

**Untersuchungen von Performance-Auswirkungen auf das
GSM-Netz durch Einführung eines zentralen
Home Location Register**

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von Dipl.-Ing. Gerd Siegmund
geboren am 25.12.1954 in Eilte Kreis Bad Fallingbostel

2007

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. Klaus Jobmann
 2. Referent: Prof. Dr. rer. nat. Georg Schlüchtermann
- Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Christian Grimm

Tag der Promotion: 17.07.2007

Vorwort

Die meisten klassischen Telekommunikationsnetze wurden in der Vergangenheit für einen bestimmten Zweck geplant. Die Netze der nächsten Generation sollten universelle Netze sein, die offen verschiedene Anwendungen unterstützen sollten. Diese Anforderungen bleiben nicht ohne Einfluss auf das Design und die Architektur der Netze. Aufgrund der Größe dieser Netze und ihrer internationalen Verflechtung waren die Netzelemente auch immer große Investitionsgüter, die daher nur langsam verlaufenden Veränderungen nachgaben. Aus diesem Grund baute man früher für fast jede benötigte Funktion neue Netzelemente, die zusammen mit den jeweils erforderlichen (oft völlig neuen) Kommunikationsprotokollen in die Netze eingebunden wurden. Hieraus ist aus heutiger Sicht weder für den aktuellen Betrieb, noch für die weitere Entwicklung dieser Netze kein optimales System „erwachsen“. Nun gibt es inzwischen neuere Lösungen für verteilte Informationssysteme der IT-Netze, die ihren Einzug auch in die Telekommunikation halten werden. Der objektorientierte Ansatz brachte in der Softwareentwicklung offene und sehr leicht wieder verwendbare Komponenten. Auch hier gibt es die Problematik, vorhandene, gewachsene Systeme in moderne Konzepte, Oberflächen oder Sicherheitssysteme einzubinden. Hier wird die Anwendung nicht mehr in einer Komponente fixiert, sondern diese Lösungen ermöglichen es, von verteilten Systemen auf einen Prozess zuzugreifen (serviceorientierte Architekturen wie z. B. Web-Services).

Entgegen der bisherigen Praxis müssten sich hierbei einmal die hergebrachten Netze den neuen Architekturen über einen Gateway anpassen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dieser Anpassung. In dieser Arbeit wird die Funktion „Authentication“ zentral auf Basis eines Web-Service realisiert und die notwendige Anpassung des GSM-Netzes betrachtet. Insbesondere werden mögliche Architekturen dargestellt und deren Performance genauer betrachtet.

Danksagungen

Diese Arbeit wäre ohne den Anstoß und die hervorragende Betreuung durch Herrn Prof. Dr. Klaus Jobmann nicht möglich gewesen. Dieses Vorhaben dann tatsächlich in Stuttgart die Tat um zu setzen war dank der tatkräftigen Unterstützung von Herrn Dr. Stephan Rupp möglich, er sorgte für die Rahmenbedingungen meiner Arbeit und legte zusammen mit Franz Josef Banet den Grundstein für die Restrukturierung der Netze. Zu dieser Idee konnte ich mit dieser Arbeit beitragen. Für die kreativen Diskussionen und fachlichen Hinweise bedanke ich mich bei herzlich bei Franz Josef Banet und Andreas Diehl sowie den Kollegen Rodolfo Lopez, Markus Lehmacher und Heinrich Hintzen von Alcatel Lucent. Frau Dagmar Kafka danke ich für das kritische Korrekturlesen.

Meiner Frau Renate und meinem Sohn Jan möchte ich aus ganzem Herzen danken, dass sie mich in vielfältigster Weise unterstützten, ihnen gehörte eigentlich ein großer Teil der Zeit die ich mit dieser Arbeit verbrachte.

Stuttgart, Juli 2007

Gerd Siegmund

Kurzfassung

Neue Dienste entstehen heute vielfach auf der Basis des Internetprotokolls und dessen Anwendungen. Die klassischen Fest- und Mobilnetze, WLAN und UMTS entwickeln sich in diese Richtung. Häufig stellt das Internetprotokoll aber in diesen Netzen nur die Transportbasis, die hergebrachten Architekturen dieser Netze bleiben jedoch erhalten.

Zweifelsfrei werden die mobilen Anwendungen über die reine Bedienung der menschlichen Benutzern hinaus wachsen und mehr und mehr Fahrzeuge (z.B. für Telematikanwendungen), Verkaufsautomaten oder generell die Kommunikation zwischen Maschine unterstützen. Auf der anderen Seite werden die Benutzer sich in sog. Personal Area Networks kommunizieren, womit die Bedeutung von Benutzer- und Service-Profilen immer mehr zunimmt.

Die Anwendungen enthalten dabei jeweils die eigenen Teilnehmerdaten, gespeichert in einer, über das Netz verteilten, Datenbank. Diese verfügen zumeist über jeweils eigene Management-Systeme und spezifischen Schnittstellen zu den Zentralen für die Teilnehmerverwaltung und der Tarifierung.

Grundsätzlich unterscheiden sich die Architekturen der klassischen Telekommunikationsnetze und die des Internets in vielen Punkten. Die gegenwärtigen Systemstrukturen, wie Datenbanken, HLR, AAA-Server, MMS-Server Systeme für die Rufnummernportabilität und andere speichern eine Anzahl von identischen Daten, die über die verschiedenen Anwendungen konsistent gehalten werden müssen. Der Aufwand für die Betreiber für die Netzplanung, die Teilnehmerverwaltung oder zum Einbringen neue Dienste steigt dramatisch an. Selbst neue Architekturen, wie IMS unterstützen immer noch die etablierten Strukturen. Von führenden Telekommunikationsherstellern wie Alcatel-Lucent werden daher Konzepte zur strukturellen Vereinfachung der Telekommunikationsnetze und zur Realisierung zukünftiger, erweiterter Dienste auf der Basis des Internetprotokolls vorangetrieben. Diese Konzepte basieren dabei häufig auf bereits verfügbare Mechanismen des Internets bzw. seine Dienste, wie Storage Area Networks (SAN) bzw. dem Simple Object Access Protocol (SOAP) und Fast Web Services.

Dieser neue Ansatz zur Realisierung von Telekommunikationsnetze, hier als „restrukturierte Netze“ bezeichnet, wird in diesem Beitrag untersucht, simuliert und schließlich mit der Performanz der klassischen Netze verglichen. Drei verschiedene Ansätze für ein Netz-Design des GSM-Netzes in der Migration in Richtung solcher Architekturen wurden untersucht:

1. Als Referenzsystem wurde das GSM-Netz mit 40 verteilten HLR verbunden über eine Anzahl von 64-kbit/s-Kanäle für den Austausch der Signalisierung untersucht.
2. Das GSM-Netz mit einem zentralisierten HLR, unter Verwendung von schnellen Verbindungsleitungen auf der SDH-Technik und hoch performanten Datenbanken auf XML-Basis und SOAP. Mit diesem Modell wurde ein Gateway in das vorhandene GSM-Netz eingebracht, um die ASN.1-Nachrichten in das XML-Format zu adaptieren.
3. Ein GSM-Netz mit einem zentralisiertem HLR und einer Cache-Datenbank und einem Gateway zur Anpassung der Signalisierungsnachrichten von dem ASN.1-Format in die XML-Form auf der Basis von SOAP.

Die Ergebnisse der Berechnung bzw. Simulation zeigten, dass die restrukturierten Netze einen realisierbaren Ansatz darstellen. Mit kleinen Anpassungen auf der Seite des GSM-Netzes können die hohen Anforderungen für kurze Systemantwortzeiten erfüllt werden. Die beschriebenen Architekturen sind darüber hinaus offen für Authorization-Anfragen aus anderen Systemen, wie WLAN oder WiMAX, und sind dadurch für neue Architekturen wie IMS und TISPAN nutzbar.

Abstract

The future of any communication system will be based on IP. The present fixed and mobile networks, WLAN and UMTS are some of the new technologies which are foreseen to carry many new service applications based on IP. But this will be used only as a transport network. Older, complex network architectures still remain. In the near future, it is expected that mobile networks will go beyond connecting people and will connect an increasing number of machines, appliances, consumer devices, sensors and actuators. Also, users will connect through personal area networks and the importance of user profiles and service profiles will grow.

Most certainly, mobile applications will grow beyond serving human users, and increasingly serve vehicles (e.g. for telematics), vending machines and machine to machine communication in general. In addition, the applications contain their own subscriber data, usually stored locally in the application's database (distributed across the network), managed from their own management systems and with their own interfaces to Customer Care and Billing Systems.

The classical telecommunication and the classical IP design approach are different in several points. In current designs, databases like HLR, AAA-Servers, MMS, Number Portability and others keep a significant amount of identical data that have to be kept consistent across all applications. For Network Operators, the effort to plan, to administrate and to introduce new services in those networks increases dramatically. New architectures, such as the IMS, maintain the current design principles. Therefore a concept describing how to simplify current and future telecommunication networks with an internet-based approach for service introduction is under preparation by major telecom equipment providers such as Alcatel-Lucent. The concept uses already available mechanisms, like Storage Area Networks (SAN) or Simple Object Access Protocol (SOAP) and Fast Web Services from the Internet-network and -service approach to simplify classical telecommunication networks.

In this environment the performance of such a new telecommunication network, here referred to as a "Restructured Network", has to be analyzed, simulated and finally compared with the performance of legacy telecommunication networks. Three different approaches for a GSM-Network design during migration phase towards the new architectures were investigated:

1. As a reference model a conventional GSM-Network with 40 distributed HLR and their interconnections with a number of 64-kbit/s-links for signalling.
2. A GSM-Network with one centralized HLR, interconnection via SDH and with a high performance Database, using XML and SOAP. With this model a Gateway was introduced to adapt the ASN.1-Messages to messages with a XML-base.
3. A GSM-Network with one centralized HLR and one Cache-database with a Gateway to adapt the ASN.1-Messages interconnect via SDH to a high performance database using XML an SOAP.

The results of calculation/simulation show that the Restructured Network represents a feasibly approach. With small adaptations on the GSM-side the hard requirements of for short response time could be met. The defined architecture is open for other authorization requests, via WLAN, WiMAX, and thus applies for new network architectures including IMS and TISPAN.

Schlagworte

UMTS, WLAN, Storage Area Networks (SAN), SOAP, Home Location Register (HLR), Leistungsbewertung, AAA.

Keywords

UMTS, WLAN, Storage Area Networks (SAN), SOAP, Home Location Register (HLR), Performance Modelling, AAA.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Kurzfassung	V
Abstract	VII
Schlagworte	IX
Keywords	IX
Inhaltsverzeichnis	XI
Abbildungsverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XVII
Verwendete Formelzeichen und Indizes	XXI
1 Einführung	1
1.1 Motivation	1
1.2 GSM-Architektur	3
1.3 Die UMTS-Entwicklung	6
1.4 Zielsetzungen	8
1.4.1 Technologie-Update im GSM-Netz	9
1.4.2 Authentifizierung von Teilnehmern alternativer Zugangssysteme	10
1.4.3 Restrukturierung des Kommunikationsnetzes	10
1.5 Aufbau der Arbeit	11
2 Architekturen	12
2.1 GSM-Architektur	12
2.2 Schnittstellen	16
2.3 Festlegung der Vergleichsgröße	19
2.4 Authentifizierung	21
2.5 Performance heute	23
2.6 Ziel-Architektur	23
3 Modellierung	30
3.1 Festlegung der Simulationsparameter	31
3.1.1 Allgemeine Rahmendaten	31
3.1.2 Anfragen an das HLR	32
3.1.3 Berechnung der durchschnittlichen Nachrichtenlänge für ASN.1	37
3.1.4 Mittlere Belegungsdauer für den Signalisierungslink	38
3.1.5 Berechnung der durchschnittlichen Nachrichtenlänge für XML	40
3.2 Parameter der drei Modelle	41
3.2.1 Modell A	41
3.2.2 Modell B	44
3.2.3 Modell C	48

3.3	Komponenten	52
3.3.1	Gateway	52
3.3.2	Lokaler Cache	56
3.3.3	Zentrales HLR	57
3.4	Performance-Berechnungen	62
3.4.1	Quellen	63
3.4.2	Link zwischen MSC und Gateway	63
3.4.3	Ü-Technik-Link T2.1 bis T2.4	64
3.4.4	Gateway	64
3.4.5	Lokale-DB	65
3.4.6	Ü-Technik Gateway-DB	65
3.4.7	Datenbank	65
3.4.8	Rückweg	66
3.4.9	Gesamtformel	66
3.5	Simulationsergebnisse	67
3.5.1	Modell A	67
3.5.2	Modell B	69
3.5.3	Modell C	72
4	Erweiterung der Architektur	76
4.1	Öffnung für andere Netze	76
4.1.1	Grundsatzbetrachtung	76
4.2	Authentifizierung am WLAN-Hotspot	77
4.2.1	Anschaltung von WLAN am GSM	78
4.2.2	EAP-Arbeitsweise	79
4.2.3	EAP-SIM und EAP-AKA	83
4.2.4	Authentifizierung nach 802.1x mit EAPoL und TLS	84
4.3	WiMAX	87
4.4	Auswirkungen auf die Performance	88
5	Zusammenfassung	89
5.1	Migration des GSM-Netzes	89
5.2	Interpretation der Ergebnisse	90
5.3	Potentiale	92
5.4	Kritische Bewertung	94
5.5	Offene Punkte und Verweise auf weitere Arbeiten	95
Anhang		96
A.1	Parameter der Simulationsmodelle	96
A.2	Umsetzung der ASN.1-Nachrichten	102
A.3	Quellen	104
Lebenslauf		109

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: UMTS-Architektur.....	1
Bild 2: GSM-Architektur	3
Bild 3: Location Update	4
Bild 4: Architektur mit CS- und PS-Domain (GSM2+)	5
Bild 5: HSS und HLR	6
Bild 6: Schnittstellen am HSS	7
Bild 7: Netzrestrukturierung	8
Bild 8: Vernetzung zwischen MSC, HLR und VLR	12
Bild 9: Teilnehmerentwicklung in Deutschland	13
Bild 10: Routing zum MSC/VLR anhand der ersten zwei Ziffern der Rufnummer	14
Bild 11: Routing zum MSC/VLR über das zentrale HLR	15
Bild 12: Strukturiertes 2,048-Mbit/s-Rahmen	16
Bild 13: Strukturierte und unstrukturierte Übertragung	17
Bild 14: Zeit für den Nachrichtentransport einer 71-Oktett-Nachricht	18
Bild 15: Zeit für den Nachrichtentransport einer 238-Oktett-Nachricht	18
Bild 16: Mobile Terminating Call (MTC)	19
Bild 17: GSM-Authentifizierungsprozedur	22
Bild 18: Daten im HLR und VLR	23
Bild 19: Aufbau der zentralen Datenbank	24
Bild 20: Das GSM-Netz mit einem zentralen HLR	25
Bild 21: Web Services	26
Bild 22: Service-Aufruf und Binding	27
Bild 23: GSM-Handy am LAN	28
Bild 24: Web-Service-Zugriffe im Internet.....	29
Bild 25: Dienst im UDDI-Server suchen	29
Bild 26: Location Update mit VLR-Wechsel (external location Update)	33
Bild 27: Request Triplets	33
Bild 28: Mobile Terminating Call	34
Bild 29: Mobile Originating Call	35
Bild 30: Location based Services	36
Bild 31: Szenario für den Short Message Service (SMS)	36
Bild 32: Summe der Anforderungen zum HLR	37
Bild 33: Aufteilung der Anfragen	37
Bild 34: Approximation eines Mehr-Server-Systems zu einem Einzelsystem	38

Bild 35: Übersichtsbild, Modell A	41
Bild 36: Gesamtkonfiguration Modell A	42
Bild 37: Übersichtsbild, Modell B	44
Bild 38: Gesamtkonfiguration Modell B	45
Bild 39: Übersichtsbild, Modell C	48
Bild 40: Gesamtkonfiguration Modell C	49
Bild 41: Protokollstapel für die Übertragung zur zentralen Datenbank	52
Bild 42: UI-Block für die Übertragung nach dem PPP	53
Bild 43: Struktur des Gateway	53
Bild 44: Grundsätzliche Möglichkeiten für SOAP-Nachrichten	54
Bild 45: Abbildung von ASN.1-Nachrichten in SOAP	54
Bild 46: Instanzen zur Interpretation der SOAP-Nachrichten in der Datenbank ..	55
Bild 47: Gateway im Simulationsmodell	55
Bild 48: Lokale Datenbank im Simulationsmodell	56
Bild 49: Die zentrale Datenbank in der Simulation	57
Bild 50: Modell der zentralen Datenbank	58
Bild 51: ISS-Realisierung bei Alcatel-Lucent	59
Bild 52: Duplizierung der zentralen Datenbank	60
Bild 53: Gemeinsames Teilnehmerprofil	60
Bild 54: Hierarchische Organisation der Elemente eines Teilnehmerprofils	61
Bild 55: Partitionierung der Daten	61
Bild 56: Laufzeiten im Modell C	62
Bild 57: Modell A mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s	67
Bild 58: Modell A mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 2 Mbit/s	67
Bild 59: Modell A mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 140 Mbit/s	68
Bild 60: Einfluss der Location-based-Services	68
Bild 61: Modell B mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s	69
Bild 62: Modell B mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 2 Mbit/s	69
Bild 63: Modell B mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 140 Mbit/s	70
Bild 64: Vergleich erzielten Laufzeiten in Abhängigkeit von den Link-Geschwindigkeiten	70
Bild 65: Zusammenhang zwischen der Bedienzeit des Gateway und der Datenbank	71
Bild 66: Zusammenhang zwischen der Bedienzeit der Datenbank und des Gateway	72
Bild 67: Modell C mit 64-kbit/s-Links	72
Bild 68: Modell C mit 2-Mbit/s-Links	73
Bild 69: Modell C mit 2-Mbit/s-Links, vergrößert	73
Bild 70: Modell C mit 140-Mbit/s-Links, vergrößert	74
Bild 71: Anforderungen an die zentrale Datenbank	74
Bild 72: Anforderungen an die zentrale Datenbank Modell B und C	75

Bild 73: Laufzeit in Abhängigkeit von der Cache-Wahrscheinlichkeit	75
Bild 74: Authentifizierung anderer Zugänge	76
Bild 75: WLAN-Authentifizierung im HSS/HLR	78
Bild 76: WLAN-Authentifizierung im HSS/HLR	79
Bild 77: EAP-Wirkungsweise	80
Bild 78: EAP-Funktionsablauf	81
Bild 79: Aufbau der EAP-Pakete	82
Bild 80: Gateway zwischen WLAN und GSM	83
Bild 81: Der Gateway im Referenzmodell	84
Bild 82: EAP-TLS verwendet einem AAA-Server	85
Bild 83: Nachrichtenablauf für EAP-TLS	86
Bild 84: WiMAX-Architektur	87
Bild 85: Die zentrale Datenbank in der Simulation	90
Bild 86: Realisierung durch Parallelisierung der Prozessoren	90
Bild 87: Umrechnung der realen Werte	91
Bild 88: Öffnung der Zugänge zur Datenbank	93
Bild 89: Entwicklung und Trends der Verkehrswerte und Belegungszeit	94



Abkürzungsverzeichnis

3GPP	Third Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
AC	Authentication Center
AKA	Authentication and Key Agreement
ASN.1	Abstract Syntax Notation One
Att/s	Attempts per Secuond
BER	Binary Encoding Rules
BNetzA	Bundesnetz-Argentur
BSC	Base Station Controller
CAMEL	Customized Application for Mobile Enhanced network
CAP	CAMEL Application Part
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CS	Circuit Switched
CSCF	Call Session Control Functions
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System (Service) Protocol
EAP	Extensible Authentication Protocol
EAPoW	WAP over WLAN
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HLR	Home Location Register
HSS	Home Subscriber Server
http	Hypertext Transfer Protocol
IAM	Initial Address Message
ICE	InterCityExpress
ICMP	Internet Control Message Protocol
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IN	Intelligentes Netz
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISS	Intelligent Storage System
Kc	Cipher Key

Ki	Individual Key
LBS	Location Based Services
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LRU	Least Recently Used
M3UA	MTP-Adaptation Layer User Agent
MAC	Medium Access Control
MAP	Mobile Application Part
MOC	Mobile originating Call
MSC	Mobile Service Switching Center
MSISDN	Mobile Subscriber Number
MSRN	Mobile Subscriber Roaming Number
MTC	Mobile Terminating Call
MTP	Message Transfer Part
NGN	Next Generation Networks
NGPR	Next Generation Profile Register
OSA	Open Service Architecture
OSA-AS	OSA-Application Server
OTA	One Time Password Authentication
PER	Packet Encoding Rules
PKM	Private-Key-Management Protocol
PoC	Push-to-Talk-over-Cellular
POH	SDH-Path-Overhead
PPP	Point-toPoint Protocol
PS	Packet Switched
PWLAN	Public WLAN
RAND	Random Number
SAN	Storage Area Networks
SCP	Service Control Point
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDH	Synchrone Digitale Hierarchie
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIGTRAN	Signaling Transport
SIM	Subscriber Identity Module
SIP	Session Initiation Protocol
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SOA	Service Oriented Architectures
SOAP	Simple Object Access Protocol

SON	Services oriented Networks
SRES	Signed Response
TCAP	Transaction Capabilities Application Part
TISPAN	Telecomms & Internet converg.. Services & Protocols for Advanced Networks (ETSI)
TK-Anl.	Telekommunikationsanlage
TLS	Transport Layer Security
UDDI	Universal Description, Discovery and Integration
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
URI	Uniform Resource Identifier
USIM	UMTS-SIM-Card
VLR	Visitor Location Register
WAP	Wireless Application Protocol
WDM	Wavelength Division Multiplex
WDSL	Web Service Description Language
WEP	EAP over Ethernet
WEP	Wired Equivalent Privacy
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless-LAN
WSDL	Web Service Description Language
XML	Extensible Markup Language

Verwendete Formelzeichen und Indizes

A_{Link}	Verkehrsangebot pro Link
c	Lichtgeschwindigkeit
D	Zugriffszeit realisierte Datenbank
$\text{length}_{\text{MSG}}$	Nachrichtenlänge
m	Anzahl der Nachrichten
N	Anzahl der Kanäle
P_{Local}	Wahrscheinlichkeit, Ergebnis in der lokale Datenbank
$\text{Speed}_{\text{Link}}$	Übermittlungsgeschwindigkeit des Link
TA	Feste Verzögerungszeit
t_{bearb}	Übertragungszeit für Signalisierungsnachrichten
TC	zentrale Datenbank feste Verzögerungszeit
TD	feste Verzögerungszeit zentrale Datenbank
t_{DB}	Laufzeit durch die zentrale Datenbank
TG	feste Verzögerungszeit Gateway
t_{gess}	Gesamtzeit für die Übertragung im strukturierten Mode
t_{gesu}	Gesamtzeit für die Übertragung im unstrukturierten Rahmen
t_{GW}	Laufzeit durch den Gateway
TL	feste Verzögerungszeit der lokale Datenbank
t_{Local}	Laufzeit durch die lokale Datenbank
t_{m}	Zeit für die Übertragung einer Nachricht
t_{MTC}	Antwortzeit des HLR für den Mobile Terminating Call
$t_{\text{MTC_Cent}}$	Durchlaufzeit, Ergebnis wird in der zentralen Datenbank gefunden
$t_{\text{MTC_Local}}$	Durchlaufzeit, Ergebnis wird in der lokalen Datenbank gefunden
$t_{\text{Serial_Link_x}}$	Serialisierungszeit Link unter verschiedenen Bedingungen
$t_{\text{Trans_x}}$	Laufzeit der Nachrichten (Systemdurchlaufzeit + Signallaufzeit)
$t_{\text{ÜT_GW-DB}}$	Übermittlungszeit zwischen Gateway und Datenbank
$t_{\text{ÜT_MSC-GW}}$	Übertragungszeit MSC - Gateway
t_{W}	Wartezeit bis eine Signalisierungsnachricht transportiert wird
$T\ 1.x$	Nachrichten-Serialisierung
$T\ 2.x$	Multiplex und Übertragungszeit
$T\ 3.x$	Nachrichten-Serialisierung und -Parallelisierung
$T\ 4.x$	Übertragungszeit im SDH-Netz

T 5.1	Nachrichten-Serialisierung (140 Mbit/s)
T 6.1	Nachrichten-Serialisierung (140 Mbit/s)
λ	Anfragen an das HLR
$\lambda 1$	Location Update with VLR-Change
$\lambda 2$	Request Triplets (MTC)
$\lambda 3$	Mobile Originating Calls (MOC)
$\lambda 4$	Location Services (Send Routing Info)
$\lambda 5$	SMS-Anfragen
μ_L	lokale Datenbank
μ_{Link}	Service rate Signalisierungslink
μ_A	Bedienrate der Datenbank
μ_C	Bedienrate für die zentrale Datenbank
μ_D	Bedienrate der zentralen Datenbank
μ_G	Gateway Bedienrate
μ_L	Bedienrate der lokalen Datenbank

1 Einführung

1.1 Motivation

In der Vergangenheit wurden Telekommunikationsnetze für eine bestimmte, festumrissene Aufgabe ausgelegt und realisiert. Im Verlauf des Wirkbetriebs erweiterte sich der Funktionsumfang oder es wurden spezielle Erweiterungen der Netze betrieben. Die ursprünglich einmal klaren Architekturen mit limitierten Schnittstellen entwickelten sich zu kaum überschaubaren Systemen mit einer großen Zahl von sehr speziellen Netzelementen mit einer Vielzahl von verschiedenen Schnittstellen. Jeder neue Dienst, jedes Netzelement muss diese „gewachsene“ Struktur berücksichtigen und eine große Zahl von Adaptionen vornehmen, um sich einzugliedern.

