

**Modelle zur Realisierung offener Dienste
in zellularen Mobilfunknetzen
nach dem GSM-Standard**

Anforderungsanalyse, Spezifikation und Leistungsbewertung

Eckhard Geulen

AACHENER BEITRÄGE ZUR MOBIL- UND TELEKOMMUNIKATION

Herausgeber:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Bernhard Walke

Geulen, Eckhard:

Modelle zur Realisierung offener Dienste in zellularen Mobilfunknetzen nach dem GSM-Standard -
Anforderungsanalyse, Spezifikation und Leistungsbewertung

1. Auflage Aachen:

Verlag der Augustinus Buchhandlung im Besitz des Verlags Mainz, 1998

(Aachener Beiträge zur Mobil- und Telekommunikation, Band 16)

ISBN 3-86073-625-6

© beim Verlag

Verlag der Augustinus Buchhandlung im Besitz des Verlags Mainz

Süsterfeldstr. 83, 52072 Aachen

Telefon: 0241 / 2 39 48 oder 0241 / 87 34 34

Fax: 0241 / 87 55 77

Herstellung: Druckerei Mainz GmbH,

Süsterfeldstr. 83, 52072 Aachen

Tel. 0241 / 87 34 34; Fax: 0241 / 87 55 77

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

"D 82 (Diss. RWTH Aachen)"

Zusammenfassung

Zellulare Mobilfunknetze gemäß dem GSM-Standard¹ des ETSI² bieten eine wohldefinierte Menge an Diensten. Darunter finden sich Trägerdienste genauso wie Zusatzdienste. In ihrer Phase 2 stellen die GSM Spezifikationen jedoch keine Möglichkeit zur Verfügung, betreiberspezifische Dienste in einer Art und Weise zu implementieren, daß sie innerhalb des gesamten GSM Versorgungsbereichs verwendbar sind. Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic (CAMEL) ist ein in der Phase 2+ definiertes Konzept, das die Realisierung betreiberspezifischer Dienste ermöglicht. Es erlaubt jedoch nicht die Dienstbringung durch Drittanbieter, ist also nur für die geschlossene Dienstbereitstellung geeignet.

In dieser Arbeit werden zwei Konzepte zur offenen Dienstbereitstellung entwickelt, eines basierend auf dem CAMEL-Mechanismus, das andere unter Ausnutzung des Unstructured Supplementary Service Data Prozesses (USSD). Beide erlauben die netzunabhängige Dienstbereitstellung genauso wie die Erbringung von Diensten von außerhalb der Grenzen des Heimatnetzbetreibers. Eine umfassende Menge an Diensten wird mit Implementierungsvorschlägen für ein, zum Teil auch für beide Konzepte vorgestellt.

Beide Dienstbereitstellungskonzepte werden anhand von verkehrstheoretischen Modellen durch analytische Leistungsbewertung beurteilt. Diese Bewertung untersucht die Verzögerungen in Funk- und Festnetzteil des GSM. Der Vergleich der Ergebnisse der Leistungsbewertung zeigt, daß das CAMEL-basierte Konzept zur offenen Dienstbereitstellung dem auf USSD aufbauenden überlegen ist. Dieser Schluß fußt auf dem Vergleich der zusätzlichen Verbindungsaufbauverzögerung bei verbindungsgebundenen Diensten bzw. von Dienstausführungszeiten für einen nicht verbindungsgebundenen Dienst.

1. Global System for Mobile Communication, vgl. [GSM01.02]
2. European Telecommunication Standardization Institute, vgl. [ETSI]

Abstract

Cellular mobile networks according to ETSI's³ GSM⁴-Standard offer a well defined set of services. These include bearer as well as supplementary services. In its phase 2 the GSM specifications do, however, not provide any means to implement operator specific services in a way that they are available throughout the GSM service area. Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic (CAMEL) is a concept defined within Phase 2+ which allows to realize operator specific services. It does not cater for service provisioning by third parties and is thus only ready for encapsulated service provisioning.

This thesis develops two open service provisioning concepts, one of them based on the CAMEL-mechanism the other using the Unstructured Supplementary Service Data Process (USSD). They both allow for network independent service provisioning as well as for the provisioning of services from outside the boundaries of the home network operator. A comprehensive set of services is presented together with implementation options for one, partly both of the concepts.

Both service provisioning concepts are measured by means of traffic models using analytical performance evaluation. This evaluation does deeply investigate the delays encountered in the radio- and network switching subsystem of the GSM network. The comparison of the results obtained from the evaluation shows that the CAMEL-based concept for open service provisioning is superior to the one being based on USSD. This conclusion is drawn from comparing the additional post dialling delays of call-related services as well as the service execution times for a non call-related service.

3. European Telecommunication Standardization Institute, compare [ETSI]

4. Global System for Mobile Communication, compare [GSM01.02]

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract	iii
Inhaltsverzeichnis	v
1. Kapitel	
Einführung	1
1.1 Warum offene Dienstbereitstellung?	3
1.2 Gliederung der Arbeit	4
1.3 Die Sprache	5
2. Kapitel	
Grundlagen	7
2.1 Telekommunikations-Standardisierung im ETSI	7
2.1.1 Phasen im GSM-Standard	9
2.1.2 Umstrukturierung des ETSI 1996	9
2.2 Das zellulare GSM	10
2.2.1 Protokolle und Schnittstellen	12
2.2.1.1 Signalisierung im Netz- und Vermittlungsteilsystem	12
2.2.1.2 Signalisierung im Base Station Subsystem (BSS)	14
2.2.1.3 Zusammenfassung	15
2.3 Der Dienstbegriff in der Telekommunikation	16
2.3.1 Definitionen	16
2.3.2 Abgrenzung der Telekommunikationsdienste	18
2.3.3 Dienste gemäß dem Standard der Intelligenten Netze (IN)	19
2.3.4 Die Rolle der Signalisierung für die Dienstbereitstellung	23
2.4 Verkehrstheoretische Grundlagen	24
2.4.1 Allgemeingültige Aussagen	24
2.4.2 Die Poisson-Verteilung	25
2.4.3 Kendall'sche Notation	28
2.4.4 Mathematische Beschreibungen spezieller Systeme	29
3. Kapitel	
Dienstbereitstellung in GSM Netzen	31
3.1 Offene Dienstbereitstellung - Definition und Anforderungen	31
3.2 Potentielle Dienstbereitstellungskomponenten im GSM	32
3.2.1 USSD	32
3.2.1.1 USSD Anwendung	32
3.2.1.2 Der USSD Handler	34
3.2.1.3 Struktur einer USSD-Sequenz	35
3.2.1.4 USSD Dialoge	37
3.2.1.5 Informations- und Nachrichtenflußdiagramme für USSD Operationen	38
3.2.1.6 USSD basierte Dienste	44
3.2.2 CAMEL	46
3.2.2.1 Grundsätze des CAMEL-Mechanismus	46
3.2.2.2 Zeitrahmen und Einführung	47
3.2.2.3 CAMEL Architektur	48

3.2.2.4	Das CAMEL Basic Call State Model (BCSM)	50
3.2.2.5	Implementierungsdetails der CAMEL Phase 1	53
3.2.3	Dienstunterstützung durch das SIM	58
3.3	Anbietung betreiberspezifischer Dienste mittels proprietärer Lösungen	60
4. Kapitel		
	Die erweiterten Dienstbereitstellungsmodelle	65
4.1	Das CAMEL-basierte erweiterte Dienstbereitstellungsmodell	66
4.1.1	Einführung eines Drittanbieters	67
4.1.2	Anschluß der CAMEL Dienstumgebung an einen BSC	68
4.1.3	Die erweiterte Heimatdatei	69
4.2	Das USSD basierte erweiterte Dienstbereitstellungsmodell	71
4.2.1	Beschränkungen des Standard-USSD	71
4.2.2	USSD-Nachrichten Sortierer	72
4.2.3	Blättern durch USSD-Nachrichten	72
4.2.4	Verbindung zwischen den Dateien des GSM und einer USSD-Anwendung	73
4.2.5	Triggern einer USSD-Anwendung zu bestimmten Anrufzuständen	73
4.2.6	USSD als Protokoll-Container	75
4.2.7	Verfügbarkeit von USSD basierten Diensten	75
4.3	Dienste für die erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte	77
4.3.1	Universelle Nachrichtenablage	77
4.3.2	Ortsabhängige Dienste (OAD)	79
4.3.2.1	Ortsabhängige Dienste mittels des CAMEL-basierten EDBK	79
4.3.2.2	Ortsabhängige Dienste mittels des USSD-basierten EDBK	80
4.3.3	Anruffilter für eingehende Anrufe (AfeA)	82
4.3.4	Privater Numerierungsplan	87
4.3.4.1	Privater Numerierungsplan mittels des CAMEL-basierten EDBK	87
4.3.4.2	Privater Numerierungsplan mittels des USSD-basierten EDBK	88
4.3.5	Anrufverteiler	89
4.3.6	Anrufprotokoll	91
4.3.7	Vorausbezahlte Telefonkarte für GSM-Endgeräte (VTK)	92
4.3.7.1	Vorausbezahlte Telefonkarte mittels des CAMEL-basierten EDBK	93
4.3.7.2	Vorausbezahlte Telefonkarte mittels des USSD-basierten EDBK	93
4.3.8	Tarifgebiet-Information	94
5. Kapitel		
	Leistungsbewertung	97
5.1	Grundlagen der Leistungsbewertung von Telekommunikationsdiensten	97
5.1.1	Leistungsbewertung der erweiterten Dienstbereitstellungsmodelle	99
5.1.2	Leistungsmerkmale aus Benutzersicht	99
5.1.3	Leistungsmerkmale aus Betreibersicht	99
5.1.4	Leistungsmerkmale aus Sicht des Diensteanbieters	100
5.2	Das analytische Modell und Leistungsbewertung des USSD-Mechanismus	101
5.2.1	Grundlegende Annahmen	101
5.2.2	Netzstrukturmodell	102
5.2.3	Benutzermodell	104
5.2.4	Modell der Luftschnittstelle	106
5.2.4.1	Struktur der GSM Luftschnittstelle	106

5.2.4.2	Die Schicht 2 Verzögerung / Das LAPDm Protokoll	110
5.2.4.3	Verzögerungszeiten für Kanalinstantiierungen	117
5.2.5	Knotenmodelle	131
5.2.5.1	Nachrichtenübermittlungsverzögerung im Signalling Transfer Point (STP)	133
5.2.5.2	Knotendurchgangszeit im Signalling Point (SP)	139
5.2.6	Weitere Modellparameter	140
5.2.6.1	Das Base Station Subsystem (BSS)	140
5.2.6.2	Leitungsmodell	140
5.2.6.3	Prozessorlast	141
5.3	Werkzeuge und Meßdaten	142
5.3.1	Das Analyseprogramm	142
5.3.2	Messungen	142
5.3.3	Modellierungsgrenzen und Toleranzen	143
5.4	Leistungsdaten für das erweiterte Dienstbereitstellungskonzept auf Basis des USSD-Mechanismus	144
5.4.1	Dialogaufbauzeiten	144
5.4.1.1	Dialogaufbau bei nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialogen	144
5.4.1.2	Dialogaufbau bei verbindungsgebundenen USSD-Dialogen	147
5.4.2	Antwortverzögerung während eines USSD-Dialogs	148
5.4.3	Dialogdauer im nicht verbindungsgebundenen Fall	149
5.4.4	Datendurchsatz der USSD-Dialoge	151
5.4.5	Leistungsbewertung USSD-basierter Dienste	152
5.4.5.1	Absolute Dienstausführungszeiten	153
5.4.5.2	Anstieg der Knoten- und Verbindungslast	156
5.5	Leistungsdaten für das erweiterte Dienstbereitstellungskonzept auf Basis des CAMEL-Mechanismus	159
5.5.1	Prozessorlastfälle beim Modell der erweiterten Heimatdatei	160
5.5.2	Verweilzeiten in der erweiterten Heimatdatei	161
5.5.3	Dienstlogikverzögerung	162
5.6	Gegenüberstellung der Resultate	165
6. Kapitel		
Zusammenfassung		169
Anhang A - Formale Spezifikation des CAMEL Mechanismus		171
Anhang B - Simulationsergebnisse zu Kapitel 5.2.4.3.2		181
Anhang C - Zur Berechnung von Abbildung 88 und Abbildung 89		183
Abkürzungsverzeichnis		187
Abbildungsverzeichnis		191
Verzeichnis der Tabellen		195
Stichwortverzeichnis		197
Literaturverzeichnis		201
Nachwort		207

1. Kapitel

Einführung

Die Telekommunikation im ausgehenden zwanzigsten Jahrhundert steht vor einem Paradigmenwechsel. Immer öfter sind die limitierenden Faktoren für neue Entwicklungen nicht mehr in der technologischen Machbarkeit, sondern in der wirtschaftlichen Vermarktbarkeit und der sozialen Akzeptanz zu suchen. Es ist in der Telekommunikation derzeit kein weiterer Quantensprung in der technischen Entwicklung absehbar, wie ihn etwa die Einführung des digitalen zellularen Mobilfunks darstellte. Es geht heute vielmehr darum, bestehende Übertragungs- und Vermittlungssysteme zu verbessern und sinnvoll zu kombinieren sowie neue Dienste zu entwickeln.

Gliedert man die Telekommunikation in die vier Komponenten Technologien, Plattformen, Systeme und Dienste, so werden sich also die Investitionen zunehmend in Richtung der Systeme und vor allem der Dienste bewegen. Sowohl Monopole, als auch eine starke Standardisierung sorgten über lange Zeit für ein wenig differenziertes Dienstangebot. Die Deregulierung in der Telekommunikationswelt, d.h. die Öffnung des Marktes für private Anbieter, wird die Bedeutung des Dienstesegments weiter stärken. Auf der Dienstebene sind noch lange nicht alle die Möglichkeiten erschöpft, die durch die bereits verfügbaren Technologien, Plattformen und Systeme eröffnet sind; gezielte Verbesserungen der Systeme zur offenen Dienstbereitstellung vergrößern z.B. das Potential weiter. Es ist also zu erwarten, daß zukünftig ein Großteil der ökonomischen Gewinne im Bereich der Dienste gemacht werden wird. Dies wird auch wirtschaftliche Konsequenzen haben. Es ist zu erwarten, daß eine Verlagerung des Gewinnpotentials weg von Herstellern von Telekommunikationsanlagen und Netzbetreibern hin zu Dienst Anbietern stattfinden wird. Wie

intensiv und wie ideenreich Netzbetreiber sich selber in die Rolle des Dienst-anbieters begeben wird einen nicht unwesentlichen Teil ihres zukünftigen Erfolgs ausmachen.

Eine wichtige Bedingung der Dienstevorherrschaft sind evolutionäre Plattformen und Systeme, d.h. solche Installationen, die eine veränderte Dienstestruktur alleine durch Laden neuer Programme erlauben. Die Dienste selber werden zwar zum Hauptwachstumsträger werden, sind aber nicht selber Zielgebiet der Forschung. Es müssen vielmehr Ansätze ins Auge gefaßt und mit wissenschaftlichen Methoden untersucht werden, die die Voraussetzungen für die effiziente Dienstbereitstellung schaffen. In dem richtungweisenden Report "Global Multimedia Mobility" des ETSI [GMM97] wird folgerichtig eine Standardisierung von Basisfunktionen für die Dienstleistung ("service capabilities") als Ablösung der bislang üblichen Standardisierung einzelner Dienste gefordert.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der offenen Dienstbereitstellung in GSM Netzen. Auf Basis realer Migrationsmechanismen werden Modelle zur Unterstützung einer offenen Dienstbereitstellung entworfen und untersucht. Diese Modelle basieren wesentlich auf dem vom ETSI verfolgten Ansatz zur Unterstützung betreiberspezifischer Dienste - *Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic* (CAMEL) und der schon in Phase 1 des GSM in einer Grundform spezifizierten Prozedur *Unstructured Supplementary Service Data* (USSD). Die damit erzielte Kompatibilität der hier entwickelten und vorgestellten Konzepte mit der von der Standardisierung vorgegebenen Netzarchitektur bringt es mit sich, daß die Relevanz des Ansatzes für eine tatsächliche spätere Berücksichtigung in der Implementierungsphase als sehr hoch anzusehen ist.

Bei der Erarbeitung der vorgenannten Ziele wurde auf eine geschlossene Darstellung mehrerer neuer Telekommunikationsdienste Wert gelegt. Eine solche Übersicht findet sich bislang in der Literatur nicht. Sie bietet eine relevante Basis für weitere Dienstbereitstellungsuntersuchungen wie sie beispielsweise im Bereich der Sprachdienste über paketdatenorientierte Netze von Interesse werden wird.

1.1 Warum offene Dienstbereitstellung?

Unter den technischen Disziplinen nimmt die Telekommunikation in öffentlichen Netzen eine Sonderstellung ein. Anders als bei üblichen Problemstellungen ist die systemweite Standardisierung bei der Telekommunikation eine zwingende Voraussetzung und gleichzeitig eine äußerst weitreichende Forderung. So meint *systemweit* beispielsweise im Falle des öffentlichen leitungsvermittelten Telefonnetzes *weltweit*. Die besondere Schwierigkeit liegt in der großen Anzahl Beteiligter, die jeweils andere Vorstellungen, Möglichkeiten und Präferenzen bzgl. der Netzimplementierung haben. Das Ergebnis von Standardisierungsaktivitäten ist oft nicht mehr als die Schnittmenge der einzelnen Anforderungen.

Ein weiterer spezifischer Faktor der Telekommunikationsnetze in diesem Kontext ist die stark beschränkte Modifizierbarkeit. Wegen der enormen Ausdehnung der öffentlichen Netze können bei Änderungen niemals alle Teile gleichzeitig erneuert werden. Dadurch verbieten sich grundsätzliche Neuerungen wie z.B. eine grundlegende Änderung von Übermittlungstechnik oder Netzarchitektur. Ferner sind nur solche Modifikationen zulässig, die bei ihrer Einbringung den Betrieb nicht signifikant stören. Dieses Merkmal ist unter dem Begriff Aufwärts-Kompatibilität (*upward compatibility*) bekannt und liegt auch der in Phasen gegliederten Einführung des GSM zugrunde.

Der schwerwiegendste negative Effekt dieser Tatsachen ist das Fehlen von Protokollelementen für die Implementierung neuer Dienste. Der potentielle Bedarf an solchen Diensten wächst ständig, das Angebot folgt bislang jedoch nur langsam. Obschon der Druck von Seiten des Marktes oft die Weiterentwicklung vorantreibt, treten im Fall von Telekommunikationsnetzen negative Folgen auf. Es werden Dienste auf Plattformen implementiert, die dafür nicht vorgesehen waren. Dies wird entweder durch zweckentfremdeten Einsatz von Standardbausteinen oder die Einführung herstellerspezifischer Lösungen jenseits der Standards bewerkstelligt.

Die drei "großen" Protokolle des Signalisiersystems SS.7 bzw. der Architektur der Intelligenten Netze ISUP⁵, MAP⁶ und INAP⁷ sind allesamt spezifisch geblieben. So ist der ISUP nur für Festnetze konzipiert, der MAP stellt eine Erweiterung für Mobilnetze dar, schränkt aber den Betrieb, besonders hin-

5. ISDN User Part, vgl. [ITU-T Q.761]ff

6. Mobile Application Part, vgl. [GSM09.02]

7. Intelligent Networks Application Part, vgl. [INAP374-1]

sichtlich von Mehrwertdiensten stark ein. INAP schließlich trägt zwar dem Gedanken der Ausbaufähigkeit Rechnung, unterstützt aber seinerseits in der vorliegenden Form (ITU-T CS-1 bzw. ETSI Core-INAP) keine Mobilnetz-Anwendungen.

1.2 Gliederung der Arbeit

Im 2. Kapitel der Arbeit werden relevante Grundlagen für die Arbeit erläutert. Dazu zählen die Beschreibung des für die Standardisierung des GSM Netzes maßgeblichen Gremiums ETSI, eine kurz gehaltene Darstellung des GSM, die Definition einiger Begriffe aus dem Bereich Dienstbereitstellung in Telekommunikationsnetzen und letztlich die Herleitung wesentlicher verkehrstheoretischer Grundlagen.

Das 3. Kapitel leitet die Anforderungen an ein erweitertes Dienstbereitstellungskonzept (EDBK) her, um dann die bereits existierenden bzw. in der Standardisierung befindlichen Migrationsmechanismen zur Weiterentwicklung bestehender bzw. Einführung neuer Dienste im GSM vorzustellen. Abschließend wird abgrenzend ein Beispiel proprietärer Dienstbereitstellung für Mobilfunkdienste vorgestellt.

Aus diesem Status quo werden sodann im 4. Kapitel die Modelle zur offenen Dienstbereitstellung entwickelt. Eine darauf folgende umfassende Darstellung neuartiger Dienstklassen inklusive der Erarbeitung von Implementierungsvarianten für beide erweiterte Dienstbereitstellungskonzepte rundet das Kapitel ab.

Zur Validierung der gefundenen Ansätze folgt im 5. Kapitel eine quantitative Analyse der offenen Dienstbereitstellung in GSM Netzen. Dem geht eine aufwendige Modellbildung voraus, innerhalb derer detaillierte Betrachtungen zu den einzelnen Dienstbereitstellungsmechanismen zu einer allgemeingültigen mathematischen Beschreibung der relevanten Teile des GSM synthetisiert werden. Die offenen Dienstbereitstellungsmodelle erlauben zum Teil eine Dienstaktivierung bei jedem Anrufaufbau, weswegen innerhalb der Leistungsbewertung insbesondere die massenhafte Instantiierung von Dienstinstanzen in einem GSM Netz betrachtet wird.

Das 6. Kapitel enthält schließlich eine wertende Zusammenfassung aller erarbeiteten Ergebnisse und gibt einen Ausblick auf die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten der Dienstbereitstellung in Mobilfunknetzen.

1.3 Die Sprache

Zum Geleit sei kurz auf die Herausforderung einer deutschsprachigen Arbeit im Bereich Mobilfunk eingegangen. Heute⁸ hat sich in der Fachliteratur zur Mobilkommunikation weitgehend die englische Sprache durchgesetzt. Das führt so weit, daß für einzelne englische Begriffe keine eindeutigen deutschen Synonyme mehr definiert sind, was wiederum zu Mißverständnissen in deutschsprachigen Texten führen kann. Ein englischer Ausgangsbegriff läßt oft zwei oder mehr deutsche Übersetzungen zu. Zwar könnte man gemäß der *Maxime Variatio Delectat*⁹ versuchen, die Lesbarkeit eines Textes durch die Wahl wechselnder Begriffe zu erhöhen, doch führt die Überschneidung mit der Begrifflichkeit "benachbarter" Ausdrücke schnell zu einer ungewollten Sinnveränderung.

Die oft simpel erscheinende Übersetzung englischer Fachausdrücke ist mitunter anspruchsvoll. So ist z.B. die Übersetzung des englischen *control* durch das phonetisch verwandte deutsch *Kontrolle* irreführend¹⁰. Die Tatsache, daß man sich de facto auf eine Weltsprache geeinigt hat, ist zwar erfreulich, daß aber "schlechtes Englisch" zum Quasi-Standard erhoben wurde ist zumindest bedauerlich. In gleicher Weise unerfreulich ist aber die Durchsetzung deutscher Texte mit Anglizismen¹¹, besonders dann, wenn eine eindeutige Übersetzung ins Deutsche möglich ist, wie z.B. im Fall *Interface*, deutsch *Schnittstelle*.

In der vorliegenden Arbeit wurde darauf Wert gelegt, daß so weit wie möglich deutsche Begriffe Verwendung finden. Um aber die Lesbarkeit und die Verbreitung der erarbeiteten Ergebnisse nicht einzuschränken, werden Fachbegriffe sowie die zu ihnen gehörenden Abkürzungen zumeist im englischen Original verwandt. Diese haben über die Jahre ihrer Verwendung auch im deutschen Sprachraum eine so starke Eindynamik entwickelt, daß die Einführung neu besetzter deutscher Begriffe nach Durchsicht verworfen wurde.

8. 1998

9. in Anlehnung an das griechische μεταβολη παντων γλυχυ [Euripides]

10. Die richtige Übersetzung ist *Steuerung*.

11. Hier sei ohne weiteren Kommentar auf eine im Jahre 1990 erschienene Glosse in der Wochenzeitung "Die Zeit" mit dem Titel "Gefiled, Gesaved, Geprinted" verwiesen, die neben dem o.g. Mißstand die schon damals beginnende Unsitte deutscher Konjugation und Deklination englischer Wörter anprangerte.

2. Kapitel

Grundlagen

2.1 Telekommunikations-Standardisierung im ETSI

Das European Telecommunication Standardisation Institute (ETSI) ist verantwortlich für die Erstellung der Spezifikationen für das zellulare GSM Mobilfunknetz. Im Jahre 1982 begann die GSM Standardisierung im ETSI. Das technische Komitee (Technical Committee, TC) SMG (Special Mobile Group) befaßt sich mit der

- Entwicklung und Betreuung der Standards zum paneuropäischen digitalen zellularen Telekommunikationssystem, das im 900 MHz-Band arbeitet sowie der GSM 1800¹² genannten Variante dieses Systems, das bei 1800 MHz arbeitet.
- Erarbeitung und Definition aller Aspekte des Universellen mobilen Telekommunikationssystems (Universal Mobile Telecommunication System, UMTS) der dritten Generation in seiner von TC-RES (s.u.) definierten Form zur Unterstützung der Studien eines globalen Mobilfunksystems mit dem Namen FPLMTS¹³

Viermal im Jahr werden Vollversammlungen (plenaries) abgehalten. Unterhalb der TC-SMG-Ebene arbeiten neun verschiedene technische Unterkomitees (Sub Technical Committee, STC). Die Arbeitsaufteilung kann der folgenden Abbildung 1 entnommen werden.

Die Arbeit wurde bis 1996 im wesentlichen unterstützt von den ETSI-Projektteams PT12 und PT64. Die ETSI-Standards, die sich auf die GSM-Standardisierung beziehen tragen zusätzlich zur offiziellen ETSI-Numerierung (ETS

12. Die Bezeichnung "DCS 1800" wurde Ende 1997 offiziell in "GSM 1800" geändert.

13. Future Public Land Mobile Telecommunication System, heute IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000), vgl <http://www.itu.int/imt/>

300 xxx für ETSI-Standards) eine von TC-SMG vergebene Nummer.

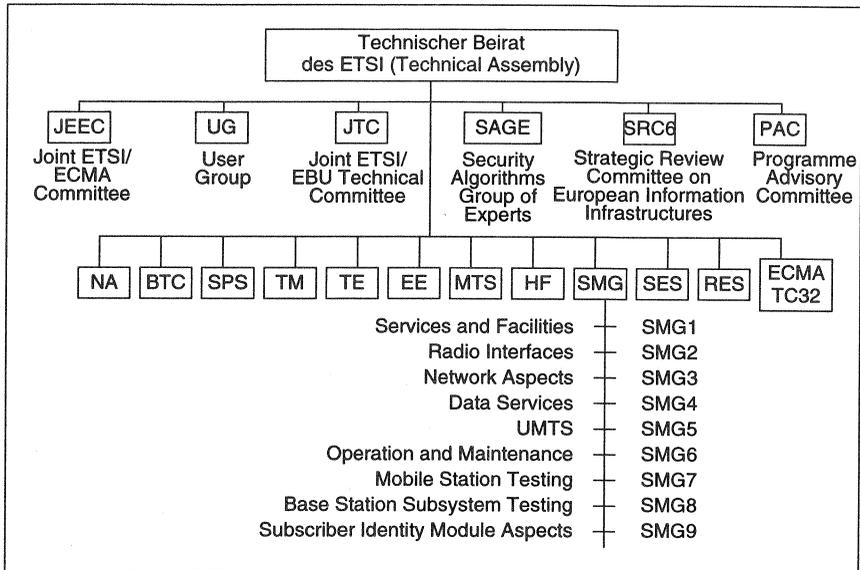


Abbildung 1: Struktur des ETSI vor der Reorganisation 1996

Den TC-SMG Nummern liegt folgendes Ordnungskriterium zugrunde:

Serie Titel

- 00 Präambel (Preamble)
- 01 Generelle Betrachtungen (General)
- 02 Dienstaspekte (Service Aspects)
- 03 Netzaspekte (Network Aspects)
- 04 MS-BSS (Luft-)Schnittstelle & Protokolle (MS-BSS (Air-)Interface & Protocols)
- 05 Physikalische Schicht auf dem Funkkanal (Physical Layer on the Radio path)
- 06 Sprachcodierung (Speech coding)
- 07 Endgeräte-Adapter für die Mobilstation (Terminal adaptors for MS)
- 08 BSS-MSC (A-)Schnittstelle (BSS-MSC (A-)Interface)
- 09 Zusammenarbeit mit anderen Netzen (Network Interworking)
- 10 Zusammenarbeit verschiedener Dienste (Service Interworking) (diese Serie ist leer)
- 11 Geräte und Typenzertifizierung (Equipment and Type Approval)
- 12 Betrieb und Wartung (Service and Maintenance)

2.1.1 Phasen im GSM-Standard

Wegen des großen Standardisierungsaufwands und der erwarteten Einföhrungsdauer für solch ein System wurde der GSM-Standard in verschiedene Phasen eingeteilt. Zwischen den einzelnen Phasen besteht aber ein Kompatibilitätszwang, d.h. daß ein Netz mit Komponenten, die gemäß Standards verschiedener Phasen hergestellt wurden einwandfrei arbeiten muß. Dies gilt insbesondere für die Endgeräte, da der Benutzer sein Endgerät immer ohne Modifikationen gebrauchen können soll.

Die GSM Phase 1 wurde 1991, Phase 2 im Jahre 1994 abgeschlossen. Dies bedeutet, daß keine Erweiterungen zu den bestehenden Standards der Phasen 1 und 2 mehr berücksichtigt werden. Änderungen sind nur dann möglich, wenn Fehler in den bestehenden Standards zu Tage treten.

Die Phase 2+ ist nicht als eine geschlossene Einheit zu verstehen, sondern vielmehr als eine kontinuierliche Entwicklung der GSM-Funktionalität. Bei der SMG Vollversammlung SMG#16 wurden die ersten Phase 2+ Spezifikationen verabschiedet.

Inwieweit die Systeme der Hersteller den von ETSI erarbeiteten Standards entsprechen wird im allgemeinen durch eine Entsprechungsdarstellung (Statement of Compliance, SoC) in den Verträgen zwischen Hersteller und Netzbetreiber festgeschrieben.

2.1.2 Umstrukturierung des ETSI 1996

Das ETSI ist im Jahre 1996 umstrukturiert worden. Die Tatsache, daß nur der halbjährlich tagende technische Beirat Beschlußvollmacht besaß machte die gesamte Arbeit bis dato recht schwerfällig. Nun ist ein sogenanntes *board* mit 32 Mitgliedern installiert, daß eine wesentlich vereinfachte Verabschiedung von Standards und technischen Reporten erlaubt.

2.2 Das zellulare GSM

In der Einleitung wurde hervorgehoben, daß ein evolutionäres, d.h. erweiterbares Systemkonzept für heutige Telekommunikationsnetze unerlässlich ist, um sich mittelfristig am Markt behaupten zu können. Die Standardisierung des GSM Systems begann jedoch in einer Zeit, als diese Denkweise noch nicht vorherrschend war. Demzufolge ist das GSM in seinen Entwicklungs-Phasen 1 und 2 in sich weitgehend abgeschlossen. Hierbei unterscheidet sich die Phase 2 von ihrem Vorgänger im wesentlichen durch ein umfangreicheres Angebot an Diensten, meistens sogenannten Zusatzdiensten (supplementary services).

Es wurden einige Vorkehrungen getroffen, um antizipierte technische Neuerungen in späteren Jahren leichter integrieren zu können. Dazu zählen indirekte, *weiche* Vorkehrungen, wie z.B. die Trennung zwischen Diensten und Übertragungsleistung oder eine logische, modulare Netzarchitektur genauso wie direkte, *harte* Vorkehrungen: So wurden die für die Einführung sogenannter half-rate-codecs nötigen Rahmenbedingungen ebenso geschaffen, wie die Vorkehrungen zur Betreibung des GSM auf anderen Frequenzen als 900 MHz (nämlich 1800 und 1900 MHz) [MouPau95]. Ferner wurden Fehlercodes definiert für solche Fälle, in denen Netzknoten oder Endgeräte uninterpretierbare Nachrichten erhalten, wie sie beispielsweise von neu eingeführten Funktionen verschickt werden können. Solange aber nur unmittelbar vorhersehbaren Neuerungen in der Systemauslegung Rechnung getragen wird bzw. eine generische Fehlerbehandlung bereitgestellt wird, ist die Grenze der Erweiterbarkeit eines Netzes stets schnell erreicht; unvorhergesehene Änderungen bzw. Einzellösungen einiger Betreiber können unter Umständen gar nicht integriert werden.

Es existieren verschiedene gute Darstellungen des GSM-Systems und es wird ferner davon ausgegangen, daß der Leser dieser Arbeit über Kenntnisse dieses Standards verfügt (bzw. die vorgenannten Quellen kennt und nutzt)¹⁴. Es handelt sich um ein sehr komplexes Telekommunikationsnetz, das zudem im mikroskopischen Bereich einem ständigen Wandel unterliegt. Erschöpfende Kenntnis aller momentan gültigen Details erlangt man wohl nur durch persönliche Anwesenheit und Mitarbeit bei den relevanten Standardisierungstreffen des technischen Komitees SMG. Die folgende Abbildung 2 soll im wesentli-

14. vgl. z.B. [MouPau92], [GSM01.02] sowie alle weiteren GSM-Standards

chen mit den häufig genutzten Abkürzungen und ihren deutschen Bedeutungen (jeweils in Klammern angegeben) vertraut machen und dient als Referenzdarstellung innerhalb dieser Arbeit.

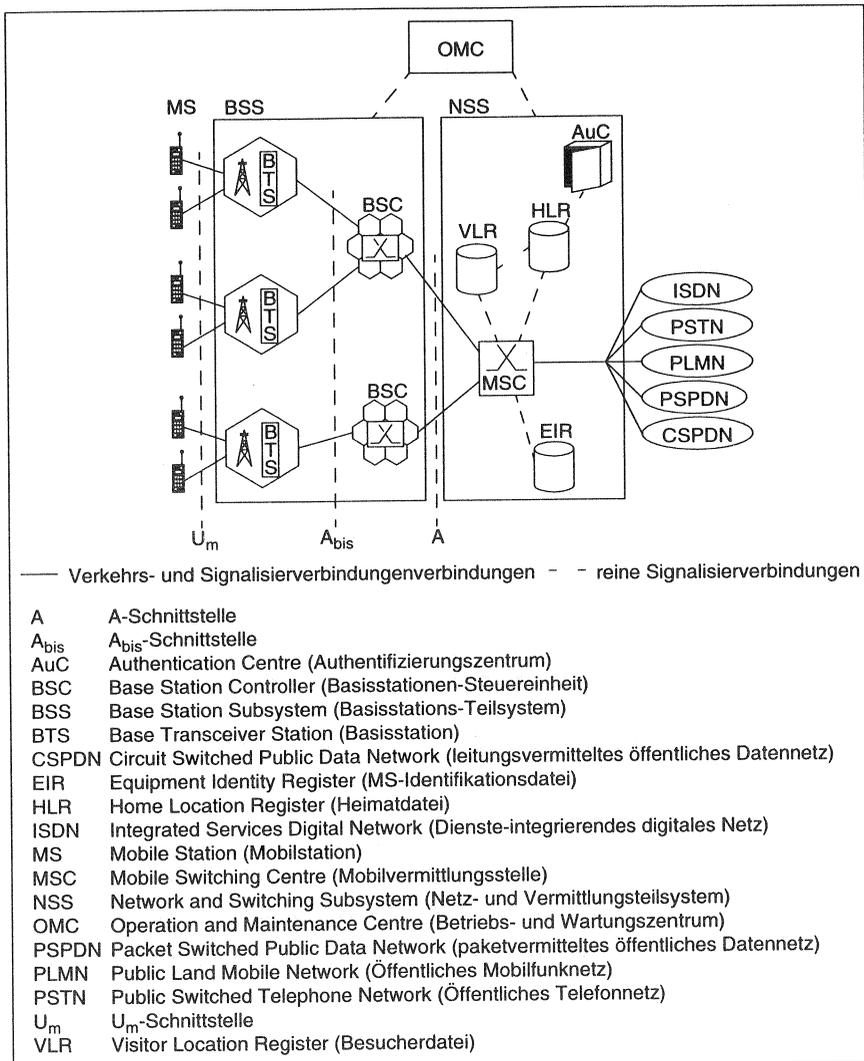


Abbildung 2: GSM Netzarchitektur

Letztlich sei ein wesentliches Konzept des zellularen GSM Mobilfunksystems -auch aus Gründen der Sprachvereinheitlichung- hier kurz erwähnt, da es im Verlaufe der Arbeit einen besonderen Stellenwert einnimmt: mit **Roaming** bezeichnet man das freie "Umherziehen" (so die wörtliche Übersetzung) eines Teilnehmers über die Grenzen des Heimatnetzes hinaus. Technisch ist diese Möglichkeit zwischen allen GSM-konformen Netzen möglich. Wegen der damit verbundenen ökonomischen Faktoren sind für die Freischaltung dieses Merkmals sogenannte Roaming-Abkommen zwischen den betreffenden Netzbetreibern erforderlich.

2.2.1 Protokolle und Schnittstellen

Etwas genauer soll auf die Signalisierung innerhalb des GSM Systems eingegangen werden, da diese Grundlage im Verlauf der Arbeit wiederholt benutzt wird.

2.2.1.1 Signalisierung im Netz- und Vermittlungsteilsystem

Basis der Signalisierung im Network Switching Subsystem (NSS) des GSM ist ein Zentralzeichengabesystem, das Signalisiersystem Nummer 7 (SS.7). Dieses erlaubt die Verwendung nicht verbindungsgebundener Signalisierung über einen gemeinsamen Signalisierkanal (common signalling channel). Das SS.7 unterstützt die Ausführung der folgenden Aufgaben:

- Steuerung und Überwachung aller Signalisiervorgänge
- Transport der Signalisiernachrichten von Knoten zu Knoten

Es unterstützt dabei nicht nur die direkt verbindungsbezogenen Operationen, sondern wird ebenso für die Signalisierung zwischen Netzknoten verwandt. Ein modularer Aufbau in den höheren Schichten garantiert weiterhin die Interaktionsfähigkeit verschiedener Netztypen durch sogenannte Benutzerteile (user parts). Das auf dem dienste-integrierenden digitalen Netz (ISDN) aufbauende GSM benutzt den ISDN User Part (ISUP). Ein Gateway-MSC (GMSC) implementiert darüber hinaus weitere Benutzerteile, um mit anderen Netzen interagieren zu können. Abbildung 3 verdeutlicht den prinzipiellen Aufbau des SS.7 Protokollstapels mit den zugehörigen User Parts (UPs).

Der Message Transfer Part (MTP) besteht aus den drei in Abbildung 3 dargestellten Teilen, die im einzelnen die folgenden Aufgaben erfüllen:

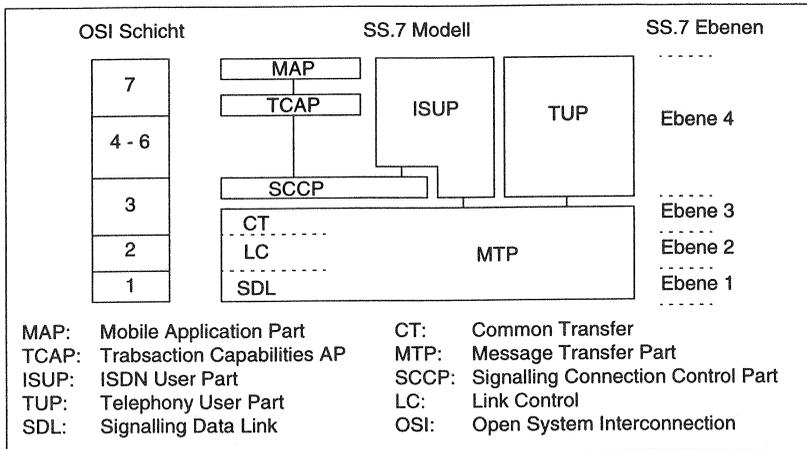


Abbildung 3: SS.7 Protokollstapel

- MTP Ebene 1, Signalling Data Link (SDL, Signalisierdaten Verbindung) stellt die physikalische Übertragungsschicht dar und ist zur OSI-Schicht 1 konform.
- MTP Ebene 2, Link Control (LC, Verbindungssteuerung) stellt eine gesicherte Signalisierverbindung zwischen zwei benachbarten Signalling Points (Zeichengabepunkten) mit Fehlererkennung, Fehlerbehebung und Flußsteuerung zur Verfügung und entspricht damit der OSI Schicht 2.
- MTP Ebene 3, Common Transfer (CT, Gemeinsame Übertragung) erfüllt Teile der Aufgaben der OSI Schicht 3. Dazu gehören das richtige Leiten von Nachrichten und die Verteilung der eingehenden Nachrichten an den entsprechenden Benutzerteil des Protokollstapels.

Der Signalling Connection Control Part (SCCP, Steuerteil für die Signalverbindung) erbringt zusätzliche Dienste, wie sie beispielsweise für die Datenkommunikation mit Datenbanken benötigt werden. Der MTP war von seiner Anlage her ausschließlich für Sprachkommunikation ausgerüstet. Zu diesen Funktionen gehört die Umsetzung netzspezifischer Adressen in global signifikante "global titles" sowie die Unterstützung sowohl verbindungsorientierter wie verbindungsloser Dienste¹⁵. Als solcher ist der SCCP ein wichtiger Bestandteil des GSM Protokollstapels, da der Transaction Capabilities Application Part (TCAP) nicht direkt mit dem MTP kommunizieren kann.

15. Der Begriff Dienst ist hier im Sinne einer Diensterbringung für den jeweiligen User Part gemeint.

Um an die spezifischen Gegebenheiten eines Telekommunikationsnetzes anpaßbar zu sein, verfügt der SS.7 Protokollstapel über verschiedene Benutzerteile. Der ISDN Benutzerteil (ISUP) stellt die Träger- und Zusatzdienste des ISDN zur Verfügung und kann sowohl SCCP, als auch MTP direkt benutzen. TCAP und MAP (Mobile Application Part) bilden zusammen das Schicht 7 Protokoll im GSM. Der TCAP dient im wesentlichen der besseren Unterstützung der vielfältigen Datenbankanwendungen¹⁶ und ermöglicht ferner den Aufruf von Prozeduren in anderen Knoten ("Remote Procedure Call", RPC). Der MAP stellt alle mobilitätsbezogenen Protokollelemente zur Verfügung. Auf diese wird im Verlaufe der Arbeit mehrfach eingegangen.

2.2.1.2 Signalisierung im Base Station Subsystem (BSS)

Das aus Base Transceiver Station (BTS) und Base Station Controller (BSC) bestehende Base Station Subsystem (BSS) ist verantwortlich für die gesamte Signalisierung auf dem Funkkanal. Abbildung 4 zeigt die in BSS und MSC verwendeten Protokolle.

Auf der A-Schnittstelle wird der BSS Application Part (BSSAP) genutzt, der drei verschiedene Nachrichtentypen versenden und empfangen kann:

- Der Direct Transfer Application Part (DTAP, Anwendungsteil für Direktübertragungen) hat seinen Namen aufgrund der Tatsache, daß er den direkten Nachrichtenaustausch zwischen MS und MSC erlaubt. DTAP-Nachrichten 'tunneln' transparent durch das gesamte BSS.
- Spezielle Nachrichten zum Betrieb des BSS (BSSMAP - base station system management application part) und
- Initiale MS-Nachrichten werden von der MS generiert, wenn sie Operationen durchführen, die einen Datenaustausch mit einer der Datenbanken des GSM erzwingen (dazu gehört beispielsweise die Erneuerung der Ortsinformation)

Die A_{bis}-Schnittstelle nutzt als physikalisches Medium eine PCM-Verbindung und in der Verbindungsschicht die Link Access Procedure für D-Kanäle (LAPD) anstelle des SS.7 MTP Ebene 2, wie es über die A-Schnittstelle genutzt wird.

16. Zwischen HLR, VLR, AuC, EIR (vgl. Abbildung 2).

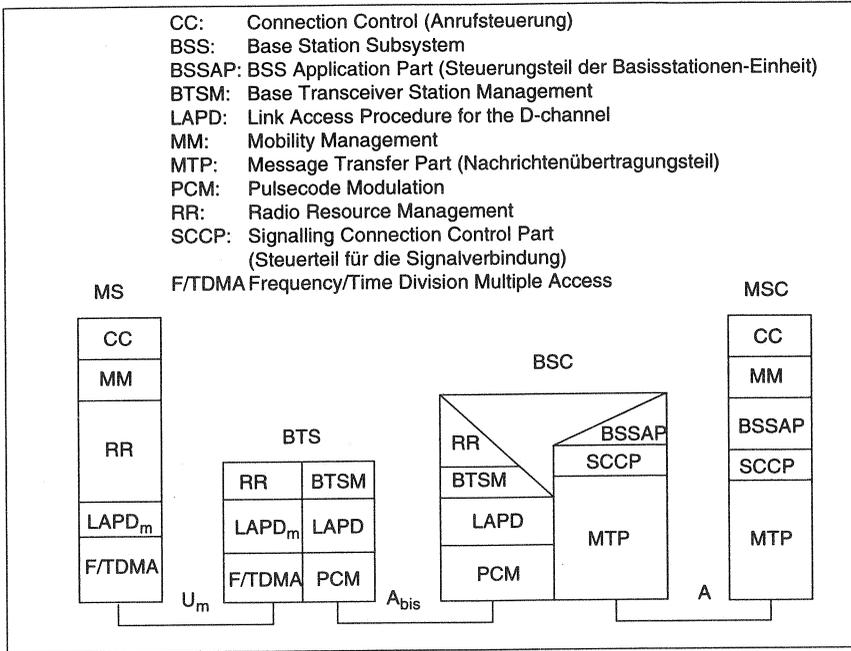


Abbildung 4: Protokolle in BSS und MSC

2.2.1.3 Zusammenfassung

Abbildung 5 faßt abschließend alle genannten Signalisierprotokolle innerhalb des GSM zusammen.

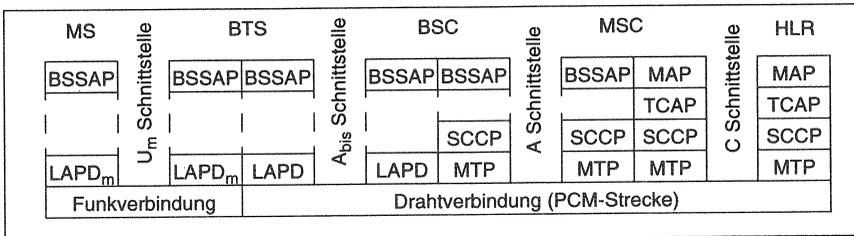


Abbildung 5: Die verschiedenen Protokolle des GSM

2.3 Der Dienstbegriff in der Telekommunikation

2.3.1 Definitionen

Unter einem Telekommunikationsdienst wird in der vorliegenden Arbeit (wenn nicht explizit anders dargestellt) immer ein Anwenderdienst verstanden, ein Merkmal des Netzes also, für das der Benutzer explizit oder implizit eine Gebührenbelastung als gerechtfertigt ansieht (vgl. dazu auch [Reilly96]).

Im Sinne einer einheitlichen Nomenklatur seien hier kurz einige im Zusammenhang mit Telekommunikationsdiensten wichtige Begriffe definiert. Ferner werden sie ihren englischen Synonymen zugeordnet.

- **Diensteinführung** (“Service Deployment”) meint die Installation des fertig entwickelten Dienstes in den Netzinstanzen des Telekommunikationsnetzes. Mit der Diensteinführung kann die Benutzung durch die Teilnehmer erfolgen.
- **Dienstbereitstellung** (“Service Provisioning”) beschreibt die Bereitstellung eines Telekommunikationsdienstes in der Form, daß entweder alle Benutzer eines speziellen Netzes oder solche, die ein spezielles Abkommen mit dem Diensterbringer haben, den Dienst nutzen können
- **Dienstregistrierung** (“Service Registration”) legt fest, welche Dienste einem bestimmten Benutzer zugänglich sein sollen. Nur die zuvor registrierten Dienste können später aktiviert und ausgeführt werden.
- Mit **Dienstprogrammierung** (“Service set-up”) ist die Einstellung der dienstspezifischen Parameter gemeint. Dazu kann beispielsweise die Eingabe der Ziel-Rufnummer für die Anrufweiterleitung gehören.
- Mit der **Dienstaktivierung** (“Service Activation”) wird ein Telekommunikationsdienst in den Zustand versetzt, daß er beim Eintreten der ihn ansprechenden Umgebungsparameter (z.B. Auflaufen eines eingehenden Anrufs) ausgeführt wird.
- **Dienstausführung** (“Service Invocation”) umfaßt die Operationen, die in der Dienstlogik spezifiziert sind.

Eine weitere wichtige Unterscheidung im Rahmen der Diensterbringung ist die Klassifizierung in Grund- und Zusatzdienste. Im Rahmen des GSM werden als Grunddienste (“basic services”) lediglich die reine Übertragung von Sprache, Daten oder Fax verstanden. Alle anderen Merkmale (wie beispielsweise Anrufweiterleitung und Anklopfen) werden als Zusatzdienste (“supplementary services”) bezeichnet.

Im hier behandelten Bereich der offenen Dienstbereitstellung, also der Bereitstellung von Diensten, die über die in den Standards beschriebenen hinaus gehen, treten zwei weitere Dienstbegriffe auf. Das ist zum einen der Operator Specific Service (OSS, betreiberspezifischer Dienst) und zum anderen der sogenannte Value Added Service (VAS, Mehrwertdienst). Zu den OSSs und VASs gehören Dienste wie das elektronische Bezahlen, aber prinzipiell auch Dienste, die oben bereits unter dem Namen Zusatzdienste genannt wurden, dann aber nicht als standardisierte, sondern als frei dem Netz hinzugefügte Dienste. Den Unterschied zwischen betreiberspezifischen und Mehrwertdiensten macht der Dienstbringer aus. Bei den OSSs, die als eine Untergruppe oder ein Spezialfall der Mehrwertdiensten angesehen werden können, ist es der Netzbetreiber, der den Dienst erbringt, was unter Umständen eine Beschränkung der Dienstnutzung auf das sogenannte Heimatnetz mit sich bringen kann. Ein VAS wird demgegenüber von einem sogenannten Drittanbieter, der mit dem Netzbetreiber normalerweise nicht identisch ist, erbracht. Diese Dienstbereitstellung erfordert dann offensichtlich externe Schnittstellen des Netzes, in dem der Dienst erbracht werden soll. Eine sehr einfache, daher aber auch nicht sehr komfortable Form der Dienstbringung von Mehrwertdiensten ist die In-Kanal Dienstbringung ("in-band service provisioning"), bei der der gesamte dienstbestimmte Informationsaustausch in einem herkömmlichen Verkehrskanal erfolgt. Eine weitere pragmatische Lösung die engen Schranken der standardisierten Dienstbringung zu überwinden ist die Nutzung des Short Message Service (SMS, Kurznachrichtendienst). Dieser in den meisten GSM Netzen verfügbare Dienst ermöglicht die Übertragung kurzer Nachrichten von und zum mobilen Endgerät. Mittels dieses Nachrichtenaustauschs ist die Dienststeuerung und Dienstdatenübertragung möglich. Die Einschränkungen des Kurznachrichtendienstes sowohl bezüglich seiner Bandbreite, als auch bezüglich seines nicht garantierten Antwortzeitverhaltens machen ihn jedoch für viele Dienste unbrauchbar.

Der Vollständigkeit halber sei die Unterscheidung der Dienste in Tele- und Trägerdienste genannt, die aber im Rahmen dieser Arbeit eine untergeordnete Rolle spielt.

Eine wesentliche Unterscheidung von Zusatzdiensten ist die zwischen verbindungsgebundenen und nicht verbindungsgebundenen Diensten. Diese Unterscheidung wird in der Literatur nicht einheitlich gehandhabt. Es existieren im wesentlichen zwei verschiedene Abgrenzungen:

	standardisiert	Diensterbringer	Reichweite des Dienstes
Grunddienst im GSM (basic service)	ja	Netzbetreiber	Alle GSM Netze ^a
Zusatzdienst im GSM (supplementary service)	ja	Netzbetreiber	Alle GSM Netze ^a
Mehrwertdienst (MWD) Value Added Service (VAS)	nein	Drittanbieter	variabel (dienstabhängig)
Proprietärer betreiberspezifischer Dienst (BSD) (Operator Specific Service (OSS))	nein	Netzbetreiber	Heimatnetz des Dienstbetreibers ^b

Tabelle 1: Verschiedene Dienstbegriffe

a. Sofern zwischen den Betreibern Roaming-Abkommen bestehen

b. Unter Ausnutzung des CAMEL-Mechanismus auch größere Reichweite

1. verbindungsgebunden ist ein Dienst dann, wenn er während eines bestehenden Anrufs gestartet wird. Dabei muß der Dienst in seiner Funktion nicht zwingend mit dem momentan etablierten Anruf in Verbindung stehen. Nicht verbindungsgebunden ist ein Dienst dann, wenn er nicht parallel zu einem bestehenden Anruf gestartet wird.
2. Ein Dienst ist verbindungsgebunden, wenn er während des Anrufaufbaus oder während eines bestehenden Anrufs gestartet wird. Der Anrufaufbau ist unabhängig von der Existenz des (verbindungsgebundenen) Dienstes. Ein nicht verbindungsgebundener Dienst kann zur Herstellung einer Verbindung führen, dieser Anruf ist dann aber Bestandteil der Diensterbringung. Der Anrufaufbau wird durch den Dienst erst bedingt.

Die Beschreibungen in dieser Arbeit folgen der letzteren Differenzierung.

2.3.2 Abgrenzung der Telekommunikationsdienste

Telekommunikationsdienste sind traditionell zentralgesteuert. Das bedeutet, daß die Diensterbringung innerhalb des Netzes stattfindet. Dieses Paradigma gilt für die standardisierten Dienste der öffentlichen Netze genauso wie für freiere Dienste, die mittels der Technologie der Intelligenten Netze (vgl. dazu Kapitel 2.3.3) angeboten werden. Die aus dem Bereich der Computerdatenverarbeitung stammenden Dienste wie etwa File Transfer (FT, Datenübertragung) oder Internetdatenverkehr brechen seit kurzem dieses vorherrschende Diensterbringungsprinzip auf. Die sogenannten Ende-zu-Ende Dienste der Datenkommunikationsanwendungen nutzen die Verbindungsnetze einzig zum

Datentransport, nutzen aber im allgemeinen keine vom Netz erbrachten Zusatzdienste. Es bleibt aber festzuhalten, daß die Erbringung von Diensten in leitungsvermittelten Netzen den hohen Echtzeitanprüchen der Sprachübertragung gerecht werden muß, was mit einer Dienstleistung von Seiten der Verbindungsendknoten nicht immer bewerkstelligt werden kann. Hinzu kommen die oft suboptimalen Verkehrswege, die bei einer Ende-zu-Ende Dienstleistung zwangsläufig entstehen und die den Dienst langsam und ressourcenintensiv machen. So führt der erhöhte Mobilitätsbedarf auch bei Datenkommunikationsanwendungen in letzter Zeit zu einer teilweisen Übernahme des Zentralsteuerungsprinzips. Dies manifestiert sich in den Bestrebungen zur Einführung des sogenannten Mobile-IP¹⁷, einem Protokoll, das die Umleitung von Datenpaketen in paketvermittelten Netzen entsprechend einer Benutzermobilität ermöglicht. Die Funktionalität des Mobile-IP ist dabei netzgestützt, so daß dieser Dienst nicht Ende-zu-Ende erbracht wird.

2.3.3 Dienste gemäß dem Standard der Intelligenten Netze (IN)

Es soll hier auf eine bloße Aufzählung gängiger Telekommunikationsdienste verzichtet werden, da davon ausgegangen wird, daß der Leser seinerseits über die entsprechenden Kenntnisse verfügt. Eine Liste neuartiger Dienste findet sich in Kapitel 4.3. Aus zweierlei Gründen soll aber kurz auf das Konzept der Intelligenten Netze eingegangen werden: Es ist zum einen der erste ernsthafte Ansatz gewesen, die starren Mauern der Dienstbereitstellung allein durch den Netzbetreiber zu durchbrechen und eine Schnittstelle für die Dienstleistung durch Drittanbieter zu definieren. Daher ist das Konzept der Intelligenten Netze im Rahmen des Themas dieser Arbeit sozusagen historisch relevant. Darüberhinaus ist es aber zum zweiten die Grundlage des weiter hinten ausführlich behandelten CAMEL-Mechanismus. Die hier folgende Darstellung ist also hinleitend auf die später vorgestellten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte.

Seit Beginn der neunziger Jahre existiert das Konzept des Intelligenten Netzes. Grundgedanke dieses neuartigen Ansatzes zur Dienstleistung ist die Trennung von Dienststeuerung und Dienstaufführung. Der zentrale Dienststeuerungspunkt, Service Control Point (SCP) kann beliebig weit verteilte Dienstvermittlungspunkte, Service Switching Points (SSPs) steuern. Ferner wurde ein schematisiertes Konzept zur Dienstleistung auf Basis sogenannter Dienstunabhängiger Bausteine, Service Independent Building Block (SIB)

17. Mobile Internet Protocol, vgl. [MobileIP]

erdacht und festgelegt

Die International Telecommunication Union (ITU) hat in der Serie Q.1200 erstmalig im Jahre 1992 IN-Standards veröffentlicht. In dem sogenannten Protokollsatz 1, Capability Set 1 (CS-1) werden die grundlegenden Elemente für die zentrale Dienststeuerung beschrieben. Weitere Protokollsätze haben lange auf sich warten lassen. Derzeit wird der Protokollsatz 2 (Capability Set 2) verabschiedet. Das ETSI hat eine Untermenge der im Protokollsatz 1 der ITU-T vorhandenen Nachrichten in den "ETSI Core-INAP" [INAP374-1] überführt. Dieser ist im wesentlichen die Basis für europäische Derivate der IN-Palette¹⁸.

Das konzeptionelle Modell des IN besteht aus vier Ebenen, die in der folgenden Abbildung 6 dargestellt und erklärt sind. Auf der Dienstebene, Service Plane (SP) werden die einzelnen Dienste über ihre Dienstmerkmale, Service Features (SF), also aus Benutzersicht modelliert.

Auf der Global Functional Plane (GFP) wird die Dienstlogik mit Hilfe der SIBs (s.o.), dem Basic Call Process (BCP) und der Global Service Logic (GSL) definiert. Im BCP existieren sogenannte Triggerpunkte, von denen aus die Anrufbearbeitung zum einzigen Point of Initiation (POI) innerhalb einer GSL verzweigt. Nach Abarbeitung der Dienstlogik geht die Anrufsteuerung über einen von mehreren möglichen Rückkehrpunkten, Point of Return (POR) wieder auf den BCP über.

Die Verteilte Funktionale Ebene, Distributed Functional Plane (DFP) unterteilt die SIBs in Aktivitäten von funktionalen Einheiten (FEAs), die wiederum in Functional Entities (FE) zusammengefaßt sind. Dabei werden i. allg. FEAs verschiedener FEs zur Modellierung eines SIB herangezogen.

Zuletzt werden die FEs den physikalischen Einheiten, Physical Entities (PE) der Physikalischen Ebene, Physical Plane (PP) zugeordnet. Dabei ist eine n:1 Zuordnung erlaubt (mehrere FEs werden in einer PE realisiert), eine 1:n Zuordnung (Verteilung einer FE auf mehrere PEs) jedoch nicht.

Eine besonders verbreitete Sichtweise des IN ist die der FEs innerhalb der Distributed Functional Plane (DFP). Abbildung 7 zeigt diese Darstellungsform, die einzelnen FEs sind kurz erklärt. Ausführlichere Darstellungen finden sich beispielsweise in [Q.1214].

