, etc.) benutzt.
- *In der SRF* – Die aufgebaute Verbindung zur SSF (b) erzeugt den Übergang (IDLE  $\Rightarrow$  CONNECTED). Da die Verbindungsaufbaumeldung keine Anweisung enthält, wird eine "Assist Request Instructions Needed"-Operation an die SCF gesendet (4).
- *In der SCF* – Die SCF wählt aus, welche Ansage für den Teilnehmer gespielt werden soll. Die "Play Announcement and Collect Information"-Operation teilt der SRF diese Information mit (5). Der Übergang (ROUTING TO RESOURCE @ WAITING FOR ASSIST INSTRUCTIONS  $\Rightarrow$  USER INTERACTION) findet in der SCF statt. Die SRF muß auch zusätzliche Ziffern empfangen und nach Abschluß der Aufgabe die Verbindung zur SSF abbauen.

Der restliche Ablauf des Dienstes (Operationen 6 – 11 sowie externe Ereignisse c,d und e) wird hier nicht weiter erklärt, aber er kann auf dieselbe Weise bestimmt werden. In einem weiteren Schritt werden die FEs auf die physikalische Ebene des INs entsprechend der Architektur abgebildet. Die IN-Elemente werden als eine Bedieneinheit, in der die Bearbeitung der Operation ausgeführt wird, dargestellt.

Das hergeleitete Modell für das Beispiel ist in Bild 4.9 gezeigt. In diesem Fall wurde angenommen, daß die SRF-Funktionen in einem isolierten IP implementiert sind und daß die SDF-Funktionen in einem SDP abgewickelt werden. Die Ketten in diesem Modell stellen eine Reihe von Operationen dar, so entspricht z.B. die Kette  $A_1$  im funktionalen Modell den Operationen 1 ("Collected Information"-Operation) und 2 ("Establish Temporary Connection"-Operation).

Das resultierende Modell für das IN-Netz schließt alle Dienstszenarien ein und kann zu einem Warteschlangensystem zusammengefaßt werden. Das INAP enthält Mechanismen

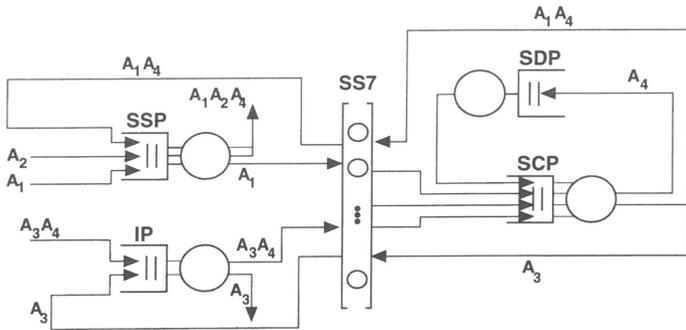


Bild 4.9: Warteschlangenmodell für den Kreditkartendienst

(Limit SIB), die die maximal zulässige Anzahl von aktiven Rufen eines Dienstes bestimmt. Diese Mechanismen sind dem Fensterflußsteuerungsmechanismus ähnlich, und bei höherer Last kann das Dienstszenario als eine geschlossene Kette betrachtet werden. Daher wird das allgemeine Modell als ein gemischtes Warteschlangennetz modelliert. Das gesamte Signalisieretz wird zunächst als ein Bediensystem mit unendlich vielen Bedieneinheiten zusammengefaßt und in einem weiteren Schritt verfeinert.

#### 4.2.2 Betrachtung des ISDN- und Mobilkommunikationsverkehrs

Das Signalisieretz spielt beim IN eine kritische Rolle, und die IN-Dienstgüte hängt eng mit der Signalisieretzleistung zusammen. Das Signalisieretz unterstützt neben dem IN-Signalisierverkehr auch den Signalisierverkehr von nicht-IN-Anwendungen, wie z.B. Telephondienst, ISDN und Mobilkommunikation. Die Leistung des Signalisieretzes wird aus der gesamten Verkehrsmischung bestimmt und trotz des wachsenden IN-Signalisierverkehrs wird der Signalisierverkehrsanteil von nicht-IN-Diensten im Signalisieretz noch langfristig überwiegen.

Das Signalisieretz wird im IN-Modell als eine variable Verzögerung, d.h. als ein Bediensystem mit unendlich vielen Bedieneinheiten betrachtet. Es wird angenommen, daß die mittlere Verzögerung durch das Signalisieretz bekannt ist. Diese Zwischenlösung spiegelt die Tatsache, daß die IN-Leistungsgrößen wegen der notwendigen Betrachtung von nicht-IN-Signalisierverkehr nicht in einem Schritt ermittelt werden können. Es muß zunächst eine Verkehrsflußanalyse im IN durchgeführt werden, um den IN-Signalisierverkehr zu bestimmen. Der resultierende IN-Signalisierverkehr wird mit dem nicht-IN-Signalisierverkehr gemischt und die Verzögerung der IN-Meldungen mit anderen Modellie-

rungsmethoden berechnet. Diese Ergebnisse werden dann im IN-Modell integriert, damit eine IN-Analyse möglich wird.

### 4.2.3 Modellierung des Verkehrs

Für die Modellierung des IN-Signalisierverkehrs gilt, daß für die Verkehrscharakterisierung von vielen IN-Diensten die erforderlichen Erfahrungswerte oder Messungen nicht vorhanden sind. Außerdem sind die Signalisierszenarien im IN eine Funktion der Dienstkomplexität.

Die Ankunftsprozesse für die IN-Dienstsznarien werden als Poissonprozesse modelliert und die Verkehrswerte der Hauptverkehrsstunde betrachtet. Es soll noch beachtet werden, daß manche IN-Dienste, wie z.B. Televotum, einen großen Büschelfaktor aufweisen und daß die Benutzung des "Limit SIB" sowie Überlastabwehrmechanismen eine Begrenzung der Verkehrsquelle darstellt. Daher soll die Poissonannahme als eine Approximation angesehen werden.

### 4.2.4 Leistungsgrößen

Die traditionellen Leistungsgrößen des Telephonnetzes müssen für das IN von den Standardisierungsgremien erweitert oder neu definiert werden. Die Reaktionszeit des INs auf ein Ereignis kann jedoch als die Zeit zur Durchführung von einer oder mehreren Operationen betrachtet werden. Die Durchführungszeit einer Operation kann ihrerseits als die Zusammenfassung der individuellen Aufenthaltszeiten in den von der Operation angeforderten IN-Elementen angesehen werden. Im IN-Modell wird dies durch die Durchlaufzeit einer Kette bzw. eines Kettenanteils bestimmt.

Eine weitere Leistungsgröße stellt die Auslastung des INs dar. In der bisherigen Netzstruktur sind die Daten und Logik eines Dienstes im allgemeinen in festen Netzelementen, wie z.B. Ursprungs- und Zielvermittlungsstellen, konzentriert <sup>1</sup>. Im IN ist die Dienstlogik in einem IN-Netzelement (SCP oder AD) zentralisiert und die Daten (SDP) sowie die Ressourcen zur Unterstützung des Informationsaustausches zwischen Benutzer und Dienstlogik (IP) können im Netz geographisch verteilt sein. Der Einfluß eines Dienstes auf die Auslastung des INs kann jedoch aus der detaillierten Beschreibung der Last aller mit dem Dienst verbundenen Operationen ermittelt werden.

---

<sup>1</sup>Eine Ausnahme davon bildet das Mobilitätsmanagement in der Mobilkommunikation

## 4.3 Analyse des Signalisieretzmodells

Das vollständige Modell für das gesamte Signalisieretz schließt Standardelemente Verkehrstheoretischer Modelle wie z.B. flußgesteuerte Übertragungsabschnitte, Prozessoren mit Bedienungsprioritäten, Verkehrsströme unterschiedlicher Klassen, Aufspaltung und Wiedervereinigung von Meldungen, etc., ein. Ein klassischer Ansatz für die stationäre Analyse solcher Systeme ist die Charakterisierung des Systems als ein Markoffprozeß. Die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten des Systems werden durch die Auflösung eines Gleichungssystems bestimmt. Die Leistungsgrößen des Systems werden aus den stationären Zustandswahrscheinlichkeiten hergeleitet. Dieser Ansatz scheitert jedoch für größere Systeme an dem explosionsartigen Anwachsen des Zustandsraumes. Darüberhinaus erfordern die speziellen Randbedingungen, wie gedächtnisbehaftete Zufallsgrößen oder Korrelationen innerhalb von Punktprozessen, die Einbeziehung allgemeinerer Methoden als die der reinen Markoffprozesse.

Trotz Verfügbarkeit von weiteren Verfahren (siehe [120]) kann die exakte Analyse eines solchen großen und komplexen Systems bei dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht durchgeführt, und Approximationen müssen vorgenommen werden. Das hergeleitete Modell für das Signalisieretz wird hier mit Hilfe einer kombinierten Aggregations- und Dekompositionstechnik näherungsweise analysiert.

### 4.3.1 Dekomposition in Teilmodelle

Der Dekompositionsansatz entspricht der Annahme, daß die resultierenden Teilsysteme voneinander stochastisch unabhängig sind. Dieser Ansatz liefert für offene Warteschlangennetze mit Produktlösungsform exakte Lösungen. Darüberhinaus kann er auch für die approximative Analyse von Modellen mit bestimmten Charakteristika verwendet werden.

Unter gewissen Voraussetzungen ist es möglich, ein komplexes System in unterschiedliche Subsysteme zu zerlegen und die Analyse dieser Subsysteme getrennt durchzuführen. Voraussetzung dafür ist, daß die lokalen Interaktionen im Vergleich zu den Interaktionen zwischen den Subsystemen überwiegen [60, 126]. Die Subsysteme werden als mit dem Rest des Netzes "schwach gekoppelte" Systeme betrachtet. Es ist intuitiv einsichtig, daß der Einfluß des Restes des Netzes auf ein Subsystem mit dem Grad der Entkopplung verringert wird und daß das Subsystem sich im Grenzfall unabhängig vom Rest des Netzes verhält.

Das "schwach gekoppelte" Subsystem wird identifiziert und getrennt betrachtet. Damit der Einfluß des Restes des Systems auf das Subsystem erhalten bleibt, wird dieser durch eine flußäquivalente Bedieneinheit dargestellt. Dies ermöglicht, daß die An-

kunftsströme des isolierten Subsystems gleiche Charakteristika wie vor der Dekomposition aufweisen. Darüberhinaus muß die flußäquivalente Bedieneinheit auch die Durchlaufzeit der einzelnen Aufträge wiedergeben. Die exakte Charakterisierung aller Parameter der flußäquivalenten Bedieneinheit ist i.a. sehr schwierig; in der Praxis beschränkt man sich deshalb normalerweise etwa auf Mittelwerte des Durchsatzes und der Durchlaufzeit. In dieser Arbeit wird angenommen, daß die Ausgangsprozesse der flußäquivalenten Bedieneinheit bzw. Ankunftsprozesse des Subsystems für einzelne Auftragsketten als Poisson-Prozesse approximiert werden können. Diese Annahme wird weitgehendst dadurch unterstützt, daß die Signalisiermeldungen aus vielen unabhängig agierenden Verkehrsbeziehungen resultieren, welche im Signalisiernetz überlagert werden.

Die Bedingungen des Dekompositionsansatzes werden hier für das Signalisiernetz als erfüllt betrachtet. Da ein Netz aus Signalisierungsabschnitten, SPs und STPs besteht, ist es vernünftig, zunächst das Netz in diese Komponenten zu zerlegen. Wegen der engen Kopplungsmechanismen in der MTP-Ebene 2 ist es nicht sinnvoll, die Signalisierungsabschnitte weiter zu zerlegen; es werden vielmehr die Ergebnisse einer detaillierten Analyse eines Abschnittes der MTP-Ebene 2 als ganzes verwendet. Die SPs können weiter in ihre Subsysteme zerlegt werden, d.h. MTP-Ebene 3, SCCP, TUP, ISDN-UP und TCAP. Die STPs werden entsprechend ihrer Struktur in MTP-Ebene 3 und SCCP zerlegt.

### **4.3.2 Aggregation des Signaliserverkehrs**

Die Grundidee hinter dem Konzept der Verkehrsaggregation ist die Beobachtung, daß in einem System eine große Anzahl von Verbindungen unterstützt wird. Die Ankunftsprozesse der aggregierten Verkehrsströme werden als Poissonprozesse approximiert. Die Annahme wird dadurch gerechtfertigt, daß sehr viele Signalisierbeziehungen ein Betriebsmittel teilen und es dadurch zur Überlagerung von sehr vielen Einzel-Punktprozessen kommt, die jeweils für sich eine noch sehr geringe Rate aufweisen. Aus der Statistik ist bekannt, daß diese Voraussetzungen im Grenzfall unendliche vieler Verkehrsströme mit jeweils verschwindender Intensität zu einem resultierenden Poisson-Prozeß führen. Daher besitzt eine beliebige Anforderung dieselbe mittlere Durchlaufzeit. Die Aggregation des Signaliserverkehrs in einem Subsystem wird in Bild 4.10 gezeigt.

### **4.3.3 Analyse der Teilmodelle**

Die Dekompositions- und Aggregationsannahmen erlauben die approximative Analyse der Teilmodelle. In den abgeleiteten Modellen für die funktionalen Blöcke (MTP Schicht 3, SCCP, ISUP, und TCAP) kann eine Meldung nach der Bearbeitung in einer Phase zu einer anderen Phase des Prozessors rückkoppelt werden. Außerdem ist es auch möglich,

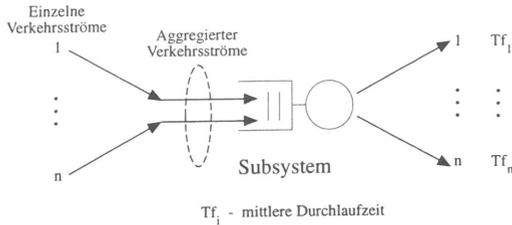


Bild 4.10: Aggregation des Signaliserverkehrs

daß eine Aufspaltung oder Verzweigung bei Rückkopplung auftritt. Dieses System gehört zu einer allgemeinen Klasse von M/GI/1-Prioritätssystemen mit Rückkopplungen.

Die Leistungsanalyse der Signalisierabschnitte basiert auf M/GI/1-Prioritätsmodellen (siehe, z.B. [33, 50, 65, 95, 143, 176, 177, 178, 197]). Die CCITT-Empfehlungen enthalten geschlossene Gleichungen für die Standardabweichung der Meldungswartezeit in der MTP-Ebene 2. Diese Gleichungen wurden unter einigen vereinfachenden Annahmen abgeleitet [38]. Die gesamte Transferzeit in einem Signalisierabschnitt ist die Summe der Meldungswartezeit, der Kanaldurchlaufzeit und der Bearbeitungszeit im Endpunkt.

Die Teilmodelle eines SPs (MTP Schicht 3, SCCP, ISUP, und TCAP) werden getrennt analysiert und die Ankunftsströme als Poissonprozesse betrachtet. Da der Ausgangsprozess eines solchen M/GI/1-Prioritätssystems mit Rückkopplung kein Poissonprozess und i.a. auch kein Erneuerungsprozess mehr ist, ist die obere Poissonannahme eine Approximation. Trotzdem führt diese Approximation zu vernünftigen Ergebnissen, vorausgesetzt daß das System von vielen Meldungsströmen durchflossen wird und keine dieser Meldungsströme überwiegt.

Die Herleitung für die Laplace-Stieltjes Transformierte (LST) der Durchlaufzeitverteilungsfunktion im M/GI/1-Prioritätssystem mit Rückkopplungen und nichtunterbrechender Abfertigungsstrategie kann man aus den Arbeiten von Bernardo Fontana entnehmen. In [76, 77, 78] wird ein System mit zwei Auftragsklassen und Bernoulli-Rückkopplung analysiert. Der entwickelte Lösungsweg basiert auf der Betrachtung der sogenannten "Engaged Time" [77]. Die "Engaged Time" einer Prioritätsklasse "j" auf Grund eines Auftrags in Prioritätsklasse "i" ist definiert als die Zeitspanne, die beginnt, wenn die Bedienung eines Auftrags in Prioritätsklasse "i" beginnt, und endet, wenn die Bedieneinheit leer ist oder mit der Bedienung eines Auftrags mit "schlechterer" Priorität als "j" anfängt.

Die "Engaged Times" zwischen den Prioritätsklassen eines Systems sind die Lösungen eines Gleichungssystems. Die einzelnen Gleichungen sind funktionale Gleichungen und können nicht invertiert werden. Hier wird der Zusammenhang zwischen den "Engaged Time"-Gleichungen und der "Busy Period"-Gleichung in einem M/G/1-System deutlich.

Die allgemeine Lösung in [79] enthält noch weitere Faktoren und ist wesentlich komplexer. In [194] wurde diese Lösung erweitert, um auch "Gap Times" zu betrachten. Allein die Struktur des Gleichungssystems in [79] für die "Engaged Time" zeigt, daß die Lösung eines allgemeinen Systems sich nicht leicht in einem Werkzeug implementieren läßt. Ein weiterer Ansatz zur approximativen Bestimmung von höheren Momenten der Durchlaufzeit, die auf Interpolation basiert, findet sich in [75, 153, 154].

Ein einfacher Weg, wichtige Systemcharakteristika zu untersuchen, stellt die Mittelwertanalyse dar. Diese Methode liefert nur die ersten Momente der Wartezeiten und Verweilzeiten einer Meldung im System, ist aber systematisch in Algorithmusform implementierbar und geeignet für ein Werkzeug. Diese Methode wurde in [52] für die Analyse eines M/GI/1-Prioritätssystems eingeführt. Der erste Ansatz für die Mittelwertanalyse beliebiger ungesättigter M/GI/1-Prioritätssysteme mit Rückkopplung liefert Daigle in [62]. Dieser Ansatz wurde von Simon [175] weiter verfeinert und systematisiert. Eine Erweiterung, die das Modell wesentlich verallgemeinert, wurde von Paterok in [148, 149] entwickelt. In seiner Arbeit werden u.a. Gruppenankünfte, andere Prioritätsstrategien, gemischte Prioritäten und Aufspaltung und Verzweigung von Aufträgen bei Rückkopplung betrachtet. Für die Lösung eines solchen Systems wird ein lineares Gleichungssystem aufgestellt und nach den mittleren Durchlaufzeiten der einzelnen Auftragsklassen aufgelöst. Andere zum Teil abweichende Methoden hierfür wurden von Willmann [206], Villen-Altamirano [193] und Epema [71] erarbeitet.

#### 4.3.3.1 Die mathematische Grundlage der Mittelwertanalyse von M/GI/1-Prioritätssystemen mit Rückkopplung

Die mathematische Grundlage für die Mittelwertanalyse von M/GI/1-Prioritätssystemen mit Rückkopplungen basiert im wesentlichen auf dem Gesetz von Little [131], der Momentenmethode, dem PASTA-Prinzip [208, 209] und der Festlegung des Systemzustands zum Rückkopplungszeitpunkt.

- *Das Gesetz von Little* – Dieses Gesetz ist einer der Grundsteine der Verkehrstheorie und stellt einen einfachen Zusammenhang zwischen mittlerer Population, Durchsatzrate und mittlerer Durchlaufzeit eines Systems her. In einem beliebigen System im statistischen Gleichgewicht, wobei Anforderungen mit einer Rate  $\lambda$  im System eintreffen und im Mittel eine Zeit  $W$  verbleiben, gilt für die mittlere Anzahl von Anforderungen im System  $L$  die Beziehung:  $L = \lambda W$ .
- *Momentenmethode* – Die Methode basiert auf der Beobachtung, daß die Verzögerung eines typischen Auftrags linear mit der bei Ankunft angetroffenen Anzahl von Aufträgen zusammenhängt. Die Verzögerung eines typischen Auftrags kann dann in partielle Verzögerungen zerlegt und hergeleitet werden.

- *Das PASTA-Prinzip* – PASTA steht für “Poisson Arrivals See Time Averages”, und besagt, daß bei Poisson-Ankünften die Verteilung der angetroffenen Zustände gleich der zeitgemittelten Verteilung der Systemzustände ist.
- *Der mittlere Systemzustand zum Rückkopplungszeitpunkt* – Der mittlere Systemzustand zum Rückkopplungszeitpunkt ist eine lineare Funktion des mittleren Systemzustands seiner Vorgänger. Als Folge der Momentenmethode lässt sich der Systemzustand exakt bestimmen.

#### 4.3.3.2 Mittelwertanalyse des ungesättigten M/GI/1-Prioritätssystems mit Rückkopplung

In [62, 148, 149, 175] ist der Lösungsweg für die Mittelwertanalyse ausführlich beschrieben. In einem ersten Schritt wird ein nichthomogenes lineares Gleichungssystem aufgestellt. Dabei entpuppen sich jedoch die mittleren Systemzustände zu den Rückkopplungszeitpunkten als Unbekannte. Die Änderungen des Systemzustandes während der Verweilzeit eines Auftrags in einer Klasse kann ausgehend vom mittleren Systemzustand zum Poissonankunftszeitpunkt hergeleitet werden.

Diese Methode wird anhand eines einfachen Beispiels erläutert. Das System des Bildes 4.11 wird betrachtet. Ein Auftrag der Warteschlange 2 hat die höhere Priorität, d.h., ein Auftrag der Warteschlange 1 kann erst in Bedienung kommen, wenn die Warteschlange 2 leer ist. Die Leistungsgrößen, die hier bestimmt werden sollen, sind die Wartezeit der Auftragskette “1” in Phase “1” ( $\omega_{1,1}$ ) und in Phase “2” ( $\omega_{1,2}$ ) und die Wartezeit der Auftragskette “2” in Phase “2” ( $\omega_{2,2}$ ).

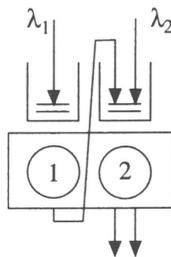


Bild 4.11: Beispiel für M/G/1-Prioritätssystem mit Rückkopplung

Die Aufträge werden zunächst in externe und interne aufgeteilt. Die externen Aufträge müssen die Restbedienzeit eines Auftrags, welcher sich gerade in Bedienung befindet, auf die Aufträge, die schon im System sind und zumindest dieselbe Priorität aufweisen, und auf die während der Verweilzeit angekommenen neuen Aufträge mit höherer Priorität warten. Bei einem internen Auftrag fallen die Anteile der Aufträge in Bedienung weg.

Ein in Klasse 1 ankommender Auftrag muß zunächst die Restbedienzeit des Auftrags, welcher sich gerade in Bedienung befindet, abwarten. Außerdem müssen die Aufträge, die schon im System warten, bedient werden. Während der Wartezeit der Klasse 1 können noch Aufträge der Klasse 2, die eine höhere Priorität haben, ankommen. Die Aufsummierung aller Anteile und die Betrachtung des Gesetzes von Little ( $\Omega = \lambda \cdot \omega$ ) ergibt:

$$\omega_{1,1} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \rho_{i,j} \cdot r_{i,j} + \Omega_{1,1} \cdot (h_{1,1} + h_{1,2}) + \Omega_{1,2} \cdot h_{1,2} + \Omega_{2,2} \cdot h_{2,2} + \lambda_2 \cdot \omega_{1,1} \cdot h_{2,2} \quad (4.1)$$

$$\omega_{1,1} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \rho_{i,j} \cdot r_{i,j} + \rho_{2,2} \cdot \omega_{2,2} + \rho_{1,2} \cdot \omega_{1,2}}{(1 - \rho_{2,2} - \rho_{1,2} - \rho_{1,1})} \quad (4.2)$$

Wobei:  $r_{i,j}$  - Vorwärtsrekurrenzzeit von Aufträgen der Klasse "i" in Phase "j"  
 $\rho_{i,j}$  - Auslastung des Prozessors durch Aufträge der Klasse "i" in Phase "j"  
 $\Omega_{i,j}$  - mittlere Anzahl wartender Aufträge der Klasse "i" vor Phase "j"  
 $h_{i,j}$  - Erstes Moment der Bedienzeit von Aufträgen der Klasse "i" in Phase "j"

Dieselben Überlegungen gelten für die Bestimmung der Wartezeit von Aufträgen der Klasse 2. Da ein Auftrag der Klasse 2 nicht von neuen ankommenden oder rückgekoppelten Aufträgen der Klasse 1 verdrängt wird, schreibt man:

$$\omega_{2,2} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \rho_{i,j} \cdot r_{i,j} + \Omega_{1,2} \cdot h_{1,2} + \Omega_{2,2} \cdot h_{2,2} \Rightarrow \omega_{2,2} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \rho_{i,j} \cdot r_{i,j} + \rho_{1,2} \cdot \omega_{1,2}}{(1 - \rho_{2,2})} \quad (4.3)$$

Um die Wartezeit der Meldungsklasse 1 in Phase 2 zu bestimmen, ist es notwendig, den mittleren Systemzustand zum Rückkopplungszeitpunkt zu berechnen. Ein im Zeitpunkt " $T_a$ " ankommender Auftrag trifft das System mit  $\Omega_{1,1}$  Aufträgen in Warteschlange "1" und  $(\Omega_{1,2} + \Omega_{2,2})$  Aufträgen in Warteschlange "2" an. Der Rückkopplungszeitpunkt des markierten Auftrags ist:  $T_b = T_a + (\omega_{1,1} + h_{1,1})$ .

Der markierte Auftrag befindet ab dem Zeitpunkt " $T_b$ " in Warteschlange "2". Aufgrund der Prioritäten findet der markierte Auftrag nur Aufträge der Meldungsklasse 2, die während die Bedienung des markierten Auftrags in Phase 1 angekommen sind, in Phase 2 vor. Alle andere Aufträge in Phase 2 sind bereits bearbeitet und haben das System verlassen. Bild 4.12 verdeutlicht diesen Vorgang.