Das digitale Mobilfunknetz, Global System for Mobile Communication (GSM), wurde ursprünglich als mobiles Fernsprechnetz geplant. Erst später wurden Dienste wie Short Message Service (SMS), die paketvermittelte Datenkommunikation mit dem General Packet Radio Service (GPRS) oder Schnittstellen zum Intelligenten Netz (IN) und dem Internet geschaffen. Die nächste Generation mit dem Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) musste dies alles berücksichtigen und wollte hier weitere Dienste, nach völlig neuen Paradigmen, basierend auf den Mechanismen des Internets hinzufügen. Ein Beispiel für diese Entwicklung zeigt das Bild 1 der UMTS-Architektur aus dem Standard 3GPP TS 23.228, Figure 4.0.

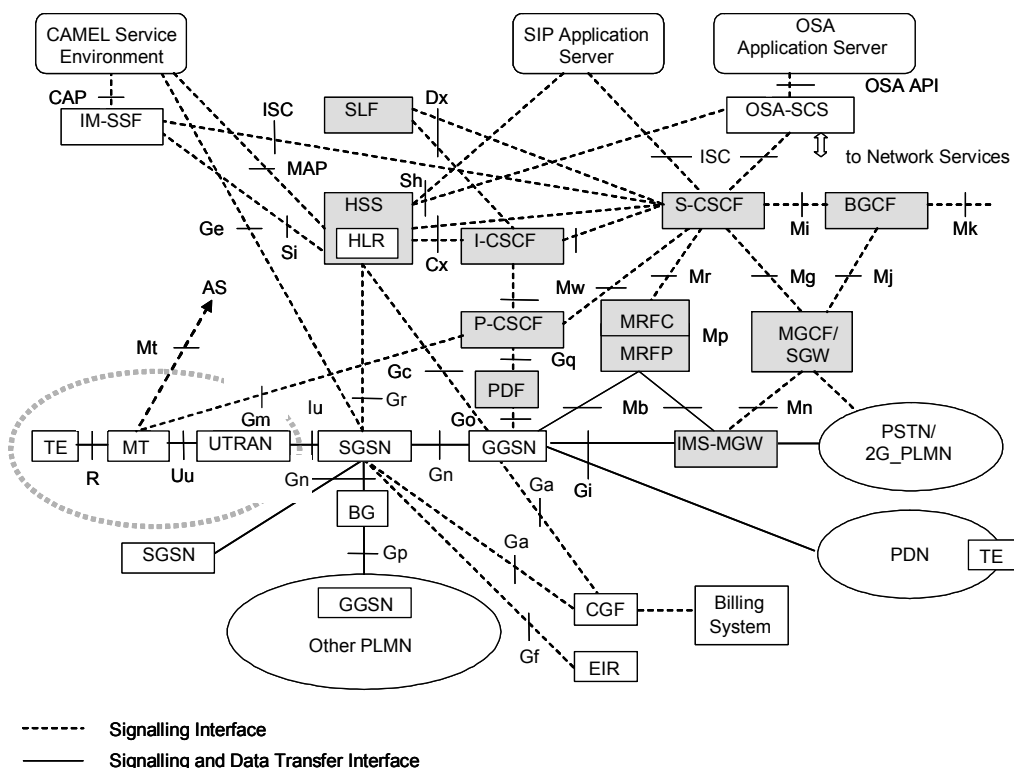


Bild 1: UMTS-Architektur [3GPP TS 23.228]

Die Telekommunikationsnetze sind große, weltumspannende Netze. Die Realisierung neuer Funktionen erfordert eine langwierige Standardisierung und hohe Investitionen. Aus diesem Grund geben die Netze nur langsam technischen Veränderungen nach. Neue Ansätze erfordern technisch schlüssige und wirtschaftliche Migrationskonzepte für die Einführung. Aus diesem Zwang entstanden für

fast jede benötigte Funktion neue Netzelemente, die zusammen mit den jeweils erforderlichen (oft völlig neuen) Kommunikationsprotokollen in die Netze eingebunden wurden. Teilweise überlappen sich diese Funktionen sogar, so ist es im gegenwärtigen Netz möglich eine Rufumleitung im Rahmen eines ISDN-Dienstmerkmals oder als Teil eines IN-Dienstes einzurichten. Die hierfür notwendigen Teilnehmerdaten sind in den jeweiligen Netzelementen (ISDN-Vermittlungsstelle oder auch Mobile Service Switching Center (MSC) bzw. Service Control Point – SCP) enthalten. Die Daten können nicht gegenseitig genutzt werden, wodurch es zu diversen Problemen mit Service-Interaction kommen kann [Sieg01].

Mit der Zunahme der Funktionen im Netz wurden die Teilnehmerdaten auf immer mehr Netzelemente verteilt [RuppSieg-04]. Teilweise werden gleichartige Funktionen innerhalb der Netze mehrfach erbracht. So wird beispielsweise die Zuordnung von einer Rufnummer zu einem physikalischen Anschluss mehrfach innerhalb des Netzes erbracht:

- In der Vermittlungsstelle (Zuordnung von Rufnummer zum Port),
- durch das IN-System (Datenbank des SCP, nach Wahl einer Servicenummer),
- durch das Portierungssystem (IN-ähnliche, zentrale Datenbank) bei Mitnahme der Rufnummer bei Wechsel des Dienstanbieters,
- durch eine zweite Vermittlungsstelle, IN-System bzw. Home Location Register – HLR oder sogar VLR/HLR (Visitor Location Register – VLR) bei Weiterleitung der Anrufe zu einem anderen Anschluss.

Bei jedem dieser Vorgänge findet eine Datenbankabfrage statt. Eine gegenseitige Nutzung der Information durch die verschiedenen Netzelemente (Vermittlungsstellen, IN-System, Mobilsystem mit HLR und VLR sowie Portierungssysteme) ist in dem klassischen Netzansatz mit den getrennten Funktionseinheiten nicht möglich. Ein alternatives Konzept wäre es, eine zentrale Datenbank zu realisieren, auf die dann die verschiedenen Systeme bei Bedarf zugreifen. Ein solcher Ansatz könnte auch weitere Systeme aufnehmen und bereits einmal realisierte Funktionen in anderen Netzen nutzbar machen. Aus Sicht der Betreiber wäre dies beispielsweise die Nutzung der Authentifizierung per SIM-Card und HLR-Funktion (das HLR beinhaltet meist gleichzeitig das Authentication Center) an Wireless-LAN- (WLAN-) bzw. WiMAX-Zugängen (WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access). Die Funktion „Authentifizierung“ hätte sich damit vom eigentlichen Netz gelöst und wäre eine von vielen Diensten aufrufbare Funktion.

Diese Restrukturierung der Netze führt zu neuen Ansätzen, die auch in anderen Zusammenhängen unter dem Thema „Service-oriented Networks“ zusammengefasst werden. Bei diesen gehen die Überlegungen noch weiter und führen zu einer strikten Trennung von Verbindungsnetze und Diensten. Beschrieben wird das in der Standardisierung durch die Ansätze von IMS in den mobilen Netzen und TISPAN (Telecomms & Internet converg. Services & Protocols for Advanced Networks) in den Festnetzen (für IMS in [3GPP TS 22.228 und 3GPP TS 23.228] und [PoiMayKhaNie-06] für TISPAN: [ETSI TS 181 004, ETSI TS 181 005 und ETSI TS 282 001]). Die Restrukturierung der Netze ist nur ein Teilaspekt dieses globaleren Ansatzes in Richtung Services oriented Networks (SON) [Rupp et al 04-1, Rupp et al 04-2, Sieg et al 04, DieFuhrSieg 04].

Ein erster Ansatz in Richtung SON wäre die Restrukturierung des GSM-Netzes durch ein HLR, das durch verschiedene Netze genutzt werden kann.

1.2 GSM-Architektur

Digitale Mobilfunknetze nach dem GSM-Standard sind in Europa seit 1992 in Betrieb. Die Prinzipielle Architektur ist in der Abbildung 2 dargestellt. Mehrere Base Transceiver Stations (BTS) werden durch Base Station Controller (BSC) zusammengefasst, die dann an die Vermittlungsstellen des Mobilfunknetzes, den *Mobile Service Switching Center* (MSC) angeschlossen werden. Die Architektur der GSM-Netze wird u.a. in [Mouly92, Walke00, Heine99] beschrieben.

Jeder Teilnehmer wird im GSM-Netz durch die ersten Ziffern seiner Rufnummer (Mobile Subscriber Number – der MSISDN) einem *Home Location Register* (HLR) zugeordnet. Im HLR wird die aktuelle MSC/VLR-Adresse eines Teilnehmers geführt. Im *Visitor Location Register* (VLR) wird der Aufenthalt des Teilnehmers in einer bestimmten Location Area festgehalten. Jedem MSC/VLR sind ein oder mehrere Location Area zugeordnet. Beim Verbindungsaufbau zum mobilen Teilnehmer wird die Signalisierung zunächst über die Gateway-MSC zum zugeordneten HLR geleitet (die Zuordnung ist durch die MSISDN eindeutig), welches über Informationen über den gegenwärtigen Aufenthaltsort (zuständige MSC/VLR), Berechtigungen und Dienste verfügt. Innerhalb der Location Area wird der gewünschte Teilnehmer in allen zugeordneten Funkzellen durch „Paging“ in allen Zellen gesucht. Die Signalisierung basiert auf dem Signalisierungssystem Nr. 7, die spezifischen Anwendungen innerhalb eines Mobilfunknetzes nutzen den *Mobile Application Part* des Signalisierungssystems (MAP). Das Signalisierungsverfahren wird zwischen den Mobilvermittlungsstellen und zu den HLR und VLR verwendet [Sieg02-1].

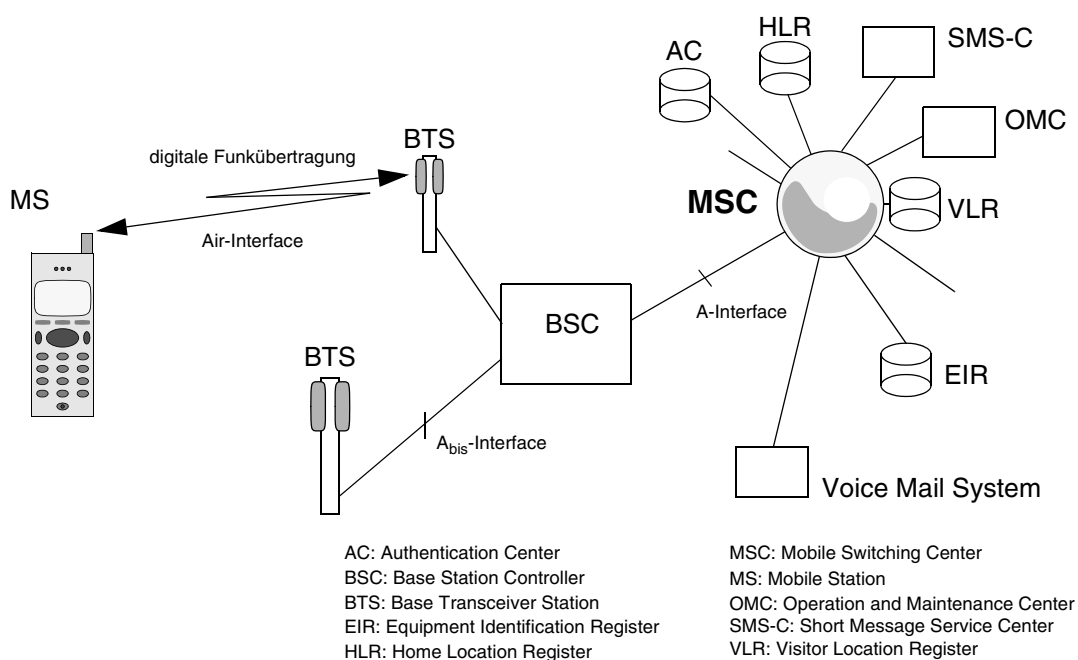


Bild 2: GSM-Architektur [Sieg02-1]

Das *Visitor Location Register* (VLR) enthält Informationen über Mobilteilnehmer, die sich zurzeit im zugeordneten geografischen MSC-Bereich befinden. Das VLR ist eine lokale Funktion, die aus Performance-Gründen meist in den Vermittlungsstellen, den MSC, integriert ist. Es enthält sehr dynamische Dateien, die durch einen Informationsaustausch mit dem jeweiligen HLR und den Endgeräten aktualisiert werden. Die Daten aus dem Visitor Location Register „folgen“ dem Teilnehmer,

wenn dieser in den Bereich eines anderen VLR gelangt. Die Schnittstelle zwischen dem VLR und der MSC basiert auf der Signalisierung Nr. 7 mit dem MAP-Protokoll (MAP – *Mobile Application Part*) [3GPP98, Sieg02-1].

Location Area

Einer Location Area sind mehrere Zellen zugeordnet. Zu einer MSC (einem VLR) gehören eine oder mehrere Location Areas. Aufgrund von Teilnehmeraktivitäten oder Location-Update-Anfragen der MSC wird der Aufenthalt des Teilnehmers in einer bestimmten Location Area ermittelt. In welcher Zelle der Location Area sich der Teilnehmer befindet wird nicht gespeichert [Banet04, Sieg02-1, Steu02].

Der genauere Aufenthalt des Teilnehmers innerhalb der Location Areas wird erst beim Verbindungsaufbau ermittelt. Die gehende Verbindung (Mobile originating Call – MOC) beginnt in der aktuellen Zelle, in der sich der Teilnehmer mit seinem Terminal befindet, die kommende Verbindung (Mobile Terminating Call – MTC) wird an die Location Area (über die zugehörige MSC) adressiert, anschließend wird die Verbindung in allen zugeordneten Zellen gesendet (Paging). Durch die Rufannahme des Teilnehmers in einer der Zellen wird der genaue Aufenthaltsort dann dem System bekannt. Bewegungen der Teilnehmer innerhalb der Location Area erfordern daher keinen Abgleich mit den Datenbanken (Fall a im Bild 3). Erst wenn der Teilnehmer die gegenwärtige Location Area verläßt und in eine neue Location Area des gleichen VLR eintritt, wird das VLR informiert (b). Verläßt er zudem den Zuständigkeitsbereich des VLR, wird er in das VLR der neuen Area übernommen und dies dem HLR übermittelt (c). Das vorherige VLR erhält ein *Cancel Location* und löscht den Teilnehmer dadurch im eigenen Bereich. Das HLR lädt dann die Teilnehmerdaten in das neue VLR.

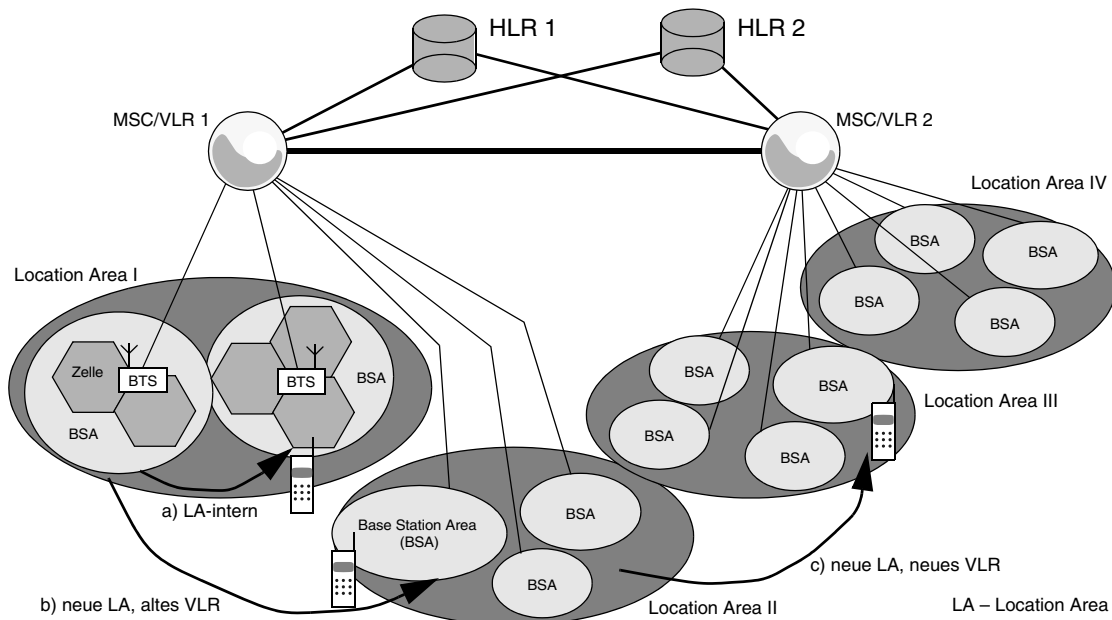


Bild 3: Location Update

Erweiterung der GSM-Architektur

Die ursprüngliche Architektur von GSM wurde mit GSM2+ u. a. um einen paketvermittelten Anteil zur Unterstützung des General Packet Radio Service (GPRS) erweitert. Neben den MSC zur Vermittlung von festen Kanälen (leitungsvermittelt, Circuit Switched Domain – CS-Domain) wurden paketvermittelte Netzknoten, der Serving GPRS Support Node (SGSN) und der Gateway GPRS Support Node

(GGSN), eingeführt. Auch für diesen paketvermittelten Anteil des GSM (der Packet Switched Domain – PS-Domain) sind die zentralen Datenbanken, wie HLR, EIR usw. identisch. Der SGSN und GGSN greifen auf die selben Datenbanken, wie die MSC/VLR zu.

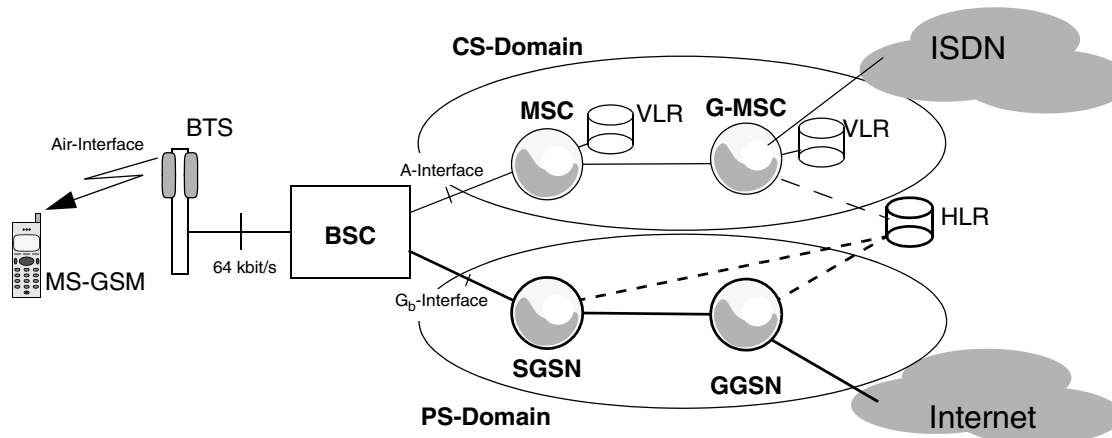


Bild 4: Architektur mit CS- und PS-Domain (GSM2+)

Die Netzelemente SGSN und GGSN beinhalten vergleichbare Funktionen wie die MSC bzw. G-MSC einschließlich dem VLR. Das HLR ist für die CS- und die PS-Domain identisch. Innerhalb einer Location Area der CS-Domain werden noch mehrere Routing Areas der PS-Domain eingeführt [Banet04].

Signalisierung

Die Signalisierung zwischen den Netzelementen (Netzknoten und Datenbanken) basiert auf dem Signalisierungsverfahren Nr. 7. Für spezifische Erweiterungen der Mobilfunknetze, für die verbindungsunabhängigen Funktionen, wurde der Mobile Application Part (MAP) definiert. Allgemeine Grundlagen zum Signalisierungsverfahren Nr. 7 sind in den ITU-T-Standards Q.700 bis Q.716 oder in Sieg-A2002, Brand95, sowie zum MAP in GSM 09.02.

Die Übertragung der Signalisierungsnachrichten basierte zum Zeitpunkt dieser Untersuchung immer noch auf den ursprünglich einmal festgelegten 64-kbit/s-Kanälen, die in einem Rahmen mit insgesamt 32 Kanälen mit 2,048 Mbit/s übertragen werden. Für den Transport von Signalisierungsinformationen in den *Next Generation Networks* (NGN), basierend auf dem Internet Protokoll, sind daneben auch Festlegungen für den Bereich der OSI-Layer 1 bis 3 definiert. Innerhalb der IETF wurde hierzu die Arbeitsgruppe SIGTRAN gebildet, wonach der *Message Transfer Part* (MTP) der Layer 2 und 3 durch das Internet Protocol (IP) und einem neuen Transport Protokoll, dem *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP) ersetzt wurde (RFC 2960, RFC 3286). Die Protokolle des MAP, *Transaction Capabilities Application Part* (TCAP) und SCCP bleiben unverändert, zwischen SCCP und SCTP kommt dann noch zur Anpassung ein *MTP-Adaptation Layer User Agent* (M3UA – RFC 33332).