18. und als solcher auch Basis des CAMEL Application Part, vgl. Kapitel 3.2.2

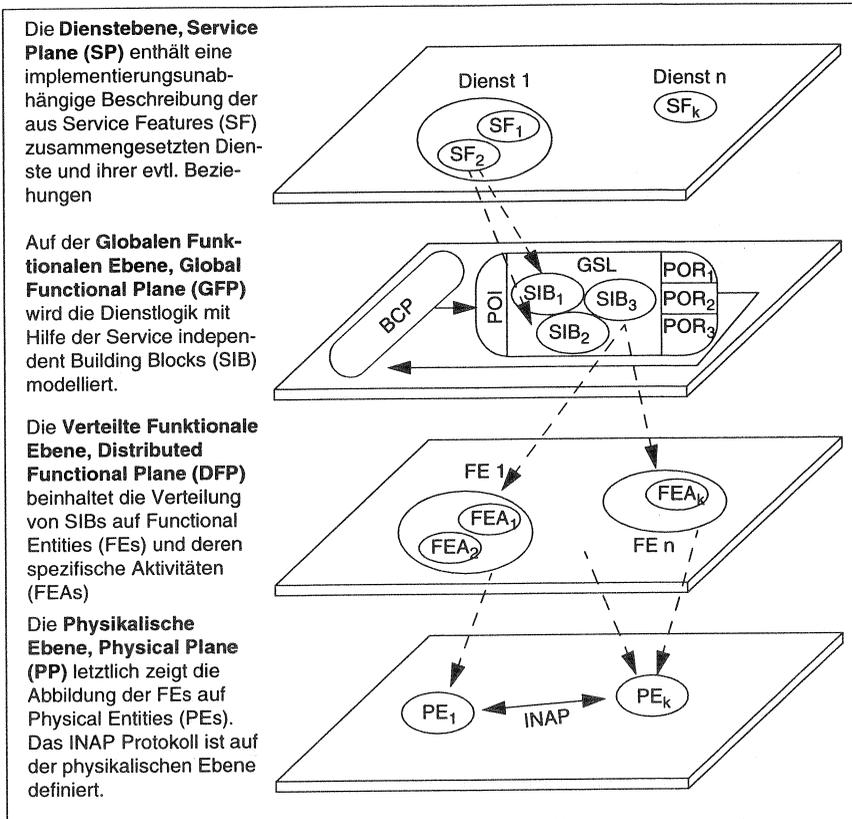


Abbildung 6: Konzeptionelles Modell der "Intelligenten Netze"

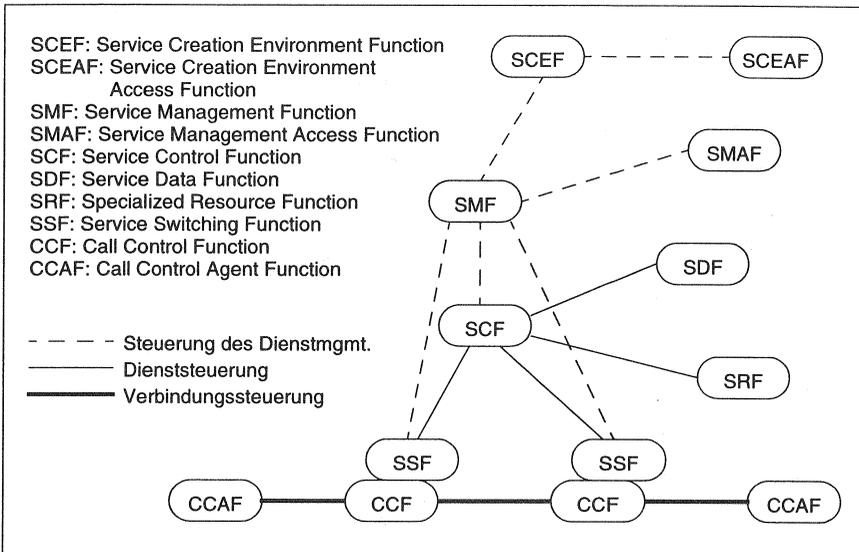


Abbildung 7: Funktionale Einheiten (FE) des IN-Modells innerhalb der Distributed Functional Plane (DFP)

Die Call Control Agent Funktion (CCAF) stellt den Netzzugangspunkt für Benutzer dar. Mit der CCAF kann er Verbindungen errichten, die von den Call Control Funktionen (CCF) vermittelt werden. Die CCFs können weiterhin die sogenannten IN-Trigger aus dem Signalisierstrom herausfiltern und geben diese an die Service Switching Funktionen (SSF) weiter. Die SSF stellt die Schnittstelle zur Service Control Function (SCF) dar, an die sie Anfragen bzgl. der Dienstauführung richtet und von wo aus sie die entsprechenden Anweisungen annimmt. Die SCF enthält die Dienstlogik und steuert die gesamte Dienstauführung, wozu auch das Steuern einer Specialized Resource Function (SRF, z.B. ein Ansagegerät) gehören kann. Die Service Data Funktion (SDF) hält dienstspezifische Daten vor. Der gesamte Bereich Dienstmanagement hält Funktionen vor, um dem Netzbetreiber die Entwicklung, Einführung und Wartung von Diensten zu erlauben. Dazu zählen die Service Management Funktion (SMF) als zentrale Koordinierungsinstanz und das Service Creation Environment jeweils nebst deren Zugangsfunktionen.

2.3.4 Die Rolle der Signalisierung für die Dienstbereitstellung

Das GSM bedient sich der Signalisierung gemäß dem Zentralzeichengabekanal System Nummer 7 (SS.7). Auch die in dieser Arbeit vorgestellten erweiterten Dienstbereitstellungsmechanismen sowie das daraus entwickelte Konzept zur offenen Dienstbereitstellung beruht auf diesem modernen Signalisiersystem. Der Grundgedanke des SS.7 ist die Loslösung von Signalisierung und Sprach- bzw. Datenverkehr in leitungsvermittelten Netzen. Abbildung 8 zeigt diese logische Trennung in ein Signalisiernetz und ein Transportnetz.

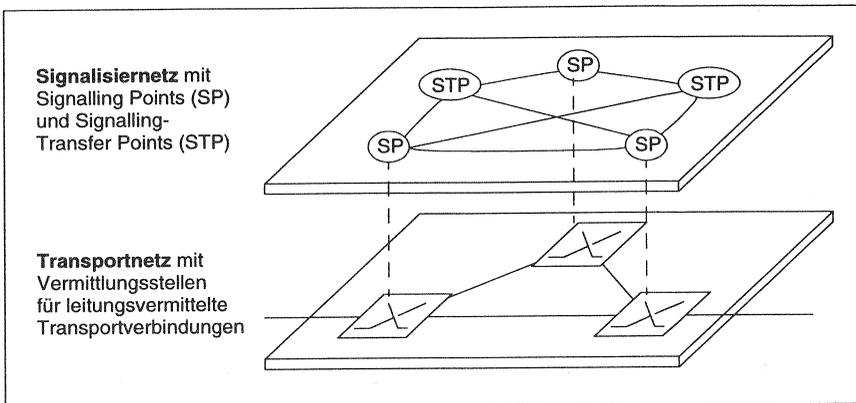


Abbildung 8: Das Prinzip der Trennung von Signalisier- und Transportnetz

2.4 Verkehrstheoretische Grundlagen

2.4.1 Allgemeingültige Aussagen

In diesem Kapitel sollen einige grundlegende Begriffe der Verkehrstheorie vorgestellt werden. Speziellere Vertiefungen werden dort eingeführt, wo sie benötigt werden. Hier sollen lediglich eine einheitliche Nomenklatur definiert und die Basis für weitere verkehrstheoretische Betrachtungen innerhalb der Arbeit geschaffen werden.

In der Verkehrstheorie wird allgemein ein Verarbeitungssystem wie es in Abbildung 9 dargestellt ist, betrachtet.

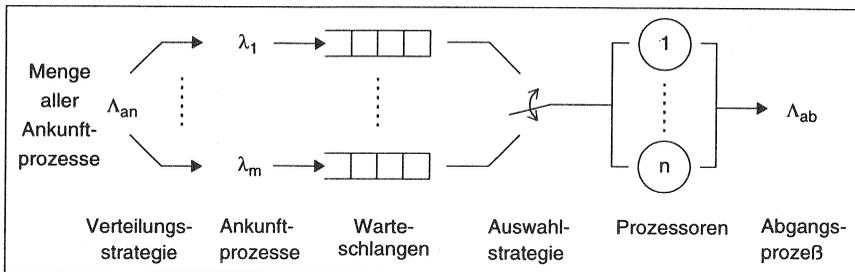


Abbildung 9: Verkehrstheoretisches Modell eines Verarbeitungssystems

Eine Menge Ankunftsprozesse wird auf eine Menge Warteschlangen verteilt. Nach Durchlaufen der Warteschlangen werden die Prozesse nach einer zu spezifizierenden Auswahlstrategie auf eine Menge Prozessoren¹⁹ verteilt. Die Prozessoren am Ende des Verarbeitungssystems werden als homogene Menge angenommen, d.h. alle Prozessoren haben dieselbe Verarbeitungsleistung.

Neben der Wahl der Menge an Warteschlangen (m) und Prozessoren (n) liegen in solch einem System drei interne Gestaltungsparameter vor²⁰:

1. Die Strategie, nach der die ankommenden Prozesse auf die Warteschlangen verteilt werden,
2. die Art der Priorisierung innerhalb jeder einzelnen Warteschlange und
3. die Strategie, welcher der warteschlangen-vordersten Prozesse für den nächsten frei werdenden Prozessor ausgewählt wird.

19. Der Begriff Bearbeiter wird synonym zu Prozessor verwendet.

20. Weitergehende Möglichkeiten - wie die Rückführung bereits bearbeiteter Prozesse in eine Warteschlange - werden hier nicht betrachtet.

Die folgenden Kenngrößen²¹ beschreiben die externen Veränderlichen des oben vorgestellten Verarbeitungssystems:

- n Anzahl der Bediener im System
- λ mittlere Ankunftsrate, Anzahl der im Mittel pro Zeiteinheit ankommenden Prozesse, $[\lambda] = 1/s$
- μ mittlere Bedienrate eines Bedieners, Anzahl der im Mittel pro Zeiteinheit bearbeiteten Prozesse, $[\mu] = 1/s$
- β mittlere Bediendauer eines Bedieners, $\beta = 1 / \mu$, $[\beta] = s$
- ρ Auslastung, Belegwahrscheinlichkeit $\rho = \lambda / (n\mu)$, $[\rho] = \%$
- A Verkehrsangebot $A = n \cdot \rho = \lambda / \mu$, $[A] = \text{Erlang}$
- V Verweildauer im System, $V = W + \beta$, $[V] = s$
- W Wartezeit²², $[W] = s$
- L_Q Länge der Warteschlange
- L Anzahl der Anforderungen im System

$$L = \lambda \cdot V \quad \text{bzw.} \quad L_Q = \lambda \cdot W \quad (\text{Little's Theorem}) \quad (1)$$

2.4.2 Die Poisson-Verteilung

Für die Untersuchung der Verarbeitungssysteme werden verschiedene stochastische Prozesse sowohl für die Gesetzmäßigkeiten von Ankünften, als auch für die Beschreibung des Bedienprozesses angenommen. Dabei treten die Ereignisse dieser Prozesse nach Zufallsgesetzen auf. Die Zeitabstände zwischen den Ereignissen werden häufig durch die negativ exponentielle Verteilung beschrieben. Die Funktion und ihr Funktionsgraph sind in Abbildung 10 dargestellt

Die Funktion beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit welcher das gesuchte Ereignis bis zum Zeitpunkt $t=T$ eingetreten ist. Bei $t \rightarrow \infty$ ist das Ereignis sicher eingetreten ($P_{(t \rightarrow \infty)} = 1$). Für Ankunftsprozesse wird $r=\lambda$ und für Bediendauer-Verteilungen $r=\mu$ gesetzt.

21. Diese Kenngrößen approximieren die Realität als Parameter stochastischer Prozesse. Die Diskussion der Zulässigkeit dieser Näherung wird im Kapitel Leistungsbewertung exemplarisch aufgegriffen.

22. vgl. Kapitel 2.4.4

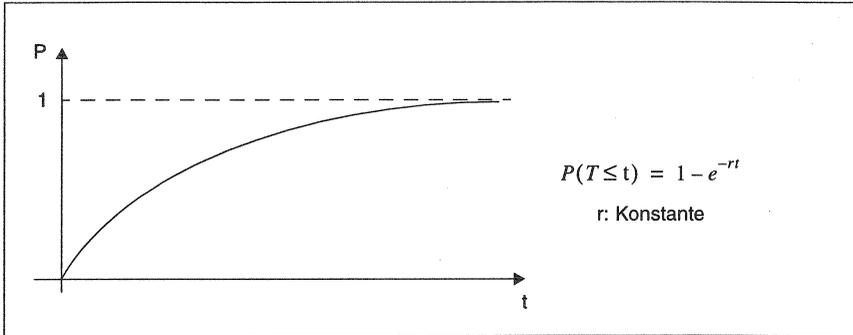


Abbildung 10: Negativ exponentielle Verteilung, Verteilungsfunktion und allgemeine Beschreibung

Abbildung 11 zeigt die entsprechenden Formeln und die Bedeutung der Gleichungen für beide Prozesse.

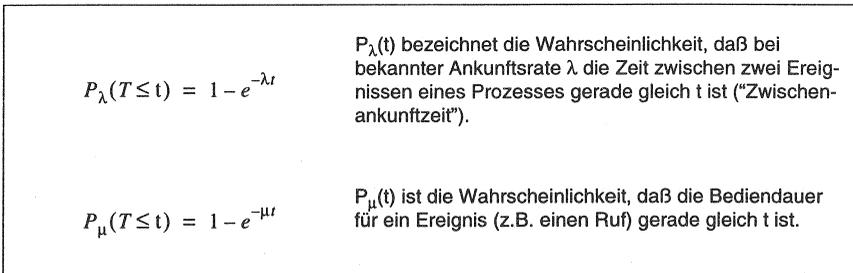


Abbildung 11: Negativ exponentiell verteilte Zwischenankunftszeiten und Bediendauern

Da bei der negativ-exponentiellen Verteilung die Wahrscheinlichkeit des Ereigniseintritts unabhängig von der Vorgeschichte ist, spricht man von einer gedächtnislosen Verteilungsfunktion.

Der Poissonprozeß gibt die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt einer bestimmten Menge ($x=k$) zufälliger Ereignisse x in der Zeitspanne t an:

$$P(X=k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda t} \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Das n-te Moment dieser Zufallsverteilung ist

$$\overline{X^n} = \sum_{k=0}^{\infty} k^n \cdot P(X=k) \quad (3)$$

Von besonderem Interesse ist das erste Moment, welches Mittel- oder Erwartungswert genannt wird:

$$\bar{X} = E[X] = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P(X=k) = \sum_{k=0}^{\infty} \lambda t \cdot \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!} \cdot e^{-\lambda t} \stackrel{*}{=} \lambda t \quad * \text{ mit: } \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!} = e^x \quad (4)$$

Das zweite Moment berechnet sich analog zu

$$\overline{X^2} = 2(\lambda t)^2 \quad (5)$$

Als zentrale Momente werden die Erwartungswerte der n-ten Potenz der Abweichung des Zufallswertes X von seinem Mittelwert bezeichnet. Allgemein gilt also für das n-te zentrale Moment:

$$\overline{(X - \bar{X})^n} = \sum_{k=0}^{\infty} (k - \bar{X})^n \cdot P(X=k) \quad (6)$$

Das erste zentrale Moment ist Null, das zweite zentrale Moment wird als Varianz σ^2 bezeichnet und berechnet sich zu

$$\sigma^2 = \overline{X^2} - \bar{X}^2 \quad (7)$$

Im Falle der Poissonverteilung gilt also

$$\sigma_{Poisson}^2 = 2(\lambda t)^2 - (\lambda t)^2 = (\lambda t)^2 \quad (8)$$

Die Quadratwurzel der Varianz ist die Standardabweichung σ , aus ihr folgt der Variationskoeffizient

$$c = \frac{\sigma}{E[X]} \quad (9)$$

Für die Poissonverteilung ist c also gleich 1.

2.4.3 Kendall'sche Notation

Zur eindeutigen Identifizierung und Beschreibung von Verarbeitungssystemen hat sich die sogenannte Kendall'sche Notation durchgesetzt:

$$a/b/c - d/e/f$$

Die Bedeutung der Platzhalter a bis f in dieser Beschreibung ist mit einigen potentiellen Werten in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Variable	Bedeutung	potentielle Werte
a b	Verteilungsfunktion der Ereignisabstände beim Anknunftprozeß und beim Bedienprozeß	M : Markoff'sche (negativ-exp.) Verteilungsfkt.
		PM : stückweise Markoff'sche Verteilungsfunktion
		D : konstante (deterministische) Verteilungsfkt.
		E_k : Erlang-k Verteilungsfunktion
		G : allgemeine (general) Verteilungsfunktion
		H_k : hyperexponentielle Verteilungsfunktion
c	Anzahl Bediener	1 ... n
d	Anzahl Warteplätze	0 ... s ... ∞
e	Abfertigungsstrategie der Warteschlange	FCFS : First Come - First Serve LCFS : Last Come - First Serve Random : Zufällige Abfertigungsstrategie
f	Prioritätenverfahren (falls angewandt)	PRE : Unterbrechend (pre-emptive) NONPRE : Nicht-unterbrechend (non pre-emptive) PRE-DI : Unterbrechend in Abhängigkeit von Prioritätenstufen

Tabelle 2: Variablen der Kendall'schen Notation

Häufig werden nur Anknunft- und Bedienprozeß sowie die Anzahl Bediener angegeben. Bekannt sind vor allem die Systeme mit Markoff'schem Anknunftprozeß, da sie mathematisch vergleichsweise einfach behandelt werden können.

Die wesentlichen Zielgrößen der verkehrstheoretischen Betrachtung sind Wartezeit, Verlustwahrscheinlichkeit und Warteschlangenlänge. Diese Größen werden im Verlauf der Arbeit gebraucht und deshalb nachfolgend für die häufigst genutzten Systeme angegeben.

2.4.4 Mathematische Beschreibungen spezieller Systeme

Die in Kapitel 2.4.1 gemachten Aussagen treffen auf beliebige G/G/n Systeme zu. Die folgenden Gleichungen beschreiben einige Abhängigkeiten in speziellen Systemen. Für deren Herleitung sei auf die Fachliteratur verwiesen, z.B. [BOLCH89].

Die Wartezeit im M/M/1 und M/G/1-LCFS Verarbeitungssystem ist

$$W_{M/G/1-LCFS} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \quad \left(\rho = \frac{\lambda}{\mu}\right) \quad (10)$$

Im M/G/1-FCFS Verarbeitungssystem ist sie hingegen

$$W_{M/G/1-FCFS} = \rho \cdot \frac{1+c^2}{2\mu(1-\rho)} \quad (\text{Pollaczek-Khintchine Mittelwertformel}) \quad (11)$$

Die Belegtwahrscheinlichkeit p_B gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein ankommender Ruf den Prozessor in einem Verlustsystem belegt vorfindet. Für das M/G/n-0 System gilt:

$$p_{B_{M/G/n-0}} = \frac{\frac{A^n}{n!}}{\sum_{i=0}^n \frac{A^i}{i!}} \quad (12)$$

Als Spezialfall folgt daraus für die Belegtwahrscheinlichkeit im M/M/1-0 Verlustsystem:

$$p_{B_{M/M/1-0}} = \frac{A}{1+A} = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} \quad (13)$$

Im Modell M/G/n-∞/FCFS/NONPRE kann die Anzahl der im System befindlichen Prozesse nicht geschlossen berechnet werden. [BOLCH93] gibt als eine gute Näherung die folgende Formel an

$$L_{M/G/n-\infty/FCFS} = n \cdot \rho + \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{1+c^2}{2} \cdot p_n \quad (14)$$

Darin ist p_n die Wahrscheinlichkeit, daß alle n Bediener belegt sind. Diese ist

$$p_n = \frac{(n \cdot \rho)^n}{n!(1-\rho)} \cdot p_0 \quad (15)$$

Darin ist p_0 die Wahrscheinlichkeit, daß sich kein Prozeß im System befindet. Sie berechnet sich gemäß

$$p_0 = \left(\frac{(n \cdot \rho)^n}{n!} \cdot \frac{1}{1-\rho} + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(n \cdot \rho)^i}{i!} \right)^{-1} \quad (16)$$

3. Kapitel

Dienstbereitstellung in GSM Netzen

3.1 Offene Dienstbereitstellung - Definition und Anforderungen

Im Verlaufe der letzten Jahre sind im Rahmen von Forschungsprojekten verschiedene Modelle für offene Dienstbereitstellung entwickelt worden. Europäische Entwicklungen fanden zu einem großen Teil im Rahmen der RACE (Research and Development in Advanced Communication Technologies in Europe) Projekte statt und führten zu komplexen, theoretischen Lösungen. Die Realität zeigte jedoch bislang, daß die weitgehend revolutionären, d.h. nicht auf Ausnutzung und Ausbau bestehender Systeme ausgerichteten Ansätze nicht umgesetzt werden. Hier spielen die eingangs der Arbeit bereits angesprochenen marktwirtschaftlichen Überlegungen eine Schlüsselrolle.

Anders als diese fundamental angelegten Projekte beschäftigt sich dieser Abschnitt der Arbeit mit Konzepten zur offenen Dienstbereitstellung, die sich innerhalb der gerade in der Standardisierung befindlichen GSM Phase 2+ bewegen und daher eine hohe Praxisrelevanz besitzen. Die Komplexität heutiger Telekommunikationsnetze, insbesondere die des GSM, erfordert eine sorgfältige wissenschaftliche Betrachtung. Radikale Ansätze, die auf strukturellen Änderungen des physikalischen Netzes und Veränderungen an bestehenden Systemen aufbauen werden hier jedoch nicht betrachtet. Diese Beschränkung kann ein Hindernis auf dem Weg zu einer idealen Lösung sein. Immer wenn dieser Fall im Verlaufe der folgenden Betrachtungen eintritt, wird darauf hingewiesen, wie der etwaige Schwachpunkt zu beheben ist. Der wesentliche Leitgedanke - die Gültigkeit der entwickelten Konzepte für ein reales System - bleibt so erhalten.

Die Eckpfeiler der im folgenden Kapitel vorgestellten und untersuchten Systeme zur offenen Dienstbereitstellung sind der USSD-Prozeß und der CAMEL-Mechanismus. Beide werden in diesem Kapitel eingehend vorgestellt. Am Ende des Kapitels wird kurz auf einen weiteren Mechanismus eingegangen, der die Bereitstellung nicht-standardisierter Dienste ermöglicht: das SIM Application Toolkit (SIMAT). Es verbleibt als vierte Entwicklungskomponente im Bereich Dienstbereitstellung der Short Message Service (SMS, Kurznachrichtendienst). Dieser wird innerhalb der einzelnen Abschnitte erläutert.

3.2 Potentielle Dienstbereitstellungskomponenten im GSM

3.2.1 USSD

Der MAP-Prozeß *Unstructured Supplementary Service Data* (USSD) erlaubt die Kommunikation zwischen einem GSM-Teilnehmer und einer durch den Betreiber spezifizierten Anwendung. Diese Kommunikationsbeziehung ist transparent sowohl für die Mobilstation als auch für etwaige Zwischenknoten, die zwischen der Mobilstation und dem die Anwendung betreibenden Knoten liegen [GSM03.90]. USSD dient somit der Unterstützung von Zusatzdiensten, welche nicht in GSM standardisiert sind. In der Spezifikation für die GSM Phase 1 sind nur von der Mobilstation initiierte USSD-Dialoge vorgesehen, in der Phase 2 von GSM sind auch netzinitiierte USSD-Dialoge standardisiert.

Der USSD-Prozeß stellt einen Datencontainer zur Verfügung, in dem bis zu 80 Zeichen aus dem in [GSM03.38] spezifizierten Alphabet zwischen Mobilstation und verschiedenen Netzknoten transportiert werden können. USSD wurde spezifiziert, um eine beliebige Teilnehmerschnittstelle zwischen dem Endgerät und der Netzanwendungssoftware ohne Modifikationen an der Mobilstation definieren zu können.

Die vom Netz zur Mobilstation gesendeten Daten werden von der Anzeige des Endgeräts unverändert dargestellt, umgekehrt werden Tastatureingaben und Tastendrucksequenzen mit einer bestimmten Initialsequenz transparent innerhalb des USSD-Containers an einen durch die Initialsequenz bezeichneten Netzknoten gesandt.

3.2.1.1 USSD Anwendung

Unter einer USSD-Anwendung wird hier und im folgenden ein logischer

Ablaufplan verstanden, der einen Dienst ausführt, und dazu einen USSD-Dialog auf- und wieder abbaut. Da das Endgerät, wie oben beschrieben, eingehende USSD Nachrichten ohne Modifikationen darstellt, bzw. Tastatureingaben lediglich in Protokollcontainer verpackt, ist im Endgerät eine USSD-Anwendung weder nötig, noch ist überhaupt eine Möglichkeit vorgesehen, sie dort zu implementieren. Die USSD-Anwendung wird folglich in den Netzknoten implementiert, von wo aus auch in jedem Falle (Endgeräte-initiiertes und Netz-initiiertes Dialog) die Steuerung des USSD-Dialogs erfolgt. Die USSD-Anwendung kann hierbei entweder im Mobile Switching Centre/Visitor Location Register (MSC/VLR) oder im Home Location Register (HLR) residieren, vgl. Abbildung 12.

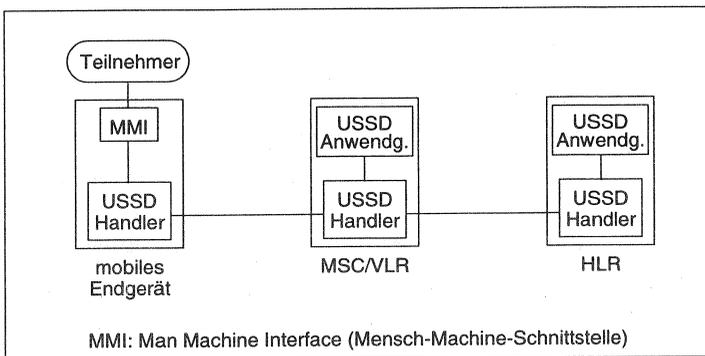


Abbildung 12: Lage der funktionalen USSD Blöcke

Der USSD-Mechanismus ist eine Möglichkeit zur offenen Dienstbereitstellung. Es ist ohne Auswirkungen auf ein bestehendes Netz möglich, die USSD-Anwendung in einem GSM externen Knoten zu implementieren. Dazu wird als USSD-Anwendung (die entweder im MSC/VLR-Knoten oder dem HLR residiert) lediglich eine Schnittstellen-Prozedur implementiert, die die Dienstausführungsdaten der externen Anwendung aufnimmt und Steuerdaten an diese zurückleitet. Abbildung 13 verdeutlicht diese erweiterte Möglichkeit der USSD-Nutzung. Mit einem weitergehenden Eingriff in die Software des Knotens, in dem die USSD-Anwendung betrieben wird, kann ein direkter Zugang für eine externe Anwendung zum USSD-Handler hergestellt werden (vgl. Abbildung 13 b).

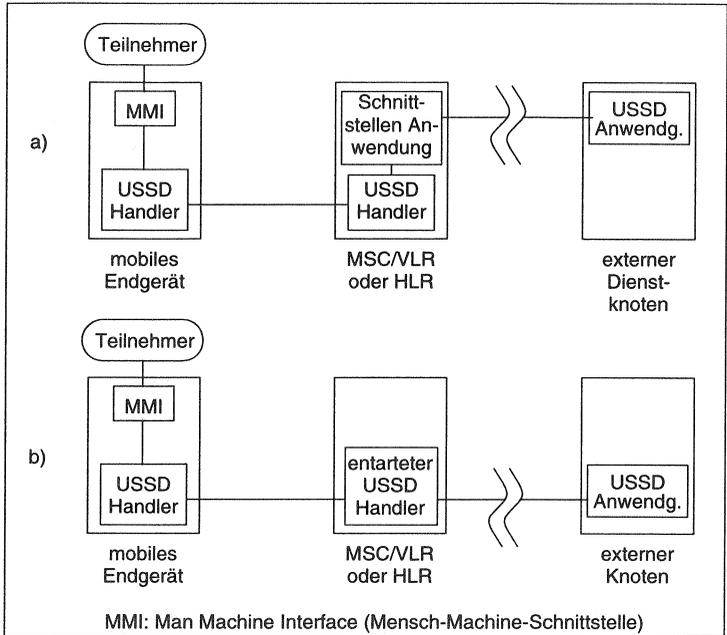


Abbildung 13: Erweitertes USSD-Schema mit externem Knoten;
a) mit Standard USSD Handler, b) mit entartetem USSD Handler

3.2.1.2 Der USSD Handler

In jedem Netzknoten, der in einen USSD-Dialog involviert ist, befindet sich ein USSD-Handler. Die Summe aller USSD Handler (im mobilen Endgerät, in einem oder mehreren MSC/VLR-Knoten sowie in der Heimatdatei, vgl. Abbildung 12) stellt die Verbindung zwischen der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Man Machine Interface, MMI) im Endgerät und der USSD-Anwendung dar. In einer Kette von USSD-Handlern werden alle Zwischeninstanzen nur als Relais zur Weiterleitung der USSD-Dateneinheiten gebraucht. Die Endknoten bewerkstelligen hingegen die Interaktion zur USSD-Anwendung bzw. zum MMI im Endgerät. Eine detailliertere Spezifikation des USSD Handler ist hier nicht vonnöten, findet sich aber in [GSM03.90]. Dort ist jedoch - wie es durchgängig in allen GSM-Spezifikationen der Fall ist - nicht spezifiziert, wie die interne Struktur eines Knotens implementiert sein muß. Standardisierung ermöglicht Kompatibilität von Systemen verschiedener Hersteller, die aber

nur durch das externe Verhalten der Knoten und nicht durch deren internen Aufbau bedingt wird. Aus diesem Grunde ist auch der genaue Ablauf der Nachrichtenleitung zu einer oder der Verteilung der Nachrichten zu unterschiedlichen USSD-Anwendung(en) innerhalb eines Knotens nicht vorgegeben. Deshalb ergeben sich mindestens die beiden in Abbildung 13 a) und b) gezeigten Möglichkeiten des Anschlusses eines externen Knotens. Beide erfüllen die Vorschriften über das externe Verhalten des betreffenden Knotens.

3.2.1.3 Struktur einer USSD-Sequenz

Als funktionale Signalisierung bezeichnet man alle im GSM-Standard fest einem Dienst zugeordneten Tastenkombinationen, z.B. die Aktivierung und Programmierung von Parametern verschiedener supplementary services oder den Verbindungsaufbau durch das Eingeben einer Ziffernfolge gefolgt von der Sendetaste. Prinzipiell werden alle vom Teilnehmer eingegebenen Tastensequenzen, die vom Endgerät nicht als funktionale Signalisierung oder Verbindungsaufbau identifiziert werden, als USSD Sequenz verschlüsselt und an das Network Switching Subsystem (NSS) versandt. Um für zukünftige Dienste eine bestimmte Menge an funktionaler Signalisierung frei zu halten, sind dennoch spezielle Bereiche für USSD-Signalisierung reserviert worden. Die Struktur einer vom Teilnehmer einzugebenden USSD-Zeichenkette sieht wie folgt aus [GSM02.30]:

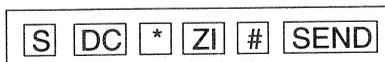


Abbildung 14: Prinzipielle Struktur einer USSD Zeichenkette

dabei bedeuten

- S: Startdelimiter bestehend aus 1, 2 oder 3 Zeichen aus der Gruppe {*, #}
- DC: ein aus 2 oder drei Zeichen bestehender Dienstcode
- ZI: Zusatzinformation, hier muß der Teilnehmer die für die Ausführung der USSD-Anwendung benötigte Information eingegeben werden. Das ZI-Feld kann leer bleiben, wenn das bloße Verschicken einer USSD-Nachricht an die USSD-Anwendung genügend Information ist.

Der Dienstcode erlaubt die Nachrichtenleitung zum richtigen Zielknoten (siehe Tabelle 3).

eingeegebene USSD Sequenz	MS befindet sich im Heimatnetz	MS befindet sich in einem Besuchsnetz
D 1 _{0...4} (X) * ZI # SEND ^a	Die Entscheidung, ob der Dienst in MSC/VLR (lokal) oder in der HLR ausgeführt wird, liegt beim Heimatnetz	Das Besuchsnetz leitet die Nachricht direkt zum Heimatnetz
D 1 ^{5...9} (X) * ZI # SEND ^b		Besuchsnetz entscheidet über die Weiterleitung der USSD Nachricht
7(Y)		Das Besuchsnetz leitet die Nachricht direkt zum Heimatnetz
alle anderen Formate		Das Besuchsnetz versucht, die Nachricht zu interpretieren. Bei Mißerfolg leitet es sie an das Heimatnetz weiter

Tabelle 3: Klassifizierung der USSD-Sequenzen, vgl. Abbildung 14 für die Bedeutung der einzelnen Zeichen

a. {0...4}: eine Ziffer aus dem Bereich 0 bis 4

b. {5...9}: eine Ziffer aus dem Bereich 5 bis 9

Das Bitformat einer USSD Schicht 7 Nachricht ist in Abbildung 15 dargestellt. Dabei bezeichnet man die Summe aus Alphabet-Indikator und Sprach-Indikator als Data coding scheme (DCS). Der Alphabet-Indikator ist im Normalfall auf den Wert Standard Kurznachrichten Alphabet (“SMS default alphabet”) eingestellt. Wird eine USSD Nachricht mit einem anderen Alphabet-Indikator im MSC/VLR empfangen, so wird diese automatisch an die Heimatdatei weitergeleitet. Wenn die Heimatdatei das spezifizierte Alphabet nicht unterstützt wird eine Fehlernachricht an die Mobilstation zurückgesandt. Der Sprach-Indikator zeigt im Normalfall nicht-spezifizierte Sprache (“language unspecified”) an. Die Größe des Nutzlastbereichs ist nicht klar definiert. In der Spezifikation des Mobile Application Part [GSM09.02] ist die Maximallänge einer USSD-Sequenz auf 160 Byte festgelegt. Die USSD-Spezifikation 02.90 [GSM02.90] limitiert die Nutzlast auf 80 Zeichen (was bei einem 7-bit Alphabet nur 70 Byte entspricht).

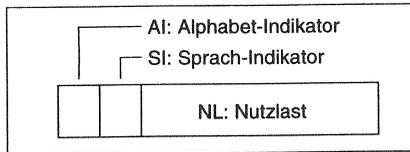


Abbildung 15: Bitformat einer USSD Sequenz

3.2.1.4 USSD Dialoge

Die USSD-Prozedur ist dialogorientiert, das bedeutet, daß nicht einzelne Nachrichten verbindungslos geschickt werden, sondern, daß ein Kontext angelegt wird und eine explizite Bestätigung abgeschickter Nachrichten verlangt werden kann. Im Falle des USSD gibt es prinzipiell zwei Arten der Dialoginitiierung: Endgeräte-initiierte und Netz-initiierte Dialoge. In der GSM Phase 2 sind beide Formen des USSD-Dialoges spezifiziert. Die Steuerung beider Dialogformen liegt jedoch beim Netzendknoten, auch im Falle des MS-initiierten USSD-Dialogs. Im letzteren Fall übernimmt das Netz unmittelbar nach dem Aussenden der ersten USSD Dateneinheit durch das Endgerät die Steuerung des USSD-Dialogs. Damit ist festgelegt, daß die MS innerhalb einer Transaktion nur eine USSD Anfrage an eine USSD-Anwendung stellen kann. Die nächste Nachricht kann sie innerhalb dieses Dialogs erst nach Aufforderung durch die USSD-Anwendung verschicken.

Netzseitig dürfen zwei verschiedene USSD Nachrichtentypen versandt werden: USSD Nachricht (notification) und USSD Anfrage (request). Der Unterschied beider Nachrichten liegt in der Bestätigung durch das Endgerät. Während eine Anfrage der expliziten Bestätigung bedarf, wird eine Nachricht nicht vom Endgerät bestätigt. Das Endgerät darf seinerseits jedoch nur USSD Nachrichten vom Typ Anfrage (d.h. unbestätigte Nachrichten) versenden.

Der Zeitpunkt der Dialoginitiierung ist unabhängig von einer eventuell bestehenden Verbindung mit der betreffenden Mobilstation. Die beiden möglichen Arten - verbindungsgebunden (call related) und verbindungsunabhängig (call independent)²³ - unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihrer Funktionalität, bedienen sich aber unterschiedlicher Signalisierkanäle. Darauf wird im folgenden sowie in Kapitel 5.2.4 näher eingegangen.

23. vgl [GSM04.90]

3.2.1.5 Informations- und Nachrichtenflußdiagramme für USSD Operationen

Prinzipiell müssen vier verschiedene Fälle von USSD-Dialogen unterschieden werden:

1. MS-initiiert, nicht während einer Verbindung
2. netzinitiiert, nicht während einer Verbindung und
3. MS-initiiert, verbindungsgebunden
4. netzinitiiert, verbindungsgebunden

Im Falle der MS-initiierten USSD-Dialoge (Fälle 1. und 3.) gibt der Teilnehmer eine der in Tabelle 3 spezifizierten USSD Sequenzen ein, woraufhin die MS eine USSD Anfrage zur MSC schickt und auf eine Antwort wartet.

Wenn die USSD-Anwendung eine Anfrage an die MS richtet, so wird die Eingabe des Teilnehmers in jedem Fall als Antwort auf diese USSD Anfrage interpretiert und es gilt nicht das erweiterte Codierungsschema zur Erkennung von USSD Nachrichten (wie es in Kapitel 3.2.1.3 beschrieben ist). Beim Empfang einer USSD Nachricht von der USSD-Anwendung antwortet die MS lediglich mit einer leeren USSD Antwort. Abbildung 16 verdeutlicht die vorgenannten Informationsflüsse für den Fall der MS-initiierten USSD Operation.

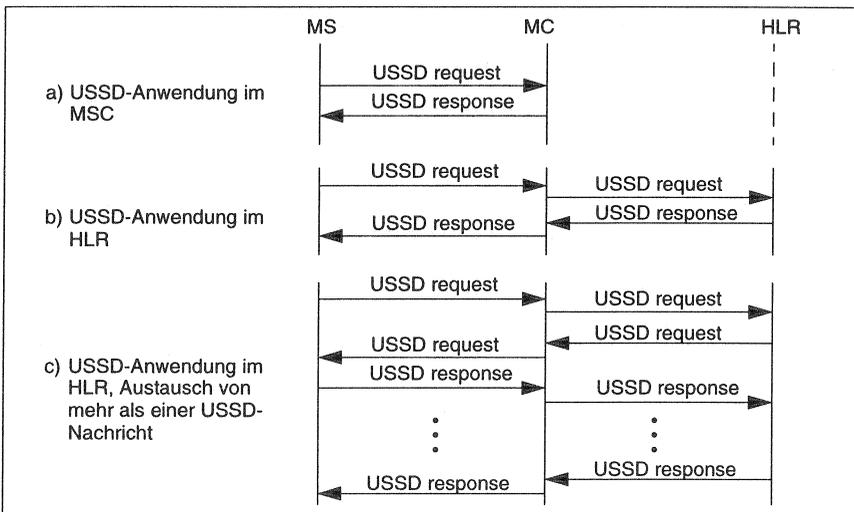


Abbildung 16: Informationsflußdiagramm für eine MS-initiierte USSD Operation

Die detaillierte Signalisierung im Falle der MS-initiierten USSD-Dialoge ist jedoch im verbindungsgebundenen und nicht-verbindungsgebundenen Fall sehr unterschiedlich. Im wesentlichen, weil verschiedene Signalisierkanäle verwendet werden (Slow Dedicated Control Channel, SDCCH und Fast Associated Control Channel, FACCH). Die Einzelheiten dazu werden in Kapitel 5.2.4 beschrieben. Hier sind die vollständigen Nachrichtenflußdiagramme abgebildet. Sie werden zum einen aus den folgenden Kapiteln heraus referenziert, zum zweiten werden in ihnen verschiedene Zeitspannen definiert, die für die quantitative Betrachtung wesentlich sind. Abbildung 17 zeigt die Signalisierung im Falle des MS-initiierten USSD-Dialogs, der nicht während eines Anrufs stattfindet und Abbildung 18 den Fall des verbindungsgebundenen MS-initiierten USSD-Dialogs (obwohl die Dialoge hier vollständig dargestellt sind, ist es nicht nötig, daß der Leser alle Details nachvollzieht).

Zur Zeitspanne der Kanal-Zuweisung gehören die Nachrichten, die zur Reservierung des Kanals für den betreffenden Dialog führen. Da bei verbindungsgebundenen Dialogen (Fälle 3. und 4., s.o.) der Signalisierkanal (FACCH) durch den bestehenden Verkehrskanal realisiert wird, entfällt die Zuweisungsphase. Während der Zeitspanne der Kanalinitialisierung erfolgt die Einrichtung des Signalisierkanals (z.B. Vereinbarung des Chiffriermodus) und die Einrichtung von Verbindungen in den tiefer liegenden Schichten (physikalische Schicht). Darauf folgt die eigentliche Nachrichtenübertragungsphase mit abschließendem Kanalabbau.

Zur Definition weiterer Zeitspannen sind in den Nachrichtenflußdiagrammen noch eingetragen: Die Dialogzeit und die Dauer der SDCCH Kanalbelegung.

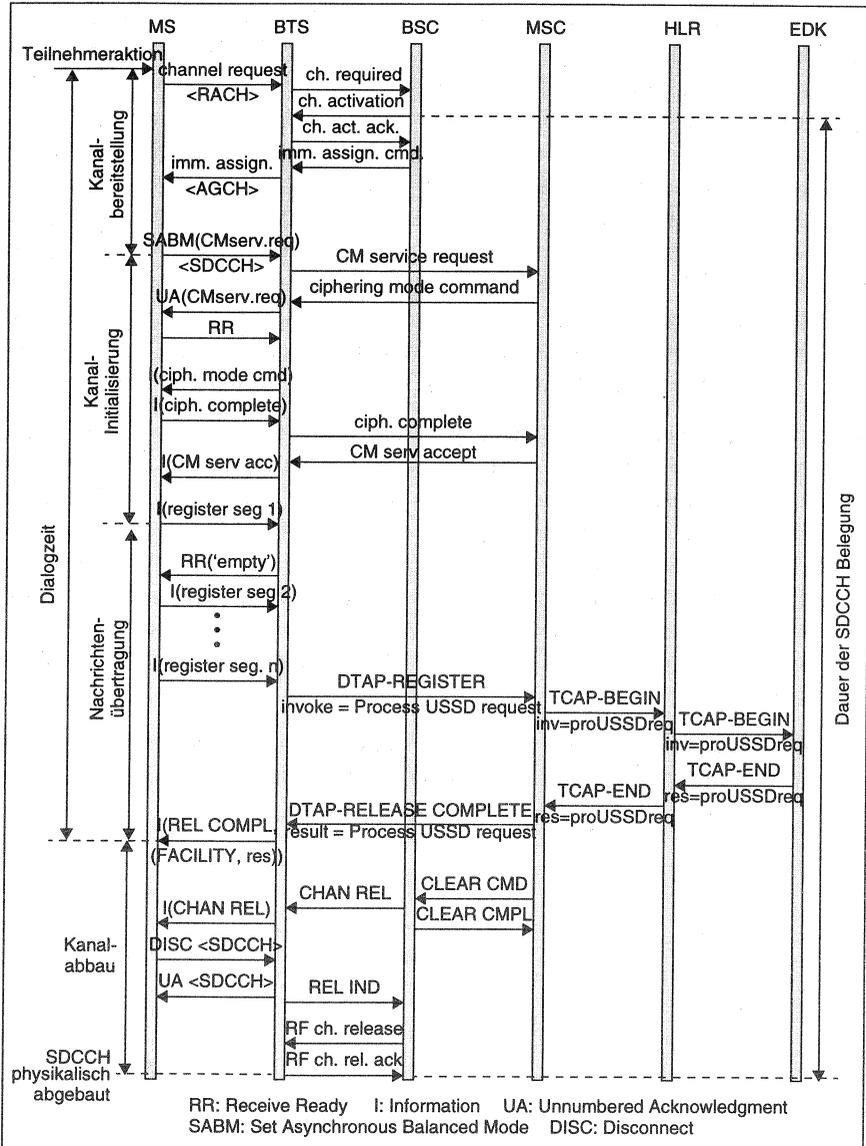


Abbildung 17: Nachrichtenflußdiagramm für einen MS-initiierten, nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialog

anrufbezogene Zusatzdienst-Transaktion einen USSD-Dialog zum Endgerät verhindern, da für einen USSD-Dialog derselbe nur einmal vorhandene Transaction-Identifikator gebraucht wird. Die Informationsflüsse für den netzinitiierten Fall sind in Abbildung 19 grafisch dargestellt.

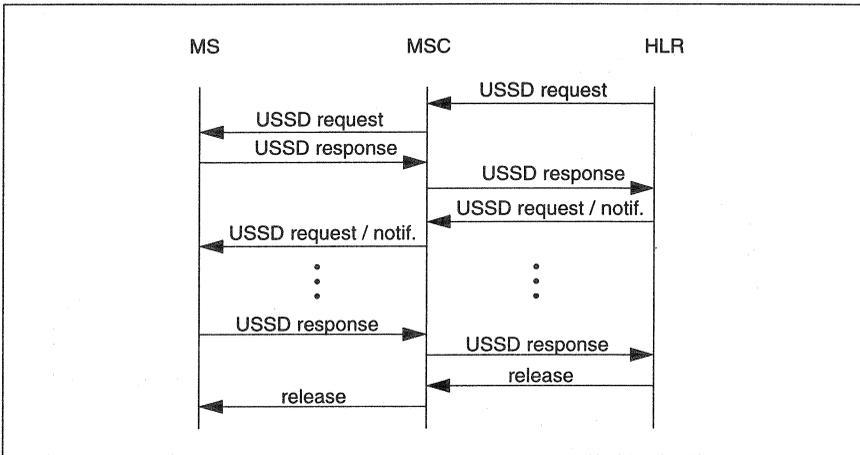


Abbildung 19: Informationsflußdiagramm für eine netzinitiierte USSD Operation mit Austausch mehrerer Nachrichten

Abbildung 20 zeigt das zugehörige detaillierte Nachrichtenflußdiagramm für den Fall des nicht verbindungsgebundenen, netzinitiierten USSD-Dialogs, Abbildung 21 den für einen netzinitiierten, verbindungsgebundenen USSD-Dialog.

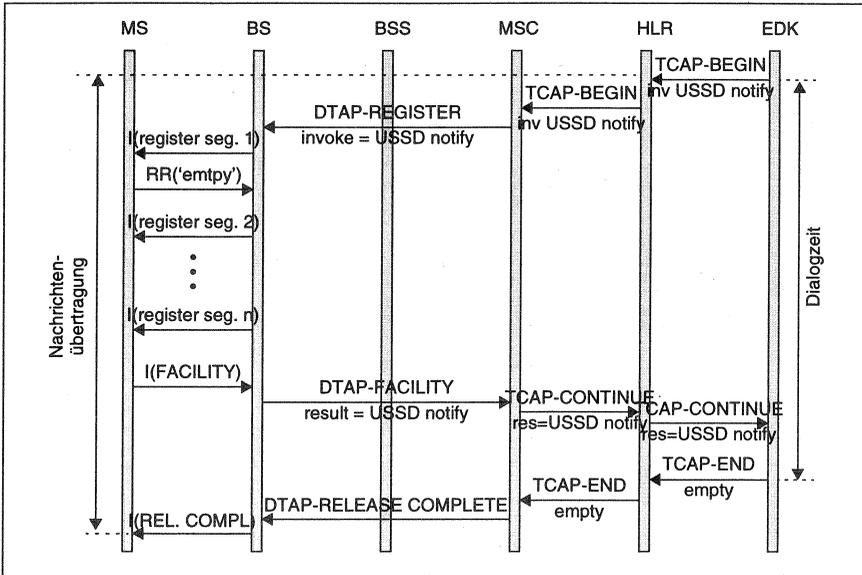


Abbildung 21: Nachrichtenflußdiagramm für einen netzinitiierten, verbindungsgebundenen USSD-Dialog

3.2.1.6 USSD basierte Dienste

Ein USSD basierter Dienst kann eine beliebige Funktion in Endgerät oder Netz ausführen. Der Teilnehmer steuert den Dienst mit Hilfe von USSD Nachrichten. Da für standardisierte Dienste stets eine sogenannte funktionale Signalisierung vorgesehen wird²⁴, sind die nicht-standardisierten, betreiber-spezifischen Dienste die Domäne der USSD basierten Dienststeuerung. Dienste dieser Klasse werden ausführlich in Kapitel 4.3 vorgestellt. Hier soll ein zweiter großer Bereich des Einsatzes von USSD Nachrichten beschrieben werden, der nicht die später in dieser Arbeit eingeführten Erweiterungen des USSD Mechanismus, sondern den Standard USSD Dienst verwendet. Genauer genommen handelt es sich nicht um eine eigene Klasse von Diensten, sondern um die Ermöglichung des Zusammenspiels von neueingeführten Diensten und Endgeräten, die vor dem Zeitpunkt der Einführung eines standardisierten Dienstes auf den Markt kamen und daher die nötige funktionale Signalisierung

24. D.h. es existieren Protokollelemente und Mensch-Machine Prozeduren, die eigens für diesen Dienst in Netz und Endgerät implementiert worden sind.

nicht beherrschen. Eine solche Inkompatibilität zwischen älteren Endgeräten und neuen Netzdiensten kann im Normalfall nur bei Phasenübergängen des GSM Standards zustandekommen, innerhalb der GSM Phase 2+, die nicht als geschlossene Phase, sondern als evolutionäres Konzept zu verstehen ist, kann diese Inkompatibilität aber auch innerhalb einer Phase auftreten. Beispielhaft soll hier der Dienst Anrufübertragung, der innerhalb der GSM Phase 2+ eingeführt werden kann, beschrieben werden.

Der Dienst Anrufübertragung (“Explicit Call Transfer, ECT”) ist als eigenständiger Dienst in der GSM Phase 2+ vorgesehen. Mittels der Funktion Verbindung in Wartestellung (“call on hold”) ist es einem Teilnehmer möglich eine zweite Verbindung neben der derzeit aktiven Verbindung zu halten. Der Übersicht halber seien im folgenden der Teilnehmer selber als A, die Gesprächspartner seiner beiden Verbindungen als B und C bezeichnet. Der Dienst Anrufübertragung erlaubt es dem Teilnehmer A eine Verbindung zwischen den Parteien B und C herzustellen und sich selber aus der so entstandenen Dreiecksverbindung zu lösen. Abbildung 22 veranschaulicht die Funktion des Dienstes Anrufübertragung.

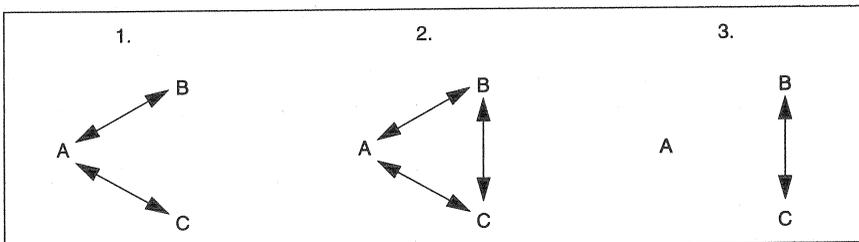


Abbildung 22: Funktionsweise des Dienstes Anrufübertragung

Es ist offensichtlich, daß der maßgebliche Aufwand zur Einführung des Dienstes Anrufübertragung in der Vermittlungsstelle anfällt, in der die Verschaltungen der einzelnen Verbindungen geschehen. Der USSD Prozeß kann - wie oben beschrieben - genutzt werden, um den Dienst zu aktivieren. Dazu sendet der Teilnehmer, der bereits zwei Anrufe hält, eine USSD Anfrage an die in der MSC implementierte USSD-Anwendung. Da der damit gestartete USSD-Dialog ohnehin netzseitig terminiert werden muß, kann in der USSD Release Complete Nachricht eine Information über Erfolg oder Nichterfolg der Dienstausführung an den Teilnehmer zurückgeschickt werden.

3.2.2 CAMEL

3.2.2.1 Grundsätze des CAMEL-Mechanismus

Je stärker ein Dienst standardisiert ist, desto einfacher läßt er sich in allen Netzen gleichartig anbieten und um so geringer sind auch die Entwicklungskosten für das Dienstkonzept, da alle an der Standardisierung Beteiligten sich diese Kosten teilen. Gleichzeitig läßt aber ein stark standardisierter Dienst wenig Raum für Wettbewerb, da jeder der Beteiligten Nutzen aus seinem Beitrag zur Standardisierung ziehen möchte und den Dienst anbieten wird. Ein nicht standardisierter Dienst (sogenannter betreiberspezifischer Dienst - *operator specific service*) ermöglicht zwar dem anbietenden Betreiber einen Wettbewerbsvorteil, solch ein Dienst ist aber mit den herkömmlichen Techniken auch nur im Netz des betreffenden Betreibers verfügbar. Somit würde (und wird in einigen realen Fällen auch) ein wesentlicher netzübergreifender Dienst der GSM Netze, das *roaming*, eingeschränkt. Der langwierige Standardisierungs-Prozeß läßt Netzbetreiber zunehmend nicht-standardisierte Dienste anbieten. So können sie schneller auf Anforderungen des Marktes reagieren, neue Bedürfnisse wecken und sich Wettbewerbsvorteile verschaffen.

Customised Applications for Mobile network Enhanced Logic (CAMEL) ermöglicht die Nutzung betreiberspezifischer Dienste innerhalb des gesamten GSM Dienstbereichs, d.h. aller untereinander durch Roaming-Abkommen zu virtuell einem Netz verbundenen Einzelnetze. Dazu reicht es aus, wenn die Dienststeuerlogik im Heimatnetz²⁵ des Teilnehmers vorhanden ist und das jeweilige Besuchsnetz über den CAMEL-Mechanismus verfügt. CAMEL ist kein Dienst, sondern ein sogenanntes Netzmerkmal, welches seinerseits die Erbringung von Diensten ermöglicht. Deswegen sind auch Anzahl und Art der mit CAMEL implementierbaren Dienste nicht begrenzt. Es liegt in der Natur der Sache, daß eine große Schnittmenge zwischen den Diensten, die sich durch den USSD-Mechanismus erbringen oder verbessern lassen und CAMEL-basierten Diensten existiert. Zu den potentiellen CAMEL-Diensten zählen:

- Nummernübersetzungen (wie z.B. Privater Nummernplan, vgl. Kapitel 4.3.4)
- Filterung eingehender und ausgehender Anrufe (vgl. Kapitel 4.3.3)
- Erweiterte Anrufweiterleitung (vgl. Kapitel 4.3.5)

25. In dieser Arbeit wird der Betreiber des CAMEL Service Environment (CSE) vereinfachend dem Netzbetreiber des HN gleichgesetzt. [GSM03.78] läßt ausdrücklich zu, daß diese beiden nicht identisch sein müssen.

- Ortsabhängige Dienste (vgl. Kapitel 4.3.2)
- Dienste mit Eingriffen in die Gebührenbelastung
- Dienste zur Erfassung statistischer Daten über Teilnehmerverhalten und Dienstnutzung (vgl. Kapitel 4.3.6)

Die Auffassung, daß CAMEL den Weg für eine Ankopplung der GSM Netze an bestehende Schnittstellen des IN (Intelligent Network) Konzeptes darstellt, ist weit verbreitet. Diese These wird insbesondere durch die geänderte Rolle des Home Location Register (HLR) unterstützt. War das HLR ursprünglich nur ein Speicher für den Aufenthaltsort eines Mobilfunkteilnehmers, so ist seine Bedeutung über eine Datenbank für alle Teilnehmerdaten bis hin zur Funktionalität eines *Service Control Point* im Sinne des IN-Konzepts gewachsen. Auch die Verwendung des Signalisiersystems #7 (SS.7) sowohl in IN als auch im GSM impliziert eine gewisse Nähe der beiden Systeme, wenn auch das GSM System ohne Berücksichtigung des IN-Konzepts und somit ohne eine INAP-Schnittstelle entwickelt wurde. GSM besitzt einen eigenen "Application Part", den MAP. Konsequenterweise ist denn auch die Einführung des CAMEL-Mechanismus als eine Erweiterung des MAP geplant. De facto werden jedoch Elemente des INAP unter der Bezeichnung CAMEL Application Part (CAP) in den MAP importiert werden.

In einem größeren Zusammenhang bedeutet die Einführung von CAMEL also, daß die Dienstbereitstellung zentralisiert wird - weg vom gerade benutzten Netz hin zum Heimatnetz. Ein besuchtes Netz spielt eine untergeordnete Rolle und ist fortan lediglich für die Durchführung von Standard-Diensten und die reine Übertragungsleistung verantwortlich. Damit wird eine wesentlich bessere Trennung zwischen dem Dienstanbieter und dem Betreiber / Anbieter des Zugangnetzes (*access network provider*²⁶) ermöglicht werden.

3.2.2.2 Zeitrahmen und Einführung

1993 definierte das Technische Komitee SMG (vgl. Kapitel 2.1) einen Arbeitspunkt "Unterstützung PLMN-spezifischer Dienste während des roaming", der im Jahre 1994 in CAMEL umbenannt wurde²⁷.

Die Einführung des CAMEL-Mechanismus ist in Phasen geplant. In Phase 2

26. vgl. [Mobilise93]

27. Zur Entstehungsgeschichte des Namens existieren verschiedene Anekdoten. Eine besagt, daß das Kamel im Australischen eine Metapher für das in Deutsch scherzhaft "Eierlegende Wollmilchsau" genannte Tier, das alle menschlichen Primärbedürfnisse befriedigen kann, ist. Sicher ist, daß bei der Namengebung die Abkürzung über deren Sinn gehoben wurde.

soll dann die gesamte Palette der Möglichkeiten implementiert werden. Die erste Phase wird lediglich verbindungsgebundene Dienste unterstützen (vgl. "DP8" links unten in Abbildung 25) und nur einen Dienstanbieter pro Teilnehmer zulassen. Phase 1 hat die Standardisierungsprozedur im Verlaufe dieses Jahres (1997) verlassen. Phase 2 wird das Leistungsspektrum um verbindungsunabhängige Dienste erweitern und losgelöst nach der Fertigstellung der Phase 1 bearbeitet werden. Dieses Vorgehen trägt dem Kritikpunkt der schwerfälligen Standardisierungsarbeit mit sehr langen Vorlaufzeiten Rechnung. Man hat sich bewußt für eine Reduktion der Anfangs-Funktionalität zugunsten einer schnellen Einführung entschieden.

3.2.2.3 CAMEL Architektur

Die für die Einführung des CAMEL-Mechanismus vorgesehene Architekturänderung des GSM Netzes ist strukturell²⁸ gering. Sie sieht im wesentlichen vor, den Vermittlungsstellen Service Switching Functions (SSF) zur Seite zu stellen und auf der logischen Ebene des Home Location Register eine Service Control Function (SCF) zu installieren. Die CAMEL Referenzarchitektur ist in Abbildung 23 dargestellt.

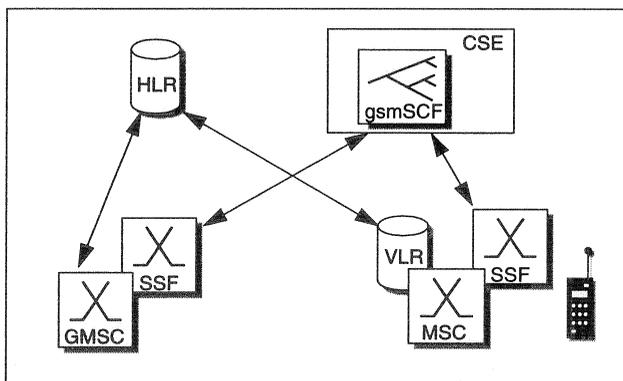


Abbildung 23: CAMEL Referenzarchitektur

Das CAMEL Service Environment (CSE) besteht einzig aus der SCF und ist der zentrale Signalisierknoten innerhalb des CAMEL-Mechanismus. Das CSE ist immer innerhalb des Heimatnetzes des betreffenden Teilnehmers angesie-

28. damit soll darauf hingewiesen werden, daß die reale Implementierung durchaus einen massiven Eingriff in die Netzinfrastruktur darstellt.

delt und steuert die Dienstauführung in den SSFs.