Das aufgestellte Gleichungssystem kann jetzt nach  $\omega_{1,1}, \omega_{1,2}, \omega_{2,2}$  aufgelöst werden:

$$\omega_{1,2} = \lambda_2 \cdot h_{2,2} \cdot h_{1,1} \quad (4.4)$$

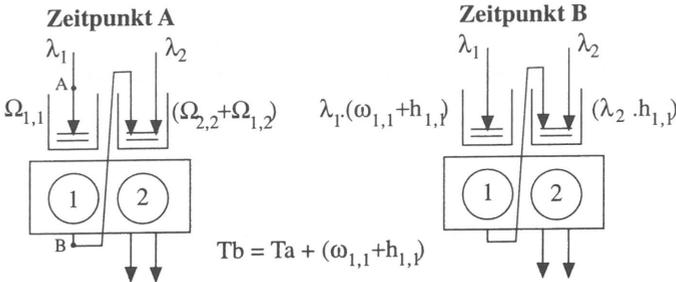


Bild 4.12: Systemzustand zum Rückkopplungszeitpunkt

$$\omega_{1,1} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \rho_{i,j} \cdot r_{i,j} + \rho_{1,2} \cdot \lambda_2 \cdot h_{2,2} \cdot h_{1,1}}{(1 - \rho_{2,2}) \cdot (1 - \rho_{2,2} - \rho_{1,2} - \rho_{1,1})} \quad (4.5)$$

$$\omega_{2,2} = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \rho_{i,j} \cdot r_{i,j} + \rho_{1,2} \cdot \lambda_2 h_{2,2} \cdot h_{1,1}}{(1 - \rho_{2,2})} \quad (4.6)$$

Eine Implementierung dieser Überlegungen in Form eines Algorithmus kann in [23] gefunden werden. Der Lösungsalgorithmus ist genau so allgemein wie der von [62, 148, 149, 175] und erlaubt aufgrund des geringen Speicherbedarfs eine sehr groß Anzahl von Meldungstypen. Darüberhinaus wird noch die Berechnung im Sättigungsbereich ermöglicht.

#### 4.3.3.3 Mittelwertanalyse des gesättigten M/GI/1-Prioritätssystems mit Rückkopplung

In der dem Autor bekannten Literatur wird die Mittelwertanalyse des M/GI/1-Prioritätssystems mit Rückkopplung auf den ungesättigten Fall beschränkt ( $\rho_s < 1$ ). In einem solchen System weisen im Sättigungspunkt ( $\rho_s = 1$ ) alle Auftragsketten, die in der Phase mit "schlechter" Priorität bearbeitet werden, eine unendliche Wartezeit auf, und für sie ist das System blockiert. Die Meldungen, die nicht in dieser Phase bearbeitet werden, erfahren jedoch eine endliche mittlere Durchlaufzeit. Obwohl der Betrieb in diesem Bereich normalerweise in Komponenten eines Telekommunikationssystems nicht vorgesehen ist, gewinnt im Überlastfall des Netzes die Analyse der Meldungsdurchlaufzeit im gesättigten Bereich an Bedeutung, z.B. für dringende Meldungen des Netzmanagements.

In dem obigen Beispiel ist die Phase 1 für  $\rho_s = 1$  überlastet und ihre Warteschlangenlänge ist unendlich. Obwohl die mittlere Wartezeit in Phase 1 auch unendlich ist, bedeutet dies nicht, daß kein Auftrag in Phase 1 bearbeitet wird. Die Phase 1 kann noch

während der Zeit, in der die Phase 2 untätig ist (Idle Period), Aufträge bedienen. Hier stellt man fest, daß nur ein Teil der in Phase 1 ankommenden Aufträge mit Ankunftsrate  $\lambda_1$  durchkommt und in Phase 2 rückgekoppelt wird. Die reduzierte Ankunftsrate in Phase 2 durch Rückkopplung aus Phase 1 ( $\lambda_1^*$ ) gewinnt man aus der Gesamtauslastung des Prozessors:

$$\rho_{1,1} + \rho_{1,2} + \rho_{2,2} = 1 \Rightarrow \lambda_1^* \cdot h_{1,1} + \lambda_1^* \cdot h_{1,2} + \lambda_2 \cdot h_{2,2} = 1 \Rightarrow \lambda_1^* = \frac{(1 - \rho_{2,2})}{h_{1,1} + h_{1,2}} \quad (4.7)$$

Daher kann der Reduzierungsfaktor  $x$  der Ankunftsrate ermittelt werden:

$$\lambda_1^* = \lambda_1 \cdot x = \frac{(1 - \rho_{2,2})}{h_{1,1} + h_{1,2}} \Rightarrow x = \frac{(1 - \rho_{2,2})}{\rho_{1,1} + \rho_{1,2}} \quad (4.8)$$

Die Überlegungen, die zur Bestimmung der Gleichung 4.6 geführt haben, gelten nach wie vor für  $\omega_{2,2}$ . Hier werden im wesentlichen die Werte für  $\rho_{1,1}$  und  $\rho_{1,2}$  durch die modifizierte Ankunftsrate ( $\lambda_1^*$ ) verändert. Daher:

$$\omega_{2,2} = \frac{\lambda_2 \cdot h_{2,2} \cdot r_{2,2} + \lambda_1^* \cdot h_{1,2} \cdot r_{1,2} + \lambda_1^* \cdot h_{1,1} \cdot r_{1,1} + \rho_{1,2} \cdot \lambda_2 \cdot h_{2,2} \cdot h_{1,1}}{(1 - \rho_{2,2})} \quad (4.9)$$

Ein Vergleich zwischen Gleichungen 4.6 und 4.9 zeigt, daß die Ableitung der Funktion für die Durchlaufzeit der Meldungsklasse 2 im Sättigungspunkt der Phase 1 nicht stetig ist. Um die Eigenschaften des gesättigten M/GI/1-Prioritätssystem mit Rückkopplung zu verdeutlichen, wird ein einfaches Beispiel betrachtet. Das System vom Bild 4.11 wird analysiert und es wird angenommen, daß die Ankunftsraten gleich groß sind ( $\lambda_1 = \lambda_2$ ) und die Verteilungsfunktionen der Bedienzeiten in Phase 1 und Phase 2 konstant sind und eine mittlere Bedienzeit von 0.5 ms bzw 0.25 ms aufweisen. Die Ergebnisse der Analyse sowie der Simulation sind in Bild 4.13 dargestellt. Bild 4.13 verdeutlicht ebenfalls die Unstetigkeit der ersten Ableitung der Durchlaufzeitfunktion der Meldungsklasse 2.

Der Ansatz zur Analyse des gesättigten Systems läßt sich ebenfalls verallgemeinern und in einem Algorithmus implementieren. In einem allgemeinen System kann ein Auftrag N mal in dieselbe Phase rückgekoppelt werden. Außerdem können bei Rückkopplung in dieselbe Phase Aufspaltungen oder Verzweigungen auftreten.

Die Überlegungen, die die Analyse von solchen Systemen ermöglichen, können anhand einer modifizierten Version des Systems in Bild 4.11 erklärt werden. Es wird angenommen, daß ein Auftrag der Auftragskette "1" 2 mal auf den ersten Warteplatz der Phase "1" rückgekoppelt wird, bevor er die Phase "1" endgültig verläßt. Die Bearbeitungszeiten in Phase "1" sind jeweils  $h_{1,1}^{(1)}$ ,  $h_{1,1}^{(2)}$  und  $h_{1,1}^{(3)}$ . Ein solches System mit Rückkopplungen auf den ersten Warteplatz der Phase "1" kann durch ein analoges System mit Rückkopplungen in "pseudo"-Phasen höherer Priorität dargestellt werden. Das Original- und das Ersatzsystem werden in Bild 4.14 gezeigt.

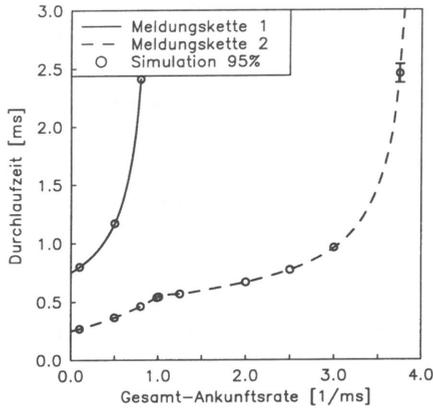


Bild 4.13: Analyse und Simulation eines einfachen Systems

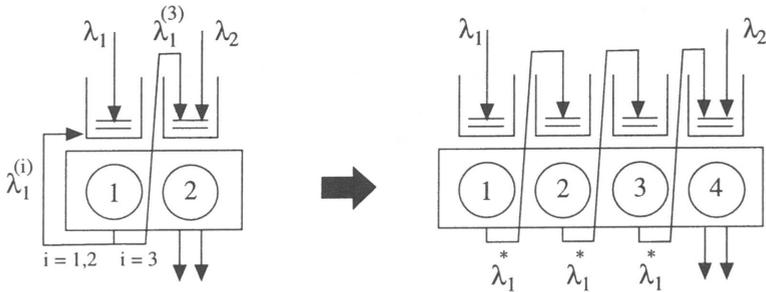


Bild 4.14: System mit mehrfachen Rückkopplungen

Da die gesamte Last des Systems 1 ist, kann in diesem Fall die Ausgangsrate  $\lambda_1^*$  aus die folgende Gleichung bestimmt werden:

$$\lambda_1^* \cdot h_{1,1}^{(1)} + \lambda_1^* \cdot h_{1,1}^{(2)} + \lambda_1^* \cdot h_{1,1}^{(3)} + \lambda_1^* \cdot h_{1,2} + \lambda_2 \cdot h_{2,2} = 1 \quad (4.10)$$

$$(4.11)$$

Diese Überlegungen sowie der daraus abgeleitete Algorithmus wurden durch intensive Simulationsstudien in [23] validiert. Um möglichst allgemeine Systeme zu betrachten, wurden die Eingabedaten für das Analysewerkzeug sowie für ein Simulationsprogramm von einem Programm erzeugt. Die Charakteristika des zu beschreibenden Systems werden für Validierung durch Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen angegeben. Für eine

Auftragskette wird eine Zufallszahl generiert und anhand dieser Zufallszahl und einer Verteilungsfunktion wird die Phase, in welcher die Auftragskette im System ankommt, bestimmt. Die mittlere Bearbeitungszeit in dieser Phase wird wieder durch eine Zufallszahl und eine Verteilungsfunktion festgelegt. Nach dieser Phase wird auf dieselbe Weise entschieden, ob die Auftragskette das System verläßt oder in eine Phase rückgekoppelt wird. Im Fall einer Rückkopplung können noch Verzweigungen oder Aufspaltungen auftreten. Der Vergleich zwischen den Ergebnissen des Analysewerkzeugs und des Simulationsprogramms für 1000 solcher Systeme wies keine Abweichung auf.

#### **4.3.4 Ende-zu-Ende Leistungsuntersuchung im Gesamtnetz**

Die Ende-zu-Ende-Durchlaufzeit einer Meldung kann durch Aufsummierung von Wartezeiten und Bedienzeiten der Subsysteme entlang des Pfades zwischen den betrachteten SPs berechnet werden. Als Subsysteme sind hier die durchlaufenen SPs oder STPs und die Signalisierabschnitte zu unterscheiden. In den Signalisierabschnitten besteht die Durchlaufzeit aus Übertragungsverzögerung, Kanaldurchlaufzeit und Wartezeit infolge der MTP-Schicht 2 Protokollmechanismen. In den SPs und STPs berechnet sich die Durchlaufzeit aus der Summe von Wartezeit und Bedienzeit in den einzelnen Subsystemen. Auch zu berücksichtigen sind Verzögerungen, die auf die Interprozessorkommunikation, Datenbankabfrage oder Bearbeitung in der Verbindungssteuerung zurückzuführen sind.

### **4.4 Analyse des IN-Modells**

Das Modell des Signalisiernetzes wird mit Aggregations- und Dekompositionstechniken bewertet (siehe Abschnitt 4.3). Das komplexe Modell wird in Teilsysteme zerlegt und die Teilsysteme werden getrennt analysiert. Außerdem werden die Ankunftsprozesse der Teilmodelle als Poissonprozesse approximiert. Die Anwendung der Dekompositionsmethode für das IN-Modell ermöglicht die separate Analyse der IN-Elemente als M/GI/1-Systeme.

Obwohl das INAP-Modell prinzipiell mit demselben Ansatz wie für das Signalisiernetz analysiert werden kann, ist zu beachten, daß das INAP-Modell Charakteristika aufweist, die die Anwendung eines Dekompositionsansatzes, ähnlich dem des für das Signalisiernetz verwendeten, erschwert. Im IN-Modell können die in einigen Auftragsketten beobachteten Rückkopplungen zu Korrelationen zwischen dem Ankunfts- und dem Ausgangsprozess führen [118].

Das IN-Modell kann noch mit Hilfe anderer Ansätze analysiert werden. Eine auf dem Dekompositionsansatz basierte Methode zur Analyse von offenen Warteschlangennetzen wurde von Kühn in [118] vorgestellt. Diese Methode wurde später von Whitt [199] erweitert und als Softwarepaket (Queuing Network Analyser – QNA) zur Verfügung gestellt.

Die Grundidee ist die separate Analyse der einzelnen Warteschlangensysteme, nachdem die Charakteristika des Meldungsflusses für das gesamte System festgestellt wurden. Die Ankunfts-, Bedien- und Ausgangsprozesse werden durch die zwei ersten Momente beschrieben. Dieser Ansatz ist dadurch gerechtfertigt, daß die mittlere Durchlaufzeit eines Warteschlangensystems in vielen Fällen nur von den ersten zwei Momenten der Zufallsvariablen abhängig ist.

Die Ankunftsraten werden durch die Auflösung eines aus einer Flußanalyse hergeleiteten Gleichungssystems bestimmt. Die Verweilzeit in den isolierten Systemen wird mit der Approximation von Kraemer und Langenbach-Belz [114] für die mittlere Durchlaufzeit eines GI/G/1-Systems bewertet, und der Variationskoeffizient des Ausgangsprozesses wird durch den Ansatz von Marshall [137] näherungsweise bestimmt. Die Überlagerung und Aufspaltung von Strömen, die in einem System ankommen bzw. es verlassen, werden als Erneuerungsprozesse betrachtet und durch geeignete Verteilungsfunktionen angenähert. Für Netze, die Rückschleifen aufweisen, müssen die einzelnen Prozesse iterativ berechnet werden.

Die Analyse des IN-Modells mit dem parametrischen Dekompositionsansatz von Kühn ist flexibler und ermöglicht die Betrachtung von Bedienzeiten und Ankunftsströmen mit unterschiedlichen Charakteristika, da alle Prozesse durch die ersten zwei Momente beschrieben werden. Obwohl diese Lösung, im Gegensatz zu Warteschlangennetzen mit Produktlösungsform, keine exakten Ergebnisse liefert, kann sie verwendet werden und führt im allgemeinen zu einer zufriedenstellenden Genauigkeit [118, 119, 200].

Die geschlossenen Ketten des IN-Modells stellen den Fenstermechanismus dar und können mit dieser Methode nicht analysiert werden. Hier soll darauf hingewiesen werden, daß der Fenstermechanismus sich auch in einem offenen Warteschlangennetz durch zwei unterschiedliche Ketten modellieren läßt.

Die Anwendung der Approximation von Kraemer und Langenbach-Belz [114] für die mittlere Durchlaufzeit sowie des Ansatzes von Marshall [137] für den Variationskoeffizienten des Ausgangsprozesses ermöglicht jedoch nur die Betrachtung von einer Klasse. Alle ankommenden Ströme werden zu einem Erneuerungsprozeß näherungsweise zusammengefaßt, die Variationskoeffizienten der Ausgangsprozesse der einzelnen Klassen werden aus Wahrscheinlichkeiten bestimmt. Diese Annahme kann für Systeme mit sehr unterschiedlichen Bediencharakteristika pro Klasse oder mit hoher Variabilität zwischen den individuellen Ankunftsprozessen zu ungenauen Ergebnissen führen [182, 183].

Eine Verfeinerung der Methode kann mit dem approximativen Ansatz von Fischer und Stanford [73] für die Durchlaufzeit sowie den Variationskoeffizienten des Ausgangsprozesses einer Klasse in einem  $\sum GI_i/GI_i/1$  System vorgenommen werden. Dieser Ansatz bietet gute Voraussetzungen für die Erweiterung der parametrischen Dekompositionsmethode, damit mehrere Klassen sowie klassenspezifische Bedienprozesse betrachtet werden können.

#### 4.4.1 Die hierarchische Dekomposition angewandt auf den Signalisierernetzteil des IN-Modells

Das Signalisierernetz besitzt eine komplexe Umgebung und unterstützt neben dem IN-Signalisiererverkehr auch den Signalisiererverkehr von nicht-IN Anwendungen (Telephonnetz, ISDN und Mobilkommunikation). Daher wird bei der Analyse des IN-Modells eine hierarchische Dekomposition auf den Signalisierernetzteil des IN-Modells angewandt.

Die verwendete hierarchische Dekomposition ist ein heuristischer Ansatz, der sich auf die Beobachtung stützt, daß jede IN-Meldung viele interne Interaktionen im Signalisierernetz erzeugt und daß das Signalisierernetz daher als ein "schwach gekoppeltes" System [60, 126] angesehen werden kann. Der im Abschnitt 4.3 erwähnte Dekompositionsansatz erlaubt es, daß das Signalisierernetz durch eine flußäquivalente Bedieneinheit ersetzt wird. In dieser Arbeit wird das Signalisierernetz im IN-Modell als ein Bediensystem mit unendlich vielen Bedieneinheiten betrachtet.

Der approximative Dekompositionsansatz erfordert, daß die Mittelwerte des Durchsatzes und der Durchlaufzeit in der flußäquivalenten Bedieneinheit erhalten bleiben. Daher wird das Signalisierernetz entsprechend der im Abschnitt 4.3 eingeführten Analysemethode analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse werden im IN-Modell als die Verzögerungen der IN-Meldungen durch die flußäquivalente Bedieneinheit (Bediensystem mit unendlich vielen Bedieneinheiten), das das Signalisierernetz darstellt, integriert.

#### 4.4.2 Ende-zu-Ende Leistungsuntersuchung im Gesamtnetz

Die Ende-zu-Ende Leistungsuntersuchung im Gesamtnetz erfolgt über die Aufsummierung der Meldungsdurchlaufzeiten in den IN-Elementen zwischen dem Ursprungs- und dem Zielelement der Operation. Die Ende-zu-Ende Leistungsgrößen können auf diese Weise unabhängig von der Analysemethode ermittelt werden, da die Mittelwerte der aus einer Summe von Zufallsvariablen resultierenden Zufallsvariablen stets aus der Summe der einzelnen Mittelwerte erhalten wird. Dies gilt sogar, wenn die beteiligten Zufallsvariablen voneinander abhängig sind.

Die Berechnung der Ende-zu-Ende Durchlaufzeitverteilungsfunktion im Warteschlangennetz stellt im allgemeinen eine schwierige Aufgabe dar. Eine Ausnahme davon bilden die Warteschlangennetze mit Produktlösungsform [18, 160, 180], soweit der betrachtete Pfad einige Bedingungen, die Überholungen zwischen den Aufträgen betreffen (overtake-free), erfüllt. Die Möglichkeit, daß Überholungen zwischen Aufträgen stattfinden, führt zu Abhängigkeiten, die eine analytische Lösung wesentlich erschweren. Eine ausführliche Behandlung dieses Themas findet sich in [26] und in der dort erwähnten Literatur. Die Charakteristika des IN-Modells widersprechen dieser Annahme und die Ende-zu-Ende Durchlaufzeitverteilungsfunktion von Operationen werden hier nicht weiter betrachtet.

## Kapitel 5

# Entwicklung eines Planungswerkzeuges

Die zentrale Bedeutung der Signalisiernetze begründet eine verkehrs- und leistungsgerechte Planung. Der Komplexität der Funktionen kann dabei nur mit rechnergestützten Werkzeugen angemessen entsprochen werden. Die überwiegende Zahl von Werkzeugen [5, 17, 7, 8, 90, 169, 190] hat die Planung im Sinne der Gestaltung der Struktur, die Dimensionierung von Ressourcen, die Verfügbarkeit und die Kosten zum Ziel. In dieser Arbeit soll bereits von einer gegebenen Struktur ausgegangen werden, welche z.B. auch durch die Optimierung des Nutzwegenetzes weitgehend festgelegt ist. Im Gegensatz dazu sollen in diesem Kapitel die Planungsaspekte auf die Sicherstellung der Dienstgüte zielen, wie z.B. die Meldungsdurchlaufzeiten, welche in die globalen Dienstgütekriterien wie die Verbindungsaufbauzeit, eingehen.

### 5.1 Planungsprozeß eines Signalisiernetzes

Das Grundproblem des Signalisiernetzplanungsprozesses ist die Verwaltung des Zusammenspieles zwischen erforderlicher Kapazität, erwartetem Signalisierverkehr, verfügbaren Investitionsmitteln und der geforderten Dienstgüte. In der Signalisiernetzplanung können kurzfristige und mittelfristige Aufgaben identifiziert werden. Das instationäre Verhalten des Signalisiernetzes, wie z.B. bei der Überlastabwehr und bei zeitabhängiger Verkehrslenkung, wird überwiegend in der kurzfristigen Planung betrachtet. In der mittelfristigen Planung sind diese Charakteristika nicht das grundsätzliche Ziel des Planungsprozesses, sondern die Auslegung der Netzressourcen im Hinblick auf die dienstgütgerechte Bewältigung des stationären Verkehrsaufkommens. Die Verkehrswerte können dann als Werte der sog. Hauptverkehrsstunde angesehen werden. In dieser Arbeit wird wesentlich auf

die mittelfristige Planung des Signalisiernetzes eingegangen. Aspekte der Überlast- und Flußsteuerungsmechanismen des Signalisiernetzes werden nicht berücksichtigt. Der Leser, der sich für instationäre Aspekte des Signalisiernetzes interessiert, wird in diesem Fall auf die Literatur hingewiesen ([1, 29, 30, 104, 129, 143, 152, 163, 176, 211]).

Die Planung eines neuen Signalisiernetzes befaßt sich zunächst mit der Topologie des Netzes. Die Topologie wird von den Vermittlungsstellen, die an dem Signalisiernetz angeschlossen werden, sowie von den Schnittstellen zum bestehenden Telekommunikationssystem bestimmt. Das Problem der Signalisiernetztopologie hängt eng mit der Entwicklung des Nutzwegenetzes zusammen. In einem weiteren Schritt wird die gefundene Topologie noch durch die Signalisiernetzhierarchie ergänzt werden, welche sich nur auf das Signalisiernetz selbst bezieht. Die Signalisiernetzhierarchie wird durch die Struktur und Anzahl von STPs dargestellt. Die STPs können als isolierte Einheiten oder als vollvermaschte Paare (Quadstruktur) implementiert werden. Die Struktur des Signalisiernetzes und die notwendige Anzahl von STPs werden unter Berücksichtigung der Verkehrslenkungsstrategie und der Kosten optimiert.

Die Signalisiernetzelemente werden unter der Voraussetzung, daß eine vorgeschriebene Dienstgüte erreicht werden muß, dimensioniert. Bei der Berechnung müssen auch totale oder partielle Ausfälle von Netzelementen berücksichtigt werden. Das Signalisiernetz muß robust gegenüber Ausfällen von Netzelementen sein, ein Ausfall darf nur einen kleinen Teil des Netzes beeinflussen. Die Verfügbarkeit eines Signalisiernetzes wird unter dem Gesichtspunkt der Konnektivität zwischen Endpunkten betrachtet und kann aus der individuellen Ausfallwahrscheinlichkeit der Netzelemente zwischen Ursprung und Ziel berechnet werden.

In einem bestehenden Signalisiernetz sind Topologie und Verkehrslenkungsstrategie vorgegeben. Die Signalisiernetzplanung beschäftigt sich dann mit dem Einfluß von Änderungen der Verkehrswerte bestehender Dienste oder mit den Auswirkungen der Einführung neuer Dienste auf die Signalisiernetzelemente. In der Signalisiernetzebene wird ein Dienst durch Signalisiermeldungen, die zwischen den beteiligten SPs ausgetauscht werden, charakterisiert. Der Einfluß eines Dienstes auf das Signalisiernetz wird bestimmt durch die angebotenen Dienstmerkmale und kann von Dienst zu Dienst große Unterschiede aufweisen. Daher können die Einführung neuer Dienste, Änderungen der Verkehrswerte oder vorübergehende Ausfälle von Netzelementen zu starken Schwankungen der Signalisiernetzlast und folglich der Dienstgüte des Signalisiernetzes führen. Die Signalisiernetzelemente werden im allgemeinen durch folgende Faktoren beeinflusst:

- *Signalisierabschnitte* – Die Anzahl von Signalisierkanälen in einem Signalisierkanalbündel ist eine Funktion der zu übertragenden Signalisiermeldungen, der Übertragungsgeschwindigkeit des Signalisierabschnittes und der Auslastung des Signalisierabschnittes. Die angebotene Signalisierabschnittslast kann sich mit der Ein-

führung neuer Dienste wesentlich erhöhen. Außerdem kann sich auch die Charakteristik der Signalisiermeldungen (Verteilungsfunktion der Meldungslänge) durch komplexere Dienste, die z.B. die TCAP-Markmale beanspruchen, ändern.