Die Darstellung der übermittelten Information ist End-to-End durch den *Transaction Capabilities Application Part* (TCAP) festgelegt, basierend auf der *Abstract Syntax Notation One* (ASN.1) X.680–X.699 und ISO/IEC 8824-x. Die mit ASN.1 übermittelten Daten können auf unterschiedliche Art dargestellt werden, die wichtigsten Standards sind (nach ITU-T X.690):

- Binary Encoding Rules (BER),
- Packet Encoding Rules (PER).

1.3 Die UMTS-Entwicklung

Die UMTS-Einführung erfolgt stufenweise und für die europäischen GSM-Betreiber in einer Migration aus der Architektur des GSM-Netzes (GSM2+). Allgemeine Beschreibungen zu UMTS, der Architektur, Protokolle und Netzkomponenten sind [Banet04, Les02, Mur01] zu entnehmen.

Mit dem ersten Schritt, dem Rel.99, wird im Wesentlichen nur die Luftschnittstelle verändert, das Kernnetz (Core Network) entspricht der GSM-Architektur. Damit ändert sich auch wenig für das HLR. Mit dem Rel.4 werden dann NGN-Architekturen im Kernnetz eingeführt, mit dem Rel.5 (Internet Multimedia Subsystem – IMS) basiert die Architektur des Kernnetzes auf dem Internet Protokoll (IP). Die Behandlung der Nutz- und Signalisierungsdaten erfolgt in unterschiedlichen Netzelementen. Die Signalisierung basiert ab dem Rel.5 auf dem *Session Initiation Protocol* (SIP) und wird in der Call Session Control Functions (CSCF) bearbeitet. Für den Zugriff auf die Funktionen Authentication, Authorization and Accounting (AAA) wurde das Protokoll *Diameter* (Diameter Base Protocol: RFC 3588) in UMTS Rel.5 festgelegt. Das IMS (IMS, 3GPP: TS23.228, IP Multimedia Subsystem, Stage 2) wird dann im Rel.6 und 7 des UMTS in der Architektur und Funktionalität fortgeschrieben.

Für die Netzkomponenten ergibt sich aus dieser schrittweisen Entwicklung die Anforderung einer Migration von Release 99 (GSM-Kernnetz mit UMTS-Luftschnittstelle) in das Release 5/6 (All-IP) zu ermöglichen. Bei den Herstellern findet man daher Angebote, die sich sowohl als HSS in UMTS Rel. 5/6 als auch als HLR in GSM und UMTS Rel. 99 einsetzen lassen [Siem06].

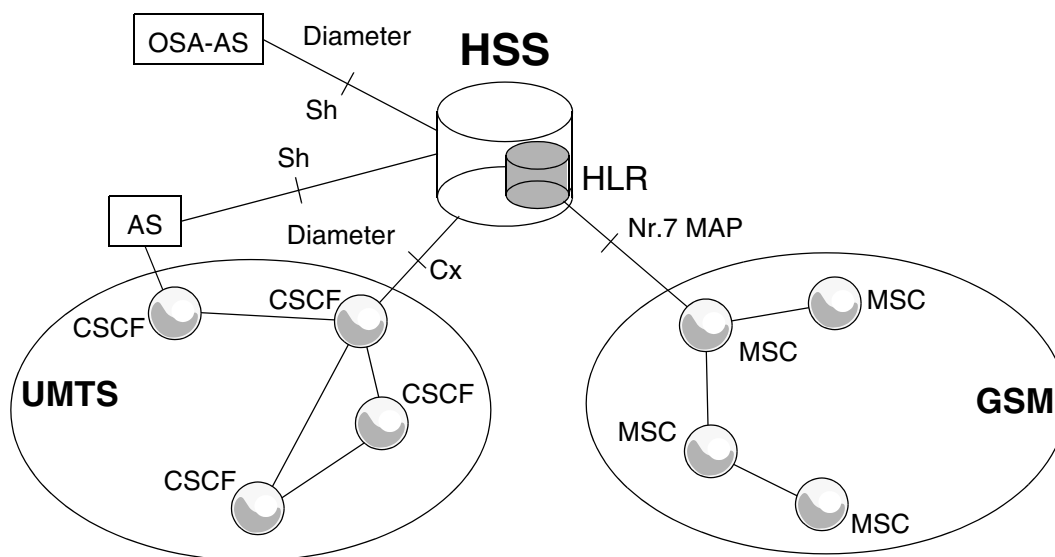


Bild 5: HSS und HLR

In UMTS ist das HSS nicht nur mit dem steuernden Netzelement (der CSCF) in Kontakt (Schnittstelle Cx), sondern ermöglicht auch den Application Servern (AS) einen direkten Zugriff auf Teilnehmerdaten (Schnittstelle Sh). Im Konzept der Open Service Architecture (OSA) können auch weitere Anwendungsanbieter (OSA-Application Server, OSA-AS) auf das HSS zugreifen, ebenfalls über die Sh-Schnittstelle. Eine Liste der im HSS unterstützten Funktionen ist in 3GPP: TS 23.002, Network Architecture zu finden.

Allgemein geht man mit den Festlegungen zum IMS bei UMTS von einer sehr strikten Trennung zwischen dem Anbieter der Applikationen und dem Betreiber des Transportnetzes aus. In diesem Fall sind dann nicht nur die klassischen Applikationsserver extern am Mobilnetz angeschaltet, sondern hier kann ein ganzes Applikationsnetz (WAP, Server für den Dienst Push-to-Talk-over-Cellular-Dienst – der PoC-Server u.v.a.) angeschaltet werden. Das HSS im UMTS umfasst daher viel mehr Teilnehmerdaten als das klassische HLR. Weitere Informationen hierzu sind beispielsweise unter [Banet04] zu finden.

In diesem Umfeld greifen neben den Instanzen des UMTS-Netzes auch Anwendungsinstanzen auf das HSS zu. In einem Umfeld der Migration von GSM nach UMTS kommen auch noch die klassischen Netzelemente von GSM hinzu. Für den Zugriff auf die Teilnehmerdaten gibt es jeweils andere Schnittstellen und Protokolle. In der Abbildung 6 ist eine Auswahl der wichtigsten Schnittstellen an einem HSS dargestellt. Weitere Details zu der Schnittstelle Cx ist in 3GPP: TS29.228) , zu der Schnittstelle Sh (Diameter) in 3GPP: TS29.328 und TS29.329 und der Schnittstelle Gr (SIGTRAN) für den SCTP in RFC 2960 und RFC 3286 den SCCP in ITU-T Q.714 bzw. ETSI ETS 300 589, den TCAP ITU-T Q.771 bis 774 X.680 und X.690 bzw. ETSI ETS 300 134 und ETSI 300 287, den MAP unter GSM 09.02 (TS 100 974) und GSM 29.002 sowie für M3UA im RFC 3332 zu finden.

Zur Unterstützung von Diensten des Intelligenten Netzes (IN) sind noch Schnittstellen zur mobilfunkspezifischen Variante des INAP, dem CAP (CAMEL Application Part, CAMEL – Customized Application for Mobile Enhanced network) vorhanden [Sieg01]. Der CAP ist definiert in GSM 09.78 bzw. ETSI TS101 046 und ETSI TS129 078.

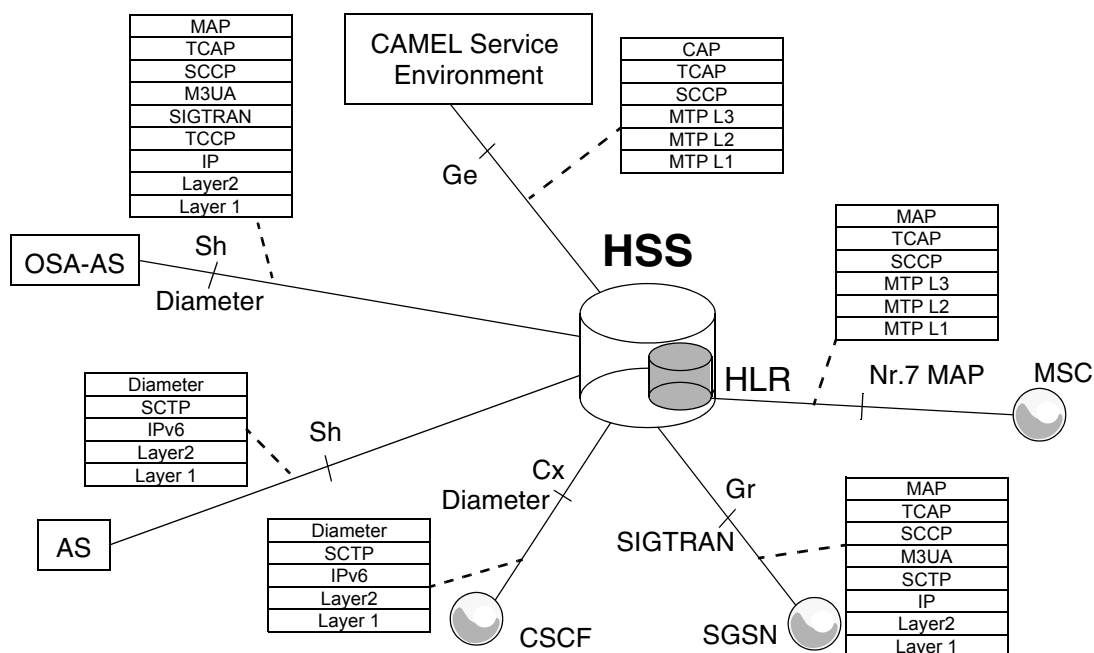


Bild 6: Schnittstellen am HSS

Im Rahmen dieser Untersuchung wird nur die Migration des GSM-Netzes (bzw. UMTS Phase 1) und die Auswirkungen auf diese Signalisierung untersucht, die Architektur von UMTS Phase 2 und insbesondere die weiteren Anfragen an ein HSS durch weitere Application Server im IMS wurden nicht betrachtet.

1.4 Zielsetzungen

Die Benutzerdaten sind in den klassischen Telekommunikationsnetzen in verschiedenen Datenbanken der diversen Netzelemente untergebracht. Neue Architekturen, wie sie durch UMTS beschrieben werden, verstärken diesen Trend, in dem weitere Schnittstellen hinzu kommen und herkömmliche weiterhin unterstützt werden müssen. Die Daten sind nicht offen verfügbar, vielmehr sind sie *nur* innerhalb der jeweiligen Netzkomponente nutz- und veränderbar. Ein Benutzer ist daher mit seinen Daten immer einem Kommunikationssystem zugeordnet und ist in seinen Funktionen und nutzbaren Diensten heute auf genau diese Eigenschaften und Zugangsmöglichkeiten des jeweiligen Netzes beschränkt. Wie oben beschrieben, werden langfristig offenere Strukturen angestrebt, in dem Funktionen für bestimmte Aufgaben (wie z. B. die Teilnehmerdaten oder Authentifizierung eines Benutzers) nur einmal im Netz realisiert werden und über verschiedene Netze mit unterschiedlichen Protokollen zugreifbar sind. Dies führt zu sog. Service Oriented Architectures (SOA) [Rupp et al 04-1, Rupp et al 04-2, Sieg et al 04, DieFuhrSieg 04].

Im ersten Ansatz der SOA werden die hergebrachten Anwendungen in ihren Funktionen belassen, sie öffnen sich nur über völlig neue, standardisierte Schnittstellen den anderen Diensten. In einer solchen Umgebung wird beispielsweise ein HLR nicht auf ein Netzelement fixiert, sondern in einzelne Prozesse zerlegt, die über universelle Schnittstellen miteinander kommunizieren können. Ein Ansatz für eine solche Realisation wäre die Technik der Web Services, wie sie bereits für viele andere Anwendungen im Internet verwendet werden [Wöhr04, ScriStiv00, MenAlm02].

Die klassischen Funktionen (HLR, VLR, IN-Server, Datenbank der Kundendaten usw.) könnten prinzipiell erhalten bleiben und für globalere Anwendungen nutzbar gemacht werden [RuppSieg04]. In [RuLoBa03] veröffentlichte eine Alcatel-Lucent-Arbeitsgruppe die Idee einer Restrukturierung der Telekommunikationsnetze. Dabei sollten die Daten konsequent aus den Netzelementen heraus gehalten werden.

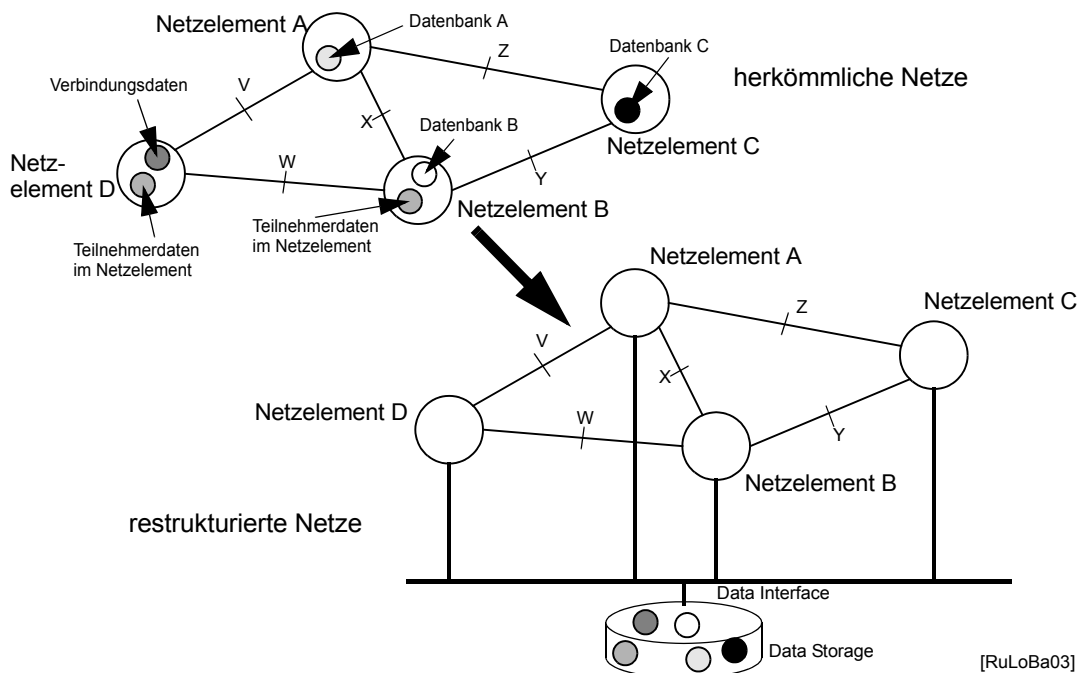


Bild 7: Netzrestrukturierung

Daten werden in zentralisierten Datenspeichersystemen zusammengefasst. Zur Realisierung der Datenspeicher können nun standardisierte Produkte der klassischen »Rechnersysteme« verwendet werden. Damit können auch nicht übliche Ansätze wie Storage Area Networks (SAN) verwendet werden. Die Netzelemente können dadurch vereinfacht werden.

Die Potentiale und Konsequenzen aus dieser Restrukturierung werden in [RuppSieg04] weiter beschrieben. Aufgrund mangelnder Performance bei der Einführung des GSM-Netzes sind heute alle Teilnehmer des GSM auf eine Anzahl von virtuellen HLR verteilt. Jedes Mobiltelefon ist durch seine Rufnummer (den ersten Ziffern) und seiner IMSI (auch den ersten Ziffern) einem dieser virtuellen HLR fest zugeordnet. Übersteigt die Nutzerzahl die Kapazität des installierten HLR, muss dieses erweitert werden. Funktional wirkt das verteilte HLR wie eine einzige, zentrale Funktion des GSM-Netzes. In dem neuen Ansatz wird das HLR als zentrale, hoch performante Einheit realisiert. Bei Kapazitätsengpässen muss real nicht ein bestimmtes HLR erweitert werden, sondern lediglich die Prozessorleistung und Speicherkapazität der zentralen Einheit. Beides kann besser mit den steigenden Teilnehmerzahlen in den Kosten wachsen und erzeugt nicht bei Überschreiten eines bestimmten Wertes einen erheblichen Kostensprung.

Durch diese Restrukturierung werden Benutzerdaten von den jeweiligen Netzkomponenten getrennt. Die Daten und Dienste können dadurch auch über andere Zugänge genutzt werden. Der Nutzer ist dabei nicht mehr auf die beschränkten Eigenschaften und technische Zugänge eines Netzes limitiert. Er kann seinen Zugang von anderen Netzen nutzen. Mit der Realisierung als Web-Service werden diese Funktionen offen für weitere Netzfunktionen oder erweiterte Dienste. Das Ziel ist es, dabei vor allem zentrale Daten auch wirklich nur einmal im Netz zu halten und diese netzweit und netzübergreifend verfügbar zu haben.

Aus wirtschaftlichen und betrieblichen Gründen muss einer Restrukturierung der Telekommunikationsnetze aber immer eine Migration, d.h. schrittweisen Einführung folgen.

In dieser Arbeit soll speziell die Einführung eines zentralen HLR in einem vorhandenen GSM-Netz betrachtet werden. Dabei wird die zentrale Datenbank bereits nach den Gesichtspunkten eines restrukturierten Netzes, basierend auf der Technik der Web Services, ausgelegt. Anstelle der bisherigen HLR werden im GSM-Netz Anpassungseinrichtungen (Gateways) gesetzt, die einen unveränderten Betrieb des GSM-Netzes gewährleisten. Neue Netze und alternative Zugänge, wie WLAN, WiMAX oder Location Based Services können aber bereits die zentrale Datenbank nutzen, sie müssen sich nicht dem GSM-Netz anpassen.

Ziel ist es, mit der Hilfe dieser Arbeit eine leistungsfähige Architektur zu definieren, die ausgerichtet ist auf zukünftige, absehbare Entwicklungen der Mobilkommunikation aber auch eine Migration der bisherigen GSM-Netze und deren Weg in eine UMTS-Architektur performant unterstützt. Dieses Konzept soll in verschiedenen Bereichen Vorteile bringen:

1.4.1 Technologie-Update im GSM-Netz

Im gegenwärtigen Netz der T-Mobile sind ca. 40 HLR vorhanden, die teilweise nicht mehr auf dem neuesten Stand der Technik sind. Eine aktuelle Datenbank wäre allein durch die technische Weiterentwicklung deutlich leistungsfähiger. Der Idee der Re-

strukturierung folgend, sollte hier eine einzige, zentrale Datenbank die heutigen 40 ablösen. Dies hätte einige Vorteile:

- einfacheres Routing im Signalisierungsnetz
- kein Zusammenhang zwischen Rufnummer und logischem HLR

Die Datenbank ist dabei eine virtuelle zentrale Datenbank. Aus Sicherheitsgründen und um einen kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten ist auch die zentralisierte Datenbank auf zwei Standorte verteilt und garantiert durch diverse Duplizierungen einen hochverfügbaren Betrieb (s. Abschnitt 3.3).

1.4.2 Authentifizierung von Teilnehmern alternativer Zugangssysteme

Dies bedeutet, dass eine zentrale Datenbank verschiedene Authentifizierungsverfahren bearbeiten können sollte und damit einen Teilnehmer mit ganz unterschiedlichen Profilen verwalten kann. Dieser kann sich dann an unterschiedlichen Zugangsschnittstellen mit dem jeweils zugewiesenen Verfahren und Protokoll bei *seinem* Dienst anmelden. Zu den alternativen Zugängen könnten WLAN-Hotspots im öffentlichen Bereich oder WiMAX-Netze gehören. Diese Zugänge können eigene Authentifizierungsmechanismen verwenden oder etablierte Verfahren (SIM-Card von GSM, bzw. USIM des UMTS) für die Authentifikation der alternativen Systeme verwenden.

1.4.3 Restrukturierung des Kommunikationsnetzes

Durch die Restrukturierung des Kommunikationsnetzes könnte der „Dienst“ Authentifizierung für andere (fast beliebige) Zugänge genutzt werden. Signalisierungsprozeduren und Protokollinstanzen wären in diesem Umfeld nicht mehr fest in die Netzelemente bzw. Terminals implementiert, sondern können, wie im Internet üblich, im Netz erfragt und die Protokollinstanzen geladen werden. Die Dienste können damit völlig unabhängig von der Netzinfrastruktur angeboten werden. Dieser Ansatz entspricht auch dem IMS-Konzept, indem eine klare Unterscheidung zwischen dem Transportnetz und den Diensten (außerhalb dieses Netzes) beschrieben wird. Dieses Konzept wurde inzwischen auch für das Festnetz übernommen. In der ETSI wurden solche Strukturen unter dem Oberbegriff TISPAN Ende 2005 veröffentlicht [ETSI TS 181 004, ETSI TS 181 005 und ETSI TS 282 001].

Die Architekturen dieser Netze orientieren sich mehr an den Diensten und den Benutzern – jeder kann seinen Dienst unabhängig vom Zugang nutzen: Service Oriented Networks [Rupp et al 04-1, Rupp et al 04-2, Sieg et al 04, DieFuhrSieg 04].

Eine Technik, einen Dienst im Netz zu beschreiben, bekannt zu machen und die notwendige Software zur Dienstnutzung ladbar für Klienten bereit zu halten, ist beispielsweise die Technik der Web Services.

1.5 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit entwickelt architektonische Varianten zur Einführung eines zentralen HLR einschließlich der Migration des GSM-Netzes und untersucht diese hinsichtlich ihrer Performanz. Bei diesem Ansatz wird damit nur ein Teilaspekt des gesamten Restrukturierungsvorhabens betrachtet. Eingebunden in einer Alcatel-Lucent-Arbeitsgruppe, geleitet von Dr. Stephan Rupp, wurden die Betrachtungen auf das Netz des Betreibers T-Mobile ausgerichtet. Die Vorgaben für die Betrachtungen resultierten aus dieser Ausrichtung.