Prinzipiell können an der Bereitstellung eines CAMEL basierten Dienstes bis zu drei verschiedene Mobilfunknetze beteiligt sein. Es ist immer das Heimatnetz (Home PLMN, HPLMN), das die Dienststeuerung mittels der GSM-Service Control Function (gsmSCF) erbringt, auch dann wenn der Teilnehmer sich in einem Besuchsnetz (Visited PLMN, VPLMN) aufhält. Bei eingehenden Anrufen zu einem CAMEL-Teilnehmer kann der Anruf aus einem dritten, dem anfragenden Netz (Interrogating PLMN, IPLMN) stammen. Abbildung 24 faßt die an der CAMEL Dienstbereitstellung beteiligten Netze und deren Signalaustausch zusammen.

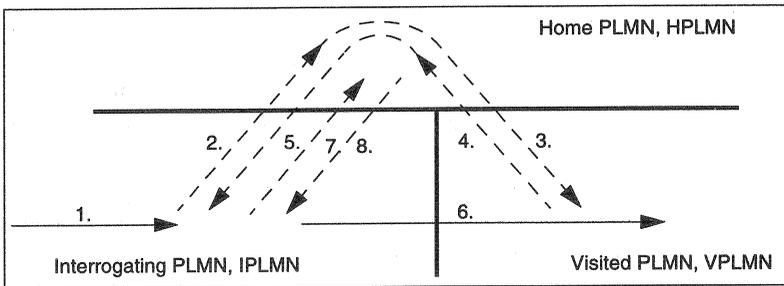


Abbildung 24: Die an der CAMEL Dienstbereitstellung beteiligten Netze

Exemplarisch sind in Abbildung 24 die Signal- und Verkehrsflüsse für einen eingehenden Anruf (1.) zu dem im VPLMN befindlichen CAMEL-Teilnehmer eingetragen. Das IPLMN richtet eine Leitweganfrage an das HPLMN (2.). Von dort wird im VPLMN eine Roaming-Nummer erfragt (3., 4.) und an das IPLMN zurückgegeben (5.). Damit kann die Verbindung aufgebaut werden (6.). Der in 5. zurückgegebene Datensatz enthält die CSI, die, wenn deren Status "aktiv" ist, im IPLMN das Basic Call State Model mit den Daten des gerufenen Teilnehmers lädt. Trifft das IPLMN beim Durchlaufen der verschiedenen Zustände auf einen geladenen Detection Point (DP), erfragt es Dienststeuerkommandos von der im Heimatnetz implementierten gsmSCF (7.). Da das CAMEL Service Environment (CSE) mit dem gsmSCF im HPLMN vollständig die Kontrolle über den Anruf übernimmt ist es auch ihre Aufgabe, das Gateway-MSC im IPLMN durch entsprechende Steuerkommandos (Anruf aufbauen, Anruf abbauen etc.) "zu bedienen" (8.).

In den beiden folgenden Unterkapiteln werden die technischen Prinzipien der

CAMEL Spezifikation kurz vorgestellt. Diese Darstellung schafft das notwendige Verständnis für diese Arbeit und versucht einige grundlegende Gedanken zur Entstehung zu vermitteln, ist aber nicht erschöpfend. Weitergehende Information finden sich in den GSM-Standards [GSM01.78], [GSM02.78] und [GSM03.78].

3.2.2.4 Das CAMEL Basic Call State Model (BCSM)

Der Grundgedanke des IN und somit auch der des CAMEL-Mechanismus ist die Möglichkeit, die Standard-Anrufprozedur zeitweise zu verlassen und währenddessen zusätzliche Funktionen auszuführen (vgl. dazu z.B. Abbildung 29). Dazu muß die Anrufprozedur formal gefaßt werden. Diese Strukturierung lag im GSM bislang nicht explizit vor. Mit Einführung des CAMEL-Merkmals entschied man sich für die Beschreibung mittels eines Basic Call State Model (BCSM), wie er aus dem IN bekannt ist. Innerhalb dieses BCSM lassen sich bestimmte Ereignisse definieren, die als Trigger für die Ausführung einer speziellen Behandlungsroutine genutzt werden können. Diese Punkte werden als Detection Point (DP) bezeichnet. Sie sind im allgemeinen von einer Zustandsänderung, wie beispielsweise dem Eingang einer Belegtmeldung des angerufenen Teilnehmers, abhängig. Ferner werden für die Verweilpunkte in der Anrufprozedur sogenannte Point in Call (PIC) definiert. Diese werden definiert durch eine Eingangsvoraussetzung, ihre Funktionsbeschreibung und die Ausgangsvoraussetzung. Dabei ist die Ausgangsvoraussetzung im allgemeinen identisch mit der Eintrittsvoraussetzung des nächstfolgenden DPs. Ferner ist in den Fällen der typischen Wartepunkte die Liste der verfügbaren Information angegeben.

Da die möglichen Erkennungspunkte und Anrufzustände im Falle ankommender und abgehender Anrufe sehr unterschiedlich sind, werden zwei verschiedene Basic Call State Models definiert. Diese sind in Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt. Dabei wurden die englischen Bezeichnungen der DPs und PICs sowie die Numerierung der DPs gemäß den Vorgaben des GSM Standards beibehalten.

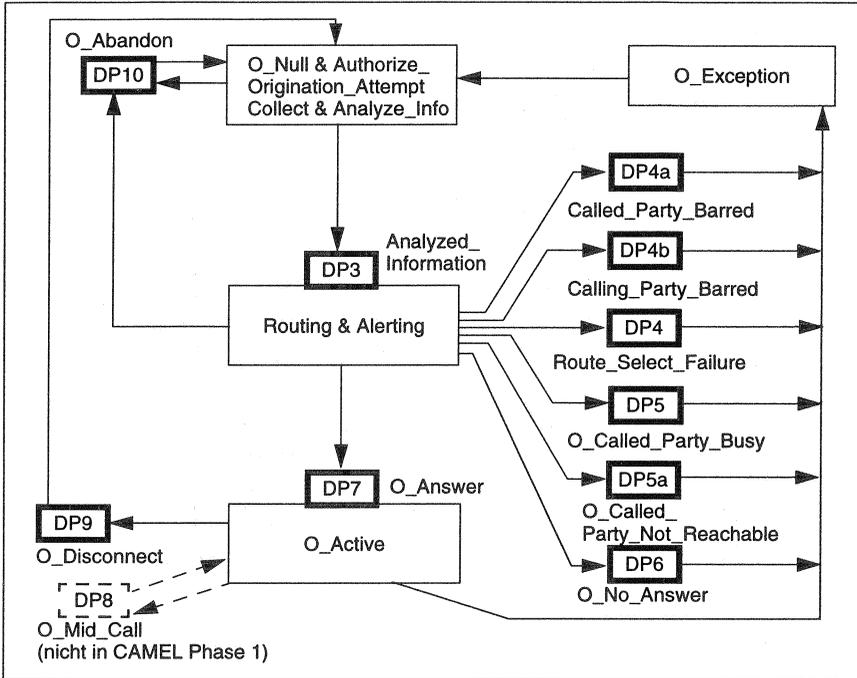


Abbildung 25: Das CAMEL Basic Call State Model (BCSM) für abgehende Anrufe

Um eine Verzweigung der Anrufsteuerung aus der herkömmlichen Behandlungsprozedur hin zur CAMEL Dienststeuerung zu erzwingen, muß mindestens ein DP "geladen" werden. Nur im Falle eines geladenen DPs wird eine Anfrage in Richtung der gsmSCF initiiert, eine generelle Abfrage bei allen DPs würde die Anrufprozedur unzulässig und unnötig verlängern.

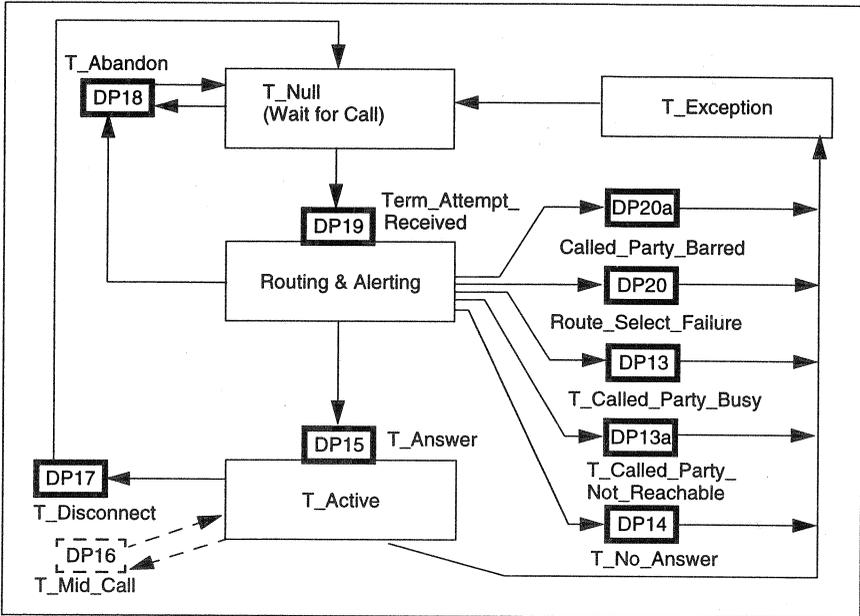


Abbildung 26: Der CAMEL Basic Call State Model (BCSM) für ankommende Anrufe

Im folgenden wird tabellarisch die Bedeutung der einzelnen DPs und PICs vorgestellt. Auf eine Auflistung sämtlicher Parameter wird der Übersichtlichkeit halber verzichtet. Der Zusatz “T_” bzw. “O_” bei den DPs bezieht sich auf die Zuordnung entweder zum Basic Call State Model der ankommenden (englisch terminating) bzw. abgehenden (englisch originating) Anrufe und wird in der folgenden Beschreibung ausgelassen:

- PIC “Null & Authorize Origination Attempt, Collect & Analyze Info” ist der Ruhezustand des BCSM. Er wird erreicht nach der Beendigung (erfolgreich DP9 bzw. Abbruch DP10) eines vorangegangenen Anrufs oder wenn die Ausnahmebehandlung durch die SSF erfolgt ist (Zugang von rechts in Abbildung 25).
- DP3 (Analyzed Info) wird erreicht, wenn die Nachricht zum Aufsetzen eines Anrufs empfangen wird.
- PIC “Routing & Alerting” wird erreicht, wenn die Leitweginformation vorhanden ist. Daraufhin wartet der Zustandsautomat auf das Eintreffen eines der verbundenen DPs (s.u.)
- DP10 (Abandon) ist die unplanmäßige Beendigung des vorangehenden PIC, welche

durch die Anrufbeendigung durch den Anrufer vor der Beantwortung durch den Angerufenen herbeigeführt wird.

- DP4a (Called Party Barred) wird angetroffen, wenn die angerufene Seite gesperrt ist
- DP4b (Calling Party Barred) wird angetroffen, wenn die anrufende Seite gesperrt ist.
- DP4 (Route Select Failure): Die den Anruf behandelnde MSC kann keinen (freien) Leitweg zum angerufenen Teilnehmer finden.
- DP5a (Called Party Not Reachable) wird angetroffen, wenn die angerufene Seite nicht erreichbar ist.
- DP5 (Called Party Busy) wird angetroffen, wenn der angerufene Anschluß belegt ist.
- DP6 (No Answer) wird angetroffen, wenn die angerufene Seite nicht antwortet.
- DP7 (Answer): Diesem Pfad wird gefolgt, wenn die angerufene Seite den Anruf entgegennimmt.
- PIC "Active" kennzeichnet dann den Zustand einer etablierten Verbindung.
- DP8 (Mid Call) erlaubt die Verzweigung innerhalb des PIC "Active" um die Ausführung verbindungsgebundener Dienste zu initiieren. Dieser DP ist nicht Bestandteil der CAMEL Phase 1.
- DP9 (Disconnect) wird angetroffen, wenn eine der beiden Verbindungsbeteiligten Seiten die Verbindung beendet.
- PIC "Exception": Dieser Zustand wird eingenommen, wenn eine unvorhergesehene Ausnahme in der Verbindungsbearbeitung auftritt (z.B. Verbindungsabbruch).

Die meisten der DPs / PICs des BCSM für ankommende Verbindungen (Abbildung 26) sind identisch mit denen des BCSM für abgehende Verbindungen und werden nicht nochmals erklärt. Lediglich DP19 unterscheidet sich natürlicherweise von DP3. DP19 (Attempt Received) wird angetroffen, wenn eine ankommende Verbindung registriert wurde.

3.2.2.5 Implementierungsdetails der CAMEL Phase 1

Es wird davon ausgegangen, daß a) nicht alle Netze zeitgleich und direkt das CAMEL-Merkmal einführen werden und b) die CAMEL-Unterstützung ein Wahlmerkmal sein wird, d.h. daß der einzelne Teilnehmer die damit mögliche neue Dienstklasse getrennt abonnieren kann. Um solche im folgenden CAMEL-Teilnehmer genannten Teilnehmer von denen ohne CAMEL-Abonnement zu unterscheiden, ist ein Datenfeld im Teilnehmerdatensatz, die sogenannte CAMEL Subscription Information (CSI) vorgesehen. Dieses Datenfeld

besteht aus der Adresse der zuständigen gsmSCF (ein SCCP global title), dem Dienstschlüssel mit dienstspezifischer Logik und einer Angabe zur Verbindungsbehandlung im Fehlerfall. Das CSI wird mittels der vorhandenen MAP Protokollelemente InsertSubscriberData, SendRoutingInformation und LocationUpdate [09.02], die entsprechend erweitert werden müssen, übertragen werden.

Einen guten Überblick über die Funktionalität des CAMEL-Mechanismus²⁹ gibt die Liste der neu eingeführten Protokollelemente, da diese vergleichsweise klein ist. Der Protokollsatz 1 der ITU-T definiert insgesamt 60 Protokollelemente für IN-Signalisierung [Q.1214]. Davon wurden nur 29 in den ETSI Core-INAP übernommen [INAP374-1]. Nach einer weiteren Minimierung des Protokollumfangs wurden letztlich nur 11 dieser Elemente als CAMEL Application Part (CAP) definiert:

1. InitialDP

wird von der SSF zur gsmSCF geschickt, nachdem ein geladener DP im Verlauf der Abarbeitung des Verbindungszustandsautomaten (BCSM) angetroffen wurde. InitialDP stellt die Anfrage nach der weiteren Behandlung dar. Die Parameter des Protokollelements sind²⁹

- Dienstschlüssel
- angerufene Nummer
- Nummer des Anrufenden
- Anruferkategorie des Anrufenden
- Funkdeckungsgebiet des Anrufenden
- ursprünglich angerufene Nummer
- Art der Transportverbindung
- Identifikation des DP
- Identität des umleitenden Teilnehmers
- Umleitungsinformation
- zusätzliche Kennung des Anrufenden
- Informationen über die Kompatibilität zu höheren Schichten
- Verbindungszustand des Anrufenden
- geographische Information (Länge, Breite und Auflösung)
- Identität des VLR
- Zell-Identität
- Zustand der Ortsinformation (nicht / registriert ...)
- Zeitpunkt der letzten Aktualisierung der Ortsinformation
- Funkdeckungsgebiet des angerufenen Teilnehmers
- IMSI
- Code des Grunddienstes

29. Die Parameter sind nur für das Protokollelement InitialDP aufgelistet, da die Parameterlisten der anderen Protokollelemente zum größten Teil Untermengen desselben sind.

2. RequestReportBCSM Event
veranlaßt die SSF das Eintreten eines bestimmten Verbindungszustandes (z.B. "angeforderter Teilnehmer hat geantwortet") mittels der EventReportBCSM-Nachricht an die gsmSCF zu melden.
3. EventReportBCSM
meldet das Eintreten des mit der RequestReportBCSMEvent Nachricht spezifizierten Zustands.
4. Continue
signalisiert der SSF, daß sie die Verbindungssteuerung an dem DP, an dem sie an die gsmSCF übergeben worden war, wieder aufnehmen soll.
5. Connect
bestimmt die Verbindungsweiterleitung zu einer im Parameterfeld der Nachricht genannten Adresse.
6. ReleaseCall
erlaubt die sofortige Terminierung einer etablierten Verbindung zu einem beliebigen Zeitpunkt.
7. FurnishChargingInformation
erlaubt die Weitergabe von Gebühreninformation an die SSF, um eine adaptierte Berechnung des momentanen Anrufs zu erstellen
8. ProvideInformationRequest
wird von der gsmSCF an das HLR gesandt, um in einer ProvideInformationResponse Nachricht zu einem beliebigen Zeitpunkt Informationen über den Verbindungszustand eines Teilnehmers und seinen Aufenthaltsort zu erfragen. Das HLR kann dieselbe Anfrage an die VLR richten, um den aktuellen Verbindungszustand zu erfragen. Eine direkte Anfrage von der gsmSCF zur VLR ist nicht möglich.
9. ProvideInformationResponse
liefert die mit ProvideInformationRequest angefragte Information.
10. RoutingInformationRequest
ist die an CAMEL angepaßte Form des MAP Protokollelements SendRoutingInformation, mittels derer die Zuweisung einer MSRN initiiert wird.
11. RoutingInformationResponse
ist die Antwortnachricht zu RoutingInformationRequest und insofern die Erweiterung des MAP Protokollelements SendRoutingInformationResponse, in welchem die MSRN an die GMSC mitgeteilt wird.

Die folgende Abbildung 27 zeigt, zwischen welchen Knoten die 11 Protokollelemente versandt werden.

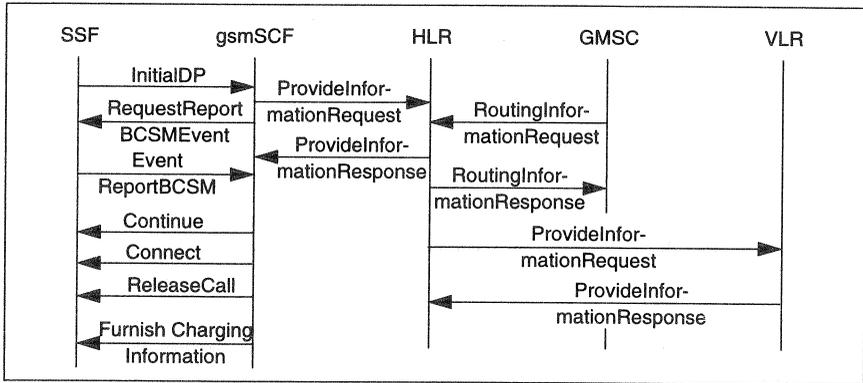


Abbildung 27: Protokollelemente des CAMEL Application Part (CAP)

Abbildung 27 zeigt deutlich, daß -wie zu erwarten- das Gros der Informations-elemente zwischen SSF und gsmSCF gebraucht werden. Die Protokollelemente sollen hier nicht im einzelnen behandelt werden. Deren Umfang zeigt jedoch, daß der CAMEL Application Part (CAP) trotz vergleichsweise weniger Protokollelemente ein mächtiges Instrument darstellt.

Die Länge der einzelnen Protokollelemente in OSI Schicht 7 ist nicht identisch und hängt ferner von den im Kontext erforderlichen Parametern ab. In [Wierichs96] findet sich eine obere Abschätzung der Nachrichtenlängen aller CAP Protokollelemente. Diese ist in Tabelle 4 wiedergegeben.

Um die Menge tatsächlicher transportierter Daten auf der physikalischen Schicht errechnen zu können, muß der von den unter Schicht 7 liegenden Protokollebenen erzeugte Verwaltungsaufwand betrachtet werden. Abbildung 28 zeigt die Schachtelung der einzelnen Protokolldateneinheiten ineinander und gibt einen Überblick über den entstehenden overhead.

CAT Protokollelement	Länge der Schicht 7 PDU in Byte
InitialDP	60
RequestReportBCSM Event	50
EventReportBCSM	20
Continue	10
Connect	30
ReleaseCall	10
FurnishChargingInformation	30
ProvideInformationRequest	20
ProvideInformationResponse	50
RoutingInformationRequest	10
RoutingInformationResponse	30

Tabelle 4: Länge der Schicht 7 PDUs der CAP Protokollelemente

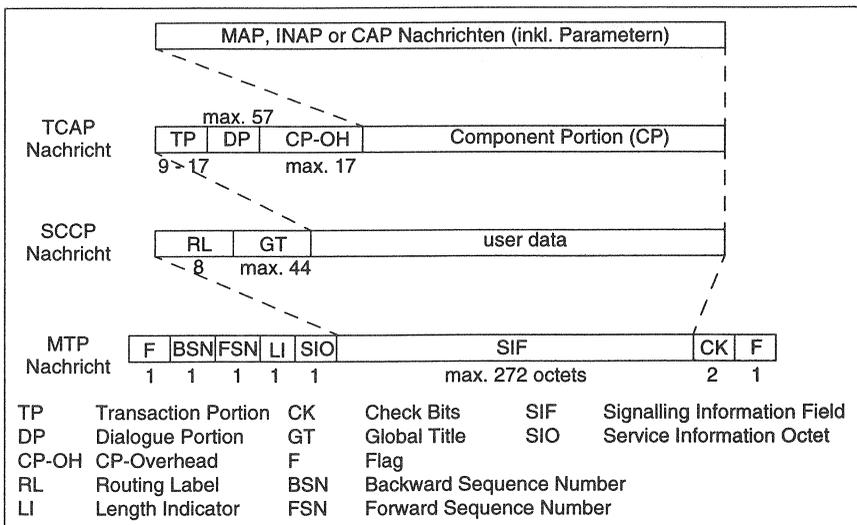


Abbildung 28: Verschachtelung der CAP-Nachrichten in den verschiedenen Protokollebenen

Aus Abbildung 28 ist ersichtlich, daß der Protokolloverhead von TCAP, SCCP und MTP bis zu 151 Byte betragen kann. Im weiteren Verlauf wird davon ausgegangen, daß er konstant 80 Byte beträgt, was bei Berücksichtigung der verwendeten Protokolldaten eine gute Näherung ist.

3.2.3 Dienstunterstützung durch das SIM

Das Subscriber Identity Module (SIM) in der GSM-Mobilstation dient der Identifizierung eines Teilnehmers. Es kann neben den Daten zur Teilnehmer-Identifizierung im Betrieb neue Daten speichern. Das Modul ist nicht statisch mit einem Endgerät verbunden, sondern kann beliebig zwischen Endgeräten gewechselt werden. Zwei wesentliche Merkmale des SIM machen es im Kontext der erweiterten Dienstbereitstellung interessant: Es wird vom Betreiber des Heimatnetzes an seine Teilnehmer herausgegeben, der Heimatnetzbetreiber hat also die Kontrolle über solche Merkmale des SIM, die nicht standardisiert sind. Ferner ist es dem Netzbetreiber möglich, Daten durch die Luftschnittstelle auf das SIM zu schreiben. Letztere Möglichkeit entstand als "Seitenprodukt" des Kurznachrichtendienstes. Um Kurznachrichten immer ausliefern zu können und für mehrmaliges Lesen zwischenspeichern, werden diese direkt auf die SIM-Karte geschrieben. Dies eröffnet die Möglichkeit, mit einem überlagerten Protokoll (beispielsweise signifikante Sequenzen in der Kurznachricht³⁰) diesen Mechanismus als Datenkanal zwischen Heimatnetzbetreiber und Endgerät zu gebrauchen. Über diesen Kanal (genutzt wird der Punkt zu Punkt Kurznachrichtendienst) können Daten auf dem SIM geändert werden, was beispielsweise für das Laden betreiberspezifischer Rufnummern in das Kurzwahlverzeichnis auf dem SIM genutzt wird.

In der GSM Phase 2+ wird ein erweitertes Anrufzustandsmodell dem SIM erlauben, Interaktionen mit dem Endgerät zu initiieren [GSM11.14]. Die Summe aller Erweiterungen in [GSM11.14] wird unter dem Begriff SIM-Application Toolkit (kurz "SIMAT" oder "SAT") zusammengefaßt. Das auf dem SIM gespeicherte Programm kann mittels des sogenannten proaktiven SIM Merkmals folgende Befehle ausführen:

30. Inzwischen wird eine speziell für diesen Zweck eingeführte eigene Klasse von Kurznachrichten verwendet.

- Anzeigen von Text auf der Anzeige des Endgeräts
- Absenden einer Kurznachricht
- Aufbau einer Sprach- oder Datenverbindung zu einer auf dem SIM gespeicherten Nummer
- Senden einer Zusatzdienstsignalisierung (Zusatzdienstaktivierung etc.) (inklusive Senden einer USSD Nachricht³¹)
- Initiierung eines Teilnehmerdialogs

Damit ist dem Heimatnetzbetreiber die Möglichkeit gegeben auch betreiber-spezifische Dienste (bzw. solche Teile eines betreiberspezifischen Netzdienstes, die im Endgerät entweder besser oder generell nur dort ablaufen können) im Endgerät zu steuern. Ferner trägt eine Verschiebung von Teilen der Dienstausführung auf das Endgerät einem Dezentralisierungstrend Rechnung, der bei Netzen mit hochintegrierten Endgeräten und damit verbundener hoher Rechenleistung ohnehin vorherrscht. Letztlich sei auf die Verwendung der Interpretersprache JAVA für Anwendungen auf dem Teilnehmer Identitäts-Modul hingewiesen. Diese plattformunabhängige Sprache wird eine Kompatibilität der Endgeräte verschiedener Hersteller herbeiführen, die ein offenes Dienstbereitstellungsmodell unterstützt.

31. In der bisherigen Form des [GSM11.14] unterliegen jedoch alle weiteren USSD Nachrichten innerhalb des so gestarteten Dialogs den üblichen Beschränkungen der USSD Dialoge (direkte Darstellung der Nachricht auf der Endgeräteanzeige etc.). Die endgültige Form des Standards ist aber noch in der Diskussion innerhalb ETSI TC SMG.

3.3 Anbietung betreiberspezifischer Dienste mittels proprietärer Lösungen

In diesem Kapitel soll als Gegenpol zu den oben dargestellten Erweiterungsmerkmalen eine von vielen Möglichkeiten der proprietären Dienstbereitstellung exemplarisch vorgestellt werden.

Die hier vorgestellte Funktionalität "Zusatzdienste für ankommende Anrufe" (ZAA) erlaubt einem Netzbetreiber, seinem Kunden andere als die im GSM Standard vorgesehenen Dienste anzubieten, ohne die Notwendigkeit von Änderungen an der MS des Teilnehmers. Diese Funktionalität kann also als "teiloffene" Dienstbereitstellung angesehen werden, da zum einen ein Mechanismus zur Anbietung verschiedener Dienste spezifiziert wird, zum anderen aber eine Beschränkung der Dienste auf das Netz des Dienstbringers vorliegt.

Die nötigen Modifikationen werden im Netz eingebracht und zwar in einer Form, die die Interaktion mit anderen Mobilfunknetzen, die gänzlich GSM-konform sind, nicht beeinträchtigt. Gleichzeitig bleibt gewährleistet, daß der Teilnehmer mit seinem Endgerät in beliebigen anderen Mobilfunknetzen telefonieren kann. Die zusätzlich von seinem Netzbetreiber angebotenen Dienste kann er jedoch nur dann nutzen, wenn er sich innerhalb seines Heimatnetzes aufhält.

Der Netzbetreiber muß vor allem gewährleisten, daß die Standard-Dienste für Besucher aus anderen Netzen nach wie vor ungestört zur Verfügung stehen.

Abbildung 29 zeigt als Hinführung den herkömmlichen Signalisierverlauf bei eingehenden Anrufen³².

Beim normalen Verbindungsaufbau zu einem GSM Teilnehmer werden die folgenden Signalisierprotokollelemente ausgetauscht.

1. Ein aus einem beliebigen Netz kommender Anruf wird zu einem Gateway-MSC (GMSC) geleitet.
2. Von dort aus wird eine Anfrage nach Leitweginformation (send routing information - SRI) an die Heimatdatei (HLR) gerichtet.

32. Für diese Abbildung wurden zur besseren Veranschaulichung die bildliche Darstellung durch Netzknotten mit einem Nachrichtenflußdiagramm gemischt. Im weiteren wird dann wieder auf die herkömmliche Form der Nachrichtenflußdiagramme zurückgegriffen.

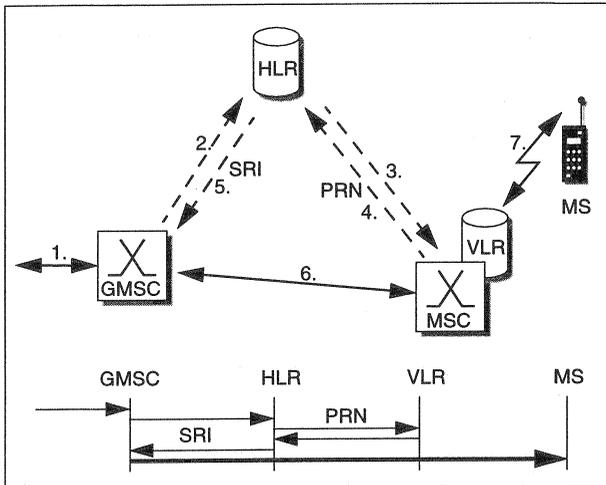


Abbildung 29: Herkömmlicher Verbindungsaufbau bei eingehenden Anrufen

3. Die Heimatdatei leitet die Anfrage an die momentan den betreffenden Mobilteilnehmer bedienende Mobilvermittlungsstelle (MSC) weiter, indem sie die Bereitstellung einer temporären Mobile Station Roaming Number (MSRN, Auswärtsteilnehmernummer) erbittet (PRN - provide roaming number). Von dort gelangt die Anfrage zur Besuchsdatei (VLR).
4. Das VLR teilt der Heimatdatei die gewünschte Nummer mit.
5. Das HLR wiederum meldet die MSRN in der Bestätigungsnachricht der SRI-Anfrage an das GMSC.
6. Daraufhin baut die GMSC den Anruf zu der betreffenden MSC - ohne den Umweg über die Heimatdatei - auf³³.
7. Vom MSC wird der Anruf über das Funksystem zu dem angewählten Mobilteilnehmer etabliert.

Der für die Anbieter von Zusatzdiensten für ankommende Anrufe gewählte Signalisierablauf ist in Abbildung 30 dargestellt.

33. Hier ist die Trennung zwischen Signalisier- und Transportsystem gut erkennbar.

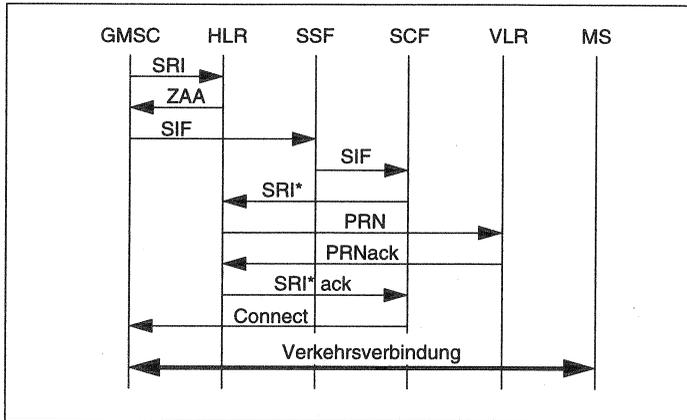


Abbildung 30: Signalisierung bei eingehenden Anrufen zu einem Teilnehmer mit der Dienstklasse "Zusatzdienste für ankommende Anrufe" (ZAA)

Der Ablauf ist hier wie folgt: Die Heimatdatei erkennt, daß eine Leitweganfrage (SRI) für einen Teilnehmer mit der Dienstklasse ZAA eingeht. Sie antwortet darauf nicht wie üblich mit einer Mobile Station Roaming Number (MSRN), sondern zeigt dem Gateway-MSC (GMSC) die Dienstklasse an (ZAA). Diese fragt daraufhin bei der Dienstvermittlungsfunktion nach Steuerinformation (SIF). Die SSF gibt die Anfrage ihrerseits an die Dienststeuerfunktion weiter. In der SCF wird nun ein spezifischer, mit Hilfe des Mechanismus ZAA implementierter Dienst gestartet. Im Beispiel wird angenommen, daß die Ausgabe der Dienstlogik die unveränderte Vermittlung des Anrufs an den ursprünglich angerufenen Teilnehmer ist. Die bisher nicht erfolgte Nachfrage nach einer MSRN muß dann an dieser Stelle nachgeholt werden. Damit die Heimatdatei nicht wieder mit der Dienstklasse (ZAA) antwortet, muß die Leitweganfrage modifiziert werden und anzeigen, daß bereits eine Verzweigung in eine zusätzliche Dienstkontrollinstanz (SCF) stattgefunden hat. Die modifizierte Anfrage ist hier mit SRI* bezeichnet. Die Heimatdatei (HLR) fragt aufgrund dieser Nachricht die Roaming Number (MSRN) bei der momentan durch den angerufenen Teilnehmer genutzten Besucherdatei (VLR) nach und gibt sie an die SCF zurück. Diese veranlaßt die Erstellung einer Verbindung zum angerufenen Teilnehmer.

Das gezeigte Beispiel offenbart zwei wesentliche Schwachpunkte der proprietären Dienstbereitstellungsvariante: Zum einen ist die Form der Dienstbereit-

stellung allenfalls als “teil-offen” zu bezeichnen, da die zusätzlichen Dienste nicht aus beliebigen Netzen heraus genutzt werden können (s.o.). Zum zweiten ist unmittelbar ersichtlich, daß die Menge an zusätzlicher Signalisierung erheblich ist und die Dienstauführung signifikant verzögert wird³⁴. Im folgenden Kapitel wird gezeigt, wie mit Modellen der erweiterten Dienstbereitstellung beide Schwachpunkte überwunden werden können.

34. vgl. dazu den Unterschied in der Menge der ausgetauschten Nachrichten zwischen Abbildung 29 und Abbildung 30 für die Erstellung derselben Verbindung

4. Kapitel

Die erweiterten Dienstbereitstellungsmodelle

In diesem Kapitel werden aufbauend auf den im 3. Kapitel vorgestellten Mechanismen zwei Modelle zur offenen Dienstbereitstellung in GSM erarbeitet, mittels derer Drittanbieter Dienste in einem GSM Netz anbieten können.

Wesentliches Merkmal der erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte (EDBK) ist, daß sie in ihrer technischen Realisierung auf Mechanismen beruhen, die nicht in ihrer Definition auf eine bestimmte Dienstklasse beschränkt sind. Weiterhin müssen alle für eine Dienstbereitstellung etwa in Frage kommenden Schnittstellen durch das jeweilige Konzept beherrschbar sein. Dazu zählt die Schnittstelle über den Funkkanal zum Teilnehmer genauso wie der Zugang zu mindestens einem Netzknoten zwecks Erbringung des Dienstes. In Kapitel 3.2 wurden die vier existierenden Mechanismen, nämlich USSD, CAMEL, Dienstunterstützung durch das SIM und der Kurznachrichtendienst (SMS) vorgestellt. Von diesen sind jedoch nur USSD und CAMEL strukturell relevant. Der SMS ist in seiner Funktionalität dem USSD unterlegen und die Dienstunterstützung durch das SIM bietet allenfalls Vorzüge hinsichtlich der Effizienz der Datenhaltung und Dienstauführung, bildet jedoch in diesem Verständnis keine Alternative zum CAMEL-Mechanismus. Damit ergeben sich aus heutiger Perspektive genau zwei Grundlagen für erweiterte Konzepte, die ein realistisches Entwicklungspotential für GSM-Netze im Bereich offene Dienstbereitstellung darstellen: USSD und CAMEL³⁵. Diese werden zunächst in ihrer existierenden Form eingebracht, um dann exemplarisch aufzuzeigen,

35. Selbstverständlich sind auch Mischformen offener Dienstbereitstellung möglich, die auf mehreren der genannten Migrationsmechanismen beruhen. Eine Bewertung dieser Mischformen bedarf jedoch in gleicher Weise der grundsätzlichen Betrachtung der einzelnen Komponenten, die dann später aggregiert werden können.

an welchen Stellen die Mechanismen in ihrer momentanen Form an Grenzen einer wirklich offenen Dienstbereitstellung stoßen. An diesen Stellen werden die entsprechenden Erweiterungen erarbeitet.

Da zum einen der USSD-Mechanismus zwar bereits verfügbar ist, jedoch kaum genutzt wird und zum anderen der CAMEL-Mechanismus sich noch in der Entwicklung befindet, wird auch Wert auf die Darstellung der prinzipiellen Nutzungsweise dieser Mechanismen und deren Leistungsbewertung gelegt, die sich bislang der wissenschaftlichen Betrachtung entzieht. Dies kann in einzelnen Fällen zur Entwicklung konkurrierender Gestaltungsvarianten der einzelnen Dienstbereitstellungskonzepte führen.

Abschließend wird in diesem Kapitel auf die Dienste selbst eingegangen, deren Anbietung mit den entwickelten erweiterten Dienstbereitstellungsmodellen möglich wird. Zwar sind weder die genannten Mechanismen -wie bereits in den früheren Kapiteln besprochen- noch die hier vorgestellten Dienstbereitstellungsmodelle auf bestimmte Dienste begrenzt, doch wird die Bandbreite der Möglichkeiten anhand der vorgestellten Beispiele deutlicher. Gleichzeitig werden innerhalb der Dienstbeschreibungen weitere Anpassungen und Durchführungsbeschreibungen geliefert.

4.1 Das CAMEL-basierte erweiterte Dienstbereitstellungsmodell

Der in Kapitel 3.2.2 vorgestellte CAMEL-Mechanismus ist (im Gegensatz zum USSD-Prozeß) noch nicht in bestehenden Netzen implementiert. Damit ist eine praktische Validierung der bislang nur in Theorie vorliegenden Protokollerweiterungen nicht möglich. Um aber -insbesondere bei den im folgenden vorgestellten Erweiterungen in Richtung auf ein ganzheitliches erweitertes Dienstbereitstellungskonzept- auf profunden Fakten aufbauen zu können wurde der gesamte CAMEL-Standard auf der MAP-Ebene bis einschließlich der TCAP-Dienstzugangspunkte formal spezifiziert. So wurde die Lauffähigkeit der besprochenen Protokollelemente nachgewiesen und es stand mit den in SDL 92 formal spezifizierten CAMEL-Prozeduren ein leistungsfähiges Werkzeug zur Erarbeitung von Modifikationen und deren späterer Leistungsbewertung zur Verfügung. Ein Überblick über die erstellte formale Spezifikationen ist in Anhang A dieser Arbeit wiedergegeben. Die in den folgenden Unterkapiteln vorgestellte Anbindung eines Drittanbieters konnte so im Rahmen der formalen Spezifikation validiert werden.

4.1.1 Einführung eines Drittanbieters

Eine erste Erweiterung der in den CAMEL-Standards vorgesehenen Szenarien ist die Einführung eines Drittanbieters. Ein Drittanbieter ist ein außerhalb des GSM-Netzes stehender Dienstanbieter³⁶, der GSM Teilnehmern seine Dienste mittels des EDBK über ein Zugangsnetz anbietet. Eine klare Trennung zwischen Netzbetreiber- und Dienstanbieterdomäne fehlt bislang sowohl in den Dokumenten der GSM Phase 2, wie auch in der Erweiterung in Phase 2+ mittels CAMEL. Abbildung 31 zeigt die sich ergebende Netzarchitektur nach Einführung eines Drittanbieters in das CAMEL-basierte EDBK.

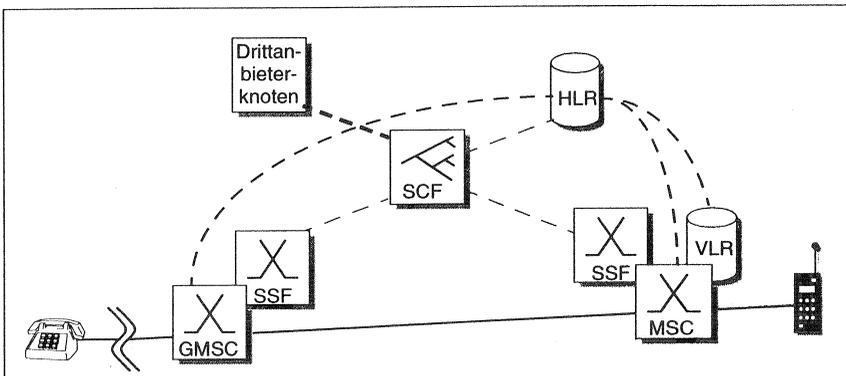


Abbildung 31: EDBK: Einführung eines Drittanbieters

Der Drittanbieter erhält durch Anschluß an die SCF einen begrenzten Zugang zum Signalsystem des GSM. Die Dienststeuerlogik kann so gänzlich im Drittanbieterknoten gehalten werden, oder zwischen Netzbetreiber und Drittanbieter aufgeteilt werden. Nach dieser Verteilung richtet sich die Definition der Schnittstelle zwischen Netzbetreiber und Drittanbieter. Wenn in beiden Knoten Dienststeuerlogik eingesetzt wird, handelt es sich um eine SCF-SCF Schnittstelle, die laut [ITU-T Q.1211] mit dem Buchstaben O bezeichnet wird. Im Falle der alleinigen Ausführung von Dienstlogik im Netzknoten mit Datenabfrage zum Drittanbieterknoten, handelt es sich um eine SCF-SDF Schnittstelle mit der ITU-T Bezeichnung P. Gleichzeitig bietet die Auswahl an verschiedenen Schnittstellentypen für den Netzbetreiber die Möglichkeit, den Netzzugang für den Drittanbieter in seinem Leistungsumfang zu beeinflussen.

36. Der Drittanbieter ist also insbesondere nicht mit dem Netzbetreiber identisch.

Wenn ein Teilnehmer, der CAMEL-Unterstützung abonniert hat, einen Anruf tätigt, so stellt die Besucherdatei fest, daß eine aktive CAMEL Subscriber Information (CSI) vorliegt. Die an die MSC/VLR angeschlossene SSF wird beauftragt, von der gsmSCF Instruktionen für die weitere Anrufbehandlung zu erfragen. In der gsmSCF wird in Abhängigkeit vom gewünschten Dienst ein Drittanbieter kontaktiert, der die Dienststeuerung gemäß der oben genannten Verteilung von Dienststeuerungsfunktion und Dienstdatenfunktion vornimmt.

Im Falle eines ankommenden Anrufs erhält die GMSC auf die Anfrage nach Leitweginformation das CSI des Teilnehmers (vgl. dazu bspw. Abbildung 29). Entsprechend dem Anrufzustandsautomaten (Basic Call State Model, BCSM) für ankommende Anrufe wird nun die übliche Anrufbehandlungsprozedur unterbrochen, wenn ein geladener Detection Point (DP) angetroffen wird. Dann erfragt die GMSC über die SSF bei der gsmSCF Bearbeitungsstrukturen, die diese vom Drittanbieter anfordert.

4.1.2 Anschluß der CAMEL Dienstumgebung an einen BSC

Eine Gestaltungsvariante des CAMEL-basierten EDBK bricht die bislang in der Standardisierung vorgesehene Struktur der Knotenverschaltung auf. Alternativ zum Anschluß der gsmSCF an die SSFs wird die direkte Verbindung zwischen gsmSCF und den Basisstationen-Steuereinheiten (BSCs) vorgeschlagen. In Abbildung 32 ist diese geänderte Topologie dargestellt.

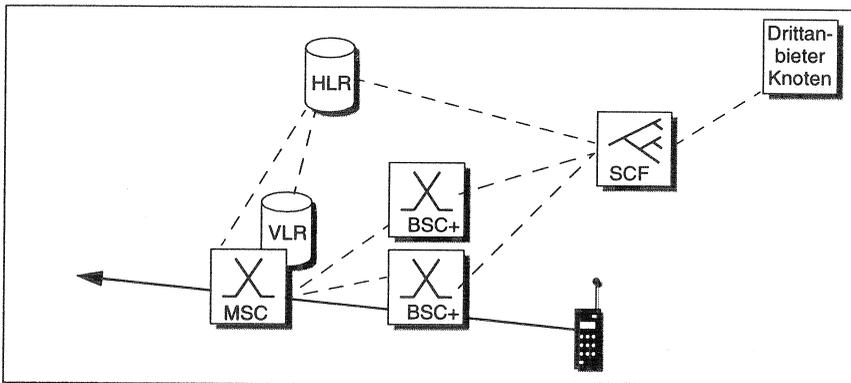


Abbildung 32: EDBK: Verbindung von der gsmSCF zu den BSCs

Um mit der gsmSCF Daten austauschen zu können, müssen die Protokolle der BSCs um die o.g. CAMEL Protokollelemente erweitert werden. Dies ist in

Abbildung 32 durch die Bezeichnung BSC+ angedeutet. Der Anschluß erfolgt logisch über die A-Schnittstelle. Dies kommt der Implementierung einer SSF in der BSC gleich. Mit dieser neuen Topologie können Anrufe innerhalb des Dienstbereichs einer BSC besonders effizient vermittelt werden, da MSC und SSF umgangen werden.

Im Falle eines abgehenden Anrufs können zweierlei Unterfälle auftreten: Die in der BSC+ implementierte SSF erkennt, daß es sich bei der gewählten Rufnummer um eine spezielle, ihr bekannte Dienstnummer handelt³⁷. In diesem Fall fragt sie direkt bei der angeschlossenen gsmSCF nach Instruktionen für die weitere Anrufbehandlung. Gehört die gewählte Rufnummer nicht zu der Klasse der vordefinierten Dienstnummern, so wird von der BSC+ zunächst bei der VLR nachgefragt, ob der gesuchte Gesprächsteilnehmer sich derzeit im Bereich dieser BSC aufhält. Wenn das CSI des anrufenden Teilnehmers aktiv ist, wird die normale CAMEL Anrufbehandlungsprozedur gemäß dem Anrufzustandsautomaten für abgehende Anrufe eingeleitet.

Im Falle eines ankommenden Anrufs muß eine Möglichkeit gefunden werden, der in der BSC liegenden SSF mitzuteilen, daß CAMEL-Unterstützung für den angerufenen Teilnehmer benötigt wird. Dies kann in der Nachricht für den Funkruf (paging) erfolgen, die der BSC mitteilt, daß ein aktives CSI für den angerufenen Teilnehmer vorliegt. Von dort (BSC) wird dann die herkömmliche CAMEL-Anfrage in Richtung der gsmSCF gestartet.

Die Gestaltungsvariante der BSC-angekoppelten gsmSCF bietet innerhalb der momentan im Betrieb befindlichen Netze kaum Vorteile, da die Zahl der BSC im allgemeinen nur doppelt so groß ist, wie die der MSC. Dies resultiert nicht aus Vorgaben der GSM Spezifikation, sondern aus Optimierungs-Erwägungen der Netzbetreiber, kann also prinzipiell auch anders gehandhabt werden. Um aber die praktische Relevanz der gemachten Untersuchungen aufrecht zu erhalten, wird auf eine weitere Behandlung des hier vorgestellten Konzepts verzichtet.

4.1.3 Die erweiterte Heimatdatei

Die hier vorgestellte Gestaltungsvariante des EDBK sieht die Erweiterung der Heimatdatei (HLR) zum zentralen Dienststeuerknoten vor. Um dem eingangs formulierten Anspruch der Drittanbieter-tauglichkeit gerecht zu werden, muß

37. Dies kann typischerweise eine Taxirufnummer oder die Nummer eines Informationsdienstes für lokale Nachrichten sein.

dazu in der HLR mindestens eine neue externe Schnittstelle implementiert werden. Die Erweiterung des HLR erscheint konsequent, da es innerhalb des GSM ohnehin eine Steuerfunktion einnimmt. Deswegen gibt es Bestrebungen, die HLR mit einer SDF-Schnittstelle nach außen zu versehen. Darüber könnten Teilnehmerdaten an andere Dienststeuerinstanzen weitergegeben werden. Dieser Ansatz entspricht aber nicht dem Gedanken, die Dienststeuerung vom HLR selber ausführen zu lassen. Um das Prinzip des erweiterten HLR zu implementieren muß vielmehr eine SCF nach innen (d.h. zu den einzelnen SSFs) und eine SCF-SCF Schnittstelle nach außen vorgesehen werden. Abbildung 33 zeigt die entsprechend geänderte, neue Topologie.

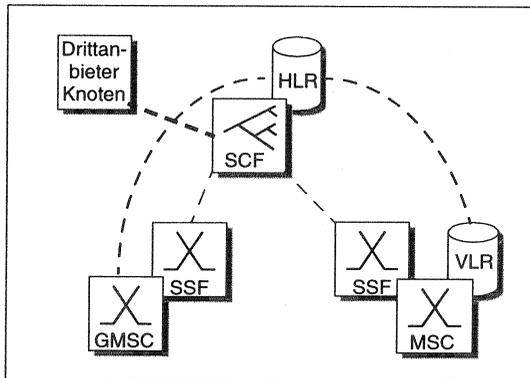


Abbildung 33: Erweiterung der Heimatdatei zum Dienststeuerknoten der offenen Dienstbereitstellung

Im Falle eines ankommenden Anrufs kann genau wie bei der in Kapitel 4.1.1 beschriebenen Alternative verfahren werden. Es ist überdies auch denkbar, das Rücksenden der Leitweginformationsnachricht mit dem Vermerk der geforderten CAMEL-Unterstützung auszulassen. Die kombinierte HLR / SCF könnte direkte die entsprechende Dienstlogik beim Drittanbieter anfragen und das Ergebnis der Dienstlogikauswertung an die SSF zurückgeben. Allerdings muß zu diesem Zweck der Protokollstapel geändert werden, da nun auf die Leitweganfrage nicht die entsprechende Bestätigung, sondern eine direkte Vermittlungsanweisung folgt.

Im Falle des abgehenden Anrufs kann die Anfrage nach Behandlungsinstruktionen direkt von der MSC, die das aktive CSI vorfindet über die SSF zur gsm-SCF gesandt werden.

Der Ansatz der erweiterten Heimatdatei wird im folgenden weiter verfolgt werden, da er die beste Vergleichbarkeit zu dem weiter unten entwickelten USSD-basierten erweiterten Dienstbereitstellungsmodell bietet.

4.2 Das USSD basierte erweiterte Dienstbereitstellungsmodell

In diesem Kapitel wird das auf USSD basierende erweiterte Dienstbereitstellungskonzept (EDBK) vorgestellt. Es enthält konkrete Einsatzbeispiele des Standard-USSD-Mechanismus.

Prinzipiell sind folgende Verbesserungen des USSD-Mechanismus möglich, die sich auf die ausgehenden USSD Nachrichten bzw. auf eingehende USSD-Nachrichten beziehen:

- Abrufung vordefinierter USSD Sequenzen durch einfache Menüs. Dies schränkt zwar den durch USSD erlangten Freiheitsgrad ein, bei genügend großem Sequenzvorrat kann jedoch ein breites Dienstespektrum unterstützt werden.
- Abfangen eingehender USSD Nachrichten durch ein Programm inkl. Interpretation, bevor sie auf das Anzeigefeld des Endgerätes gelangen. So ließe sich beispielsweise die im Mobilgerät vorhandene Ortsinformation abfragen, ohne daß eine Teilnehmerinteraktion vonnöten ist.

Bei sämtlichen Änderungen der USSD Spezifikation müssen eventuell die netzseitig eingestellten Zeitgeber entsprechend verändert werden. Die Gesamtlänge eines USSD Dialogs kann nach momentaner Spezifikation (GSM Phase 2) nicht länger als zehn Minuten dauern. Der verantwortliche USSD Dialogzeitgeber ist zwischen einer und zehn Minuten variierbar.

4.2.1 Beschränkungen des Standard-USSD

Um die im folgenden vorgestellten Erweiterungen für eine offene Dienstbereitstellung in GSM richtig einordnen zu können, wird hier zunächst ein kurzer Überblick über die wesentlichen Schwachpunkte des Standard-USSD gegeben:

- Dienstlogik befindet sich vollständig in der USSD-Anwendung, das Endgerät besitzt keinerlei Intelligenz oder Programm
- Es können durch eine empfangene USSD-Nachricht keine Funktionen im Endgerät ausgelöst werden.
- Es können keine Daten aus dem Endgerät mittels eines USSD-Dialogs ausgelesen werden.

- Die Darstellung einer eingehenden USSD-Nachricht auf der Endgeräte Anzeige kann nicht unterdrückt werden.
- Aufgrund der bei der USSD-Anwendung liegenden USSD-Dialogsteuerung und der Beschränkung auf eine Zusatzdienststransaktion³⁸ kann das Endgerät nur reagieren und nicht während eines etablierten USSD-Dialogs nach eigenem Ermessen USSD Nachrichten verschicken.

4.2.2 USSD-Nachrichten Sortierer

Wie bereits oben angesprochen, ist es mittels der derzeit standardisierten USSD Prozedur nicht möglich parallel mehrere USSD Dialoge zu einer Mobilstation aufzubauen. Der Grund dafür war die Annahme, daß die Mensch-Maschine-Schnittstelle einem Dialog ganz zur Verfügung stehen muß, um den Teilnehmer nicht zu verwirren, da unter anderem keine Synchronisation der USSD-Dialoge untereinander möglich ist. Da jedoch sämtliche USSD-Nachrichten die momentan genutzte Mobilvermittlungsstelle (MSC) passieren müssen, ist diese ein geeigneter Punkt, um eine Synchronisation konkurrierender USSD-Dialoge herbeizuführen. In der Patentschrift [Geulen96] ist dargelegt, wie solch ein USSD-Sortierer ("USSD scheduler") in der MSC arbeitet. Die Existenz eines solchen USSD-Sortierers wird für das erweiterte Dienstbereitstellungsmodell vorausgesetzt.

4.2.3 Blättern durch USSD-Nachrichten

Eine weitere konkretere Erweiterung des hier eingeführten erweiterten USSD Dienstbereitstellungsmodells ist das Merkmal Blättern. Dieses ermöglicht das Lesen von USSD Nachrichten, die länger sind, als die Anzeigefläche des Endgerätes. Dies kommt insbesondere bei neueren Endgeräten mit nur einzeiliger Anzeigefläche in Betracht. Die USSD Nachricht wird als ganze empfangen und im Endgerät solange zwischengespeichert, bis der Teilnehmer eine Antwort eingibt (im Falle einer netzseitigen USSD Anfrage) oder eine andere Aktion im Endgerät startet (im Falle einer netzseitigen USSD Nachricht). Solange die USSD Nachricht im Endgerät gespeichert ist, kann der Teilnehmer mittels der auf- und abwärts-Tasten beliebige Stellen der USSD Nachricht auf seinem Endgerät darstellen. Ein ähnlicher Mechanismus existiert für das Lesen von Kurznachrichten, der USSD-Standard macht jedoch keinerlei Vorgaben bezüglich der Anzeige und weiteren endgerätesternen Behandlung von USSD Nachrichten.

38. Diese Beschränkung ist lediglich in der Praxis vorhanden. Der GSM-Standard erlaubt mehrere verschiedene Zusatzdienst-Transaktionsidentifikatoren.

4.2.4 Verbindung zwischen den Dateien des GSM und einer USSD-Anwendung

Eine weitere wichtige Erweiterung des Standard USSD Mechanismus ist die Interaktion zwischen den Registern (Heimat- und Besucherdateien) eines GSM Netzes und einer USSD-Anwendung. Diese Verbindung ist knotenintern und somit ebenfalls ohne Verletzung des Standards möglich. Dies setzt also voraus, daß die in der Heimatdatei angesiedelten USSD-Anwendungen nur auf Änderungen in der Heimatdatei reagieren können und die im MSC angesiedelten nur auf Veränderungen in der betreffenden Besucherdatei. Der wesentliche Referenzpunkt für das Triggern einer USSD-Anwendung wird in beiden Fällen die Prozedur zur Erneuerung der Aufenthaltsinformation ("location update") sein, die Erweiterung ist aber keinesfalls auf diesen Spezialfall limitiert, sondern kann sämtliche Zustandsänderungen in einem Register als Anlaß einer Meldung zur USSD-Anwendung nehmen.

4.2.5 Triggern einer USSD-Anwendung zu bestimmten Anrufzuständen

Eine weitere im USSD-Standard nicht berücksichtigte Erweiterung ist die Möglichkeit, ein aus dem Bereich Intelligente Netze bekanntes Anrufzustandsmodell (Basic Call State Model, BCSM) mit ähnlichem Automaten zu definieren, der den momentanen Anrufzustand anzeigt und im Verlauf verschiedener Anrufphasen Triggermöglichkeiten bietet. Es bieten sich dazu die im Kommunikationsmanager der MSC benutzten Zustände an. Die folgende Tabelle 5 enthält einige dieser standardmäßig definierten Zustände.

Damit ist es möglich, eine netzseitige USSD-Anwendung in einer beliebigen Phase des Anrufs (beispielsweise bei jedem Anrufauf- oder -abbau) zu starten. Abbildung 34 erläutert die Funktionsweise dieser USSD-Erweiterung in Richtung auf offene Dienstbereitstellung.

Der Anrufaufbau wird innerhalb des MSC von der Verbindungssteuerungseinheit ("Connection Control, CC") gesteuert. Diese wird dahingehend modifiziert, daß bei Erreichen eines bestimmten Anrufzustands (z.B. "Anruf von der Gegenseite angenommen", "CONNECT") ein Triggersignal an den USSD-Block gesandt wird. Dort wird eine USSD-Anwendung gestartet, die ihrerseits wieder eine Zusatzdienst-Transaktion³⁹ in dem in der Ebene 3 der MSC befindlichen Kommunikationsmanagement-Block startet.

39. Wie oben bereits erwähnt bedient sich der USSD-Dialog der Zusatzdienst-Transaktion

Operation	Nachricht zum Kommunikationsmanager	Beschreibung
Anrufaufbau	SETUP	Nachricht zeigt an, daß ein Anruf von oder zur Mobilstation aufgebaut werden soll.
Zuweisung vervollständigt	ASSIGNMENT COMPLETE	Nachricht teilt dem MSC mit, daß ein Verkehrskanal erfolgreich zugewiesen wurde
Rufton	ALERTING	Zeigt an, daß die angerufene Seite gerufen wird
Verbinde Anruf	CONNECT	Zeigt dem MSC an, daß die gerufene Seite den Anruf angenommen hat.
Anrufabbau	RELEASE	Zeigt an, daß eine der Anrufseiten den Abbau des Anrufs veranlaßt hat.

Tabelle 5: Mögliche Triggerzustände für verbindungsgebundene USSD-Anwendungen

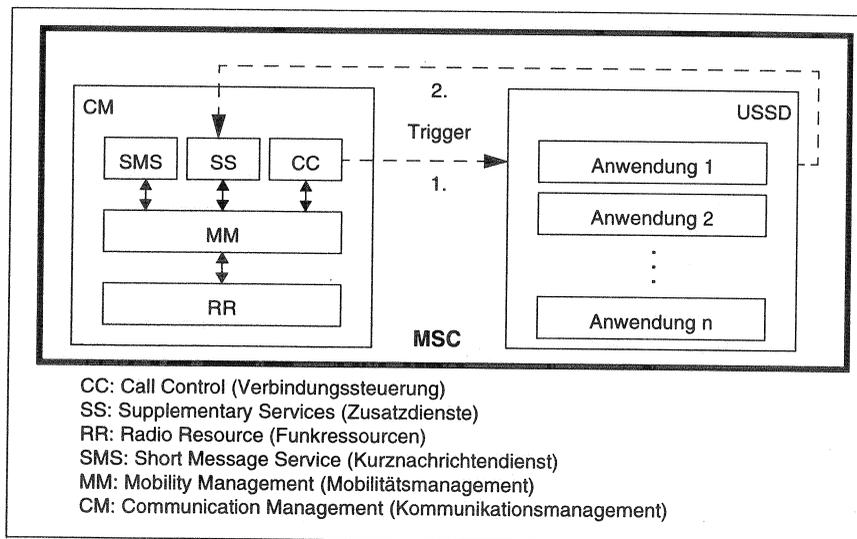


Abbildung 34: Triggermechanismus für anrufbezogene USSD-Anwendungen innerhalb eines MSC

4.2.6 USSD als Protokoll-Container

Die ursprüngliche Idee der USSD-Prozedur war - wie oben erwähnt - die Herstellung einer direkten Schnittstelle zwischen dem Teilnehmer, repräsentiert durch Tastatur und Anzeige seines Endgeräts, und einer nicht-standardisierten Dienstlogik innerhalb des Festnetzteils des GSM-Netzes. Eine erweiterte Nutzung der USSD Nachrichtenübertragung zur Ermöglichung offener Dienstbereitstellung erfordert die Definition eines Protokollstapels, dessen Nachrichten innerhalb des USSD-Nutzlastbereichs übertragen werden können.