- *SPs und STPs* – Die Erhöhung der Signalisierlast erfordert in den SPs und STPs eine größere Bearbeitungskapazität. Da die Signalisiermeldungen unterschiedliche Komplexität aufweisen können, ist es möglich, daß die zusätzliche Last nicht homogen auf die Prozessoren der Signalisiernetzelemente verteilt wird und daher nur bestimmte Prozessoren überlastet werden. Im allgemeinen ist der Einfluß neuer Dienste auf die SPs und STPs eng mit der Hardware- und Softwarearchitektur der Signalisiernetzelemente verknüpft.
- *SCPs* – Die erforderliche Kapazität in einem SCP wird von Anzahl und Typ der unterstützten Transaktionen sowie von der angebotenen Funktionalität bestimmt. Der Einfluß neuer Dienste auf die SCPs kann aus der beanspruchten Ressourcenkapazität, die für die Bearbeitung der Transaktionen notwendig ist, abgeleitet werden. Der SCP ist aufgrund der in ihm zentralisierten Funktionen insbesondere in IN und Mobilkommunikationsnetzen ein potentieller Systemengpaß.

## 5.2 Planungsmethode und Ziele

Das in dieser Arbeit entwickelte Planungswerkzeug basiert auf der Modellierungsmethode, die im Abschnitt 4.1.2 vorgestellt wurde. Im ersten Schritt werden die Signalisiernetztopologie und der Verkehrslenkungsplan betrachtet. In der Beschreibung der Signalisiernetztopologie müssen neben der Struktur des Netzes auch die Architektur der Netzelemente, d.h. die Abbildung der funktionalen Blöcke des Signalisiernetzprotokolls auf die Prozessoren (siehe Abschnitt 4.1.3), einbezogen werden.

Die unterstützten Dienste erfordern den Austausch von Signalisiermeldungen. Der Einfluß der individuellen Signalisiermeldungen auf die Netzelemente wird aus der detaillierten Beschreibung der Meldungslastcharakteristik ermittelt. Der Beitrag einer Signalisiermeldung zur gesamten Last des Signalisiernetzes besteht aus der Signalisiermeldungslänge und der Kette von Prozessen, in welchen die Signalisiermeldung zwischen Ursprung und Ziel bearbeitet wird. Die Informationen über die funktionalen Blöcke, die von einer Signalisiermeldung in Anspruch genommen werden, können direkt aus den CCITT-Empfehlungen abgeleitet werden. In diesem Fall muß jedoch zwischen Ursprungs-, Zwischen- und Ziel-SP unterschieden werden. Da der Weg einer Signalisiermeldung durch die funktionalen Blöcke genau festgelegt ist, wird diese Information für alle möglichen Signalisiermeldungstypen in einem Katalog zur Verfügung gestellt. Der Benutzer des Planungswerkzeugs muß diesen Katalog mit implementierungsabhängigen Informationen ergänzen, d.h. Signalisiermeldungslängen und Bearbeitungszeiten in den Prozessoren.

Die Signalisiermeldungen des Katalogs werden benutzt, um die Signalisierszenarien, welche die Dienste des Netzes darstellen, zu definieren. Es muß darauf geachtet werden, daß mehrere Szenarien einem Dienst zugeordnet sein können. Dem ISDN-Sprachdienst entsprechen z.B. mindestens drei Szenarien: erfolgreiche Verbindung und erfolgloser Verbindungsaufbau wie "Zielteilnehmer besetzt" und "Zielteilnehmer meldet sich nicht". Da die Abwicklung dieser Szenarien den Austausch unterschiedlicher Meldungen erfordert, müssen sie getrennt betrachtet werden.

Die Verkehrswerte des Signalisiernetzes werden in der Verkehrsmatrix zusammengefaßt. Sie enthält die zugehörigen Signalisieraten zu den verschiedenen Szenarien zwischen beliebigen Endpunkten im Signalisiernetz. Daher ist die maximale Größe der Verkehrsmatrix eines Signalisiernetzes mit  $n$  SPs durch  $(n,n,k)$  gegeben, wobei  $k$  die Anzahl von Szenarien darstellt.

Die Topologie, die Verkehrsmatrix und die Verkehrslenkungsstrategie ermöglichen eine Flußanalyse des Signalisiernetzes. Die Flußanalyse bestimmt die Meldungsrate durch alle Übertragungs- und Bearbeitungsressourcen des Netzes, d.h. für die Signalisierabschnitte, SPs, STPs und SCPs. Die Meldungsrate wird pro Meldungstyp angegeben, und die Auslastung der Netzelemente kann aus der einheitlichen Meldungslastcharakteristik berechnet werden. An Hand dieser Informationen werden die Netzelemente dimensioniert und die notwendige Anzahl an Ressourcen, wie z.B. die Anzahl an Signalisierkanälen in einem Signalisierkanalbündel, die Anzahl von Modulen in einem SP, STP oder SCP, etc. ermittelt. Um den Einfluß der Einführung eines neuen Dienstes im Netz zu bewerten, werden die Auslastungsinformationen der Netzelemente pro Szenario zugrunde gelegt.

Die Leistungsanalysephase startet mit der Anwendung des Dekompositionsansatzes auf das Signalisiernetz. Daher werden die Signalisierkanalbündel, die SPs, die STPs und die SCPs getrennt betrachtet. Die Signalisierkanalbündel werden weiter in Signalisierkanäle zerlegt. Die SPs, die STPs und die SCPs werden entsprechend ihrer Produktarchitektur, welche die Abbildung der funktionalen Blöcke auf das reale System widerspiegelt, dekomponiert. Die Ankunftsrate in den dekomponierten Teilsysteme wird aus der Flußanalyse gewonnen.

Die Analyse der Prozessormodelle für die Teilsysteme der SPs, STPs und SCPs erfordert die Zuweisung von Prioritäten an die Bearbeitungsphasen. Die Prioritätszuweisung ist einer der Parameter, welche die Meldungsdurchlaufzeit im betrachteten Modell bestimmt. Die Meldungsdurchlaufzeiten können abhängig von Prioritätszuweisung und Verkehrsangebot deutliche Unterschiede aufweisen. Außerdem ist es möglich, daß ein Prozessor aufgrund der Prioritäten für manche Meldungstypen überlastet ist, während die Meldungstypen, die nur die hochprioritären Phasen durchlaufen, noch bearbeitet werden können. Dieses Verhalten ist für Prioritätssysteme bekannt (siehe [113, 187]).

Es ist möglich, daß eine bestimmte Funktionalität von mehreren parallelen Einheiten angeboten wird. In diesem Fall wird angenommen, daß der ankommende Verkehr homogen zwischen den Einheiten verteilt wird. Die Meldungsdurchlaufzeit für Signalisierabschnitte wird entsprechend der Formeln in den CCITT-Empfehlungen berechnet. Die Analyse der Teilsysteme der SPs, der STPs und der SCPs basiert auf M/GI/1-Prioritätssystemen mit Rückkopplungen. Die Anwendung des in [149] beschriebenen Algorithmus liefert die mittlere Durchlaufzeit für jeden Meldungstyp in den Teilsystemen.

Die Leistungsparameter des gesamten Signalisiernetzes erhält man durch die Zusammensetzung der Teilsystemergebnisse. Da das erste Moment einer Summe von Zufallsvariablen gleich die Summe der ersten Momente dieser Zufallsvariablen ist, wird die mittlere Ende-zu-Ende-Durchlaufzeit einer Meldung durch die Summe der mittleren Transferzeiten, mittleren Verweilzeiten und Mittelwerte anderer Verzögerungen, wie z.B. für Verbindungssteuerung, Datenbankzugriffe, etc., berechnet.

Die Ende-zu-Ende-Durchlaufzeiten ermöglichen die Bereitstellung von für die Netzplanung und den Netzbetrieb wichtigen Dienstgüteparametern. Diese Dienstgüteparameter sind z.B. die Verbindungsaufbauzeit und die Zeit für Datenbankabfrage und Datentransfer. Die Verbindungsaufbauzeit, die durch die Zeitspanne zwischen dem Ende der Rufnummereingabe und dem Empfang des Freitons dargestellt wird, kann aus der Summe der Ende-zu-Ende-Durchlaufzeit der IAM-Meldung und der ACM-Meldung bestimmt werden.

Aus Bild 5.1 kann eine schematische Darstellung der in diesem Abschnitt erläuterten Planungsmethode entnommen werden.

### 5.3 Anforderungen an das Planungswerkzeug

Die Anzahl von SPs in einem Signalisiernetz hängt mit der Einsatzstrategie zusammen, und eine netzweite Implementierung führt zu einem Signalisiernetz mit hunderten oder tausenden von SPs. Obwohl die erläuterte Planungsmethode unabhängig von der Größe des Signalisiernetzes ist, wird bei gewissen Größenordnungen die Kapazitätsgrenze der benutzten Rechner erreicht. In diesem Fall können dann immer noch Teile oder sogar Ende-zu-Ende-Pfade des Signalisernetzes betrachtet werden, vorausgesetzt der Einfluß des übrigen Netzes auf den betrachteten Netzteil wird sorgfältig miteinbezogen.

Die Anzahl der Szenarien stellt ein weiteres Problem dar. Die Einführung neuer Dienste kann die zu betrachtende Szenarioanzahl wesentlich erhöhen und sogar die Planung von kleinen Signalisiernetzen erheblich erschweren. In diesem Fall können die unbedeutendsten Szenarien identifiziert werden und durch ein Ersatzszenario ersetzt werden. Dieses muß die mittlere Charakteristik der zu ersetzenden Szenarien aufweisen.

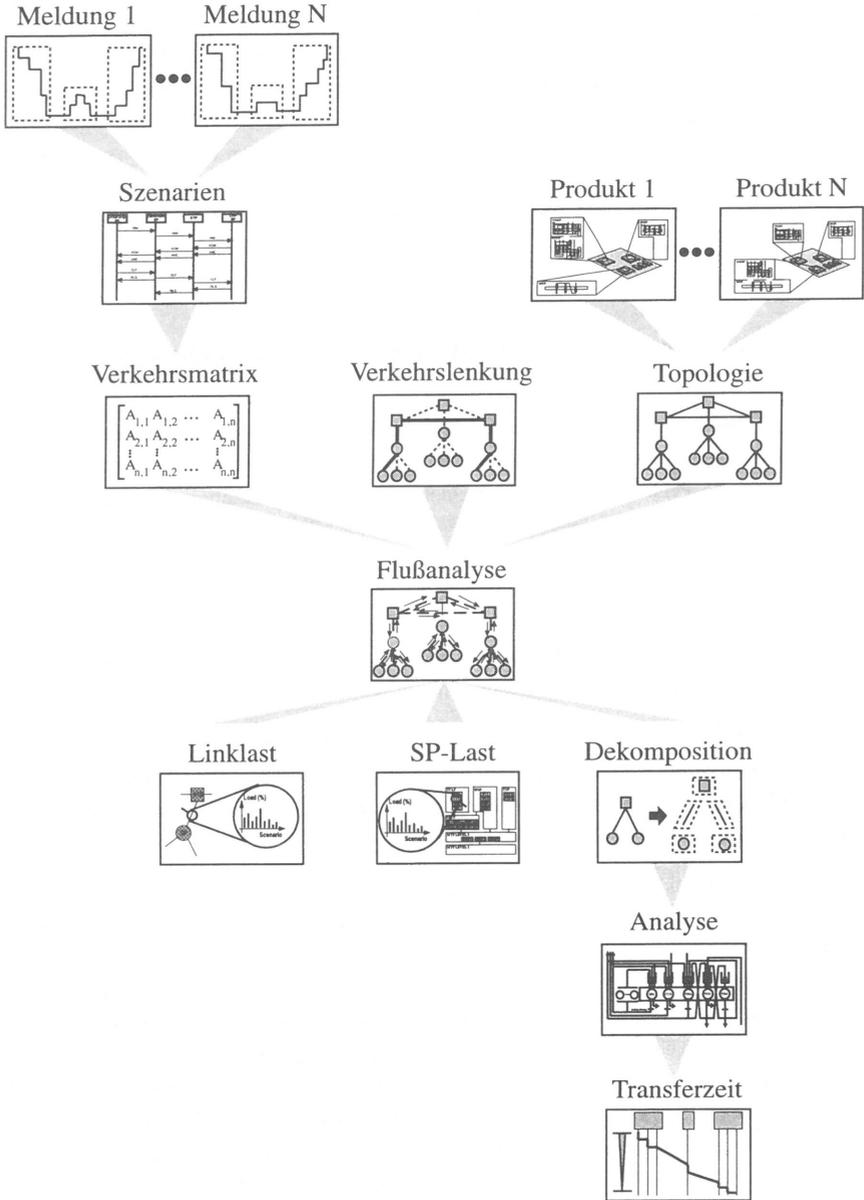


Bild 5.1: Schematische Darstellung der Planungsmethode

Der Algorithmus zur Berechnung der mittleren Durchlaufzeit der Meldungen in einem Teilmodell besitzt eine relative hohe Komplexität. Obwohl die erforderliche Speicherkapazität für den Algorithmus im Vergleich zum Speicherbedarf für die Daten des Signalisiernetzes nicht groß ist, kann die Berechnung zeitaufwendig sein. Außerdem wird das Signalisiernetzprotokoll in einem SP im allgemeinen durch mehrere Prozessoren unterstützt. Daher kann für eine netzweite Analyse die Anzahl von Aufrufen des Analysemoduls und die damit verbundenen Rechenzeit groß sein. In den meisten Fällen interessiert sich der Netzplaner nur für gewisse Ende-zu-Ende-Pfade, und die Leistungsparameter müssen nicht für alle Netzelemente berechnet werden.

## 5.4 Implementierung des Planungswerkzeugs

Aufgrund des hohen Rechenaufwands kann die entwickelte Planungsmethode bereits für kleine Signalisiernetze ohne Rechnerunterstützung praktisch nicht angewandt werden. Daher wurden die Prinzipien der Planungsmethode in einem Planungswerkzeug implementiert. Das Planungswerkzeug wurde in der Sprache PASCAL [97] programmiert. Obwohl die verwendete Version des Pascalcompilers über zusätzliche Spracherweiterungen verfügt, die über den ANSI-Standard hinaus gehen, wurde von diesen Befehlen kein Gebrauch gemacht. Diese Befehle steigern die Bequemlichkeit der Programmierung und können die Entwicklung beschleunigen. Der Preis dafür ist ein Verlust an Portabilität und ein unvermeidbarer Änderungsbedarf bei Benutzung anderer Computer.

Das Standard-PASCAL besitzt eine gute Portabilität. Der Beweis dafür ist, daß dasselbe Programm ohne Änderungen auf einem PC-AT, auf einer MicroVAX 3600 und auf einer HP 9000/700 problemlos compilierbar ist. Diese Eigenschaft kann die Anwendung des Werkzeugs auf verschiedenen Maschinen erleichtern.

Bei der Entwicklung der Datenstruktur zur Speicherung der Topologie und Verkehrsmatrix wurde davon ausgegangen, daß die Abbildung eines realen Netzes viel Speicherplatz erfordert. Um den Speicherplatzbedarf so niedrig wie möglich zu halten, wurden überwiegend dynamische Datenstrukturen angewandt. Die Grundstruktur des Programms ist eine Matrix, die nicht nur die Verkehrsmatrix enthält, sondern auch Signalisierabschnitts- und SP-Daten. Diese Matrix hat in jedem Element  $A_{ij}$  zwei Zeiger, wovon der erste auf eine Kettenliste von Verkehrsinformationen für die verschiedenen Szenarien von SP  $i$  nach SP  $j$  zeigt. Der andere Zeiger weist auf die Datenstruktur eines Signalisierabschnitts ( $i \neq j$ ) oder auf die Datenstruktur eines SP ( $i = j$ ). Die SP-Numerierung wird auf ein Matrixelement mit Hilfe eines Hashing-Verfahrens umgewandelt. Um die separate Analyse der Netzelemente zu ermöglichen, werden die Szenarien, welche die Unterstützung eines Netzelements erfordern, auch gespeichert.

Eine grobe Abschätzung des Speicherbedarfs bekommt man, wenn man den Speicherbedarf für die Verkehrsmatrix betrachtet. Zusätzlich ist noch Speicherplatz für das Programm selbst, für Meldungen und für interne Tabellen erforderlich. Diese können jedoch im Vergleich zur Verkehrsmatrix vernachlässigt werden und werden hier deshalb nicht betrachtet. Der Speicherplatzbedarf der Matrix lautet:

- Für die Verkehrsmatrix:  
 $2 \cdot SP^2 \cdot P$
- Für die SPs:  
 $SP \cdot ((3 \cdot I + 24 \cdot R + 2 \cdot P) + SCE \cdot ((I + R + P) + ME \cdot (I + 3 \cdot R + P)))$
- Für die Signalisierabschnitte:  
 $2 \cdot LI \cdot ((I + 5 \cdot R + P) + SCE \cdot ((I + 6 \cdot R + P) + (I + R + P)))$

wobei die Abkürzungen folgende Bedeutung haben:

- SP - Anzahl der Signalisierpunkte.
- ME - Maximale Anzahl der Meldungen pro Szenario.
- LI - Anzahl der Signalisierabschnitte.
- SCE - Anzahl der Szenarien
- P - Anzahl von Bytes für interne Darstellung eines Zeigers.
- I - Anzahl von Bytes für interne Darstellung einer Ganzzahl.
- R - Anzahl von Bytes für interne Darstellung einer Realzahl.

Die Analyse der Teilsysteme wird in einem separaten Modul durchgeführt. Der Speicherbedarf des Analysemoduls ist eine Funktion der Anzahl der Meldungstypen und Bearbeitungsphasen eines Teilsystems. Die Datenstruktur wurde für eine maximale Phasenanzahl je Prozessor von 100 dimensioniert, was für die meisten Möglichkeiten für die Abbildung der funktionalen Blöcke auf Prozessoren ausreicht.

### 5.4.1 Eingabedaten

Die Eingabedatei beschreibt die zugrundeliegenden Produktarchitekturen, die Netztopologie, den Meldungsfluß, die Szenarien und die Verkehrsmatrix. Die Programmierung einer graphischen Oberfläche für die Dateieingabe ließ sich im Rahmen dieser Arbeit nicht realisieren. Daher werden die Eingabedaten aus einer sequentiellen Textdatei gelesen.

#### 5.4.1.1 Erzeugung der Netzstruktur

Die Dateneingabe für die Netzstruktur unterteilt sich in zwei Phasen, zunächst wird die Struktur der verwendeten Produkte angegeben. Diese werden benutzt, um die hierar-

chische Grundstruktur des Netzes zu beschreiben. Die unterschiedlichen Herstellerkomponenten werden aus der speziellen Abbildung der funktionalen Blöcke auf die Hardwarestruktur ermittelt. Die Eingabedaten für die benutzten Produkte enthalten eine Produktnummer sowie die Funktionen, die in den verschiedenen Prozessoren abgewickelt werden. Außerdem muß für jede Bearbeitungsphase die zugehörige Bearbeitungspriorität angegeben werden.

Die Topologie ist durch die Netzknoten und Signalisierabschnitte charakterisiert. Für die Knoten muß noch neben der Produktnummer angegeben werden, ob es sich um einen SP, SP mit SCCP-Relay, SP ohne SCCP-Relay oder STP handelt. Wenn hierarchische Verkehrslenkung angewandt wird, muß noch eine Knotennumerierung entsprechend der Netzhierarchieebene angegeben werden. Die Beschreibung der Netztopologie erfolgt getrennt für die verschiedenen Hierarchieebenen. Zunächst werden die SPs in der höchsten Ebene mit Numerierung und Typ definiert. Da die SPs in der nächstniedrigeren Ebene mit einem SP in der betrachteten Ebene verbunden sein müssen, werden für sie außer der Numerierung und dem Typ auch die Daten über den Signalisierabschnitt und die in der Hierarchie vorkommende SP-Numerierung angegeben.

Die Signalisierkanalbündel sind durch Ursprung, Ziel, Übertragungsrate, Anzahl der Signalisierkanäle pro Signalisierkanalbündel, Fehlerwahrscheinlichkeit und Signallaufzeit beschrieben. Es wurde darauf geachtet, daß im Signalisiernetz neben den aufgrund der hierarchischen Netztopologie notwendigen Signalisierabschnitte auch Signalisierabschnitte, die Querwege darstellen, vorkommen können. Da die STPs in der höchsten Ebene normalerweise vollvermascht sind, wurde die Möglichkeit zur automatischen Erzeugung einer vollvermaschten höchsten Ebene vorgesehen.

#### 5.4.1.2 Signalisierszenarien

Ein Szenario besteht aus eine Folge von Meldungen, die zwischen zwei beliebigen SPs ausgetauscht werden. Da die gleichen Meldungen in mehreren Szenarien auftauchen können, werden sie in einem Katalog beschrieben und in den Szenarien einfach referenziert. Für jede Meldung wird angegeben, welche Subsysteme sie durchläuft sowie die zugehörigen Bearbeitungszeiten. Diese Informationen müssen für alle möglichen SP-Typen angegeben werden, damit man die Meldung allgemein im Netz verwenden kann.

Die Beschreibung eines Szenarios enthält dessen eindeutige Identifizierung (Nummer) und eine oder mehrere Meldungen. Für jede Meldung werden die Meldungslänge und Laufrichtung festgelegt. Falls es sich um eine Datenbankabfrage handelt, werden noch die SP-Numerierung des SCP und der Ursprung der Abfrage angegeben. Die Laufrichtung bestimmt, ob eine Meldung vom Ursprungs-SP zum Ziel-SP läuft oder umgekehrt. Die

Meldungen, die sich auf eine nicht verbindungsbezogene Signalisierung (z.B. Datenbankabfrage) beziehen, werden durch der SP-Numerierung des SCP gekennzeichnet. Da eine Datenbankabfrage sowohl von Ursprungs-SP als auch vom Ziel-SP durchgeführt werden kann, muß hier auch der Ursprung der Abfrage informiert werden.

#### **5.4.1.3 Verkehrsmatrix und Verkehrslenkungsstrategie**

Die Verkehrsmatrix bestimmt, wieviel Signalisierverkehr aus einem SP an alle anderen SP des Netzes geleitet wird, und zwar aufgeschlüsselt nach Szenariotypen. Diese Informationen sind bei Netzbetreibern normalerweise auf magnetischen Bändern vorhanden. Ohne diese Daten ist eine genaue Beschreibung der individuellen Verkehrsbeziehung nur für ein kleines Netz möglich. Eine Näherung, die für grundsätzliche Untersuchungen im akademischen Bereich benutzt werden kann, ist die Trennung des Netzes in topologische oder geographische Gebiete und die gleichmäßige Verteilung des Verkehrs, der für ein Gebiet bestimmt ist. Diese Annahme ist für die Anwendung auf reale Netze natürlich durch entsprechende Detaildaten zu ersetzen.

Es gibt zwei Klassen von Verkehrslenkungsstrategien: hierarchische und nicht-hierarchische Verkehrslenkung. Der Unterschied besteht darin, daß sich die hierarchische Verkehrslenkung an der topologischen Hierarchie des Netzes orientiert. Die Verkehrslenkung wird, entsprechend dem gewählten Konzept, automatisch erzeugt. Alternative und nicht-hierarchische Verkehrslenkungsverfahren werden in diesem Werkzeug nicht zugrundegelegt.

#### **5.4.2 Ausgabedaten**

Werden keine besonderen Auswahlkriterien angegeben, enthält die Ausgabedatei die berechneten Leistungsgrößen aller Signalisierabschnitte und SPs. Außerdem werden Informationen über die Ende-zu-Ende-Transferzeit der Meldungen ausgegeben, die bei der Bewertung der Dienstgüte eine wesentliche Rolle spielen. Die gesamte Informationsmenge, die für ein Signalisiernetz erzeugt wird, kann sehr groß sein. Entsprechend der Anwendung in der Planungsphase werden unterschiedliche Informationen über bestimmte Netzelemente oder Signalisiernetzteile benötigt; alle Aspekte des Signalisiernetzes müssen jedoch nicht unbedingt in jedem Einzelfalle bestimmt werden. Daher wird dem Benutzer die Möglichkeit angeboten, nur bestimmte Ausgabedaten, wie z.B. Last der Netzelemente oder Meldungstransferzeiten, zu erzeugen. Darüberhinaus können auch Ergebnisse nur für ausgewählte Netzelemente oder Ende-zu-Ende-Pfade ausgegeben werden.

#### 5.4.2.1 Last einzelner Netzelemente

Wegen den Szenariomerkmale ist die Belastung der Signalisierabschnitte in beiden Richtungen nicht unbedingt gleich. Deshalb werden die Ausgabedaten für beide Richtungen getrennt angegeben. Die Belastung wird pro Szenario unterschieden, um mehr über die Belastung, die durch ein Szenario hervorgerufen wird, zu erfahren. Die gesamte Belastung der Signalisierabschnitte, die Fehlerwahrscheinlichkeit, Übertragungsrate und mittlere Wartezeit werden bestimmt.

Die Belastung der SPs ist ebenfalls pro Szenario aufgeführt. Die Szenariobelastung wird zusätzlich für die funktionalen Blöcke des SP-Subsystems ausgegeben. Daher kann man aus der Abbildung der funktionalen Blöcke auf die Prozessoren erkennen, wieviele Prozessormodule benötigt werden, um gewisse Voraussetzungen, wie z.B. daß die Prozessorlast kleiner als 50% sein muß, zu erfüllen.