In einem ersten Schritt sollte geklärt werden, ob es grundsätzlich möglich ist die Authentifizierungsanforderungen in einem *zentralen* HLR zu bearbeiten und wie eine Öffnung dieses zentralen HLR gegenüber anderen Zugangssystemen technisch realisierbar wäre. Insbesondere sollte hierzu untersucht werden, welche Auswirkungen die Zentralisierung und Öffnung (und die damit verbundene ggf. andere Art der Datendarstellung bzw. des Zugriffs) sich auf die Performanz des heutigen, dann migrierten GSM-Netzes hat.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die folgenden Punkte betrachtet:

- Untersuchungen zu einem Gateway zur Anpassung der Nr.7-Signalisierungsnachrichten an die in den Web-Services übliche XML-Form im Rahmen einer Diplomarbeit der FH-Darmstadt [Diehl04].
- Test-Realisierung der Authentifizierung als Web-Service und Ermittlung der Reaktionszeiten dieses Systems im Rahmen einer Diplomarbeit der Universität Hannover [Arsl04].
- Entwicklung der Modelle zur genaueren Performanzuntersuchung (Abschnitt 2 dieser Arbeit)
- Zusammenstellung der Verkehrslast an das zentrale HLR und Auswahl der kritischen Abläufe (Abschnitt 2).
- Parameterisierung der Modelle (Abschnitt 2 und Anhang dieser Arbeit).
- Theoretische Betrachtungen der Modelle (Abschnitt 2).
- Durchführung von Simulationen der Modelle mit unterschiedlichen Lastanforderungen (im Rahmen einer Diplomarbeit an der Universität Stuttgart). Zusammenstellung der Simulationsergebnisse im Abschnitt 2 dieser Arbeit.
- Verifikation der Modellierung durch Vergleich mit Messdaten aus dem Labor realer Systeme und Auslegungsrichtlinien der Hersteller (Abschnitt 4 dieser Arbeit).
- Abschätzung der Auswirkung durch alternative Zugangssysteme (Abschnitt 3 und 4).
- Zusammenstellung zweier alternativer Architekturansätze und deren Anforderung an die Systemkomponenten, sowie deren Netzanbindung (Abschnitt 4).

2 Architekturen

2.1 GSM-Architektur

Wie im Abschnitt 1 dargestellt, werden in einem GSM-Netz mehrere Location Areas unterschieden. Eine Anzahl von Location Areas werden von einem VLR verwaltet. Die Teilnehmer werden in einem HLR geführt, das aus Performanzgründen im GSM-Netz auf mehrere physikalische HLR aufgeteilt ist. Jeder Teilnehmer dieses Netzes ist durch die ersten zwei Ziffern seiner Rufnummer (MSISDN) und seiner IMSI einem logischen HLR zugeordnet. Im Netz der T-Mobile werden ca. 40 logische HLR unterschieden [Banet03].

Die Daten der Teilnehmer, die sich in einer Location Area aufhalten, werden im zugehörigen VLR verwaltet. Logisch wird das VLR in den Architekturbildern der Standardisierung (wie in der Abbildung 1 und 2 dargestellt) als eigenständige Einheit dargestellt. In der Praxis ist das VLR eine Datenbank, die direkt in der Vermittlungsstelle untergebracht ist. Die Daten der zugeordneten Teilnehmer werden vom HLR der Teilnehmer abgerufen und im VLR geführt, bis diese einem neuen VLR übergeben werden.

Die Schnittstelle zwischen dem VLR und der MSC ist nicht vollständig spezifiziert, fehlende Festlegungen wurden herstellerspezifisch geregelt. Jede Vermittlungsstelle verfügt über ein eigenes VLR oder ist einem VLR zugeordnet. In beiden Fällen erfolgt die Kommunikation zwischen diesen Elementen über herstellerspezifische Schnittstellen und spezielle Protokolle. Eine MSC hat dabei immer nur Kontakt zu einem VLR. Richtlinien zum Funktionsumfang des B-Interface sind in dem GSM-Standard GSM 09.02 zu finden. Notwendige Kommunikationen zwischen den VLR, beispielsweise beim Eintritt des Teilnehmers in einen anderen VLR-Zuständigkeitsbereich (Location Update) erfolgt durch Austausch mit dem für diesen Teilnehmer zuständigen HLR. Eine direkte Verbindung zwischen verschiedenen VLR ist nicht vorhanden.

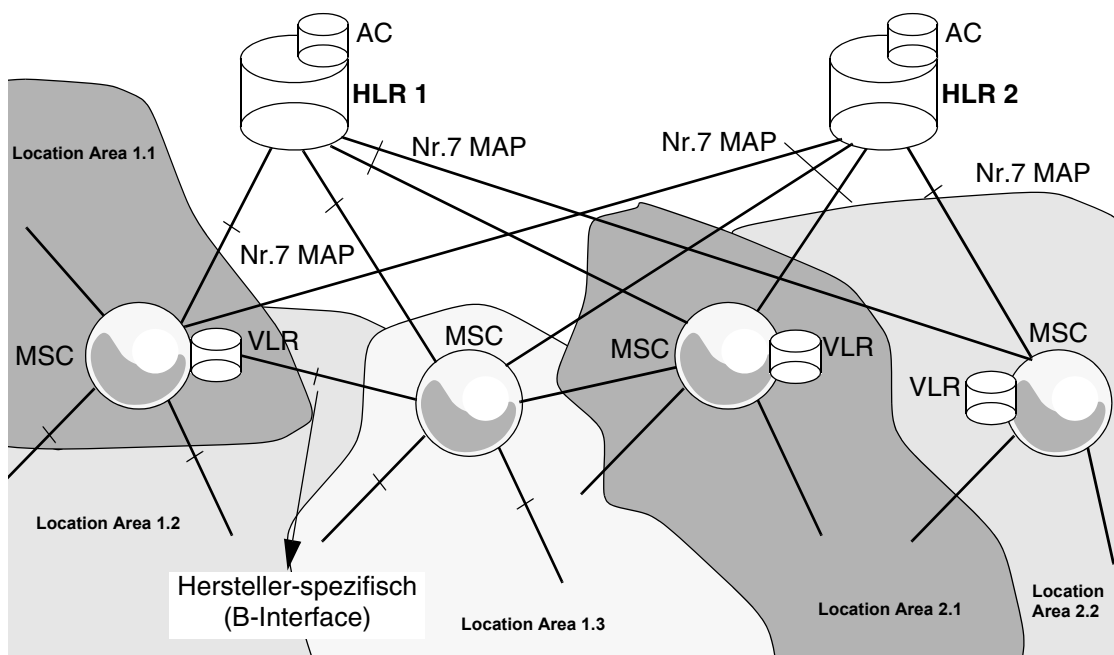


Bild 8: Vernetzung zwischen MSC, HLR und VLR

In der Standardisierung werden das Authentication Center (AC) und das HLR separat dargestellt, in der Praxis ist das AC Teil vom HLR. Nach Anforderung berechnet das AC bis zu fünf Triplets (RAND, SRES und K_c) für die Authentifizierung eines Teilnehmers am GSM.

Die Verteilung der Teilnehmerdaten auf verschiedenen HLR und die direkte Kopplung des VLR an der MSC brachte in der Einführung des GSM-Systems Anfang 1991 Performanzvorteile. Das Netz entwickelte sich dem wirtschaftlichen Erfolg entsprechend weiter. GSM hat heute deutlich mehr Teilnehmer, als bei der Systemauslegung auch unter optimistischsten Annahmen geplant waren: „In Deutschland geht man bei DeTeMobil (Telekom) etwa von 13-15 Millionen Mobilfunkteilnehmern aus, summiert über alle Arten der angebotenen Dienste.“ [Schul94]. In diesem Jahr, 1994, hatte D1 und D2 jeweils ca. 1 Million Teilnehmer. Etwas optimistischer waren da die Zahlen von Josef Franz Huber der Siemens AG, der die gleiche Zahl (ca. 15 Mio. Teilnehmer) bereits für das Jahr 2000 prognostizierte, veröffentlicht 1993 in [Arn93]. Bei einer gleichmäßigen Aufteilung auf die damaligen Betreiber entspräche das einer Erwartung von ca. 6,5 - 7,5 Mio. Teilnehmer pro Netzbetreiber.

Diese Erwartungen wurden allerdings inzwischen bei weitem übertroffen. Die aktuellen Zahlen (Stand Dez. 2006 nach Portel.de): sind 30,7 Mio. Teilnehmer für T-Mobile, 30,4 Mio. für Vodafone, 12,22 Mio. für E-Plus und 10,60 Mio. Teilnehmer für O2 Germany. Zusammen sind das Ende 2006: 83,92 Mio. Teilnehmer in Deutschland. Die T-Mobile hat damit heute im Jahre 2007 mehr als doppelt so viele Teilnehmer, als wie im Jahre 1994 für die Summe aller Teilnehmer in ganz Deutschland zusammen prognostiziert wurde.

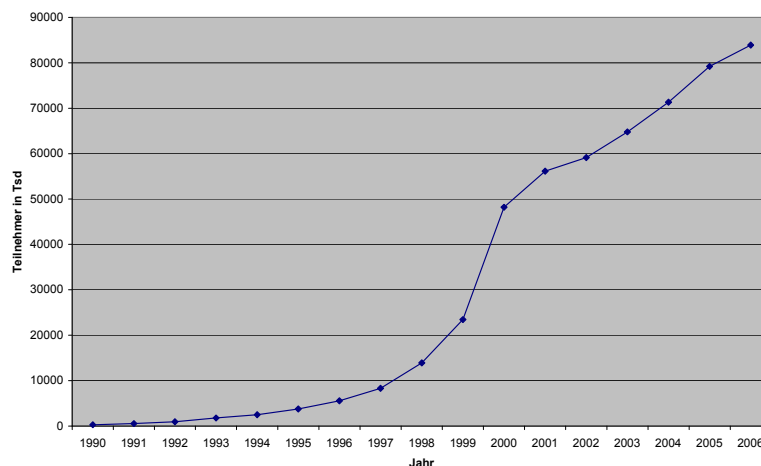


Bild 9: Teilnehmerentwicklung in Deutschland

In der Abbildung ist die Entwicklung der Teilnehmerzahlen im Mobilfunk in Deutschland dargestellt, basierend auf Zahlen von der Bundesnetz-Agentur (BNetzA), Portel und Bitkom.

Noch im Jahre 1994 wurden die Signalisierungs-Links für den MAP nicht als Flaschenhals im Durchsatz angesehen [Gab94]. Die Bearbeitung der transportierten Signalisierungsnachrichten wurde in der gleichen Untersuchung als kritischer Punkt der Performanz angesehen. Bereits 1994 wurde auf die Veränderungen aufgrund des zu erwartenden Wachstums im GSM-Netz hingewiesen. Für Systeme mit mehr als 300 000 Teilnehmern wurde es als notwendig angesehen die Last der HLR-Anfragen auf viele Systeme zu verteilen.

Nach den ersten, optimistischen Schätzungen gingen die Fachleute von max. ca. 15 Millionen Teilnehmern im Netz eines GSM-Betreibers aus. Bei einer angenommenen gleichmäßigen Verteilung auf 40 HLR eines Netzbetreibers wären dies dann 187 500 registrierte Teilnehmer pro HLR.

Heute (Ende 2006) sind im Netz der T-Mobile in Deutschland ca. 80 MSC [Banet03] für die Vermittlung vorhanden. Für diese Untersuchung wurde das Netz der T-Mobile mit 30 Mio. Teilnehmer angenommen. Diese verteilen sich auf die 40 HLR, bei einer gleichmäßigen Verteilung also 750 000 Teilnehmer pro HLR (375 000 Teilnehmer pro MSC, bei einer gleichmäßigen Verteilung auf die 80 MSC). Im Vergleich zu der ursprünglichen Abschätzung entspricht dies der vierfachen Anzahl von Teilnehmern pro HLR.

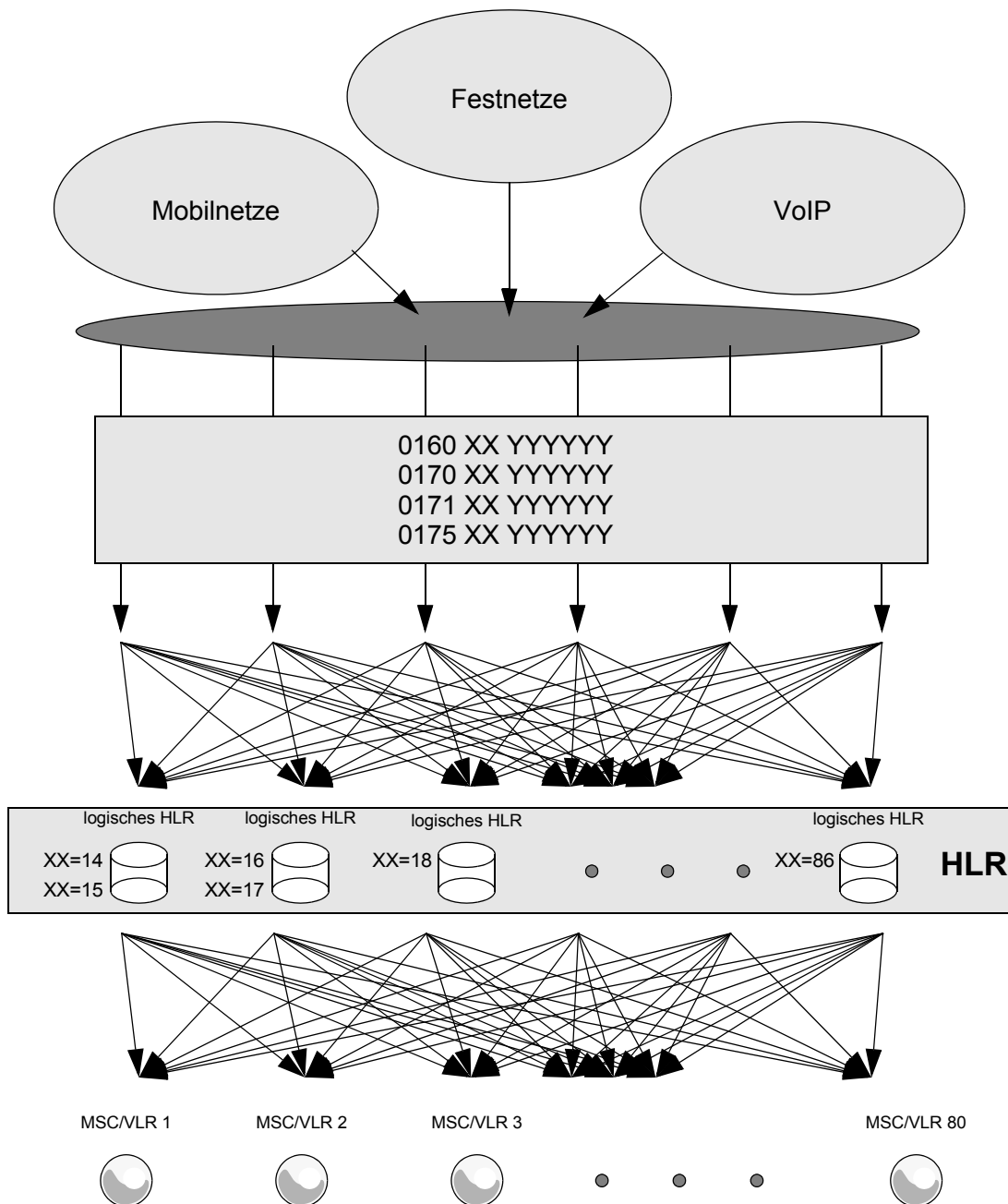


Bild 10: Routing zum MSC/VLR anhand der ersten zwei Ziffern der Rufnummer

Ausgehend von den Mobilnetzen, den Festnetzen oder aus dem Internet für die VoIP-Anwendungen wird das Routing zum HLR durch die ersten zwei Ziffern realisiert. Im Bild 10 Vorwahlziffern 160, 170, 171 und 175 sind dem Netz der T-Mobile zugeordnet [BNA01]. Der Einstieg erfolgt für die Fest- und IP-Netze über Gateway-MSC, bzw MSC für die Mobilnetze. Der Einstieg erfolgt an verschiedenen Stellen, es gibt keine zentrale Stelle von der aus das Routing im GSM-Netz erfolgt. Der Einstieg erfolgt meist bei der nächstgelegenen Gateway-MSC. Anhand der ersten zwei Ziffern wird dann von *jedem Einstiegspunkt* aus der weitere Weg zum HLR bestimmt. Der Hinweis auf das zuständige VLR steht im HLR des Teilnehmers, der kommende Ruf wird dann an das zuständige VLR weitergeleitet. Bei portierten Rufnummern wird auf Netzelemente des neuen Netzbetreibers verwiesen.

Einführung des zentralen HLR

Bei Einführung einer zentralen Datenbank vereinfacht sich das Routing. Das zentrale HLR ist für alle Rufnummern zuständig. Der Zugang zum zentralen HLR erfolgt über die Gateway-MSC bzw. die MSC. Im zentralen HLR ist das zuständige VLR entsprechend des Aufenthalts des Teilnehmers gespeichert. Nach der Auswertung (Anfrage über MAP, „Send Routing Info“) im zentralen HLR erfolgt die Weiterleitung zur zuständigen MSC/VLR. Innerhalb der Location Area wird der Teilnehmer durch Paging in allen zugeordneten Basestationen gefunden.

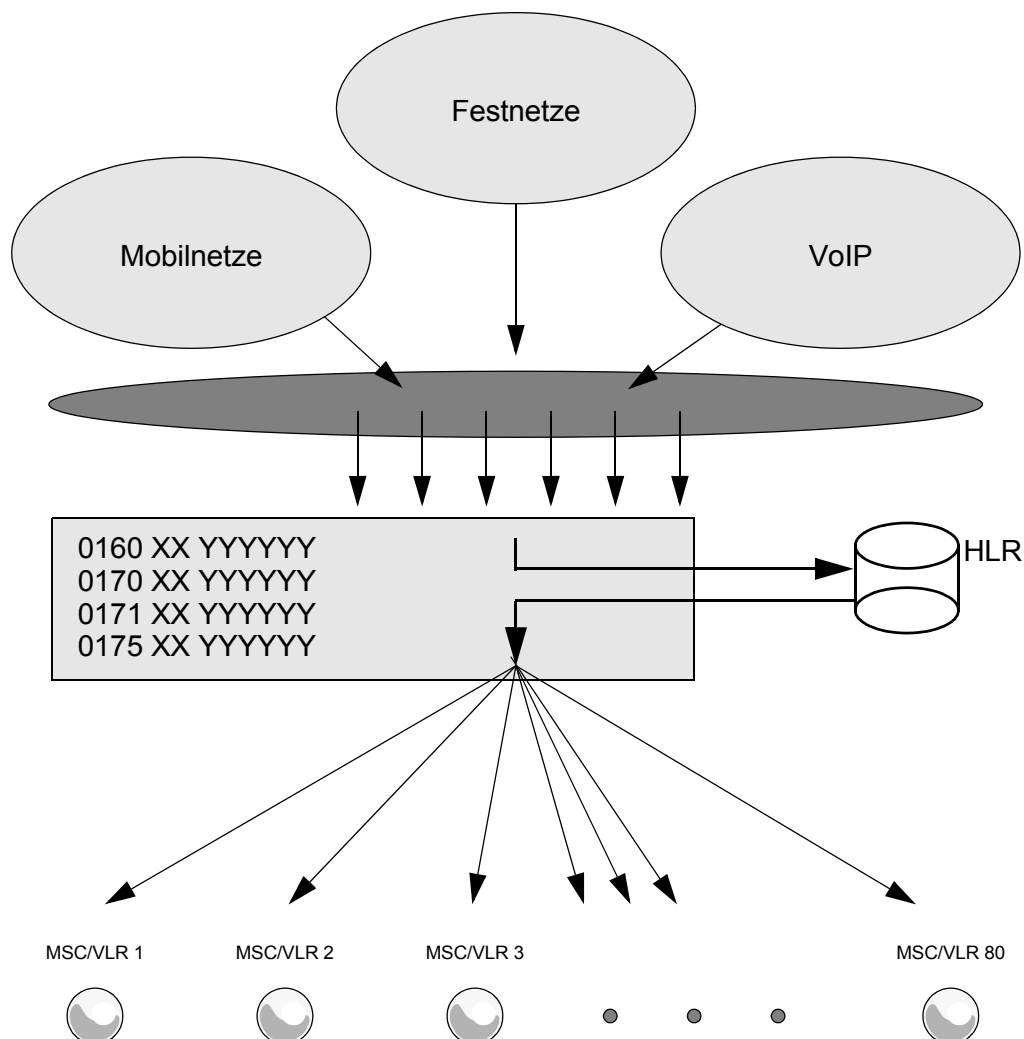


Bild 11: Routing zum MSC/VLR über das zentrale HLR

2.2 Schnittstellen

Die Anfragen an das HLR verwenden das Signalisierungsverfahren Nr. 7 und hier speziell den Mobile Application Part (MAP), der in den gegenwärtigen Netzen immer noch auf Signalisierungs-Links mit 2,048 Mbit/s basiert. In der untersten Schicht des Message Transferpart (MTP) ist nach Q.700 festgelegt, für die Übertragung der Signalisierungsnachrichten einen 64-kbit/s eines Standard 2,048-Mbit/s-Systems nach G.703 zu verwenden. Mehrere Anfragen können über unterschiedliche 64-kbit/s-Kanäle der Signalisierungs-Links transportiert werden. Aus Sicherheitsgründen werden immer zwei Links mit jeweils 2,048 Mbit/s pro Richtung geschaltet. Bei der Übertragung von Signalisierungsinformationen können prinzipiell die Kanäle 1 bis 30 verwendet werden. Wie bei den Systemen zum Transport von Sprachinformationen wird der Zeitschlitz (Slot) 0 und 16 nicht für die Übertragung verwendet. In vielen Netzen werden in der Praxis aber nur 16 der 30 möglichen Kanäle verwendet [Lehm07].

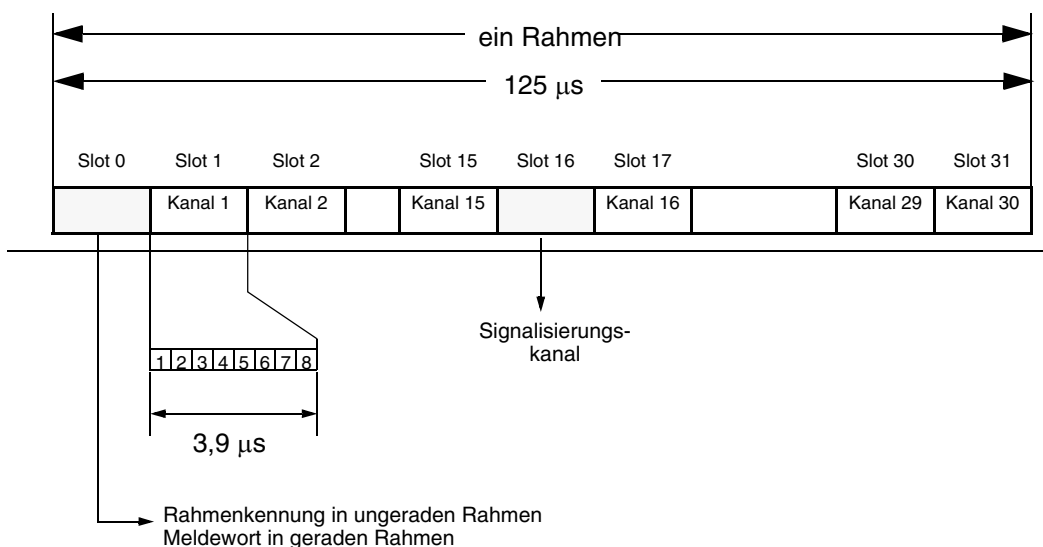


Bild 12: Strukturierter 2,048-Mbit/s-Rahmen [Sieg02-1]

Neben dieser strukturierten Betriebsweise können die 2,048-Mbit/s-Systeme in den meisten Vermittlungssystemen auch unstrukturiert (ohne die Einteilung in Kanäle) eingesetzt werden. Der unstrukturierte Betrieb wird beispielsweise als Alternative für die Kopplung von ISDN-TK-Anlagen im Anschlussbereich angeboten. Die Baugruppen der 2,048-Mbit/s-Systeme können durch eine einfache Konfiguration der Layer-2-Funktion in diesen Betriebs-Modus versetzt werden. Innerhalb der Kommunikationsnetze wurde diese Betriebsweise üblicherweise nicht verwendet [Lehm07].