Dies setzt voraus, daß im Endgerät ein Programm implementiert ist, das die gesendeten Protokolldateneinheiten aus dem USSD-Container extrahiert und anschließend interpretiert⁴⁰. Zusätzlich wird bei dem hier vorgestellten erweiterten USSD Dienstbereitstellungsmodell davon ausgegangen, daß bestimmte Funktionen und Daten im Endgerät für die neu einzuführenden USSD-Programme erreichbar sind. Welche Funktionen und Daten hier in Frage stehen und wie im einzelnen der Zugriff darauf hergestellt werden kann, wird in Verbindung mit der Vorstellung der einzelnen erweiterten USSD-basierten Dienste (Kapitel 4.3) aufgezeigt. Neben diesen dienstorientierten Einzellösungen bietet das im Rahmen der GSM Phase 2+ neuentwickelte SIM Application Toolkit die Möglichkeit, Teile betreiberspezifischer Dienste im Endgerät ablaufen zu lassen. Dieses neuartige Merkmal, das in der Realisierung eine wichtige Hilfe für das erweiterte Dienstbereitstellungsmodell darstellen kann, ist in Kapitel 3.2.3 beschrieben.

4.2.7 Verfügbarkeit von USSD basierten Diensten

Der Verfügbarkeitsbereich einer USSD Anwendung hängt wesentlich vom Ort ihrer Unterbringung im Netz ab. So ist beispielsweise eine USSD-Anwendung, die im MSC/VLR implementiert ist, auch nur im Dienstgebiet dieser MSC verfügbar. Das kann eine unerwünschte Einschränkung der Dienstumgebung bedeuten, kann auf der anderen Seite jedoch auch erwünscht sein, wenn beispielsweise im Dienstgebiet jeder MSC eines gegebenen Netzes eine gleichartige, aber ortsangepaßte USSD-Anwendung bereitgehalten wird⁴¹. Ein weiterer Grund, USSD-Anwendungen in der MSC zu plazieren ist die bessere Verfügbarkeit von Anrufragern⁴². Da die gesamte Steuerung des Anrufauf-

40. Damit ist festgelegt, daß dieser Mechanismus in einem gegebenen Endgerät implementiert sein muß, damit es ein überlagertes Protokoll verstehen kann.

41. Ferner führt die versuchte Dienstaktivierung in einem Besuchsnetz zur Weiterleitung der USSD Anfrage an die Heimatdatei. Diese kann dann eine geeignete Fehlermeldung an den Teilnehmer senden.

und -abbaus durch das MSC geschieht ist es beispielsweise einfach, einen USSD-basierten Dienst bei jedem Anrufaufbau automatisch zu starten. Solche Trigger müßten bei der Ansiedlung desselben Dienstes in der Heimatdatei eigens dorthin übertragen werden, da die Heimatdatei in den Anrufaufbau von abgehenden Anrufen nicht involviert ist. Auch im Falle eingehender Anrufe ist die unter Umständen länger dauernde Interaktion mit dem Teilnehmer via USSD nicht unproblematisch, da der standardisierte Zeitgeber zwischen dem Aussenden der RequestRoutingInformation Nachricht und der erwarteten Antwort nicht größer als 30 Sekunden eingestellt werden kann.

HLR-basierte USSD-Anwendungen hingegen sind im gesamten GSM-Versorgungsgebiet (d.h. auch über das Heimatnetz hinaus) verfügbar und erlauben eine wesentlich einfachere Wahrung der Datenkonsistenz als die zuvor beschriebene verteilte Diensterbringung. Die höhere Verfügbarkeit von Heimatdatei-basierten USSD-Anwendungen wird andererseits erkaufte durch längere Signalisierungswege und folglich höhere Knotenbelastungen. Solche Einflüsse werden im Rahmen der Leistungsbewertung im 5. Kapitel genauer untersucht.

42. Zum Konzept der Anruf- bzw. Zustandstrigger vgl. Kapitel 2.3.3

4.3 Dienste für die erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte

In diesem Kapitel werden beispielhaft neuartige, in dieser Arbeit entwickelte Dienste vorgestellt, die mit Hilfe eines oder beider oben vorgestellten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte (EDBK) implementiert werden können. Es werden nicht alle möglichen Implementierungen erschöpfend behandelt, aber sichergestellt, daß am Ende genügend Material für eine vergleichende Bewertung der Konzepte (USSD-basiertes und CAMEL-basiertes EDBK) vorliegt. In dieser Arbeit wird auf die Spezifikation von Fehlerbehandlungsprozeduren verzichtet, da sie kaum spezifische Merkmale der EDBK nutzen.

Es liegt in der Natur der genutzten Mechanismen, daß die Implementierungsvorschläge für Dienste des USSD-basierten EDBK einen hohen Grad an Benutzerinteraktion aufweisen. Die Dienstauführung der mit dem CAMEL-basierten EDBK realisierten Dienste konzentriert sich hingegen auf das Network & Switching Subsystem (NSS). Später wird gezeigt, daß es einen weiten Überlappungsbereich zwischen den behandelten zugehörigen Modellen gibt.

4.3.1 Universelle Nachrichtenablage

Ein Dienst, der mittels des USSD-EDBK angeboten werden kann, ist die "universelle Nachrichtenablage". Dazu wird netzseitig ein Speicher zur Verfügung gestellt, der eingehende Anrufe, Telefaxnachrichten sowie elektronische Post speichern kann. Es ist nun möglich, den Teilnehmer über den Eingang einer neuen Nachricht zu informieren, die Anzahl der insgesamt vorhandenen Nachrichten abzufragen und die Nachrichten selbst oder zumindest deren Umgebungsparameter (wie Absender, Eingangszeit etc.) über die erweiterte USSD-Funktion abzufragen. Abbildung 35 zeigt exemplarisch die Mensch-Maschine-Prozeduren einer solchen Anfrage. Es wird vorausgesetzt, daß dem Dienst "universelle Nachrichtenablage" der Dienstcode 20 zugewiesen wurde und daß das in Kapitel 4.2.3 eingeführte Merkmal Blättern verfügbar ist.

Bisherige Implementierungen ähnlicher Dienste basieren auf dem oben beschriebenen Konzept der In-Kanal Signalisierung, d.h. es wird ein Verkehrskanal zur Datenkommunikation aufgebaut und die gesamte Dienstspezifische Signalisierung innerhalb dieses Datenkanals vorgenommen. Diese Art der Dienstbringung führt a) zu einer unnötig hohen Gebührenbelastung des Teilnehmers, blockiert b) die Erreichbarkeit des Teilnehmers und belegt c) Funkressourcen, die damit anderen Teilnehmern nicht mehr zur Verfügung stehen. Mit der hier vorgestellten erweiterten USSD Dienstbereitstellung ist es

hingegen beispielsweise möglich, während eines Anrufs, Daten aus der “universellen Nachrichtenablage” an einen angeschlossenen Computer zu übertragen.

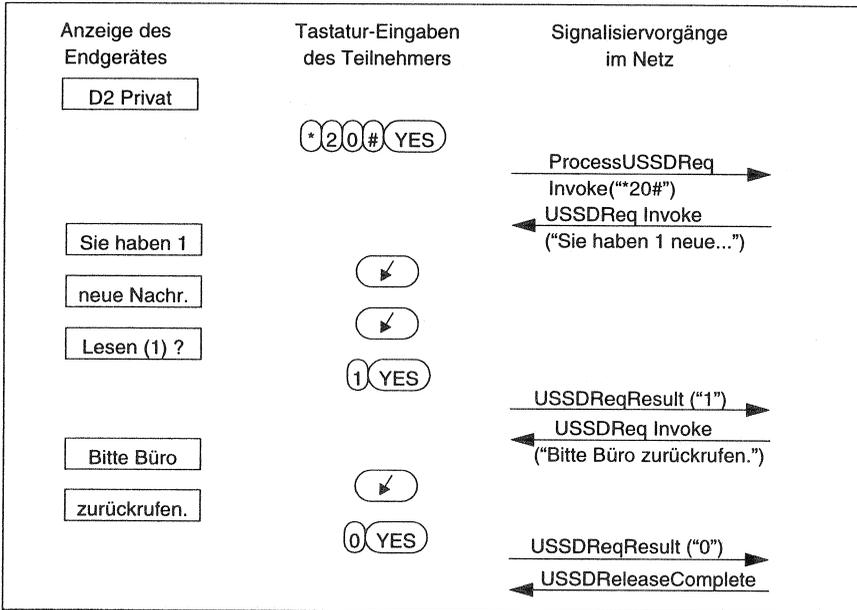


Abbildung 35: Mensch-Maschine-Prozedur für den Dienst universelle Nachrichtenablage

Der Nachrichtenspeicher der “universellen Nachrichtenablage” sollte in der Heimatdatei oder in einem an die Heimatdatei angeschlossenen externen Knoten implementiert sein, da sich so eine uneingeschränkte Erreichbarkeit auch außerhalb des Heimatnetzes erzielen läßt und gleichzeitig die Wahrung der Datenkonsistenz erleichtert wird. Abbildung 36 zeigt die Komponenten, die in die Erbringung des Dienstes “universelle Nachrichtenablage” auf Basis des USSD-basierten EDBK involviert sind.

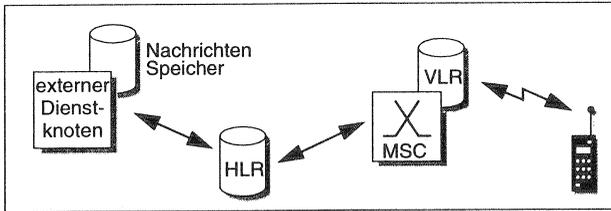


Abbildung 36: Komponenten, die in die Bereitstellung des Dienstes "universelle Nachrichtenablage" involviert sind.

4.3.2 Ortsabhängige Dienste (OAD)

Unter ortsabhängigen Diensten werden solche Dienste verstanden, die ihr Verhalten in Abhängigkeit vom geographischen Aufenthaltsort des Teilnehmers verändern. Die Anbieter solcher Dienste ist aufwendiger als die Anbieter eines flächendeckend einheitlichen Dienstes, da ortsspezifische Daten vorgehalten werden müssen. Ferner muß ein Mechanismus vorhanden sein, der die Ermittlung des Aufenthaltsorts des Teilnehmers erlaubt. Hierbei ist zwischen verschiedenen Granularitäten von Ortsinformation zu unterscheiden. Im Rahmen der hier betrachteten ortsabhängigen Dienste wird als bestmögliche Auflösung der Ortsinformation die Größe einer GSM-Zelle (Radius zwischen 5 und 30 Kilometer) zugrundegelegt. Die Information, zu welcher Zelle ein Endgerät momentan zugeordnet ist, ist im Endgerät verfügbar und kann wie in [Geulen9602] dargelegt an eine USSD-Anwendung übertragen werden. Es wäre darüberhinaus möglich, Daten eines angeschlossenen Global Positioning Systems (GPS) zu übermitteln, auf die einzelnen Mechanismen zur Gewinnung der Ortsinformation soll jedoch hier nicht näher eingegangen werden.

4.3.2.1 Ortsabhängige Dienste mittels des CAMEL-basierten EDBK

Als Beispiel eines ortsabhängigen Dienstes, der mittels des CAMEL-basierten EDBK implementiert werden kann, soll hier der Dienst "Verkehrs- und Reiseinformation (VRI)" vorgestellt werden. Der Teilnehmer kann eine gleichbleibende Nummer wählen, um mit der nächstgelegenen Informationsdatenbank verbunden zu werden. Von dort kann er Daten über die lokale Verkehrssituation, das Wetter oder ähnliche ortsabhängige Gegebenheiten erhalten⁴³. Abbildung 37 zeigt das Nachrichtenflußdiagramm für die Erbringung eines solchen

43. Dem Inhalt der erworbenen Information sind natürlich keine Grenzen gesetzt; er spielt aber für die prinzipielle Betrachtung keine Rolle.

Dienstes mit Hilfe des CAMEL-basierten EDBK.

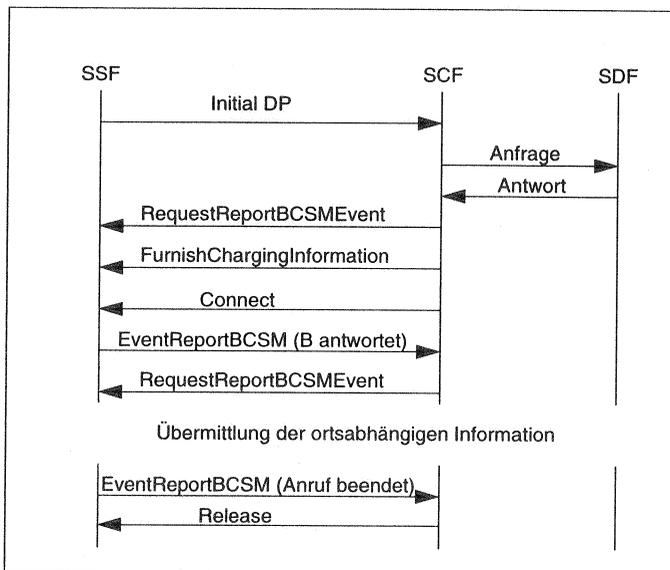


Abbildung 37: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst VRI

Die SSF sendet eine InitialDP-Nachricht zur Dienststeuerfunktion und startet damit die Ausführung der entsprechenden Dienstlogik in der SCF. Mit Hilfe einer Anfrage bei der SDF wird die in der InitialDP-Nachricht übersandte Ortsinformation in die Adresse des für die Region zuständigen Drittanbieters übersetzt. Die SCF beauftragt die Überwachung des Anrufs durch die SSF (RequestReportBCSMEvent) und veranlaßt dann die SSF, die Verbindung zu dem entsprechenden Drittanbieter herzustellen. Nach Empfang der Antwortquittung wird eine weitere Überwachung des Anrufs gestartet, die nach dem Übermitteln der ortsabhängigen Information das Anrufende signalisiert. Zuletzt terminiert die SCF den Dienst.

4.3.2.2 Ortsabhängige Dienste mittels des USSD-basierten EDBK

Es ist offenkundig, daß im Falle der Implementierung ortsabhängiger Dienste mit Hilfe des USSD-basierten EDBK die Unterbringung der USSD-Anwendung in der MSC vorteilhaft ist, da ohnehin verschiedene Datensätze für die einzelnen möglichen Aufenthaltsorte gespeichert werden müssen. Verzichtet

man auf eine sehr feine Ortsauflösung wie oben beschrieben und diversifiziert den Dienst lediglich auf Basis der Anmeldung des Teilnehmers bei einer bestimmten Besucherdatei (VLR, Visitor Location Register, VLR), so ist mit der Implementierung der USSD-Anwendung in der mit der Besucherdatei eine Einheit bildenden MSC schon mit dem Empfang einer MS-initiierten USSD Nachricht die Ortsinformation verfügbar. Um Dienstanfragen von Orten außerhalb des Heimatnetzes geeignet zu beantworten sollte eine korrespondierende (d.h. mit gleichem Dienstcode versehene) USSD-Anwendung in der Heimatdatei entsprechende (Fehler-)meldungen versenden.

Im folgenden wird exemplarisch der Dienst "Lokale Verkehrsnachrichten" als ein möglicher ortsabhängiger Dienst beschrieben. Dieser bildet später die Basis für die quantitative Analyse des erweiterten Dienstbereitstellungsmodells.

Durch das Senden einer USSD Anfrage mit entsprechendem Dienstcode (hier aus Gründen der Übersichtlichkeit mit "LVN" abgekürzt) kann der Teilnehmer lokale Verkehrsnachrichten erfragen. Abhängig von den Möglichkeiten seines Endgeräts kann der Teilnehmer innerhalb des Zusatzinformationsfeldes der USSD Anfrage (vgl. Kapitel 3.2.1.3) verschiedene Formate dieser Verkehrsnachrichten anfordern. Dabei kommen sowohl Formate in Frage, die ihrerseits USSD als Datenträger benutzen, wie auch prinzipiell die Möglichkeit einen Sprachkanal aufzubauen und die Nachrichten als Klartext zum Teilnehmer zu übertragen. Dazu ist der in Kapitel 4.2.5 vorgestellte Mechanismus des Zusammenspiels von USSD-Anwendung(en) und Kommunikationsmanager innerhalb der MSC einsetzbar. Die folgende Abbildung 38 zeigt die Nachrichtenflußdiagramme a) für die Übertragung lokaler Verkehrsnachrichten via USSD und b) unter Ausnutzung eines Verkehrskanals.

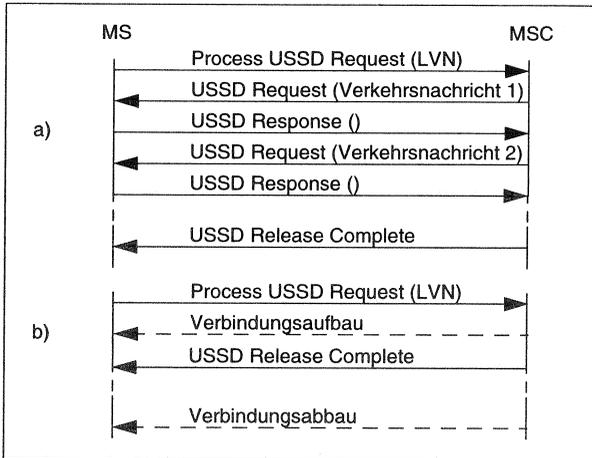


Abbildung 38: Nachrichtenflußdiagramme für die Übertragung lokaler Verkehrsnachrichten a) via USSD und b) über einen Verkehrskanal

4.3.3 Anrufilter für eingehende Anrufe (AfeA)

Dieser neuartige Dienst erlaubt dem Anrufer eine umfangreiche Voreinstellung für die Behandlung eingehender Anrufe. Das Dienstkonzept ist Teil des im Rahmen des RACE II Forschungsprojekts MOBILISE entwickelten Personal Services Communication Space (PSCS) [Mobilise95], [Gunter96] und kann ebenfalls als eine starke Erweiterung des Standard GSM Dienstes Präsentation der Anrufernummer (“Calling Line Identity Presentation, CLIP”, siehe [GSM02.81]) gesehen werden. Der Teilnehmer kann in einer Datei, dem Teilnehmerprofil, eine Behandlungsvorgabe für eingehende Anrufe speichern. Diese Datei kann sich zentral in einem Service Control Point (SCP) befinden, oder dezentral an einem herkömmlichen Teilnehmeranschluß gespeichert werden (siehe auch [Kleier96]).

Alternativen zur Behandlung der eingehenden Anrufe sind

- der normale Anrufaufbau,
- die Anrufweiterleitung an eine vorher festgelegte Rufnummer,
- die Anrufweiterleitung an eine zur Laufzeit festzulegende Rufnummer,
- die Anrufweiterleitung an einen Anrufbeantworter,
- die Ablehnung der eingehenden Anrufanfrage und

- die Anrufweiterleitung in eine Warteschlange.

Der Dienst Anruffilter für eingehende Anrufe kann eine Interaktion mit dem Teilnehmer zu zwei Zeitpunkten erfordern: bei der Dienstprogrammierung und -aktivierung (immer) und bei der Dienstausführung. In beiden Fällen wird das Konzept der erweiterten USSD basierten Diensterbringung wie unten beschrieben genutzt. Die Dienstprogrammierung erfolgt durch Abfrage der Dienstparameter durch die USSD-Anwendung. Dies sind Tageszeit und Wochentag während derer die spezifizierte Anruffilterung ausgeführt werden soll sowie eine Liste von Anrufern, für die die Filterung greifen soll und schließlich die gewählte Behandlungsalternative (s.o.). Der -nicht unkomplizierte- Mensch-Maschine Dialog für diese Dienstprogrammierung ist in folgender Grafik (Abbildung 39) dargestellt⁴⁴. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wurde die Darstellung als Flußdiagramm gewählt, Abbruchbedingungen und teilnehmerinitiiertes Prozedurabbruch sind nicht eingezeichnet.

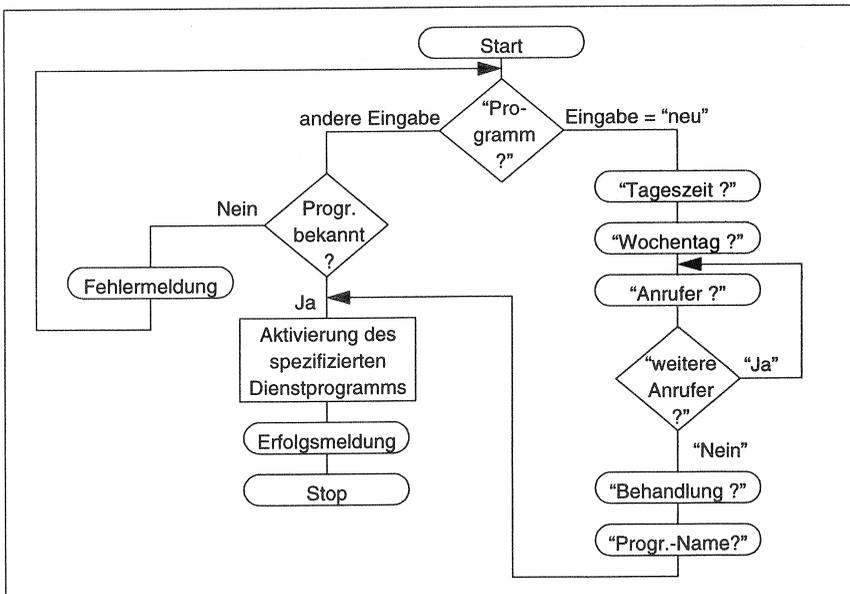


Abbildung 39: Mensch-Maschine Prozedur zur Programmierung und Aktivierung des Dienstes Anruffilter für eingehende Anrufe

44. Als weitergehende Alternative zur Dienstprogrammierung via USSD ist daher eine Dienstprogrammierung mit Unterstützung einer html-codierten Abfrageseite über das Internet sinnvoll.

Der Dienst erlaubt es, jeder Voreinstellung einen Programmnamen zu geben und die Voreinstellungen über diesen Programmnamen auszuwählen. So kann der Teilnehmer beispielsweise eine Standardvoreinstellung der Anrufbehandlung für die Dauer seiner Bürotätigkeit unter dem Namen "Büro" abspeichern und diese durch Eingabe des Namens zu Beginn der Mensch-Maschine Prozedur aktivieren.

Die Beschränkung des Dienstes auf eingehende Anrufe erlaubt wiederum eine Implementierung des Dienstes entweder im MSC oder in der Heimatdatei (HLR)⁴⁵. Da bei eingehenden Anrufen die Heimatdatei nur an der Anrufsignalisierung, nicht aber an der Schaltung der zugehörigen Verkehrskanäle beteiligt ist, sind auch im Falle der Implementierung in der Heimatdatei Veränderungen im MSC unerlässlich.⁴⁶ Damit ergeben sich insgesamt vier zu unterscheidende Nutzungs- und Implementierungsvarianten für den Dienst Anrufilter für eingehende Anrufe:

1. Dienstprogrammierung bei USSD-Anwendung in der MSC
2. Dienstausführung bei USSD-Anwendung in der MSC
3. Dienstprogrammierung bei USSD-Anwendung in der Heimatdatei
4. Dienstausführung bei USSD-Anwendung in der Heimatdatei

Die Nachrichtenflußdiagramme für alle Varianten sind in Abbildung 40 und Abbildung 41 dargestellt.

45. Die Diensterbringung im Endgerät ist ebenfalls denkbar, erfordert jedoch eine komplette Ruff-durchschaltung bis zum Teilnehmeranschluß. Dies ist im Vergleich zu den zentralen Alternativen der Diensterbringung (MSC und HLR) nicht verbindungseffizient. Ferner ist die Diensterbringung im Endgerät aus Sicht der USSD-Beteiligung uninteressant.

46. vgl. dazu Kapitel 4.2.5

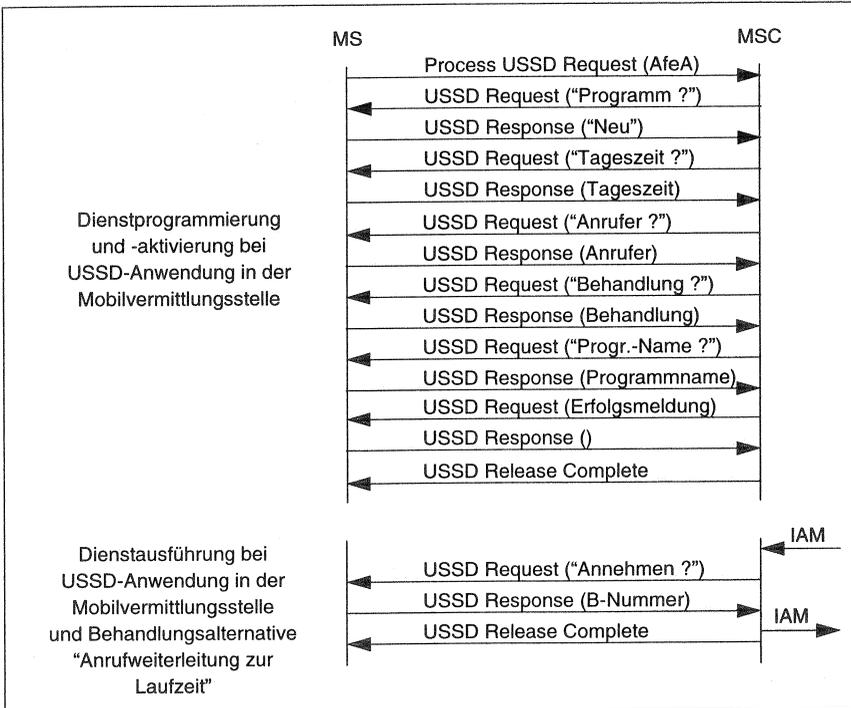


Abbildung 40: Nachrichtenflußdiagramme für den Dienst Anruffilter für eingehende Anrufe, Implementierung in der MSC⁴⁷

47. Bei der hier gezeigten Alternative wird die Teilnehmeranfrage zum Zeitpunkt des tatsächlichen Anrufaufbaus vorgenommen (Initial Address Message, IAM). Es ist auch möglich, schon bei der Erfragung der Mobile Station Roaming Number (MSRN) eine Teilnehmeranfrage zu starten. Dies würde Verarbeitungszeit und Netzlast verringern, allerdings würde dies eine weitergehende Verbindung zwischen USSD-Anwendungen MSC-Software erfordern, als es in Kapitel 4.2.5 beschrieben ist.

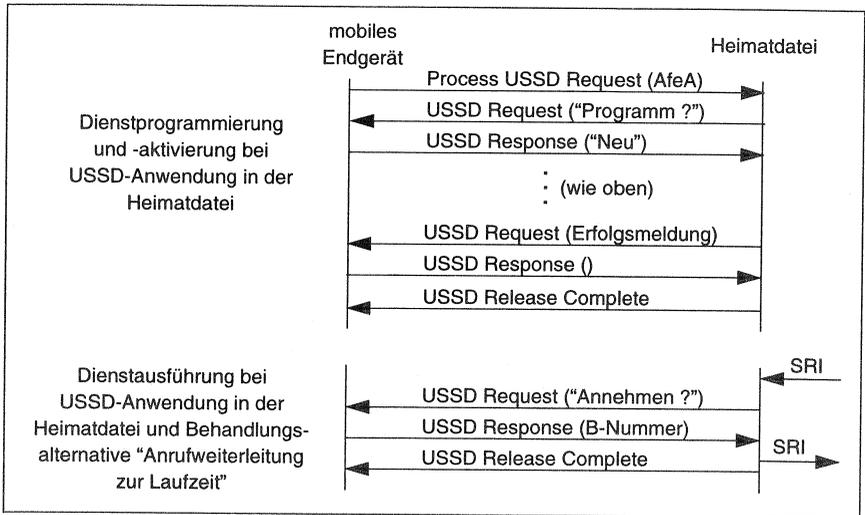


Abbildung 41: Nachrichtenflußdiagramme für den Dienst Anruffilter für eingehende Anrufe, Implementierung in der Heimatdatei⁴⁸

Zu beachten ist, daß die Standard Zeitgeber, die den Anrufaufbau überwachen zu einem vorzeitigen Abbruch der erweiterten Anrufaufbau-Prozedur führen können. Diese Zeitgeber sind daher dienstspezifisch anzupassen.

48. Hier wird die entsprechende Teilnehmeranfrage nach dem Senden des MAP-Protokollelements Send Routing Information (SRI) von der GMSC (GMSC) zur Heimatdatei durchgeführt.

4.3.4 Privater Numerierungsplan

Der Dienst "Privater Numerierungsplan" erlaubt es einem Dienstverwalter, einer Teilnehmergruppe die Nutzung selbstdefinierter Teilnehmernummern innerhalb eines öffentlichen Netzes zu gestatten. Die selbstdefinierten Teilnehmernummern müssen nicht mit dem gültigen Numerierungsplan des jeweiligen Netzes konform sein.⁴⁹ Wählt der Teilnehmer eine dieser selbstdefinierten Teilnehmernummern, so wird diese von einem Rufnummernumsetzer in eine dem Numerierungsplan des jeweils genutzten Netzes gehörende Teilnehmernummer umgesetzt. Eingehende Anrufe werden von diesem Dienst nicht beeinflusst. Der Rufnummernumsetzer ist in einem Knoten des Netzes implementiert, wo er a) zentral manipuliert werden und b) von mehreren Teilnehmern gleichzeitig benutzt werden kann⁵⁰. Diese Konstellation erlaubt es dem Dienstverwalter neben der Definition eigener Teilnehmernummern auch Anrufsperrn und -umleitungen zu programmieren. Die Funktion des Dienstes "Privater Numerierungsplan" ist schematisch in Abbildung 42 dargestellt.

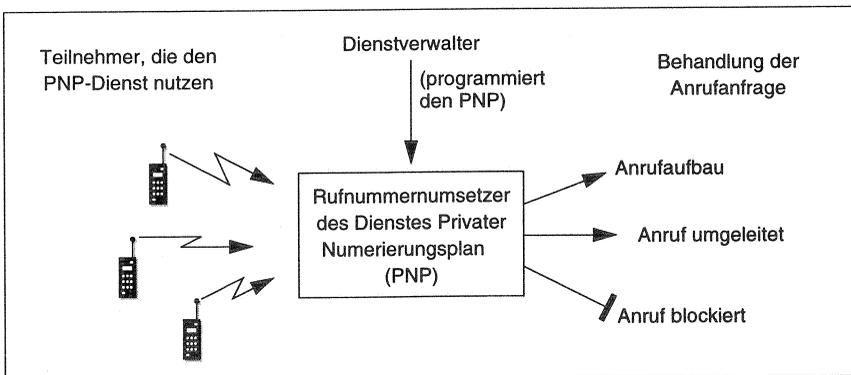


Abbildung 42: Funktionsweise des Dienstes "Privater Numerierungsplan (PNP)"

4.3.4.1 Privater Numerierungsplan mittels des CAMEL-basierten EDBK

Die Teilnehmerinteraktion zur Benutzung einer Nummer aus dem Privaten Numerierungsplan unterscheidet sich im Fall der Implementierung mittels des

49. Gängig sind selbstdefinierte Teilnehmernummern, die kürzer sind als die Nummern des jeweiligen Netzes (z.B. [E.164]-konforme Teilnehmernummern).

50. Wenn der Rufnummernumsetzer im Endgerät implementiert ist, spricht man nicht von einem Privaten Nummernplan, sondern von Zielwahltasten o.ä. Merkmalen.

CAMEL-basierten EDBK nicht vom normalen Anrufaufbau. Die SSF ermöglicht das Erkennen der im öffentlichen Numerierungsplan nicht zulässigen Nummer und kann eine Anfrage zur SCF schicken, mittels der die Nummernübersetzung gestartet wird. Entsprechend einfach ist das in Abbildung 43 dargestellte Nachrichtenflußdiagramm für diese Variante des Dienstes PNP.

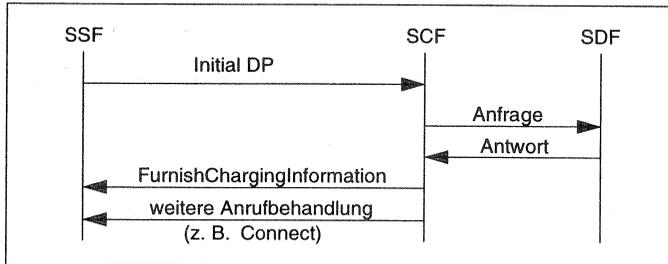


Abbildung 43: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst PNP (CAMEL-basiertes EDBK)

Nach Erkennen der PNP-Nummer fragt die SSF bei der SCF nach Steuerinformation. Die Anfrage zur SDF dient der Übersetzung der PNP-Nummer in eine dem öffentlichen Numerierungsplan konforme Nummer. Danach kann eine Anweisung zur Gebührenbelastung zur SSF gesandt werden und der Dienst endet mit der Anweisung zur weiteren Behandlung des Anrufs (im allgemeinen der Verbindungsaufbau zu der gefundenen Nummer).

4.3.4.2 Privater Numerierungsplan mittels des USSD-basierten EDBK

In der Variante des USSD-basierten EDBK wird der Dienst PNP aktiviert, indem der Teilnehmer eine USSD Anfrage zum Rufnummernumsetzer schickt. In dieser Anfrage ist neben dem Dienstcode, der den Dienst auswählt ein Privater Numerierungsplan spezifiziert. Der Anrufaufbau erfolgt nach dieser Aktivierungsprozedur durch einfaches Wählen einer Nummer aus dem aktivierten Privaten Numerierungsplan. Durch die zuvor beschriebene Interaktion zwischen USSD-Anwendung und Kommunikationsmanager in der MSC (siehe Kapitel 4.2.5) ist dann der Anrufaufbau zu der umgesetzten neuen Teilnehmernummer möglich. Die Deaktivierung des Dienstes Privater Numerierungsplan erfolgt durch Senden einer USSD Anfrage mit entsprechendem Dienstcode und leerem Zusatzinformationsfeld.

Eine dritte Implementierungsalternative benutzt das in Kapitel 3.2.3 vorge-

stellte SIM Application Toolkit. Nach der wie zuvor beschriebenen Auswahl und Aktivierung eines Privaten Numerierungsplans wird die gewählte Rufnummer nicht in einer Anrufaufbau-Anfrage an das Netz geschickt, sondern in einer USSD Anfrage. Die Antwort des Rufnummernumsetzers wird dann in einer USSD Nachricht an das Endgerät zurückgeschickt. Von dort erfolgt ggf. der Anrufaufbau zu der neuen umgesetzten Nummer. Zu beachten ist, daß diese Implementierungsalternative nur mit einem modifizierten Endgerät möglich ist. Siehe dazu die näheren Ausführungen in Kapitel 3.2.3 (Fußnote 31.).

Eine Maßnahme zur Beschleunigung des Anrufaufbaus liegt in der Art der Reservierung des Freien Steuerungskanals (FSK, Stand Alone Dedicated Control Channel, SDCCH) in der Funkschnittstelle. Da die Anfrage an den netzseitigen Rufnummernumsetzer typischerweise nicht während eines bestehenden Anrufs erfolgt, wird für das Aussenden der Endgeräte-initiierten USSD Anfrage ein solcher Steuerungskanal (FSK) reserviert. Behält man diese Reservierung nach erfolgter Rufnummernumsetzung aufrecht, so kann ein unmittelbar folgender Anrufaufbau, für den ebenfalls ein solcher Steuerungskanal benötigt wird, beschleunigt werden.

4.3.5 Anrufverteiler

Der Dienst Anrufverteiler erlaubt, einer öffentlichen Telefonnummer eine Menge von Endgeräten zuzuordnen. Innerhalb dieser Verteilergruppe können eingehende Anrufe entweder sequentiell oder parallel verteilt werden. Im Falle des sequentiellen Verteilens wird die Liste der in der Verteilergruppe definierten Endgerätenummern der Reihe nach abgearbeitet. Dazu wird zuerst versucht, den Anruf an den Listenführer zu vermitteln. Antwortet dieser nicht, wird der zweite Listenplatz versucht und so weiter. Im Falle des parallelen Verteilens wird zeitgleich zu allen Endgeräten ein Anrufzeichen geschickt und der Anruf an den Teilnehmer geleitet, der zuerst antwortet. Der häufigste Einsatzfall für den Dienst Anrufverteiler sind Konstellationen, in denen ein Anrufer nicht eine bestimmte Person, sondern vielmehr eine Funktion anrufen möchte (wie z.B. einen Reparaturdienst). Diese Funktion kann zwischen verschiedenen Teilnehmern verteilt erfüllt werden, ohne daß ein Anrufer weiß, wer (und damit welche Rufnummer) gerade die Funktion ausfüllt.

Die Variante des sequentiellen Verteilens ist durch eine Funktion in der Heimatdatei vergleichsweise leicht zu implementieren⁵¹ und bedarf für die Dienstausführung nicht des erweiterten USSD Dienstbereitstellungsmodells, da nacheinander herkömmliche Anrufe zu den einzelnen Endgeräten aufgebaut werden. Interessanter ist die Variante des parallelen Verteilens, bei der die erweiterten USSD Möglichkeiten genutzt werden können. Dazu wird zu jedem einzelnen Teilnehmer an der Verteilerliste zeitgleich eine USSD-Nachricht geschickt und der Anruf an denjenigen geleitet, der zuerst eine USSD-Antwort schickt. Die nachfolgende Abbildung 44 zeigt den Nachrichtenfluß für diese Betriebsweise.

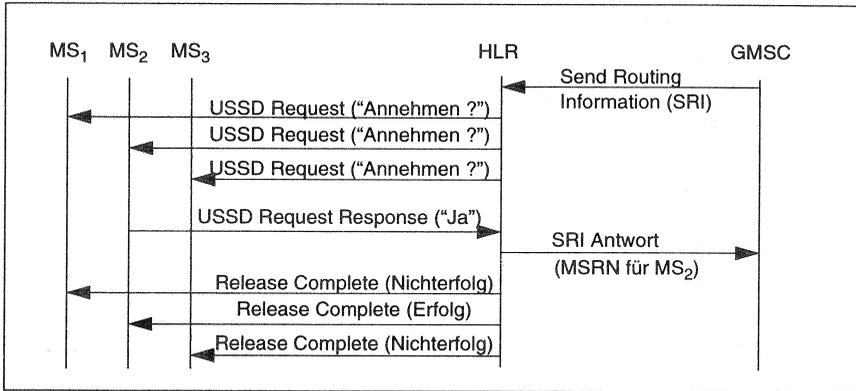


Abbildung 44: Nachrichtenflußdiagramm für die Ausführung des Dienstes Anrufverteiler

Die Heimatdatei ist - wie oben dargelegt - zu jeder Zeit berechtigt, einzelne USSD-Dialoge abzubauen, auch wenn diese bei normalem Dialogverlauf als nächstes einer Nachricht vom Endgerät bedürften. Ähnlich dem Dienst Anruffilter für eingehende Anrufe ist für den Dienst Anrufverteiler eine Dienstprogrammierung (vgl. Kapitel 2.3) nötig (welche beispielsweise das Anlegen der Verteilerlisten beinhaltet). Die Prozeduren könnten entweder analog vom Endgerät aus gehandhabt werden oder - sicher komfortabler - von einer an das Netz angeschlossenen Konsole.

51. Eine wichtiger Punkt zur Verbesserung des Laufzeitverhaltens dieser Alternative ist das vorherige Einholen ("prefetching") von Mobile Station Roaming Nummern (MSRNs). Damit können konsekutive Anrufe schneller aufgebaut werden.

4.3.6 Anrufprotokoll

Mobile Endgeräte dienen im wesentlichen der besseren Erreichbarkeit der Teilnehmer. Um die Zeiten zu überbrücken, in denen auch mit einem mobilen Endgerät keine Erreichbarkeit herzustellen ist, kann auf Anrufbeantworter zurückgegriffen werden. Zu den Situationen, in denen ein Mobilfunkteilnehmer nicht erreichbar ist zählen

- der Teilnehmer hat das Endgerät ausgeschaltet (“detach” Operation),
- der Teilnehmer hat bereits einen aktiven Anruf, bzw. auch der Warteschlangenplatz (“call on hold”) ist belegt
- der Teilnehmer antwortet nicht
- der Teilnehmer hat die Funkdeckungszone des Netzes verlassen.

Viele Anrufer hinterlassen in solchen Situationen keine Nachrichten auf einer Anrufbeantworter-Funktion. Hier können Möglichkeiten des GSM Netzes genutzt werden, solche Anrufer zu identifizieren und die entsprechenden Rufnummern zu speichern. Der Dienst Anrufprotokoll erlaubt es dem Teilnehmer aus einer netzseitig angelegten Liste eingehender, erfolglos gebliebener Anrufe auszuwählen und eine rückwärtsgerichtete Verbindung zu dem ehemaligen Anrufer aufzubauen. Für den Fall der bloßen Nichtbeantwortung eines eingehenden Anrufs (s.o.) ist die Funktionalität des Dienstes Anrufprotokoll im Endgerät implementierbar. Alle anderen Fälle bedürfen aber der nachfolgend beschriebenen Erweiterungen. Die Funktionsweise des Dienstes sei damit hinreichend beschrieben, wobei verschiedene Verbesserungen der Dienstmerkmale möglich sind, die jedoch im hier angesprochenen Zusammenhang keine Relevanz besitzen.⁵²

Die USSD-Anwendung zum Dienst Anrufprotokoll sollte in der MSC implementiert werden, da nur hier alle Informationen über erfolglos gebliebene Anrufe vorhanden sind.⁵³ Hier kann wiederum von der in Kapitel 4.2.5 entwickelten Funktionalität Gebrauch gemacht werden. Allerdings beschränkt die Implementierung im MSC den Dienst Anrufprotokoll auf solche Anrufe, die den Teilnehmer während seines Aufenthalts im Versorgungsbereich dieses speziellen MSC erreichen. Der folgende Implementierungsansatz basiert weiter auf dem in Kapitel 3.2.3 vorgestellten SIM Application Toolkit.

52. So kann beispielsweise automatisch bei jeder Wiederanmeldung eines Teilnehmers an das Netz oder nach einer beliebigen Teilnehmerinteraktion eine aktuelle Liste der erfolglos gebliebenen Anrufe an das Endgerät übertragen werden.

53. So wird die Heimatdatei nicht über Erfolg oder Nichterfolg eines Anrufaufbaus informiert.

Es wird hier davon ausgegangen, daß die Liste der erfolglos gebliebenen Anrufe auf explizite Anfrage des Teilnehmers in das Endgerät geladen wird. Mit den vorausgegangenen Erklärungen reduziert sich der Nachrichtenfluß auf die in der folgenden Abbildung 45 dargestellten Protokollelemente.

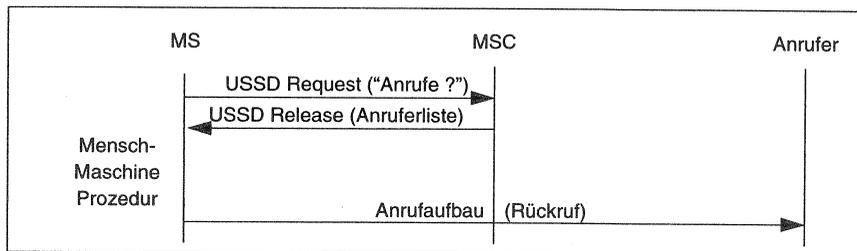


Abbildung 45: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst Anrufprotokoll

4.3.7 Vorausbezahlte Telefonkarte für GSM-Endgeräte (VTK)

Der Dienst "Vorausbezahlte Telefonkarte für GSM-Endgeräte (VTK)" erlaubt das virtuelle Aufladen eines Gebührenkontos, das mit einer bestimmten Rufnummer verbunden ist. Der Vorteilsnehmer bei diesem Dienst ist der Netzbetreiber, der nun nicht mehr erst nach einer Abrechnungsperiode Gesprächsgebühren in Rechnung stellen kann, sondern bereits vor seiner Leistung an den Kunden Zahlungen erhält. Dies verringert das Kreditrisiko des Netzbetreibers, erlaubt aber auch die Weitergabe eines festen Gebührenbetrages für Telefongespräche vom Käufer des Dienstes an Dritte.

Die prinzipielle Arbeitsweise des Dienstes VTK unterscheidet sich nicht von der normalen Funktion eines GSM Netzes. Es wird ein Konto für den Teilnehmer eingerichtet, welches statt Gebühren zu sammeln, Gebühren von einem vorher eingezahlten Betrag subtrahiert. Unterschiede treten auf, wenn der Nutzer des VTK-Dienstes einen Anruf tätigen möchte, obwohl sein Gebührenkonto leer ist⁵⁴. Dann wird der Anrufaufbau abgelehnt. Ferner ist in der hier vorgestellten Version des VTK-Dienstes der Empfang ankommender Anrufe außerhalb des Heimatnetzes nicht möglich, da bei solchen Anrufen der Teil der Gebühren für die Verbindung vom Heimatnetz bis zum momentan genutzten Besuchsnetz dem Angerufenen belastet werden.

54. De facto sind auch die zu entrichtenden Gebühren für die Dienstleistungen anders. Dies ist jedoch ohne technische Implikation.

4.3.7.1 Vorausbezahlte Telefonkarte mittels des CAMEL-basierten EDBK

Das Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst VTK unter dem CAMEL-basierten EDBK ist in Abbildung 46 dargestellt.

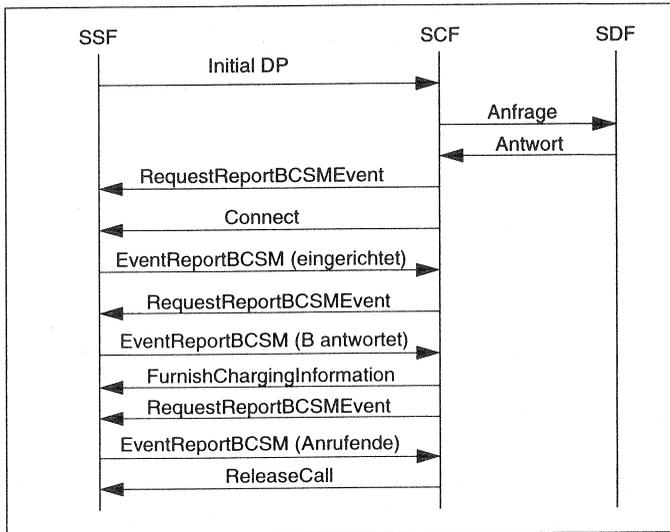


Abbildung 46: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst VTK (CAMEL EDBK)

Nach der Abfrage des Gebührenkontos bei der SDF wird der Anruf eingerichtet. Die SCF beauftragt die SSF diese Aufbauphase zu überwachen. Nach Übersenden der Information zur Gebührenbelastung wird der Auftrag zur Meldung des Anrufendes an die SSF geschickt. Nach dieser Rückmeldung beendet die SCF den Dienst.

4.3.7.2 Vorausbezahlte Telefonkarte mittels des USSD-basierten EDBK

Bei der Implementierungsvariante mittels des USSD-basierten EDBK wird ebenfalls davon ausgegangen, daß das Gebührenkonto des Teilnehmers an zentraler Stelle - hier in der Heimatdatei- geführt wird. Zusätzlich zum USSD-basierten EDBK wird hier Gebrauch gemacht von der Dienstunterstützung durch das Teilnehmer Identitäts Modul (TIM) (vgl. dazu Kapitel 3.2.3)⁵⁵. Das

55. Es ist ebenso möglich, eine proprietäre Lösung für die weiter unten beschriebene Funktionalität des teilnehmerlosen Anrufaufbaus vorzusehen.

Nachrichtenflußdiagramm des Dienstes ist in Abbildung 47 wiedergegeben.

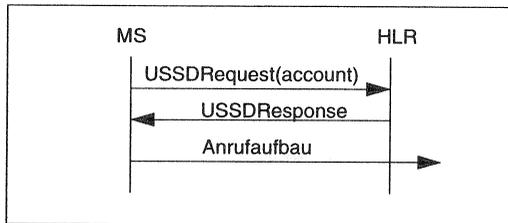


Abbildung 47: Nachrichtenflußdiagramm VTK
(USSD-basiertes EDBK)

Vor jedem MS-initiierten Anrufaufbau wird eine Anfrage zur Heimatdatei geschickt, die den momentanen Stand des Gebührenkontos abfragt. Diese Anfrage kann gemäß dem oben entwickelten EDBK aus jedem beliebigen Netz gesendet werden. In der Antwortnachricht wird der MS mitgeteilt, ob der angefragte Anruf getätigt werden kann. Die Mensch-Maschine Prozedur für die Dienstauführung sollte so gestaltet sein, daß keine weitere Teilnehmerinteraktion nach der gewöhnlichen Anrufaufbauprozedur vonnöten ist. Deshalb wird hier von der Nutzung der Dienstunterstützung durch das TIM ausgegangen, welches beim Empfang der USSD-Antwort selbsttätig den Anruf aufsetzen kann.

4.3.8 Tarifgebiet-Information

Der Dienst "Tarifgebiet-Information" ist in solchen Netzen verwendbar, in denen verschiedene Tarifgebiete existieren. Diese können aufgrund verschieden schwieriger Erschließung der betreffenden Gebiete oder nach Nutzungsaspekten entweder statisch oder dynamisch (z.B. lastabhängig) zugeordnet werden. Der Dienst "Tarifgebiet-Information" kann entweder Netz- oder Teilnehmer-initiiert angeboten werden oder beide Komponenten in sich vereinen. Im Netz-initiierten Fall wird eine Tarifgebiet-Information entweder bei einem Anrufaufbau oder beim Wechsel des Tarifgebiets anrufunabhängig gesendet. Es kann davon ausgegangen werden, daß innerhalb des Versorgungsbereichs einer Besucherdatei (VLR) (welcher identisch ist mit dem eines MSC (s.o.)) nicht mehrere verschiedene Tarifgebiete liegen. Dank dieses Umstandes kann die netz-initiierte Tarifgebiet-Information bei Tarifgebietwechsel automatisch mit jeder Neuanmeldung eines Teilnehmers in einer Besucherdatei erfolgen (insofern das neue Versorgungsgebiet gleichzeitig ein

anderes als das vorherige Tarifgebiet ist). Die Teilnehmer-initiierte Tarifgebiet-Information gibt die entsprechende Information aufgrund einer expliziten Anfrage des Teilnehmers an das Netz. Diese Anfrage kann während oder außerhalb eines Anrufs gestellt werden. Wegen des oben erwähnten Zusammenfallens der Grenzen der Besucherdatei-Versorgungsgebiete und etwaiger Tarifgebietgrenzen ist es auf jeden Fall zweckmäßig, die zugehörige USSD-Anwendung in der MSC anzusiedeln.

Die Teilnehmer-initiierte Variante der Tarifgebiet-Information bedarf nicht des in dieser Arbeit entwickelten erweiterten USSD-Dienstbereitstellungsmodells, sondern kann mit dem Standard GSM Phase 2 USSD einschränkungslos implementiert werden. Mit den Grundlagen der vorhergehenden Kapitel ist somit folgendes Nachrichtenflußdiagramm unmittelbar einsichtig (Abbildung 48)⁵⁶.

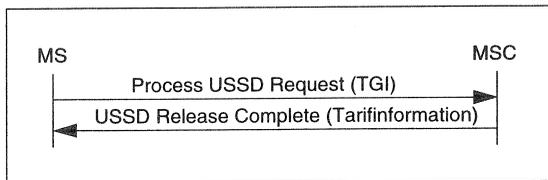


Abbildung 48: Nachrichtenflußdiagramm für den Teilnehmer-initiierten Dienst Tarifgebiet-Information

Um netzinitiiert Tarifgebiet-Informationen an den Teilnehmer zu versenden muß aber auf das hier vorgestellte erweiterte USSD-Dienstbereitstellungsmodell zurückgegriffen werden. Es bedarf dazu nämlich entweder des in Kapitel 4.2.5 entwickelten Zusammenspiels von Kommunikationsmanager und USSD-Anwendungen (für den Fall der Tarifgebiet-Informationsverschickung bei jedem Anrufaufbau) bzw. der Verbindung zwischen der Besucherdatei und USSD-Anwendungen wie sie in Kapitel 4.2.4 vorgestellt ist (für den Fall der Tarifgebiet-Informationsverschickung beim Wechsel des Tarifgebiets). Im Falle der Informationsversendung bei Anrufaufbau muß zwischen eingehenden und ausgehenden Anrufen unterschieden werden, da unterschiedliche Trigger genutzt werden müssen. Für eingehende Anrufe ist erst die von der Mobilstation zurückgesandte Nachricht ALERT⁵⁷ das sichere Zeichen, daß

56. Die Rücksendung der Tarifinformation von der MSC geschieht "huckepack" ("piggybacked") in einer DTAP Release Complete Message, die somit gleichzeitig den USSD-Dialog terminiert.

ein eingehender Anruf angenommen werden kann. Für abgehende Anrufe kann das schon vorher beschriebene ASSIGNMENT COMPLETE verwendet werden, welches anzeigt, daß der gewünschten Verbindung ein Verkehrskanal zugewiesen worden ist.

Damit ergibt sich der in Abbildung 49 dargestellte Nachrichtenfluß für den Fall des netz-initiierten Dienstes Tarifgebiet-Information.

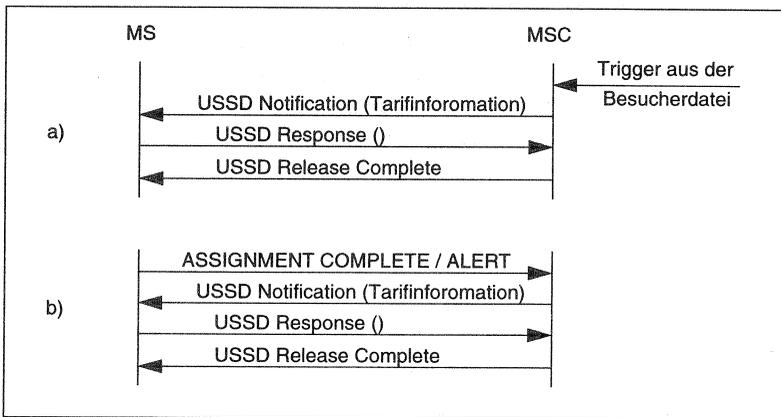


Abbildung 49: Nachrichtenflußdiagramme für netz-initiierte Tarifgebiet-Informationsversendung a) bei Wechsel des Tarifgebiets und b) bei eingehendem oder ausgehendem Anruf

57. Die ALERT Nachricht kann implementierungsabhängig ausbleiben. Dann kann als Trigger die CONNECT Nachricht verwendet werden, welche anzeigt, daß der angerufene Teilnehmer den Anruf entgegengenommen hat.

5. Kapitel

Leistungsbewertung

5.1 Grundlagen der Leistungsbewertung von Telekommunikationsdiensten

Telekommunikationsnetze werden für die Benutzung durch mehrere Millionen Teilnehmer dimensioniert. Da die einzelnen Netzknoten große ökonomische Investitionen darstellen, ist eine sorgsame Bewertung der zu erwartenden Netzauslastung unerlässlich.

Jeder neu eingeführte Telekommunikationsdienst bringt neben dem gewünschten Effekt der Dienstleistung eine Reihe von Nebeneffekten mit sich. Vorrangig zu nennen sind die unter Umständen ungewünschte Interaktion mit anderen, bestehenden Diensten sowie entweder eine durch die Dienstleistung hervorgerufene höhere Prozessorbelastung im Dienstknoten (wenn der Dienst in einem existierenden Knoten ausgeführt wird) oder die Kosten und der erhöhte Signalisierungsaufwand für die Integration eines neuen, dedizierten Dienstknotens (wenn der Dienst durch einen eigens dafür eingebrachten Netzknoten erbracht wird). Zu diesen aus Betreibersicht wesentlichen Gesichtspunkten der Einführung neuer Dienste kommen die für den Benutzer vordergründigen Aspekte wie Verzögerung des Verbindungsaufbaus sowie Kosten durch Benutzung erweiterter Dienste⁵⁸. Sowohl die aus Betreibersicht als auch die aus Benutzersicht wesentlichen qualitativen und quantitativen Merkmale werden in diesem Kapitel untersucht und dargestellt. Die Auswirkungen des vorgestellten Modells der erweiterten Dienstleistung in einem

58. Der Benutzer kann dabei im Einzelfall auch eine weitere Anwendung sein, die auf dem erweiterten Dienstleistungskonzept aufbaut.

zellularen GSM-Netz auf Drittanbieter von Telekommunikationsdiensten wird bis zur Netzgrenze untersucht. Die darüber hinausgehenden Auswirkungen der Anbieters durch Drittanbieter bedarf der implementierungsspezifischen Untersuchung und ist deshalb hier ausgelassen worden.

Die Einführung eines neuen Dienstes in ein Telekommunikationsnetz stellt bei konventioneller Vorgehensweise einen beträchtlichen Eingriff in die gesamte Systemarchitektur dar. Dies erklärt die momentan noch sehr großen Vorlaufzeiten von der Dienstspezifikation bis zur Diensteseinführung. Die in dieser Arbeit dargestellten Mechanismen USSD und CAMEL sind dienste-unabhängige Werkzeuge der Diensteseinführung. Wenn diese Mechanismen einmal vorhanden sind, können neue Dienste mit weit weniger tiefen Eingriffen in die bestehende Netzarchitektur implementiert werden. So müssen die prinzipiellen Überlegungen zu weiterreichenden Implikationen im Netz nur einmalig durchgeführt werden. Die eigentliche Diensteseinführung besteht dann in der Nutzung der bereits im Netz etablierten Werkzeuge (USSD, CAMEL) und muß nicht mehr auf Rückwirkungsfreiheit und Netzbelastung hin untersucht werden.

Prinzipiell stehen der wissenschaftlichen Betrachtungsweise quantitativer Daten die Methoden mathematische Analyse, Simulation und Messung sowie Mischformen⁵⁹ dieser Basismethoden zur Verfügung. Die Masse der Leistungsbewertungen für Telekommunikationsnetze und deren Dienste ist a priori, d.h. vor der Implementierung durchzuführen, da gerade aus ihnen ein exakter Realisierungsplan abgeleitet wird. Damit fällt die alleinstehende Messung aus der Menge der anwendbaren Methoden heraus. Von den verbleibenden ist eine simulative Bewertung dann angezeigt, wenn die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes bzw. die der zugehörigen mathematischen Analyse die Grenze der Verarbeitungsleistung heutiger Rechnersysteme bzw. die Grenze der heutigen mathematischen Möglichkeiten überschreiten⁶⁰. Im folgenden wird jedoch gezeigt werden, daß das entwickelte Modell der erweiterten Dienstbereitstellung in GSM-Netzen in hinreichender Tiefe mathematisch analytisch bewertet werden kann. Einige Basisdaten bestehender Systeme sind durch Messung bestimmt worden.

59. Beispiele sind die operationelle Analyse, die nicht auf statistisch verteilten Werten, sondern auf Meßwerten beruht und die Hybrid-Simulation, die analytische Elemente enthält [BOLCH89].

60. So können heute (1998) beispielsweise nicht beliebige Momente von Verteilungsfunktionen geschlossen berechnet werden.

5.1.1 Leistungsbewertung der erweiterten Dienstbereitstellungsmodelle

In die Leistungsbewertung der USSD und CAMEL basierten Konzepte zur offenen Dienstbereitstellung geht als eine wichtige Randbedingung die Tatsache ein, daß die Diensterbringung auch in einem externen Knoten erfolgen kann. Dies führt zu längeren Signalisierungswegen und insbesondere zu mindestens einer weiteren Verweildauer in einem Signalisierungsknoten. Zugunsten einer einheitlichen, von der gewählten Form der Drittanbieterung unabhängigen Untersuchungsweise, wird der Einfluß eines Drittanbieters gegenüber einer netzimmanenten Dienstbereitstellung im folgenden mit genau einer zusätzlichen Verzögerung in einem Signalling Transfer Point approximiert.