#### 5.4.2.2 Ende-zu-Ende-Meldungstransferzeit

Die mittlere Ende-zu-Ende-Transferzeit kann für alle möglichen Kombinationen der SPs bestimmt werden. Die Ausgabe erfolgt für alle ausgewählten SP-Paare, und die Szenarien werden mit der Ende-zu-Ende-Transferzeit der Meldungen ausgegeben. Die Meldungstransferzeit kann auch als Parameter für die Dimensionierung des Signalisiernetzes dienen. Die Erhöhung der Anzahl der Module in einem Netzelement führt zu einer niedrigen Auslastung der einzelnen Module bzw. zu niedrigeren Meldungstransferzeiten.

### 5.5 Erweiterung des Planungswerkzeugs für das IN

Das IN bietet eine Plattform für eine schnellere und flexiblere Einführung neuer Dienste. Mit dem Einsatz des IN-Konzeptes wird eine große Anzahl von neuen Diensten erwartet. In diesem Fall ist es wünschenswert, daß der Einfluß der neuen Dienste auf die Netzelemente bzw. auf die Dienstgüte des Signalisiernetzes schon in der Dienstentwicklungsphase durch Planungswerkzeuge ermittelt werden kann.

Bei der Entwicklung eines Planungswerkzeuges für das IN muß die Einbettung des IN in eine Telekommunikationsumgebung betrachtet werden. Das Signalisiernetz ist eine der Netzressourcen, die vom IN benötigt wird, und die mit Telephondienst, ISDN und Mobilkommunikationsdiensten geteilt werden muß. Der resultierende Signalisierverkehr muß bei der IN-Analyse miteinbezogen werden. Aufgrund der Gemeinsamkeiten wird im folgenden die Erweiterung des Planungswerkzeuges für das IN diskutiert.

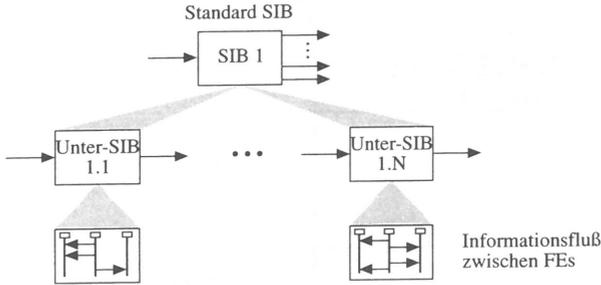


Bild 5.2: Unterteilung der SIBs in Unter-SIBs

### 5.5.1 Betrachtung der SIBs

In der globalen funktionalen Ebene wird ein IN-Dienst als eine Verkettung von SIBs betrachtet. Die Unterstützung der SIB-Funktionen kann den Austausch von Informationen zwischen den funktionalen Einheiten (FEs) erfordern. Die Informationsmenge, die ausgetauscht werden muß, hängt mit den SIB-Parametern und mit der Verteilung der FEs im physikalischen Netz zusammen. Der "User Interaction"-SIB zum Beispiel beeinflusst das IN auf unterschiedliche Weise, abhängig von SIB-Parametern, wie z.B. Anzahl automatischer Ansagen oder erwartete Eingabe von Benutzerinformationen, und von der Implementierung der SRF-Funktion.

In einem ersten Schritt werden die SIBs näher betrachtet. Die in einem SIB durchgeführten Operationen ermöglichen unterschiedliche Ergebnisse, die mit Faktoren, wie z.B. Verfügbarkeit von Ressourcen, Teilnehmerreaktion, etc., zusammenhängen. Da die einzelnen Ergebnisse zu einem unterschiedlichen Informationsaustausch zwischen den FEs führen können, werden die einzelnen SIBs in eine Reihe von Unter-SIBs unterteilt und als einzelne betrachtet. Die Unter-SIBs resultieren aus der Kombination aller möglichen logischen Abläufe eines SIB. Daher schließen die Unter-SIBs auch alle möglichen Informationsaustausche zwischen den IN-Elementen ein. Dieser Vorgang wird schematisch in Bild 5.2 verdeutlicht.

Das Verhalten eines SIBs wird durch diese Unter-SIBs detaillierter beschrieben und Ausnahmesituationen, wie z.B. Ablauf von Zeitüberwachungsmechanismen und Unterbrechung des Dienstes durch den Benutzer, können besser erfaßt werden. Aus den ursprünglich von CCITT definierten 13 SIBs wurden über 120 Unter-SIBs identifiziert. Die Unter-SIBs werden in Form eines Katalogs für die Komposition neuer Dienste dem Dienstentwickler zur Verfügung gestellt.

Aus den einzelnen Unter-SIBs werden die Aktionen der IN-Netzelemente und der Informationsfluß zwischen den FEs abgeleitet. Der erforderliche Informationsfluß für die

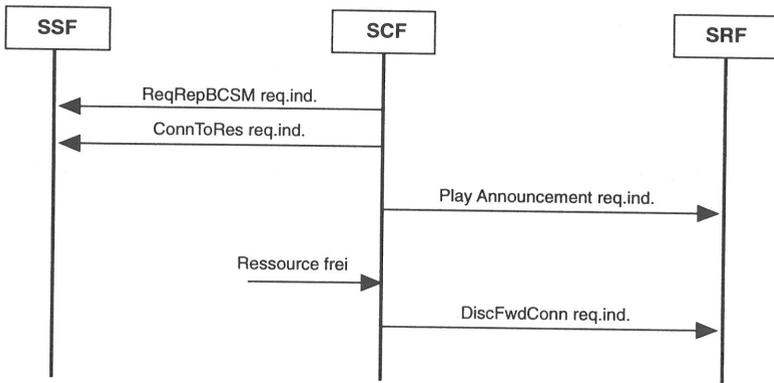


Bild 5.3: Beispiel für einen Unter-SIB des "Queue"-SIB

Unter-SIBs kann genau aus den CCITT-Empfehlungen des INAP-Protokolls [44] bestimmt werden. Es ist möglich, daß mehrere Unter-SIBs denselben Informationsfluß besitzen, aber eine Unterscheidung ist nach wie vor notwendig, da verschiedene Operationsparameter zu unterschiedlicher Meldungslänge führen können. Es ist zu beachten, daß bei der Herleitung des Informationsflusses Zweideutigkeiten und Inkonsistenzen im INAP-Protokoll gefunden wurden, die auch von ETSI-Spezialisten festgestellt worden waren [68].

Als Beispiel wird in Bild 5.3 ein von den für den "Queue"-SIB identifizierten Unter-SIB dargestellt. In diesem Fall muß der IN-Ruf auf eine Netzressource warten und eine automatische Ansage wird für den Teilnehmer eingespielt. Die SCF fordert von der SSF die Mitteilung eines erwarteten Ereignisses im IN-Rufmodell (BCSM) durch eine unquittierte "ReqRepBCSM req.ind."-Operation. Mit dem Empfang einer unquittierten "ConnToRes req.ind."-Operation teilt die SSF mit, daß der Teilnehmer an den IP weitergeschaltet werden muß. Die automatische Ansage wird in der SRF durch eine "Play Announcement req.ind."-Operation gestartet. Nachdem die Ressource frei wird, kann die Verbindung zwischen SSF und SRF durch eine "DiscFwdConn req.ind."-Operation abgebaut werden.

### 5.5.2 Abbildung auf die physikalische Ebene

Die Definition der Dienstlogik erfolgt ohne Rücksicht auf die unterliegende Netzstruktur, und weitere Aspekte der physikalischen Ebene müssen betrachtet werden. Der Dienstentwickler ist nicht darüber informiert wie ein SIB im IN-Netz abgewickelt wird. Ein "User Interaction"-SIB z.B. kann zum Aufbau einer Verbindung zu einem IP führen, falls der betrachtete SSP über keine SRF-Funktion verfügt. Die IPs können entsprechend den CCITT-Empfehlungen abhängig von den Schnittstellen zwischen SRF, SSF und SCF auf

5 unterschiedliche Weise implementiert werden. Darüberhinaus müssen weitere Faktoren der Netzstruktur, wie z.B. der Einsatzpunkt der SSPs im Netz (in Ortsvermittlungsstellen, in Durchgangvermittlungsstellen oder als überlagertes Netz) berücksichtigt werden.

Der aus den Unter-SIBs der Dienstlogik abgeleitete Meldungsfluß zwischen den FEs wird anhand der Beschreibung der physikalischen Ebene automatisch in den Meldungsfluß zwischen physikalischen Einheiten umgewandelt. Weiter muß für die Signalisieretzanalyse der IN-Informationsfluß durch Meldungen, die zum Verbindungsauf- und abbau dienen, ergänzt werden. Der Benutzer muß noch implementierungsabhängige Informationen über den Meldungsfluß, wie z.B. Meldungslänge und Bearbeitungszeit in den einzelnen IN-Netzelementen, bereitstellen.

### 5.5.3 Flußanalyse

Die IN-Signalisierszenarien können in einer ähnlichen Weise wie für das Signalisieretz beschrieben werden. Diese Information bezieht sich nur auf Meldungen, die IN-Operationen unterstützen und werden direkt aus der Beschreibung der Dienstlogik abgeleitet. Außerdem müssen die IN-Szenarien noch durch Meldungen, die für die Realisierung von Funktionen der nicht-IN Verbindungssteuerung, wie z.B. "Aufbau einer Verbindung mit IAM-Meldungen", etc., ergänzt werden. Damit können Szenarien, in welchen die Ursprungsvermittlungsstellen über keine IN-Funktionen verfügt, dargestellt werden.

Die Verkehrswerte für die Szenarien zwischen den IN-Netzelementen werden in der Verkehrsmatrix angegeben. Die Beschreibung des Szenarioverkehrs im IN ist komplexer als die des Signalisieretz. Der Wettbewerb zwischen IN-Dienstanbietern kann zur Aufteilung des aus einem SSP abgehenden IN-Szenarioverkehrs auf mehrere SCPs führen. Es ist z.B. möglich, daß der Markt für IN-Dienste im Mannheim zwischen konkurrierenden IN-Dienstanbietern von SCPs in Stuttgart und Frankfurt geteilt wird. Daher muß neben den Verkehrswerten eines Szenarios auch deren Aufteilung auf verschiedene SCPs angegeben werden.

Mit den Informationen über die IN-Signalisierszenarien und die Verkehrsmatrix wird eine Flußanalyse durchgeführt. Die Auslastung der IN-Elemente kann aus der detaillierten Beschreibung des Informationsflusses berechnet werden. Damit der Einfluß eines neuen Dienstes auf die IN-Elemente besser abgeschätzt werden kann, wird die Auslastung für die verschiedenen Szenarien getrennt berechnet. Ein weiteres Ergebnis ist durch die Meldungsankunftsrate der IN-Dienste an das Signalisieretz dargestellt. Hier müssen sowohl die Meldungen, die IN-Operationen enthalten, als auch die Meldungen, die zur Ergänzung des IN-Szenarios benötigt werden, betrachtet werden.

#### 5.5.4 Leistungsanalyse

Das Signalisiernetz wird im IN-Modell zunächst als ein System mit unendlich vielen Bedieneinheiten betrachtet. Die Verkehrswerte für die IN-Szenarien, die auf dem Signalisiernetz ablaufen, werden aus den Ergebnissen der IN-Flußanalyse abgeleitet. Die Ausgabe der IN-Flußanalyse schließt auch die für die detaillierte Betrachtung des Signalisiernetzes notwendigen Eingabeinformationen ein.

Der IN-Signalisierverkehr wird mit dem Signalisierverkehr, der aus Telephondiensten, ISDN und Mobilkommunikation entsteht, gemischt. Anschließend erfolgt eine Analyse des Signalisiernetzes mit dem im Abschnitt 5.2 präsentierten Planungswerkzeug. Aus den Ergebnissen kann der Einfluß der IN-Dienste auf das Signalisiernetz ermittelt werden. Die Ende-zu-Ende-Transferzeit von IN-Meldungen wird an das IN-Planungswerkzeug zurückgegeben und bestimmt die Durchlaufzeit der IN-Meldungen durch das Bediensystem mit unendlichen vielen Bedieneinheiten, welches das Signalisiernetz im IN-Modell darstellen.

Mit den Informationen über die Meldungsdurchlaufzeiten im Signalisiernetz ist das IN-Modell vervollständigt und kann analysiert werden. Der Analyseansatz ist dem des Signalisiernetzes ähnlich. Die IN-Elemente werden dekomponiert und getrennt analysiert. Die Ankunftsprozesse aller Ankunftsströme in einem IN-Element werden durch Poisson-Prozesse approximiert. Das resultierende Subsystem ist ein M/GI/1-System, und die Durchlaufzeit einer IN-Meldung kann berechnet werden.

Die Analyseergebnisse ermöglichen die Berechnung der mittleren Dauer einer Operation, und analog zum Signalisiernetzfall können wichtige Dienstgüteparameter des IN ermittelt werden. Der Vorgang der Richtlinien für die Erweiterung des Signalisiernetzplanungswerkzeugs für das IN wird schematisch in Bild 5.4 gezeigt.

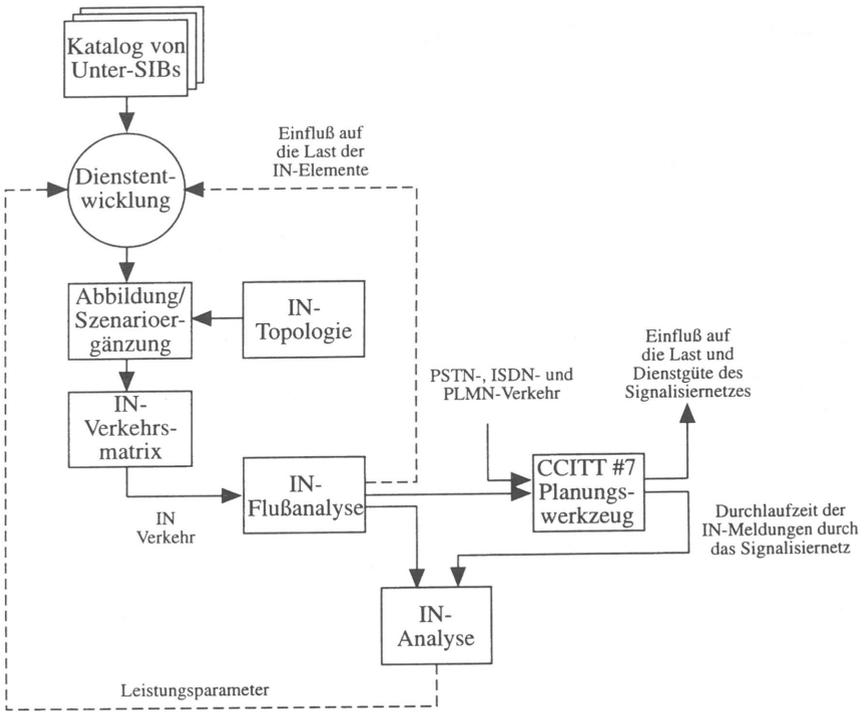


Bild 5.4: Erweiterung des Planungswerkzeugs für das IN

# Kapitel 6

## Anwendungsbeispiele

### 6.1 Beispiel ISDN

Die folgende Beispielanalyse werde durchgeführt, um die Anwendbarkeit des Planungswerkzeugs auf eine ISDN-Signalisierungsumgebung zu demonstrieren. Die Daten, die im folgenden Beispiel verwendet werden, sind hypothetisch.

#### 6.1.1 Netzstruktur und herstellerepezifische Architektur

Die Eingabe der Signalisieretzstruktur beginnt mit der Beschreibung der Architekturen der im Signalisieretz eingesetzten Komponenten, wobei jeweils noch verschiedene Realisierungskonzepte ("Produkte") unterschieden werden sollen. Je Produkt wird die Abbildung der funktionalen Blöcke auf die Prozessoren, sowie die Prioritätszuweisung der Bearbeitungsphase eines Prozessors benötigt. Die für dieses Beispiel ausgewählten Produktarchitekturen mit der entsprechenden Prioritätszuweisung für die Bearbeitungsphasen wird in Tabelle 6.1 gezeigt.

Die definierten Architekturen liefern eine faire Darstellung der möglichen Zentralisierungsgrade. Das Produkt "A" weist eine dezentralisierte Architektur auf. Die funktionalen Blöcke werden jeweils in einzelnen Prozessoren implementiert. In Produkt "B" werden die MTP-Ebene 3 und die SCCP-Funktionen in einem Prozessor konzentriert. Diese Architektur kann als teilzentralisiert bezeichnet werden. Eine stark zentralisierte Architektur, mit Zentralisierung aller Funktionen der Ebene 4, findet man in Produkt "C". Bei realen Implementierungen kann die Systemarchitektur noch mit der Vermittlungsstellengröße zusammenhängen.

Das in diesem Beispiel betrachtete Signalisieretz enthält drei hierarchische Ebenen, wie in Bild 6.1 gezeigt wird. Die oberste Netzebene besteht aus fünf vollvermaschten STPs

Tabelle 6.1: Abbildung der funktionalen Blöcke auf die Prozessoren der betrachteten Produkte (Hohe Prioritätswerte entsprechen hoher Priorität)

Produkt	MTP			SCCP						ISUP				TCAP			
	H	H	H	S	S	S	S	S	S	M	M	C	C	T	D	C	I
	M	M	M	C	C	C	C	C	C	D	S	P	P	S	H	C	S
	D	D	R	R	R	L	L	O	O	S	D	C	C	L	A	O	M
	T	C	T	C	C	C	C	C	C	C	C	O	I				
				(r)	(t)	(r)	(t)	(r)	(t)								
A	Prozessor 1			Prozessor 2					Prozessor 3				Prozessor 4				
	2	1	3	3	4	1	2	6	5	4	1	2	3	1	2	3	4
B	Prozessor 1								Prozessor 2				Prozessor 3				
	2	1	3	6	7	4	5	9	8	4	1	2	3	1	2	3	4
C	Prozessor 1			Prozessor 2													
	2	1	3	8	7	5	6	9	10	14	11	12	13	4	3	2	1

und einem SCP, der mit den STPs mit der Bezeichnung "200" und "300" verbunden ist. Die nächste hierarchische Netzebene (Ebene 2) stellt die Durchgangsvermittlungsstellen dar. Die Anzahl von Durchgangs-SPs, die mit einem STP verbunden sind, hängt mit Faktoren, wie z.B. Versorgungsbereich und Teilnehmerdichte, zusammen und ist im allgemeinen von STP zu STP verschieden. Diese Charakteristik wird in der Beispieltopologie betrachtet und es wird angenommen, daß drei Durchgangs-SPs unter jeder der STPs "100", "400" und "500" lokalisiert sind. Die übrigen STPs ("100" und "300") haben je zwei Durchgangs-SPs unter sich. Dieselben Argumente können eine heterogene Struktur in der untersten Ebene rechtfertigen. In den Bereichen "100", "400" und "500" werden an den Durchgangs-SPs 2,3 und 4 SPs (Ortsvermittlungsstellen) angeschlossen. Die Bereiche "200" und "300" ihrerseits weisen 2 und 4 SPs unter den Durchgangs-SPs auf.

Die Signalisierabschnittbündel enthalten 4 Signalisierabschnitte in der höchsten Ebene und 2 Signalisierabschnitte im Rest des Netzes. Die Übertragungsgeschwindigkeit der Signalisierabschnitte beträgt 64 kbit/s und die Signallaufzeit eines Signalisierabschnitts beträgt überall 5 ms. Die Signalisierabschnitte werden mit dem "Basic"-Fehlerkorrekturverfahren betrieben und sind fehlerfrei.

In einem Signalisiernetz, in welchem unterschiedliche Produkte eingesetzt werden, müssen die Produkttypen aller SPs, STPs und SCPs angegeben werden. Die Produkttypen, die in einem Netzbereich benutzt werden, hängen mit Faktoren, wie z.B. Deregulierungsgrad des Landes, Netzbetreibertyp (staatlich oder privat), ob der Netzbetreiber selbst Produkthanbieter ist, etc., zusammen. Für das Beispielnetz wird angenommen, daß in manchen Netzbereichen alle SPs und STPs von gleichen Produkttyp sind, wie im Netz-

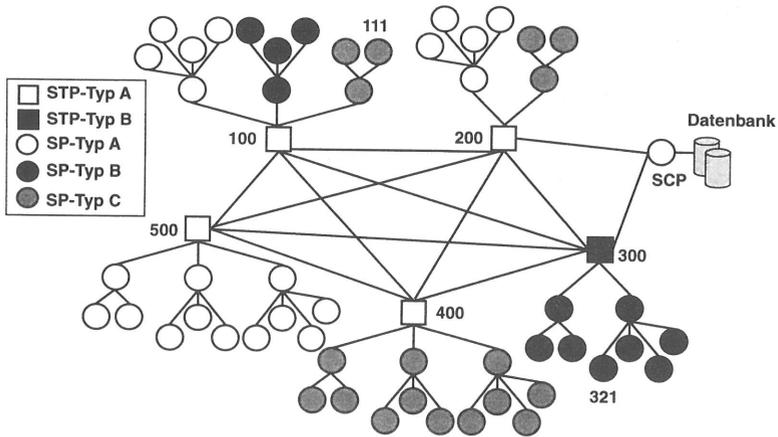


Bild 6.1: Topologie des Beispielnetzes

bereich "300" (ausschließlich Produkttyp "B") und im Netzbereich "500" (ausschließlich Produkttyp "A"). Manche Netzbereiche können von wenigen Herstellern dominiert werden, wie im Netzbereich "400" (STP von Produkttyp "A" und SPs von Produkttyp "C") und im Netzbereich "200" (STP von Produkttyp "A" und SPs von Produkttypen "A" und "C"). Der Netzbereich "100" stellt einen heterogenen Netzbereich dar (STP von Produkttyp "A" und SPs von Produkttypen "A", "B" und "C"). Der SCP weist eine dezentralisierte Architektur auf und wird als Produkttyp "A" klassifiziert.

### 6.1.2 Unterstützte Dienste und Verkehrsmatrix

Die im Beispielnetz angebotenen Dienste sind der ISDN-Sprachdienst, der 130-Dienst und der Kreditkartendienst. Der 130-Dienst kann als eine erweiterte Version des ISDN-Sprachdienstes, in welcher zusätzliche Verkehrslenkungsinformationen aus einem SCP abgefragt werden, betrachtet werden. Für den Kreditkartendienst wird angenommen, daß zwei Datenbankabfragen benötigt werden. Die erste Abfrage bestimmt, wie der Teilnehmeranschluß behandelt wird, während die zweite Abfrage die Identität des Teilnehmers überprüft.

Die Subszenarien dieser Dienste hängen mit den Dienstcharakteristika zusammen. Die Subszenarien des ISDN-Sprachdienstes werden in "erfolgreichen Ruf", "Zielteilnehmer besetzt", und "Zielteilnehmer meldet sich nicht" unterteilt. Der Kreditkartendienst schließt zusätzlich zu den ISDN-Sprachdienstszenarien noch den Fall einer erfolglosen Authentifikation der Teilnehmer ein. Im Prinzip gibt es für den 130-Dienst die gleichen Szenarien

wie für den ISDN-Sprachdienst, nur das SubszENARIO "Zielteilnehmer meldet sich nicht" kann in der Regel vernachlässigt werden, da der rufende Teilnehmer in diesem Fall normalerweise eine automatische Ansage hört.

In diesem Beispiel wird der gesamte Verkehr des ISDN-Sprachdienstes in 70% "erfolgreicher Ruf", 20% "Zielteilnehmer besetzt" und 10% "Zielteilnehmer meldet sich nicht" aufgeteilt. Bei 10% der Rufe des Kreditkartendienstes wird die Authentifikation der Teilnehmer erfolglos beendet, während die restlichen Rufe wie die des ISDN-Sprachdienstes unterteilt werden. Der 130-Dienst wird durch 80% "erfolgreicher Ruf" und 20% "Zielteilnehmer besetzt" charakterisiert.

Die Verkehrsmatrix enthält die Informationen über den Verkehr zwischen den SPs des Netzes; die Eingabedatenmenge kann sogar für kleine Netze groß sein. Um extrem lange Eingabedateien zu vermeiden, wird die Verkehrsmatrix durch eine automatische Prozedur erzeugt.

Die Verkehrswerte sind dieselben für alle SPs, die Ortsvermittlungsstellen darstellen. Der abgehende Verkehr einer Ortsvermittlungsstelle wird zu 50% homogen zwischen den Ortsvermittlungsstellen, die sich unter derselben Durchgangsvermittlungsstelle befinden, verteilt. Das Ziel von 25% des abgehenden Verkehrs sind die übrigen Ortsvermittlungsstellen des Netzbereichs, d.h. die SPs unter demselben STP. Der restliche Verkehr ist für die anderen Ortsvermittlungsstellen bestimmt. Die in einer Ortsvermittlungsstelle erzeugten Rufe gehören in 80% der Fälle zum ISDN-Sprachdienst, zu 10% zum 130-Dienst und zu 10% zum Kreditkartendienst.

### 6.1.3 Meldungstypen und Parameter

Die Meldungen, die für die betrachteten Szenarien benötigt werden, sowie deren Meldungslängen sind in Tabelle 6.2 dargestellt. Um die Eingabedaten zu vereinfachen, wird in diesem Beispiel angenommen, daß die Bearbeitungszeit in einer Phase für alle Meldungen gleich groß ist. Außerdem werden die Bearbeitungszeiten in unterschiedlichen Produkten durch einen Prozessorgeschwindigkeitsfaktor normiert.

Die Datenbankabfrage wird durch die TCAP-Merkmale unterstützt, die Bearbeitungszeiten in den Phasen des TCAP-Modells sind 2 ms für DHA und CCO, 1 ms für TSL und 0.5 ms für ISM. Alle Phasen des SCCP-Modells weisen eine Bearbeitungszeit von 1 ms auf. Im ISDN UP sind die Bearbeitungszeiten 2 ms für CPCI und CPCO und 0.5 ms für MSDC und MDSC. In der MTP-Ebene 3 betragen die Bearbeitungszeiten 1 ms für HMDT und HMRT und 0.5 ms für HMDC.