Im folgenden Bild ist die Übertragung zweier Signalisierungsnachrichten mit einem 2,048-Mbit/s-System im strukturierten und unstrukturierten Mode dargestellt. In der strukturierten Betriebsweise werden die Nachrichten Oktett-weise verschachtelt übertragen. Der Abstand zwischen zwei Oktett entspricht der Rahmenlänge, 125 µs. Im zweiten Fall wird in der unstrukturierten Betriebsweise erst die erste Nachricht vollständig übertragen und dann die zweite. Diese muss warten, bis die erste Nachricht vollständig gesendet wurde. Sind m Nachrichten gleichzeitig zu übertragen, muss die letzte Nachricht $m-1$ Nachrichtenübermittlungen abwarten.

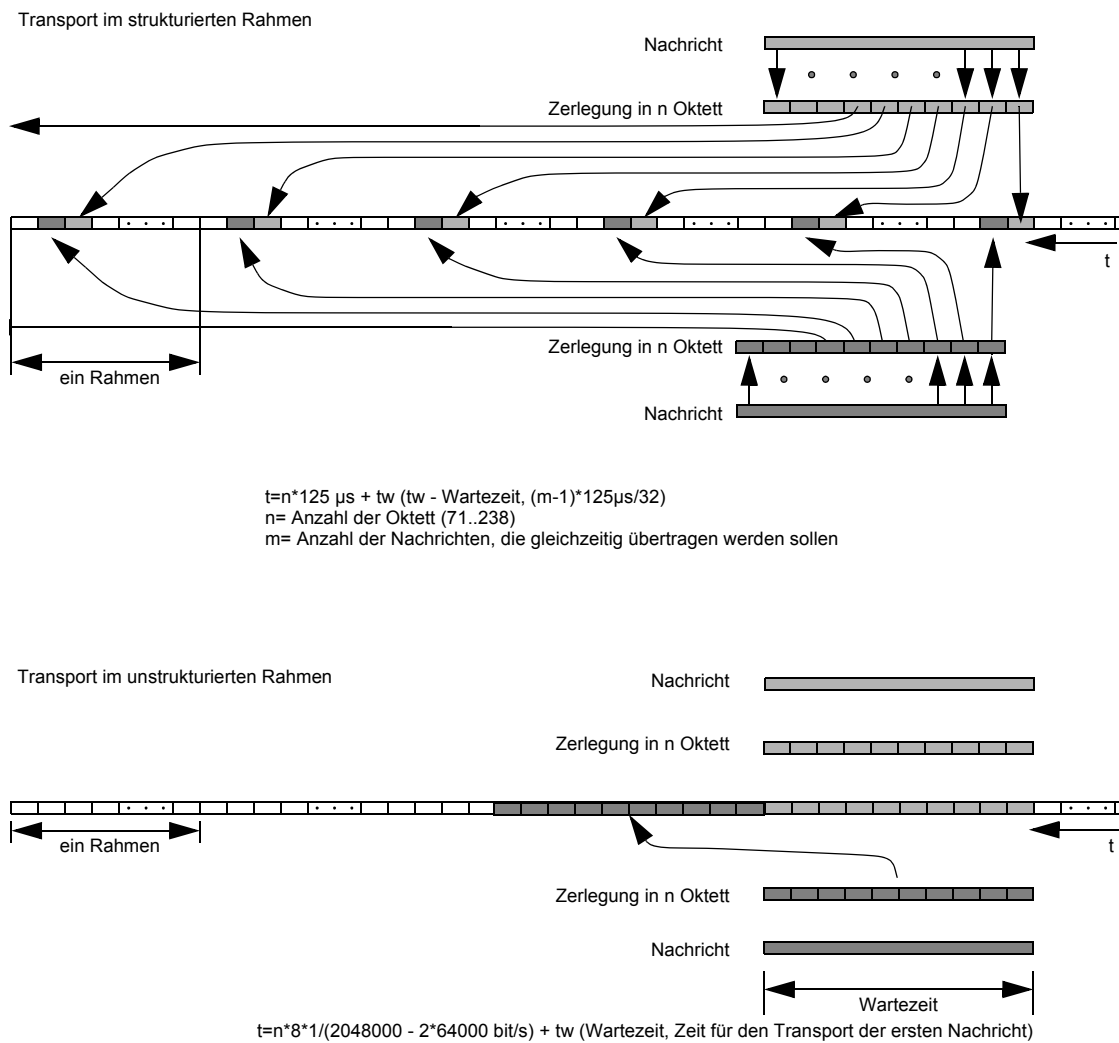


Bild 13: Strukturierte und unstrukturierte Übertragung

Wenige, aber lange Nachrichten werden im unstrukturierten Mode viel schneller übertragen als im strukturierten Mode. Die Kanal-orientierte Übertragungsweise zwingt eine Aufteilung der Nachrichten, auch wenn sonst keine Nachrichten zu übertragen sind.

Die Nachrichtenlänge der verwendeten Nachrichten im Rahmen dieser Untersuchung ist durchschnittlich 168 Oktett ($n=168$), vergl. Abschnitt 3.1.3. Die Länge der Nachrichten schwankt zwischen 71 und 238 Oktett.

Gesamtzeit t_{gess} für die Übertragung einer von m Nachrichten der Länge $\text{length}_{\text{MSG}}$ im strukturierten Rahmen (Näherung, da die Kanäle 0 und 16 nicht genutzt werden können und hier aber nicht berücksichtigt werden):

$$t_{\text{gess}} = t_{\text{bearb}} + t_w = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{64\,000 \text{ bit/s}} + (m-1) \cdot 125 \mu\text{s} / 32$$

Die Gesamtzeit t_{gesu} für die Übertragung im unstrukturierten Rahmen (Näherung):

$$t_{\text{gesu}} = t_{\text{bearb}} + t_w = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{1920\,000 \text{ bit/s}} + (m-1) \cdot \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{1920\,000 \text{ bit/s}}$$

In der Abbildung 14 ist die Zeit für die Übertragung einer Nachricht t_m mit 71 Oktett in beiden Übertragungsmodi dargestellt. In allen Fällen ist die Übertragung im unstrukturierten schneller als im strukturierten Mode.

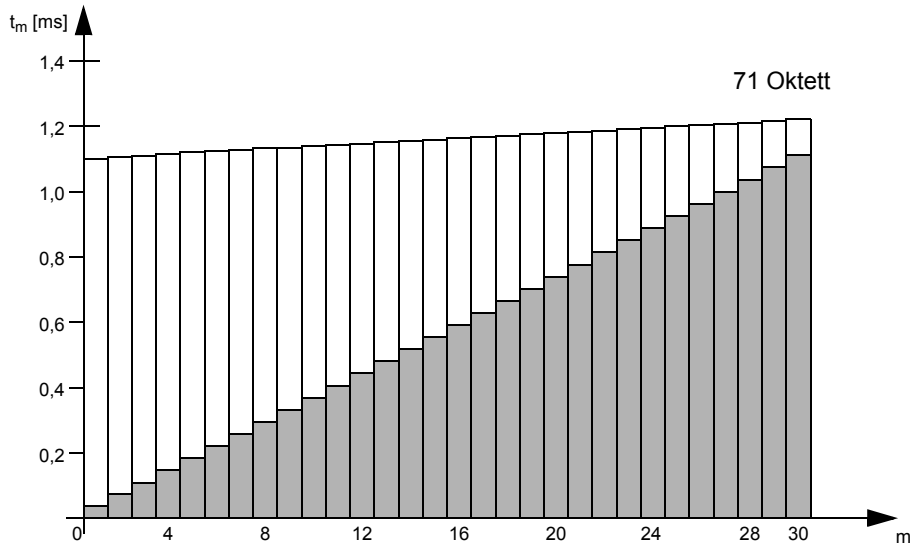


Bild 14: Zeit für den Nachrichtentransport einer 71-Oktett-Nachricht

Die Abbildung 15 stellt die Übertragung für m Nachrichten mit 238 Oktett dar. Erst wenn sehr viele Nachrichten gleichzeitig zu übertragen sind, nähern sich die Kurven für die strukturierte und unstrukturierte Übertragung.

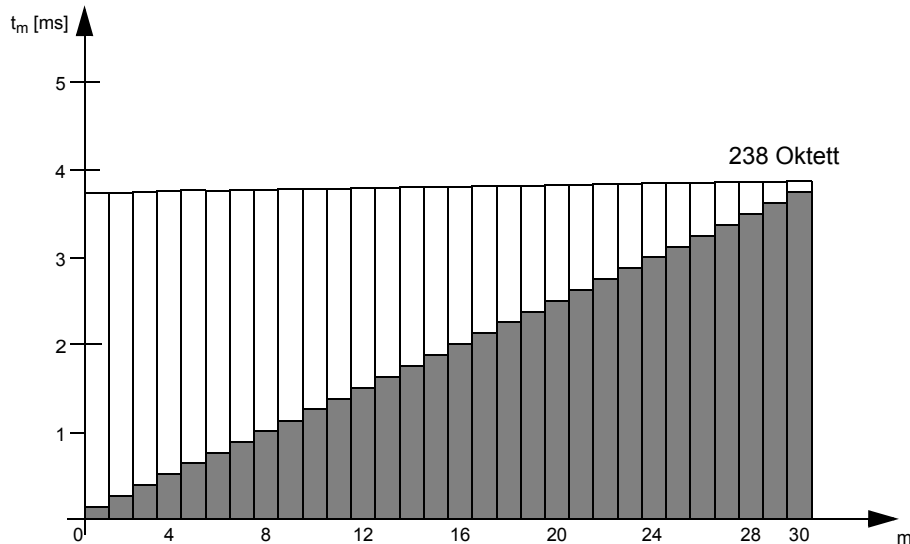


Bild 15: Zeit für den Nachrichtentransport einer 238-Oktett-Nachricht

Bei einer großen Belastung der Signalisierungs-Links und langen Signalisierungsnachrichten ist kein großer Unterschied in der Übertragungsdauer. Bei geringer Belastung und langen Nachrichten ist die unstrukturierte Übertragung deutlich schneller. Da in der Praxis häufig nur 16 der 30 möglichen Kanäle verwendet werden und die Belastung der Signalling-Links 6 Erl. nicht überschreitet [Lehm07], wird die Übertragung der Signalisierungslinks in jedem Fall für jede Nachricht stark verzögert.

2.3 Festlegung der Vergleichsgröße

Die Einführung eines zentralen HLR stellt erhöhte Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Datenbank. In dem folgenden Kapitel werden verschiedene Modelle entwickelt, die zentrale Datenbank einzuführen. Um die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Lösungen zu beurteilen, muss eine Vergleichsgröße definiert werden.

In einer Vielzahl von Funktionen und Abläufen der Signalisierung im GSM-Netz wird das HLR kontaktiert [Banet04]. Die Leistungsfähigkeit ist aber nicht in allen Abläufen entscheidend oder durch die Nutzer spürbar. Für diese Untersuchung wurde ein bestimmtes Szenario ausgewählt, bei dem die Reaktionszeit der HLR-Datenbank direkt vom Benutzer bemerkt werden kann. Dies ist ein Beispiel in dem sich die Performanz des Systems messen und verschiedene architektonische Ansätze untersuchen lassen.

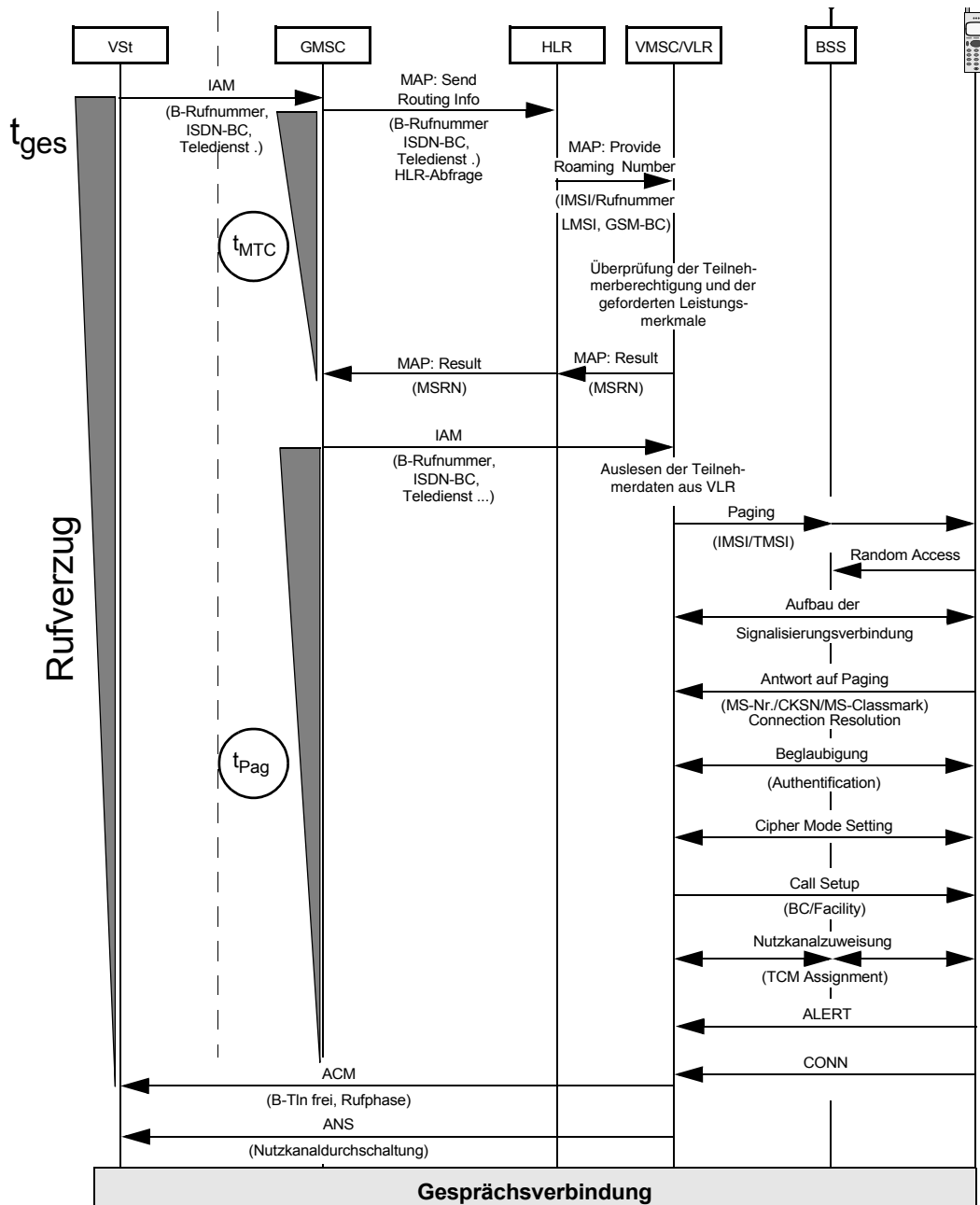


Bild 16: Mobile Terminating Call (MTC)

Als Kenngröße wurde in dieser Untersuchung die Antwortzeit des HLR im Verlauf der sog. „Mobile Terminating Call“ (MTC) bei dem zur Selektion des gerufenen mobilen Terminals das zugehörige HLR nach dem momentanen Aufenthaltsort gefragt. Dem rufenden Teilnehmer (A-TIn) macht sich die auftretende Verzögerung als sog. *Rufverzug* bemerkbar.

Ablauf des gewählten Szenarios

Der kommende Ruf an ein mobiles GSM-Endgerät wird vom rufenden Teilnehmer zum nächstgelegenen MSC bzw. (wenn aus dem Festnetz kommend) Gateway-MSC geleitet (ISUP IAM-Nachricht). Dieses stellt eine Datenbankanfrage an das entsprechende HLR (Zuordnung ist durch die Rufnummer bekannt), um den aktuellen Aufenthalt des Teilnehmers und damit die aktuelle Adresse des Besucher-MSC (VMSC) zu erfahren. Abhängig vom Aufenthaltsort des Teilnehmers muss dabei das für den besuchten Bereich zuständige VLR eingeschaltet werden. Mit der Rufnummer und der IMSI des gerufenen Teilnehmers wird der Aufenthaltsort ermittelt und die Berechtigungen für den Teilnehmer geprüft. Vom VLR wird dann eine temporäre Roaming Number (MSRN, adressiert das Visitor-MSC) vergeben, unter der der gesuchte Teilnehmer schneller, als mit der IMSI, adressiert werden kann (kürzer als IMSI).

Über den Mobile Application Part des Signalisierungsverfahrens Nr.7 wird das Ergebnis der Datenbankanfrage (MSRN) mitgeteilt und eine neue IAM mit der ermittelten MSRN in der Richtung des Ziel-MSC (VMSC) gesendet. Der Wegeaufbau erfolgt vom Gateway-MSC aus.

Nach dem Erreichen des Ziel-MSC muss noch der genaue Aufenthaltsort des Teilnehmers ermittelt werden, da nicht exakt bekannt ist, in welcher Zelle er sich befindet. Der genaue Aufenthalt des Endgeräts ist auch dem VLR in diesem Zustand nicht bekannt. Das Endgerät wird daher durch das nun folgende Paging in allen Zellen der aktuellen Location Area gefunden.

Das gerufene Endgerät erkennt den Ruf in der Paging-Nachricht und baut nach einem Random Access eine Signalisierungsverbindung zum MSC auf. Nach dem anschließenden Signalisierungsaustausch zwischen Endgerät und MSC wird u. a. die Beglaubigung durchgeführt, die Verschlüsselung eingeleitet und schließlich das Endgerät gerufen (signalisiert durch das Senden der ALERT-Nachricht). Nach der Festlegung des zu verwendenden Nutzkanals und dem Melden (CONNECT) des gerufenen Teilnehmers kann dann die Verbindung geschaltet werden.

Vergleichsgröße

Die Zeit für das Suchen des Teilnehmers innerhalb der Location Area (Paging, t_{Pag}) ist unabhängig von der gewählten Realisierung eines HLR. Für den Vergleich der verschiedenen Architekturen ist die Zeit zwischen dem Aussenden der MAP-Anfrage an der MSC und dem Empfang der Antwort (MAP-Result). Im Weiteren wird diese Zeit als t_{MTC} bezeichnet. Mit zunehmender Last am HLR wird die Zeit größer. Bei großer Last nähert sich der Durchsatz an den Grenzwert der theoretisch zu bearbeitenden Last an.

2.4 Authentifizierung

Die Authentifizierung der Teilnehmer ist eine zentrale Aufgabe des HLR. Sie ist festgelegt in den Standards: GSM 02.09 Security Aspects, GSM 02.17 Subscriber Identity Modules, GSM 03.20 Security Related Network Functions, GSM 03.21 Security Related Algorithm. Mit der Authentifizierungsprozedur werden neben der Authentifizierung der Teilnehmer Schlüssel-Parameter zur Datenübertragung gebildet. Die Authentifizierungsprozedur wird erforderlich bei:

- Location Update (VLR-Wechsel)
- Verbindungsaufbau (Mobile Termination Call, Mobile Originating Call)
- Location Registration (z.B. für Location based Services)
- Short Message Service (SMS)

Im Verlauf der Authentifizierung werden im AC des HLR drei Parameter (die sog. Triplets) gebildet, bestehend aus:

- eine im AC/HLR generierten Zufallszahl (Random Number – RAND)
- die Expected Response (XRES), ermittelt aus der RAND und dem nicht öffentlichen Schlüssel K_i ,
- und der Schlüssel K_c , der durch die RAND und dem K_i gebildet wird.

Das HLR wird dabei nicht bei jeder Authentifizierung kontaktiert. Bei einer Authentifizierungsanfrage an das HLR werden gleich 5 dieser Triplets (RAND, XRES, K_c) an das anfragende VLR/MSF gesendet. Diese stehen dann für vier weitere Anfragen im VLR zur Verfügung, das HLR wird in diesen Fällen nicht kontaktiert. Erst, wenn alle 5 Triplets vom VLR verwendet wurden, muss bei der folgenden Abfrage das HLR kontaktiert werden, um wieder 5 Triplets zu empfangen.

Authentifizierungsprozedur

Die Authentifizierungsprozedur basiert auf der IMSI (International Mobile Subscriber Identity), K_i (Individual Key) sowie den Algorithmen A3 und A8, die fest im HLR (nicht im VLR!) und der SIM-Card gespeichert sind. Der zur Berechnung notwendige Schlüssel (K_i) ist auf der SIM-Card und im AU/HLR implementiert. Aus einer übermittelten Zufallszahl (Random Number – RAND) und dem K_i (Individual Key) wird im HLR über den Algorithmus A3 die Expected Response (XRES) errechnet. RAND, K_c (errechnet aus K_i und RAND mit A8) und XRES werden als sog. Triplets vom AU/HLR dem VLR zur Verfügung gestellt. Die RAND wird über die Luftschnittstelle dem Terminal mitgeteilt, das mit Hilfe der SIM-Card und dem dort gespeicherten K_i sowie dem Algorithmus A3 die SRES (Signed Response) errechnet. Die im Terminal errechnete SRES wird als Antwort über die Luftschnittstelle zum VLR übermittelt, diese vergleicht die SRES mit der vom AC/HLR erhaltene XRES. Das Ergebnis der Authentifizierung wird vom VLR an die MSC übermittelt.

Der weitere Schlüssel K_c (Cipher Key) wird für die Verschlüsselung (A5) der Nachrichtenübermittlung zwischen MS und BTS verwendet.