5.1.2 Leistungsmerkmale aus Benutzersicht

Für den Benutzer eines Telekommunikationsdienstes sind im wesentlichen drei Kriterien wichtig:

- die Dienstmerkmale, inklusive der Zuverlässigkeit und Sicherheit des Dienstes
- Die Benutzbarkeit⁶¹ des Dienstes (Dienstprogrammierung, -aktivierung etc.) und
- die Größe der durch die Diensterbringung zusätzlich verursachten Zeitverzögerung (im Falle eines mit dem Anrufaufbau gekoppelten Mehrwertdienstes z.B. die Verzögerung des Anrufaufbaus, sogenanntes post-selection oder post-dialling delay, vgl. [ITU-T E.600])

Zwischen den drei genannten Kriterien besteht in der Regel eine natürliche Konkurrenz. Abhängig von den Benutzerpräferenzen kann eines zum Ausschlußkriterium werden (wenn beispielsweise die Diensterbringung per se eminent wichtig ist oder keine Zeitverzögerung in Kauf genommen werden kann)

5.1.3 Leistungsmerkmale aus Betreibersicht

Der Netzbetreiber strebt nach Gewinnerzielung. Dazu muß er zum einen die Investitions- und Unterhaltungskosten seines Netzes zu minimieren suchen und zum anderen eine qualitativ hochwertige Versorgung⁶² anbieten. Die für den Benutzer entscheidenden Leistungsmerkmale sind aus diesem Grunde für den Betreiber in gleicher Weise relevant. Hinzu kommt als ein wesentliches Kriterium die Knoten- und Verbindungsbelastung im Netz. Diese hängt direkt mit der Güte aller erbrachten Dienste zusammen und erfordert ab einem

61. oder "Bedienungskomfort"

62. die bewußte Anbietetung minderwertiger Ware zu entsprechend niedrigen Preisen ist prinzipiell ökonomisch nicht unsinnig, im Bereich der GSM Mobilfunknetze jedoch kaum anzutreffen.

bestimmten Grad der Nutzung die Anschaffung weiterer Netzinfrastruktur.

5.1.4 Leistungsmerkmale aus Sicht des Dienstanbieters

Der Dienstanbieter letztlich ist, wenn er nicht mit dem Betreiber identisch ist, an allen vorgenannten Leistungsmerkmalen interessiert, da er dem Benutzer einen interessanten Dienst anbieten möchte und vom Netzbetreiber günstige Konditionen für die Benutzung dessen Netzes erwartet. Weiterhin ist ihm in ähnlicher Weise wie dem Netzbetreiber an der Lastoptimierung des externen Dienstknotens (EDK) gelegen. Letztlich sind die Verbindung und das benutzte Protokoll zwischen dem Netz und dem externen Dienstknoten Parameter der Leistungsbewertung aus Sicht des Dienstanbieters.

5.2 Das analytische Modell und Leistungsbewertung des USSD-Mechanismus

5.2.1 Grundlegende Annahmen

Die analytische Leistungsbewertung bildet ihrem Wesen nach die Realität anhand eines Modells zur mathematischen Analyse ab. Da jedoch nicht alle Vorgänge in einem Telekommunikationsnetz in mathematischer Form vorliegen, müssen Formulierungen gefunden werden und sinnvolle Abstraktionen gemacht werden; es werden mathematisch faßbare Modelle gebildet. Beispielsweise muß das Verhalten der Gesamtheit der Netzbenutzer mathematisch beschrieben werden, ebenso die Menge, Dauer und Verteilung der getätigten Anrufe. In Abbildung 50 ist dargestellt, welche Teilmodelle das im folgenden benutzte analytische Modell beinhaltet (vgl. dazu auch [Gunterm96]).

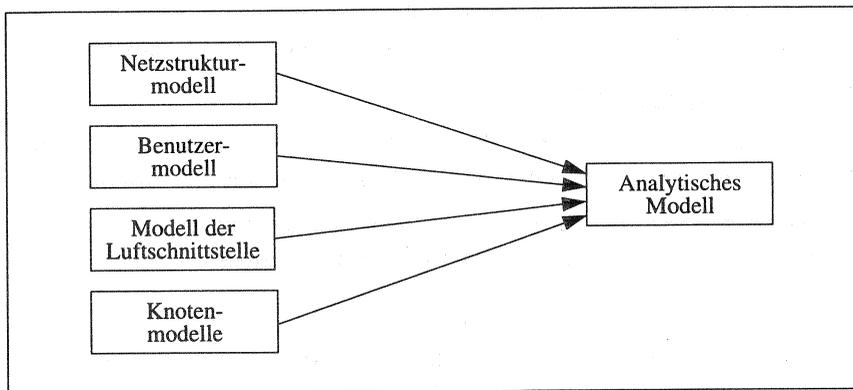


Abbildung 50: Das analytische Modell mit seinen Modulen

Die vier großen Module des analytischen Modells werden in den folgenden Unterkapiteln entwickelt. In Kapitel 5.2.6 werden noch einige einfache Modellbeschreibungen im Definitionsstil vorgestellt.

Wesentliche Grundlage der quantitativen Betrachtung eines Telekommunikationsnetzes ist die realitätsnahe Festlegung der Netzparameter. Im Netzstruktur- und Benutzermodell werden konkrete Verkehrsparameter definiert sowie die Menge vorhandener Netzknotten festgelegt. Beide Modelle stehen in engem Zusammenhang und sind voneinander abhängig. Die hier benutzten

Modelle basieren auf Meßergebnissen in verschiedenen europäischen GSM Mobilfunknetzen und stellen so den tatsächlich zu erwartenden Zustand in einem mittelgroßen GSM Netz der Phase 2 und höher dar (vgl. Kapitel 5.3.3).

Die in der folgenden Leistungsbewertung vorgenommenen Analysen sind jedoch nicht auf die absolute Größe des Beispielnetzes begrenzt. Die Ergebnisse sind invariant gegenüber einer proportionalen Veränderung aller Werte des Netzstrukturmodells, solange sie sich in vertretbaren Grenzen bewegt. Um solche Variationen vornehmen zu können wurde der Parameter Netzgröße ‘ng’ eingeführt. Dieser darf folgende Werte annehmen:

$$\text{Netzgröße} \quad ng = \frac{k}{3} \quad k \in \{1, \dots, 9\} \quad (17)$$

Damit ergibt sich als Gültigkeitsbereich der angestellten Betrachtungen eine Netzgröße zwischen 1 und 9 Mio. Teilnehmern (vgl. Tabelle 6 unten). Die Berechnungen im Rahmen der Leistungsbewertungen sind für den Wert $ng=1$ durchgeführt, was einem Netz mit 3 Millionen Teilnehmern entspricht.

5.2.2 Netzstrukturmodell

Das Netzstrukturmodell definiert Protokolle und Häufigkeiten für die Beteiligung der einzelnen Netzknoten an der jeweiligen Protokollbearbeitung.

Abbildung 51 zeigt die bei der Betrachtung des erweiterten Dienstmodells interessierenden Protokolle auf den jeweiligen Schnittstellen.

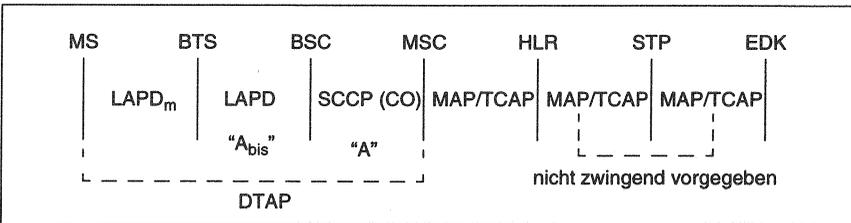


Abbildung 51: Protokolle zwischen den Netzinstanzen

Die Signalisierung auf der Luftschnittstelle bedient sich der Link Access Procedure für den D_m Kanal (LAPD_m). Diese Schnittstelle ist insbesondere im Zusammenhang mit den USSD-basierten Dienstelementen von großer Bedeutung und wird in Kapitel 5.2.4 ausführlich behandelt.

Auf der A_{bis} Schnittstelle findet das "normale" LAPD-Protokoll Verwendung, auf das in Kapitel 5.2.4.2 kurz eingegangen wird. Zwischen BSC und MSC (A-Schnittstelle) wird der Signal Connection Control Part (SCCP) in verbindungsorientierter (connection-oriented, CO) Form genutzt. Zwischen MS und MSC werden auf Schicht 3 DTAP⁶³-Nachrichten ausgetauscht. DTAP ist Teil des BSS Application Part (BSSAP).

Ab dem MSC finden die Schicht 7 Protokolle MAP und TCAP Anwendung (zu SCCP und MAP/TCAP vgl. Kapitel 2.2.1). Der Signalling Transfer Point (STP) dient lediglich als Relais und ist nicht zwingend erforderlich⁶⁴. Ebenso sind zwischen Home Location Register (HLR) und Externem Dienstknoten (EDK) nicht notwendigerweise MAP / TCAP implementiert, deren Benutzung erspart jedoch eine aufwendige Protokollumsetzung.

Zur Durchführung der Leistungsbewertung müssen Annahmen über die Häufigkeiten der verschiedenen Knoten des GSM-Netzes gemacht werden. In Tabelle 6 sind die hier benutzten Werte zusammengestellt. Als Parameter wird die Netzgröße ng verwendet, die es erlaubt, die angestellten Überlegungen auf eine breite Palette möglicher Netzgrößen anzuwenden.

Modellparameter	Wert
Anzahl Teilnehmer, n_{Tln}	$ng * 3.000.000$
Anzahl STPs, n_{STP}	$ng * 3$
Anzahl MSCs, n_{MSC}	$ng * 30$
Anzahl Teilnehmer pro MSC, $n_{\text{Tln/MSC}}$	100.000
Anzahl HLRs, n_{HLR}	$ng * 6$
Anzahl BSCs pro MSC, $n_{\text{BSC/MSC}}$	2
Anzahl BTSs pro BSC, $n_{\text{BTS/BSC}}$	120
Location Areas (Deckungsgebiete) pro MSC, $n_{\text{LA/MSC}}$	4
Anzahl Zellen, $n_{\text{Zellen}} (= n_{\text{BTS/BSC}} * n_{\text{BSC/MSC}} * n_{\text{MSC}})$	$ng * 7200$
Mittlere Anzahl Teilnehmer pro Zelle, $n_{\text{Tln/Zelle}}$	417

Tabelle 6: Netzstrukturmodell, Knotenhäufigkeit

63. Direct Transfer Application Part, vgl. dazu [GSM08.06]

64. Es wird von dem realistischen Umstand eines STP in der Übertragungsstrecke ausgegangen, um eine genaue Leistungsbewertung zu ermöglichen (vgl. Kapitel 5.1.1).

In Abbildung 52 wird ein Überblick über die in der Leistungsbewertung betrachtete Netzarchitektur gegeben.

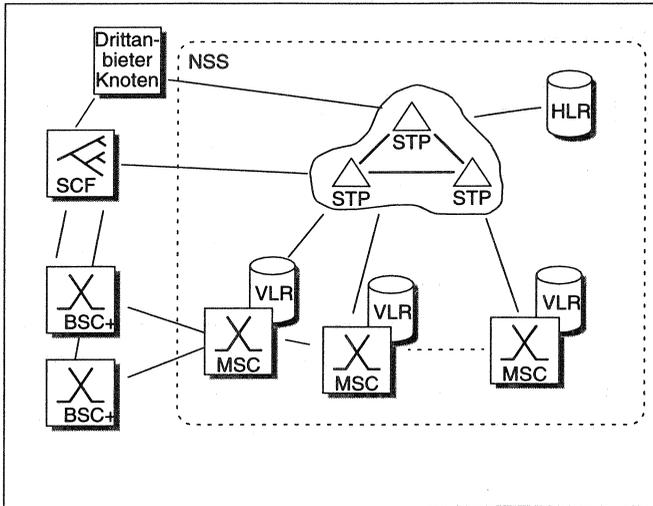


Abbildung 52: Netzarchitektur als Basis der Leistungsbewertung

Es wird angenommen daß die Service Control Function (SCF, Dienststeuerfunktion) mit insgesamt vier physikalischen Signalisierverbindungen an das Netz angekoppelt ist. Daraus resultiert eine theoretische maximale Verbindungsleistung von $4 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 32 \text{ kbyte/s}$ und eine Nennlast unter Normalbedingungen von $9,6 \text{ kbyte/s}$ ($0,3 \text{ Erlang}$).

5.2.3 Benutzermodell

Das Benutzermodell zerfällt im wesentlichen in zwei Teile: Die Modellierung der Nutzung der vorhandenen Basis- und Zusatzdienste und die der Nutzung der Dienste der erweiterten Dienstbereitstellung. Von diesen beiden Kategorien wird im hier entwickelten Benutzermodell nur der erste Teil abgedeckt. Die Nutzung der Dienste mit Hilfe des erweiterten Dienstbereitstellungskonzepts (EDBK) fließt in die eigentliche Leistungsbewertung als Parameter ein, um eine Aussage über den Einfluß verschieden massiver Nutzung solcher Dienste machen zu können.

Tabelle 7 zeigt die relevanten Benutzerprozeduren. Die ihnen zugeordneten Verkehrswerte beziehen sich jeweils auf eine Hauptverkehrsstunde (HVSt)

und einen Teilnehmer. Dies ist durch die bezogenen Größen $\bar{\lambda}_k$, die mittlere Zahl neuer Ereignisse pro Teilnehmer während einer Hauptverkehrsstunde, gekennzeichnet. Es gilt $\bar{\lambda} = \lambda * 1 \text{ HVSt} * 1 \text{ Teilnehmer}$. Die angegebenen Werte sind unabhängig von der Netzgröße, da sie auf die Anzahl der Teilnehmer bzw. die der vorhandenen Vermittlungsstellen (MSCs) bezogen sind.

Modellparameter	Wert
Anteil aktiver Teilnehmer (Tln.) während einer Hauptverkehrsstunde	40%
Anrufe (ankommend und abgehend) $\bar{\lambda}_{\text{Anrufe/Tln.}}$	0,8 ^a
Abgehende Anrufe zu andere MSCs und Netzen $\bar{\lambda}_{\text{MS} \rightarrow \text{extern}}$	0,47
Anrufe zwischen Tln. derselben MSC $\bar{\lambda}_{\text{MS} \rightarrow \text{MS}}$	0,05
Erfolgreiche ankommende Anrufe aus anderen MSCs und Netzen pro MSC $\bar{\lambda}_{\text{extern} \rightarrow \text{MS}}$	0,23
Erfolgreiche ankommende Anrufe aus anderen MSCs und Netzen pro MSC $\bar{\lambda}_{\text{extern} \rightarrow \text{MS}}$	0,29
Transitverkehr durch eine betrachtete MSC $\bar{\lambda}_{\text{extern} \rightarrow \text{extern}}$	0,28
Ortsregistrierungen (Neuregistrierungen und Ortsänderungen) $\bar{\lambda}_{\text{Ortsreg.}}$	0,68
Deregistrierungen und periodische Registrierungen $\bar{\lambda}_{\text{Dereg.}}$	0,41
Inter-MSC Handover (Anrufübergaben), $\bar{\lambda}_{\text{HO,interMSC}}$	0,03
Intra-MSC Handover (Anrufübergaben), $\bar{\lambda}_{\text{HO,intraMSC}}$	0,69
Intra-BSC Handover (Anrufübergaben), $\bar{\lambda}_{\text{HO,intraBSC}}$	0,61
Ankommende Short Messages (Kurznachrichten), $\bar{\lambda}_{\text{SM-an}}$	0,05
Abgehende Short Messages (Kurznachrichten), $\bar{\lambda}_{\text{SM-ab}}$	0,01
Supplementary Services Prozeduren (De/Aktivierung ...), $\bar{\lambda}_{\text{SS}}$	0,05

Tabelle 7: Benutzermodell für ein GSM Phase 2 Netz
Werte für eine Hauptverkehrsstunde

a. Alle Werte berücksichtigen bereits den Anteil aktiver Teilnehmer während der Hauptverkehrszeit. So ist beispielsweise die Menge ankommender und abgehender Anrufe für einen **aktiven** Teilnehmer $\bar{\lambda}_{\text{Anrufe/akt.Tln.}} = 2$

Zusammen mit den Werten aus Tabelle 6 lassen sich nun die Mittelwerte für die Knotenbelastungen berechnen. Für ein MSC ergibt sich eine mittlere Anzahl Anrufe pro HVSt (HVStA) von (vgl. Abbildung 53)

$$\lambda_{MSC} = n_{TIn/MSC} \cdot \sum_{\text{ein MSC}} \text{angebotenerVerkehr} = 132 \text{ kHVStA} \quad (18)$$

Die folgende Abbildung 53 veranschaulicht einige Werte aus Tabelle 7. Die Knotengleichung für die Mobilvermittlungsstelle (MSC) ist nicht ausgewogen, da das MSC für die erfolglosen Anrufe aus anderen MSCs und Netzen eine Senke darstellt.

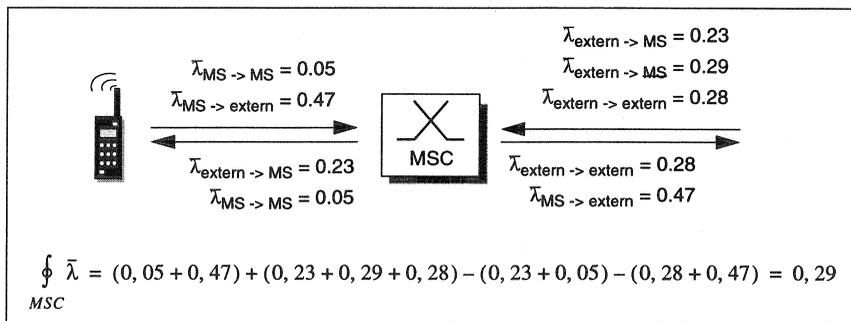


Abbildung 53: Verkehrswerte für ein MSC und Knotengleichung

5.2.4 Modell der Luftschnittstelle

Die Struktur der GSM Luftschnittstelle ist sehr aufwendig. In diesem Kapitel werden daher nur die für das Modell der erweiterten Dienstbereitstellung benötigten Merkmale untersucht und dennoch sind die Herleitungen langwierig. Dies ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß in die Modellbildung bereits große Teile der Leistungsbewertung einfließen. Dies geschieht zur besseren Verständlichkeit, da anhand der vorgestellten Modelle einige Leistungsdaten direkt berechnet werden können. Der Einfluß der Luftschnittstelle auf die erweiterte Dienstbereitstellung wird im folgenden nur für die USSD-basierten Merkmale untersucht, da nur hier eine zusätzliche Signalisierung über die Luftschnittstelle erfolgt. Im Falle der CAMEL-basierten Merkmale findet die erweiterte Signalisierung wie oben gezeigt nur innerhalb des Network & Switching Subsystem (NSS) statt. Sollte ein primär CAMEL-basierter Dienst eine Interaktion mit der MS erfordern, kann diese wiederum mittels USSD durchgeführt werden.

5.2.4.1 Struktur der GSM Luftschnittstelle

Die GSM Luftschnittstelle ist in zwei jeweils 25 MHz breite Frequenzbänder

geteilt (75 MHz beim GSM 1800⁶⁵), von denen einer den Verkehr in Aufwärtsrichtung (Uplink, von der MS zu BTS) trägt, der andere die Daten in Abwärtsrichtung (Downlink, von der BTS zur MS). Im europäischen⁶⁶ GSM System werden die Frequenzbänder 890-915 MHz (Aufwärtsrichtung) und 935-960 MHz (Abwärtsrichtung) genutzt. Das direkt verwandte GSM 1800 System verwendet 1.710-1.785 MHz in der Aufwärtsrichtung sowie 1.805-1.880 MHz für die Abwärtsrichtung. Abbildung 54 zeigt eine schematische Darstellung des Zusammenhangs. Der Abstand zwischen beiden Frequenzbändern wird als Duplexabstand (Duplex-spacing) bezeichnet. Er beträgt im 900 MHz Band (GSM 900) 45 MHz und im 1.8 GHz Band (GSM 1800) 75 MHz. Beide Frequenzbänder sind erst in Trägerfrequenzen (Frequency Division Multiple Access, FDMA, Frequenzvielfach), die Trägerfrequenzen weiterhin in Zeitschlitz (Time Division Multiple Access, TDMA, Zeitvielfach) unterteilt. Das Vielfachzugriffsverfahren wird daher Frequency/Time Division Multiple Access (FTDMA, Frequenz-/Zeitvielfach) genannt.

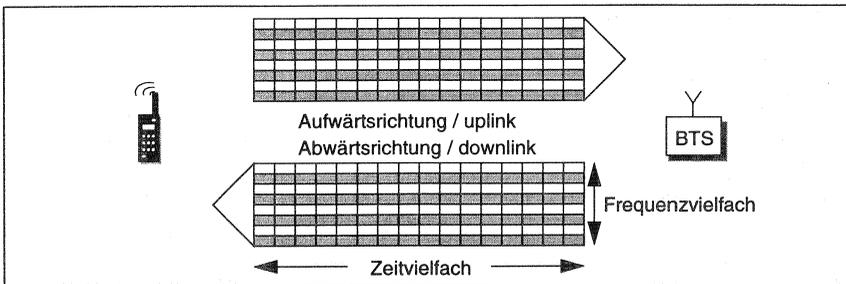


Abbildung 54: Zeit- und Frequenzvielfach im GSM System

Die kleinste Einheit in dieser Betrachtung der Luftschnittstelle ist der Zeitschlitz. Er hat eine Länge von $15/26$ ms ($\sim 0,577$ ms). Acht Zeitschlitz bilden einen TDMA-Rahmen mit der Länge $120/26$ ms ($\sim 4,615$ ms). Danach folgt eine Gruppierung in 26 bzw. 51 TDMA-Rahmen lange Mehrfachrahmen (multiframe), die ihrerseits wieder in Superrahmen zusammengefaßt werden. Der 2048 Superrahmen umfassende Hyperrahmen hat schließlich eine Rah-

65. Derivat des GSM 900, das im 1,8 GHz Band betrieben wird; früher DCS 1800 (Direct Communication System) genannt.

66. Das ursprünglich als pan-europäisch geplante GSM System ist inzwischen auch in nicht-europäischen Ländern wie Singapur, Australien und Südafrika im Einsatz (vgl. dazu beispielsweise <http://www.ericsson.se/systems/gsm/reflist.html>).

mendauer von fast 3,5 Stunden [MouPau92]. Die Zeitschlitz sind in Abbildung 54 durch die horizontale Einteilung der Bänder veranschaulicht.

Die Nachrichten der logischen Kanäle auf der Luftschnittstelle werden in Blöcke unterteilt, die in mehreren Zeitschlitz eines physikalischen Kanals übertragen werden. Der physikalische Kanal unterliegt wiederum dem Zeitvielfach, wird also immer nur im n-ten Zeitschlitz eines TDMA-Rahmens übertragen. So kommt es, daß einem Block eines logischen Kanals eine Blockwiederkehrzeit (Block Recurrence Time, BRT) zugewiesen werden kann. Dies ist die Zeit, die zwischen dem Anfang eines Blocks und dem Anfang des nächstfolgenden gleichen Blocks liegt. Die Blockgrößen für die verschiedenen logischen Kanäle sind zusammen mit der jeweiligen Interleavingtiefe vorgegeben. Die Interleavingtiefe ist die Menge an nötigen Teilübertragungen, um den gesamten Block zu übertragen. Sie bestimmt wesentlich die Übertragungsdauer und -verzögerung. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Größen, deren Werte und errechnet daraus eine theoretische Netto-Bitrate für Schicht 1 Übertragungen⁶⁷ auf den einzelnen Kanälen. Eine ausführliche Darstellung findet sich in [GSM05.01].

Kanaltyp	Blocklänge (Bits)	Interleavingtiefe	Block-Wiederkehrzeit (ms)	Netto-Bitrate (kbit / s)
TCH	260	8	20	13,0
FACCH	184	8	20	9,2
SDCCH	184	4	~235	~0,782
AGCH ^a	184	4	~235	n*598/765 (~ 0,782)
PCH ^a	184	4	~235	p*598/765 (~ 0,782)
RACH ^a	8	1	~235	r*26/765 (~ 0,034)

Tabelle 8: Kenngrößen einiger Kanaltypen

a. Die Anzahl Blöcke (n, p, r) pro Wiederkehrperiode kann von Zelle zu Zelle unterschiedlich eingestellt werden. Die Information wird in jeder Zelle über den BCCH mitgeteilt.

67. praktische Einschränkungen, insbesondere abweichende Werte für Schicht 2 und Schicht 3 Verzögerungen, siehe Kapitel 5.2.4.2

Ein physikalischer Kanal der Luftschnittstelle besteht immer aus einer Kombination an logischen Kanälen. Die folgenden Kombinationen sind möglich⁶⁸:

Typ 1: Vollratenkanäle: TCH + SACCH + FACCH (“Verkehrskanal”)

Typ 2: Halbratenkanäle: TCH (0,1) + FACCH (0,1) + SACCH (0,1)

Typ 3: Halbratenkanäle: TCH (0) + FACCH (0) + SACCH (0) + TCH (1)

Typ 4: FCCH + SCH + BCCH + CCCH

Typ 5: FCCH + SCH + BCCH + CCCH + 4 SDCCHs (0,1,2,3) + 4 SACCHs (0,1,2,3) (“Signalisierkanal”)

Typ 6: BCCH + CCCH

Typ 7: 8 SDCCH (0,1,2,3,4,5,6,7) + 8 SACCH (0,1,2,3,4,5,6,7)

Dabei bedeuten:

- AGCH Access Grant CHannel (Kanal zur Zugangsgewährung)
- BCCH BroadCast CHannel (Rundrufkanal)
- CCCH Common Control CHannel (Gemeinsamer Steuerkanal)
- FACCH Fast Associated Control CHannel (Schneller Assoziierter Steuerkanal)
- FCCH Frequency Correction CHannel (Frequenz Korrektur Kanal)
- PCH Paging CHannel (Rufkanal)
- RACH Random Access CHannel (Kanal für wahlfreien Zugang)
- SACCH Slow Associated Control CHannel (Langsamer Assoziierter Steuerkanal)
- SCH Synchronisation CHannel (Synchronisierkanal)
- SDCCH Slow Dedicated Control CHannel (Freier Steuerkanal)
- TCH Traffic CHannel (Verkehrskanal)

Die Basisstation ist verantwortlich für eine der Verkehrssituation angepasste Versorgung mit Kanälen. In Abhängigkeit von der Zellgröße sind die folgenden Bezeichnungen und damit verbundenen Kanalkombinationen definiert:

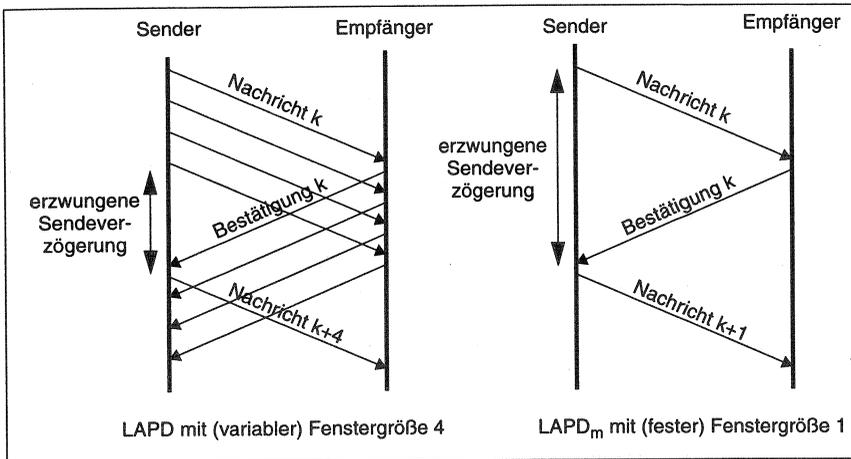
68. Vgl. dazu [GSM04.03]

Zelltyp	Trägerfr.	Physik. Kanäle	TCH/ FACCH SACCH	FCCH	SCH	BCCH	CCCH	SDCCH	SACCH
klein	1	7 Typ 1, 1 Typ 5	7	1	1	1	1	4	4
mittel- groß	2	14 Typ 1, 1 Typ 4, 1 Typ 7	14	1	1	1	1	8	8
groß	4	29 Typ 1, 1 Typ 4, 2 Typ 7	29	1	1	1	1	16	16

Tabelle 9: Zelltypen und deren Kanalkonfigurationen

5.2.4.2 Die Schicht 2 Verzögerung / Das LAPD_m Protokoll

Die Link Access Procedure für den D_m Kanal (LAPD_m, Verbindungszugangsprotokoll für den mobilen D-Signalisierkanal) ist das ISO-OSI Schicht 2 Protokoll für sämtliche Signalisierdatenübertragungen über die GSM Luftschnittstelle. Eine wesentliche Abänderung im Vergleich zum herkömmlichen LAPD ist die Festsetzung der HDLC Fenstergröße (vgl. Kapitel 5.2.6.1) auf den Wert eins. Das bedeutet, daß ein sogenanntes überlappendes Quittieren der Nachrichten nicht möglich ist. Die nächstfolgende Nachricht kann immer erst dann gesendet werden, wenn die Bestätigung für den korrekten Empfang der vorangegangenen Nachricht eingetroffen ist. Abbildung 55 verdeutlicht diesen Unterschied.

Abbildung 55: Vergleich LAPD - LAPD_m

Die erzwungene Sendeverzögerung ist dadurch bei Verwendung des LAPD_m (abhängig von der Umlaufzeit) höher als bei Verwendung des herkömmlichen LAPD. Eine genauere Betrachtung der einzelnen auftretenden Verzögerungen im Falle des LAPD_m findet sich in der folgenden Abbildung 57. Anzumerken ist, daß die Dauer der physikalischen Übertragung der Nachrichten über die Luftschnittstelle (ca. 3,33 μs pro km) einen so geringen Anteil an der Gesamtverzögerung ausmacht, daß sie nicht in Betracht gezogen wird.

Folgende Definitionen sind zugrunde gelegt:

- Wenn am Dienstzugangspunkt der Schicht 2 des Senders eine Schicht 3 Nachricht eintrifft, so muß diese so lange auf ihre Übertragung warten, bis ein freier Zeitschlitz zur Verfügung steht. Diese Wartezeit kann bei Sender und Empfänger unterschiedlich sein und wird mit Einfügezeit (scheduling delay) beschrieben.
- Die Interleavingverzögerung ergibt sich durch die Verteilung eines Nachrichtenblocks auf mehrere, einzeln zu übertragende Teile (s.o.). Bei Interleavingtiefe 4 müßte die Darstellung einer übertragenen Nachricht genaugenommen also wie in Abbildung 56 dargestellt aussehen.

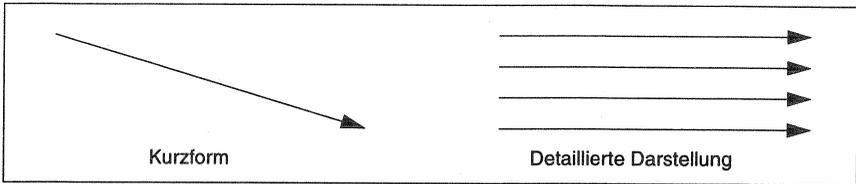


Abbildung 56: Detaillierte Darstellung einer Übertragung mit Interleaving

- Die **Nachfolgeverzögerung** ist die Zeit zwischen den Übertragungsanfängen zweier aufeinanderfolgender Nachrichten in eine Richtung.

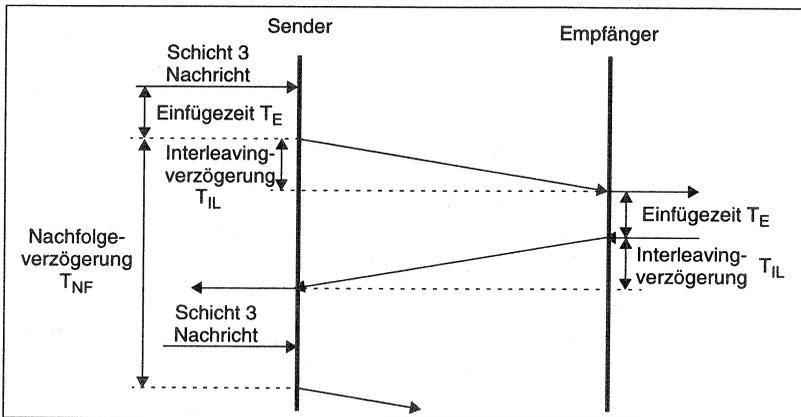


Abbildung 57: Verzögerungen bei der LAPD_m-Signalisierung

Im folgenden soll das oben entwickelte theoretische Modell der Schicht 2 / LAPD_m Verzögerung auf die beiden konkreten Fälle Slow Dedicated Control CHannel (SDCCH, freier Steuerkanal) und Fast Associated Control CHannel (FACCH, schneller assoziierter Steuerkanal) angewandt werden, da diese im Rahmen der Leistungsbewertung von besonderem Interesse sind.

Wenn eine Schicht 3 Nachricht, die über einen SDCCH übertragen werden soll, am Schicht 2 Dienstzugangspunkt eintrifft, muß sie -wenn keine anderen Nachrichten mehr warten- maximal eine Blockwiederkehrzeit (d.h. 235 ms) warten. Die sendeseitige Einfügezeit liegt also im Intervall [0 ... 235 ms]:

$$0 \leq T_{E, Send} \leq 235ms \quad (19)$$

Wegen der Interleavingtiefe 4 (vgl. Tabelle 8) ist die Interleavingverzögerung

$$T_{IL} = \left(3 \cdot \frac{120}{26} + \frac{15}{26} \right) ms = \frac{375}{26} \approx 14,42ms \quad (20)$$

Abbildung 58 verdeutlicht Gleichung (20):

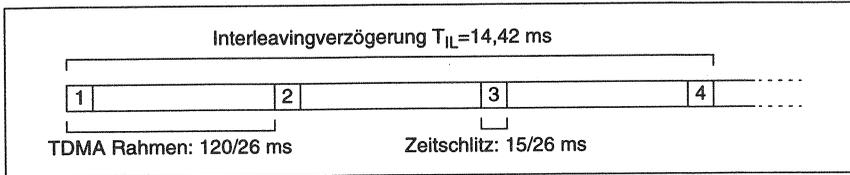


Abbildung 58: Interleavingverzögerung bei Interleavingtiefe 4

Die Aufwärtsübertragung von Schicht 2 Nachrichten auf dem SDCCH ist mit dem Abwärtsempfang starr synchronisiert. Der Synchronabstand beträgt 15 TDMA-Rahmen. Das bedeutet, daß die Mobilstation nach Abschluß des Empfangs einer Schicht 2 Nachricht über einen SDCCH das Senden der zugehörigen Antwortsequenz 15 TDMA-Rahmen später abschließen muß. Die empfangsseitige Einfügezeit beträgt demzufolge mindestens

$$T_{E, Empf, abw} = 15 \cdot \frac{120}{26} - T_{IL} = 12 \cdot \frac{120}{26} - \frac{15}{26} = \frac{1425}{26} \approx 54,81ms \quad (21)$$

Abbildung 59 verdeutlicht Gleichung (21):

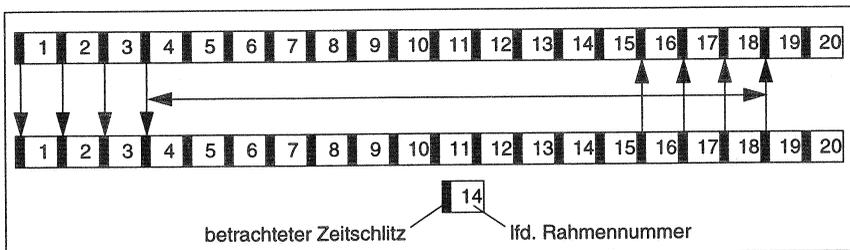


Abbildung 59: Sendesynchronisation für eine Schicht 2 Nachricht aus der Mobilstation

Überschreitet sie die somit vorgegebene maximale Reaktionszeit von 12 TDMA Rahmen, muß sie eine Blockwiederkehrzeit (d.h. 235 ms) warten, bis sie antworten darf.

In umgekehrter Richtung (d.h. bei der Reaktion auf eine Nachricht in Aufwärtsrichtung zur Basisstation) findet derselbe Mechanismus Anwendung, allerdings ist hier die erlaubte Reaktionszeit der Basisstation gleich der Blockwiederkehrzeit abzüglich der oben errechneten Einfügezeit:

$$T_{E, \text{Empf, aufw}} = 235 \text{ms} - T_{E, \text{Empf, abw}} - 2T_{IL} \approx 150 \text{ms} \quad (22)$$

Da innerhalb einer Blockwiederkehrzeit nur ein Rahmen verschickt und bestätigt werden kann, stellt die zu eins limitierte Fenstergröße des LAPD_m bei der Signalisierung über den SDCCH also keine Einschränkung dar. Die Nachfolgeverzögerung ist somit

$$T_{NF, \text{SDCCH}} = 235 \text{ms} \quad (23)$$

Unter der Voraussetzung, daß eine LAPD_m Nachricht 160 Bit Nutzdaten transportiert⁶⁹, läßt sich die exakte Übertragungsrate eines SDCCH berechnen zu

$$B_{\text{SDCCH}} = \frac{160 \text{bit}}{235 \text{ms}} = 681 \text{bit/s} \quad (24)$$

Die Verzögerungszeiten für die Übertragung per FACCH berechnen sich wie folgt:

Der logische Fast Associated Control Channel (FACCH) existiert physikalisch im Leerlauf gar nicht. Er wird bei Bedarf durch den Verkehrskanal, zu dem er assoziiert ist, geschaffen⁷⁰. Das bedeutet im Falle eines Sprachkanals, daß die Sprachqualität kurzfristig abnimmt, bei einem Datenverkehrskanal verlängert sich die Übertragungsdauer entsprechend. Beim FACCH ist die Blockwiederkehrzeit maximal 20 ms (vgl. Tabelle 8). Die Einfügezeit für Sender und Empfänger ist im Falle des FACCH also

69. Siehe unten (Abbildung 60).

70. sogenanntes "preemptive dynamic multiplexing"

$$0 \leq T_E \leq 20ms \quad (25)$$

Wegen der Interleavingtiefe 8 ist die Interleavingverzögerung beim FACCH⁷¹

$$T_{IL} = \left(7 \cdot \frac{120}{26} + \frac{15}{26}\right)ms = \frac{855}{26} \approx 32,88ms \quad (26)$$

Damit ergibt sich die Nachfolgeverzögerung im Falle des FACCH zu

$$T_{NF,FACCH} = 2T_{IL} + 2T_E \approx 110ms \quad (27)$$

Wie oben läßt sich damit die exakte Übertragungsrate eines FACCH berechnen zu

$$B_{FACCH} = \frac{160bit}{110ms} = 1455bit/s \quad (28)$$

Diese ist erheblich geringer, als die theoretisch auf Schicht 1 erreichbare Übertragungsrate (vgl. Tabelle 8) und wird durch die Schicht 3 Prozedur noch weiter verringert (vgl. Tabelle 10).

Abschließend soll nun noch die Übertragung einer USSD Nachricht über das Schicht 2 Protokoll LAPD_m betrachtet werden.

Die Länge eines LAPD_m Rahmens für die Kanaltypen SDCCH und FACCH ist auf 23 byte beschränkt. Da weiterhin im Falle einer USSD Nachricht 3 byte Steuerinformation pro LAPD_m Rahmen nötig sind, ist die Nutzlast eines LAPD_m Rahmens auf 20 byte Schicht 3 Information beschränkt. Größere Nachrichten werden segmentiert und in mehreren LAPD_m Rahmen übertragen. Es wird dazu ein spezielles Bit gesetzt, welches anzeigt, daß mehr Daten zu derselben Schicht 3 Nachricht folgen.

71. Da das Interleaving beim FACCH tiefer ist, als beim SDCCH (vgl. Gleichung (20)), ist die Interleavingverzögerung entsprechend länger. Dies widerspricht der Vorstellung, daß der FACCH ein "schnellerer" Kanal als der SDCCH ist, begründet sich aber aus der durch das tiefere Interleaving erzielten höheren Übertragungssicherheit des FACCH.

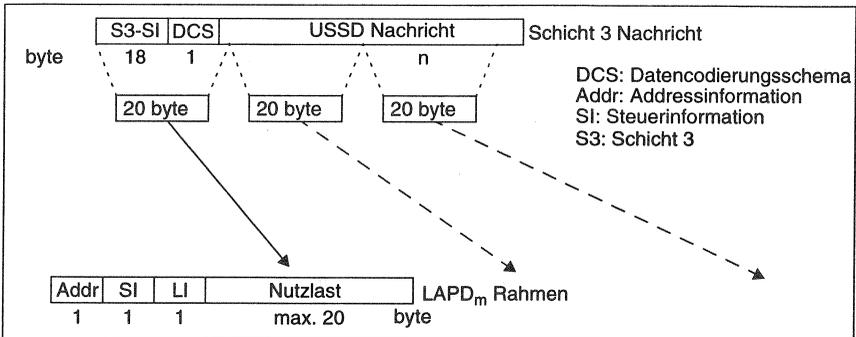


Abbildung 60: Umsetzung von Schicht 3 USSD Nachrichten auf LAPD_m Rahmen⁷²

Die Anzahl der benötigten Segmente berechnet sich demzufolge in Abhängigkeit der Menge an Schicht 3 Information n_{Schicht3} zu

$$n_{\text{seg}} = \left\lceil \frac{n_{\text{Schicht3}} + 19}{20} \right\rceil \quad (29)$$

Damit ergeben sich die in Tabelle 10 zusammengestellten Übertragungszeiten für verschieden lange USSD Nachrichten über SDCCH und FACCH. Die Tatsache, daß die Übertragungsrates des FACCH mehr als doppelt so groß ist wie die des SDCCH, macht sich erst bei größeren zu übertragenden Datenmengen bemerkbar. Dies ist auf die größere Interleavingtiefe des FACCH zurückzuführen (vgl. dazu Fußnote 71.).

Länge der USSD Nachricht in byte	Anzahl erforderlicher Segmente	Übertragungszeit über einen SDCCH in ms	Übertragungszeit über einen FACCH in ms
1	1	15	37
8	2	250	157
40	3	485	277
80	5	955	517
120	8	1660	877

Tabelle 10: Übertragungszeiten von USSD Nachrichten über SDCCH und FACCH

72. Die angegebene Zahl von 18 byte für Schicht 3 Steuerinformationen gilt für alle USSD Nachrichten außer der Verbindungsauslösung

5.2.4.3 Verzögerungszeiten für Kanalinstanziierungen

Im vorangegangenen Unterkapitel wurden die Übertragungszeiten auf den einzelnen Kanälen hergeleitet. Hier soll nun die durch die Instanziierung bzw. Initialisierung der Kanäle entstehende Verzögerung hergeleitet werden.

5.2.4.3.1 Netzinitiierte nicht verbindungsgebundene USSD Dialoge

Nicht verbindungsgebundene USSD Dialoge werden -wie oben gezeigt- über SDCCHs abgewickelt. Netzinitiierte, nicht verbindungsgebundene USSD-Dialoge werden durch eine Rufprozedur (Paging) gestartet, welche die Mobilstation veranlaßt, einen SDCCH einzurichten. Abbildung 61 zeigt den Ablauf.

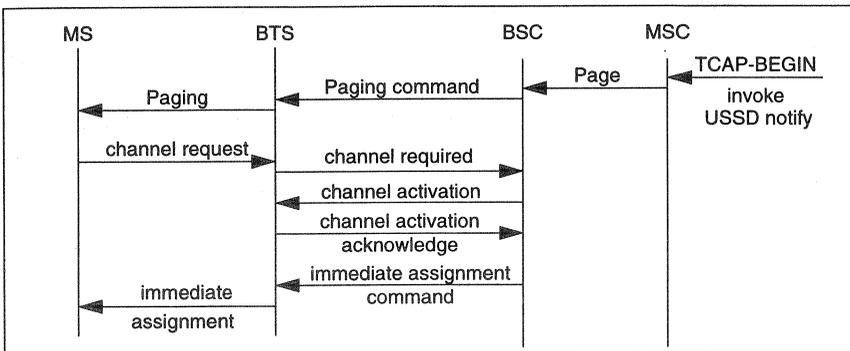


Abbildung 61: Sofortige Kanalzuweisung nach Anzeige des Verbindungswunsches
Mit Empfang der Nachricht "Sofortige Zuweisung" (Immediate Assignment) erhält die Mobilstation einen eigenen, nicht an einen Verkehrskanal gebundenen Signalisierkanal (SDCCH).

Der Paging and Access Grant Channel (PAGCH, Kanal für Paging- und Zugangsgewährung) ist ein kombinierter Kanal, der sowohl paging-Nachrichten, als auch die Kanalzuweisungsnachrichten transportiert. Die gesamte Verzögerung von der Erzeugung einer paging- bzw. Kanalzuweisungsnachricht bis zu ihrem Eintreffen im jeweils anderen Endknoten (MS respektive MSC) setzt sich aus der Wartezeit in der Warteschlange aller auf Übertragung wartenden paging- und Kanalzuweisungsnachrichten t_{wWS} , der Synchronisationswartezeit t_{wsync} , und der Übertragungszeit t_{ij} zusammen:

$$t_{R/ZW} = t_{wWS} + t_{wsync} + t_{ij} \quad (30)$$

Die einzelnen Zeiten werden im folgenden hergeleitet. Abbildung 62 gibt einen Überblick über die nötigen Teilschritte.

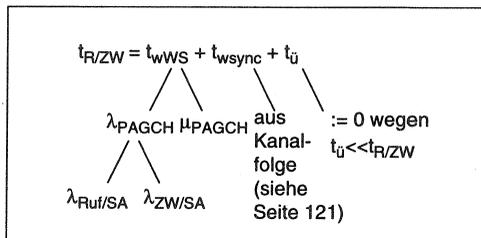


Abbildung 62: Weg zur Herleitung der Paging-/Zuweisungsverzögerung

Die Wartezeit in der Warteschlange der auf Übertragung wartenden paging- bzw. Kanalzuweisungsnachrichten kann unter Zuhilfenahme eines M/D/1 Wartesystems hergeleitet werden, da der Bedienprozeß deterministisch ist (konstante Übertragungszeit). Es kann somit die Pollaczek-Khinchine Mittelwertformel mit Variationskoeffizient Null (vgl. Gleichung (11) auf Seite 29) benutzt werden:

$$t_{wWS} = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)} \tag{31}$$

Um nun die tatsächliche Wartezeit in der Warteschlange berechnen zu können, müssen Bedien- und Ankunftsrate des PAGCH hergeleitet werden (vgl. Abbildung 62 oben).

Die Ankunftsrate des PAGCH

Die Ankunftsrate des PAGCH setzt sich aus den Pagingankünften und den Zuweisungsankünften zusammen.

Die Mobilstation muß in den folgenden Verkehrssituationen gerufen werden: ankommende Anrufe $\lambda_{x \rightarrow MS}$, ankommende Short Messages (Kurznachrichten) λ_{SM-an} , und ankommende USSD Nachrichten $\lambda_{USSD-an}$. Der letztere Wert geht parametrisch in die weiteren Überlegungen ein, die Werte für $\lambda_{x \rightarrow MS}$ und λ_{SM-an} können aus Tabelle 7 entnommen werden. Es ergibt sich:

$$\lambda_{RuF/TIn} = \lambda_{MS \rightarrow MS} + \lambda_{extern \rightarrow MS} + \lambda_{SM-an} + \lambda_{USSD-an} = \frac{0,33}{h} + \lambda_{USSD-an} \tag{32}$$

Da dies nur die Anzahl der Rufe pro Teilnehmer in einer Hauptverkehrsstunde beschreibt, muß die Menge an Teilnehmern in einer Pagingzone ermittelt werden. Die paging Nachrichten werden nicht nur in einer Zelle, sondern in einer ganzen Location Area (LA, Deckungsgebiet), die aus mehreren Zellen bestehen kann, gesendet. Die Anzahl Teilnehmer in einer LA läßt sich mit Hilfe der Werte aus Tabelle 6 für das Beispielnetz berechnen zu

$$n_{\text{TIn/LA}} = \frac{n_{\text{TIn}}}{n_{\text{MSC}} \cdot n_{\text{LA/MS}} = 25.000 \quad (33)$$

Der mittlere Pagingverkehr in jeder betrachteten Location Area beläuft sich also auf

$$\lambda_{\text{Ruf/LA}} = n_{\text{TIn/LA}} \cdot \lambda_{\text{Ruf/TIn}} = \frac{8.250}{h} + n_{\text{TIn/LA}} \cdot \lambda_{\text{USSD-an}} \quad (34)$$

Eine Zuweisungsprozedur findet bei jeder Kanalzuweisung statt, also bei

- dem Aufsetzen eines Verkehrskanals ($\lambda_{\text{MS} \rightarrow \text{extern}} + 2\lambda_{\text{MS} \rightarrow \text{MS}} + \lambda_{\text{extern} \rightarrow \text{MS}}$),
- Ortsregistrierprozeduren ($\lambda_{\text{Ortsreg.}} + \lambda_{\text{Dereg.}}$),
- Supplementary Services Prozeduren (λ_{SS}),
- Empfang und Senden von Short Messages ($\lambda_{\text{SM-an}} + \lambda_{\text{SM-ab}}$) und
- der Initiierung von USSD Dialogen ($\lambda_{\text{USSD-an}} + \lambda_{\text{USSD-ab}}$).

Mit Gleichung (33) ergibt sich der Zuweisungsverkehr in jedem betrachteten Deckungsgebiet während einer Hauptverkehrsstunde zu

$$\lambda_{\text{ZW/LA}} = \frac{50.000}{h} + n_{\text{TIn/LA}} \cdot (\lambda_{\text{USSD-an}} + \lambda_{\text{USSD-ab}}) \quad (35)$$

Damit ergibt sich die Ankunftsrate für den PAGCH zu

$$\lambda_{\text{PAGCH}} = \frac{58.250}{h} + 2n_{\text{TIn/LA}} \cdot \lambda_{\text{USSD-an}} + n_{\text{TIn/LA}} \cdot \lambda_{\text{USSD-ab}} \quad (36)$$

Gleichung (36) zeigt, daß netzinitiierte USSD Dialoge einen doppelt so großen Anteil beitragen wie MS-initiierte. Das liegt an dem zusätzlich genutzten Pagingmechanismus.

$$t_{\text{wWS}} = \left(\frac{2\mu_{\text{PAGCH}}^2}{\lambda_{\text{PAGCH}}} - 2\mu_{\text{PAGCH}} \right)^{-1} \quad (39)$$

Die Synchronisationswartezeit beschreibt das Zeitintervall von der Erzeugung der jeweiligen Nachricht (die unabhängig vom PAGCH-Takt ist) bis zum Auftreten des Rahmens, der den (logischen) PAGCH physikalisch repräsentiert. Diese Wartezeit ist abhängig von der Kanalstruktur in der jeweiligen Zelle und damit von der Zellkonfiguration (vgl. Tabelle 9). Die in der folgenden Tabelle 11 zusammengefaßten Werte ergeben sich wiederum aus Abbildung 63. Dazu wurde jeweils das arithmetische Mittel aller 51 möglichen (diskreten) Synchronisationswartezeiten gebildet.

Zelltyp	t_{wsync}
klein	78,4 ms
mittelgroß	14,9 ms
groß	14,9 ms

Tabelle 11: Durchschnittliche Synchronisationswartezeiten für die verschiedenen Zelltypen

Die Übertragungszeit $t_{\text{ü}}$ kann in guter Näherung zu Null angenommen werden, da die Funkübertragungsverzögerung nur ca. 3,33 μs pro km beträgt (vgl. Kapitel 5.2.4.2).

Damit kann nun die Paging- und Zuweisungsverzögerung $t_{\text{R/ZW}}$ über den Parameter λ_{USSD} (vgl. Gleichung (36)) aufgetragen werden (Abbildung 64). Das Diagramm ist gemäß der Formel in Abbildung 62 auf Seite 118 berechnet. Die einzelnen Komponenten sind oben hergeleitet (vgl. insbesondere Gleichung (39) und Tabelle 11). Die Linien der netzinitiierten Verzögerungszeiten liegt im Falle der mittelgroßen Zelle nur unwesentlich oberhalb der Linie der MS-initiierten Verzögerungszeiten.

Die weitergehenden Verzögerungen (z.B. Kanalbereitstellung) lassen sich aus den Betrachtungen in den folgenden Abschnitten ersehen.

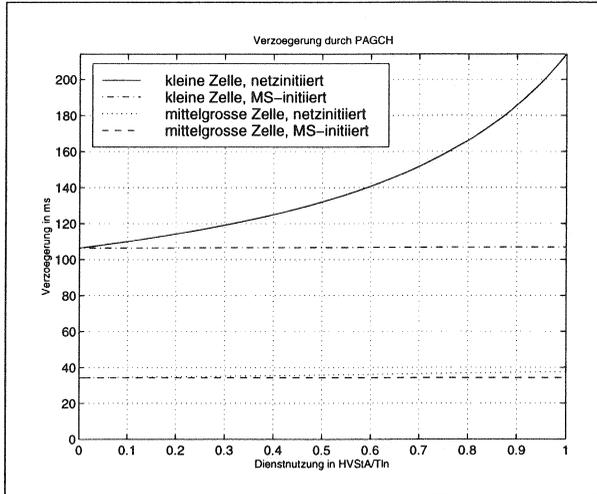


Abbildung 64: Paging- und Zuweisungsverzögerung für netzinitiierte, verbindungsunabhängige USSD-Dialoge

5.2.4.3.2 MS-initiierte verbindungsunabhängige USSD Dialoge

Die Prozedur zur Bereitstellung eines SDCCH für MS-initiierte USSD-Dialoge ist einfacher als der zuvor beschriebene Fall, da das Rufen der MS (Paging) entfällt. Abbildung 65 auf Seite 122 zeigt den Signalisierverlauf. Ein Vergleich mit Abbildung 61 zeigt die Vereinfachung unmittelbar.

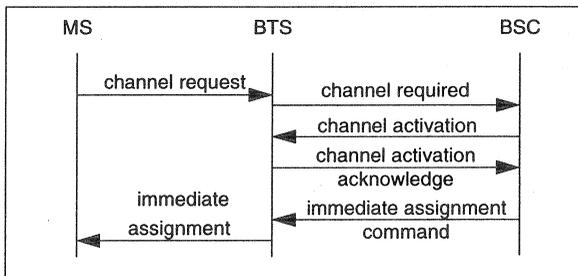


Abbildung 65: Sofortige Kanaluweisung bei MS-initiiertes Kanalanfrage

Anhand dieses Falles sollen die Verzögerungen für den Zugriff auf den Random Access Channel (RACH, Kanal für wahlfreien Zugriff) und die Verzögerungen

zung für die Kanalzuweisung⁷⁴ studiert werden.

Zugriff auf den Random Access Channel (RACH)

Der RACH wird von Mobilstationen genutzt bei

- dem Aufsetzen eines Verkehrskanals ($\lambda_{\text{MS} \rightarrow \text{extern}} + 2\lambda_{\text{MS} \rightarrow \text{MS}} + \lambda_{\text{extern} \rightarrow \text{MS}}$),
- Ortsregistrierprozeduren ($\lambda_{\text{Ortsreg.}} + \lambda_{\text{Dereg.}}$),
- Supplementary Services Prozeduren (λ_{SS}),
- Empfang und Senden von Short Messages ($\lambda_{\text{SM-an}} + \lambda_{\text{SM-ab}}$) und
- der Initiierung von USSD Dialogen ($\lambda_{\text{USSD-an}} + \lambda_{\text{USSD-ab}}$).

Ohne USSD-Ankünfte entspricht das einem Verkehr pro Teilnehmer von genau 2/h (vgl. Tabelle 7). Daraus ergeben sich mit der Anzahl der Teilnehmer in einer Location Area (Gleichung (33)) etwa 14 Ankünfte pro Sekunde in einer Zelle. Schon der Common Control Channel (CCCH, Gemeinsamer Steuerkanal) einer kleinen Zelle weist 27 RACH-Rahmen im 51-Rahmen Muster auf (vgl. Tabelle 9). Damit sind 114 Zugriffe pro Sekunde gestattet, was zeigt, daß auch bei massivem USSD-Verkehr nur eine sehr geringe Verzögerung durch Vielfachzugriff entstehen wird.

Das genutzte Vielfachzugriffsverfahren wird Slotted ALOHA (S-ALOHA) genannt. Nach [Tanenb96]⁷⁵ berechnet sich der tatsächliche Durchsatz S über einen solchen Kanal in Abhängigkeit der Anzahl gleichzeitiger Zugriffe G während eines 'slot' zu:

$$S = G \cdot e^{-G} \quad (40)$$

Da es zu Kollisionen kommen kann, können mehr als ein Übertragungsversuch nötig sein. Der Erwartungswert für die Anzahl nötiger Übertragungsversuche ergibt sich zu

$$E(k) = e^G \quad (41)$$

Mit Hilfe dieser Überlegungen läßt sich die tatsächliche S-ALOHA Verzögerung für das Warten auf einen freien RACH Rahmen berechnen zu:

74. Diese gilt auch für den vorher in Kapitel 5.2.4.3.1 vorgestellten Fall.

75. Kapitel 4.2.1, Gleichungen (4-3), Fig. 4-3

$$t_{w,RACH} = t_0 + t_1 \cdot (e^G - 1) \quad (42)$$

Darin ist

- t_0 die Wartezeit, die vergeht, bis die erste Übertragung erfolgt. Die MS wartet eine zufällige Zeit zwischen Null und sieben Slotlängen ab, um Kollisionen zu vermeiden. Daraus ergibt sich, das t_0 im Mittel gleich 18,5 ms ist.
- t_1 die Wartezeit zwischen einem erfolglosen Versuch (Kollision) und dem nächstfolgenden Sendeversuch. Diese Zeit kann vom Netzbetreiber vorgegeben werden. Hier wird angenommen, daß sie eine Sekunde beträgt.
- G die Anzahl der gleichzeitigen Zugriffe auf den PAGCH. Dieser Wert wurde aus den Verkehrszahlen (vgl. Tabelle 7) hergeleitet und stellt die Abhängigkeit von der Dienstnutzung dar.

Abbildung 66 zeigt eine grafische Darstellung dieses Zusammenhangs für eine kleine und eine mittelgroße Zelle.

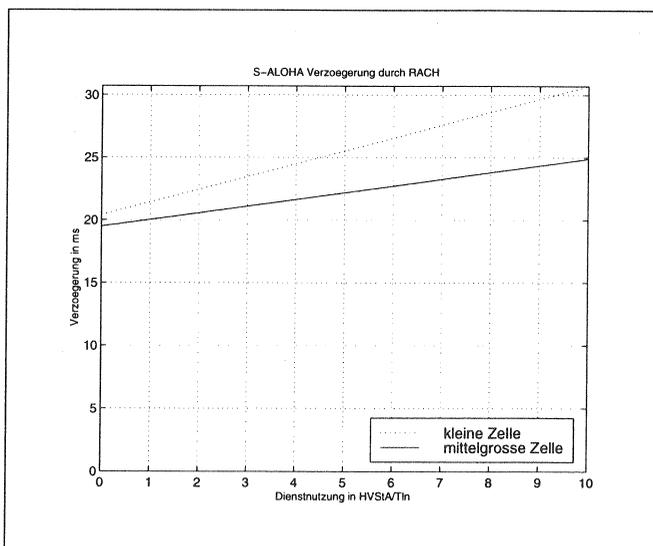


Abbildung 66: Verzögerung durch Zugriff auf den RACH

Beim Betrachten der Ordinatenkalierung in Abbildung 66 wird deutlich, daß die Verzögerung nicht nur gering, sondern für realistische Dienstnutzungsgrade auch nahezu invariant gegenüber der angebotenen Verkehrsmenge ist.

Verzögerung durch die Kanaluweisung

SDCCHs werden in genau denselben Fällen gebraucht wie RACHs (siehe oben). Der Kanal wird dabei für einen Zeitraum von jeweils 3-6 Sekunden zugewiesen. Nur im Fall der verbindungsunabhängigen USSD-Dialoge kann die Kanalbelegung (die dann gleich der Dialoglänge ist) bis zu einigen Minuten betragen. Wegen dieser exklusiven Belegung über einen längeren Zeitraum kann es für die anderen o.g. Prozeduren zu Engpässen kommen. Der Basestation Controller (BSC) kann, wenn ein freier SDCCH angefragt wird, aber nicht vorhanden ist, der MS entweder gar nicht oder mit einer expliziten Absage antworten. Beides führt zu einer späteren Wiederholung der Anfrage.