Die Interprozessorkommunikationszeit in allen Schnittstellen ist 5 ms. Die Verbindungssteuerung braucht 50 ms für die Durchschaltung einer Leitung, 20 ms für die Freigabe

Tabelle 6.2: Meldungen der im Beispielnetz unterstützten Dienste

Meldung	Name	Länge [Oktett]
IAM	Initial Address Message	60
ACM	Address Complete Message	20
ANM	Answer Message	15
REL	Release Message	20
RLC	Release Complete Message	15
INV	Invoke Message (Short)	60
RES	Response Message (Short)	70

einer Leitung und 10 ms für andere Aufgaben. Die Abwicklung einer Datenbankabfrage in der Steuerung eines SCPs erfordert 200 ms.

#### 6.1.4 Einführung eines neuen Dienstes

Ein neuer Dienst, der die gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten ermöglicht, wird im Beispielnetz eingeführt. Die Übertragung von Benutzer-zu-Benutzer Daten (UUI-Dienst 3) während der aktiven Phase des Rufes erfolgt über eine SCCP-Verbindung. Der UUI-Dienst 3 benutzt die SCCP-Protokollklasse 2 und die Benutzerinformation wird in einer "Data Form 1 (DT1)"-Meldung übertragen.

Die SCCP-Verbindung wird mit einem in einer IAM-Meldung eingebetteten "Connection Request (CR)"-Primitive aufgebaut und der erfolgreiche Verbindungsaufbau wird mit einer "Connection Confirm (CC)"-Meldung quittiert. Der Verbindungsaufbau der ISDN- und der SCCP-Verbindung finden gleichzeitig statt.

In diesem neuen Dienst werden 5 DT1-Meldungen in jeder Richtung gesendet. Die betrachteten Szenarien sind denen des ISDN-Dienstes ähnlich. Die Charakteristika der für den neuen Dienst erforderlichen Meldungen können aus Tabelle 6.3 entnommen werden.

Tabelle 6.3: Meldungen des neuen Dienstes

Meldung	Name	Länge [Oktett]
IAM (CR)	Initial Address Message	90
CC	Address Complete Message	20
DT1	Answer Message	80
REL	SCCP Release Message	20
RLSD	SCCP Released Complete	20

## 6.1.5 Ergebnisse

Die Analyse des Modells ist eine Approximation, und die Ergebnisse müssen durch den Vergleich mit Simulationsergebnissen überprüft werden. Eine gute Genauigkeit zwischen den Simulations- und Analyseergebnissen beweist, daß die Annahme der Analysemethode zu keiner großen Abweichung führt. Die Simulation des Beispielnetzes mit fast 60 Knoten ist sehr aufwendig und wird nicht durchgeführt. Die Nachweis der Genauigkeit der Analysemethode ist in [8, 205] geführt worden. Die analytischen Ergebnisse werden normiert auf das maximale Verkehrsangebot, das im Netz abgewickelt wird, dargestellt.

### 6.1.5.1 Dienstgüteparameter des Netzes

Die Verbindungsaufbauzeit für die betrachteten Dienste zwischen den Knoten "321" und "111" wird berücksichtigt. Diese Knoten wurden ausgewählt, weil alle Produkttypen des Netzes innerhalb des Pfades zwischen diesen SPs gefunden werden können. Der neue Dienst sei noch in der Planungsphase und entsprechend einer Einführungsstrategie werden 3% und 5% des ISDN-Sprachdienstes durch den neuen Dienst ersetzt. Der Dienstentwickler interessiert sich für das Verhalten der Verbindungsaufbauzeiten der Dienste des Netzes für die unterschiedlichen Einführungsmöglichkeiten. Der Dienstgüteparameter des neuen Dienstes, der betrachtet wird, ist die Ende-zu-Ende-Transferzeit einer DT1-Meldung.

Der Einfluß der Einführung des neuen Dienstes auf den ISDN-Sprachdienst wird in Bild 6.2 gezeigt. Die Ergebnisse für den 130-Dienst und Kreditkartendienst werden in Bild 6.3 bzw. Bild 6.4 dargestellt. Der Netzverkehr ist nicht ausgeglichen (balanced) und die Ende-zu-Ende Datentransferzeiten zwischen den betrachteten SPs unterscheiden sich je nach Richtung, d.h. die Datentransferzeit von SP "321" zu SP "111" ist nicht gleich der von SP "111" zu SP "321". Dieser Effekt wird in Bild 6.5 eingeschlossen und die Datentransferzeit wird als die Summe der Meldungstransferzeiten der beiden Richtungen betrachtet.

Die Einführung des neuen Dienstes mit der Übertragung von Benutzer-zu-Benutzer-Informationen beeinflußt die schon angebotenen Dienste des Netzes. Die übertragene Informationsmenge betrage circa 300 Oktett/Ruf in jeder Richtung. Dieser Wert ist für praktische Anwendungen mit einem bescheidenen Komplexitätsgrad wahrscheinlich unterschätzt.

### 6.1.5.2 Einfluß der Prioritätszuweisung

Der Einfluß der Prioritätszuweisung auf die Ergebnisse wird im folgenden untersucht. Die Prioritätszuweisung spielt eine wesentliche Rolle bei der Berechnung der Meldungsdurchlaufzeit in den hergeleiteten Modellen. Die Bearbeitungsphasen der Tabelle 6.1, die eine

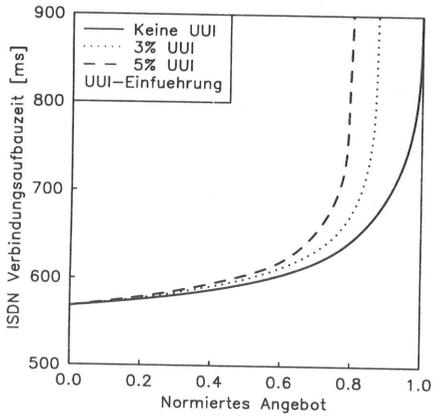


Bild 6.2: Einfluß des neuen Dienstes auf den ISDN-Sprachdienst

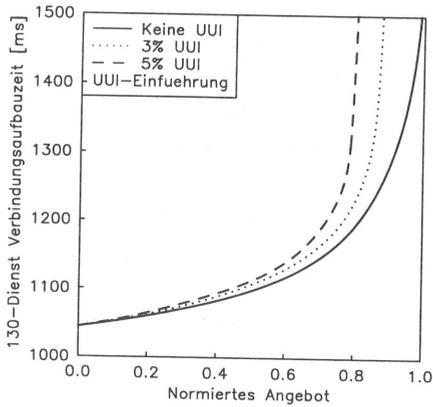


Bild 6.3: Einfluß des neuen Dienstes auf den 130-Dienst

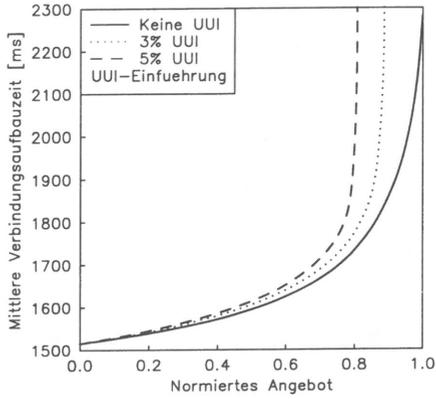


Bild 6.4: Einfluß des neuen Dienstes auf den Kreditkartendienst

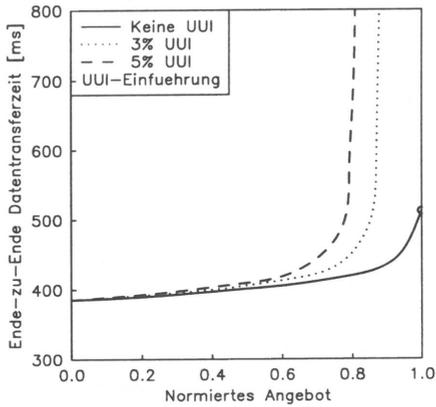


Bild 6.5: Datentransferzeit zwischen Benutzern

Priorität  $p$  aufweisen, müssen warten bis sich keine Aufträge mit Priorität  $> p$  mehr im System befinden. Um den Einfluß des Prioritätsmechanismus auf die Meldungstransferzeiten zu verdeutlichen, werden die Prioritäten der Tabelle 6.1 invertiert, d.h. die Phasen mit höchster Priorität bekommen die niedrigste Priorität und umgekehrt. Die Ergebnisse dieser neuen Analyse für den Kreditkartendienst wird in Bild 6.6 dargestellt. Bild 6.7 zeigt die Summe der Benutzer-zu-Benutzer-Datentransferzeiten beider Richtungen.

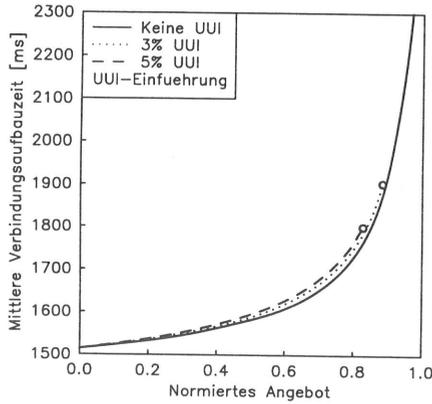


Bild 6.6: Einfluß des neuen Dienstes auf den Kreditkartendienst nach Prioritätsinvertierung

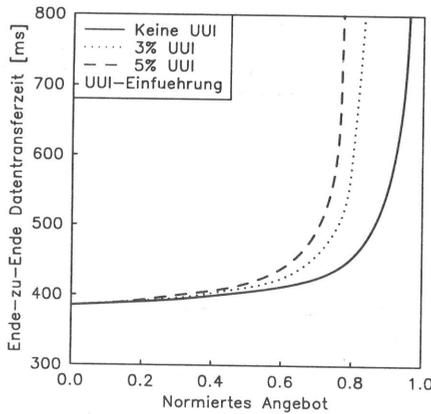


Bild 6.7: Datentransferzeit zwischen Benutzern nach Prioritätsinvertierung

Die Änderungen der Ergebnisse können ausgehend von der Prioritätszuweisung der

Tabelle 6.1 erklärt werden. Der gemeinsame Teil aller Dienste ist grundsätzlich im SCCP konzentriert. Der Kreditkartendienst benutzt den TCAP-Transportdienst, und die TCAP-Meldungen werden vom verbindungslosen SCCP-Dienst unterstützt, d.h. durch die Prozesse SCLC(r) und SCLC(t). Der Abwicklung des UUI-Dienstes wird durch den verbindungsorientierten SCCP-Dienst ermöglicht, d.h. durch die Prozesse SCOR(r) und SCOR(t). Die Invertierung der Prioritäten weist den SCLC-Prozessen eine höhere Priorität zu und die Meldungen des Kreditkartendienstes werden vor denen des UUI-Dienstes bearbeitet. Auf diesem Hintergrund bereitet der Einfluß des neuen Dienstes auf den Kreditkartendienst keine Überraschung. Die Durchlaufzeitcharakteristika dagegen werden, wie erwartet, von der Invertierung der Prioritäten stark beeinflusst.

Eine Besonderheit im Bild 6.6 ist das Ende der Kurve im Sättigungspunkt. Dies spiegelt die Tatsache wieder, daß der Prozessor nur für die niedrigen Prioritäten überlastet ist, während die höhere Prioritäten noch bearbeitet werden können. In diesem Fall wurde die Analyse nur bis zum Sättigungspunkt durchgeführt.

Die gesamte CPU-Zeit für die Berechnung aller Ergebnisse dieses Beispiels beträgt weniger als eine Stunde auf einem HP 9000/725 Rechner. Die Kurven wurden durch die Interpolation von 10 Punkten erzeugt.

## 6.2 Beispiel Mobilkommunikation

Mobilkommunikationsnetze weisen eine sehr große Zuwachsrates auf und bereiten der Verkehrstheorie neue und zum Teil ungelöste Probleme. Eine Herausforderung stellt die Modellierung des Mobilitätsmanagements und die damit verbundenen Prozeduren dar. Die Kommunikation, die für die Abwicklung der Mobilitätsmanagementprozeduren notwendig ist, wird durch das Signalisieretz unterstützt. In diesem Beispiel wird ein einfaches Mobilkommunikationsnetz betrachtet und wichtige Dienstgüteparameter des Signalisieretztes werden durch den Einsatz des entwickelten Planungswerkzeugs ermittelt.

### 6.2.1 Netzstruktur und herstellerepezifische Architektur

Die Struktur des Beispielnetzes ist einfach und ihr Versorgungsbereich wird durch 6 MSCs bestimmt. Eine ähnliche Struktur kann als die eines kleinen Landes oder Netzbetreibers angesehen werden. Das Netz verfügt über ein zentralisiertes HLR und die VLRs werden in den MSCs integriert. Der Übergang zum Festnetz erfolgt über ein separates GMSC. Das entsprechende Signalisieretz ist hierarchisch aufgebaut und enthält 2 Ebenen. Die höchste Ebene (Ebene 1) schließt 3 vollvermaschte STPs ein. Die HLR sowie der SP, der das GMSC darstellt, sind mit dem STP "300" verbunden. Die übrigen STPs ("100"

und "200") unterstützen je 3 SPs in der nächsten hierarchischen Ebene (Ebene 2). Die Struktur des Beispielnetzes ist in Bild 6.8 dargestellt.

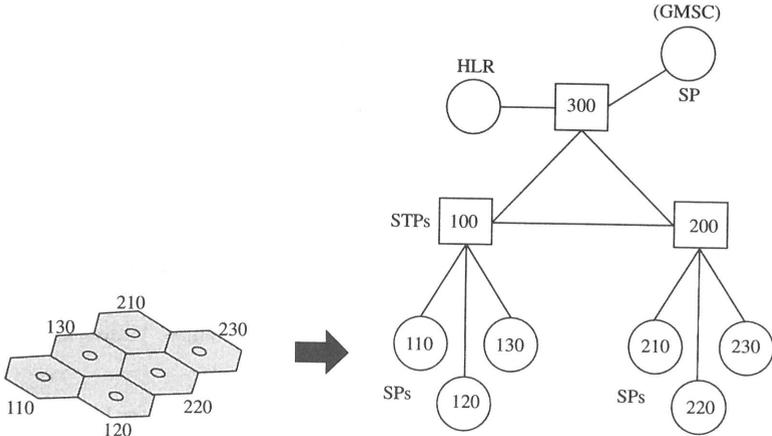


Bild 6.8: Topologie des Beispielnetzes

Die verwendeten Produkte werden durch die herstellerspezifische Architektur, d.h. die Abbildung der funktionalen Blöcke des Signalisiernetzprotokolls auf die Prozessoren, gekennzeichnet. Im allgemeinen werden in kleinen Netzen, wie dem dieses Beispiels, überwiegend Produkte eines einzelnen Herstellers eingesetzt. Daher wird angenommen, daß alle im Netz vorhandenen Produkte eine dezentralisierte Architektur aufweisen und der Architektur des Produktes "A" in Tabelle 6.1 entsprechen.

## 6.2.2 Unterstützte Dienste

Es wird angenommen, daß der Sprachdienst im Beispielnetz angeboten wird. Diese Annahme ist für heutige Netze realistisch trotz Datendienstanwendungen. Es zeichnen sich gute zukünftige Perspektiven für Datendienste im GSM ab, aber sie werden noch kaum benutzt und werden hier vernachlässigt. Weitere Zusatzdienstmerkmale, die im GSM angeboten werden, sind im Grunde die des ISDN und stellen aus der Sicht des Signalisiernetzes Abwandlungen der Grundszenerien dar und werden hier nicht weiter betrachtet.

Die Szenarien des GSM-Sprachdienstes weisen andere Charakteristika als die des ISDN auf, was im wesentlichen auf die Teilnehmermobilität zurückgeführt werden kann. Aufgrund der Prozeduren zur Lokalisierung des Zielteilnehmers bei ankommenden Rufen müssen die Szenarien für ankommende und abgehende Rufe getrennt berücksichtigt werden. Außerdem ist eine Festlegung des Zielnetzes notwendig, um die Szenarien zwischen

den Mobilteilnehmern und zwischen Mobilteilnehmer und Festnetz zu unterscheiden. Da in der Praxis die meisten Gesprächspartner der Mobilteilnehmer noch überwiegend im Festnetz (ISDN und Telephon) liegen, werden die Rufe zwischen den Mobilteilnehmern vernachlässigt.

Das Szenario für abgehende Rufe entspricht dem des ISDN. In diesem Beispiel sind 70% der Rufe erfolgreich, 20% finden den Zielteilnehmer besetzt und 10% der Zielteilnehmer melden sich nicht. Die Szenariorate ist eine Funktion der Anzahl der im MSC eingeschriebenen Mobilteilnehmer sowie der mittlere Ruftrate pro Mobilteilnehmer.

Das Szenario für ankommende Rufe aus dem ISDN schließt eine Datenbankabfrage bei der HLR ein, um die Verkehrslenkungsinformation zum Zielteilnehmer zu ermitteln. Die potentiellen Zielteilnehmer sind alle Mobilteilnehmer des GSM-Netzes. Es muß jedoch darauf geachtet werden, daß nicht alle Mobilteilnehmer ständig eingeschrieben sein müssen und die Datenbankabfrage scheitern kann. Dies ist der Fall, wenn z.B. das Teilnehmerendgerät ausgeschaltet ist oder der Teilnehmer sich außerhalb des Netzversorgungsbereichs befindet. Dies ist ein zusätzliches Szenario, das auch betrachtet werden muß. In diesem Beispiel sind 20% der Teilnehmer nicht erreichbar. Für den Anteil, für welchen die Datenbankabfrage erfolgreich abgeschlossen wird, werden die Szenarien wie die der abgehenden Rufe unterteilt, d.h. 70% der Rufe erfolgreich, 20% finden den Zielteilnehmer besetzt und 10% der Zielteilnehmer melden sich nicht.

### 6.2.3 Mobilitätsmodell

Die Teilnehmermobilität erfordert die Unterstützung von Prozeduren, wie z.B. Aktualisierung des Aufenthaltsortes (Location Update) oder das Weiterreichen einer Verbindung (Handover). Bei der Charakterisierung der Teilnehmermobilität müssen Faktoren wie z.B. Zellenradius, Richtung und Geschwindigkeit der Teilnehmerbewegung, Anzahl von Teilnehmern pro Zelle, etc. berücksichtigt werden. Die Mobilitätsmodelle bilden für sich einen großen Forschungsbereich und werden im Rahmen dieser Arbeit nicht detaillierter behandelt.

Das für das Beispielnetz benötigte Mobilitätsmodell wird einfach als mittlere Zellwechselrate betrachtet. Es wird angenommen, daß alle Teilnehmer dieselben Mobilitätscharakteristika aufweisen und daß die Zellwechselrate zwischen den Zellen konstant ist. In einem realen Netz sind diese Werte in der Regel von Zelle zu Zelle unterschiedlich und von Aspekten der Verbindungswege, wie z.B. Struktur des Straßennetzes und der Autobahnen, abhängig.

Eine weitere Vereinfachung des Mobilitätsmodells stellt die Anzahl der Teilnehmer pro Zelle dar. Im allgemeinen ist die Anzahl der Teilnehmer pro Zelle variabel und wird durch

Charakteristika, wie z.B. Tageszeit und Umgebungstyp (Wohnsiedlung, Stadtmitte oder unbesiedeltes Gebiet) bestimmt. In diesem Beispiel ist die Anzahl der Teilnehmer pro Zelle für alle Zellen gleich.

Die Aktualisierung des Aufenthaltsortes dient dazu, die HLR über den Aufenthalt der Teilnehmer zu informieren und damit die Verkehrslenkung ankommender Rufe zu ermöglichen. Die Aktualisierung des Aufenthaltsortes wird vom neu zugeordneten MSC gestartet. Nachdem der Vorgang abgeschlossen ist, wird das bisherige MSC aufgefordert, die Informationen über den betroffenen Teilnehmer zu löschen. In diesem Fall ist die Szenariorate eine Funktion der Anzahl von eingeschriebenen Teilnehmern und der Zellwechselrate pro Teilnehmer. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, daß alle Aktualisierungen des Aufenthaltsortes erfolgreich ablaufen.

Die Teilnehmer, die während der aktiven Phase eines Rufes den MSC-Bereich wechseln, erfordern das Weiterreichen ihrer Verbindung zum neuen MSC. Dafür muß eine Verbindung zwischen dem bisherigen MSC und dem neuen MSC aufgebaut werden. Die Rate, mit der das Szenario erzeugt wird, ist eine Funktion der Anzahl der Teilnehmer, die ein Gespräch führen, der Zellwechselrate pro Teilnehmer und der mittleren Gesprächsdauer. Die Unverfügbarkeit von Ressourcen oder der Ablauf von Zeitüberwachungsmechanismen können zum Mißerfolg des Vorgangs führen. Diese Aspekte werden in diesem Beispiel eingeschlossen und es wird angenommen, daß in 10% aller Fälle das Weiterreichen der Verbindung mißlingt. Die Verbindungen, die eine eventuell nachfolgende Weiterreichung erfordern, sind aus dem Beispiel ausgeschlossen.

#### **6.2.4 Verkehrsmatrix**

Die Verkehrsmatrix kann sogar für kleine Netze komplex sein. Die in diesem Beispiel vorgenommenen Vereinfachungen, wie z.B. Vernachlässigung des Verkehrs zwischen Mobilteilnehmern, das Mobilitätsmodell und die betrachteten Dienste, führen zu einer teilautomatisierten Generierung der Verkehrsmatrix. Die Aspekte der Szenarien eines realen Netzes können auf dieselbe Weise und mit dem entsprechenden Aufwand berücksichtigt werden.

Aufgrund der Vernachlässigung des Verkehrs zwischen Mobilteilnehmern finden die Szenarien für abgehende und ankommende Verbindungen nur zwischen den jeweiligen MSCs und dem GMSC statt. Die abgehenden Rufe werden als mittlere Verbindungsaufbauwünsche pro Teilnehmer dargestellt. Daher kann eine unterschiedliche Anzahl von Teilnehmern pro MSC betrachtet werden. Die Möglichkeit, daß nicht alle potentielle Zielteilnehmer eingeschrieben sein müssen, führt zu einem unsymmetrischen Verkehr zwischen MSCs und GMCS. Dieser Fall wird durch Subszzenarien für erfolglose Abfrage der HLR abgedeckt.

Die Verkehrsmatrixinformationen für die Aktualisierung des Aufenthaltsortes und für das Weiterreichen von Verbindungen hängen eng mit der Netztopologie zusammen und können nicht ohne Betrachtung der MSC-Anordnung erzeugt werden. Da die betrachteten Szenarien nur zwischen benachbarten MSC stattfinden, ist der Verkehr im allgemeinen unsymmetrisch. In Bild 6.8 kann aufgrund der MSC-Anordnung erkannt werden, daß die Anzahl von Nachbar-MSCs variabel ist. Das MSC "100" z.B. weist zwei Nachbar-MSCs (MSCs "120" und "130") auf, während bei anderen MSCs, wie z.B. "130" bis zu vier Nachbar-MSCs identifiziert werden können. Die Verkehrswerte werden aus der mittleren Anzahl von Teilnehmern pro Zelle und der Zellwechselrate bestimmt.

### 6.2.5 Meldungstypen und Parameter

Die benutzten Meldungen können in verbindungsbezogene und nicht verbindungsbezogene unterteilt werden. Die verbindungsbezogenen Meldungen dienen zum Auf- und Abbau von Verbindungen und werden durch die ISDN UP-Funktionen unterstützt. Die Aufgabe des Mobilitätsmanagements, das den Aufruf entfernter Prozeduren erfordert, wird mit den TCAP-Funktionen abgewickelt.

Um eine einheitliche Linie zu halten, werden in diesem Beispiel dieselben Meldungstypen und Meldungsparameter wie im ISDN-Beispiel des Abschnitts 6.1 benutzt. Die Mobilitätsmanagementprozeduren weisen unterschiedliche Komplexitätsgrade auf und daraus können verschiedene Meldungslängen entstehen. Diese Charakteristik wird hier berücksichtigt, und die TCAP-Meldungen werden in kurze und lange Meldungen unterteilt. Die Betrachtung von operationsspezifischen Meldungslängen in einem realen Netz kann problemlos unterstützt werden.

### 6.2.6 Ergebnisse

Im Beispielnetz gibt es viele Parameter, die geändert werden können und unterschiedlichen Einfluß auf das Signalisiernetz ausüben. Es wird im folgenden auf zwei Aspekte des GSM-Netzes eingegangen; zunächst werden die Mobilitätsparameter als konstant betrachtet, und die Effekte des erzeugten Rufverkehrs pro Teilnehmer werden untersucht. In einem zweiten Schritt werden die Mobilitätsparameter variiert, während der erzeugte Rufverkehr pro Teilnehmer konstant gehalten wird.

Als interessierende Dienstgüteparameter werden die Verbindungsaufbauzeit ankommender und abgehender Rufe sowie die Zeit für die Aktualisierung des Aufenthaltsortes in SP "130" und das Weiterreichen einer Verbindung zwischen SPs "130" und "120" betrachtet. Da Mobilkommunikationsnetze eine wachsende Teilnehmerzahl aufweisen, wer-

den die Ergebnisse als Funktion der Anzahl von Teilnehmern pro Zelle dargestellt. Die Analyse wird fortgesetzt bis eine Überlast in irgendeinem Netzelement auftritt.