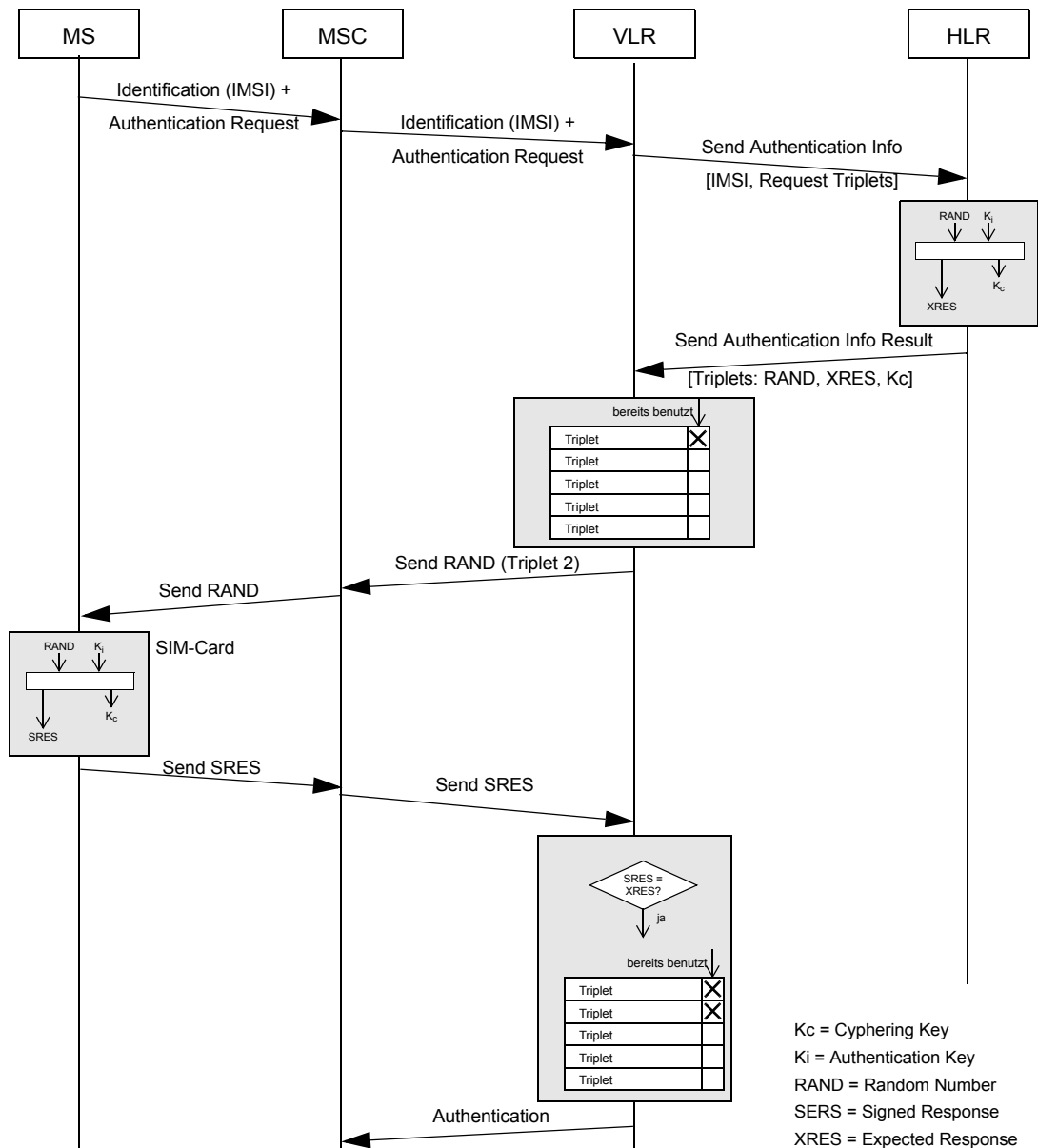


Bild 17: GSM-Authentifizierungsprozedur

Im VLR werden mehr Informationen als im HLR verwaltet. Das HLR enthält den augenblicklichen Aufenthaltsbereich in Form der MSC/VLR-Adresse, darüber hinaus aber keine temporären Daten. Diese werden im VLR gespeichert, s. Abbildung 18. Die dynamische Verwaltung der Teilnehmer wird durch das zugeordnete VLR übernommen. Durch die direkte Zuordnung und Unterbringung in der MSC, bildet das VLR eine Art Cache-Speicher, der die erforderlichen Daten schneller als durch das HLR bereitstellen kann. Das HLR wird dadurch entlastet.

Logisch ist das HLR eine übergeordnete Ebene, die Informationen vorhält, wo Teilnehmer zu finden sind. Genauer wird die aktuelle MSC/VLR-Adresse im HLR festgehalten. Beim Verbindungsaufbau wird immer zuerst das HLR angefragt. Dann übernimmt das jeweilige VLR alles weitere für den Verbindungsaufbau.

Informationen im HLR

IMSI
KI
Service-Profile
MSISDN
A3
A8
RAND
SRES
Kc
HLR-Adresse
MSC-Adresse
LMSI

Triplets

Informationen im VLR

IMSI
TMSI
Service-Profile
MSISDN
RAND
SRES
Kc
CKSN
HLR-Adresse
MSC-Adresse
LAI
IMSI Detach
MSRN
LMSI
Handover-Nr.

Triplets (max. 5)

IMSI – International Mobile Subscriber Identity
 MSISDN – Mobile Subscriber ISDN-Number
 TMSI – Temporary Mobile Subscriber Identity
 LMSI – Local Mobile Subscriber Identity
 MSRN – Mobile Station Roaming Number
 Service-Profile – Bearer-, Tele- und Subplementary Services, Service Restrictions
 LAI – Location Area Identification

Bild 18: Daten im HLR und VLR

2.5 Performance heute

Aktuelle Werte der oben beschriebenen Kenngröße konnte aus Signalisierungsmit-schnitten ermittelt werden, die aus dem Labor von Alcatel-Lucent entnommen wurden. Die Zeit für einen HLR-Zugriff (aus Sicht der MSC) wurde mit 120 .. 200 ms ermittelt. Die internen Spezifikationen fordern eine Zeit < 500 ms [Banet03].

Für die weiteren Aktivitäten wird von einer Servicezeit ($1/\mu$ des HLR im heutigen GSM) mit 60 ms plus einer Serialisierungszeit von $2 * 21$ ms (durchschnittliche Nachrichten Länge von 168 Oktett, mit einer Übertragung von 64 kbit/s) ausgegan-gen.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurden vom Netzbetreiber für Neulieferungen $t_{MTC} = 60$ ms gefordert [Lehm04].

2.6 Ziel-Architektur

Die Zielsetzungen im Abschnitt 1.4 beschreiben den Wunsch der Anbieter nach ei-nem zentralen HLR, das sich für andere Systeme öffnet und den Dienst der Teilneh-mer-Authentifizierung nutzbar macht. Die Realisierung der kurzfristigen Ziele soll bei einer Prüfung des Konzepts bereits diese Möglichkeiten der Öffnung berück-sichtigen (Restrukturierung der Netze).

Der grundsätzliche Aufbau des zentralen HLR entspricht in vollem Umfang bereits den Anforderungen der Netzrestrukturierung:

- Die Datendarstellung erfolgt auf XML-Basis.
- Die Funktionen des zentralen HLR werden in einzelne Prozesse zerlegt und getrennt implementiert.
- Zwischen den Komponenten werden Schnittstellen definiert, die Erweiterun-gen bzw. Spezialisierungen ermöglichen.

- Die Datenbank Realisierung basiert auf der Technik der Storage Area Networks (SAN).
- Verschiedene Zugänge mit unterschiedlichen Protokollen werden in Frontend-Verarbeitungssystemen realisiert.
- Der Zugriff auf die zentrale Datenbank kann von unterschiedlichen Applikationen aus realisiert werden. Zu den Applikationen zählen: HSS bzw. HLR, AAA, aber auch Funktionen, wie sie typischerweise vom SCP des Intelligenten Netzes erbracht werden, usw.

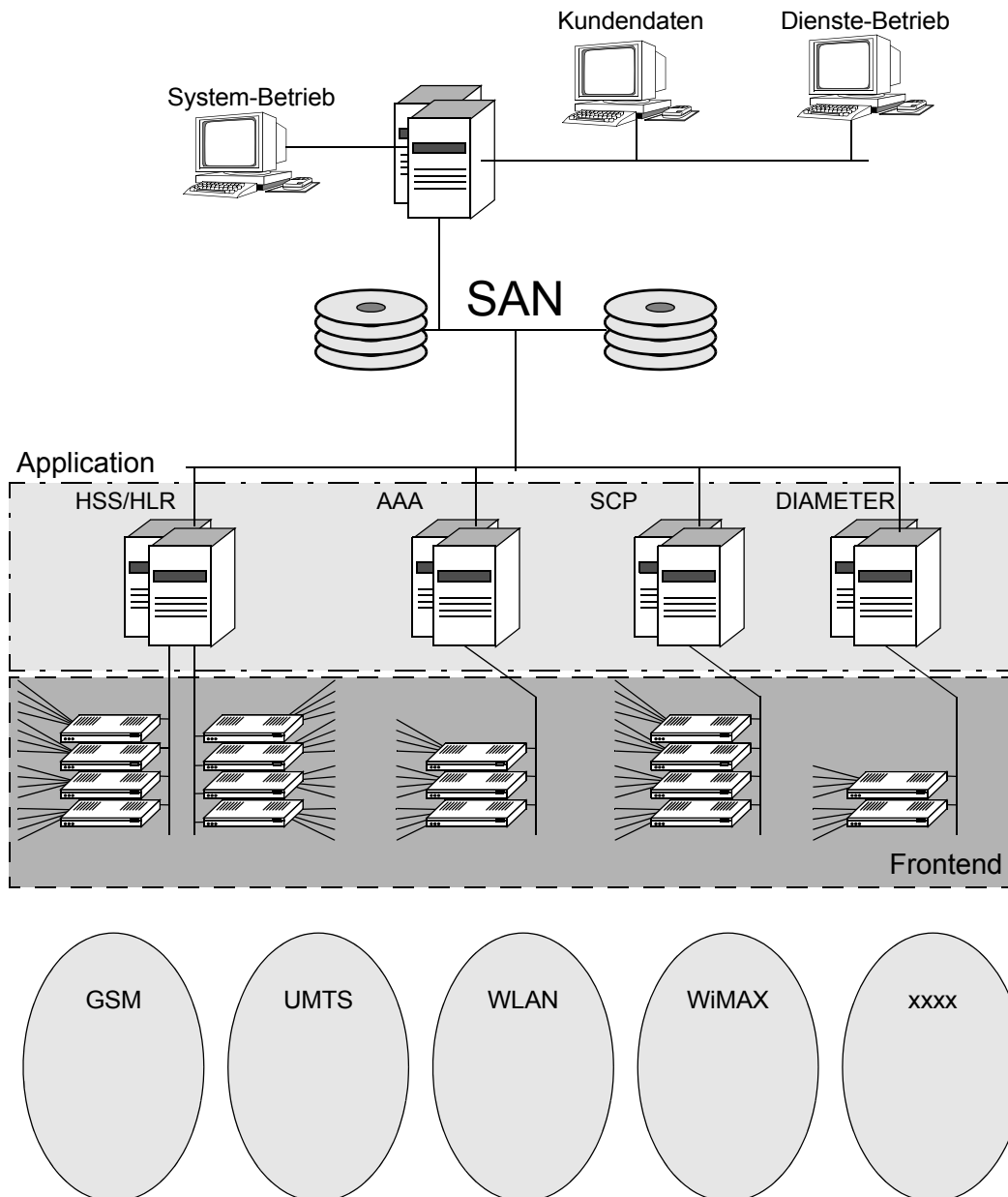


Bild 19: Aufbau der zentralen Datenbank

In der ersten Einführungsphase wird bereits eine Datenbank eingesetzt, die den oben beschriebenen Kriterien eines restrukturierten Netzes entspricht. Auf der Applikationsebene wird die Anwendung HLR verwendet. In den Frontend-Systemen müssen die Signalisierungsnachrichten auf XML basieren. Die Anpassung der Signalisierungsnachrichten erfolgt in einem Gateway, der am jeweiligen Ort des herkömmlichen HLR aufgestellt wird. In Richtung des GSM-Netzes wird dieser wie ein

HLR mit den Nr.7-Nachrichten des MAP in ASN.1-Darstellung [ITU-T X.208, ITU-T X.209, ITU-T Q.771, ITU-T X.690] angesprochen. Der Gateway bearbeitet die Nachrichten aber nicht, er passt sie nur in der Darstellung an und überträgt sie dann mit Hilfe des Simple Object Access Protocol (SOAP, s. folgenden Unterabschnitt). Nach dem in [Diehl04] beschriebenen Verfahren werden dabei die MAP-Nachrichten über SOAP transportiert. Die resultierende Architektur des GSM-Netzes mit einer zentralen Datenbank ist in der Abbildung 20 dargestellt.

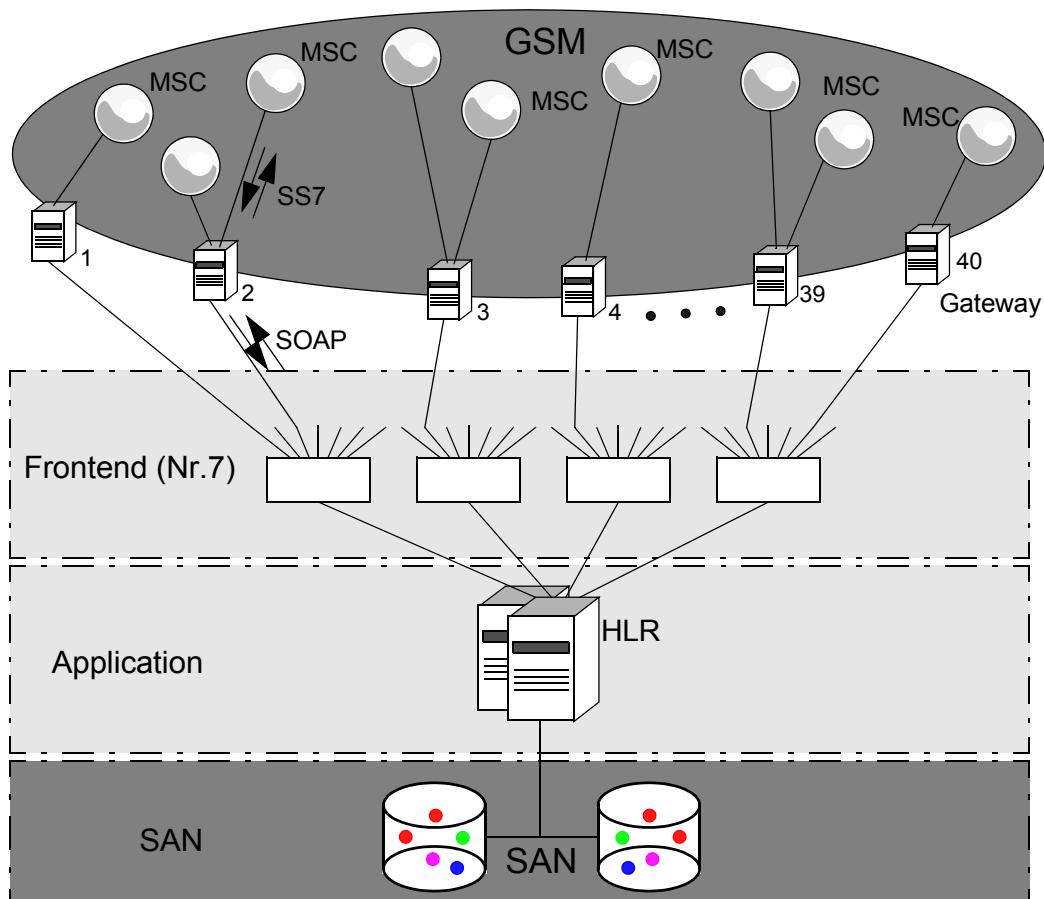


Bild 20: Das GSM-Netz mit einem zentralen HLR

Web Services

Web-Services ist eine Technik, die innerhalb des Internets, plattformunabhängig über Standardprotokolle (HTTP, XML, SMTP oder andere) lose Kopplungen zwischen Systemen bereitstellen. Durch Web-Services werden Funktionen und Dienste anderer Systeme nutzbar gemacht. Unter dem Begriff Web Services werden eine große Vielzahl sehr unterschiedliche Funktionen verstanden. Ein Grundprinzip dieser Technik ist, dass die angebotenen Dienste und Funktionen eine definierte Beschreibungssprache (Web Service Description Language – WSDL) verwenden. Die Beschreibung des Dienstes wird in Verzeichnissen geführt und ist dadurch durch die Benutzer im Netz auffindbar. Der Nachrichtenaustausch basiert auf XML unter Verwendung des Simple Object Access Protocol (SOAP).

Die Dienste und die Service-Anbieter werden in den sog. UDDI-Servern (UDDI – *Universal Description, Discovery and Integration*) geführt. Die Nutzer können über HTTP-Server auf die UDDI-Server zugreifen und die Dienste dort suchen und

Adressen (die URI) der Dienstanbieter ermitteln. Der Zugriff auf die Dienste erfolgt dann unter Verwendung von SOAP. Der Nachrichtenaustausch vom und zum SOAP-Server erfolgt über Standardnachrichten, wie SOAP-Request oder SOAP-Response. Weitere Informationen zu dem Dienst (Adressen, unterstützte Nachrichten usw.) können in einer zu Web-Service gehörenden Beschreibung (Web Service Description Language – WSDL) vom Client abgerufen werden. Web-Services bestehen prinzipiell aus folgenden Komponenten [RuppSieg04]:

- Dienst entdecken: Service Discovery/Publication – UDDI
- Dienst beschreiben: Service-Discription mit WSDL
- Dienstaufrufe und -funktionen verpacken: XML-basierter Nachrichtenaustausch beispielsweise mit SOAP
- Dienst transportieren: Internettransportprotokolle (HTTP, SMTP u.v.a.)

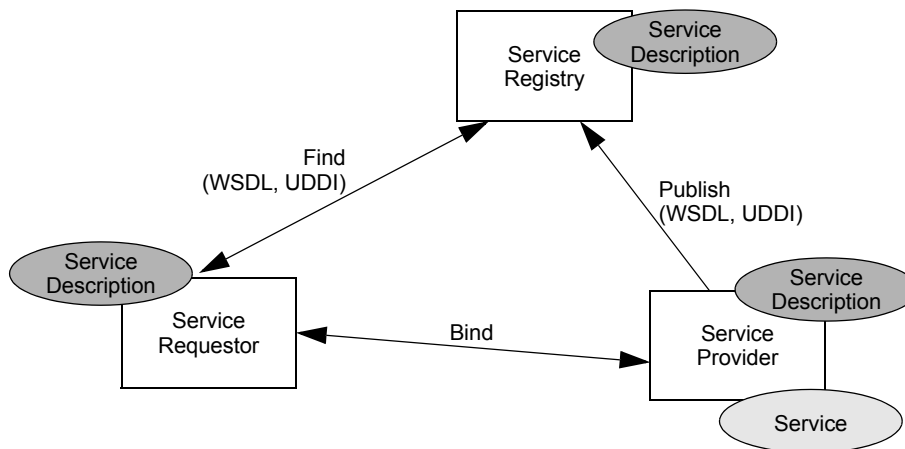


Bild 21: Web Services

Der Aufruf, und damit die Nutzung des Service, im Augenblick der Laufzeit der Objekte wird als *Binding* bezeichnet. Die Funktion des aufgerufenen Web-Services wird quasi in die Funktion des Clients eingebunden. Die Anwendung im Client bindet die Funktion des Dienstes zur Laufzeit des Programms in die eigene Funktion dynamisch ein.¹

Potentiale der Web Services in Telekommunikationsnetzen

Zur Vorbereitung der Netzrestrukturierung im GSM-Netz wurde die Verwendung der Web Services auch für die Definition eines zukünftigen HLR bzw. HSS gewählt. Damit kann der „Dienst“ der Authentifizierung auch anderen Netzen mit anderen Protokollen und Authentifizierungsmechanismen bereitgestellt werden. Die Öffnung für WLAN, WIMAX und andere Netzzugänge ist damit sichergestellt. Durch das Prinzip der Dienstbeschreibung und der Verwendung der Technik der Web Services ist der Dienst der Authentifizierung von Benutzern damit allgemein verfügbar und kann prinzipiell von jedem Netz aufgerufen und verwendet werden. Durch das Binding werden aber keine Authentifizierungs-interenen Abläufe veröffentlicht oder im Netz transportiert, sondern nur der Mechanismus der Authentifizierung in anderen Netzen verwendet.

1. Weitere Informationen findet man beispielsweise in [KuWö02] und [ScriStiv00] oder unter: <http://www.w3.org/tr/soap>.

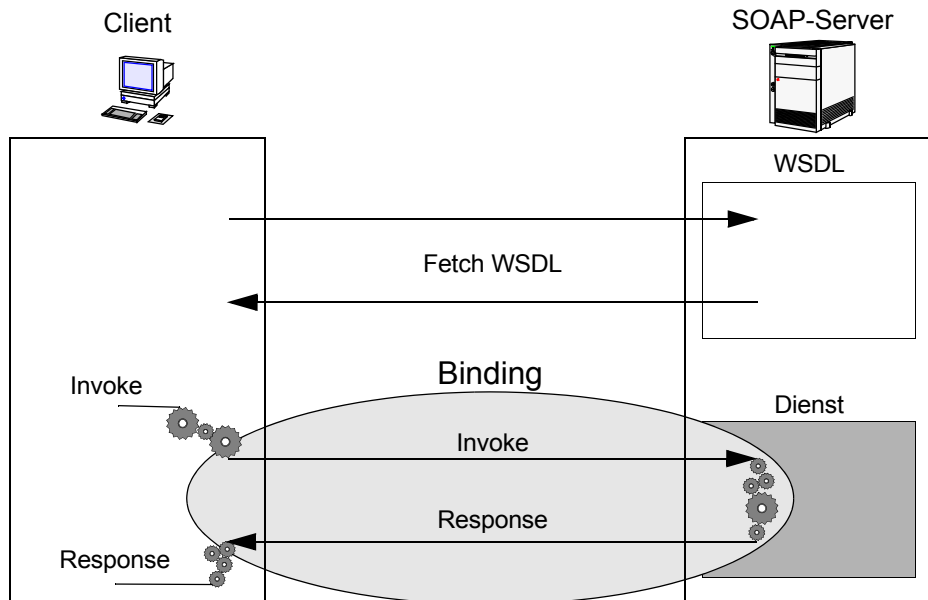


Bild 22: Service-Aufruf und Binding

Im weiteren Ausblick könnte man solche Funktionen prinzipiell in Telekommunikationsnetzen nutzen. Protokolle wären damit nicht mehr starr in den Endgeräten und Netzknoten implementiert, sondern könnten bei Bedarf „geladen“ werden. Die Netze beschränken sich in diesem Umfeld als Transportsysteme, alle weiteren Funktionen, wie auch die Signalisierung, werden zu einem Dienst. Solche Netze werden auch *Service Oriented Networks* (SON) bezeichnet. Das Ziel dabei ist es die Dienste möglichst netzunabhängig verfügbar zu machen und trotzdem relativ einfache, überschaubare Netzarchitekturen mit Standardprotokollen zu erhalten.¹

Ein Beispiel

In den restrukturierten Netzen können Funktionen übergreifend genutzt werden. Um den Unterschied zu den bisher sehr geschlossenen Netzen der klassischen Daten- und Telekommunikation zu zeigen, wird hier ein sehr spezielles Beispiel gewählt. Ein GSM-Handy soll über eine Bluetooth-Schnittstelle und ein klassisches LAN eine Verbindung im GSM-Netz aufbauen können.

Der Ablauf:

1. Ein GSM-Telefon (Handy) könnte in dieser Umgebung ohne den Empfang des GSM-Netzes funktionieren. Innerhalb einer Firma hat dieses Handy beispielsweise einen Kontakt über eine Bluetooth-Schnittstelle zu einem PC, der zu dem Firmennetz gehört. Aufgrund der Bluetooth-Kommunikation könnte das Handy sich vorstellen und einen Kommunikationswunsch äußern.
2. Das Intranet der Firma kennt diesen Dienst bisher nicht und fragt über UDDI in einem Repository nach diesem Dienst. Hier erhält es einen Verweis auf einen speziellen GSM-Server.