Die Benutzung der SDCCHs mit dieser Wartefunktion kann als $M/G/n-\infty/FCFS/NONPRE$ Wartesystem modelliert werden⁷⁶, was dessen quantitative Erfassung erlaubt. Aus Gleichung (14) kann unter Zuhilfenahme des Theorems von Little (Gleichung (1)) die Verweilzeit und damit die Wartezeit im System berechnet werden zu⁷⁷

$$W = V - \beta = \frac{L_{M/G/n}}{\lambda} - \beta = \frac{1 + c^2}{2(n\mu - \lambda)} \cdot p_n \quad (43)$$

Um die genutzte Approximationsformel Gleichung (14) für die Wartezeit im $M/G/n$ Wartesystem zu validieren ist in Abbildung 67 ein Vergleich des so gewonnenen analytischen Wertes mit einem Simulationsergebnis⁷⁸ aufgetragen. Es ist offensichtlich, daß die gewählte Näherung vertretbar ist.

76. D.h. Markoff'sche Verteilung der SDCCH-Anfragen, nicht näher spezifizierte ("general") Bediendauer (3 Sekunden bis einige Minuten bei USSD-Dialogen, 3-6 Sekunden sonst), n SDCCHs, unendlich viele Warteplätze, First Come First Serve Bedienstrategie, nicht unterbrechend.

77. mit p_n gemäß Gleichung (15), p_0 gemäß Gleichung (16) auf Seite 30

78. Die Simulation wurde unter Ausnutzung der am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH entwickelten Communication Networks Class Library (CNCL), einer C++ Bibliothek zur Erstellung von Simulatorprogrammen für Telekommunikationsnetze, durchgeführt.

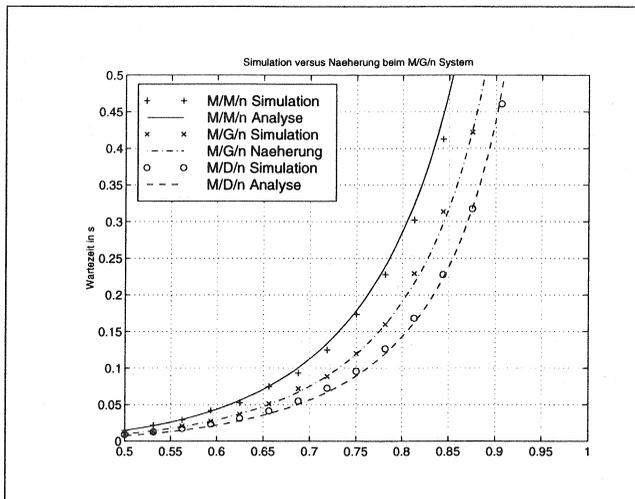


Abbildung 67: Vergleich zwischen approximativ und simulativ ermittelter Wartezeit eines M/G/n Wartesystems

Es wurden jeweils ein M/M/n, ein M/G/n und ein M/D/n System sowohl simuliert, als auch analytisch betrachtet. Die Ergebnisse der Simulation sind in Anhang B tabellarisch zusammengefaßt. Die rechnerisch ermittelten Kurven basieren auf Gleichung (43). Es wurden folgende Standardabweichungen verwendet: $\sigma=1$ für das M/M/n-System, $\sigma=1/3$ für das M/G/n-System und $\sigma=0$ für das M/D/n-System.

Um nun das gesamte System berechnen zu können, müssen noch die Verkehrsichten der einzelnen Operationen, die einen SDCCH benötigen und ihre Belegungsdauern bekannt sein. Diese ergeben sich aus Tabelle 7 sowie aus Meßdaten zu den in Tabelle 12 zusammengestellten Werten.

Operation	Dauer der SDCCH-Belegung in s	Verkehrsichte pro Tln und HVSt
Anrufe	3	0,8
Registrierungen	3,5	1,09

Tabelle 12: Belegungen und Verkehrsichten für SDCCH-Nutzung

Operation	Dauer der SDCCH-Belegung in s	Verkehrsdichte pro Tln und HVSt
Kurznachrichten	6,2	0,06
Zusatzdienste	6,2	0,05

Tabelle 12: Belegungen und Verkehrsdichten für SDCCH-Nutzung

Damit läßt sich schließlich die Verzögerung durch die Kanaluweisung eines SDCCH berechnen. Sie ist in Abbildung 68 in Abhängigkeit von der Menge an USSD-Verkehr aufgetragen. Dabei ist von den vier verschiedenen Fällen

1. kleine Zelle und Dialoglänge 6 Sekunden
2. kleine Zelle und Dialoglänge 12 Sekunden
3. mittelgroße Zelle und Dialoglänge 6 Sekunden
4. mittelgroße Zelle und Dialoglänge 12 Sekunden

ausgegangen worden. Das Diagramm ist gemäß Gleichung (43) berechnet.

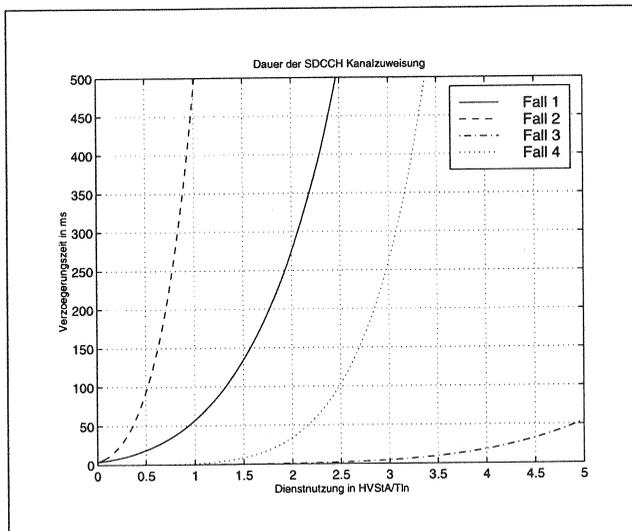


Abbildung 68: Verzögerung durch die SDCCH-Kanaluweisung

5.2.4.3.3 Kanaleinrichtung

In diesem Kapitel werden die durch die Kanaleinrichtung hervorgerufenen Verzögerungen quantifiziert.

Verwendung eines SDCCH (nicht verbindungsgebundener USSD-Dialog)

Bei der Einrichtung eines SDCCH ist zwischen dem MS-initiierten und dem netzinitiierten USSD-Dialog zu unterscheiden. Bei beiden geht jedoch die Kanalinitialisierung von der MS aus und beide lassen sich in ihren Grundzügen auf die in Kapitel 5.2.4.2 gefundenen Beziehungen zurückführen.

Die Kanalinitialisierung für den MS-initiierten USSD-Dialog ist in Abbildung 69 dargestellt.

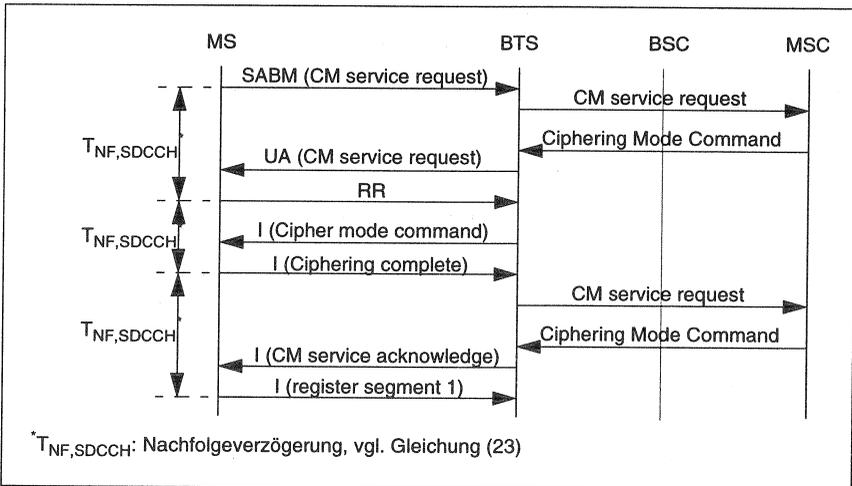


Abbildung 69: SDCCH Kanaleinrichtungsverzögerung bei MS-initiiertem USSD-Dialog

Der Nachrichtenfluß soll hier nicht im Detail erklärt werden; für weitere Erläuterungen sei auf [GSM04.08] verwiesen. Wichtig ist, daß insgesamt drei Nachrichten ausgetauscht werden, die jeweils in einem LAPD_m Rahmen ohne Segmentierung transportiert werden können. Daher ist die resultierende Kanalinitialisierungsverzögerung hier dreimal so groß wie die Nachfolgeverzögerung für einen SDCCH, also

$$T_{KE,SDCCH,MS} = 3 \cdot T_{NF,SDCCH} = 705ms \quad (44)$$

Im Fall des netzinitiierten USSD-Dialogs muß die MS vom Netz authentifiziert werden⁷⁹. Diese Authentifizierung beinhaltet für die MS eine rechenzeit-aufwendige Verschlüsselungsprozedur. Diese Prozedur beansprucht so viel Zeit, daß die MS die Antwort auf die Authentifizierungsanfrage nicht im nächstfolgenden SDCCH-Rahmen übertragen kann. Sie läßt einen Rahmen durch Rücksendung einer Lernnachricht (RR (Null)) verstreichen und nutzt den nächstfolgenden zum Einfügen der Berechnungsantwort. Abbildung 70 zeigt den gesamten Signalisierverlauf.

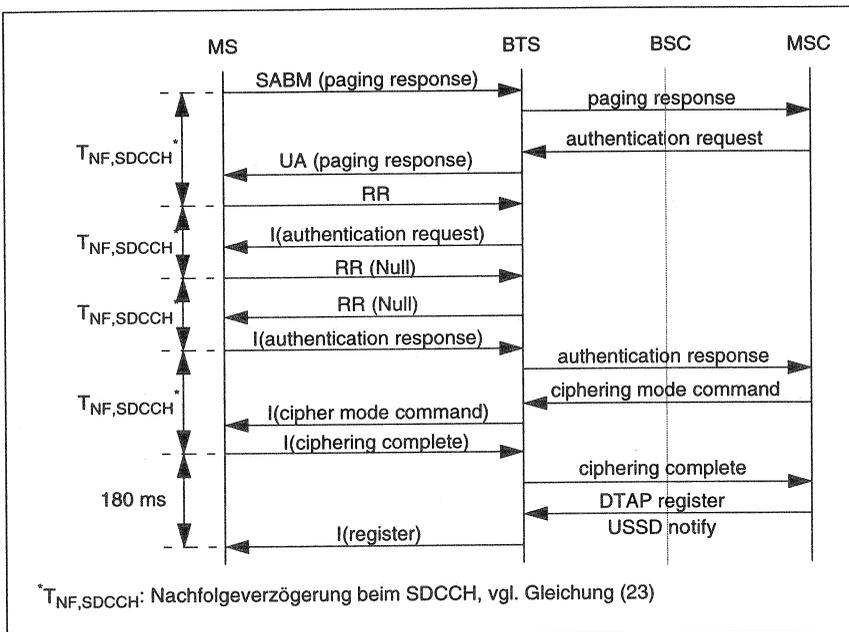


Abbildung 70: SDCCH Kanaleinrichtungsverzögerung bei netzinitiiertem USSD-Dialog

Zu den insgesamt vier Nachfolgeverzögerungszeiten kommt die Wartezeit bis zum Eintreffen der ersten USSD-Nachricht hinzu. Dies sind weitere 180 ms,

79. Die Authentifizierung ist nicht zwingend für jeden einzelnen Kanalaufbau vorgeschrieben. Hier wird jedoch von einer unbedingten Authentifizierung ausgegangen.

vgl. Abbildung 57 / Gleichung (22). Insgesamt ergibt sich also für den netzinitiierten USSD Dialog eine Kanaleinrichtungsverzögerung von

$$T_{KE,SDCCH,Netz} = 1120ms \tag{45}$$

Verwendung eines FACCH (USSD-Dialog während eines Anrufs)

Im Falle eines verbindungsabhängigen USSD-Dialogs wird ein FACCH eingerichtet, um den USSD-Dialog zu transportieren. Abbildung 71 zeigt, daß dafür nur ein Nachrichtenaustausch vonnöten ist, also eine Nachfolgeverzögerungsperiode gewartet werden muß.

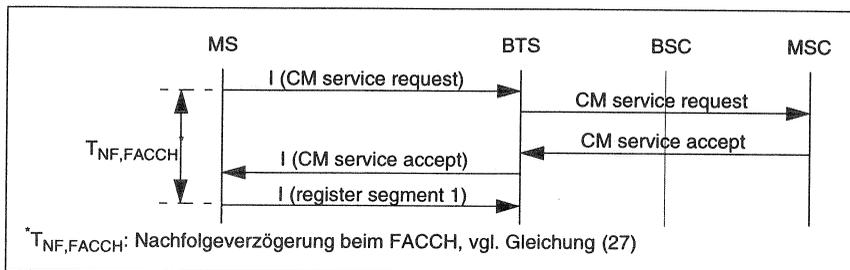


Abbildung 71: FACCH Kanaleinrichtungsverzögerung bei MS-initiiertem USSD-Dialog

Weiter kann angenommen werden, daß zwischen dem Abschluß der Eingabe seitens des Benutzers und dem Start der in Abbildung 71 gezeigten Signalsequenz eine Zeit von ca. 20 ms vergeht. Damit ergibt sich eine Kanaleinrichtungsverzögerung bei Nutzung eines FACCH von

$$T_{KE,FACCH} = 130ms \tag{46}$$

5.2.4.3.4 Kanalabbau

Der Kanalabbau selbst zählt nicht mehr zur USSD-Dialogzeit, da der Dialog definitionsgemäß als beendet gilt, wenn die Kanalabbauprozedur startet. Dennoch ist die Kanalabbauverzögerung interessant, da bei Verwendung eines SDCCH dieser Kanal erst nach Beendigung des Kanalabbaus erneut vergeben werden kann. Wie bereits erwähnt, übernimmt die Netzseite auch im Falle MS-initiiertem USSD-Dialoge die Dialogsteuerung. Deshalb wird der Kanalab-

bau immer von der MSC betrieben. Abbildung 72 zeigt den Kanalabbau, der somit für MS-initiierten und netzinitiierten Fall gleichermaßen gilt.

Nachdem der BSC von der BTS die Bestätigung über den Abbau der Signalierv Verbindung erhalten hat ("Release Indication"), wartet er eine vorbestimmte Zeit, bis er den physikalischen Kanal abbaut (d.h. für frei erklärt)⁸⁰. Danach kann der Kanal von einer anderen MS benutzt werden. Die Zeiten für den Kanalabbau sind in den GSM-Standards, wenn überhaupt, nur in weiten Grenzen (bei Zeitgebern) vorgegeben. Sie ist daher herstellerspezifisch. Im Mittel liegt sie bei

$$T_{KA,SDCCH} \approx 2s \quad (47)$$

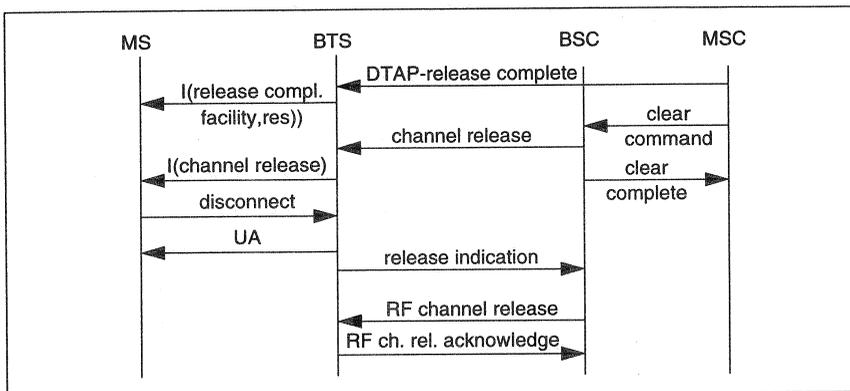


Abbildung 72: Abbau eines SDCCH nach Beendigung eines USSD-Dialogs

5.2.5 Knotenmodelle

Die betrachteten Knoten werden verkehrstheoretisch als Warte-Verlustsysteme modelliert. Sie erzeugen Verlustverkehr, wenn eine bestimmte Grenzauslastung des Gesamtsystems erreicht ist⁸¹. In dieser Arbeit wird von einer Grenzauslastung ausgegangen, die bei 95% der theoretischen Maximal-

80. Damit wird garantiert, daß die MS im Falle eines mißglückten Kanalabbaus aufgrund Informationsverlustes den Kanal wieder aufnehmen kann.

81. Der Prozessor kann mit seiner festen Verarbeitungsleistung nicht überfordert werden, sondern die Länge der Warteschlange gibt die Systemgrenze vor. Reine Wartesysteme besitzen eine unendlich lange Warteschlange

belastbarkeit des Systems liegt. Wird das Verkehrsangebot weiter gesteigert, gehen ankommende Aufträge verloren.

Alle gemachten Untersuchungen beziehen sich auf die Betrachtung des Signalierverskehrs innerhalb des GSM. Deshalb werden in diesem Abschnitt Modelle für den Signalling Transfer Point (STP), den Signalling Point (SP) und den Basestation Controller (BSC) entwickelt.

Zuerst sollen anhand Abbildung 73 einige prinzipielle Definitionen vorgestellt werden.

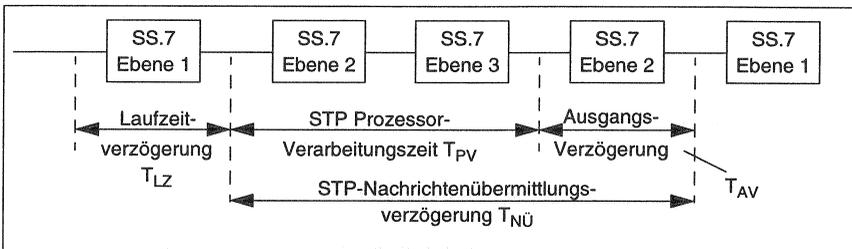


Abbildung 73: Verzögerungszeiten auf der SS.7 Übertragungsstrecke

Die Laufzeitverzögerung T_{LZ} ist die Zeit zwischen dem Aussenden einer Information aus einer Quelle (SS.7 Ebene 2) bis zum Verlassen des Übertragungsweges (SS.7 Ebene 1). Die Laufzeitverzögerung ist somit die Dienstbringungsverzögerung der SS.7 Ebene ⁸². Diese setzt sich wiederum zusammen aus Übertragungsdauer T_U und Anzahl und Verzögerung in eventuellen Zwischenverstärkern. Letztere ist im Vergleich zur Übertragungsdauer verschwindend gering und kann deshalb vernachlässigt werden. Die Übertragungsdauer berechnet sich aus Übertragungsgeschwindigkeit und Verbindungslänge. Die Spezifikation [Q.706] gibt Werte für Übertragungsgeschwindigkeiten im Bereich 200.000 (Glasfaser) bis 300.000 km/s (Funkwellen) an, was bei angenommenen Verbindungslängen zwischen 100 und 1.000 km Übertragungsdauern zwischen 0,33 und 5 ms ergibt. Um den Einfluß der Übertragungsdauer zu berücksichtigen, müßten die Ergebnisse über die Übertragungsdauer parametrisiert werden. Da aber der Einfluß der Übertragungsdauer insgesamt ebenfalls für die erweiterte Dienstbereitstellung nicht signifikant ist, wird im folgenden vereinfachend vom ungünstigsten anzuneh-

82. Dies entspricht OSI Schicht 1 (Physikalische Schicht)

menden Fall, also 5ms Übertragungsdauer, ausgegangen.

5.2.5.1 Nachrichtenübermittlungsverzögerung im Signalling Transfer Point (STP)

Aus Abbildung 73 ist zu ersehen, daß sich die STP-Nachrichtenübermittlungsverzögerung $T_{NÜ}$ aus STP Prozessor-Verarbeitungszeit und Ausgangsverzögerung zusammensetzt:

$$T_{NÜ} = T_{PV} + T_{AV} \quad (48)$$

In [Q.706] wird eine durchschnittliche STP Prozessor-Verarbeitungszeit von 33ms empfohlen⁸³. Eine reale Implementierung eines STP ist in Abbildung 74 auf ein verkehrstheoretisches Modell abstrahiert.

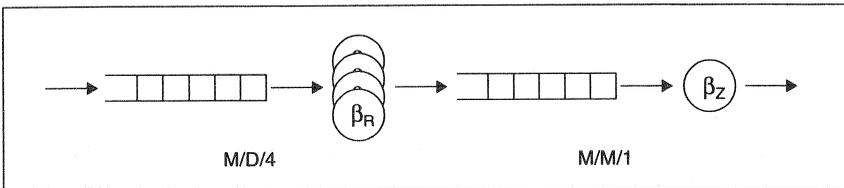


Abbildung 74: Verkehrstheoretisches Modell eines STP

Vier parallel betriebene, für regionale Aufgaben zuständige Prozessoren haben je eine deterministische Bediendauer von $\beta_R = 10$ ms. Ein nachgeschalteter Zentralprozessor hat eine negativ exponentiell verteilte Bediendauer⁸⁴. Für einen mittleren Wert von $\beta_Z = 0,6$ ms ist in Abbildung 75 die STP Prozessor-Verarbeitungszeit T_{PV} in Abhängigkeit von der Leitungsbelastung dargestellt.

83. Dabei ist die Normallast zu 60% gewählt.

84. Die Bediendauer hängt dabei von der Länge der zu verarbeitenden Protokolldateneinheiten ab.

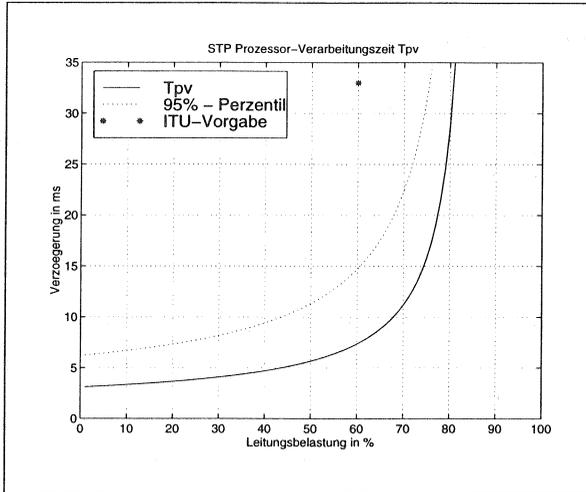


Abbildung 75: STP Prozessor-Verarbeitungszeit T_{PV}

Da das Tandem Wartesystem in Abbildung 74 nicht geschlossen berechenbar ist, mußten zur Berechnung der Prozessor-Verarbeitungszeit in Abbildung 75 Näherungen gemacht werden: Die Bearbeitungsdauer der vier parallel arbeitenden Regionalprozessoren im Verbund wurde zu $\beta_{4R}=2,5$ ms gesetzt und die beiden Wartesysteme als unabhängig betrachtet. Danach folgt die Berechnung den folgenden Formeln:

$$T_{PV} = \beta_{4R} + \beta_{4R} \cdot \frac{\rho_{4R}}{2(1 - \rho_{4R})} + \beta_Z + \beta_Z \cdot \frac{\rho_Z}{1 - \rho_Z} \quad (49)$$

$$\rho_{4R} = \beta_{4R} \cdot \frac{\rho_L \cdot B_K \cdot n_{Link}}{8 \cdot l_N \cdot n_{RP}} \quad \rho_Z = \beta_Z \cdot \frac{\rho_L \cdot B_K \cdot n_{Link}}{8 \cdot l_N} \quad (50)$$

mit den folgenden Werten:

Bearbeitungsdauer der vier Regionalprozessoren: $\beta_{4R}=2,5$ ms;

Bearbeitungsdauer des Zentralprozessors: $\beta_Z=0,6$ ms;

Prozessorbelastung in den vier Regionalprozessoren: ρ_{4R} (s.o.)

Prozessorbelastung im Zentralprozessor: ρ_Z (s.o.)

Leitungsbelastung: ρ_L

Kanalbitrate: $B_K=64$ kb/s

Anzahl der Kanäle in einer Knotenverbindung: $n_{\text{Link}}=32$ (2 Linksets mit je 1Mb/s)

mittlere Nachrichtenlänge: $l_N=139,5$ byte (vgl. Abbildung 28 auf Seite 57)

Anzahl der Regionalprozessoren: $n_{\text{RP}}=4$

Der Variationskoeffizient für das M/D/4 Wartesystem ist dabei zu Null, der für das M/M/1 Wartesystem zu eins gesetzt worden. Das 95%-Perzentil ist gestrichelt eingetragen. Es ist gemäß Standard der Q.700-Serie durch

$$T_{\text{PV},95} \approx 2 \cdot T_{\text{PV}} \quad (51)$$

approximiert und bedeutet, daß mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die angegebene Verarbeitungszeit nicht überschritten wird.

Die ITU gibt eine maximale Verzögerungszeit von 33ms bei 60% Leitungsbelastung vor [ITU-T Q.706]. Dieser Wert ist in Abbildung 75 als Sternchen eingetragen.

Die Ausgangsverzögerung T_{AV} setzt sich aus Wartezeit Q_{AUS} und Aussendezeit T_{AUS} zusammen:

$$T_{\text{AV}} = Q_{\text{AUS}} + T_{\text{AUS}} \quad (52)$$

Bevor Nachrichten ausgesandt werden können, muß der STP warten, bis die Leitung (SS.7 Ebene 1) frei ist. Aus Gründen der besseren Synchronisation wird die Leitung jedoch, gemäß dem SS.7 Standard, auch im Falle fehlender zu übertragender Daten betrieben, indem Füllnachrichten versandt werden. Dies sind 48 Bit lange Nachrichten ohne Informationsgehalt. Im Mittel muß eine Nachricht deshalb die Übertragungsdauer einer halben Füllnachricht (24 Bit) abwarten.

Dieses Verarbeitungssystem läßt sich als Ein-Bediener System mit zwei Warteschlangen unterschiedlicher Priorität auffassen (vgl. dazu [Fröhlich97]). Ein anderer Lösungsweg ist die Betrachtung als Token-Ring Wartesystem M/G/1 mit Bedienerpausen ("server vacations") (vgl. dazu [King90])⁸⁵. Solange der Bediener das Token hat, kann er alle anstehenden Aufträge bearbeiten. Wenn

85. Weiter sind auch anschauliche Methoden zur direkten Herleitung von Q_{AUS} möglich.

das System leer wird, macht das Token einen Umlauf, die Umlaufzeit wird zu 48 Bit / Kanalbitrate B_K ⁸⁶ gesetzt.

Eine ausgehende Nutznachricht trifft bei einer Auslastung ρ durch Nutznachrichten mit der Wahrscheinlichkeit $(1-\rho)$ auf einen solchen Tokenumlauf (d.h. auf eine Füllnachricht). Mit zunehmender Auslastung wird das Eintreffen während einer Füllnachricht also immer unwahrscheinlicher. Der Erwartungswert dieser Wartezeitkomponente ist:

$$Q_{AUS}' = (1 - \rho) \frac{24bit}{B_K} \quad (53)$$

In jedem Fall muß jede Nutznachricht warten, bis alle vor ihr in der Warteschlange befindlichen Nutznachrichten abgearbeitet sind. Mit Little's Theorem (Gleichung (1)) folgt für diese zweite Wartezeitkomponente

$$Q_{AUS}'' = \beta \cdot L_Q = \beta \cdot \lambda \cdot Q_{AUS} = \rho \cdot Q_{AUS} \quad (54)$$

Stößt die neue Nutznachricht auf eine gerade in der Bearbeitung befindliche Nutznachricht, so muß sie deren Bearbeitung (d.h. das Verschicken dieser Nachricht über die Leitung) abwarten. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist gerade gleich ρ , geht also mit wachsender Auslastung gegen 1. Unter der Verwendung des allgemeinen Ansatzes eines M/G/1- ∞ /FCFS/NONPRE Verarbeitungssystems ist die mittlere Wartezeit Q_{AUS}''' berechenbar aus der Restbediendauer des gerade in der Bearbeitung befindlichen Prozesses multipliziert mit der Auftrittswahrscheinlichkeit:

$$Q_{AUS}''' = \rho \cdot \frac{1 + c^2}{2\beta\mu^2} = \rho \cdot \frac{1 + c^2}{2\mu} \quad (55)$$

Damit ergibt sich Q_{AUS} zu

$$Q_{AUS} = Q_{AUS}' + Q_{AUS}'' + Q_{AUS}''' = (1 - \rho) \frac{24bit}{B_K} + \rho \cdot Q_{AUS} + \rho \cdot \frac{1 + c^2}{2\mu} \quad (56)$$

$$Q_{AUS} = \frac{24bit}{B_K} + \rho \cdot \frac{1 + c^2}{2\mu(1 - \rho)} \quad (57)$$

86. Typischerweise 64 kbit / s oder 2 Mbit / s

Die folgende Abbildung 76 zeigt die Wartezeit Q_{AUS} in Abhängigkeit von der Leitungsbelastung. Zum Vergleich ist die in einigen Quellen zu findende Approximation durch ein M/M/1-Modell aufgetragen, das zu große Verzögerungszeiten angibt. Ferner ist die Kurve aufgetragen, die sich bei Verwendung eines M/D/1-Modells ergibt. Es ist ersichtlich, daß das M/D/1-Modell hier als untere Abschätzung verwendet werden kann.

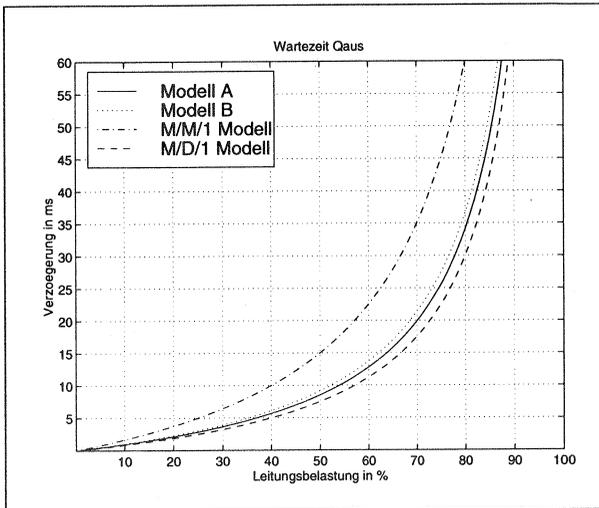


Abbildung 76: Wartezeit Q_{AUS}

Die Wartezeit in Abbildung 76 ist mit Hilfe der Gleichung (57) berechnet. Die verschiedenen Kurven ergeben sich durch unterschiedliche Wahl des Variationskoeffizienten c :

Modell	Variationskoeffizient
Modell A	0,37
Modell B	0,47
M/M/1	1
M/D/1	0

Tabelle 13: Variationskoeffizienten der verschiedenen Modelle zur Bestimmung von Q_{aus}

Die Bearbeitungsdauer $1/\mu$ in Gleichung (57) ist hier gleich der Aussendezeit T_{AUS} , die durch Kanalbitrate B_K und Nachrichtenlänge L_N gegeben ist

$$T_{AUS} = \frac{L_N}{B_K} \quad (58)$$

Damit ergibt sich als Gesamtausdruck für die Ausgangsverzögerung T_{AV} :

$$T_{AV} = \frac{24bit}{B_K} + \rho \cdot \frac{L_N(1+c^2)}{2B_K(1-\rho)} + \frac{L_N}{B_K} \quad (59)$$

Wegen der in Gleichung (59) enthaltenen Abhängigkeit von der Nachrichtenlänge mußten für die dargestellte Untersuchung Annahmen gemacht werden. Tabelle 14 zeigt realistische Daten für beide untersuchten Modelle.

Nachrichtenlänge	Häufigkeit Modell A	Häufigkeit Modell B
80 byte	40 %	67 %
120 byte	40 %	0 %
200 byte	20 %	33 %
Mittlere Nachrichtenlänge	120 byte	

Tabelle 14: Nachrichtenlängen

Mit den oben hergeleiteten Angaben kann nun die STP-Nachrichtenübermittlungsverzögerung $T_{NÜ}$ berechnet werden⁸⁷. Abbildung 77 zeigt die Ergebnisse für die Häufigkeiten der Nachrichtenlängen gemäß Modell A. Das Diagramm ist nach Gleichung (59) berechnet.

Da, wie oben gezeigt, der STP die bearbeiteten Nachrichten nur weiterreicht, eine Behandlung in SS.7 Ebene⁸⁸ jedoch nicht stattfindet, können die hergeleiteten Werte für $T_{NÜ}$ auf alle Signalisier Nachrichten (MAP, INAP, CAP, ISUP etc.) angewandt werden. Die Nachrichtenübermittlungsverzögerung hängt einzig von der Nachrichtenlänge ab.

87. Vgl. Gleichung (48)

88. "User handling"

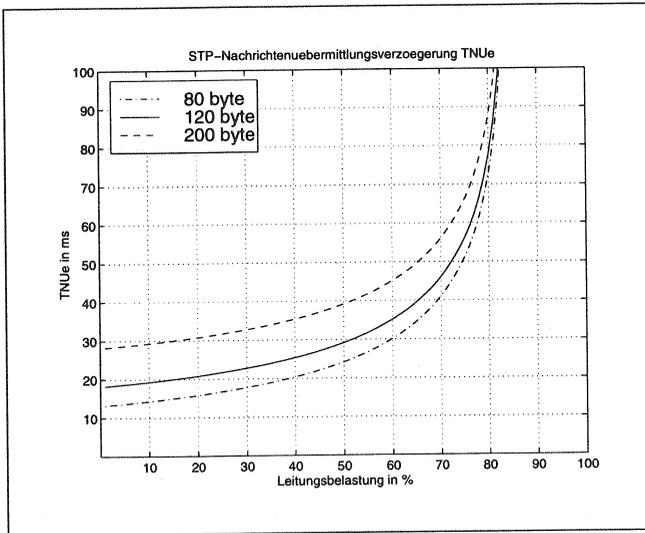


Abbildung 77: STP-Nachrichtenebermittlungsverzögerung $T_{NÜ}$ (Modell A)

5.2.5.2 Knotendurchgangszeit im Signalling Point (SP)

Der Signalling Point (SP) ist Anfangs- oder Endpunkt einer Signalisierungsverbindung und generiert bzw. interpretiert Signalisierungsnachrichten (siehe Abbildung 78).

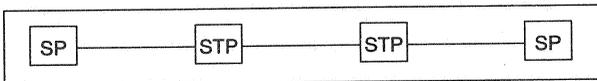


Abbildung 78: Signalisiersystem mit Signalling Points (SP) und Signalling Transfer Points (STP)

Betrachtet man den empfangenden SP, so beinhaltet dessen Knotendurchgangszeit also eine Verarbeitung der eingehenden Signalisierungsnachricht. Diese Verarbeitung ist aber wesentlich von der Komplexität der Bearbeitungsroutine abhängig, die von Dienst zu Dienst sehr unterschiedlich sein kann. Daher ist eine losgelöste Herleitung einer Knotendurchgangszeit für den SP nicht möglich. Die Werte werden später an den betreffenden Stellen dienstspezifisch hergeleitet. Abbildung 79 zeigt das Modell des SP. Für eine detaillierte Beschreibung der angegebenen Zeiten sei auf [ITU-T Q.706] verwiesen.

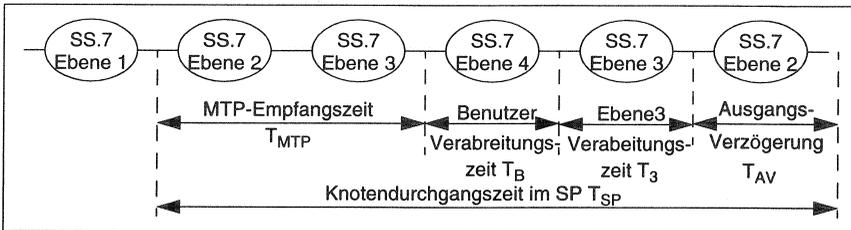


Abbildung 79: Modell des SS.7 Signalling Point

5.2.6 Weitere Modellparameter

5.2.6.1 Das Base Station Subsystem (BSS)

Die Luftschnittstelle ist ausführlich in Kapitel 5.2.4 behandelt worden. Um den gesamten Signalisierweg im Base Station Subsystem abzudecken, müssen die Signalisierwege zwischen BTS und BSC betrachtet werden. In Kapitel 2.2.1.2 sind die relevanten Protokolle bereits vorgestellt worden. Der Datenaustausch auf der A-Schnittstelle erfolgt mit Hilfe des SS.7. Daher können die in Kapitel 5.2.5.1 hergeleiteten Betrachtungen analog⁸⁹ angewandt werden. Die A_{bis} -Schnittstelle nutzt als physikalisches Medium eine PCM-Verbindung. Die Verbindungsschicht verwendet jedoch das LAPD Protokoll anstelle des SS.7 MTP Ebene 2. Dennoch kann auch hier mit guter Näherung von den oben genannten Ergebnissen ausgegangen werden, da beide Protokolle aus dem High Level Data Link Control (HDLC) Protokoll abgeleitet sind und daher nahezu identisches Zeitverhalten aufweisen. Die Verzögerung in der Basisstation selbst wurde durch Messung zu konstant 20 ms bestimmt.

5.2.6.2 Leitungsmodell

Die betrachteten Knoten (BTS, BSC, MSC, HLR, VLR, STP und EDK) sind über Kanäle mit 64 kbit/s Übertragungsrate verbunden. Durch die redundante Auslegung der Leitungen ("fail safe" bzw. "hot standby") wird eine hohe Ausfallsicherheit erreicht. Sobald die momentan benutzte Strecke ausfällt, kann die Ersatzleitung in Betrieb genommen werden. Die angestrebte mittlere Belastung der Verbindung ist 0,3 Erlang. Die Maximallast sollte 0,6 Erlang nicht überschreiten⁹⁰. Zur Berechnung der Leitungsbelastung werden die Nachrich-

89. Der Benutzer der Signalisierverbindung ist in diesem Falle der Anwendungsteil der BSS (BSSAP)

90. Diese Werte sind Empfehlungen verschiedener Hersteller.

tenlängen für die einzelnen in Tabelle 7 angegebenen Verkehrsdichten ermittelt und damit multipliziert.

5.2.6.3 Prozessorlast

Die Prozessoren in den betrachteten Knoten können als sogenannte Transaktionsrechner angesehen werden, also Datenverarbeitungseinheiten, die sehr viele gleichartige Prozesse parallel bearbeiten können. Wie oben dargestellt, wird im folgenden von einer maximalen Systembelastung von 95% ausgegangen. Die Prozessorauslastung der Verarbeitungsknoten läßt sich in die folgenden Anteile zerlegen:

1. **Leerlaufast** bezeichnet die Minimallast, die der Prozessor bewältigen muß, wenn das Verkehrsangebot Null ist. Die Minimallast erklärt sich aus allen nicht-verkehrsbedingten Prozessen und macht ca. 5% der maximalen Prozessorleistungsfähigkeit aus.
2. Während des Betriebs muß der Prozessor gewisse administrative Aufgaben bewältigen (dazu gehört die Erstellung von Verkehrslaststatistiken). Der dadurch verursachte Prozessorlastanteil wird **Benutzungslast** genannt und beträgt ca. 3 % der gesamten Prozessorleistungsfähigkeit.
3. Die **Verkehrslast** schließlich wird durch die Behandlung des ein- und ausgehenden Verkehrs hervorgerufen. Es stehen gemäß den oben genannten Annahmen über die anderen Lastanteile ca. 87% der maximalen Prozessorleistungsfähigkeit für die Verkehrslast zur Verfügung.

Als normaler Lastfall wird angenommen, daß ein Knoten zu 70% der Gesamtleistungsfähigkeit ausgelastet ist. [ITU-T E.500] gibt als Verhältnis der Verkehrsangebote (in Erlang) bei normaler und hoher Prozessorlast den Quotienten 1:1,1 an. Die Menge behandelter Anrufe steigt von normaler zu hoher Last um den Faktor 1,2. Damit ergibt sich mit Gleichung (18) als Beispiel für ein MSC eine Menge behandelter Anrufe von 158.400 HVStA im Hochlastfall.

5.3 Werkzeuge und Meßdaten

5.3.1 Das Analyseprogramm

Die Daten in den folgenden Unterkapiteln basieren auf den bis hierhin hergeleiteten Beziehungen. Der Großteil der Diagramme ist mit Hilfe des Werkzeugs Matlab analytisch gewonnen. Matlab (kurz für Matrix Laboratory) ist ein Programm der Firma The MathWorks, Inc. in Natick, Massachusetts, das numerische Analyse, Matrixoperationen und graphische Darstellung in einer Arbeitsumgebung vereint (vgl. [Matlab93], [MathWorks]). Es wurde mit Matlab Version 5.1.0.421 gearbeitet. Diagramme, die nicht analytisch, sondern simulativ oder durch Messungen zustande gekommen sind, sind im Text entsprechend gekennzeichnet.

5.3.2 Messungen

Für die quantitative Analyse muß an einigen Stellen auf Meßwerte zurückgegriffen werden. Diese sind an Ericsson-Anlagen mit einem APZ 211 20 Prozessor durchgeführt worden.

Die folgende Tabelle enthält die gemessenen Ausführungszeiten der in Tabelle 7 für das Beispielnetz zusammengefaßten Operationen im MSC:

Operation	Ausführungszeit
Herstellen einer Intra-MSC Verbindung	$t_{MS \rightarrow MS} = 20 \text{ ms}$
Herstellen einer Verbindung zu einem anderen MSC oder Netz	$t_{MS \rightarrow \text{extern}} = 8 \text{ ms}$
Herstellen einer Verbindung von außerhalb des MSCs	$t_{\text{extern} \rightarrow MS} = 11,4 \text{ ms}$
Abwicklung eines erfolglosen Anrufs	$t_{\text{extern} \rightarrow MS} = 9,7 \text{ ms}$
Herstellen einer Transitverbindung	$t_{\text{extern} \rightarrow \text{extern}} = 4,8 \text{ ms}$
Bearbeitung eines Inter-MSC Handover	$t_{HO, \text{interMSC}} = 10 \text{ ms}$
Bearbeitung eines Intra-MSC, Inter-BSC Handover	$t_{HO, \text{intraMSC}} = 15,4 \text{ ms}$
Bearbeitung eines Inter-MSC Handover	$t_{HO, \text{intraBSC}} = 15,7 \text{ ms}$
Bearbeitung einer Ortsregistrierung	$t_{\text{Ortsreg.}} = 4,6 \text{ ms}$
Bearbeitung einer Deregistrierung	$t_{\text{Dereg.}} = 1,3 \text{ ms}$

Tabelle 15: Gemessene Ausführungszeiten einiger MSC-Operationen

Weitere Messungen finden sich in Tabelle 12 und Tabelle 17.

5.3.3 Modellierungsgrenzen und Toleranzen

Wie bereits in Kapitel 5.2.1 dargestellt, sind die in dieser Arbeit gemachten Untersuchungen übertragbar auf mittelgroße GSM Netze mit einer Teilnehmerzahl zwischen 1 und 9 Mio. Größere Netze können nicht durch proportionale Vermehrung der Knotenanzahlen des gewählten Beispielnetzes betrachtet werden, da strukturelle Veränderungen, wie z.B. die Einführung überproportional vieler Signalisiertransferpunkte (STPs) nötig werden.

Die analytisch gewonnenen Ergebnisse sind in sich toleranzfrei. Toleranzen entstehen aber durch die Wahl der zugrundegelegten Netzparameter. Diese sind stark vom Benutzerverhalten abhängig, welches wiederum durch mehrere Faktoren beeinflusst wird. Erschwerend wirkt die Tatsache, daß Daten über die tatsächlichen Verkehrswerte in Telekommunikationsnetzen nur sehr selten frei verfügbar sind. Durch die langjährige Erfahrung im Bereich GSM Netze und die Betrachtung verschiedener realer Netze und deren Verkehrswerten ist gewährleistet, daß mit realistischen Daten gerechnet wurde. Die verwendeten Daten sind abstrahiert und beziehen sich nicht auf einen speziellen Netzbetreiber. Es ist zu erwarten, daß die durch Festlegung der Verkehrswerte entstandenen Toleranzen im Bereich von ± 6 Prozent liegen.

Die oben angeführten Messungen unterliegen ebenfalls einer gewissen Streuung, die durch den Meßaufbau und die Meßmethode bedingt sind. Diese Toleranzen sind durch Mehrfachmessung und Plausibilitätsprüfung minimiert worden. Es ist zu erwarten, daß die durch Messungenauigkeiten entstandenen Toleranzen im Bereich von ± 3 Prozent liegen. Da die Leistungsfähigkeit der Telekommunikationsanlagen mit dem Hersteller variiert, ist eine weitere Einschränkung der Übertragbarkeit der Ergebnisse gegeben.

Insgesamt ist festzuhalten, daß die absolut berechneten Dienstausführungs- und sonstigen Zeiten mit den oben genannten Toleranzen behaftet sind. Da aber in dieser Arbeit zwei Konzepte der erweiterten Dienstbereitstellung verglichen werden und beide auf Basis derselben Annahmen und Methoden untersucht wurden, sind die durch Toleranzen entstandenen Ungenauigkeiten im Ergebnisvergleich unerheblich.

5.4 Leistungsdaten für das erweiterte Dienstbereitstellungskonzept auf Basis des USSD-Mechanismus

5.4.1 Dialogaufbauzeiten

5.4.1.1 Dialogaufbau bei nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialogen

Zunächst sollen soweit wie möglich dienstunabhängige Module bei der USSD-Benutzung identifiziert werden. Diese können später sehr einfach als additive Anteile in die Leistungsbewertung spezieller Dienste eingebracht werden. Ein solches Modul ist der Dialogaufbau. Er muß in jedem Fall stattfinden und kann daher unabhängig von einem betreiberspezifischen Dienst betrachtet werden.

Für einen nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialog wird ein Slow Dedicated Control Channel (SDCCH, freier Steuerkanal) benutzt. Daher spielt die Menge verfügbarer SDCCHs in einer Zelle eine entscheidende Rolle für das maximal erlaubte Verkehrsaufkommen. In Tabelle 9 auf Seite 110 sind Anzahl und Typ der verfügbaren Kanäle für die drei verschiedenen Zelltypen zusammengestellt: In der kleinen Zelle gibt es 4, in der mittelgroßen 8 und in der großen Zelle 16 SDCCHs. Dadurch werden die von der Verfügbarkeit eines Kanals abhängigen Dialogaufbauzeiten beeinflusst. Abbildung 80 zeigt die Dialogaufbauzeiten für MS-initiierte (a) und netzinitiierte (b) USSD-Dialoge⁹¹. Diese und die Diagramme in der folgenden Abbildung 81 sind berechnet durch die Addition der folgenden zeitlichen Anteile (vgl. "Kanalbereitstellung" in Abbildung 17 auf Seite 40 und Abbildung 20 auf Seite 43):

- Wartezeit bis zur Verfügbarkeit eines PAGCH beim netzinitiierten Dialog (untere Abbildung, vgl. Gleichung (39) bzw. Abbildung 64 auf Seite 122)
- Kanalbereitstellungsverzögerung im Base Station Controller (BSC). Die Vergabe und Nutzung der SDCCHs im BSC kann als M/G/n-Wartesystem betrachtet werden. Dieser Anteil wurde mit Hilfe der Approximation in Gleichung (14) auf Seite 29 berechnet.
- Übertragungsdauer über die Luftschnittstelle, hier zu Null gesetzt (vgl. Kapitel 5.2.4.2)
- Verzögerung in der MS zwischen dem Empfang der Immediate Assignment Nachricht und dem Absenden der SABM Nachricht, durch Messung bestimmt zu 180 ms

91. Die durchschnittliche Dialoglänge beträgt 6 Sekunden. Zum Einfluß der Dialoglänge vgl. weiter unten.

Zu beachten ist die sehr groß gewählte Skalierung der Abszisse. Übliche Werte für das Verkehrsaufkommen Zusatzdienste-relevanter Benutzerprozeduren liegen in der Größenordnung von 2 Rufen pro HVSt und Teilnehmer (vgl. dazu Tabelle 7). Realistischerweise kann davon ausgegangen werden, daß die Nutzung USSD-basierter Dienste im Bereich $[0 \dots 0,1]$ pro HVSt und Teilnehmer beträgt. Der Wertebereich der späteren Diagramme deckt deswegen nur dieses Intervall ab.

Die SDCCHs werden im Base Station Subsystem nach der FCFS-Strategie an alle Teilnehmer vergeben. Wegen der begrenzten Anzahl der SDCCHs steigen die Dialogaufbauzeiten ab einer gewissen Dienstnutzung sehr stark an. Die insgesamt längeren Dialogaufbauzeiten im netzinitiierten Fall beruhen darauf, daß die MS erst durch Rufen im betreffenden Deckungsgebiet gefunden werden muß. Abbildung 80 b) zeigt jedoch zwei weitere Phänomene: Die Sättigung im netzinitiierten Fall wird bei wesentlich kleinerer Belastung erreicht und ist in der mittelgroßen und großen Zelle nahezu identisch. Die Erklärung liegt in der Nutzung des Paging and Access Grant CHannel (PAGCH) im Falle der netzinitiierten Dialoge (vgl. dazu 5.2.4.3.1). Der PAGCH erreicht seine Kapazitätsgrenze durch die Rufbelastungen bevor die Beschränkung durch die Maximalzahl verfügbarer SDCCHs greift. Da die Anzahl PAGCHs (anders als die der SDCCHs) im Falle der mittelgroßen und großen Zelle identisch ist, erklärt sich das Zusammenfallen deren Kapazitätsbeschränkungen im netzinitiierten Fall ebenfalls aus der Nutzung des PAGCH. Die Zahl der verfügbaren SDCCHs ist jedoch von mittelgroßer zu großer Zelle unterschiedlich (vgl. Tabelle 9 auf Seite 110), weswegen im MS-initiierten Fall die Kurven nicht zusammenfallen.

Die Dialogaufbauzeit im nicht verbindungsgebundenen Fall hängt ebenfalls von der Dialoglänge ab. Da die SDCCHs während der gesamten Dauer des USSD-Dialogs reserviert bleiben, nimmt die Wahrscheinlichkeit, einen freien SDCCH zu finden mit der durchschnittlichen USSD-Dialoglänge ab. Abbildung 81 zeigt diese Abhängigkeit für eine mittelgroße Zelle.

Dabei ist der gegenüber Abbildung 80 geänderte Abszissenmaßstab zu beachten. Die Dienstnutzung liegt hier immer unter dem Punkt, an dem die Begrenzung durch den PAGCH eintritt (bei ca. 3 HVStA pro Teilnehmer). Der Anstieg der Kurven ist hier also nur durch den Engpaß bei der Reservierung der SDCCH Kanäle bedingt.

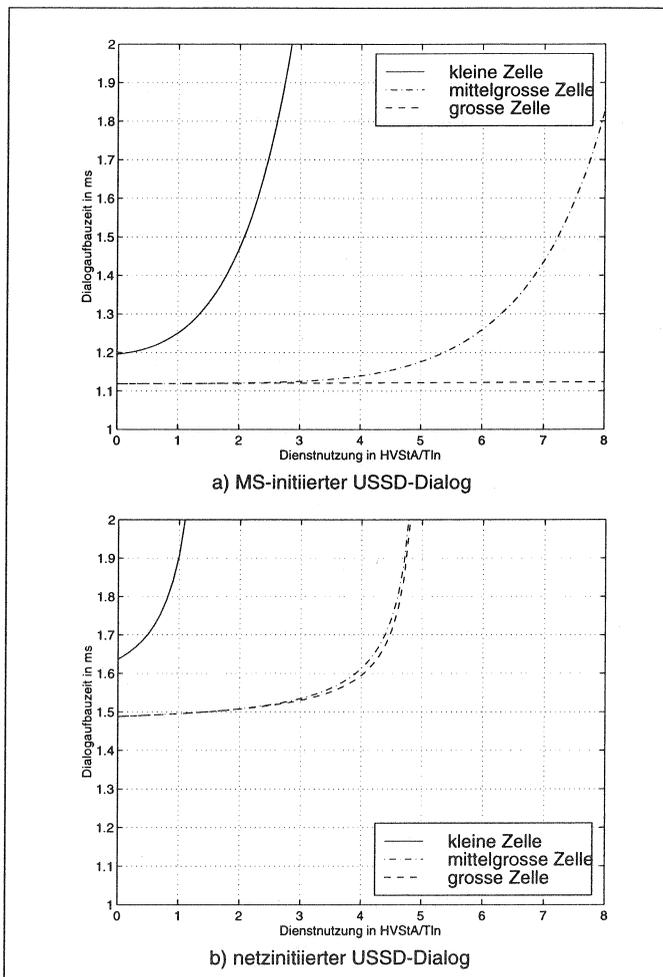


Abbildung 80: Dialogaufbauzeit bei nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialogen in Abhängigkeit vom Zelltyp

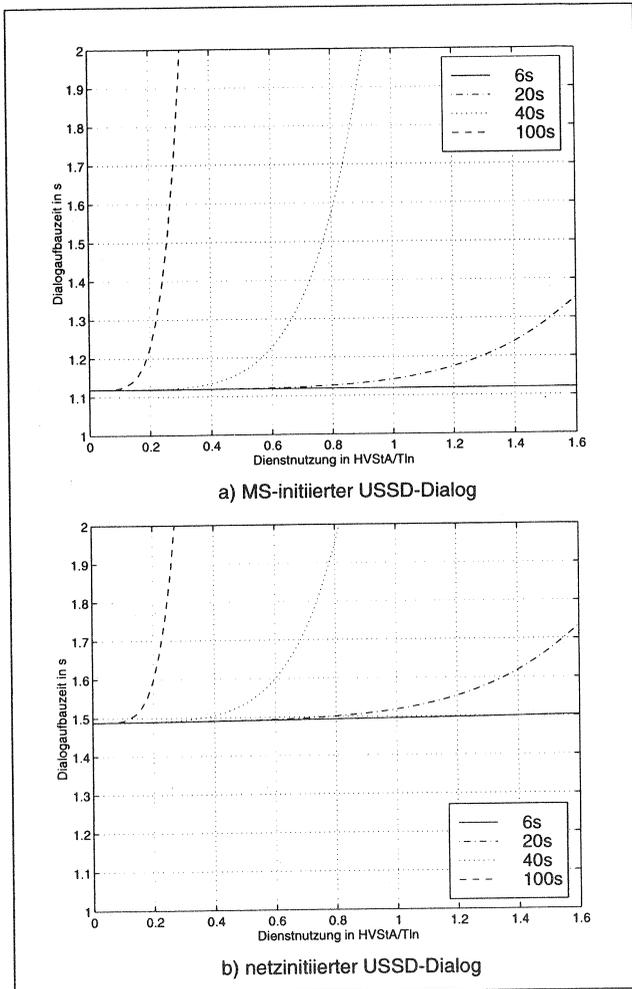


Abbildung 81: Dialogaufbauzeit bei nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialogen mit Parameter Dialoglänge

5.4.1.2 Dialogaufbau bei verbindungsgebundenen USSD-Dialogen

Im Falle des verbindungsgebundenen USSD-Dialogs wird ein Fast Associated Control Channel (FACCH, schneller assoziierter Steuerkanal) zur Dialogab-

wicklung genutzt. Die gesamte Kanaleinrichtungsphase für einen FACCH hat eine Dauer von 130 ms (vgl. Gleichung (46)) und kann näherungsweise als Dialogaufbauzeit angenommen werden. Damit ist die Länge der Dialogaufbauzeit im verbindungsgebundenen Fall um eine Größenordnung kleiner als im nicht verbindungsgebundenen Fall.

5.4.2 Antwortverzögerung während eines USSD-Dialogs

Ein weiterer dienstunabhängiger Zeitbeitrag ist die Antwortverzögerung während eines etablierten USSD-Dialogs. Die Antwortverzögerung wird für MS-initiierte Anfragen betrachtet, da diese für den Benutzer von besonderem Interesse ist, und da die Antwortverzögerung auf netzinitiierte Anfragen im allgemeinen von einer Benutzerinteraktion abhängt, die nur schwer quantifizierbar ist⁹². Abbildung 82 zeigt die Abhängigkeit der Antwortverzögerung vom angebotenen USSD-Verkehr. Das Diagramm ist über verschiedene Nachrichtenlängen (1, 40 und 128 byte, durchschnittliche Nachrichtenlänge: 80 byte) und über den benutzten Signalisierkanal (SDCCH / FACCH) parametrisiert. Es wurde das Beispiel eines Dienstes im externen Dienstknoten gewählt.

Die 6 Kurven sind durch Aufsummierung der folgenden Zeiten errechnet:

- Antwortverzögerung im externen Dienstknoten (SS.7 Ebene 2 und 3 Verzögerung (vgl. Abbildung 79))
- Verzögerung in den Signalling Transfer Points (vgl. Kapitel 5.2.5.1)
- Ausführungszeit im MSC, basierend auf den Meßwerten in Tabelle 15 auf Seite 142
- Verzögerung im Base Station Subsystem (BSS) (errechnet über ein M/M/1 Modell)
- Verzögerung auf dem jeweiligen Signalisierkanal (37ms + Segmentanzahl*120ms, vgl. Tabelle 10 und Abbildung 60 auf Seite 116)

92. Sie hängt vom individuellen Benutzerverhalten, der Komplexität des Dienstes und eventuellen Fehlerbehandlungsprozeduren ab.

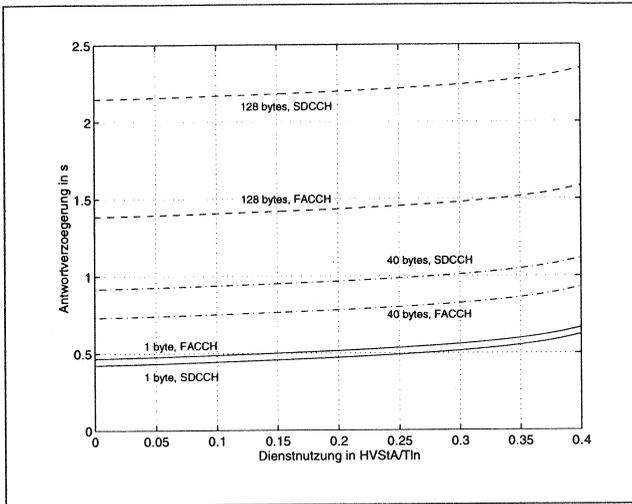


Abbildung 82: Antwortverzögerung während eines etablierten USSD-Dialogs für einen im EDK residierenden Dienst.

Es ist gut zu erkennen, daß der FACCH aus übertragungstechnischen Gründen (tieferes Interleaving) mit zunehmender Nachrichtenlänge kleinere Antwortzeiten erzielt, was in 5.2.4.2 hergeleitet wurde. Die Abhängigkeit der Übertragungszeit von der Nachrichtenlänge ist aus Tabelle 10 ersichtlich.

5.4.3 Dialogdauer im nicht verbindungsgebundenen Fall

In diesem Kapitel wurden bisher die Dialogaufbauzeit und die Antwortverzögerung analysiert (vgl. die Herleitungen zu Abbildung 80 und Abbildung 82). Zur weiteren quantitativen Analyse wird nun die Summe dieser beiden Werte für den nicht verbindungsgebundenen USSD Dialog betrachtet⁹³. Die Dauer des Dialogaufbaus und der Austausch einer Nachricht wird hier verkürzend mit *Dialogdauer* bezeichnet. Als Parameter wurde die Dialoglänge gewählt⁹⁴, da diese -wie oben gezeigt- einen signifikanten Einfluß auf die auftretenden Verzögerungen hat. Abbildung 83 zeigt die Dialogzeiten in Abhängigkeit von

93. Im Falle des verbindungsgebundenen Dialogs stellt die Antwortverzögerung näherungsweise eine additive Konstante dar (vgl. Kapitel 5.4.1.2)

94. Um Vollständigkeit und Übersichtlichkeit gleichermaßen zu wahren, wurde pro Dialoglänge je ein Diagramm erstellt. So können sämtliche möglichen Unterbringungen der USSD-Anwendung (MSC, HLR und EDK) berücksichtigt werden.

der USSD Verkehrsintensität für kurze Dialoge von 10 Sekunden Dauer (a) und lange Dialoge von 40 Sekunden Dauer (b). Diese Werte korrespondieren mit einem automatischen Dienst (a) und einem Dienst mit Benutzerinteraktion auf der MS-Seite (b).