### 6.2.6.1 Einfluß des Teilnehmerverkehrsangebotes

Die Mobilkommunikationsnetze weisen ein niedrigeres Teilnehmerverkehrsangebot als das Festnetzes auf, und diese Werte sind normalerweise von Zelle zur Zelle verschieden. In diesem Beispiel wird das Teilnehmerverkehrsangebot als mittlere Anzahl von Rufen pro Stunde betrachtet. Darüberhinaus wird angenommen, daß alle Teilnehmer des Netzes dasselbe Verkehrsangebot erzeugen und daß die Teilnehmer 2 mal pro Stunde die Zelle wechseln. Die Teilnehmerverkehrswerte sind 1.0 Rufe/Stunde, 1.5 Rufe/Stunde und 2.0 Rufe/Stunde. Die Ergebnisse für die Verbindungsaufbauzeit ankommender und abgehender Rufe in SP "130" werden in Bild 6.9 bzw. Bild 6.10 gezeigt. Die Dauer zur Aktualisierung des Aufenthaltsortes eines Teilnehmers, der sich im Bereich des SPs "130" aufhält, kann aus Bild 6.11 entnommen werden. das Weiterreichen einer Verbindung vom SP "130" zum SP "120" ist in Bild 6.12 dargestellt.

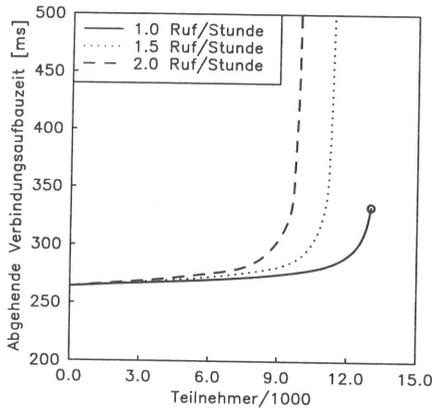


Bild 6.9: Einfluß des Verkehrsangebotes auf die abgehenden Rufe

Mit der Variation des Teilnehmerverkehrsangebotes wird der Engpaß des Signalisiernetzes verlagert. Für ein Teilnehmerverkehrsangebot von 1.0 Rufe/Stunde können circa 13000 Teilnehmer pro Zelle zugelassen werden und das überlastete Netzelement ist die HLR. Falls das Teilnehmerverkehrsangebot um 50% auf 1.5 Rufe/Stunde erhöht wird, können circa 11500 Teilnehmer pro Zelle unterstützt werden und das überlastete Netzelement ist der STP "300". Der Teilnehmerverkehrsangebot wird auf 2.0 Rufe/Stunde gesetzt und in diesem Fall können weniger als 10000 Teilnehmer einer Zelle zugewiesen werden. Der Engpaß ist im STP "300" zu finden.

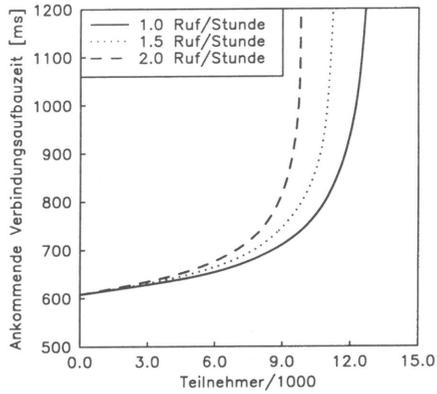


Bild 6.10: Einfluß des Verkehrsangebots auf die ankommenden Rufe

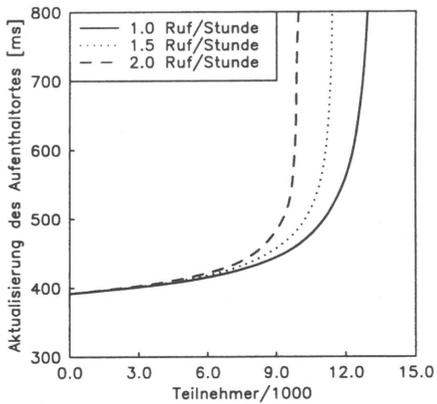


Bild 6.11: Einfluß des Verkehrsangebots auf die Aktualisierung des Aufenthaltsortes

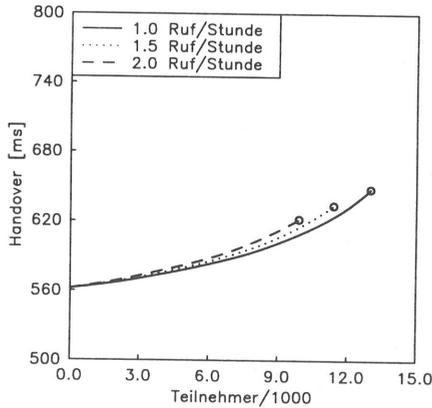


Bild 6.12: Einfluß des Verkehrsangebots auf die Verbindungsweiterreichung

Die Ergebnisse für die Verbindungsaufbauzeit abgehender Verbindungen weisen eine Besonderheit auf. Für ein Teilnehmerverkehrsangebot von 1.0 Rufe/Stunde können trotz des Netzüberlast abgehende Verbindungen weiterhin aufgebaut werden. Der Grund dafür ist, daß das überlastete Netzelement vom Szenario nicht im Annspruch genommen wird. Da das Szenario für ankommende Verbindungen die Unterstützung mehrere Netzelemente erfordert, weisen die Kurven in diesem Fall eine flachere Form auf.

Die Aktualisierung des Aufenthaltsortes im SP "130" ist im Überlastpunkt des Signalisiernetzes nicht mehr möglich. Da bei der Weiterreichung einer Verbindung vom SP "130" zum SP "120" keine überlasteten Netzelemente beteiligt sind, können trotz Signalisiernetzüberlast Verbindungen weitergereicht werden. Außerdem wird die Dienstgüte in diesem Fall von der Variation des Teilnehmerverkehrsangebots kaum beeinflusst.

### 6.2.6.2 Einfluß der Teilnehmersmobilität

Die Teilnehmersmobilität wird durch ein Mobilitätsmodell dargestellt, und diese Modelle sind für reale Netze im allgemeinen sehr komplex. In diesem Beispiel wird die Teilnehmersmobilität einfach als mittlere Zellwechselrate pro Teilnehmer modelliert. Das Teilnehmerverkehrsangebot ist für alle Teilnehmer gleich und beträgt 1.0 Rufe/Stunde. Für die Teilnehmersmobilität werden 3 Fälle unterschieden. Es wird angenommen, daß die Teilnehmer die Zelle 2, 3 bzw. 4 mal pro Stunde wechseln. Der Einfluß der Teilnehmersmobilität auf die Verbindungsaufbauzeit ankommender und abgehender Rufe im SP "130" werden in Bild 6.13 bzw. Bild 6.14 gezeigt. Die Ergebnisse für die Aktualisierung des Aufenthaltsortes eines Teilnehmers, der sich im Bereich des SPs "130" aufhält, kann

aus Bild 6.15 entnommen werden. Die Zeit für das Weiterreichen einer Verbindung vom SP "130" zum SP "120" ist in Bild 6.16 dargestellt.

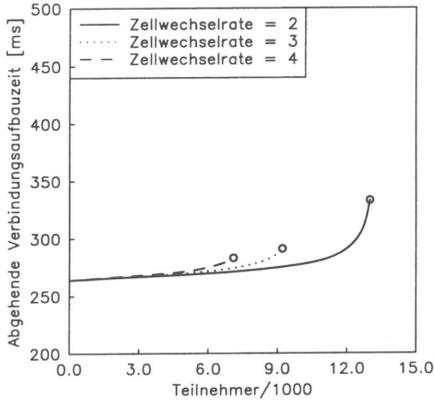


Bild 6.13: Einfluß des Mobilitätsmanagements auf die abgehenden Rufe

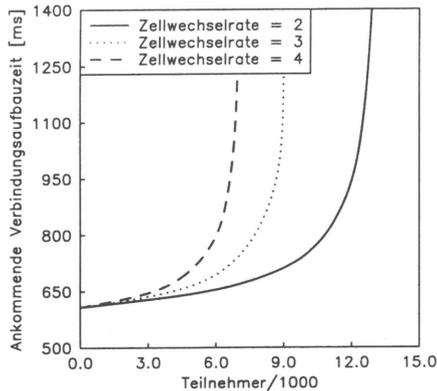


Bild 6.14: Einfluß des Mobilitätsmanagements auf die ankommenden Rufe

Die Teilnehmermobilität übt auf das Signalisieretz einen stärkeren Einfluß aus als das Teilnehmerverkehrsangebot. Diese Ergebnisse waren schon zu erwarten, da das Mobilitätsmanagement alle Teilnehmer betrifft und unabhängig von Verbindungsaufbauwünschen ist. In allen 3 Fällen befindet sich der Signalisieretzengpaß in der HLR. Dies kann als eine Folge der Zentralisierung von Funktionen in der HLR angesehen werden. Die maximale Anzahl von Teilnehmern, die im Netz zugelassen werden können, verringert sich

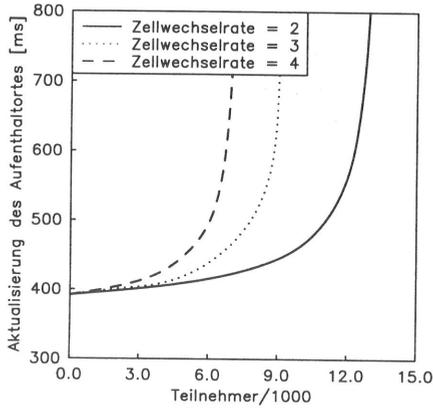


Bild 6.15: Einfluß des Mobilitätsmanagements auf die Aktualisierung des Aufenthaltsortes

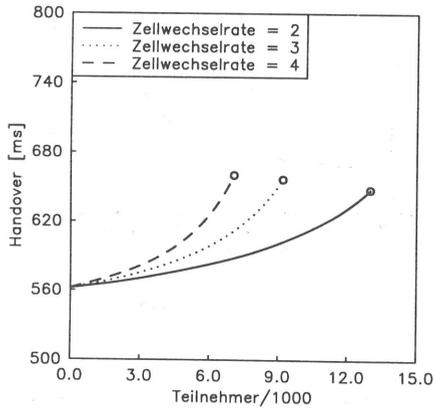


Bild 6.16: Einfluß des Mobilitätsmanagements auf die Verbindungsweiterreichung

von circa 13000 auf circa 7000 Teilnehmer bei einer Steigerung der Teilnehmermobilität von 2 Zellenwechsel/Stunde auf 4 Zellenwechseln/Stunde.

In allen 3 Fällen dürfen trotz des Netzüberlast abgehende Verbindungen weiter aufgebaut werden. Dies erklärt sich dadurch, daß die HLR-Funktionen für den Aufbau abgehender Verbindungen nicht benötigt werden. Die Verbindungsaufbauzeit ankommender Verbindungen werden aufgrund der notwendigen Abfrage der Verkehrslenkungsinformation bei der HLR von der Teilnehmermobilität beeinflusst.

Die Leistungscharakteristika für die Aktualisierung des Aufenthaltsortes im SP "130" wird durch die Variationen der Teilnehmermobilität wesentlich geprägt, da die Prozedur häufiger beansprucht wird. Das Weiterreichen einer Verbindung vom SP "130" zum SP "120" kann auch in diesem Fall weiter durchgeführt werden. Der Einfluß der Teilnehmermobilität ist hier jedoch deutlicher zu verzeichnen als für den Fall von Änderungen des Teilnehmerverkehrsangebots.

## 6.3 Beispiel IN

Ein einfaches IN-Beispiel wird im Folgenden betrachtet, um die Anwendung der IN-Modellierungsmethode sowie die Erweiterung des Signalisieretzplanungswerkzeuges auf das IN zu verdeutlichen. Das IN-Konzept befindet sich noch in der Einführungsphase und die vorhandenen auf den CCITT IN CS1 basierenden Netze sind lediglich Pilotprojekte. Daher wird hier ein hypothetisches IN-Netz mit wenigen Diensten betrachtet. Die entwickelten Konzepte können jedoch für ein reales Netz auf dieselbe Weise angewendet werden.

### 6.3.1 Netzstruktur und herstellerepezifische Architektur

Die betrachtete Topologie ist einfach und weist einen SCP, einen IP und 2 SSPs auf. Diese Netzelemente werden durch einen STP verbunden. Ein reales Netz ist wesentlich komplexer und schließt Aspekte, wie z.B. unterschiedliche Topologiestrukturen, eine größere Anzahl von SSPs, mehrere SCPs, etc., ein. Die Topologie des Beispiels kann dennoch einen Pilotversuch, wie z.B. den der Deutschen Bundespost Telekom mit einem SSP und einem SCP in Düsseldorf und einen SSP in Frankfurt am Main, darstellen.

In einem kleinen Netz werden in der Regel ausschließlich Produkte von einem einzigen Hersteller eingesetzt, um Probleme bei Netzübergängen zu vermeiden. Daher wird angenommen, daß alle Produkte des Beispielnetzes dieselbe Implementierungsarchitektur

des Signalisieretzprotokolls aufweisen. Die MTP- und SCCP-Blöcke werden in einem gemeinsamen Prozessor realisiert, während die TCAP- und die ISUP-Blöcke von isolierten Prozessoren unterstützt werden.

### 6.3.2 IN-Dienste und entsprechende Szenarien

Die Dienste, die im Beispielnetz angeboten werden, sind 130- und Kreditkartendienst. Die Dienstlogik des 130-Dienstes erfordert die Umwandlung der Rufnummer, um die Verkehrslenkungsinformation des Rufes zu bestimmen. Der Ablauf des Kreditkartendienstes ist durch die Abfrage über die passende Behandlung des Teilnehmers sowie die Überprüfung der Teilnehmeridentität gekennzeichnet. In diesem Beispiel wird im wesentlichen der erfolgreiche Dienstablauf betrachtet und Fehlerfälle, wie z.B. falsche Eingabe oder Unterbrechung des Dienstes durch den Teilnehmer, werden nicht berücksichtigt. Die vernachlässigten Fehlerfälle der Dienstlogik sind Variationen der Grundsznarien und können für ein reales Netz durch zusätzliche Szenarien dargestellt werden.

Der 130-Dienst wird durch einen Auslöser (Trigger) des BCM, der z.B. durch die Untersuchung der Rufnummer ausgelöst wird, gestartet. Die "Collected Information"-Operation wird an den SCP gesendet. Der SCP stellt fest, daß eine Umwandlung der Rufnummer notwendig ist. Diese Information wird vom SDP anhand zusätzlicher Parameter (Ursprung des Rufes oder Tageszeit) bereitgestellt. Der SCP übergibt die Verkehrslenkungsinformation an den SSP mit einer "Proceed with New Data"-Operation. Das restliche Signalisierszenario ist dasselbe wie das des ISDN. Die Dienstlogik für die hier betrachtete einfache Version des Kreditkartendienstes wurde bereits in Abschnitt 4.2.1 behandelt und wird in diesem Beispiel übernommen.

Die Netztopologie und das Modell, das aus der Betrachtung der Netztopologie und der IN-Dienste entstanden ist, wird in Bild 6.17 gezeigt. Die IN-Dienste werden durch Meldungsketten zwischen den IN-Elementen dargestellt. Der 130-Dienst entspricht der Meldungskette B bzw. D, falls der Dienst aus den SSP 100 bzw. 200 aufgerufen wurde. Der Kreditkartendienst ist wesentlich komplexer und wird auch abhängig vom Ursprungs-SSP (100 oder 200) durch die Meldungsketten A1-A4 bzw. C1-C4 berücksichtigt. Es kann festgestellt werden, daß die Darstellung aller Dienste eines realen Netzes zu einer großen Anzahl von Meldungsketten führt. Das hergeleitete Modell ist in diesem Fall ein offenes Warteschlangennetz.

Die IN-Dienste sind mit weiteren Signalisierszenarien, die zum Auf- und Abbau von Verbindungen dienen, verknüpft. Diese Signalisierszenarien tauchen beim IN-Modell nicht auf, müssen aber bei der Signalisieretzanalyse berücksichtigt werden. Die Signalisierszenarien für den Auf- und Abbau von ISDN-Verbindungen, die bei den IN-Diensten benötigt

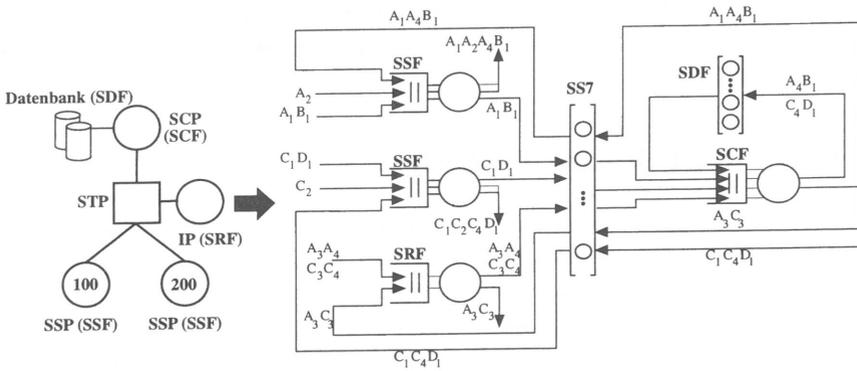


Bild 6.17: Topologie und Modell des IN-Beispielnetzes

werden, werden von Abschnitt 6.1 übernommen. Der Kreditkartendienst erfordert zusätzlich den Auf- bzw. Abbau einer ISDN-Verbindung zwischen dem Ursprungs-SSP und dem IP.

### 6.3.3 Meldungstypen und Parameter

Die Parameter für das IN-Modell werden durch die Bediencharakteristika der IN-Operationen in den IN-Elementen gegeben. In realen Netzen können diese Werte durch die Überprüfung des Steuerungsprogramms oder durch Messungen ermittelt werden. Die Durchlaufzeit der Meldungen im Signalisieretz wird durch das Signalisieretzplanungs-  
werkzeug bestimmt.

In diesem Beispiel wird angenommen, daß die Bedienzeiten der IN-Elemente hyperexponentiell verteilt sind mit Variationskoeffizient 1.25. Die mittlere Bediendauer beträgt 20 ms in den SSPs, 10 ms im SCP und 30 ms im IP. Der SDP ist im SCP integriert und der Datenbankzugriff wird durch ein Bediensystem mit unendlich vielen Bedieneinheiten, die eine mittlere Bediendauer 200 ms und einen Variationskoeffizienten 0.25 aufweisen, modelliert. Da das Signalisieretzplanungs-  
werkzeug nur erste Momente und keine Variationskoeffizienten der Durchlaufzeiten liefert, wird der Variationskoeffizient der Signalisieretzdurchlaufzeit auf 1.00 angenommen.

Die IN-Informationen werden im Signalisieretz durch TCAP-Meldungen transportiert. Die zu übertragenden Informationsmengen in den betrachteten Diensten sind im allgemeinen nicht gleich groß. Daher sind die TCAP-Meldungen des 130-Dienstes abhängig vom Komponentenanteil (INVOKE oder RESPONSE) 20 bzw. 30 Oktetts lang. Die TCAP-Meldungen des Kreditkartendienstes weisen eine Länge von 60 bzw. 70 Oktetts

auf. Um eine einheitliche Linie zu wahren, werden alle Parameter des Signalisiernetzes (Meldungslänge, Prioritätszuweisung, etc.) aus dem Beispiel des Abschnittes 6.1 übernommen.

### **6.3.4 Ergebnisse der IN-Analyse**

Ein wichtiger Aspekt der IN-Planung ist die Zusammensetzung des Dienstespektrums, d.h. die Prozentzahl der gesamten IN-Rufe, die einem Dienst zugeordnet wird. In diesem Beispiel wird zunächst angenommen, daß 20% aller IN-Rufe Kreditkartendienstrufe sind (Aufteilung 1). In einem zweiten Schritt wird diese Prozentzahl auf 50% erhöht (Aufteilung 2). Der interessierende Parameter beim 130-Dienst ist die Dauer einer Datenbankabfrage (Operation B1 bzw. D1). Im Kreditkartendienst wird die Zeitspanne aus Teilnehmersicht zwischen dem Ende der Wahl und dem Empfang der automatischen Ansage, in der der Teilnehmer aufgefordert wird, seine persönliche Kennzahl einzugeben, betrachtet. Diese Zeitspanne schließt die Operationen A1 und A3 (bzw. C1 und C3) sowie die Aufbauzeit einer ISDN-Verbindung zwischen dem Ursprungs-SSP und dem IP ein. Alle Ergebnisse werden als Funktion der gesamten IN-Ruftrate dargestellt.

#### **6.3.4.1 Verkehrsflußanalyse und die Anforderung an das Signalisiernetz**

Für die einzelnen Verkehrswerte im IN-Modell wird eine Meldungsflußanalyse durchgeführt, und die Ankunftsrate der IN-Meldungen zum Signalisiernetz wird ermittelt. Diese Meldungen werden im Signalisiernetzmodell mit dem nicht-IN Verkehr gemischt. Als nicht-IN Verkehr werden der einfache Auf- und Abbau von ISDN-Verbindungen zwischen den SSPs betrachtet. Die Ruftrate des ISDNs ist konstant und beträgt 4.0 Rufe/s. Die Ergebnisse der Signalisiernetzanalyse für die Aufteilung 1 (20% Kreditkartendienst und 80% 130-Dienst) sind in Tabelle 6.4 angegeben.

In diesem Beispiel wurde das Signalisiernetz so dimensioniert, daß es keinen Engpaß darstellt. Dies wurde absichtlich gemacht, da das Signalisiernetz im IN-Modell nicht im Mittelpunkt steht. Ein Fall, in welchem das Signalisiernetz aufgrund des IN-Verkehrs überlastet ist, kann in [7] gefunden werden.

#### **6.3.4.2 Dienstgüte der IN-Dienste**

Die Ergebnisse der Signalisiernetzanalyse werden im IN-Modell einbezogen und die Analyse des IN-Modells kann durchgeführt werden. Der Analyseansatz folgt dem des Signalisiernetzes, wobei die IN-Elemente als separate M/GI/1-Systeme analysiert werden. Die Analyse wird unterbrochen, falls ein IN-Netzelement überlastet ist.

Tabelle 6.4: Ergebnisse der Signalisiernetzanalyse für die Aufteilung 1 (in ms)

IN-Rufe/s	Signalisiernetzanalyse			
	Operation			Verbindungsaufbauzeit
	B1	A1	A3	
0.0	76.6	86.6	86.6	295.8
2.0	77.4	87.4	87.0	296.7
4.0	78.3	88.3	87.6	297.0
6.0	79.2	89.2	88.3	299.2
8.0	80.3	90.3	89.0	300.7
10.0	81.5	91.5	89.8	302.3
12.0	82.8	92.8	90.8	304.3
13.0	83.6	93.6	91.3	305.6
13.5	84.3	94.3	91.8	306.6

Die Ergebnisse für die Dauer einer Datenbankabfrage im 130-Dienst werden für die angenommenen Aufteilungen des IN-Verkehrs in Bild 6.18 dargestellt. Um die Genauigkeit der approximativen Analyse zu überprüfen, wurde auch eine Simulationsstudie durchgeführt. In Bild 6.19 werden die Ergebnisse für die Dauer bis zum Empfang der automatischen Ansage im Kreditkartendienst aus Teilnehmersicht gezeigt. Diese Ergebnisse schließen auch eine Dienstgüte des Signalisiernetzes (Verbindungsaufbauzeit zwischen SSP und IP) ein, daher wurden in diesem Fall keine Simulationsergebnisse angegeben.

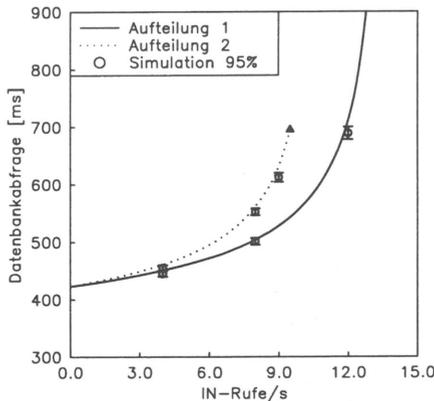


Bild 6.18: Dauer einer Datenbankabfrage im 130-Dienst

Die unterstützten Dienste weisen unterschiedliche Komplexität auf und erfordern den Austausch von unterschiedlichen Informationsmengen. Die maximale gesamte IN-Ruftrate

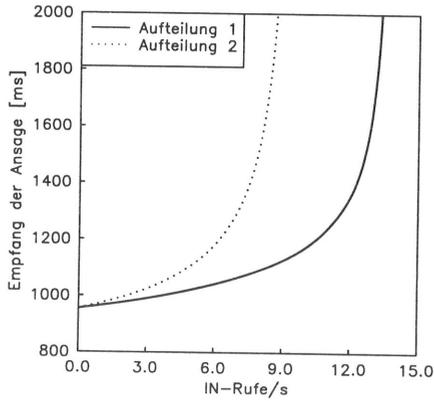


Bild 6.19: Zeit zum Empfang der automatischen Ansage im Kreditkartendienst

wird von 13.5 Rufe/s in Aufteilung 1 (20% Kreditkartendienst und 80% 130-Dienst) auf 9.5 Rufe/s in Aufteilung 2 (50% Kreditkartendienst und 50% 130-Dienst) verringert. Der Engpaß des IN-Netzes für die Aufteilung 1 ist im SCP. Die in der Aufteilung 2 implizite Erhöhung des Kreditkartendienstanteils am IN-Verkehr verändert das Lastprofil des IN-Netzes, für diesen Fall bildet der IP den Engpaß. Da die hier betrachtete Version des 130-Dienstes die IP-Merkmale nicht beansprucht, kann der 130-Dienst weiter benutzt werden, obwohl das IN-Netz für den Kreditkartendienst schon überlastet ist.