1. [Sieg et al 04, Rupp et al 04-1, Rupp et al 04-2, Rupp et al 2 2004, DieFuhr-Sieg 04]

3. Der GSM-Server wird kontaktiert und notwendige Funktionen (erforderliche Prozeduren, Codecs für die Nutzdaten, Zuordnung zum HLR, Adresse des HLR usw.) in den lokalen Server übertragen.
4. Nach Anfrage beim Terminal über Bluetooth und mit einer Kommunikation zum GSM-Server wird die Authentication und Authorization durchgeführt. Hierzu wird das zuständige HLR kontaktiert und die Authorization eingeholt (ganz ähnlich wie im WLAN-Beispiel weiter oben).
5. Zusammen mit der Authorization und einigen weiteren Informationen (Adresse der nächsten GSM-Vermittlungsstelle bzw. des GSM-Gateway) sind nun alle Informationen für einen Verbindungsaufbau verfügbar.
6. Der Verbindungsaufbau zur GSM-Vermittlungsstelle bzw. GSM-Gateway erfolgt dann vom lokalen Server aus.
7. Der weitere Verbindungsaufbau wird vom GSM-Netz übernommen.

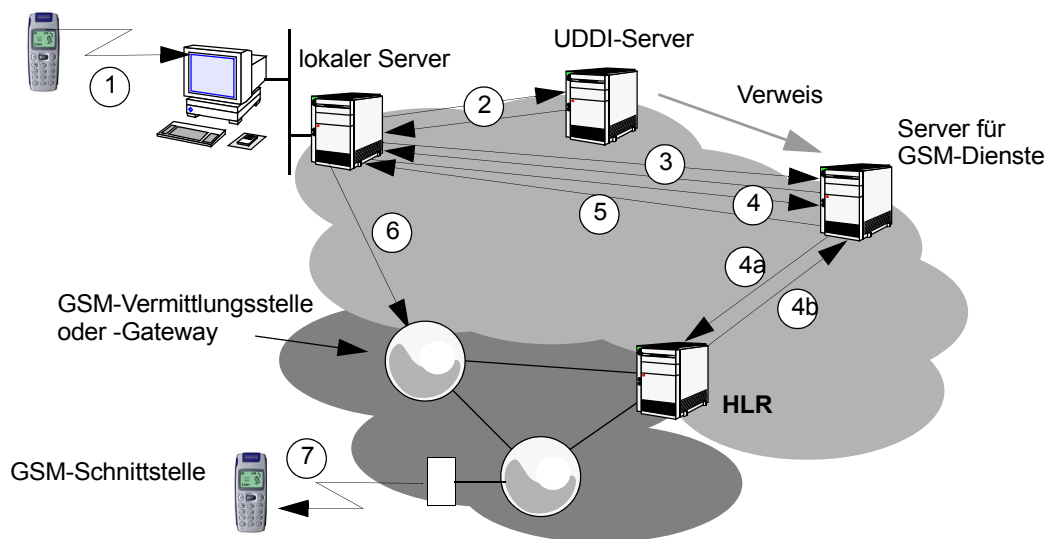


Bild 23: GSM-Handy am LAN

Der Verbindungsaufbau erscheint erst einmal viel aufwendiger und komplexer als im klassischen GSM-Netz. Auf der anderen Seite wurde in diesem Beispiel ein Zugangsnetz verwendet, das für diesen Dienst nie vorgesehen war. Durch die Öffnung der Netzelemente und der Basisdienste konnte so eine völlige Unabhängigkeit von Terminal, Zugangsnetz, Vermittlungsnetz und Dienst geschaffen werden. Für die Nutzung des Dienstes braucht man auch nicht unbedingt ein Handy, dies ginge auch vom PC aus mit einer entsprechenden Software. Der Dienst „Mobilkommunikation“ ist damit unabhängig vom Endgerät und Netz geworden. WLAN könnte damit unmittelbar genauso ein alternativer Zugang zum GSM-Netz sein (soweit der verfügbare QoS für die genutzte Anwendung ausreicht).

Das oben beschriebene Beispiel wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [Ars104] realisiert. Der dort realisierte HLR-Server emulierte den Server für die GSM-Dienste in der Abbildung 23 einschließlich des angefragten HLR (Abfragen 4a und 4b). Beide Funktionen zusammen wurden als HLR-Server bezeichnet. Laufzeitmessungen beim Zugriff des LAN-Servers auf den HLR-Server zeigten einen großen Unterschied zwischen dem ersten Zugriff und den weiteren Zugriffen:

Für den Zugriff innerhalb eines Intranets (beide Server im gleichen Netz) : Der Erstzugriff benötigte 2,3 s, die weiteren (schnell aufeinander folgende 1000 Wiederholungsanfragen) lagen im Mittel bei nur noch 39 ms. Mehrere Einzelabfragen hintereinander zeigten eine Zeit von 3,2 s für den Erstzugriff und eine Zugriffszeit von ca. 2,6 s für die weiteren Anfragen.

Ist zwischen LAN- und HLR-Server ein Internet, lagen die Werte für den Erstzugriff bei 2,5 s und die weiteren bei 319 ms. Der Unterschied zwischen unmittelbaren Wiederholungsanfragen und Einzelabfragen war in diesem Netz nicht so unterschiedlich. Erwartungsgemäß gab es größere Unterschiede der Zugriffszeit in Abhängigkeit der augenblicklichen Belastung des Internets.

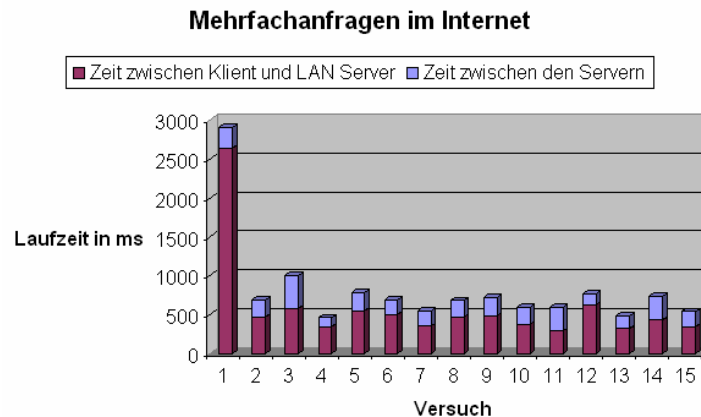


Bild 24: Web-Service-Zugriffe im Internet [Arsl04]

Die Dienstregistrierung im UDDI-Server benötigte bei sechs Versuchen im Durchschnitt 45 s, diese Zeit ist allerdings nicht so kritisch, da dieser Vorgang im Vorfeld der Nutzung nur einmal durchgeführt werden muss. Auch der Leseaufruf im UDDI-Server ist immer nur einmal am Anfang der Benutzung erforderlich. Hierfür wurde eine durchschnittliche Zugriffszeit von 25,5 s mit einer großen Varianz ermittelt.

Dauer der gesamten Suchoperation auf dem UDDI Server

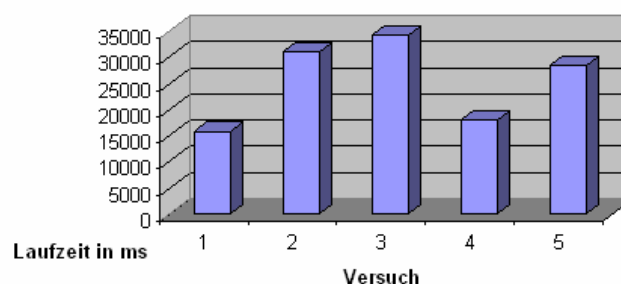


Bild 25: Dienst im UDDI-Server suchen [Arsl04]

Anmerkung: alle Untersuchungen wurden mit Standard-PC-Systemen und Standard-Software durchgeführt. Optimierungen lassen sich hierzu in vielen Punkten durch den Einsatz spezialisierter HW und SW erzielen. Im Rahmen der Diplomarbeit konnte dies nicht berücksichtigt werden. Die durchschnittlichen Zugriffszeiten ließen sich in realen Kommunikationssystemen deutlich senken. Für den Erstzugriff wurden dann ca. 2 s als erzielbar angenommen.

3 Modellierung

Insgesamt wurden für diese Untersuchung drei Modelle entwickelt, um die folgenden Fragestellungen zu klären:

- Ist das Konzept grundsätzlich realisierbar?
- In welchem Umfang wachsen die Signalisierungsnachrichten durch die Wandlung von ASN.1 in XML und welchen Einfluss hat dies auf die Performanz des Gesamtsystems?
- Wie kann eine möglichst wirtschaftliche, aber leistungsfähige Migration des GSM-Netzes erreicht werden?
- Wie wirken sich die verschiedenen Warteschlangen auf die Performanz aus?
- Welche Anforderungen müssen an die zentrale Datenbank, den Gateway und die Signalisierungslinks gestellt werden?

Modell A

Dieses Modell entspricht der Architektur des heutigen GSM-Netzes. Es dient zur Verifikation der architektonischen Ansätze und der angenommenen Verkehrslast. Mit diesem Modell soll geprüft werden, ob in der Simulation vergleichbare Werte wie im realen System bzw. im Labor des Herstellers erzielt werden. Die Signalisierungsnachrichten werden zwischen den MSC und HLR mit einer Anzahl von 2,048 Mbit/s-Systemen transportiert. Jede Nachricht wird dabei durch eines der 30 Kanäle im System übertragen, so dass für den Nachrichtentransport von mehreren 64-kbit/s-Kanälen ausgegangen wird.

Modell B

In diesem Modell werden die 40 HLR durch einen Gateway ersetzt und die zentrale Datenbank eingeführt. Der Gateway übersetzt die MAP-Signalisierungsnachrichten in SOAP-Nachrichten mit XML-Darstellung. Die Gateways werden am Ort des „alten“ HLR installiert, so dass sich für die Architektur des GSM-Netzes keine (oder nur kleine) Veränderungen ergeben. Um den Einfluss der Signalisierungs-Links zu prüfen, erfolgt die Kopplung zwischen MSC und Gateway mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (mehrere 64-kbit/s-Kanäle, unstrukturierte 2,048 Mibit/s-Links und SDH C4-Container). Die Signalisierung zwischen dem Gateway und der zentralen Datenbank erfolgt über SDH und dem System STM-1 mit 140 Mbit/s.

Modell C

Im letzten Modell wird durch Einführung eines Cache versucht die Anforderungen an die zentrale Datenbank durch ein lokales Caching zu mindern. In der Untersuchung wurden verschiedene Wahrscheinlichkeiten für das Finden der Teilnehmerdaten im lokalen Cache angenommen.

3.1 Festlegung der Simulationsparameter

Zur Durchführung der Untersuchungen mussten eine Reihe von Parametern in den Modellen festgelegt werden. Die Basis zur Ermittlung der Daten lieferten interne Planungsunterlagen der Herstellerfirmen Alcatel-Lucent [Alcatel98-1, Alcatel98-2, Alcatel03, Alcatel04] und Siemens [Siemens92, Siemens02-1, Siemens02-2, Siemens03], sowie Informationen zum Netz der T-Mobile [Ban04] und Labor-Traces aus [Alcatel99-03], zusammengefasst als [Basis-Daten]. Es standen keine verlässlichen Zahlen zu den gegenwärtigen Netzen der Netzbetreiber zur Verfügung. Die Planungsdaten stammten teilweise noch aus den Anfängen der GSM-Netze. Wenn keine Zahlen vorlagen oder ein Ausblick auf zukünftige Netzbelastungen angenommen werden sollte, wurden Annahmen getroffen, die mit den Fachleuten von Alcatel-Lucent abgestimmt wurden.

3.1.1 Allgemeine Rahmendaten

Für die weiteren Untersuchungen wurden die folgenden Rahmendaten festgelegt:

- Anzahl der Benutzer im Modell: 30 Mio. [Banet03]
Es wird eine gleichmäßige Verteilung der Teilnehmer auf die 80 MSC bzw. 40 HLR angenommen. Aufgeteilt sind dies 375000 Benutzer pro MSC und 750000 pro HLR (bei dezentraler Verwaltung im Modell A).
- Der Verkehrswert pro Benutzer für die Sprachkommunikation in der Hauptverkehrsstunde ist 0,01 Erl. [Basis-Daten], für das gesamte Netz sind das 300 000 Erl. Bei einer gleichmäßigen Verteilung auf die 40 HLR bedeutet dies 7500 Erl. Per HLR (bei dezentraler Konfiguration im Modell A).
- Der Verkehrswert für Datenverbindungen wird mit 0,5 bis 5 % des Verkehrs für Sprache angenommen [Basis-Daten].
- Vom Gesamtverkehrswert entfallen 40% auf den kommenden Verkehr, 30 % entsprechen dabei dem Mobile Terminating Call (MTC) die restlichen 10 % adressieren das Voice-Mail-System [Basis-Daten].
- Der gehende Verkehr beträgt 60 % des Gesamt-Verkehrswerts [Basis-Daten].
- Die mittlere Gesprächsdauer t_m wird mit 1 min angenommen [Basis-Daten].
- Die Anzahl der gehenden SMS je Benutzer in der Hauptaktivitätszeit ist 0,5 je Stunde [Annahme].
- Die Anzahl der ankommenden SMS je Benutzer in der Hauptaktivitätszeit ist 1 je Stunde [Annahme]. Die Anzahl der kommenden SMS ist größer, aufgrund der ggf. abonnierten Informationsdienste, die aus einer Verkehrsquelle Nachrichten regelmäßig an viele Benutzer gleichzeitig verteilen.
- Der periodische Location update (User in Idle-Zustand) erfolgt 2,17 mal in der Hauptaktivitätszeit (gemittelte Annahme aus [Basis-Daten]).
- Während des Gesprächszustands erfolgt
 - Handover: 4,3 mal während der Verbindung [Basis-Daten].
 - Relocation: 0,2 mal während der Verbindung (VLR-Wechsel) [Basis-Daten].
 - Cell update: 3 mal während der Verbindung [Basis-Daten].

- Das Szenario „Send Parameter“ (Anforderung der Triplets) erfolgt 0,3 mal innerhalb der Hauptaktivitätszeit (gemittelt aus 0,15 von T-Mobile und 0,45 von Alcatel-Lucent).

Aus diesen Grundannahmen ermitteln sich die Basisdaten für die Festlegung der Parameter im Simulationsmodell. Doch: Die Basisdaten können sich sehr schnell ändern (andere Teilnehmerprofile, Mode wie bei SMS, Tarifpolitik wie die Flatrates, regionale oder länderspezifische Verhaltensweisen der Teilnehmer).

3.1.2 Anfragen an das HLR

Für die Berechnung und die Simulation der drei Modelle muss eine Verkehrslast definiert werden, die aus den HLR-Anfragen aus dem GSM-Netz resultiert. Die Anfragen sind statistisch verteilt (Poisson-Verteilung), es wird immer nur die Hauptaktivitätszeit betrachtet. Die Basis-Daten wurden dem folgenden Alcatel-Lucent-Papier entnommen: Basic Traffic Model, Alcatel 900 System Documentation, AAC020240500DT, Ausgabe 16.12.1998. Die in diesem Papier noch enthaltenen Angaben für Fax (neben Sprache und Daten) wurden als zusätzliche Datenkommunikation angenommen, da FAX heute kaum eine Rolle in dem Verkehrsaufkommen spielt.

Festlegung der Szenarios

Für die Untersuchungen müssen verschiedene Szenarios berücksichtigt werden, die innerhalb der Hauptaktivitätszeit gleichzeitig ablaufen können. Andere Anfragen an das HLR, beispielsweise der Abgleich der Teilnehmerdaten, Wartungsaufgaben (Maintenance-Zugriffe) usw. wurden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, da sie im Allgemeinen nicht innerhalb der betrachteten Hauptaktivitätszeit erfolgen:

λ_1 : Location Update mit VLR-Wechsel

Dieser Verkehr besteht aus zwei unterschiedlichen Typen: Location Update (periodisch während der Verbindung) und der Abfrage der Triplets (Request Triplets).

- $\lambda_{1.1}$: Szenario:
 - Periodischer Location Update: Die periodische Location-Abfrage wird an das VLR gerichtet, das HLR wird daher nicht belastet (für das HLR=0). Für das VLR sind dies 2,17 Anfragen (Attempts – Att) in der Stunde (Hauptaktivitätszeit) pro aktiven Terminal [Basis-Daten].
 - Location Update während der Verbindung:
 - Update mit Relocation: 0,2 Anfragen pro Verbindung [Alcatel-Lucent], MOC+MTC= 0,6 Verbindungen pro Stunde und Terminal in der Hauptaktivitätszeit.
 - Relocations während der Verbindung: $0,2 \cdot 0,6 = 0,12$ Anfragen pro Stunde in der Hauptaktivitätszeit und Terminal.
 - Bei 375 000 Benutzern pro MSC sind dies $0,12 \cdot 375\,000 = 45\,000$ Anfragen pro MSC in der Stunde in der Hauptaktivitätszeit. Dies sind

dann $45\,000/3600 = 12,5$ Anfragen pro Sekunde je MSC. Das Szenario 1.1 besteht aus vier ausgetauschten Nachrichten zum und vom HLR (s. Bild 26)

$\lambda_{1.1} = 4 * 12,5 = 50$ Anfragen pro MSC in der in der Stunde zur Hauptaktivitätszeit.

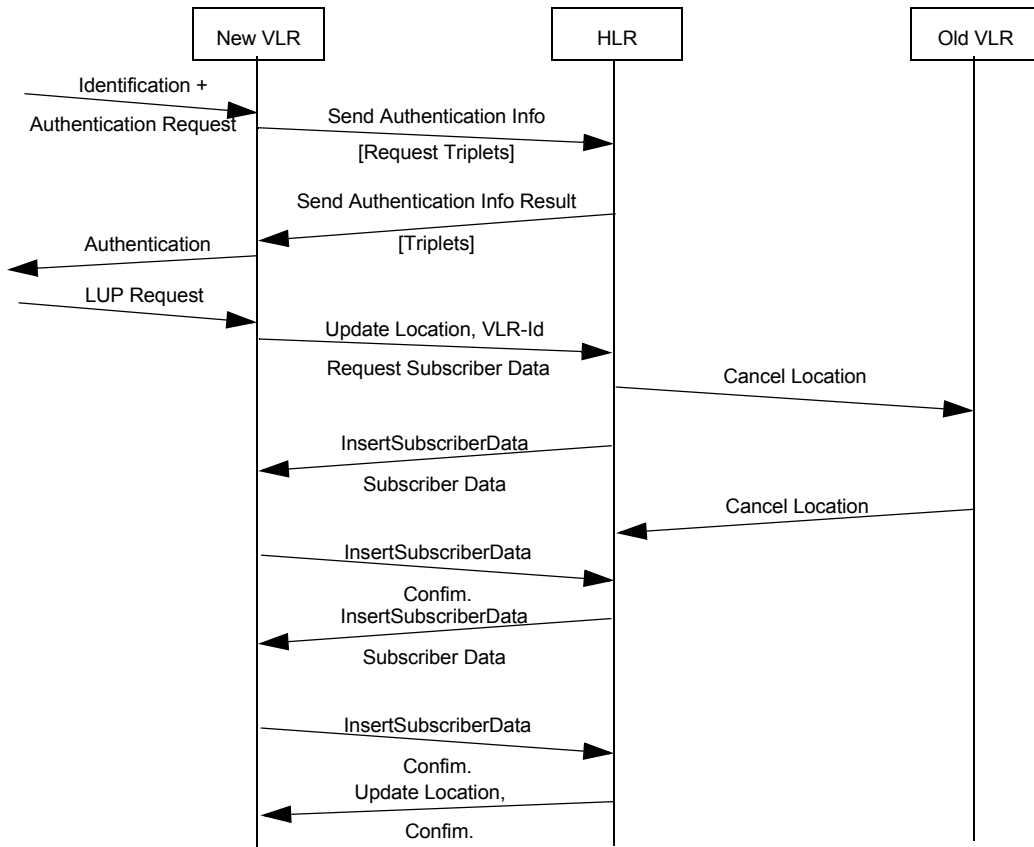


Bild 26: Location Update mit VLR-Wechsel (external location Update)

• $\lambda_{1.2}$: Szenario:

Request Triplets: 0,30 Anfragen in der Hauptverkehrsstunde, dieser Mittelwert wurde aus Angaben von T-Mobile (0,15) und Alcatel-Lucent (0,45) gebildet. In Summe sind das $0,30 * 375\,000$ user = 112 500 Anfragen pro MSC in der Hauptverkehrsstunde. Damit ist $\lambda_{1.2} = 112\,500/3600 = 31,25$ Attempts pro Sekunde pro MSC.

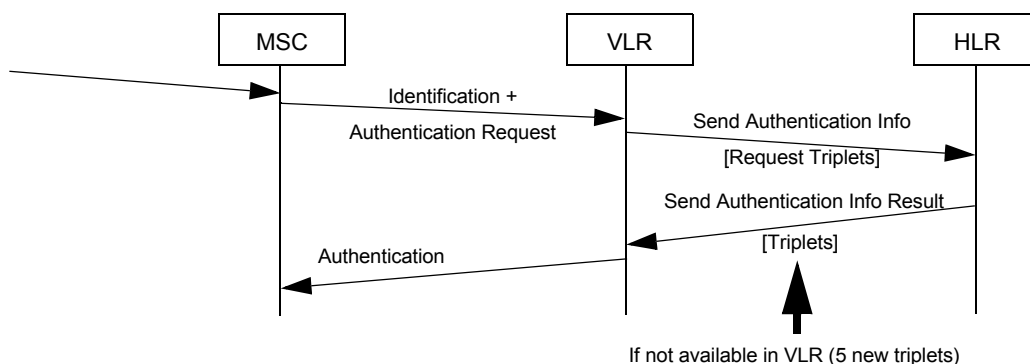


Bild 27: Request Triplets

Die Summe $\Sigma\lambda = \lambda_{1.1} + \lambda_{1.2} = 50 + 31,25 = 81,25$ Anfragen pro MSC pro Sekunde.

$\lambda_1 = 81,25$ Anfragen/s.

λ_2 : Mobile Terminating Call (MTC)

Für die kommenden Verbindungen wurde angenommen:

- Anfrage „Send Routing Info“
 - Der Verkehrswert für Sprachverbindungen ist pro Benutzer 0,01 Erl. [Basis-Daten].
 - 40% aller Verbindungen sind kommende Verbindungen, 30% gehen dabei zum Telefon (MTC), 10% zum Voice-Mail-System – [Basis-Daten]
 - Bei 375 000 Benutzern pro MSC ($375\ 000 * 0,01 = 3750$ Erl. pro MSC).
 - Die mittlere Belegungsdauer ist für Sprache (t_m) = 1 min [Basis-Daten].
 - Bezogen auf die Hauptverkehrsstunde sind dies $3750 \text{ Erl.} * 60 \text{ 1/h} * 0,3 = 67500$ Verbindungen pro MSC oder $67500/3600 = 18,75$ attempts/sec.
 - Der Datenverkehr wird als 0,5 to 5 % des Sprachverkehrs angenommen [Basis-Daten], das sind 0,09375 bis 0,09375 Verbindungen pro Sekunde pro MSC in der Hauptaktivitätszeit.