Die Berechnung der beiden Diagramme basiert genau wie die zu Abbildung 82 auf der Summation der einzelnen Verzögerungs- und Ausführungszeiten. Zu den für Abbildung 82 berechneten Ergebnissen werden weiter die Kanalbereitstellungsdauer und die Dauer der Kanalinitialisierung addiert (vgl. Abbildung 17 auf Seite 40 und Abbildung 20 auf Seite 43). Die Berechnung der Kanalbereitstellungsdauer ist auf Seite 144 erläutert, die Kanalinitialisierungsdauer beträgt im MS-initiierten Fall 3 mal die Nachfolgeverzögerung (d.h. 705ms) und im netzinitiierten Fall 4 mal die Nachfolgeverzögerung (940ms, vgl. dazu auch Gleichung (23) auf Seite 114).

Man sieht, daß die Pole der Dialogzeit in beiden Fällen a) und b) zuerst bei Benutzung eines externen Dienstknotens (EDK) und zuletzt bei Unterbringung der USSD Funktion im MSC erreicht werden. Dies folgt direkt aus der im Beispielnetz angenommenen Menge gleichartiger Knoten (1 EDK, 6 HLR und 30 MSC, vgl. Tabelle 6). Auffallend ist, daß die Lastgrenze beim EDK-Konzept (ca. 0,44 HVStA/TIn) offenbar unabhängig von der Dialoglänge ist. Dies bedeutet, daß die Begrenzung des maximalen Verkehrs bei Diensten im EDK durch die Knotenleistung und die Transportkapazität im Netz bedingt ist. Wird der Dienst im MSC erbracht, so wird die Abhängigkeit der Dialogdauer von der Dienstnutzung im netzinitiierten Fall (untere Abbildung) offenbar durch die begrenzten Ressourcen der Luftschnittstelle bestimmt.

Daraus kann o.B.d.A. abgeleitet werden, daß sich die Überlastprobleme mit zunehmender Dialoglänge vom Network & Switching Subsystem (NSS) in Richtung Luftschnittstelle verschieben.

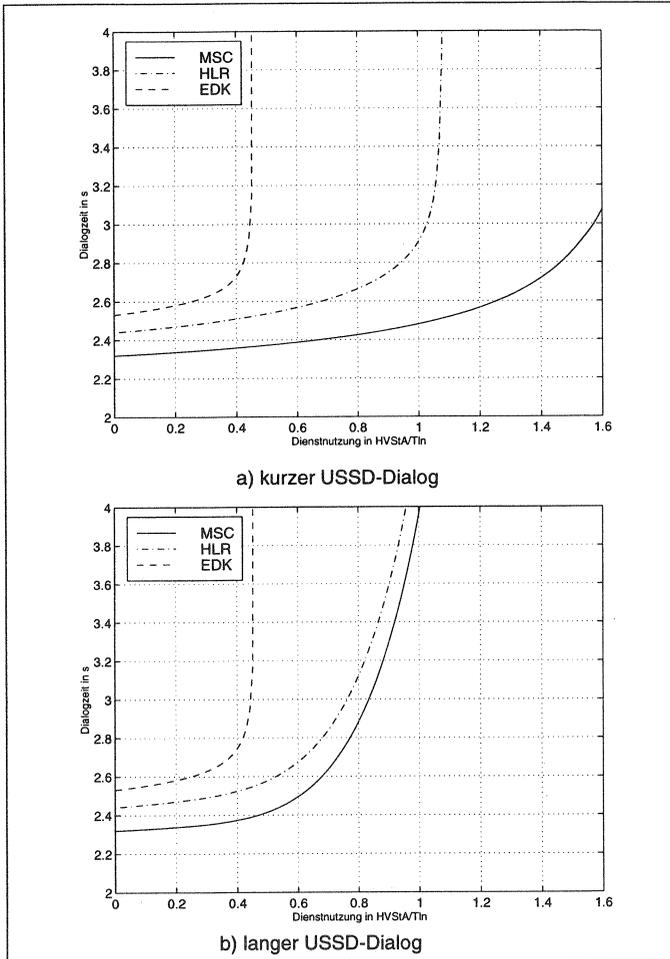


Abbildung 83: Dialogdauer bei verschiedener Unterbringung der USSD Anwendung für kurze (a) und lange (b) Dialoge

5.4.4 Datendurchsatz der USSD-Dialoge

Aus diesen Werten für die Antwortverzögerungen läßt sich zusammen mit den Betrachtungen der Luftschnittstelle in Kapitel 5.2.4.2 (Tabelle 10) der Ende-zu-Ende Datendurchsatz während eines etablierten USSD-Dialogs berechnen.

Abbildung 84 zeigt die Werte für einen bereits etablierten, netzinitiierten USSD-Dialog für die verschiedenen möglichen Unterbringungen der USSD-Anwendung.

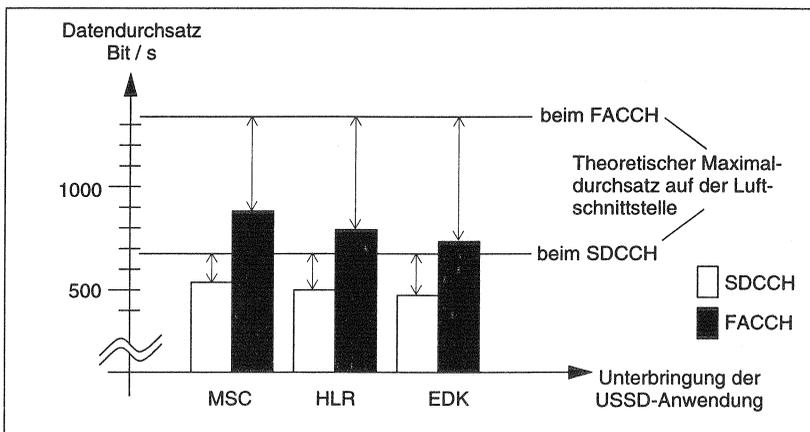


Abbildung 84: Datendurchsatz für netzinitiierte USSD-Dialoge

5.4.5 Leistungsbewertung USSD-basierter Dienste

Im folgenden wird mit Hilfe der zuvor betrachteten dienstunabhängigen Dialogelemente die Leistung betreiberspezifischer Dienste untersucht, die das erweiterte Dienstbereitstellungskonzept auf Basis des USSD-Mechanismus nutzen.

Ein wesentlicher Aspekt der Arbeit ist neben der absoluten Quantifizierung der Dienstbereitstellungsverzögerungen der Vergleich der beiden entwickelten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte (USSD-basiert versus CAMEL-basiert). Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde ein für beide Konzepte realistischer und gleichbleibender Dienstmix definiert, der gleichzeitig die Komplexität der Untersuchung sinnvoll begrenzt. Die relative Häufigkeitsverteilung der genutzten Dienste wird als konstant angenommen. Tabelle 16 gibt die für beide Modelle gleich gewählten Diensthäufigkeiten an.

Die relative Häufigkeit der Dienstnutzung gibt den Anteil an der Gesamtmenge der zusätzlich verwendeten, durch das jeweilige erweiterte Dienstbereitstellungskonzept (EDBK) ermöglichten Dienste an.

Dienst	relative Häufigkeit der Dienstnutzung
Privater Numerierungsplan (PNP)	60%
Ortsabhängiger Dienst (OAD)	20%
Vorausbezahlte Telefonkarte (VTK)	20%

Tabelle 16: Statischer Dienstmix

Im hier behandelten Fall des USSD-basierten EDBK müssen noch einige weitere Definitionen vorgenommen werden, um nicht alle möglichen Kombinationen von Anwendungsunterbringungen und Dialoglängen einzeln behandeln zu müssen: Es wird angenommen, daß der Dienst PNP im MSC, OAD im HLR und VTK im EDK residieren. Die Menge an ausgetauschten Daten ergibt sich durch Abzählen der ausgetauschten Nachrichten zu 180 byte (PNP), 289 byte (OAD) bzw. 171 byte (VTK). Alle Dienste benötigen für ihre Ausführung 2 Transaktionen (d.h. es werden zwei Nachrichtenpakete ausgetauscht).

Der Dienstmix wurde ferner so gewählt, daß sowohl verbindungsgebundene als auch nicht verbindungsgebundene Dienste erfaßt sind⁹⁵: Die Dienste PNP und VTK sind verbindungsgebunden. Die im folgenden vorgestellten Untersuchungen zeigen, um wieviel sich der Anrufaufbau durch Ausführung dieser Dienste verlängert. Beim nicht verbindungsgebundenen OAD wird unabhängiger, zusätzlicher Verkehr erzeugt, der deswegen in "gesamter Dienstausführungszeit" gemessen wird.

5.4.5.1 Absolute Dienstausführungszeiten

Zunächst soll das absolute Zeitverhalten der einzelnen Beispieldienste betrachtet werden. Es wird nun von einer maximalen Dienstnutzung von 0,1 HVStA pro Teilnehmer ausgegangen (vgl. Kapitel 5.4.1.1), da das System anderenfalls bei längeren Dialogen sehr schnell in den Sättigungsbereich kommt (vgl. Abbildung 81 auf Seite 147). Dadurch ergeben sich für die Dienstnutzung mittels des USSD-basierten EDBK im wesentlichen lineare Abhängigkeiten der Dienstausführungszeiten von der Dienstnutzung. Dies erklärt sich ferner aus der Tatsache, daß die Netzknoten für die parallele Aus-

95. Vgl. Kapitel 2.3.1 für die Definition der verbindungsgebundenen bzw. nicht verbindungsgebundenen Dienste.

führung einer großen Menge gleichartiger Prozesse ausgelegt sind. Da die einzelnen Prozesse unkorreliert sind, besitzen die Netzknoten bis kurz vor Erreichen der Überlastgrenze eine lineare Abhängigkeit zwischen Verkehrsangebot und Bearbeitungsdauer.

Der Dienst privater Numerierungsplan wird während der Anrufprozedur gestartet. Die Dienstausführungszeit muß hier also als eine zusätzliche Verzögerung des Verbindungsaufbaus verstanden werden. Dieser Wert ist in Abbildung 85 über der USSD Verkehrsintensität aufgetragen. Die Berechnung erfolgt analog zu denen für die Abbildung 82 auf Seite 149, d.h. es sind die Antwortverzögerung in der Heimatdatei, die Verzögerung in den Signalling Transfer Points, die Ausführungszeit im MSC, die Verzögerung im Base Station Subsystem (BSS) und die Verzögerung auf dem jeweiligen Signalisierungskanal addiert worden.

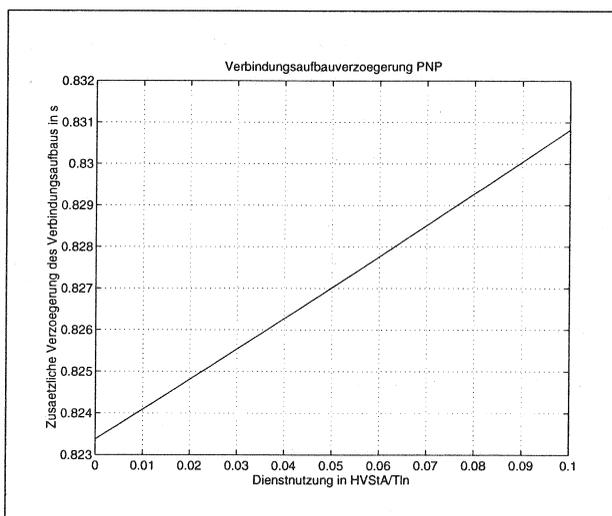


Abbildung 85: Anrufaufbauverzögerung durch den PNP Dienst

Geht man von einer durchschnittlichen Verbindungsaufbauverzögerung von 6 Sekunden aus⁹⁶, so zeigen die obigen Diagramme einen relativen Anstieg der

96. Aus eigenen Messungen ergeben sich Zeiten von durchschnittlich 5,7 Sekunden bei einem Anrufaufbau vom ISDN zum GSM bzw. 9,5 Sekunden innerhalb des GSM-Netzes. Diese Werte hängen jedoch so stark von der jeweiligen Benutzermobilität und Netzparametern ab, daß die o.g. Durchschnittsabschätzung gewählt wurde.

Verbindungsaufbauverzögerung um weniger als 14 %.

Im Falle eines ortsabhängigen Dienstes wird die Dienstausführungszeit gemessen von der Aktivierung des Dienstes in der MS bis zum Eintreffen der angeforderten Nachricht in der MS. Abbildung 86 zeigt, daß die absolute Dienstausführungsdauer wenig mehr als 3 Sekunden beträgt und nahezu nicht variiert.

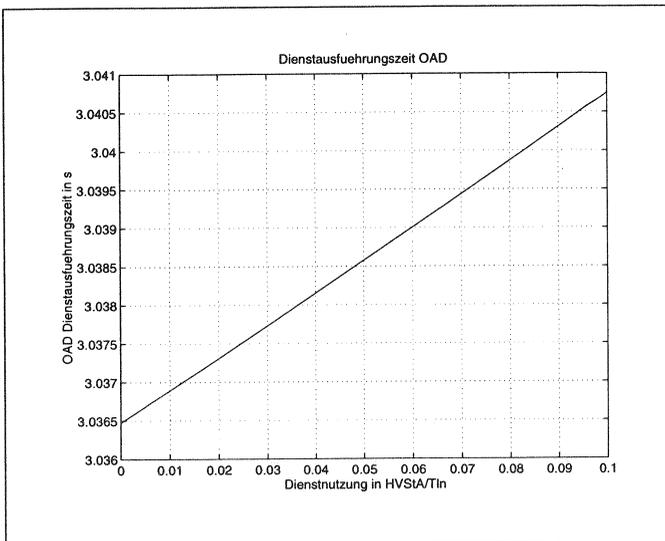


Abbildung 86: Dienstausführungszeit eines ortsabhängigen Dienstes

Der Dienst vorausbezahlte Telefonkarte (VTK) wird wie der Dienst PNP während der Anrufprozedur gestartet. Also kann auch hier die Dienstausführungszeit als eine zusätzliche Verzögerung des Verbindungsaufbaus interpretiert werden. Dieser Wert ist in Abbildung 87 aufgetragen. Der Dienst VTK verlängert gemäß den oben eingeführten Annahmen den Verbindungsaufbau also um ca. 11 %.

Die Diagramme in Abbildung 86 und Abbildung 87 sind basierend auf den Betrachtungen zu Abbildung 83 auf Seite 151 berechnet. Abweichend wurde hier jedoch nicht nur der Austausch einer USSD-Nachricht sondern die gesamte Dialoglänge berücksichtigt.

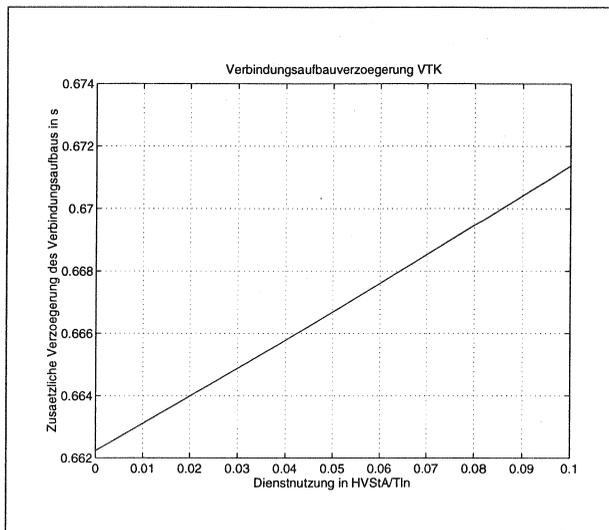


Abbildung 87: Anrufaufbauverzögerung durch den VTK Dienst

5.4.5.2 Anstieg der Knoten- und Verbindungslast

Nun soll abschließend aus allen bis hierhin hergeleiteten Betrachtungen der Anstieg der Knoten- und Verbindungslast durch eine variierende Benutzung des erweiterten USSD-basierten EDBKs berechnet werden. Diese Werte sind für den Netzbetreiber von entscheidender Bedeutung, da danach die Dimensionierung des gesamten Netzes erfolgen muß. Abbildung 88 zeigt den Anstieg der Knotenbelastungen in Abhängigkeit der USSD-Verkehrsintensität. Die Berechnung basiert auf der Addition aller Lastanteile (Ortsregistrierungen inklusive periodischer und De-registrierungen, Behandlung von Leitweganfragen (Ermittlung der MSRN), Zusatzdienststeuerung und Leerlauf- und Benutzungslast (vgl. Kapitel 5.2.6.3)) und benutzt die gemessenen Ausführungszeiten dieser Operationen (vgl. dazu Tabelle 15 auf Seite 142). Eine detaillierte Darstellung der komplexen Berechnung dazu findet sich in Anhang C.

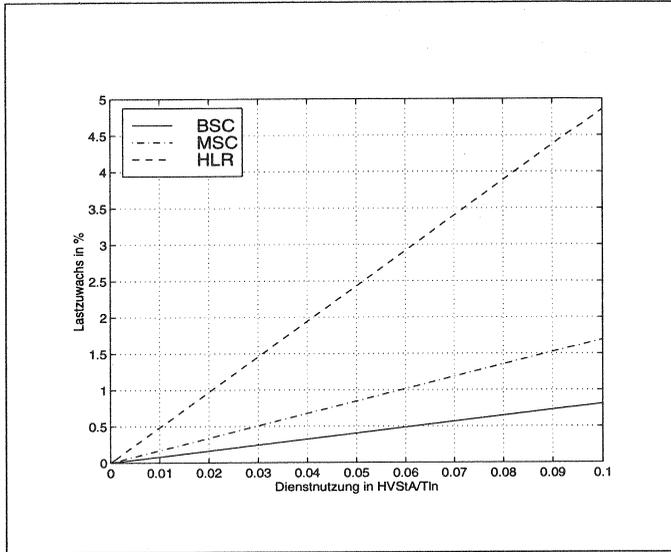


Abbildung 88: Anstieg der Knotenlast bei variierender Dienstnutzung gemäß dem Dienstmix

Abbildung 88 zeigt, daß BSC und MSC mit zunehmender Dienstnutzung wenig mehr belastet werden, weil beide keinen Dienst erbringen, sondern lediglich Nachrichten weiterreichen. Ein Unterschied im Lastzuwachs beider Knoten besteht aufgrund ihrer Anzahl im Beispielnetz, das doppelt so viele BSCs wie MSCs hat. Der Belastungszuwachs mit zunehmender Dienstnutzung im HLR ist durch den Betrieb des USSD-Handlers bedingt (vgl. Abbildung 13 auf Seite 34). Der im Vergleich zu BSC und MSC stärkere Belastungszuwachs basiert auf der geringeren Anzahl HLRs im Beispielnetz (vgl. Tabelle 6 auf Seite 103). Der externe Dienstknoten (EDK) erbringt den Dienst außerhalb des Netzes und erfährt den relativ stärksten Anstieg in seiner Last, da er ohne USSD Dienstnutzung nur die Leerlaufbelastung bewältigen muß. Er ist in Abbildung 88 nicht aufgeführt, da der absolute Lastzuwachs mit zunehmender Dienstnutzung wesentlich vom eingesetzten Prozessor abhängt. Geht man von einem ähnlich leistungsstarken Prozessor wie in HLR und MSC aus, dann ist die absolute Belastung bei 0,1 Dienstanfragen pro HVSt und Teilnehmer kleiner als 0,2 Prozent.

Die Verbindungsauslastung zwischen den einzelnen Knoten ist der zweite kri-

tische Parameter der Netztopologie und wird in der folgenden Abbildung 89 untersucht. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist auch die Berechnung dieses Diagramms nicht hier, sondern in Anhang C wiedergegeben.

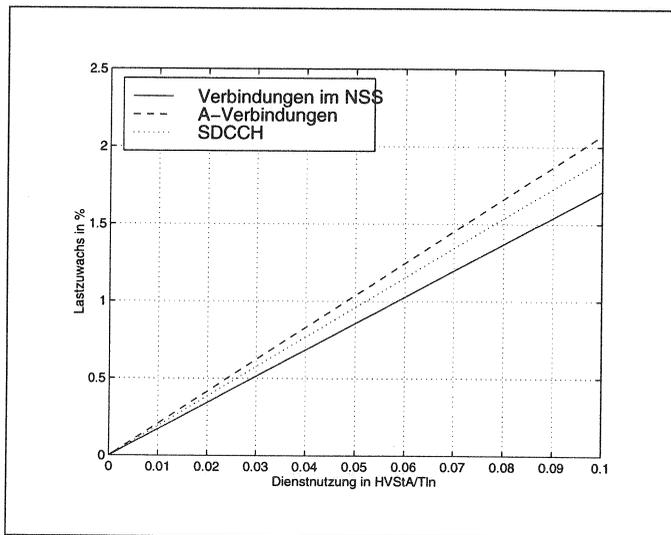


Abbildung 89: Anstieg der Verbindungslast bei variierender Dienstnutzung gemäß dem Dienstmix

Wie zu erwarten, steigen alle Leitungsbelastungen ähnlich mit der Dienstnutzung. Geht man von Leitungen unter Normallast aus, bedeuten die in Abbildung 89 dargestellten relativen Lastzuwächse eine absolute Erhöhung um unter 10 mErlang. Damit ist klar, daß die Leitungen durch die Dienstnutzung für das EDBK in der Größenordnung 0,1 Anfragen pro HVSt und Teilnehmer nicht signifikant höher belastet werden.

5.5 Leistungsdaten für das erweiterte Dienstbereitstellungskonzept auf Basis des CAMEL-Mechanismus

Für die Untersuchung der Leistungsdaten betreiberspezifischer Dienste, die auf dem erweiterten CAMEL Dienstbereitstellungskonzept basieren, wird derselbe statische Dienstmix angenommen, wie für die USSD-basierten Dienste (vgl. Tabelle 16). So ist ein direkter Vergleich der beiden entwickelten und untersuchten Konzepte möglich. Im Falle des hier untersuchten CAMEL-basierten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepts (EDBK) lassen sich die Dialoglängen für die Dienstauführung anhand der in Kapitel 4.3 entwickelten Nachrichtenflußdiagramme und der in Kapitel 3.2.2.5 zusammengefaßten Nachrichtenlängen ermitteln (Tabelle 4 auf Seite 57). Tabelle 17 faßt diese Dialoglängen zwischen Service Switching Function (SSF) und Service Control Function (SCF) zusammen. Ferner sind in der Tabelle Werte für die Dienstauführungszeit der einzelnen Dienste angegeben. Diese variieren mit der Leistung des gewählten Prozessors. Hier angegeben sind Meßergebnisse für die Verarbeitungsdauern der Dienstlogik in SSF und SCF, die mit einem Prozessor des Typs APZ 211 20 der Firma Ericsson gemacht wurden (vgl. Kapitel 5.3.2).

Dienst	Dialoglänge SSF zu SCF	Dialoglänge SCF zu SSF	Verarbeitungs- dauer in MSC / SSF	Verarbeitungs- dauer in der SCF
Privater Numerierungsplan (PNP)	140 byte	140 byte	4,9 ms	4,3 ms
Ortsabhängiger Dienst (OAD)	340 byte	410 byte	7,7 ms	8,2 ms
Vorausbezahlte Telefonkarte (VTK)	440 byte	540 byte	7,7 ms	8,0 ms

Tabelle 17: Dialoglängen und Verarbeitungsdauern beim CAMEL-EDBK

Die Ergebnis-Diagramme in diesem Kapitel (Abbildung 90 bis Abbildung 93) basieren auf den bisher gemachten Analysen und Meßergebnissen. Im einzelnen sind die folgenden Werte Bestandteil der Berechnungen:

- die Längen der einzelnen CAP-Protokollelemente in Tabelle 4 (Seite 57)
- das Benutzermodell in Tabelle 7 (Seite 105) zusammen mit den gemessenen Ausführungzeiten im MSC in Tabelle 15 (Seite 142)

5.5.1 Prozessorlastfälle beim Modell der erweiterten Heimatdatei

Im Modell der erweiterten Heimatdatei trägt die Heimatdatei (HLR) neben der herkömmlichen Last noch den Dienststeuerverkehr für die Zusatzdienste (vgl. Kapitel 4.1.3). Insgesamt setzt sich die Belastung der Heimatdatei somit aus den folgenden Komponenten zusammen:

- Ortsregistrierungen (inklusive periodischer und De-registrierungen)
- Behandlung von Leitweganfragen (roaming-Nummern)
- Zusatzdienststeuerung
- Leerlauf- und Benutzungslast (vgl. Kapitel 5.2.6.3)

Unter Berücksichtigung dieser Lastanteile ergibt sich die in Abbildung 90 dargestellte Abhängigkeit der Knoten- und Verbindungslasten vom angebotenen CAMEL-Verkehr⁹⁷.

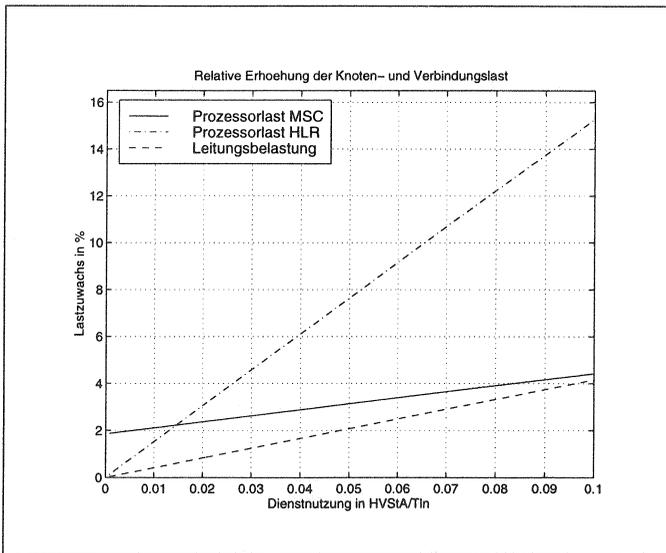


Abbildung 90: Relative Erhöhung der Knoten- und Verbindungslast bei Nutzung des CAMEL-basierten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepts

In Abbildung 90 ist die Prozessorlast des MSC berechnet als die Summe aller

97. diese ist (wie im Fall der USSD-basierten Dienste) über der Dienstnutzung in Anfragen pro HVSt und Teilnehmer aufgetragen.

Ausführungszeiten für die normalen Verkehrsfälle (vgl. die Verkehrswerte in Tabelle 7 in Verbindung mit den Ausführungszeiten auf Seite 159), der Ausführungszeiten der einzelnen Dienste entsprechend dem Dienstmix (vgl. Tabelle 16 auf Seite 153 und Tabelle 17 auf Seite 159) und der Leerlaufast (Seite 141).

Die Prozessorlast der Heimatdatei (HLR) ergibt sich ebenfalls aus den Ausführungszeiten der CAMEL-basierten Dienste (s.o.), den normalen Prozeduren in der Heimatdatei und der Leerlaufast. Dazu wurden die Ausführungszeiten für die Prozeduren "Send Routing Information" und "Location Update" im HLR durch Messung bestimmt zu: $t_{SRI}=2,6$ ms und $t_{Locup}=4,6$ ms.

Die Leitungsbelastung wurde letztlich bestimmt durch Multiplikation der Kanalbitrate mit der Menge an ausgetauschten Daten auf den Signalisierungsverbindungen zwischen HLR und MSC sowie zwischen zwei benachbarten MSCs. Dabei wurden Verbindungsaufbau-, Mehrwertdienst- und Registrierungssignalisierung berücksichtigt.

Auf der Abszisse ist der relative Zuwachs der Lasten aufgetragen, da absolute Zahlen von der jeweiligen Grundlast abhängen. Dadurch sind die Betrachtungen wiederum unabhängig vom Beispielnetz.

Aus dem Lastzuwachs um 16% gegenüber dem Netzbetrieb ohne CAMEL-Nutzung kann man folgern, daß das HLR zu höchstens 82% ausgelastet sein darf, um nicht die maximal zulässige Kapazitätsauslastung von 95% zu überschreiten (vgl. Kapitel 5.2.6.3).

5.5.2 Verweilzeiten in der erweiterten Heimatdatei

Neben den oben beschriebenen Knoten- und Verbindungslasten sind die Dienstausführungszeiten von besonderem Interesse für die Leistungsbewertung eines Dienstbereitstellungsmodells. In Abbildung 91 sind die Verweilzeiten für die drei verschiedenen Dienste des betrachteten Dienstmixes über der jeweiligen Nutzung des Dienstes pro HVSt und Teilnehmer aufgetragen.

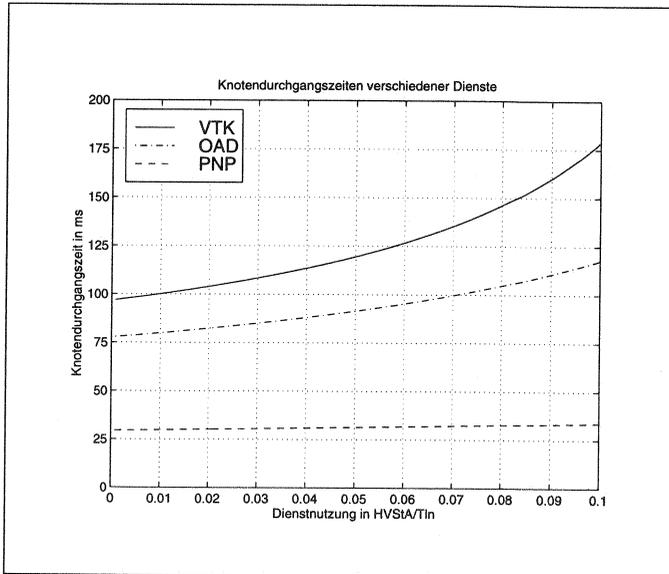


Abbildung 91: Knotendurchgangszeit der erweiterten Heimatdatei bei verschiedenen Diensten

Die Knotendurchgangszeiten in Abbildung 91 wurden mit Hilfe der Pollaczek-Khintchine Mittelwertformel, Gleichung (11), berechnet. Die Prozessorauslastung ρ wurde aus den oben angegebenen Ausführungszeiten, die Bediendauer jeweils aus Tabelle 17 bestimmt. Der Variationskoeffizient ist in allen Fällen Null, da jeder Dienst einzeln betrachtet wird und somit keine Variation der Nachrichtenlängen oder Ausführungszeiten auftritt. Die Verzögerung in SS.7 Ebene 2 und 3 (vgl. Abbildung 79) wurde jeweils addiert.

5.5.3 Dienstlogikverzögerung

Die Summe aller bisher betrachteten Verzögerungszeiten stellt beim nicht verbindungsgebundenen Dienst die Dienstausführungszeit und beim verbindungsgebundenen Dienst die zusätzliche Verzögerung des Anrufaufbaus dar. Abbildung 92 zeigt die Dienstausführungszeit für den nicht verbindungsgebundenen Dienst OAD. Abbildung 93 stellt die zusätzlichen Verbindungsaufbauverzögerungen der beiden verbindungsgebundenen Dienste PNP und VTK dar. In beiden Abbildungen sind die Zeiten für die Übermittlung der Dienstausführungsanfrage über den Funkweg eingerechnet. Diese ergeben sich aus

den Berechnungen in Kapitel 5.2.4.3 und können -wie aus Abbildung 80⁹⁸ und Gleichung (46) ersichtlich- als konstant angenommen werden.

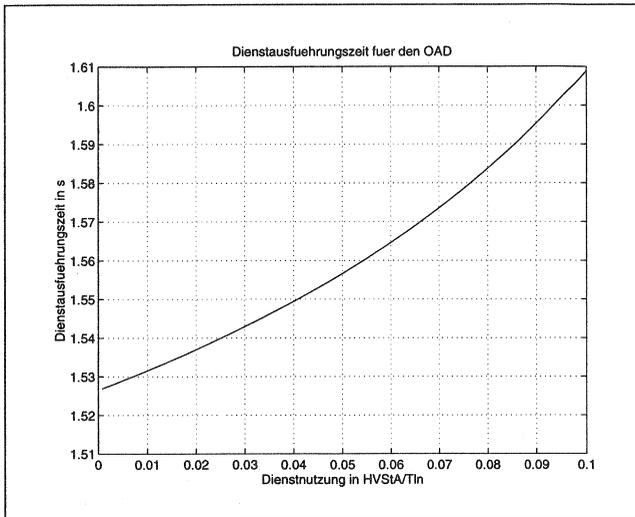


Abbildung 92: Dienstausführungszeit für den ortsabhängigen Dienst

98. Es wird von einer mittelgroßen bzw. einer großen Zelle ausgegangen. Der hier betrachtete Bereich fällt mit den untersten 2,5% des in Abbildung 80 dargestellten Wertebereichs zusammen, in welchem diese Funktion unabhängig vom Verkehrsangebot ist.

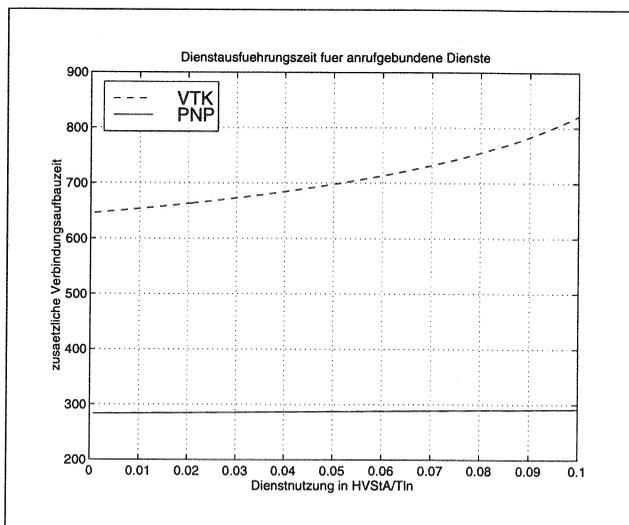


Abbildung 93: Zusätzliche Verbindungsaufbauzeit bei verbindungsgebundenen Diensten (PNP, VTK)

Die Berechnung der Diagramme in Abbildung 92 und Abbildung 93 setzt sich im einzelnen aus den folgenden vier Komponenten zusammen:

- SS.7 Ebene 2 und 3 Verzögerung im MSC (vgl. Abbildung 79)
- Knotendurchgangszeiten (vgl. Abbildung 91)
- Durchgangsverzögerung im STP (vgl. Tabelle 17, es wurden durchschnittliche 1,5 STPs angenommen)
- Übertragungsdauer, angenommen wurde der ungünstigste Fall von 5ms (vgl. Seite 132)

Auch hier läßt sich für die verbindungsgebundenen Dienste (PNP und VTK) die relative Zunahme der Verbindungsaufbauzeit abschätzen. Gemäß dem in Kapitel 5.4.5.1 genannten Wert von durchschnittlich 6 Sekunden für einen GSM Verbindungsaufbau bedeuten die in Abbildung 93 dargestellten Werte eine relative Zunahme der Verzögerung von 5 % (PNP) bzw. 13,5 % (VTK) bei 0,1 HVStA pro Teilnehmer gegenüber der Verzögerung ohne CAMEL Dienstnutzung. Das bedeutet, daß die Knotendurchgangszeit für die Dienststeuerung keinen signifikanten Einfluß auf die Dauer des Verbindungsaufbaus hat.

5.6 Gegenüberstellung der Resultate

In den Leistungsbewertungen in Kapitel 5.4 und 5.5 wurde besonderer Wert auf die Vergleichbarkeit der gefundenen Ergebnisse gelegt. Diese wird durch Betrachtung gleichartiger Dienste sowie Heranziehung desselben Dienstmixes möglich. In Tabelle 18 / Abbildung 94 sind die gefundenen Verzögerungszeiten für verbindungsgebundene und nicht verbindungsgebundene Dienste gegenübergestellt. Es wurden die Werte für 6,25% und 12,5% Dienstnutzung gewählt, was einer absoluten Menge von 0,05 bzw. 0,1 Dienstbenutzungen pro Hauptverkehrsstunde und Teilnehmer entspricht. Die Werte entstammen den folgenden Abbildungen:

- PNP, USSD-EDBK: Abbildung 85
- VTK, USSD-EDBK: Abbildung 87
- OAD, USSD-EDBK: Abbildung 86
- PNP und VTK, CAMEL-EDBK: Abbildung 93
- OAD, CAMEL-EDBK: Abbildung 92

Dienst	USSD-basiertes EDBK		CAMEL-basiertes EDBK		Bedeutung
	0,05	0,1	0,05	0,1	
Privater Nummerierungsplan (PNP)	0,827 s	0,831 s	0,285 s	0,291 s	Zusätzliche Verzögerung des Verbindungsaufbaus
Vorausbezahlte Telefonkarte (VTK)	0,667 s	0,671 s	0,69 s	0,81 s	
Ortsabhängiger Dienst (OAD)	3,039 s	3,041 s	1,55 s	1,61 s	Dauer der Dienst-erbringung

Tabelle 18: Gegenüberstellung der Resultate der Leistungsbewertungen

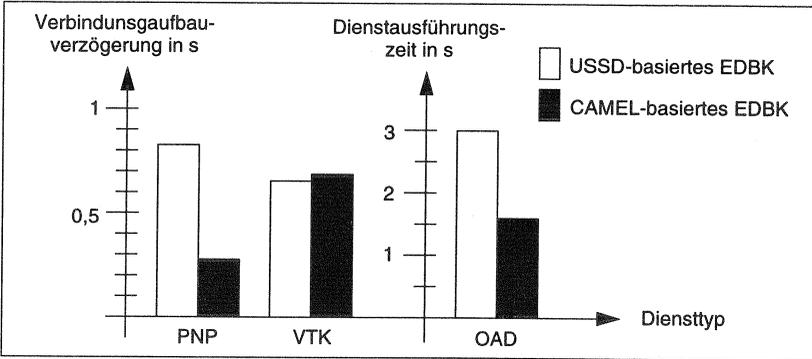


Abbildung 94: Dienstdauern im Falle von 0,05 (6,25%) Dienstbenutzungen pro HVSt und Teilnehmer

Diese Gegenüberstellung erlaubt eine vergleichende Wertung der hergeleiteten Ergebnisse.

Die CAMEL Dienstaussführung ist netzbasiert. Das bedeutet, daß für die Dienstaussführung keine zusätzliche Signalisierung über die Luftschnittstelle vonnöten ist. Beim USSD-basierten EDBK hingegen bedarf es einer zusätzlichen Stimulussignalisierung⁹⁹ über die Luftschnittstelle mit angeschlossener Bestätigung (bzw. Dialogabbau). Dieser Unterschied ist in Abbildung 95 schematisch dargestellt.

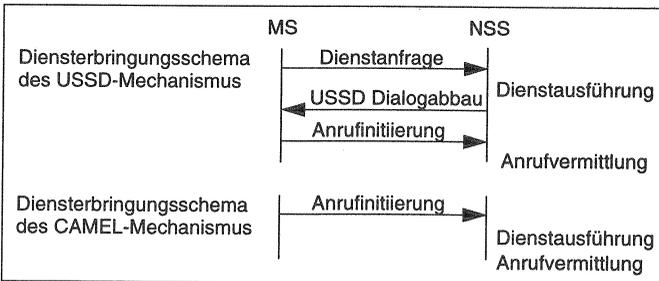


Abbildung 95: USSD versus CAMEL Dienstbringung

99. Stimulussignalisierung bezeichnet die nicht direkt an einen bestimmten Dienst gekoppelte ('funktionale') Signalisierung (vgl. Kapitel 3.2.1.3)

Zwar braucht die CAMEL Diensterbringung einen erhöhten Signalisierungsaufwand innerhalb des Network & Switching Subsystems (NSS), doch ist diese weit schnellere Netzsignalisierung insgesamt weniger zeitaufwendig, als die im USSD-Fall auftretende zusätzliche Signalisierung über die Luftschnittstelle.

Es bleibt also festzuhalten, daß von den beiden in der Arbeit entwickelten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepten das auf dem CAMEL-Mechanismus basierende Vorteile gegenüber dem USSD-basierten hat. Diese treten sowohl bzgl. der Belastung der an der Diensterbringung beteiligten Knoten zutage, als auch in der auf Benutzerseite erkennbaren Dienstverzögerung. Diese Aussage gilt nicht nur für das in der Leistungsbewertung betrachtete Beispielnetz, sondern ist auf verschieden große GSM Netze mit einer Benutzerkapazität zwischen 1 und 9 Millionen Teilnehmern übertragbar.

Es ist damit nachgewiesen, daß der eigens für die Anbietung betreiberspezifischer Dienste entwickelte CAMEL-Mechanismus dem für den generellen Datenaustausch zwischen MS und Netzanwendung eingeführten USSD Mechanismus für die Aufgabe der erweiterten Dienstbereitstellung deutlich überlegen ist. Ein weiterer Nachteil des USSD-Mechanismus ist die unhandliche Mensch-Maschine Prozedur, die die Akzeptanz erweiterter USSD-basierter Dienste negativ beeinflussen wird. Prinzipiell sind jedoch beide Mechanismen tauglich, erweiterte Dienste innerhalb eines GSM Netzes zu erbringen. Es kann nicht gefolgert werden, daß mit Einführung des CAMEL-Mechanismus der USSD-Prozeß überflüssig werden wird, da es Dienste gibt, die nur mit Hilfe des USSD-Mechanismus angeboten werden können (Universelle Nachrichtenablage, Anruffilter für eingehende Anrufe und Tarifgebiet-Information, vgl. Kapitel 4.3). Ferner kommt auch für CAMEL-basierte Dienste eine USSD-Komponente für die Benutzerinteraktion in Frage.

6. Kapitel

Zusammenfassung

Betrachtet man die Entwicklung der Festnetztelekommunikation seit Einführung der direkt gesteuerten Vermittlungstechnik, so fallen nicht viele bahnbrechende Neuerungen auf. Auf der Technologieseite ist die Digitalisierung zu nennen, auf der Dienstseite findet man neben der Einführung von Zusatzdiensten keine signifikanten Veränderungen. Der gerne bemühte Vergleich zur rasanten Entwicklung der Mikroelektronik und Computerindustrie würde ergeben, daß uns dort bis dato allenfalls ein motorgetriebener Abakus beschert worden wäre. Dies soll nicht zur Schelte geraten, sondern zeigt vielmehr, daß die Bereitstellung des bloßen Fernsprehdienstes über lange Zeit die Telekommunikationsbedürfnisse der Menschen voll befriedigte. Die Einführung und Weiterentwicklung der Mobilfunknetze stellt die insgesamt tiefgreifendste Änderung im Bereich der Telekommunikation in den letzten Jahrzehnten dar.

Im Verlaufe der Arbeit wird dargelegt, daß die Telekommunikationsbranche sich seit einigen Jahren einem Innovationsverlangen gegenüber sieht, welches zum einen durch einen erhöhten Grad an Technikakzeptanz und zum anderen durch die bloße Entdeckung des Dienstesegments bedingt ist. Dieser "Druck des Marktes" hat bislang zu einer Menge an proprietären, d.h. netzspezifischen Dienstbereitstellungsvarianten geführt. Die Unzulänglichkeit solcher Lösungen wird in der Arbeit exemplarisch aufgezeigt. Der Zustand ist als Übergangsphase anzusehen und muß durch Konzepte der offenen, netzunabhängigen Dienstbereitstellung überkommen werden.

Das zellulare GSM ist vom streng standardisierten Mobilkommunikationsnetz der Phase 1 zu einem evolutionären System in der Phase 2+ avanciert. Phase 2+ bietet in dem Kontinuum von Implementierungsmöglichkeiten breite

Unterstützung für das Einbringen von Verbesserungen und betreiberspezifischen Diensten sowie für den Anschluß an bestehende und neue externe Systeme. Dieses neue Merkmal des GSM unterstreicht seine Eignung als Plattform zur Weiterentwicklung zu einem Mobilkommunikationssystem der dritten Generation (UMTS/IMT-2000). Die in der Arbeit entwickelten Modelle zur offenen Dienstbereitstellung belegen die Tauglichkeit des GSM für die Einführung neuer Dienste. Die fehlende Unterstützung von breitbandigen Übertragungsdiensten im GSM rechtfertigt nach vorherrschender Meinung nicht mehr den Aufbau gänzlich neuer Netze, insbesondere da heute bereits mit den Merkmalen HSCSD (High speed circuit switched data), GPRS (General Packet Radio Service) und EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) Dienste mit erhöhten Datenraten für GSM untersucht werden bzw. sich bereits in der Einführung befinden.

In der vorliegenden Arbeit werden nach Darstellung existierender Mechanismen im zellularen GSM zwei Varianten zur offenen Dienstbereitstellung entwickelt. Die eine basiert auf dem CAMEL-Mechanismus, der als die Möglichkeit der Einführung von IN-basierten Diensten in GSM bezeichnet werden kann, die zweite Variante fußt auf dem MAP-Prozeß USSD. Für beide Varianten werden Modelle entwickelt, die hinsichtlich ihrer prinzipiellen Funktionstüchtigkeit untersucht, und einer detaillierten Leistungsbewertung unterzogen werden. Es werden die neuen Dienstklassen vorgestellt, die sich mittels der entwickelten Modelle zur offenen Dienstbereitstellung verwirklichen lassen. Dies allein rechtfertigt bereits die Erarbeitung beider Modelle, da der Großteil der Dienste ohne sie nicht flächendeckend implementiert werden könnte und die Integration von sogenannten Drittanbietern ausgeschlossen bliebe. Neben der Berechnung absoluter Leistungsdaten wird in der analytisch durchgeführten Leistungsbewertung abschließend eine Gegenüberstellung der beiden erweiterten Dienstbereitstellungskonzepte (EDBK) vorgenommen. Diese ergibt, daß das CAMEL-basierte EDBK einen quantitativ bezifferbaren Vorteil über das USSD-basierte EDBK behält, eine Konsequenz der jeweiligen benutzten Basismechanismen. Während der CAMEL-Mechanismus auf die netzseitige Diensterbringung mittels funktionaler Signalisierung spezialisiert ist, wurde mit dem USSD-Mechanismus ein Prozeß gewählt, dessen hauptsächliche Aufgabe der Datenaustausch zwischen Netzanwendung und Benutzer ist. Zwar können auch damit alle untersuchten Dienste erbracht werden, die Dialogstruktur, die mehrmals die Luftschnittstelle einbezieht, verlangsamt die Diensterbringung jedoch merklich.

Anhang A

Formale Spezifikation des CAMEL Mechanismus

Die formale Spezifikation des CAMEL-Mechanismus wurde ausgehend von der Spezifikation des Mobile Application Part (MAP) vorgenommen. Dieser wurde bis zum Transaction Capabilities Application Part (TCAP) Dienstzugangspunkt modelliert, um ein rückwirkungsfreies Modell zu erhalten. Abbildung A1 verdeutlicht diesen Ansatz.

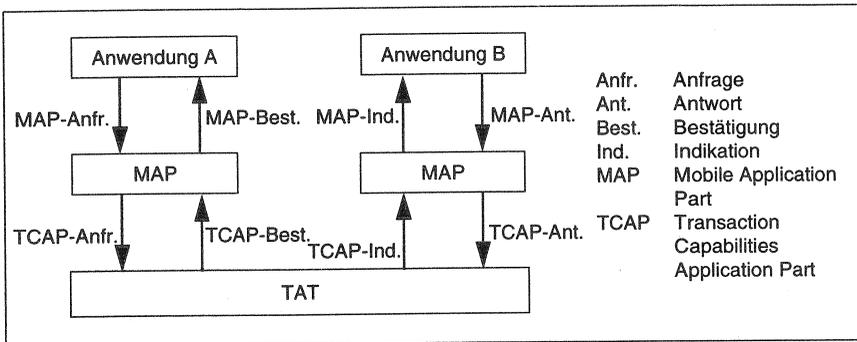


Abbildung A1: Modellierungsansatz für den MAP

Aus der MAP Spezifikation gemäß GSM Phase 2 wurde (mit Hilfe des Vererbungsmechanismus in SDL 92) ein neues System kreiert, welches zum CAMEL (Phase 2+)-MAP erweitert wurde. Die CAMEL-spezifischen Merkmale wurden im Block SPN (Service Provider Node, Dienstanbieterknoten, DAK) verwirklicht. Zur Modellierung des im erweiterten CAMEL-basierten Dienstbereitstellungsmodell vorhandenen externen Dienstknotens (EDK) wurde ein drittes neues System mit Namen TP (Third Party, Drittanbieter) durch Vererbung aus SPN erzeugt. Die drei inkrementellen Systeme und der zusätzlich programmierte Simulator zur Steuerung der Protokollabläufe sind in Abbildung A2 dargestellt.

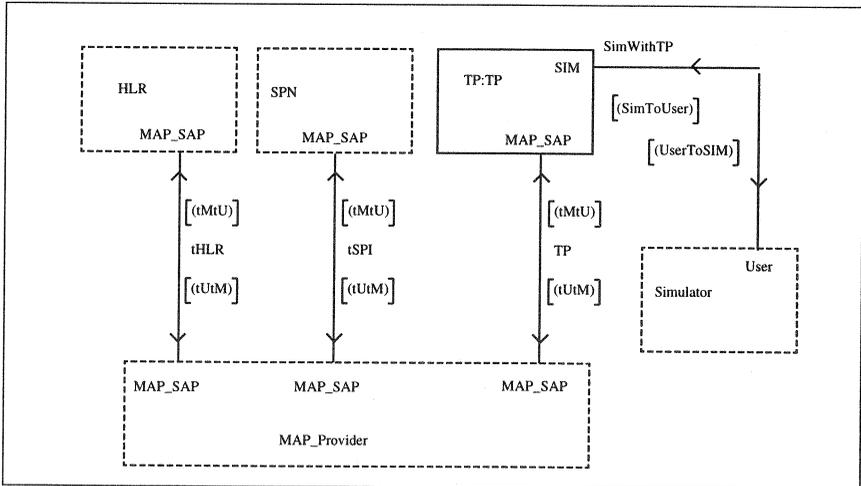
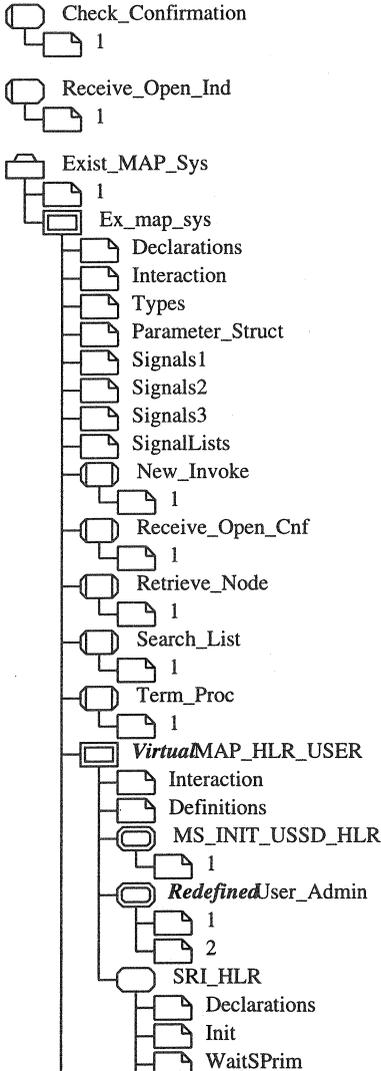
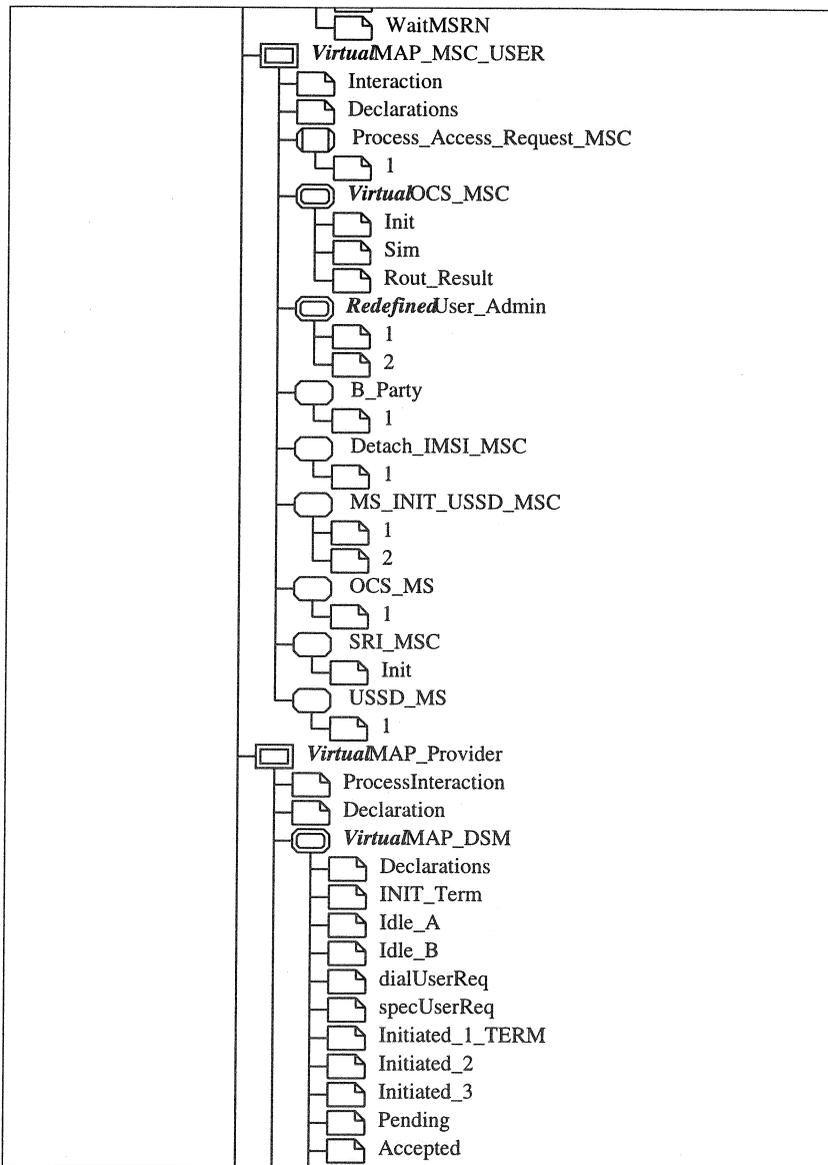


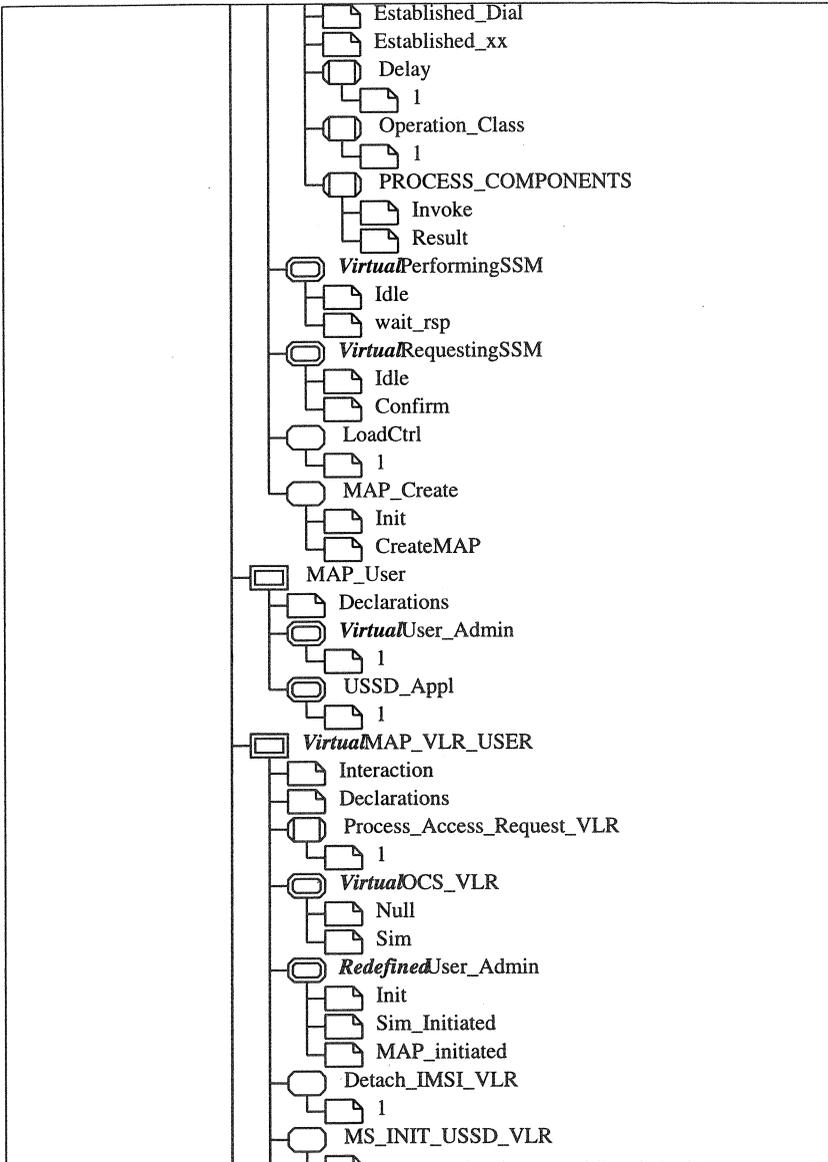
Abbildung A2: Die formal spezifizierten Systeme MAP, SPN, TP

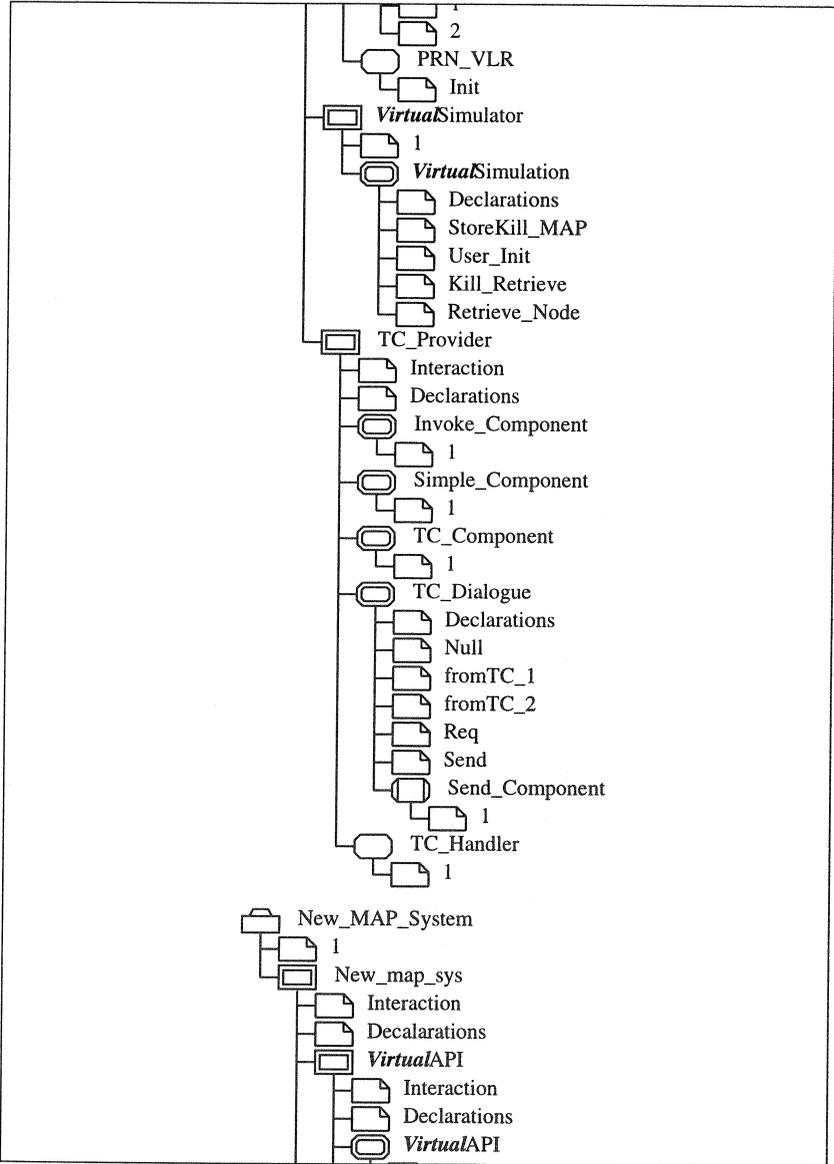
Auf den folgenden Seiten wird die Struktur des erstellten SDL-Codes vorgestellt und exemplarisch einige Übersichtsdiagramme des TP-Systems wiedergegeben. Auf die Darstellung der detaillierten Protokollabläufe sowie der beiden Muttersysteme (MAP und SPN) wurde aus Platzgründen verzichtet. Diese sind ohnehin aufgrund des oben beschriebenen Vererbungsgangs Untermengen des TP-Systems.