# Kapitel 7

## Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Modellierungsmethode so erweitert, daß implementierungsabhängige Charakteristika von Signalisiernetzelementen in die Modellierung einbezogen werden können. Die Berücksichtigung von Implementierungsaspekten, wie z.B. der Abbildung der funktionalen Blöcke des Signalisiernetzprotokolls auf die Hardwarestruktur sowie die Bearbeitungspriorität von Funktionen in Prozessoren, ermöglicht die Betrachtung wichtiger Leistungsgrößen von Signalisiernetzen, in denen Produkte verschiedener Hersteller angewendet werden.

Auf diese Methode wird ein Planungswerkzeugkonzept aufgebaut. Das Konzept liefert die Auslastung aller Hardware- und Softwareressourcen des Signalisiernetzes und bildet die Basis für eine hierarchische Leistungsanalyse sowie für die Entwicklung von Planungsverfahren. Damit kann bereits in der Planungsphase die Auslastung und die Dienstgüte des Signalisiernetzes für ein gegebenes Verkehrsangebot ermittelt werden. Außerdem können Engpässe und Schwachpunkte bei Ausfall von Elementen identifiziert werden.

Die Betrachtung von IN-Anwendungen erfordert die Erweiterung des Signalisiernetzmodells. Die für das IN entwickelte Methode leitet das Modell direkt aus den CCITT-Empfehlungen ab und dient als Grundlage eines IN-Planungswerkzeugs. In diesem Modell wird das Signalisiernetz zunächst in einer höheren Abstraktionsebene modelliert. Um den Signalisierverkehr von nicht-IN Anwendungen (Telefon, ISDN und Mobilkommunikation) berücksichtigen zu können, wurde eine hierarchische Dekomposition auf den Signalisiernetzteil des IN-Modells angewendet. Die Ergebnisse des Signalisiernetzplanungswerkzeugs vervollständigen das IN-Modell und eine IN-Analyse kann durchgeführt werden. Mit diesen Überlegungen wurde das IN-Planungswerkzeug als Zusatzmodul des Signalisiernetzplanungswerkzeugs integriert.

Die approximative Analyse der IN- und Signalisieretzmodelle wurde mit einem Dekompositions- und Aggregationsansatz durchgeführt. Eine Simulationsstudie der Systeme ist prinzipiell möglich, aber aufgrund der erforderlichen Rechenkapazität in den meisten Fällen nicht realisierbar. Die approximativen Ergebnisse der Analyse sind jedoch für Planungszwecke ausreichend gut. Der erarbeitete Ansatz für die Mittelwertanalyse von Prozessormodellen mit Prioritäten und beliebiger Rückkopplungsstruktur stellt über diese Arbeit hinaus ein Analysemodul dar, das auch in anderen Bereichen Anwendung gefunden hat.

Abgesehen von den quantitativen Aussagen im Kapitel 6 sowie von den dort verwendeten Eingabedaten lassen sich aufgrund der Ergebnisse einige pauschale Aussagen machen:

- Die Einführung neuer Dienste muß sorgfältig untersucht werden. Der Einfluß von neuen Diensten auf die Leistungsfähigkeit des Signalisieretztes bzw. der angebotenen Dienste kann erheblich sein.
- Die Zentralisierung von Funktionen in Netzelementen, wie z.B. in Netzdatenbanken, stellt die potentiellen Engpässe des Signalisieretztes dar. Diese zentralisierte Lösung wird allerdings in modernen Diensten, wie z.B. die der Mobilkommunikation, des ISDN oder IN noch bevorzugt.
- Die unbeschränkte Übertragung von Benutzerinformationen über das Signalisieretz kann zu Überlastsituationen führen. Solche Dienste sollten nur mit Beschränkungen angeboten werden.
- In Mobilkommunikationsnetzen wird die Last auf dem Signalisieretz durch die Mobilitätsmanagementprozeduren erhöht. Die Signalisierung, die durch die normalen Verkehrswerte der unterstützten Dienste erzeugt wird, beeinflußt die Leistung des Signalisieretztes nicht so stark wie die des Mobilitätsmanagements. Zu vermerken ist jedoch, daß die berechneten Ergebnisse sehr sensitiv gegenüber Parameteränderungen des Mobilitätsmodells sind.
- Die Informationsmenge, die zwischen IN-Vermittlungsstelle und SCP für die Steuerung der Dienstlogik ausgetauscht werden muß, ist sehr groß und hängt mit der Komplexität des Dienstes zusammen. Daher sollte insbesondere bei der Implementierung der SCF-Funktionen in höheren hierarchischen Ebenen die zusätzliche Last auf dem Signalisieretz betrachtet werden.

## 7.2 Ausblick

Eine Verfeinerung der Ergebnisse des Planungswerkzeugs könnte durch die Betrachtung von allgemeinen Ankunftsströmen in den Teilmodellen erreicht werden. In diesem Fall

ist der verwendete Lösungsweg (Momentenmethode) nicht mehr geeignet. Die exakte Analyse des komplexen Zusammenspiels zwischen den Phasen sowie die Betrachtung von Rückkopplungen für Systeme mit allgemeinen Ankunftsströmen ist beim gegenwärtigen Stand der Verkehrstheorie skeptisch zu beurteilen. Dieselben Bedenken gelten weiterhin für die Verteilungsfunktion der Durchlaufzeiten. In beiden Fällen hätten zuverlässige approximative Verfahren allerdings eine große praktische Bedeutung.

Das Modell für das IN kann verbessert werden. Eine Voraussetzung dafür ist, daß die internen Mechanismen der IN-Elemente in den CCITT-Empfehlungen für die nächste Phase des IN (IN CS 2 und 3) detaillierter beschrieben werden. In diesem Fall wäre ein Vorgehen wie in Falle des Signalisiernetzprotokolls möglich.

Obwohl die Entwicklung des Signalisiernetzes bereits abgeschlossen ist, werden besonders in den Anwenderteilen (UPs) Änderungen erwartet. Die Mobilkommunikationsnetze der nächste Generation mit hierarchischer Zellenstruktur und hoher Teilnehmerzahl erfordern neue Prozeduren für das Mobilitätsmanagement und die Lastverteilung zwischen den Zellen. Darüberhinaus wird die Tendenz zur Einbettung der Telekommunikationsnetze in das IN-Konzept deutlicher.

Weiter können technologische Fortschritte der Netztechnik, wie z.B. Breitbandkommunikationsnetze (B-ISDN), zu einer neuen Definition oder zur Umstrukturierung des Signalisiernetzprotokolls führen. In der Anfangsphase solcher Netze können Teile des bisherigen Protokolls verwendet werden, aber langfristig deuten die Anforderungen des B-ISDN auf eine neue Protokollstruktur hin. Die Signalisiernetzplanung bleibt dennoch wie bisher eine wichtige Aufgabe mit aufregendem Raum für die Forschung.

## Literaturverzeichnis

- [1] J. Akinpelu, R. Skoog, "Controlling Transients and Overloads in Common Channel Signaling Networks", *Proceedings of the 11th International Teletraffic Congress (ITC)*, Kyoto, Japan, vol. 2, sess. 5.3A, paper 5, September 1985.
- [2] E.S.P. Allard, N. Day, "Switching of Information Services in the UK Network and Evolution towards the Intelligent Network", *Proceedings of the 12th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol 1, sess. B2, paper #1, June 1990.
- [3] E. Alonso, K.S. Meier-Hellstern, G.P. Pollini, "Influence of Cell Geometry on Handover and Registration Rates in Cellular and Universal Personal Telecommunications Network", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 261-270, October 1992.
- [4] A. Alvesalo, "Cordless Access to the GSM Network", *Proceedings of the 14th International Switching Symposium*, Yokohama, Japan, vol. 1, sess. B2, paper 4, pp. 122-126, October 1992.
- [5] M.N. Antonios, C.E. Perez, "Resource Planning in Common Channel Signaling (CCS) Networks", *Proceedings of the 5th International Network Planning Symposium (NETWORKS '92)*, Kobe, Japan, sess. 13, paper 2, pp. 253-258, May 1992.
- [6] O. Avellaneda, R. Pandya, G. Brody, "Traffic Modelling of a Cellular Mobile Radio System", *Proceedings of the 11th International Teletraffic Congress (ITC)*, Kyoto, Japan, vol. 1, sess. 2.4B, paper 4, September 1985.
- [7] M. Bafutto, P.J. Kühn, G. Willmann, J. Zepf, "A Capacity and Performance Planning Tool for Signalling Networks based on CCITT Signalling System No. 7", in *Intelligent Networks - The Path to Global Networking*, (Ed. Paul W. Bayliss), IOS Press, Washington, pp. 368-379, 1992.
- [8] M. Bafutto, P.J. Kühn, "Capacity and Performance Analysis for Signalling Networks Supporting UPT", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 201-213, October 1992.

- [9] M. Bafutto, P.J. Kühn, "Modelling, Analysis, and Planning of Signalling Networks for ISDN and IN", *St. Petersburg Regional International Teletraffic Seminar - Digital Communication Network Management*, St. Petersburg, Russia, pp. 254-266, June 1993.
- [10] M. Bafutto, P.J. Kühn, "Capacity and Performance Analysis for Signalling Networks Supporting UPT", *7. GI/ITG-Fachtagung*, Aachen, Germany, pp. 239-252, September 1993.
- [11] M. Bafutto, P.J. Kühn, G. Willmann, "Modelling and Performance Analysis of Common Channel Signalling Networks", *International Journal of Electronics and Communications - Special Issue on Teletraffic Theory and Engineering in Memory of Félix Pollaczek.*, vol. 47, no. 5/6, pp. 411-419, September/November 1993.
- [12] M. Bafutto, "Modelling and Performance Evaluation of the Intelligent Network Application Protocol", *ITG-Forum - Mobile Kommunikation*, Ulm, Germany, pp. 263-276, September 1993.
- [13] M. Bafutto, "A Modelling Approach for the Intelligent Network Application Protocol", *ITC Regional Seminar - Teletraffic Challenges for Developing Countries*, Brasília, Brazil, pp. 61-70, September 1993.
- [14] M. Bafutto, P.J. Kühn, G. Willmann, "Capacity and Performance Analysis of Signalling Networks in Multivendor Environments", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.*, vol. 12, no. 3, pp. 490-500, April 1994.
- [15] M. Ballard, E. Issenmann, M. Moya-Sánchez, "Intelligent Network Application for Mobile-Radio Systems", *Proceedings of the 13th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol. 6, sess. C10, paper 7, pp. 199-204, May 1990.
- [16] L.F.B. Baptistella, M.P.L. Lobo, *RDSI Rede Digital de Servicos Integrados*, McGraw-Hill, 1990.
- [17] A. Bartolomé, T. Brea, J.A. García, "A Computer Tool for Planning and Performance Analysis of Common Channel Signaling #7 Networks", *Proceedings of the 5th International Network Planning Symposium (NETWORKS '92)*, Kobe, Japan, sess. 13, paper 3, pp. 259-264, May 1992.
- [18] F. Baskett, K.M. Chandy, R.R. Muntz, F. Palacios, "Open, Closed, and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers", *Journal of the ACM*, vol. 22, no. 2, pp. 248-260, April 1975.
- [19] K. Basu, M. Prakash, K. Raj, "Traffic Engineering and Capacity Planning of North American Cellular System", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 271-282, October 1992.

- [20] B.W. Benko, L.S. Blackmon, R.C. Cobuzzi, K. Krusinski, "AT&T Advanced Services Platform", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference & Exhibition (GLOBECOM '89)*, Dallas, USA, vol. 2, sess. 33A, paper 2, pp. 1201-1206, November 1989.
- [21] R.K. Berman, J.H. Brewster, "Perspectives on the AIN Architecture", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 2, pp. 27-32, February 1992.
- [22] P. Bocker, "*The Integrated Services Digital Network*", Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- [23] S. Bodamer, "Mittlere Durchlaufzeiten in gesättigten M/G/1-Prioritätssystemen mit Rückkopplungen", *Diplomarbeit*, Universität Stuttgart, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, 1994.
- [24] A.B. Bondi, "Performance Analysis of a Minimally Replicated Distributed Database for Universal Personal Telecommunications Service", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 131-140, October 1992.
- [25] F. Bosco, "Voice Services on the Intelligent Network: Intelligent Peripherals and Service Nodes", *CSELT Technical Reports*, vol. XX, no. 4, pp. 347-353, August 1992.
- [26] O.J. Boxma, H. Daduna, "Sojourn Times in Queueing Networks", in *Stochastic Analysis of Computer and Communication Systems*, H. Takagi (Editor), pp. 401-450, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1990.
- [27] S.M. Boyles, R.L. Corn, L.R. Moseley, "Common Channel Signaling: The Nexus of an Advanced Communication Network", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 57-63, July 1990.
- [28] G. Brody, J. Parker, J. Wasserman, "Subscriber Tracking and Locating in Personal Communications Networks", *Proceedings of the 14th International Switching Symposium*, Yokohama, Japan, vol. 1, sess. B3, paper 2, pp. 307-311, October 1992.
- [29] P. Brown, P. Chemouil, B. Delosme, "A Congestion Control Policy for Signaling Networks", *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Communication (ICCC)*, Sidney, Australia, sess. C12, paper 2, November 1984.
- [30] P. Brown, P. Chemouil, B. Delosme, "Performance Analysis of Congestion and Flow Control Procedures for Signaling Networks", *Proceedings of the 11th International Teletraffic Congress (ITC)*, Kyoto, Japan, vol. 1, sess. 2.1B, paper 3, September 1985.
- [31] R.B. Brown, C.V. Holmes, M.D. Lanoux, T.P. Marciani, "Common Channel Signaling in the AT&T U.S. 5ESS<sup>®</sup> Switch", *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 4, pp. 618-627, April 1992.

- [32] British Telecom, "CCITT Signaling System No. 7", *British Telecommunications Engineering*, vol. 7, part 1, April 1988.
- [33] M. Buttò, G. Colombo, A. Tonietti, "Delay Distribution in a Data Communication System with Error Recovery", *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC '79)*, Boston, USA, vol. 3, sess. 43, paper 8, June 1979.
- [34] E. Cancer, R. McCann, M. Aboudharam, "IN Rollout in Europe", *IEEE Communications Magazine*, vol. 31, no. 3, pp. 38-47, March 1993.
- [35] D. Carl, "Erweiterung existierender Fernsprechnetze zu Intelligenten Netzen", *Kommunikation in Verteilten Systeme (KiVS'93)*, N. Gerner, H.-G. Hegering, H. Swoboda (Editors), pp. 91-106, Technische Universität München, München, Deutschland, März 1993.
- [36] M. Cazzaniga, A. Gavarelli, A. Robrock, "Implementation of SS7: Itatel's Experience", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 84-88, July 1990.
- [37] CCITT, *Blue Book, Volume III, Fascicle III.7-III.9*, "Integrated Services Digital Network (ISDN)", Rec. I.110-I.605, International Telecommunication Union, Geneva, 1989.
- [38] CCITT, *Blue Book, Volume IV, Fascicles VI.7-VI.9*, "Specifications of Signalling System No. 7", Recommendations Q.700-Q.795, International Telecommunication Union, Geneva, 1989.
- [39] CCITT, *Blue Book, Volume IV, Fascicles VI.10-VI.11*, "Digital Subscriber Signalling System No. 1 (DSS 1)", Recommendations Q.920-Q.940, International Telecommunication Union, Geneva, 1989.
- [40] CCITT, *Blue Book, Volume VIII, Fascicle VIII.4 and VIII.5*, "Data Communications Networks: Open Systems Interconnection (OSI)", Rec. X.200-X.290, International Telecommunication Union, Geneva, 1989.
- [41] CCITT, *Recommendation Q.767*, "Specifications of Signalling System No. 7—Application of the ISDN User Part of CCITT Signalling System No. 7 for International ISDN Interconnections", International Telecommunication Union, Geneva, 1991.
- [42] CCITT, *Recommendation Q.784*, "ISUP Basic Call Test Specification", International Telecommunication Union, Geneva, 1991.
- [43] CCITT, *Recommendation Q.785*, "ISUP Protocol Test Specification for Supplementary Services", International Telecommunication Union, Geneva, 1991.
- [44] CCITT Study Group XI, Report COM XI-R 207-218, *Intelligent Network Capability Set 1 — Draft Recommendations*, Meeting Held in Geneva on 9-20 March 1992.

- [45] CCITT, *Revised Recommendations Q.771-Q.775*, "Specifications of Signalling System No. 7 — Transaction Capabilities Application Part", International Telecommunication Union, Geneva, 1992.
- [46] CCITT Study Group XI, Report COM XI-R 262, *Interworking and Mobile*, Meeting Held in Geneva from 21–25 September 1992.
- [47] A. Chalet, I.E. Skinner, "ISDN Transaction Architecture for the System 12 Digital Exchange", *Electrical Communication*, vol. 61, no. 1, pp. 50–56, 1987.
- [48] B. Chatras, C. Vernhes, "Mobile Application Part Design Principles", *Proceedings of the 12th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol 1, sess. B1, paper #2, June 1990.
- [49] S. Chau, M. Rau, W. Coyle, "Intelligent Network Routing Using CCS7 and ISDN", *IEEE Global Telecommunication Conference & Exhibition* vol. 1, pp. 1640–1644, 1990.
- [50] H.K. Cheong, "Signalling System No. 7 Link Capacity Estimation", *Proceedings of the 1st Australian Teletraffic Research Seminar*, Clayton, Australia, sess. 8, paper 3, November 1986.
- [51] P.G. Clarke, C.A. Wadsworth, "CCITT Signalling System No. 7: Signalling Connection Control Part", *British Telecommunications Engineering*, vol. 7, pp. 32–45, April 1988.
- [52] A. Cobham, "Priority Assignment in Waiting Line Problems", *Journal of the Operations Research Society of America*, vol. 2, no. 1, pp. 70–76, February 1954.
- [53] D.E. Cochran, "The Service Specific Adjunct: A Necessary Option for Network Planners", *Proceedings of the 5th International Network Planning Symposium (NETWORKS '92)*, Kobe, Japan, pp. 219–224, May 1992.
- [54] P. Collet, R. Kung, "The Intelligent Network in France", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 2, pp. 82–89, February 1992.
- [55] G. Colombo, C. Eynard, A. Gamba, L. Scapelli, "Signalling and Traffic Issues in Personal Communications", *CSELT Technical Reports*, vol. XX, no. 3, pp. 191–199, June 1992.
- [56] A.E. Conway, "Performance Modeling of Multi-Layered OSI Communication Architectures", *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications* Boston, MA, vol. 2, sess. 21, paper 1, pp. 651–657, June 1989.
- [57] A.E. Conway, "Queueing Network Modeling of Signaling System No. 7", *IEEE Global Telecommunications Conference & Exhibition (GLOBECOM '90)* San Diego, USA, vol. 1, pp. 552–558, December 1990.

- [58] A.E. Conway, "A Perspective on the Analytical Performance Evaluation of Multi-layered Communication Protocol Architectures", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 9, no. 1, pp. 4-14, January 1991.
- [59] B. Cotton, T.A. Pappas, "Effect of Service Completion Time and Network Interactions on the Acceptability of Advanced Intelligent Network Services", *Proceedings of the 14th International Switching Symposium*, Yokohama, Japan, vol. 2, sess. B7, paper 2, pp. 187-191, October 1992.
- [60] P.J. Courtois, "*Decomposability: Queuing and Computer System Applications*", Academic Press, New York, 1977.
- [61] D.C. Cox, "Wireless Network for Personal Communications", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 12, pp. 96-115, December 1992.
- [62] J.N. Daigle, C.E. Houstis, "Analysis of a Task Oriented Multipriority Queuing System" *IEEE Transactions on Communications* vol. COM-29, no. 11, pp. 1669-1677, November 1981.
- [63] C.G. Davies "CCITT Signalling System No. 7: Integrated Services Digital Network User Part", *British Telecommunications Engineering*, vol. 7, pp. 46-57, April 1988.
- [64] C. Déchaux, R. Scheller, "Was bedeutet GSM und DCS?", *Elektrisches Nachrichtenwesen*, pp. 118-127, 2. Quartal 1993.
- [65] V.G. Dedobortsh, G.P. Basharin, M.A. Zharkov, K.E. Samuilov, "Methods of Quality Parameter Analysis for Common Channel Signalling System", *Proceedings of the 3th International Seminar on Teletraffic Theory*, Moscow, Russia, paper 11, pp. 77-89, June 1984.
- [66] P. Distler, J.F. Bernard, "The Impact of Signalling System No. 7 on the Evolution of Services in the French Network", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '87)*, Tokyo, Japan, vol. 3, sess. 40, paper 4, pp. 1578-1582, November 1987.
- [67] R. Drignath, E. Speller, "German Pilot Project: IN Service Commonality", in *Intelligent Networks - The Path to Global Networking*, (Ed. Paul W. Bayliss), IOS Press, Washington, pp. 128-141, 1992.
- [68] R. Drignath, "Intelligente Netze - Grundlagen, Dienste und Standardisierung", *Kommunikation in Verteilten Systemen (KiVS'93)*, N. Gerner, H.-G. Hegering, J. Swoboda (Editors), pp. 74-90, Technische Universität München, München, Deutschland, März 1993.
- [69] J.M. Duran, J. Visser, "International Standards for Intelligent Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 2, pp. 34-42, February 1992.

- [70] M. Eburne, "Intelligent Networks", *British Telecommunications Engineering Information Program*, sess. 9.3.1, October 1992.
- [71] D.H.J. Epema, "Mean Waiting Times in a General Feedback Queueing Model with Priorities", *Performance'90*, (Editors P.J.B. King, I. Mitrani, and R.J. Pooley), North-Holland Publishing Company, Amsterdam, pp. 221-235, 1990.
- [72] F. Faraci, "The Italian Intelligent Network Specifications", *CSELT Technical Reports*, vol. XX, no. 4, pp. 337-340, August 1992.
- [73] W. Fischer, D. Stanford, "Approximations for the per-class Waiting Time and Interdeparture Time in the  $\sum GI_i/GI_i/1$  Queue", *Performance Evaluation*, vol. 14, pp. 65-78, January 1992.
- [74] D.G. Fisher, R.J. Manterfield, R. Bekaert, J. van Goethem, D.L. Thomas, "Experience in the Implementation of the CCITT No. 7 Signalling System", *Proceedings of the 4th World Telecommunication Forum*, Geneva, Switzerland, sess. 1.3, paper 3, 1983.
- [75] P.J. Fleming, B. Simon, "Interpolation Approximations of Sojourn Time Distributions", *Operations Research*, vol. 39, no. 2, pp. 251-260, March-April 1991.
- [76] B. Fontana, "Queue with Two Priorities and Feedback: Joint Queue-Length Distributions and Response Time Distribution for Specific Sequences", *Proceedings of the 10th International Teletraffic Congress (ITC-10)*, Montréal, Canada, vol. 1, sess. 4.1, paper 8, June 1983.
- [77] B. Fontana, C.D. Berzosa, "Stationary Queue-Length Distributions in a M/G/1 Queue with Two Non-Preemptive Priorities and General Feedback", in *Performance of Computer Communication Systems*, (Ed. H. Rudin and W. Bux), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 333-347, 1984.
- [78] B. Fontana, "M/G/1 Queue with Two Non-Preemptive Priorities and Feedback: Response Time Distribution for any Particular Sequence", *Proceedings of the Third International Seminar on Teletraffic Theory*, Moscow, Russia, paper 4, pp. 113-116, June 1984.
- [79] B. Fontana, C.Diaz Berzosa, "M/G/1 Queue with N-Priorities and Feedback: Joint Queue-Length Distributions and Response Time Distribution for any Particular Sequence", *Proceedings of the 11th International Teletraffic Congress (ITC-11)*, Kyoto, Japan, vol. 1, sess. 3.3A, paper 4, September 1985.
- [80] B. Fontana, M. Villén-Altamirano, G.H. Petit, "Models and Tools for Evaluating the Traffic Handling Performance of System 12 ISDN Exchanges", *Electrical Communication*, vol. 61, no. 1, pp. 104-109, 1987.
- [81] K.G. Fretten, C.G. Davies, "CCITT Signalling System No. 7: Overview", *British Telecommunications Engineering*, vol. 7, pp. 4-7, April 1988.