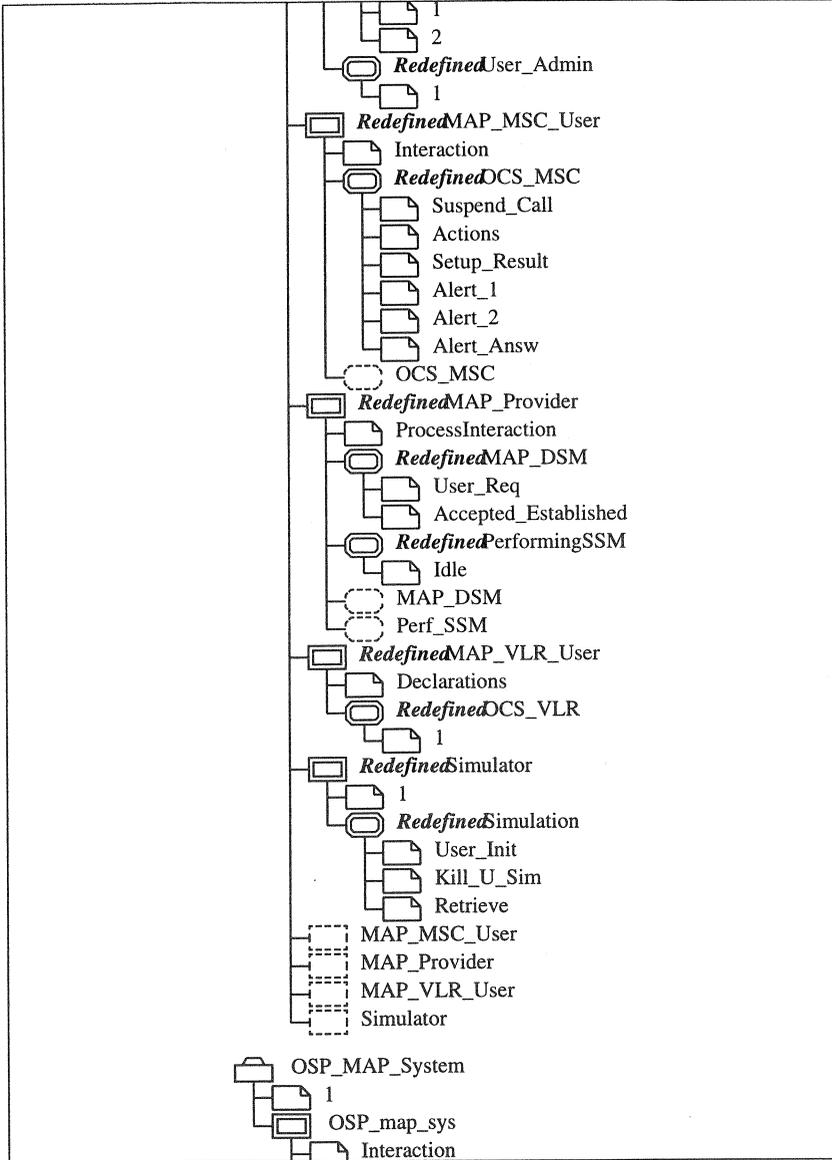
— Diagram Structure —

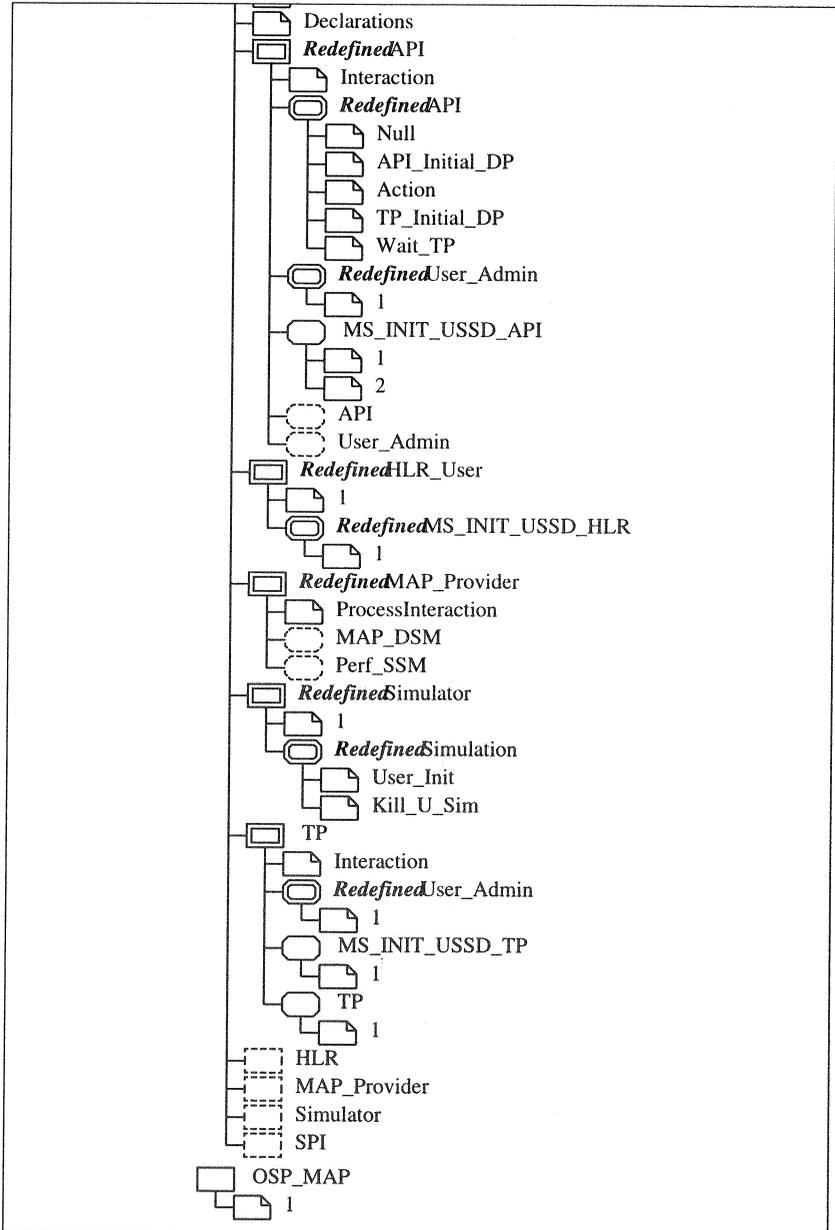












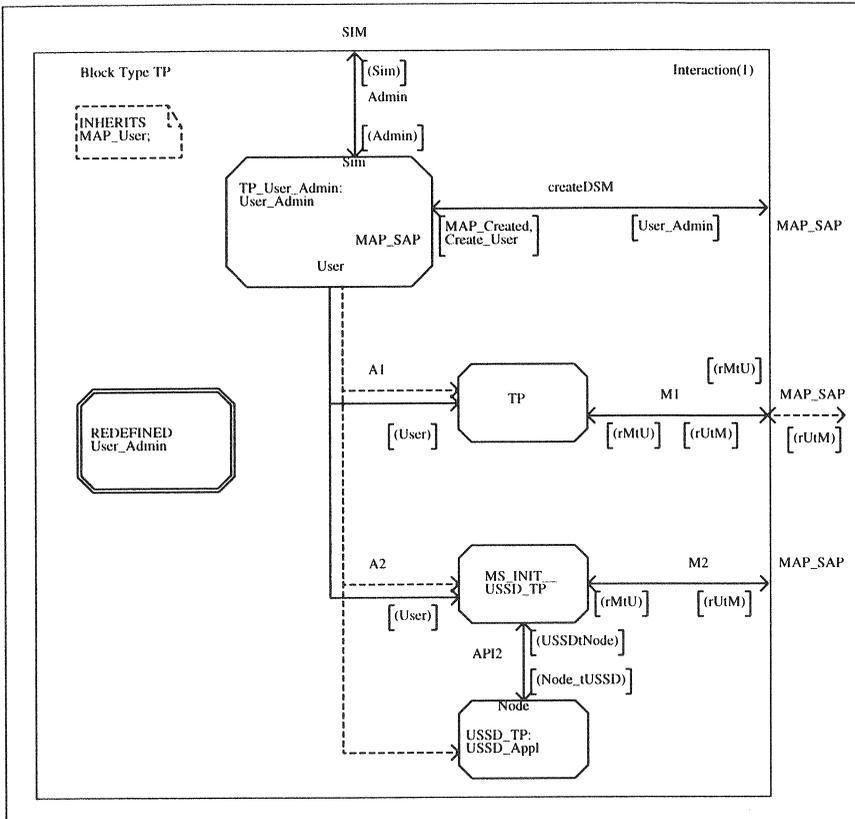


Abbildung A3: Struktur des Blocks TP (Drittanbieter)

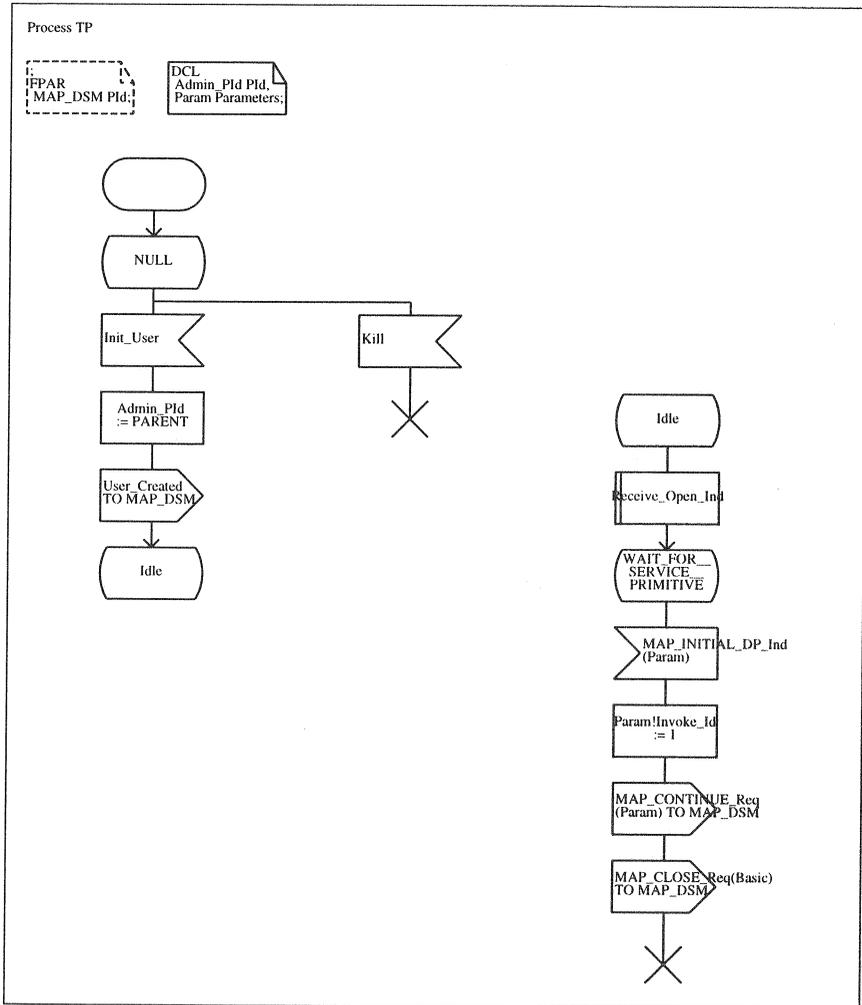


Abbildung A4: Basisprozeß Drittanbieter

Anhang B

Simulationsergebnisse zu Kapitel 5.2.4.3.2

$\lambda * 8$	M/D/n	M/G/n	M/M/n
0.25	0	0	0
0.5	0	0	0
0.75	0	0	0
1	0	1.90868e-06	4.48761e-06
1.25	2.73387e-06	6.02753e-06	2.58531e-05
1.5	1.75412e-05	1.10038e-05	4.45725e-05
1.75	5.30893e-05	7.10507e-05	7.27732e-05
2	0.000135538	0.000160825	0.000189054
2.25	0.000305305	0.000194201	0.000320247
2.5	0.00058381	0.000391469	0.000649737
2.75	0.0010331	0.00068693	0.00135605
3	0.00173233	0.00115788	0.00215252
3.25	0.00277743	0.00310429	0.00383529
3.5	0.00423581	0.00425682	0.00591944
3.75	0.00624385	0.00620022	0.00863052
4	0.00895649	0.00899823	0.0145028
4.25	0.0125569	0.0134098	0.0217539
4.5	0.0172651	0.0206682	0.0291191
4.75	0.0233212	0.0271737	0.0420998
5	0.0311487	0.0368086	0.0524011
5.25	0.0413539	0.0511285	0.0747188
5.5	0.054742	0.0718267	0.0932566
5.75	0.0725144	0.0885044	0.124749
6	0.095782	0.119899	0.173513
6.25	0.126432	0.159736	0.227637
6.5	0.168162	0.229119	0.302289
6.75	0.227806	0.313621	0.412528
7	0.317635	0.422026	0.612244
7.25	0.460651	0.6278	1.00016
7.5	0.754318	1.02182	1.50712

Anhang C

Zur Berechnung von Abbildung 88 und Abbildung 89

Abbildung 88

In den folgenden drei Tabellen sind die einzelnen Summanden zur Berechnung des in Abbildung 88 dargestellten Anstiegs der Knotenlast für das USSD-basierte EDBK zusammengefasst. Darin bedeutet L_x die Last in dem betrachteten Knoten für die jeweilige Operation.

Lastkomponente	Wert	Bezeichnung
bsc_ld_idle_ld	5%	Prozessorgrundlast
bsc_ld_call	$\lambda_{\text{Anrufe/TIn}} * L_{\text{BSC,Anruf}} * n_{\text{TIn/BSC}} / 3600$	Normale Anrufe
bsc_ld_reg	$\lambda_{\text{Ortsreg}} * L_{\text{BSC,Ortsreg}} * n_{\text{TIn/BSC}} / 3600$	Ortsregistrierungen
bsc_ld_page	$(\lambda_{\text{MS->MS}} + \lambda_{\text{extern->MS}}) * L_{\text{BSC,paging}} * n_{\text{TIn/BSC}} / 3600$	Paging Operationen (netz-initiierte Anrufe)
bsc_ld_hand	$\lambda_{\text{HO}} * L_{\text{BSC,HO}} * n_{\text{TIn/BSC}} / 3600$	Handover
bsc_ld_sms	$(\lambda_{\text{SMS-an}} + \lambda_{\text{SMS-ab}}) * L_{\text{BSC,SMS}} * n_{\text{TIn/BSC}} / 3600$	Short Message Service
bsc_ld_ussd	$(\lambda_{\text{ussd}} * L_{\text{BSC,ussd}} + \lambda_{\text{ussd,ch_setup}} * L_{\text{bsc,ussd_ch_setup}}) * n_{\text{TIn/BSC}} / 3600$	USSD

Tabelle 19: Prozessorlast im BSC

Lastkomponente	Wert	Bezeichnung
msc_ld_idle_ld	5%	Prozessorgrundlast
msc_ld_ms_isdn	$\lambda_{MS \rightarrow \text{extern}} * L_{MS \rightarrow \text{extern}} * n_{TIn/MS} / 3600$	Abgehende Anrufe nach extern
msc_ld_ms_ms	$\lambda_{MS \rightarrow MS} * L_{MS \rightarrow MS} * n_{TIn/MS} / 3600$	Anrufe zwischen zwei MS im selben MSC
msc_ld_isdn_ms	$\lambda_{\text{extern} \rightarrow MS} * L_{\text{extern} \rightarrow MS} * n_{TIn/MS} / 3600$	Erfolgreiche ankommende Anrufe
msc_ld_isdn_	$\lambda_{\text{extern} \rightarrow MS} * L_{\text{extern} \rightarrow MS} * n_{TIn/MS} / 3600$	Erfolgreiche ankommende Anrufe
msc_ld_isdn_isdn	$\lambda_{\text{extern} \rightarrow \text{extern}} * L_{\text{extern} \rightarrow \text{extern}} * n_{TIn/MS} / 3600$	Transitverkehr
msc_ld_reg	$\lambda_{\text{Ortsreg}} * L_{MSC, \text{Ortsreg}} * n_{TIn/MS} / 3600$	Ortsregistrierungen
msc_ld_hand	$\lambda_{HO} * L_{MSC, HO} * n_{TIn/MS} / 3600$	Handover
msc_ld_ussd	$(\lambda_{ussd} * L_{MSC, ussd} + \lambda_{ussd, ch_setup} * L_{MSC, ussd, ch_setup}) * n_{TIn/MS} / 3600$	USSD

Tabelle 20: Prozessorlast im MSC

Lastkomponente	Wert	Bezeichnung
hlr_ld_idle	5%	Prozessorgrundlast
hlr_ld_loc	$\lambda_{\text{Ortsreg}} * L_{\text{Ortsreg}} * n_{TIn/HLR} / 3600$	Ortsregistrierungen
hlr_ld_rou	$(\lambda_{MS \rightarrow MS} + \lambda_{\text{extern} \rightarrow MS} + \lambda_{\text{extern} \rightarrow MS}) * L_{rou} * n_{TIn/HLR} / 3600$	Leitweganfragen
hlr_ld_ussd	$\lambda_{ussd, HLR} * L_{ussd, HLR} * n_{TIn/HLR} / 3600$	USSD im HLR

Tabelle 21: Prozessorlast im HLR

Abbildung 89

Die Berechnung des Diagramms erfolgt in mehreren Schritten, die im folgenden kurz dargestellt sind:

Zunächst wurde die gesamte Signalisierlast im Network Switching Subsystem (NSS) berechnet. Tabelle 22 faßt die relevanten Komponenten zusammen. Die Variablen l_{xy} bezeichnen die Längen der jeweiligen Nachrichten.

Lastkomponente	Zusammenstellung
Transitverkehr zwischen MSCs	$(l_{McallQ} + l_{McallR}) * \lambda_{extern \rightarrow extern} * n_{sub} / 3600$
Handoververkehr	$(l_{MhandQ} + l_{MhandR}) * \lambda_{HO} * n_{TIn} / 3600$
Anruf- und Handoververkehr	$(l_{HcallQ} + l_{HcallR}) * (\lambda_{extern \rightarrow MS} + \lambda_{extern \rightarrow MS} + \lambda_{MS \rightarrow MS} + \lambda_{HO}) * n_{TIn} / 3600$
Ortsregistrierungen	$(l_{HlocQ} + l_{HlocR}) * \lambda_{Ortsreg} * n_{TIn} / 3600$
USSD-Verkehr	$l_{ussd,NSS} * \lambda_{ussd} * n_{TIn} / 3600$

Tabelle 22: NSS Signalisiervolumen

Aus dem Signalisiervolumen ('sigdata') kann mit der Kanalbitrate B_K und der Anzahl links n_{link} die Last berechnet werden zu

$$linkload = \frac{sigdata \cdot 8}{B_K \cdot n_{link}}$$

Dazu muß die Signalisierlast auf den Verbindungen zwischen BSC und MSC addiert werden. Diese Komponenten finden sich in Tabelle 23:

Lastkomponente	Wert
Eingehende Anrufe	$(I_{BincallQ} + I_{BincallR}) * (\lambda_{MS \rightarrow MS} + \lambda_{extern \rightarrow MS}) * n_{TIn,BSC} / 3600$
Ausgehende Anrufe	$(I_{BoutcallQ} + I_{BoutcallR}) * (\lambda_{MS \rightarrow MS} + \lambda_{MS \rightarrow extern}) * n_{TIn,BSC} / 3600$
Handover	$(I_{BhandQ} + I_{BhandR}) * \lambda_{HO} * n_{TIn,BSC} / 3600$
Ortsregistrierungen	$(I_{BregQ} + I_{BregR}) * \lambda_{Ortsreg} * n_{TIn,BSC} / 3600$
Supplementary Services	$(I_{BssQ} + I_{BssR}) * \lambda_{SS} * n_{TIn,BSC} / 3600$
USSD-Verkehr	$Sig_vol_{A-interface} * \lambda_{USSD} * n_{TIn,BSC} / 3600$

Tabelle 23: Signalisiervolumen A-Schnittstelle

Auch hier kann aus dem Signalisiervolumen (sigdata) die Last berechnet werden gemäß:

$$linkload_{MSC/BSC} = \frac{sigdata \cdot 8}{B_K \cdot n_{links, MSC/BSC}}$$

Im Falle des SDCCH muß eine Fallunterscheidung nach den 4 einen SDCCH benötigenden Operationen gemacht werden. Diese sind bereits vorne in Tabelle 12 auf Seite 126 zusammengestellt.

Der gesamte Verkehr auf den SDCCHs (λ_{total}) berechnet sich daraus zu:

$$\lambda_{total, SDCCH} = \lambda_{Anruf} + \lambda_{reg} + \lambda_{SMS} + \lambda_{SS}$$

Die mittlere Belegungsdauer wird dann durch folgende Summe bestimmt:

$$T_{Bd} = (\sum hold_i \cdot \lambda_i) / \lambda_{total, SDCCH}$$

Anhand der mittleren Belegungsdauer kann nun die Last auf den SDCCHs berechnet werden (ld_{sdccch}):

$$L_{SDCCH} = T_{Bd} \cdot \frac{\lambda_{total, SDCCH} \cdot n_{sub, cell}}{3600 \cdot n_{SDCCH}}$$

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Englische Bedeutung	Deutsche Bedeutung
AGCH	Access Grant Channel	Kanal zur Zugangsgewährung
AuC	Authentication Centre	Authentifizierungszentrum
BCCH	Broadcast Control Channel	Rundrufkanal
BCSM	Basic Call State Model	Anrufzustandsautomat
BHCA	Busy Hour Call Attempts	Anrufe während einer HVSt (vgl. HVStA)
BSC	Base Station Controller	Basisstationen-Steuereinheit
BSS	Base Station Subsystem	Basisstationen-Einheit
BSSAP	BSS Application Part	BSS Anwendungsteil
BTS	Base Transceiver Station	Basisstation
BTSM	Base Transceiver Station Mgmt.	Basisstationen-Management
CAMEL	Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic	
CAP	CAMEL Application Part	CAMEL Anwendungsteil
CCAF	Call Control Agent Function	Agentenfunktion zur Anrufsteuerung
CCF	Call Control Function	Funktion zur Anrufsteuerung
CCCH	Common Control Channel	Gemeinsamer Steuerkanal
CSE	CAMEL Service Environment	CAMEL Dienstumgebung
CSI	CAMEL Subscription Information	CAMEL Teilnehmer Information
CSPDN	circuit-switched public data network	leitungsvermittelltes öffentliches Datennetz
DTAP	Direct Transfer Application Part	Anwendungsteil Sofortübertragungen
EDBK		Erweitertes Dienstbereitstellungskonzept
EDGE	Enhanced Datarate for GSM Evolution	
EDK		Externer Dienstknoten
EIR	Equipment Identity Register	MS-Identifikationsdatei
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	
FACCH	Fast Associated Control Channel	Schneller Assoziierter Steuerkanal
FCCH	Frequency Correction Channel	Frequenz Korrektur Kanal
FCFS	First Come First Serve	
GMSC	Gateway-MSC	Tor-MSC
GPRS	General Packet Radio Service	Funkbasierter Paketdatendienst im GSM

Abkürzung	Englische Bedeutung	Deutsche Bedeutung
GSM	Global System for Mobile Communication	Globales System für Mobilkommunikation
GSSF	Gateway SSF	Tor-SSF
HDLC	High Level Data Link Control	Überlagerte Datenverbindungssteuerung
HLR	Home Location Register	Heimatdatei
HO	Handover ¹⁰⁰	Anrufübergabe
HPLMN	Home PLMN	Heimatnetz
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data	Beschleunigte leitungsvermittelte Datenübertragung im GSM
HVSt	Busy Hour	Hauptverkehrsstunde
HVStA	Busy Hour Call Attempts (cp. BHCA)	Anrufe während einer HVSt
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	Internationale Mobilteilnehmer Identität
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000	
IN	Intelligent Networks	Intelligente Netze
INAP	IN Application Part	IN Anwendungsteil
IPLMN	Interrogating PLMN	Anfragendes Netz
ISDN	Integrated Services digital network	Diensteintegrierendes digitales Netz
ISO	International Standards Organization	
ITU	International Telecommunication Union	
LA	Location Area	Deckungsgebiet
LAPD	Link Access Protocol for the D-channel	Verbindungszugangsprotokoll
MAP	Mobile Application Part	Mobilitäts-Anwendungsteil
MMI	Man-Machine-Interface	Mensch-Maschine-Interface
MS	Mobile Station	Mobilstation
MSC	Mobile Switching Centre	Mobilvermittlungsstelle
MSRN	MS Roaming Number	Roaming Nummer für die MS
MTP	Message Transfer Part	Nachrichtenübertragungsteil

100. Im Amerikanischen wird der Begriff Handoff benutzt.

Abkürzung	Englische Bedeutung	Deutsche Bedeutung
ng		Netzgröße
NSS	Network Switching Subsystem	Netz-Vermittlungseinheit
OAD	Location dependent Service	Ortsabhängiger Dienst
OSI	Open Systems Interconnection	Verbindung offener Systeme
OSS	Operator Specific Service	Betreiberspezifischer Dienst
PAGCH	Paging and Access Grant Channel	Kanal für Ruf und Zugangsgewährung
PCH	Paging Channel	Rufkanal
PDU	Protocol Data Unit	Protokolldateneinheit
PLMN	Public Land Mobile Network	Öffentliches Mobilfunknetz
PNP	Private Numbering Plan	Privater Numerierungsplan
PSPDN	packet-switched public data network	paketvermitteltes öffentliches Datennetz
PSTN	public switched telephone network	Öffentliches Telefonnetz
RACH	Random Access Channel	Kanal für wahlfreien Zugriff
RR	Radio Resource Management	Management der Funkressourcen
SACCH	Slow Associated Control Channel	Langsamer Assoziierter Steuerkanal
SCCP	Signal Connection Control Part	Steuerteil für die Signalverbindung
SCEAF	Service Creation Environment Access Function	Zugangsfunktion für die Dienst-erstellungsumgebung
SCEF	Service Creation Environment Fct.	Diensterstellungsumgebungsfunktion
SCF	Service Control Function	Dienststeuerfunktion
SCH	Synchronisation Channel	Synchronisierkanal
SDCCH	Stand Alone Dedicated Control Ch.	Freier Steuerkanal
SDF	Service Data Function	Dienstdatenfunktion
SIM	Subscriber Identity Module	Teilnehmer Identitäts-Modul
SMF	Service Management Function	Dienstmanagement Funktion
SMS	Short Message Service	Kurznachrichtendienst
SP	Signalling Point	Zeichengabe-Punkt
SPN	Service Provider Node	Dienstanbieterknoten
SRF	Special Resource Function	Spezielle Ressourcen Funktion
SS.7	Signalling System #7	Signalisiersystem Nummer 7
SSF	Service Switching Function	Dienstvermittlungsfunktion
STP	Signalling Transfer Point	Zeichengabe-Transferpunkt

Abkürzung	Englische Bedeutung	Deutsche Bedeutung
TCAP	Transaction Capabilities Application Part	Transaktions-Anwendungsteil
TCH	Traffic Channel	Verkehrskanal
USSD		Unstructured Supplementary Service Data
VAS	Value Added Service	Mehrwertdienst
VLR	Visitor Location Register	Besucherdatei
VMSC	Visited MSC	Besuchtes MSC
VPLMN	Visited PLMN	Besuchsnetz
VSSF	Visited SSF	Besuchte SSF
VTK	Prepaid Calling Card	Vorausbezahlte Telefonkarte

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur des ETSI vor der Reorganisation 1996	8
Abbildung 2: GSM Netzarchitektur	11
Abbildung 3: SS.7 Protokollstapel	13
Abbildung 4: Protokolle in BSS und MSC	15
Abbildung 5: Die verschiedenen Protokolle des GSM	15
Abbildung 6: Konzeptionelles Modell der "Intelligenten Netze"	21
Abbildung 7: Funktionale Einheiten (FE) des IN-Modells innerhalb der Distributed Functional Plane (DFP)	22
Abbildung 8: Das Prinzip der Trennung von Signalisier- und Transportnetz	23
Abbildung 9: Verkehrstheoretisches Modell eines Verarbeitungssystems	24
Abbildung 10: Negativ exponentielle Verteilung, Verteilungsfunktion und allgemeine Beschreibung	26
Abbildung 11: Negativ exponentiell verteilte Zwischenankunftszeiten und Bediendauern	26
Abbildung 12: Lage der funktionalen USSD Blöcke	33
Abbildung 13: Erweitertes USSD-Schema mit externem Knoten; a) mit Standard USSD Handler, b) mit entartetem USSD Handler	34
Abbildung 14: Prinzipielle Struktur einer USSD Zeichenkette	35
Abbildung 15: Bitformat einer USSD Sequenz	37
Abbildung 16: Informationsflußdiagramm für eine MS-initiierte USSD Operation	38
Abbildung 17: Nachrichtenflußdiagramm für einen MS-initiierten, nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialog	40
Abbildung 18: Nachrichtenflußdiagramm für einen MS-initiierten, verbindungsgebundenen USSD-Dialog	41
Abbildung 19: Informationsflußdiagramm für eine netzinitiierte USSD Operation mit Austausch mehrerer Nachrichten	42
Abbildung 20: Nachrichtenflußdiagramm für einen netzinitiierten, nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialog	43
Abbildung 21: Nachrichtenflußdiagramm für einen netzinitiierten, verbindungsgebundenen USSD-Dialog	44
Abbildung 22: Funktionsweise des Dienstes Anrufübertragung	45
Abbildung 23: CAMEL Referenzarchitektur	48
Abbildung 24: Die an der CAMEL Dienstbereitstellung beteiligten Netze	49
Abbildung 25: Das CAMEL Basic Call State Model (BCSM) für abgehende Anrufe	51
Abbildung 26: Der CAMEL Basic Call State Model (BCSM) für ankommende Anrufe	52

Abbildung 27: Protokollelemente des CAMEL Application Part (CAP)	56
Abbildung 28: Verschachtelung der CAP-Nachrichten in den verschiedenen Protokollebenen	57
Abbildung 29: Herkömmlicher Verbindungsaufbau bei eingehenden Anrufen	61
Abbildung 30: Signalisierung bei eingehenden Anrufen zu einem Teilnehmer mit der Dienstklasse "Zusatzdienste für ankommende Anrufe" (ZAA)	62
Abbildung 31: EDBK: Einführung eines Drittanbieters	67
Abbildung 32: EDBK: Verbindung von der gsmSCF zu den BSCs	68
Abbildung 33: Erweiterung der Heimatdatei zum Dienststeuerknoten der offenen Dienstbereitstellung	70
Abbildung 34: Triggermechanismus für anrufbezogene USSD-Anwendungen innerhalb eines MSC	74
Abbildung 35: Mensch-Maschine-Prozedur für den Dienst universelle Nachrichtenablage	78
Abbildung 36: Komponenten, die in die Bereitstellung des Dienstes "universelle Nachrichtenablage" involviert sind.	79
Abbildung 37: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst VRI	80
Abbildung 38: Nachrichtenflußdiagramme für die Übertragung lokaler Verkehrsnachrichten a) via USSD und b) über einen Verkehrskanal ...	82
Abbildung 39: Mensch-Maschine Prozedur zur Programmierung und Aktivierung des Dienstes Anruffilter für eingehende Anrufe	83
Abbildung 40: Nachrichtenflußdiagramme für den Dienst Anruffilter für eingehende Anrufe, Implementierung in der MSC	85
Abbildung 41: Nachrichtenflußdiagramme für den Dienst Anruffilter für eingehende Anrufe, Implementierung in der Heimatdatei	86
Abbildung 42: Funktionsweise des Dienstes "Privater Numerierungsplan (PNP)"	87
Abbildung 43: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst PNP (CAMEL-basiertes EDBK)	88
Abbildung 44: Nachrichtenflußdiagramm für die Ausführung des Dienstes Anrufverteiler ...	90
Abbildung 45: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst Anrufprotokoll	92
Abbildung 46: Nachrichtenflußdiagramm für den Dienst VTK (CAMEL EDBK)	93
Abbildung 47: Nachrichtenflußdiagramm VTK (USSD-basiertes EDBK)	94
Abbildung 48: Nachrichtenflußdiagramm für den Teilnehmer-initiierten Dienst Tarifgebiet-Information	95
Abbildung 49: Nachrichtenflußdiagramme für netz-initiierte Tarifgebiet-Informationsversendung a) bei Wechsel des Tarifgebiets und b) bei eingehendem oder ausgehendem Anruf	96

Abbildung 50: Das analytische Modell mit seinen Modulen	101
Abbildung 51: Protokolle zwischen den Netzinstanzen	102
Abbildung 52: Netzarchitektur als Basis der Leistungsbewertung	104
Abbildung 53: Verkehrswerte für ein MSC und Knotengleichung	106
Abbildung 54: Zeit- und Frequenzvielfach im GSM System	107
Abbildung 55: Vergleich LAPD - LAPDm	111
Abbildung 56: Detaillierte Darstellung einer Übertragung mit Interleaving	112
Abbildung 57: Verzögerungen bei der LAPDm-Signalisierung	112
Abbildung 58: Interleavingverzögerung bei Interleavingtiefe 4	113
Abbildung 59: Sendesynchronisation für eine Schicht 2 Nachricht aus der Mobilstation	113
Abbildung 60: Umsetzung von Schicht 3 USSD Nachrichten auf LAPDm Rahmen	116
Abbildung 61: Sofortige Kanalzuweisung nach Anzeige des Verbindungswunsches	117
Abbildung 62: Weg zur Herleitung der Paging-/Zuweisungsverzögerung	118
Abbildung 63: Organisation der logischen Kanäle auf dem Funkmedium a) für kleine Zellen und b) für große und mittelgroße Zellen	120
Abbildung 64: Paging- und Zuweisungsverzögerung für netzinitiierte, verbindungsunabhängige USSD-Dialoge	122
Abbildung 65: Sofortige Kanalzuweisung bei MS-initiiertes Kanalanfrage	122
Abbildung 66: Verzögerung durch Zugriff auf den RACH	124
Abbildung 67: Vergleich zwischen approximativ und simulativ ermittelte Wartezeit eines M/G/n Wartesystems	126
Abbildung 68: Verzögerung durch die SDCCH-Kanalzuweisung	127
Abbildung 69: SDCCH Kanaleinrichtungsverzögerung bei MS-initiiertem USSD-Dialog	128
Abbildung 70: SDCCH Kanaleinrichtungsverzögerung bei netzinitiiertem USSD-Dialog	129
Abbildung 71: FACCH Kanaleinrichtungsverzögerung bei MS-initiiertem USSD-Dialog	130
Abbildung 72: Abbau eines SDCCH nach Beendigung eines USSD-Dialogs	131
Abbildung 73: Verzögerungszeiten auf der SS.7 Übertragungsstrecke	132
Abbildung 74: Verkehrstheoretisches Modell eines STP	133
Abbildung 75: STP Prozessor-Verarbeitungszeit TPV	134
Abbildung 76: Wartezeit QAUS	137
Abbildung 77: STP-Nachrichtenübermittlungsverzögerung TNÜ (Modell A)	139
Abbildung 78: Signalisiersystem mit Signalling Points (SP) und Signalling Transfer Points (STP)	139

Abbildung 79: Modell des SS.7 Signalling Point	140
Abbildung 80: Dialogaufbauzeit bei nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialogen in Abhängigkeit vom Zelltyp	146
Abbildung 81: Dialogaufbauzeit bei nicht verbindungsgebundenen USSD-Dialogen mit Parameter Dialoglänge	147
Abbildung 82: Antwortverzögerung während eines etablierten USSD-Dialogs für einen im EDK residierenden Dienst.	149
Abbildung 83: Dialogdauer bei verschiedener Unterbringung der USSD Anwendung für kurze (a) und lange (b) Dialoge	151
Abbildung 84: Datendurchsatz für netzinitiierte USSD-Dialoge	152
Abbildung 85: Anrufaufbauverzögerung durch den PNP Dienst	154
Abbildung 86: Dienstausführungszeit eines ortsabhängigen Dienstes	155
Abbildung 87: Anrufaufbauverzögerung durch den VTK Dienst	156
Abbildung 88: Anstieg der Knotenlast bei variierender Dienstnutzung gemäß dem Dienstmix	157
Abbildung 89: Anstieg der Verbindungslast bei variierender Dienstnutzung gemäß dem Dienstmix	158
Abbildung 90: Relative Erhöhung der Knoten- und Verbindungslast bei Nutzung des CAMEL-basierten erweiterten Dienstbereitstellungskonzepts ...	160
Abbildung 91: Knotendurchgangszeit der erweiterten Heimatdatei bei verschiedenen Diensten	162
Abbildung 92: Dienstausführungszeit für den ortsabhängigen Dienst	163
Abbildung 93: Zusätzliche Verbindungsaufbauzeit bei verbindungsgebundenen Diensten (PNP, VTK)	164
Abbildung 94: Dienstdauern im Falle von 0,05 (6,25%) Dienstbenutzungen pro HVSt und Teilnehmer	166
Abbildung 95: USSD versus CAMEL Diensterbringung	166

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Verschiedene Dienstbegriffe	18
Tabelle 2: Variablen der Kendall'schen Notation.	28
Tabelle 3: Klassifizierung der USSD-Sequenzen, vgl. Abbildung 14 für die Bedeutung der einzelnen Zeichen.	36
Tabelle 4: Länge der Schicht 7 PDUs der CAP Protokollelemente	57
Tabelle 5: Mögliche Triggerzustände für verbindungsgebundene USSD-Anwendungen	74
Tabelle 6: Netzstrukturmodell, Knotenhäufigkeit.	103
Tabelle 7: Benutzermodell für ein GSM Phase 2 Netz Werte für eine Hauptverkehrsstunde	105
Tabelle 8: Kenngrößen einiger Kanaltypen	108
Tabelle 9: Zelltypen und deren Kanalkonfigurationen	110
Tabelle 10: Übertragungszeiten von USSD Nachrichten über SDCCH und FACCH	116
Tabelle 11: Durchschnittliche Synchronisationswartezeiten für die verschiedenen Zelltypen	121
Tabelle 12: Belegungen und Verkehrsdichten für SDCCH-Nutzung	126
Tabelle 13: Variationskoeffizienten der verschiedenen Modelle zur Bestimmung von Qaus	137
Tabelle 14: Nachrichtenlängen	138
Tabelle 15: Gemessene Ausführungszeiten einiger MSC-Operationen	142
Tabelle 16: Statischer Dienstmix	153
Tabelle 17: Dialoglängen und Verarbeitungsdauern beim CAMEL-EDBK	159
Tabelle 18: Gegenüberstellung der Resultate der Leistungsbewertungen	165
Tabelle 19: Prozessorlast im BSC	183
Tabelle 20: Prozessorlast im MSC	184
Tabelle 21: Prozessorlast im HLR	184
Tabelle 22: NSS Signalisiervolumen	185
Tabelle 23: Signalisiervolumen A-Schnittstelle	186

Stichwortverzeichnis

A

analytisches Modell	101
Ankunftsrate des PAGCH	118
Anruffilter für eingehende Anrufe (AfeA)	82
Anrufprotokoll	91
Anrufübertragung ("Explicit Call Transfer, ECT")	45
Anrufverteiler	89
Antwortverzögerung	148
Anwendungsunterbringungen	153

B

Basic Call State Model	50
Bedienrate des PAGCH	120
Belegtwahrscheinlichkeit	29
Benutzermodell	104
Benutzermodell für ein GSM Phase 2 Netz	105
Block Recurrence Time, BRT	108
Block-Wiederkehrzeit	108

C

Calling Line Identity Presentation, CLIP	82
CAMEL	46
CAMEL Anrufzustandsautomat	50
CAMEL Architektur	48
CAMEL Basic Call State Model (BCSM) für abgehende Anrufe	51
CAMEL Basic Call State Model (BCSM) für ankommende Anrufe	52
CAMEL Subscription Information	53
CAMEL-basiertes erweitertes Dienstangebotmodell	66
Customised Applications for Mobile network Enhanced Logic (CAMEL)	46

D

Datendurchsatz der USSD-Dialoge	151
Deregulierung	1
Detection Point (DP)	50
Dialogaufbauzeit	145
Dienstaktivierung	16
Dienstangebot	16
Dienstausführung	16
Dienstbegriff in der Telekommunikation	16
Dienste für die erweiterten Dienstangebotskonzepte	77
Diensteinführung	16
Dienstesegment	169

Dienstlogikverzögerung	-162
Dienstregistrierung	16
Distributed Functional Plane (DFP)	21
Drittanbieter	67
Duplexabstand	-107
E	
EDGE (Enhanced Datarate for GSM Evolution)	-170
Ende-zu-Ende Dienste	18
erweiterte Heimatdatei	69
ETSI	-7
F	
FACCH	-114
FPLMTS	-7
Frequenzbänder	-106
G	
Global Functional Plane (GFP)	21
GPRS (General Packet Radio Service)	-170
Grunddienst	16
GSM	10
GSM Luftschnittstelle	-106
GSM Netzarchitektur	11
H	
HDLC	-110
HSCSD (High speed circuit switched data)	-170
I	
IMT-2000	7, 170
Intelligente Netze (IN)	19
Interleavingverzögerung	-113
International Telecommunication Union (ITU)	20
J	
JAVA	59
K	
Kanalabbau	-130
Kanaleinrichtung	-128
Kanalinstantiierung	-117
Kendall'sche Notation	28
Knotenhäufigkeit	-103
Knotenmodelle	-131

L

LAPDm	110
Leistungsbewertung	97
Leistungsbewertung der erweiterten Dienstanbietungsmodelle	99
Leistungsbewertung USSD-basierter Dienste	152
Leistungsbewertung von Telekommunikationsdiensten	97
Leistungsmerkmale aus Benutzersicht	99
Leistungsmerkmale aus Betreibersicht	99
Leistungsmerkmale aus Sicht des Dienstanbieters	100
Luftschnittstelle	106

M

M/G/1-FCFS	29
M/G/1-LCFS	29
M/G/n-∞/FCFS/NONPRE Wartesystem	125
M/M/1	29
Message Transfer Part	12
Messungen	142
Modelle zur offenen Dienstanbietung in GSM	65
Modellierungsgrenzen	143
MTP	12

N

negativ-exponentielle Verteilung	26
Netzstrukturmodell	102, 103
Nomenklatur	16
n-tes Moment	27
n-tes zentrales Moment	27

O

offene Dienstbereitstellung	3, 31
ortsabhängige Dienste (OAD)	79

P

Phasen im GSM-Standard	9
Physical Plane (PP)	21
Point in Call (PIC)	50
Poisson-Verteilung	25
Pollaczek-Khintchine Mittelwertformel	29
Privater Numerierungsplan	87
proprietäre Lösungen	60
Protokolle	12
Prozessorlast	141

R

RACE	31
Random Access Channel	123
Resultate	165
Roaming	12

S

Schnittstellen	12
Service Plane (SP)	21
Signalisierernetz	23
Signalling Transfer Point (STP)	133
Sprache	5
SS.7 Protokollstapel	13
Subscriber Identity Module (SIM)	58
Synchronisationswartezeit	121

T

Tarifgebiet-Information	94
TDMA-Rahmen	107
Token-Ring Wartesystem	135
Toleranzen	143
Transportnetz	23

U

Überlastprobleme im USSD-basierten EBDK	150
Übertragungsrate eines FACCH	115
Übertragungsrate eines SDCCH	114
UMTS	170
Universelle Nachrichtenablage	77
USSD als Protokoll-Container	75
USSD basierte Dienste	44
USSD basiertes erweitertes Dienstanbietungsmodell	71

V

Verkehrstheoretische Grundlagen	24
Verzögerung durch die Kanaluweisung	125
Vorausbezahlte Telefonkarte für GSM-Endgeräte (VTK)	92

Z

Zusatzdienst	16
--------------	----

Literaturverzeichnis

- [Adrian95] Marc Adrian, "Betreiberspezifische Dienste im GSM unter Einbeziehung neuer Erweiterungen des Mobile Application Part Protokolls", Diplomarbeit am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen, Dezember 1995
- [Bolch89] Gunter Bolch, "Leistungsbewertung von Rechensystemen mittels analytischer Warteschlangenmodelle", Stuttgart, Teubner, 1989
- [CFS.H414] RACE II Common Functional Specification H414 "Service Provisioning" Issue F, September 1995
- [ETSI] Internet-Homepage des European Telecommunication Standardization Institute <http://www.etsi.fr>
- [Euripides] Euripides' Tragödie "Orestes" (griechisch "Ὀρεστέα"), herausgegeben z.B. in A. Nauck "Tragoediae", 2. Auflage, Leipzig 1860, Bd. II, S. 255
- [Fröhlich97] Matthias Fröhlich, Dissertation am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH, Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1997
- [GMM97] ETSI PAC EG5 Report, "Global Multimedia Mobility (GMM), A Standardization Framework", April 1997
- [GSM01.02] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2+), General description of a GSM Public Land Mobile Network (PLMN) (GSM 01.02)", Version 5.0.0, März 1996
- [GSM01.78] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2+), Requirements for the CAMEL feature (GSM 01.78)", Version 0.2.0, Juli 1995
- [GSM02.30] ETSI, "European digital cellular telecommunications system, Man-Machine Interface (MMI) of the Mobile Station (MS) (GSM 02.30)" ETS 300 511, Version 4.13.0, März 1993
- [GSM02.78] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2+); CAMEL Service Definition (Stage 1) (GSM 02.78)", Version 5.0.0, Juli 1996
- [GSM02.81] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2), Line Identification Supplementary Service - Stage 1, (GSM 02.81)", Version 4.5.1, Dezember 1995
- [GSM03.38] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Alphabets and language-specific information (GSM 03.38)", Version 5.6.0, August 1997
- [GSM03.78] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic

- (CAMEL), (GSM 03.78)", Version 0.8.0, Juli 1996
- [GSM03.90] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2); Unstructured Supplementary Service Data (USSD) - Stage 2 (GSM 03.90)", ETS 300 549, Version 4.0.1, März 1994
- [GSM04.03] ETSI, "GSM 04.03 (prETS 300 552): "European digital cellular telecommunication system (Phase 2); Mobile Station - Base Station System (MS - BSS) interface Channel structures and access capabilities", Version 5.0.0, Mai 1996
- [GSM04.08] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2); Mobile Radio Interface - Layer 3 Specification, (GSM04.08)", Version 5.3.0, Juli 1996
- [GSM04.90] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2), Unstructured Supplementary Service Data (USSD) - Stage 3, (GSM 04.90)", Version 4.1.1, Februar 1995
- [GSM05.01] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2), Physical layer on the radio path, General description, (GSM 05.01)", Version 4.6.0, Dezember 1995
- [GSM08.06] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2); Signalling Transport Mechanism Specification for the BSS-MSC Interface (GSM 08.06)", Version 5.1.0, Mai 1996
- [GSM09.02] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2), Mobile Application Part Specification. (GSM 09.02)", Version 4.14.0, September 1996
- [GSM11.14] ETSI, "European digital cellular telecommunications system (Phase 2), G. Specification of the SIM Application Toolkit for the SIM-ME Interface., (GSM 11.14), Version 5.1.0, Juli 1996
- [Geulen96] Eckhard Geulen, "USSD Scheduler für Mobilfunk-Vermittlungsamt MSC", Patentschrift Nr. 19622007.6 beim deutschen Patentamt, Mai 1996, weltweite Anmeldung (PCT, Indien, USA) im Juli 1997.
- [Geulen9602] Eckhard Geulen, "USSD Positionierung", Patentschrift Nr. 19651110.0 beim deutschen Patentamt, Dezember 1996.
- [Geulen97] Eckhard Geulen, Jens Hartmann, "Open Service Provisioning in GSM", Performance considerations for the usage of CAMEL in GSM, EPMCC'97, Bonn, Oktober 1997
- [Geulen98] Alistair Munro, Eckhard Geulen, Michel Deguine, Giuseppe Melpignano, Ana Martinez, "Services and Applications: Requirements and Realizations in the UMTS Era", IEEE Communications Magazine, Februar 1998

- [Gunterm96] Guntermann, Martin, "Universelle Benutzermobilität auf Basis des Intelligenten Netzes - Entwurf, Bewertung und Implementierung", Verlag der Augustinus Buchhandlung, Aachen, 1996
- [Hartmann97] Jens Hartmann, "Leistungsbewertung neuartiger Dienstleistungsvarianten im zellularen GSM Mobilfunknetz", Diplomarbeit am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen, April 1997
- [INAP374-1] ETS 300 374-1, Intelligent Network; Core INAP; Part 1: Protocol Specification, September 1994
- [ITU-T E.164] ITU-T, "Telephone Network and ISDN, Operation, Numbering, Routing and Mobile Service Numbering Plan for the ISDN Era. Recommendation E.164", August 1991.
- [ITU-T E.500] ITU-T, Telephone Network and ISDN; Quality of Service, Network Management and Traffic Engineering (Recommendation E.500), June 1992
- [ITU-T E.600] ITU-T, "Telephone Network and ISDN; Terms and Definitions of Traffic Engineering. Recommendation E.600", März 1993
- [ITU-T Q.706] ITU-T, "Specification of Signalling System No. 7 - Message Transfer Part Signalling Performance, Recommendation Q.706", März 1993
- [ITU-T Q.761] ITU-T, "Functional Description of the ISDN user part of Signalling System No.7", März 1993
- [ITU-T Q.1201] ITU-T, "Principles of IN architecture. Recommendation Q.1201", Oktober 1992
- [ITU-T Q.1211] ITU-T, "Introduction to IN Capability Set 1", Recommendation Q.1211, März 1993.
- [ITU-T Q.1214] ITU-T, "Distributed Functional Plane for IN Capability Set 1. Recommendation Q.1214", March 1993
- [King90] Peter J.B. King, "Computer and Communication Systems Performance Modelling", Prentice Hall International (UK) td., 1990
- [Kleier96] Stephan Kleier, "Neue Konzepte zur Unterstützung von Mobilität in Telekommunikationsnetzen", Verlag der Augustinus Buchhandlung, 1996
- [Kleinrock75I] Leonard Kleinrock, "Queueing Systems, Volume I: Theory", John Wiley & Sons, New York, 1975
- [Kleinrock75II] Leonard Kleinrock, "Queueing Systems, Volume II: Computer Applications", John Wiley & Sons, New York, 1975
- [Knetsch95] Dr. Werner Knetsch, "Der Telekommunikationsmarkt im Jahr 2010", in: Siemens telcom report, 18. Jahrgang Juli/August 4/95, S. 158ff

- [Lazar97] Aurel A. Lazar, "Programming Telecommunication Networks", IEEE Network Magazine, September/Okttober 1997 (Vol. 11, No. 5)
- [Matlab93] Matlab High Performance Numeric Computation and Visualization Software. User's Guide. The MathWorks, Inc., Juli 1993
- [MathWorks] Internet homepage der Firma The MathWorks, Inc.
<http://www.mathworks.com/>
- [MobileIP] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat, "A Mobile Networking System based on Internet Protocol", IEEE Personal Communications, 1070-9916/94/\$04.00, S.32ff. [aktuelle Quellen zum Mobile IP draft unter <ftp://software.watson.ibm.com/pub/mobile-ip/>]
- [Mobilise93] RACE Project Mobilise, Deliverable D10, "PSCS Usage Scenarios - Report 1", CEC deliverable R2003/EMP/CT1/DS/P/010/b1, October 1993
- [Mobilise95] RACE Project Mobilise, Final Report, "Mobilise - Researching Personal Communication for the Telecommunications Services of the 1990's", December 1995
- [MouPau92] Michel Mouly, Marie-Bernadette Pautet, "The GSM System for Mobile Communications", Cell & Sys. Correspondence, Palaiseau, France, 1992
- [MouPau95] Michel Mouly, Marie-Bernadette Pautet, "Current Evolution of the GSM Systems", in: IEEE Personal Communications, October 1995, 1070-9916/95/\$04.00, S. 9 ff
- [Reilly96] Dr. Patrick L. Reilly, IsoQuantic Technologies, "GSM Network Architecture Issues: Synergy with FPLMTS", publiziert im Internet unter <http://www.isoquantic.com/GSMpaper-1.htm>
- [Sieg93] Gerd Siegmund, "Grundlagen der Vermittlungstechnik", Heidelberg, 1993
- [Tanenb96] Andrew S. Tanenbaum "Computer Networks", Third Edition, Prentice-Hall International, Inc., NJ 07458, 1996
- [Walke92a] Bernhard Walke, "Kommunikationsnetze und Verkehrstheorie II, Verkehrstheoretische Modelle von Echtzeitsystemen und Rechnernetzen", Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung, Sommersemester 1992
- [Walke96] Bernhard Walke, "Kommunikationsnetze und Verkehrstheorie I, Dienste und Protokolle digitaler Kommunikationsnetze", Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung, Wintersemester 1996/97
- [Walke98] Bernhard Walke, "Mobilfunknetze und ihre Protokolle", Band 1, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1998

- [Wierichs96] Oliver Wierichs, "Theoretische und meßtechnische Untersuchung zum Zeit- und Durchsatzverhalten Intelligenter Netze für die zukünftige Telekommunikation", Diplomarbeit am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen, Juli 1996
- [Zavagli97] Guido Zavagli, "Leistungsbewertung betreiberspezifischer Dienstaniebung im zellularen GSM Mobilfunknetz", Diplomarbeit am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen, September 1997

Ferner floß in die Arbeit zwangsläufig Hintergrundwissen aus der Arbeit bei der Firma Ericsson ein. Die vorhandenen Informationen hatten stets nur unterstützende Funktion und waren in keiner Weise richtunggebend. Insbesondere enthielten die internen Quellen keine für das Thema der Arbeit relevanten Erweiterungen bekannter Systeme, sondern wurden einzig zum Zweck der quantitativen Untermauerung gemachter Aussagen genutzt, soweit sie nicht als solche der Geheimhaltung unterliegen. Aus Gründen des Datenschutzes ist die betreffende Information abstrahiert und kann o.B.d.A. auf beliebige Telekommunikationsnetze bezogen werden. Folgende Dokumente wurden genutzt:

- [Ericsson01] Ericsson. Explicit Call Transfer in MSC/VLR, 1994.
- [Ericsson02] Ericsson. USSD Capacity and Characteristics, 1995.
- [Ericsson03] Ericsson. Services on standard MS for GSM, phase 2, November 1996.
- [Ericsson04] Ericsson. Scenarios for services on standard MS for GSM, phase 2, November 1996.
- [Ericsson05] Ericsson. System Characteristics CME 201 R5B, December 1995.
- [Ericsson06] Ericsson. Detailed Signalling Times for CME 20 R5, February 1996.
- [Ericsson07] Ericsson. Access Network Modelling and Simulation, October 1995.
- [Ericsson08] Ericsson. Indication of Tariff Area to Mobile Subscriber in MSC/VLR, May 1996.
- [Ericsson 09] Ericsson. Message Transfer Times in STPs, April 1996.
- [Ericsson10] Ericsson. Test results from characteristic test, November 1996.
- [Ericsson11] Ericsson. Test report - load test and system characteristic measurements, August 1996.
- [Ericsson12] Ericsson. IN dimensioning guidelines, January 1996.
- [Ericsson13] Ericsson. HLR standalone, Calculations for the default traffic model, March 1995.

Nachwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit in der Forschungsabteilung der Ericsson Eurolab Deutschland GmbH. Die Firma Ericsson stellte für mich ein stimulierendes Arbeitsumfeld dar und zeigte sich stets entgegenkommend, wofür ich mich hiermit bedanke.

Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke für die fortwährende Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit sowie für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Ich habe in Herrn Prof. Walke stets einen überaus kompetenten und hilfsbereiten Lehrer und Diskussionspartner gefunden. Herrn Prof. Dr. rer. nat. Thomas Bemmerl danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferats.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meiner Frau Therese, die mich durch alle Höhen und Tiefen der Arbeit liebend begleitet und mich nach dem Tod unseres Sohnes Simon zur Weiterarbeit ermutigt hat.

Meinem Bruder Benedikt danke ich für die Durchsicht des Manuskripts im Hinblick auf orthographische und semantische Fehler. Meinem Kollegen Elmar Pritsch gebührt Dank für die moralische Unterstützung während meines gesamten Promotionsvorhabens. Allen Diplom- und Studienarbeitern danke ich für ihre wertvolle Mithilfe.

Aachen, im Juli 1998

Eckhard Geulen

AACHENER BEITRÄGE ZUR MOBIL- UND TELEKOMMUNIKATION

ABMT Band 1

Herrmann, C.

Stochastische Modelle für ATM-Konzepte,
1. Auflage 1995, 138 Seiten;
ISBN 3-86073-380-X

ABMT Band 2

Lawniczak, D. R.

Modellierung und Bewertung der Datenverwaltungskonzepte in UMTS,
1. Auflage 1995, 230 Seiten;
ISBN 3-86073-381-8

ABMT Band 3

Junius, M.

Leistungsbewertung intelligenter Handover-Verfahren für zellulare Mobilfunksysteme,
1. Auflage 1995, 208 Seiten;
ISBN 3-86073-382-6

ABMT Band 4

Steffan, H.

Stochastische Modelle für den Funkkanal und deren Anwendung,
1. Auflage 1996, 164 Seiten;
ISBN 3-86073-383-4

ABMT Band 5

Böhmer, S.

Entwurf eines ATM-basierten Funknetzes und Software-Entwurfsmethodik zur Implementierung,
1. Auflage 1996, 172 Seiten;
ISBN 3-86073-384-2

ABMT Band 6

Guntermann, M.

Universelle Benutzermobilität auf der Basis des Intelligenten Netzes - Entwurf, Bewertung und Implementierung -,
1. Auflage 1996, 164 Seiten;
ISBN 3-86073-385-0

ABMT Band 7

Kleier, S.

Neue Konzepte zur Unterstützung von Mobilität in Telekommunikationsnetzen,
1. Auflage 1996, 204 Seiten;
ISBN 3-86073-386-9

ABMT Band 8

Decker, P.

Entwurf und Leistungsbewertung hybrider Fehlersicherungsprotokolle für paketierte Sprach- und Datendienste im GSM-Mobilfunksystem,
1. Auflage 1997, 232 Seiten;
ISBN 3-86073-387-7

ABMT Band 9

Hußmann, H.

Algorithmen zur Kapazitätsoptimierung schnurloser Mobilfunksysteme nach DECT-Standard,
1. Auflage 1997, 180 Seiten;
ISBN 3-86073-388-5

ABMT Band 10

Plenge, C.

Leistungsbewertung öffentlicher DECT-Systeme,
1. Auflage 1997, 258 Seiten;
ISBN 3-86073-389-3

ABMT Band 11

Kennemann, O.

Lokalisierung von Mobilstationen anhand ihrer Funkmeßdaten,
1. Auflage 1997, 162 Seiten;
ISBN 3-86073-620-5

ABMT Band 12

Wietfeld, C. M.

Mobilfunksysteme für die europäische Verkehrsleittechnik - Leistungsanalyse des CEN-DSRC-Standards -,
1. Auflage 1997, 210 Seiten;
ISBN 3-86073-621-3

ABMT Band 13

Görg, C.

Verkehrstheoretische Modelle und stochastische Simulationstechniken zur Leistungsanalyse von Kommunikationsnetzen,
1. Auflage 1997, 220 Seiten;
ISBN 3-86073-622-1

ABMT Band 14

Shahbaz, M.

Zufallsgesteuerte Verfahren zur Topologieoptimierung von Telekommunikationsnetzen,
1. Auflage 1998, 208 Seiten;
ISBN 3-86073-623-X

ABMT Band 15

Frühlich, H. M.

Mehrwertdienste intelligenter Netze zur Realisierung der universellen, persönlichen Mobilität,
1. Auflage 1998, 208 Seiten;
ISBN 3-86073-624-8

ABMT Band 16

Geulen, E.

Modelle zur Realisierung offener Dienste in zellularen Mobilfunknetzen nach dem GSM-Standard,
1. Auflage 1998, 224 Seiten;
ISBN 3-86073-625-6