- [82] W. Fuhrmann, "Intelligente Vermittlungsfunktionen für Mobilkommunikationsnetze – Teil I", *NTZ Nachrichtentechnische Zeitschrift*, vol. 4, pp. 230–236, April 1990.
- [83] W. Fuhrmann, "Intelligente Vermittlungsfunktionen für Mobilkommunikationsnetze – Teil II" *NTZ Nachrichtentechnische Zeitschrift*, vol. 5, pp. 380–385, May 1990.
- [84] W. Fuhrmann, V. Brass, U. Janßen, F. Kühl, W. Roth, "Digitale Mobilkommunikationsnetze", *Kommunikation in Verteilten Systeme (KiVS'93)*, N. Gerner, H.-G. Hegering, H. Swoboda (Editors), pp. 124–181, Technische Universität München, München, Deutschland, März 1993.
- [85] M. Fujioka, H. Yagi, Y. Ikeda, "Universal Service Creation and Provision Environment for Intelligent Network", *IEEE Communications Magazine*, vol. 29, no. 1, pp. 44–51, January 1991.
- [86] Y. Fujiyama, H. Takeichi, T. Masuda, "Implementation of the Signalling System CCITT No.7 in FETEX-150 Digital Switching System", *Proceedings of the 11th International Switching Symposium*, Florence, Italy, vol. 3, sess. 31B, paper 7, May 1984.
- [87] J.J. Garrahan, P.A. Russo, K. Kitami, R. Kung, "Intelligent Network Overview", *IEEE Communications Magazine*, vol. 31, no. 3, pp. 30–36, March 1993.
- [88] B. Gobbi, A. Lazzari, G. Premoli, "MS7: A Switching Node for Common Channel Signalling Networks", *Proceedings of the 12th International Switching Symposium*, Phoenix, USA, vol. 1, sess. B2, paper 1, March 1987
- [89] R.R. Goldberg und D.C. Shrader, "Common Channel Signaling Interface for Local Exchange to Interexchange Carrier Interconnection", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 64–71, July 1990.
- [90] F.O. Gómez, M.P. Marrodán, J.S. Gil, "Methodology for Planning the Common Channel Signalling Network", *Network Planning in the 1990's*, L. Lada (Editor), pp. 293–300, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989.
- [91] H. Gottschalk, "Zeichengabetechnische Anbindung digitaler Mobilfunknetze an das Festnetz der Telekom" *ITG-Forum – Mobile Kommunikation*, Ulm, Germany, pp. 249–261, September 1993.
- [92] M. Grenzhäuser, H. Auspurg, "The Digital Mobile System D900 – A Step Towards the Telecommunication Management and Intelligent Network Architecture", *Proceedings of the 13th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol. 6, sess. C10, paper 5, pp. 187–193, May 1990.
- [93] E. Guarene, "Intelligent Network: System Aspects and International Overview", *CSELT Technical Reports*, vol. XX, no. 4, pp. 329–335, August 1992.

- [94] G. Havermans, W. Pasman, "Mobility in Private Networks", *Proceedings of the 14th International Switching Symposium*, Yokohama, Japan, vol. 1, sess. B1, paper 2, pp. 39-44, October 1992.
- [95] G. Hebuterne, "Evaluation en trafic d'une procédure de ligne: Le système de signalisation CCITT n° 7", *Annales des Télécommunications*, vol. 36, nos. 5-6, pp. 315-327, May-June 1981.
- [96] A. Heidermark, T. Halvorsen, "Signalling System Number 7 in the Nordic Countries", *Proceedings of the 12th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol 1, sess. B1, paper #3, pp. 43-48, June 1990.
- [97] R. Herschel, F. Pieper, *Systematische Darstellung von PASCAL und CONCURRENT PASCAL für den Anwender*, R. Oldenburg Verlag, 1981.
- [98] B. Hoang, D.J. Bastien, B. Lewin, "Common Channel Signaling Network Integrity Experiences from the U.S.", *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC '93)*, Geneva, Switzerland, vol. 2, pp. 644-649, May 1993.
- [99] S. Hollywood, "SCP Development in a Multi-Processor UNIX Environment", in *Intelligent Networks - The Path to Global Networking*, (Ed. Paul W. Bayliss), IOS Press, Washington, pp. 278-287, 1992.
- [100] S.S. Husain, V.M. Patruni, W.N. Shores, D.S. Stoops, H. van der Veer,, "IN Architectures", *Communications International*, vol. 18, no. 9, pp. 83-92, September 1991.
- [101] ITG, *ITG-Empfehlung 1.2-02*, "Begriffswerks des ITG-Fachausschusses 1.2", Arbeitsbericht der ITG-Fachgruppe 1.2.2 "Systemtechnik", Juni 1993.
- [102] S.K. Jain, "Intelligent Peripheral: Signaling and Protocols", *Proceedings of the 14th International Switching Symposium*, Yokohama, Japan, vol. 2, sess. B6, paper 2, pp. 117-121, October 1992.
- [103] B. Jabbari, "Common Channel Signaling System Number 7 for ISDN and Intelligent Networks", *Proceedings of the IEEE*, vol. 79, no. 2, pp. 155-169, February 1991.
- [104] B. Jabbari, "Routing and Congestion Control in Common Channel Signaling System No. 7", *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 4, pp. 607-617, April 1992.
- [105] N.K. Jaiswal, *Priority Queues*, Academic Press Inc., New York, 1968.
- [106] Y.M. Jang, J.M. Oh, S.K. Kim, J.P. Hong, "Performance Avaluation of the Intelligent Network Services with Queuing Network Analysis and Simulation", *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligence in Networks*, Bordeaux, France, pp. 60-64, March 1992.
- [107] U. Janssen, P. Brune, "The Mobile Application Part Protocol", *Proceedings of the Digital Mobile Communication Seminar*, Budapest, Hungary, October 1990.

- [108] T.W. Johnson, B. Law, P. Anius "CCITT Signalling System No. 7: Transaction Capabilities Application Part", *British Telecommunications Engineering*, vol. 7, pp. 58-65, April 1988.
- [109] P.Kahl, *ISDN – Das künftige Fernmeldnetz der Deutschen Bundespost*, R.v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1986.
- [110] L. Katzschner, "Vermittlungstechnik in digitalen Netzen", *Vorlesung an der Universität Stuttgart*
- [111] R.W. Keltgen, "Intelligent Peripherals: Interfacing Subscribers to the Advanced Intelligent Network", *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligence in Networks*, Bordeaux, France, pp. 54-59, March 1992.
- [112] K. Kitami, K. Ogawa, "Current Role and Future Evolution of the ISDN Signalling System in NTT's Network", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 78-83, July 1990.
- [113] L. Kleinrock, *Queueing Systems, Volume 2: Computer Applications*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1976.
- [114] W. Kraemer, M. Langenbach-Belz, "Approximate Formulae for the Delay in the Queueing System GI/G/1", *Proceedings of the 8th International Teletraffic Congress (ITC-8)*, Melbourne, Australia, pp. 235-1/8, 1976.
- [115] P.S. Kritzinger, "A Performance Model of the OSI Communication Architecture" *IEEE Transactions on Communications* vol. COM-34, no. 6, pp. 554-563, June 1986.
- [116] W. Krusch, "Intelligentes Netz: Entwicklung, Einsatz und Pläne aus der Sicht der Deutschen Bundespost Telekom", *Kommunikation in Verteilten Systeme (KiVS'93)*, N. Gerner, H.-G. Hegering, J. Swoboda (Editors), pp. 63-73, Technische Universität München, München, Deutschland, März 1993.
- [117] W. Krusch, *Neue Dienste im intelligenten Telefonnetz*, R.v. Decker's Verlag, Heidelberg, 1993.
- [118] P.J. Kühn, "Approximate Analysis of General Queueing Networks by Decomposition", *IEEE Transactions on Communications*, vol. COM-27, no. 1, pp. 113-126, January 1979.
- [119] P.J. Kühn, "Analysis of Switching System Control Structures by Decomposition", *Proceedings of the 9th International Teletraffic Congress (ITC)*, Torremolinos, Spain, vol. 2, sess. 52, paper 4, October 1979.
- [120] P.J. Kühn, "Wartezeitprobleme der Daten- und Nachrichtenverkehrstheorie", *Vorlesung an der Universität Stuttgart*.

- [121] P.J. Kühn, "Traffic Engineering for ISDN Design and Planning", *Traffic Engineering for ISDN Design and Planning* Ed. M. Bonatti and M. Decina, Elsevier Science Pub., pp. 43-66, 1988.
- [122] J. Lamy, J.P. Olivier, J.C. Pennanec'h, "CCS N° 7 Transfer Point", *Proceedings of the 12th International Switching Symposium*, Phoenix, USA, vol. 1, sess. B2, paper 5, March 1987
- [123] M. Langlois, B. Sembi, "DMS SuperNode: The Cornerstone of a CCS7 Network", *Telesis*, vol. 15, no. 2, pp. 16-27, 1988.
- [124] V. Lapi, P. Vapheas, J. Brana, A. Ramani, A. Gopin, D. Marutiak, "Diverse Service Architectures Using Alternate AIN Elements", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference & Exhibition (GLOBECOM '90)*, San Diego, USA, vol. 3, sess. 806, paper 2, pp. 1633-1639, December 1990.
- [125] K. Lautanala, K. Veijalainen, "Intelligent Network Architectures and Services with the DX 200 Switching System", *St. Petersburg Regional International Teletraffic Seminar - Digital Communication Network Management*, St. Petersburg, Russia, pp. 323-333, June 1993.
- [126] S.S. Lavenberg (Editor), "*Computer Performance Modeling Handbook*", Academic Press, New York, 1983.
- [127] B. Law, C.A. Wadsworth, "CCITT Signalling System No. 7: Message transfer Part", *British Telecommunications Engineering*, vol. 7, pp. 7-18, April 1988.
- [128] R.R. LeBlanc, "Intelligent Network Basic Call Model Rapid Prototype", *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC '93)*, Geneva, Switzerland, vol. 3, pp. 1543-1547, May 1993.
- [129] K.J. Lee, Y. Lim, "Performance Analysis of the Congestion Control Scheme in Signalling System No. 7", *Proceedings of the 8th IEEE Conference on Computer Communication (INFOCOM)*, Ottawa, Canada, vol. 2, sess. 7C, paper 1, pp. 691-700, April 1989.
- [130] W.C.Y. Lee, *Mobile Communications design Fundamentals*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1993.
- [131] J.D.C. Little, "A Proof for the Queuing Formula:  $L = \lambda W$ ", *Operations Research*, vol. 9, no. 3, pp. 383-387, May-June 1961.
- [132] D. MacDonald, F. Kaudel, "Risk Analysis for Improving CCS#7 Survivability", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference & Exhibition (GLOBECOM '91)*, Phoenix, USA, vol. 3, sess. 57, paper 6, pp. 2039-2043, December 1991.
- [133] A. Mann, "Der GSM-Standard", *Informatik-Spectrum*, Band 14, Heft 3, Juni 1991.

- [134] R. Manterfield, "*Common-Channel Signalling*", IEE Telecommunications Series 26, Peter Peregrinus Ltd., London, 1991.
- [135] P. Marchese, "Italian Intelligent Network Qualification", *CSELT Technical Reports*, vol. XX, no. 4, pp. 341-345, August 1992.
- [136] F.K. Marr, "Signalling System No. 7 in Corporate Networks", *IEEE Communication Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 72-77, July 1990.
- [137] K.T. Marshall, "Some Inequalities in Queueing", *Operations Research*, vol. 16, no. 3, pp. 651-665, March-June 1968.
- [138] R.L. Martin, "Future Telecommunications Services", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference & Exhibition (GLOBECOM '88)*, Hollywood, USA, vol. 2, sess. 23, paper 1, pp. 721-725, November-December 1988.
- [139] J.C. McDonald, *Fundamentals of Digital Switching*, Plenum Press, New York, 1990.
- [140] K.S. Meier-Hellstern, E. Alonso, D.R. O'Neil, "The Use of SS7 and GSM to Support High Density Personal Communications", *Proceedings of the 3th Rutgers WINLAB Workshop on Wireless Information Networks*, East Brunswick, USA, April 1992.
- [141] N. Mitra, S.D. Usiskin, "Relationship of the Signalling System No. 7 Protocol Architecture to the OSI Reference Model", *IEEE Network Magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 26-37, January 1991.
- [142] H. Miyoshi, H. Manabe, M. Makishi, J. Ishihara, C. Iwata, H. Kikushi, M. Kawakami, "Commercial Application of CCITT Signalling System No. 7 in the NEAX61", *NEC Research & Development*, no. 81, pp. 61-67, April 1986.
- [143] A.R. Modarressi, R.A. Skoog, "Performance Considerations of Signaling Networks in an ISDN Environment", *Proceedings of the Brussels Specialists Seminar on ISDN Traffic Issues*, Brussels, Belgium, sess. 3, paper 2, May 1986.
- [144] A.R. Modarressi, R.A. Skoog, "Signaling System No. 7: A Tutorial", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 19-35, July 1990.
- [145] A.R. Modarressi, R.A. Skoog, "An Overview of Signaling System No. 7", *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, no. 4, pp. 590-606, April 1992.
- [146] A. Nakamura, T. Tanaka, H. Uesaka, "SCP Architecture with Performance Flexibility", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '91)*, Phoenix, USA, vol. 2, sess. 46, paper 7, pp. 1680-1684, December 1991.
- [147] S. Nanda, "Teletraffic Models for Urban and Suburban Microcells: Cell Sizes and Handoff Rates", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 251-260, October 1992.

- [148] M. Paterok, O. Fischer, "Feedback Queues with Preemption-Distance Priorities", *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, vol. 17, no. 1, pp. 136-145, May 1989.
- [149] M. Paterok, "Warteschlangensysteme mit Rückkopplung und Prioritäten", *Arbeitsberichte des Instituts für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung*, vol. 23, no. 12, Erlangen, Germany, October 1990.
- [150] A.R. Potter, "Implementation of PCN's Using DCS1800", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 12, pp. 32-36, December 1992.
- [151] Qualcomm Technical Report EX60-10010, "An Overview of the Application of Code Division Multiple Access (CDMA) to Digital Cellular Systems and Personal Cellular Networks", May 1993.
- [152] V. Ramaswami, "Analysis of the Link Error Monitoring Protocols in the Common Channel Signaling Network", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 1, no. 1, pp. 31-47, February 1993.
- [153] M.I. Reiman, B. Simon, "An Interpolation Approximation for Queueing Systems with Poisson Input", *Operations Research*, vol. 36, no. 3, pp. 454-469, May-June 1988.
- [154] M.I. Reiman, B. Simon, J.S. Willie, "Simterpolation: A Simulation Based Interpolation Approximation for Queueing Systems", *Operations Research*, vol. 40, no. 4, pp. 706-723, July-August 1992.
- [155] C.F. Reisig, J. Chiou, S. Gill, T. Pham, K. Shimazaki, E. Murayama, T. Misu, "Evolution of the NEAX61E Towards the Intelligent Network", *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference & Exhibition (GLOBECOM '89)*, Dallas, USA, vol. 2, sess. 33A, paper 4, pp. 1212-1216, November 1989.
- [156] M. Reiser, "Interactive Modelling of Computer Systems", *IBM Systems Journal*, vol. 15, pp. 309-327, 1976.
- [157] M. Reiser, "Communication-System Models Embedded in the OSI-Reference Model, a Survey", *Computer Networking and Performance Evaluation*, T. Hasegawa, H. Takagi, Y. Takahashi (Editors), North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1986.
- [158] P.S. Richards, "Rapid Service Delivery and Customization in a Developing Network Infrastructure", *Performance Evaluation*, vol. 25, no. 10, pp. 1031-1039, May 1993.
- [159] J.D. Rietz, H. Giertz, "CCITT Signalling System No. 7 in AXE 10", *Ericsson Review*, vol. 59, no. 2, pp. 100-105, 1982.
- [160] T.G. Robertazzi, *Computer Networks and Systems: Queueing Theory and Performance Evaluation*, Springer-Verlag, Berlin, 1990.

- [161] R.B. Robrock, "The Intelligent Network — Changing the Face of Telecommunications", *Proceedings of the IEEE*, vol. 79, no. 1, pp. 7–20, January 1991.
- [162] D.M. Rouse, R.J. Spires, R.E. Wallace, "The Number 2 Signal Transfer Point: An Overview of the AT&T Common Channel Signaling Packet Switch", *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Communications (ICCC)*, P.J. Kühn (Editor), Munich, Germany, sess. B7, paper 4, pp. 370–374, September 1986.
- [163] M. Rumsewicz, "Transient Analysis of the Effects of SS7 Message Discard Schemes on Call Completion Rates During Overload", *Proceedings of the 7th Australian Teletraffic Research Seminar*, Mannum, Australia, pp. 85–96, November 1992.
- [164] P.A. Russo, K. Bechard, E. Brooks, R.L. Corn, R. Gove, W.L. Honig, J. Young, "IN Rollout in the United States", *IEEE Communications Magazine*, vol. 31, no. 3, pp. 56–63, March 1993.
- [165] H. Saito, K. Kawashima, "Resource Management in Advanced Intelligent Networks and its Application to Mobile Communications Services", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 75–84, October 1992.
- [166] F. Salm, D. Gerads, "Exploring Intelligent Network Control of Active Calls on a CO Switch", *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC '93)*, Geneva, Switzerland, vol. 3, pp. 1558–1562, May 1993.
- [167] H. Samada, A. Nakajima, K. Yamamoto, S. Suzuki "Signalling Protocols Using Mobile Application Part for Call Control in the Digital Mobile Network", *IEEE Global Telecommunication Conference & Exhibition*, San Diego, USA, vol. 1, pp. 1569–1573, December 1990.
- [168] B. Samadi, W.S. Wong, "Optimization Techniques for Location Area Partitioning", *Proceedings of the 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Telecommunication*, Santa Margherita Ligure (Genova), Italy, pp. 141–148, October 1992.
- [169] I.M. Sancho, R.C. Gallego, "Signalling Network Planning: A Pragmatic Approach in the Spanish Telecommunication Network", *Network Planning in the 1990's*, L. Lada (Editor), pp. 307–312, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989.
- [170] M. Schwartz, *Telecommunication Networks Protocols, Modeling and Analysis*, Addison Wesley Publishing Company, 1987.
- [171] L. Schwartz, "A Personal Communications Services Prototype Using the Advance Intelligent Network Services", *Proceedings of the 14th International Switching Symposium*, Yokohama, Japan, vol. 1, sess. B3, paper 1, pp. 302–306, October 1992.
- [172] K. Schulz, H. Kaufer, B. Heilig, "The Deutsche Bundespost Telekom Implements IN", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 2, pp. 90–95, February 1992.

- [173] T. Shimogaki, T. Murase, T. Misu, K. Nishimura, T. Pham, P. Brammer, "Development of Intelligent Network System", *NEC Research & Development*, vol. 34, no. 1, pp. 109-121, January 1993.
- [174] N. Shroff, C.M. Chen, M.Y. Lai, D. Saxena, "Modeling the Impact of Software Faults in CCS Networks", *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC '93)*, Geneva, Switzerland, vol. 3, pp. 1531-1535, May 1993.
- [175] B. Simon, "Priority Queues with Feedback", *Journal of the ACM*, vol. 31, no. 1, pp. 134-149, January 1984.
- [176] R.A. Skoog, "Performance and Engineering of Common Channel Signaling Networks Supporting ISDN", *Traffic Engineering for ISDN Design and Planning*, M. Bonatti, M. Decina, (Editors), pp. 415-424, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1988.
- [177] R.A. Skoog, "Engineering Common Channel Signaling Networks for ISDN", *Traffic Science for New Cost-Effective Systems, Networks and Services, Part 2 (ITC-12)*, M. Bonatti (Editor), pp. 915-921, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989.
- [178] R.A. Skoog, "Study of Clustered Arrival Processes and Signaling Link Delays", *Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change (ITC-13)*, A. Jensen, V.B. Iversen, (Editors), pp. 61-66, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1991.
- [179] D.C. Smith, "Maximizing the Value of Intelligent Network Development", *Proceedings of the International Conference on Communications (ICC '91)*, Denver, USA, vol. 2, sess. 40, paper 4, pp. 1293-1296, June 1991.
- [180] E. Souza e Silva, R.R. Muntz, "Queueing Networks: Solutions and Applications", in *Stochastic Analysis of Computer and Communication Systems*, H. Takagi (Editor), pp. 319-399, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1990.
- [181] E. Speller, "IN Betriebsversuch, Lösungen und Implementierung", *Kommunikation in Verteilten Systeme (KiVS'93)*, N. Gerner, H.-G. Hegering, H. Swoboda (Editors), pp. 107-123, Technische Universität München, München, Deutschland, März 1993.
- [182] K. Sriram, W. Whitt, "Characterizing Superposition Arrival Processes in Packet Multiplexers for Voice and Data", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC-4, no. 4, pp. 833-846, April 1986.
- [183] D. Stanford, W. Fischer, "The Interdeparture-Time Distribution for each Class in the  $\sum M_i/G_i/1$  Queue", *Queueing Systems*, vol. 4, pp. 177-190, 1989.
- [184] A. Stoll, G. Wenzel, "Realization of Signalling System No. 7 in an ISDN", *Proceedings of the 11th International Switching Symposium*, Florence, Italy, vol. 3, sess. 31B, paper 4, May 1984.

- [185] S. Suzuki, "IN Rollout in Japan", *IEEE Communications Magazine*, vol. 31, no. 3, pp. 48-55, March 1993.
- [186] A.A. Syed, "Intelligent Networks Transaction Processing Nodes (TPN)", in *Intelligent Networks - The Path to Global Networking*, (Ed. Paul W. Bayliss), IOS Press, Washington, pp. 256-267, 1992.
- [187] H. Takagi, *Queueing Analysis - A Foundation of Performance Evaluation, Volume 1: Vacation and Priority Systems, Part 1*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1991.
- [188] A.S. Tannenbaum, *Computer Networks (2nd Edition)*, Prentice Hall International, 1987.
- [189] Y.C. Tay, "Issues in Modelling Locking Performance", in *Stochastic Analysis of Computer and Communication Systems*, H. Takagi (Editor), pp. 631-655, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1990.
- [190] D.-W. Tcha, H.-J. Kim, S.-G. Chang, Y.H. Lee, "An Interactive Common Channel Signalling Network Planning System (SINEPS)", *Teletraffic and Datatraffic Socio-Economic Aspects (ITC-13)*, A. Jansen, V.B. Iversen, (Editor), Elsevier Science Publishers B.V., pp. 445-450, Amsterdam, 1992.
- [191] W.H.W. Tuttlebee, "Cordless Personal Communications", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 12, pp. 42-53, December 1992.
- [192] P.K. Verma, *ISDN Systems Architecture, Technology and Applications*, Prentice Hall International, 1990.
- [193] M. Villén Altamirano, G.M. Andres, "Traffic Analysis of a Class of Distributed SPC Systems", *Proceedings of the 9th International Teletraffic Congress (ITC)*, Torremolinos, Spain, vol. 2, sess. 52, paper 4, October 1979.
- [194] M. Villén Altamirano, B. Fontana, "Models to Evaluate Response Times in Single-Processor Systems and their Application to a Multiprocessor System", *Teletraffic Science for New Cost-Effective Systems, Networks and Services, Part 1 (ITC-12)*, M. Bonatti (Editor), pp. 402-411, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989.
- [195] A.J. Viterbi, R. Padovani, "Implications of Mobile Cellular CDMA", *IEEE Communications Magazine*, vol. 30, no. 12, pp. 38-41, December 1992.
- [196] G. Wachholz, "Euro-ISDN - Die europäische Version des ISDN der Telekom", *Der Fernmelde Ingenieur*, 47. Jahrgang, Heft 11, pp. 17-31, November 1993.
- [197] Y. Watanabe, Y. Ikeda, "Traffic Characteristics of PCR Method for CCITT Signalling System No. 7", *Proceedings of the 10th International Teletraffic Congress (ITC)*, Montréal, Canada, vol. 1, sess. 3.3, paper 3, June 1983.

- [198] V. Werbus, A. Veloso, A. Villanueva, "DECT - Mobilität in drahtlosen Nebenstellenanlage", *Elektrisches Nachrichtenwesen*, pp. 172-180, 2. Quartal 1993.
- [199] W. Whitt, "The Queueing Network Analyser", *The Bell System Technical Journal*, vol. 62, no. 9, pp. 2779-2815, November 1983.
- [200] W. Whitt, "Performance of the Queueing Network Analyser", *The Bell System Technical Journal*, vol. 62, no. 9, pp. 2817-2843, November 1983.
- [201] G. Willmann, "Protokolle des Signalisiersystems CCITT Nr.7: Message Transfer Part (MTP)", *ISDN Hochschulkolleg*, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1988.
- [202] G. Willmann, "Protokolle des Signalisiersystems CCITT Nr.7: Signalling Connection Control Part (SCCP)", *ISDN Hochschulkolleg*, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1988.
- [203] G. Willmann, "Protokolle des Signalisiersystems CCITT Nr.7: Integrated Service Digital Network User Part (ISDN-UP)", *ISDN Hochschulkolleg*, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, 1988.
- [204] G. Willmann, "Modeling and Performance Evaluation of Multi-Layered Signalling Networks Based on the CCITT No.7 Specification", *North-Holland Studies in Telecommunication, Vol. 12: Teletraffic Science for New Cost-Effective Systems, Networks and Services*, Ed. M. Bonatti, Amsterdam, pp. 930-940, 1989.
- [205] G. Willmann und P.J. Kühn, "Performance Modeling of Signaling System No. 7", *IEEE Communications Magazine*, vol. 28, no. 7, pp. 44-56, July 1990.
- [206] G. Willmann, "Modellierung und Leistungsanalyse von Zentralkanal-signalisier-netze auf der Basis des Signalisiersystems Nr. 7", *Bericht über verkehrstheoretische Arbeit*, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart, in Vorbereitung.
- [207] M. Wizgall, W. Weiss, W. Stier, "ISDN Approach for Mobile Radio", *Proceedings of the 13th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol. 6, sess. C10, paper 1, pp. 161-167, May 1990.
- [208] R.W. Wolff, "Poisson Arrivals See Time Averages", *Operations Research*, vol. 30, no. 2, pp. 223-231, March-April 1982.
- [209] R.W. Wolff, "*Stochastic Modeling and the Theory of Queues*", Prentice-Hall International Inc., London, 1989.
- [210] T. Yoshida, N. Terashima, "A Conceptual Study of a Voice Conversation Facility in Intelligent NW Voice Mail", *Proceedings of the 12th International Switching Symposium*, Stockholm, Sweden, vol 1, sess. B2, paper #3, June 1990.

- [211] J. Zepf, G. Willmann, G. Rufa, "Transient Analysis of Congestion and Flow Control Mechanisms in Common Channel Signalling Networks", *Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change (ITC-13)*, A. Jensen, V.B. Iversen, (Editors), pp. 413-419, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1991.