In Summe ist der kommende Verkehr pro MSC (Voice + Data) = $18,75 + 0,9375 = 19,6875$ attempts/s in der Hauptverkehrsstunde. $\lambda_2 = 19,6875$ Anfragen/s

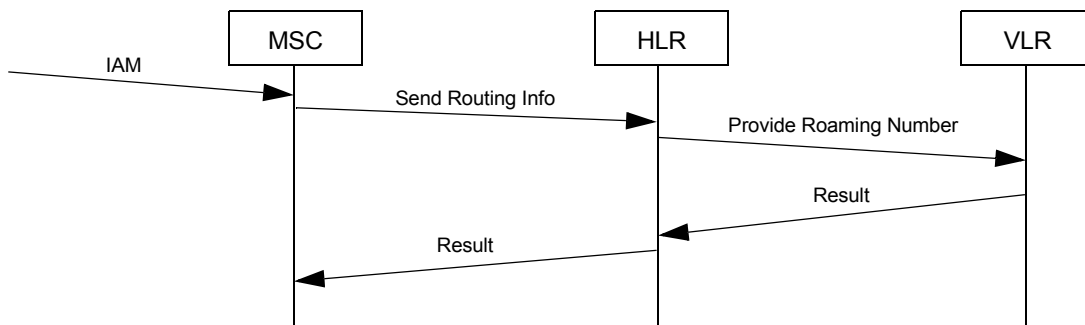


Bild 28: Mobile Terminating Call

λ_3 : Gehender Verkehr (Mobile Originating Call - MOC)

Beim MOC Anfrage „Request triplets from HLR“ werden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die Triplets sind in 80% aller Anfragen im VLR verfügbar (5 werden immer pro Anfrage vom HLR geholt) für diese Fälle erfolgt keine Anfrage beim HLR.
- In 20% der Fälle muss beim HLR angefragt werden.
- Gesamt Verkehr (Sprache) 0,01 Erl. pro Benutzer . [Basis-Daten]

- 60% des Verkehrs sind gehende Verbindungen (MOC) [Basis-Daten].
- Bei 375 000 Teilnehmer pro MSC sind dies 3750 Erl. pro MSC in der Hauptverkehrsstunde.
- $3750 * 60 \text{ 1/h} * 0,6 = 135\ 000$ Verbindungsanforderungen pro MSC in der Hauptverkehrsstunde oder pro Sekunde: $135\ 000/3600 = 37,5$ attempts/s.
- Der Datenverkehr ist ca. 0,5 to 5 % des Fernsprechverkehrs [Basis-Daten], das sind 0,1875 bis 1,875 attempts/s pro MSC in der Hauptverkehrsstunde.
- Sprache + Daten = $37,5 + 1,875 = 39,375$ attempts/s.
- 20% der Anfragen werden an das HLR gerichtet -> $39,375 * 0,2 = 7,875$ attempts/s. pro MSC in der Hauptverkehrsstunde.

Damit ergibt sich für $\lambda_3 = 7,88$ Anfragen/s

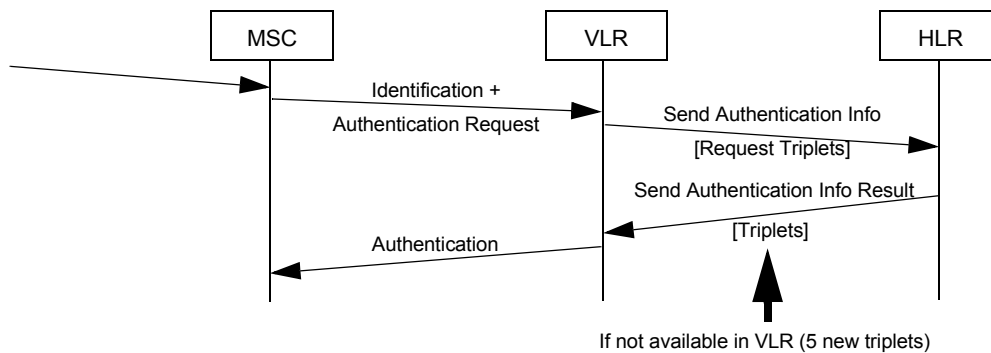


Bild 29: Mobile Originating Call

λ_4 : Location based Services (LbS)

Die Location Based Services werden im heutigen GSM-Netz nicht verwendet. Die Anfragen, die aus den geplanten Diensten resultieren, können nur abgeschätzt werden. Für die Untersuchungen wurde ein weiterer Bereich von 10% bis 100% Nutzung, als „default“ wird von 10% Nutzung ausgegangen.

- Szenario: „Send Routing Info“

Gesamtverkehr im heutigen GSM = 0 Anfragen 1/s.

- Annahmen:

0,5 Anfragen pro Benutzer in der Hauptverkehrsstunde -> $0,5 * 375000 / 3600 = 52,0833$ Anfragen 1/s werden für einen normalen Nutzungsgrad angenommen [Annahme].

- Für sehr hohes Verkehrsaufkommen werden die folgenden Annahmen getroffen (alle in der Hauptverkehrsstunde):
 - 1 Anfrage pro Teilnehmer -> $1 * 375000 / 3600 = 104,167$ 1/s.
 - 1,5 Anfrage pro Teilnehmer ($1,5 * 375000/3600 = 156,251/s$)
 - 2 Anfrage pro Teilnehmer ($2 * 375000/3600 = 208,33$ 1/s)
 - 3 Anfrage pro Teilnehmer ($3 * 375000/3600 = 312,5$ 1/s)
 - 4 Anfrage pro Teilnehmer ($4 * 375000/3600 = 416,67$ 1/s)

Die Summe für diese Anfragen ist $\lambda_4 = 52,08$ bis $416,67$ Anfragen/s, als Standard wurde $52,08$ Anfragen/s definiert.

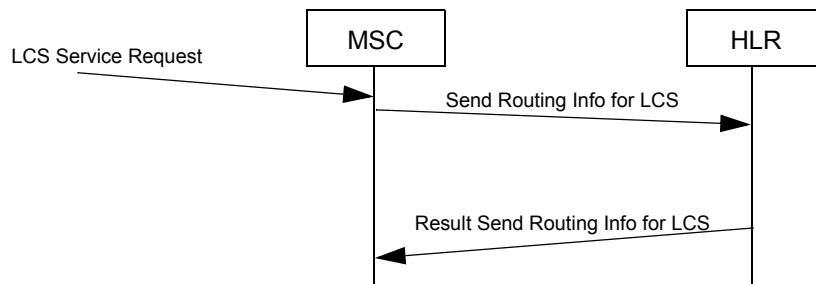


Bild 30: Location based Services

λ5: Short Message Service (SMS)

Die Summe der Anfragen zum HLR für SMS kann in zwei Szenarios unterschieden werden:

- λ5.1: Szenario: Send Routing Info for SMS
 Der SMS-Verkehr wurde mit 0,56 Anfragen kommend, 0,3 gehend pro Benutzer in der Hauptaktivitätszeit abgeschätzt. Für die weiteren Betrachtungen wurden diese Werte erhöht, um für die Auslegung etwas größere Sicherheit zu gewinnen und dies erfolgt unter der Annahme eines noch steigenden SMS-Verkehrs. Damit wurden die folgenden Werte für den SMS-Verkehr gewählt (alle in der Hauptverkehrsstunde):

- Kommende SMS pro Teilnehmer: 1 [Annahme]
- Gehende SMS pro Teilnehmer: 0,5 [Annahme]
- Die Anzahl der kommenden SMS ist aufgrund der Verteildienste (Info-Servcies), die von einem Ziel an viele Nutzer verteilt werden größer.
- Der SMS-Verkehrswert pro MSC ist $1 \cdot 375000 = 375000$ SMS
- $375000 / 3600 = 104,167$ Anfragen pro MSC in der Sekunde 1/s.

$\lambda_{5.1} = 104,167 \text{ 1/s}$

- λ5.2: Szenario: Request Triplets für gehende SMS (MOSMS) Annahmen:
 - Gehende SMS pro Teilnehmer: 0,5
 - Verkehrswert pro MSC $0,5 \cdot 375000 = 187500$ SMS 1/h
 - $187500 / 3600 = 52,083$ Anfragen pro Sekunde
 - 80% aller Anfragen werden an das VLR gerichtet, 20% an das HLR

$\lambda_{5.2} = 52,083 \cdot 0,2 = 10,4167 \text{ 1/s}$

$\lambda_5 = \lambda_{5.1} + \lambda_{5.2} = 104,167 \text{ 1/s} + 10,4167 \text{ 1/s} = 114,59 \text{ Anfragen/s}$

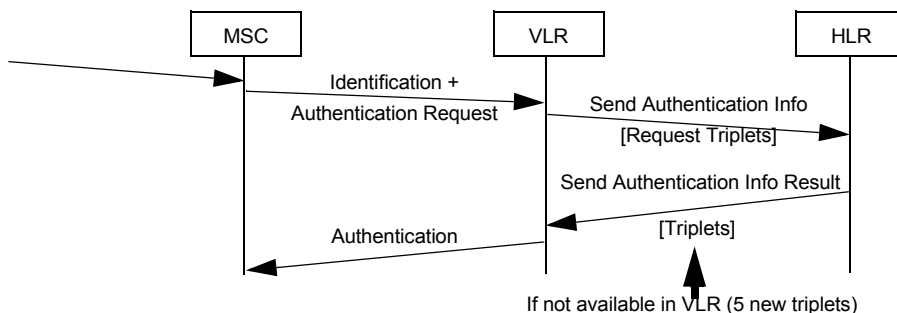


Bild 31: Szenario für den Short Message Service (SMS)

Die Ankünfte von Signalisierungsnachrichten der Summe λ_1 bis λ_5 bilden die Anforderungslast *pro* MSC an das HLR, dargestellt ist dies in der Abbildung 32.

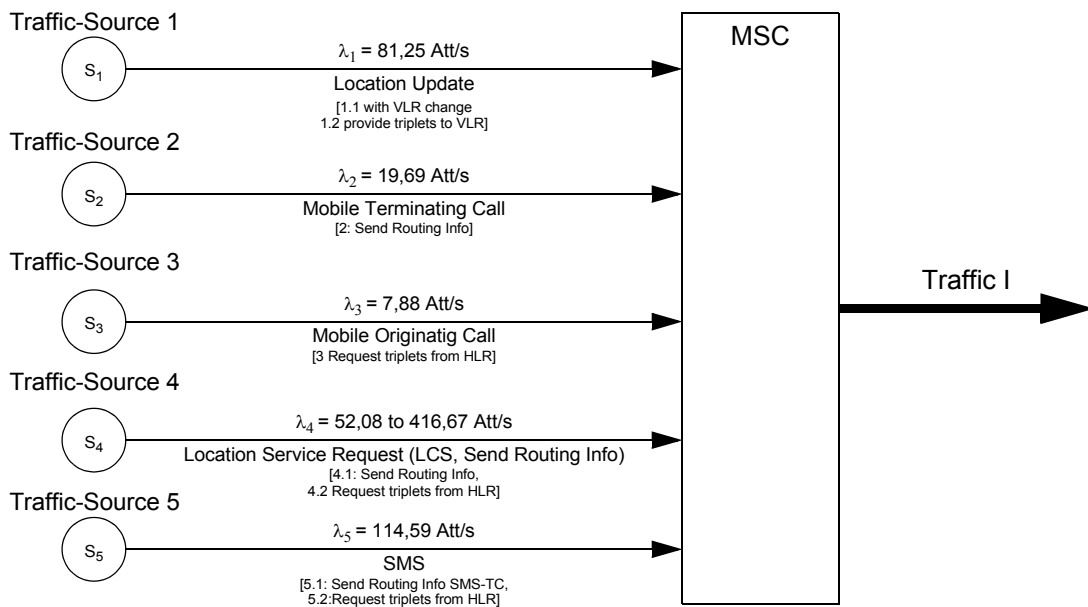


Bild 32: Summe der Anforderungen zum HLR

Die folgende Abbildung stellt die Zusammensetzung der Anforderungen mit ihren jeweiligen Anteilen dar.

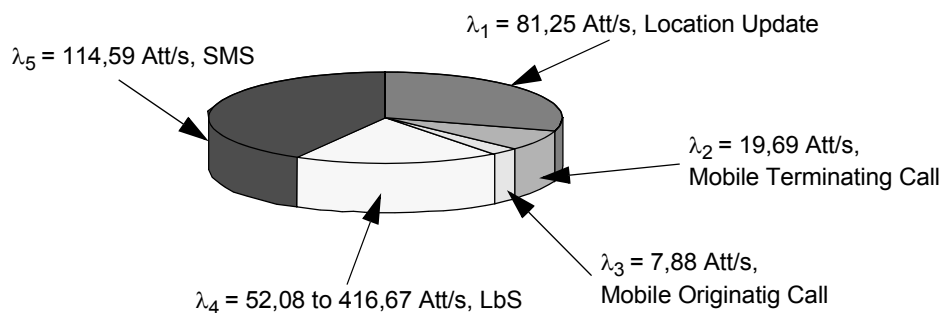


Bild 33: Aufteilung der Anfragen

3.1.3 Berechnung der durchschnittlichen Nachrichtenlänge für ASN.1

Die verwendeten Nachrichten (Nr. 7-Nachrichten nach ASN.1) haben in allen Szenarien und allen Verkehrsquellen (λ_1 bis λ_5) eine Länge zwischen 71 und 238 Oktett [Alcatel99-03]. Für die verschiedenen Szenarien wurden die folgenden Nachrichtenlängen aus Labor-Traces der Fa. Alcatel-Lucent ermittelt:

- $\lambda_{1.1}$: Häufigkeit 50 1/s, 8 Nachrichten: jeweils 176, 101, 238, 101, 94, 71, 72, 94 Oktett lang.
- $\lambda_{1.2}$: Häufigkeit 31,25 1/s, 2 Nachrichten: 100 bzw. 238 Oktett lang.
- λ_2 : Häufigkeit 19,69 1/s, 2 Nachrichten: 76 und 208 Oktett lang.
- λ_3 : Häufigkeit 7,88 1/s, 2 Nachrichten: 76 bzw. 208 Oktett lang.

- λ 4: Häufigkeit 52,08 bis 416,67 1/s, 2 Nachrichten: 110 und 238 Oktett lang.
- λ 5: Häufigkeit 114,59 1/s, 2 Nachrichten (MSG): 110 bzw. 238 Oktett lang.

Verkehr	Ankunftsrate (min)	Ankunftsrate (max)	Anteil (minimal)	Anteil (maximal)	Summe der Oktett	Anzahl	Berechnung Länge (minimal)	Berechnung der Länge (maximal)
λ 1.1	50	50	0,181	0,078	1224	10	22,15	9,56
λ 1.2	31,25	31,25	0,113	0,0488	338	2	19,10	8,25
λ 2	19,69	19,69	0,0715	0,031	284	2	10,15	4,40
λ 3	7,88	7,88	0,0286	0,0123	284	2	4,061	1,75
λ 4	52,08	416,67	0,189	0,651	348	2	32,89	113,27
λ 5	114,59	114,59	0,4159	0,179	348	2	72,37	31,15
Summe	275,49	640,08	1	1			160,72	168,28

Tabelle 1: Berechnung der gewichteten Nachrichtenlänge (ASN.1)

Gewichteter Mittelwert

Für die Untersuchungen wird ein Mittelwert aus allen Nachrichten, gewichtet nach der Häufigkeit ihres Vorkommens, gebildet (gewichteter Mittelwert s. Berechnung in Tabelle). Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Nachrichtenlänge $\text{length}_{\text{MSG}} = 168 \text{ Oktett}$.

3.1.4 Mittlere Belegungsdauer für den Signalisierungslink

Der Transport erfolgt in einem Primärsystem mit 2,048 Mbit/s mit 30 Kanälen mit jeweils 64-kbit/s (netto sind dies zusammen 1920 kbit/s). Für die weitere Betrachtung wird dieses Transportsystem für die Signalisierungsnachrichten etwas vereinfacht. Ein Wartezeitsystem mit m Servern (Abb. 34 a) kann nach [Men et al 2001] und [MenAlm 2002] zu einem modifizierten M/M/1 System (Abb. 34 b) umgewandelt werden; der Fehler im Vergleich zur komplexeren Berechnung soll dabei kleiner 5% bleiben.

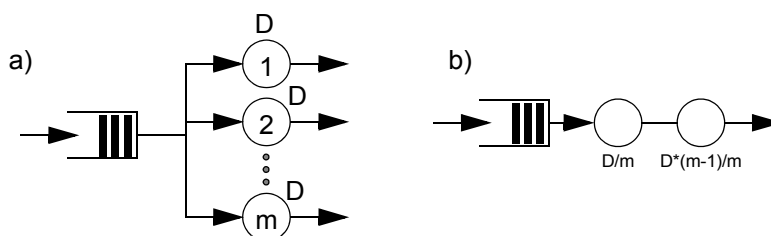


Bild 34: Approximation eines Mehr-Server-Systems zu einem Einzelsystem

Auf die Verhältnisse der Signallisierungs-Links abgebildet ergibt sich damit die Berechnung der Bedienzeit eines Signalisierungs-Links für die durchschnittliche Nachrichtenlänge von $168 \cdot 8 = 1344 \text{ bit}$ und dem Transport mit einem Link mit 30 Kanälen mit je 64 kbit/s:

$$\frac{\text{length}_{MSG} \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s} \cdot m} = \frac{D}{m} \quad \text{mit } m = 30 \text{ und } \text{length}_{MSG} = 168: \quad \frac{168 \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s} \cdot 30} = 0,0007 \text{ s} = 0,7 \text{ ms}$$

Hinzu kommt eine weitere Verzögerungszeit, da durch den Transport mit 64 kbit/s, nur *einer* der 30 Kanäle verwendet werden kann. Damit ergibt sich entsprechend der Vereinfachung nach [Men et al 2001] und [MenAlm 2002]:

$$\frac{\text{length}_{MSG} \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s}} \cdot \frac{m-1}{m} = D \cdot \frac{m-1}{m}$$

mit $m = 30$ und $\overline{\text{length}}_{MSG} = 168$:

$$\frac{168 \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s}} \cdot \frac{29}{30} = 0,0203 \text{ s} = 20,3 \text{ ms}$$

Zusammen ist dies für den Transport einer durchschnittlichen Signalisierungsnachricht eine Transportdauer t_{Link} von:

$$t_{Link} = \frac{\text{length}_{MSG} \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s} \cdot m} + \frac{\text{length}_{MSG} \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbit/s}} \cdot \frac{m-1}{m} \quad t_{Link} = 0,7 \text{ ms} + 20,3 \text{ ms} = 21 \text{ ms}$$

Mit dieser durchschnittlichen Servicezeit kann die durchschnittliche Belastung pro Link in einer Richtung berechnet werden:

$$\lambda_1 * 4 \text{ MSG}_m + \lambda_2 * 1 \text{ MSG}_m + \lambda_3 * 1 \text{ MSG}_m + \lambda_4 * 1 \text{ MSG}_m + \lambda_5 * 1 \text{ MSG}_m$$

Mit der variablen Verkehrsquelle λ_4 ergibt das:

$$\text{Belastung}_{\min}: 479,86 * 168 = 80616,48 \text{ Oktett/s} = 644931,84 \text{ bit/s}$$

$$\text{Belastung}_{\max}: 844,45 * 168 = 141867,6 \text{ Oktett/s} = 1134940,8 \text{ bit/s}$$

Die maximale Kapazität des Signalisierungslinks ist: $30 * 64 \text{ kbit/s} = 1920 \text{ kbit/s}$

Auslastung der Links

$$\rho_{Link_min} = \frac{\lambda_{ges}}{\mu_{Link}} = \frac{644931,84}{1920000} = 0,336$$

$$\rho_{Link_max} = \frac{\lambda_{ges}}{\mu_{Link}} = \frac{1134940,8}{1920000} = 0,591$$

Angebot pro Link: $A_{Link} = t_m * \Sigma \lambda = t_m (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5)$

$$t_m = t_{Link} = 168 * 8 / 64 \text{ kbit/s} = 0,021 \text{ s}$$

$$A_{Link} = 0,021 \text{ s} (81,25 + 19,69 + 7,88 + 52,08 + 114,59) = 5,785 \text{ Erl.},$$

bei $N = 30$

Pro 64-kbit/s-Kanal sind dies $5,785/30 = 0,19 \text{ Erl.}$

Der maximale Wert der in der Praxis üblichen Werte für die Auslegung von Signalisierungsstrecken liegt bei 0,2 Erl. pro Signalisierungskanal. Dieser würde mit den gewählten Vorgaben praktisch erreicht werden.

3.1.5 Berechnung der durchschnittlichen Nachrichtenlänge für XML

Nachrichtenlänge für die XML-basierten Nachrichten (Model B and C) wurden aus Übersetzung aus [Alcatel99-03] und mittels eines BER ASN.1 Kodierers zum Binär-code ermittelt, mit der verfügbaren Lizenz konnten für die Diplomarbeit von A. Diehl nicht alle Nachrichten vollständig übersetzt werden. Für die Summe der übersetzten Nachrichten wurde bei den nicht übersetzten Nachrichten der nächste Wert der ASN.1 Länge verwendet (also für die Übersetzung der 100 Oktett-Nachricht wurde das Ergebnis der 94-Oktett-Nachricht gewählt). Alle Nachrichten wurden entsprechend ihrer Häufigkeit gemittelt. Übersetzungen:

- UpdateLocationArg: ASN.1=119 Oktett, XML=639 Zeichen, Faktor: 5,37
- InsertSubscriberDataArg: ASN.1=235 Zeichen, XML=2417 Zeichen, Faktor: 10,29
- InsertSubscriberDataRes: ASN.1=71 Zeichen, XML=205 Zeichen, Faktor: 2,89
- UpdateLocationRes: ASN.1=94 Zeichen, XML=319 Zeichen, Faktor: 3,39

$$\lambda_1 = 1 \cdot 639 + 2417 + 4 \cdot 319 + 2 \cdot 205 = 4742 \text{ Zeichen}$$

$$\lambda_{1.2}, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5 = 2417 + 319 = 2736 \text{ Zeichen}$$

Verkehr	Attemts (min)	Attemts (max)	Anteil/min	Anteil/max	Σ Zeichen	Anzahl der MSG	mittleren Länge (minimal)	mittleren Länge (maximal)
I1.1	25	25	0,05252	0,0207	4742	8	31,135	12,296
I1.2	62,5	62,5	0,1313	0,0518	2736	2	179,64	70,947
I2	39,375	39,375	0,0827	0,0326	2736	2	113,173	44,696
I3	15,75	15,75	0,0330	0,01306	2736	2	45,269	17,8787
I4	104,16	833,33	0,2188	0,6914	2736	2	299,381	945,959
I5	229,166	229,166	0,4814	0,1901	2736	2	658,679	260,139
Summe	475,951	1205,121	1	1			1327,278	1351,917

Tabelle 2: Berechnung der gewichteten Nachrichtenlänge (XML)

Gewichteter Mittelwert

Durchschnittliche Länge in XML wurde auf **1352** Zeichen festgelegt. Hieraus ergibt sich ein durchschnittlicher Übersetzungsfaktor von $1352/168 = 8,0476$.

Für die Nachrichten bedeutet dies eine Spannweite von 71 bis 238 bzw. übersetzt 571,37 bis 1915,33. Für die Übertragung im SDH-Rahmen sind noch 8 Bit für die Layer 2 (HDLC PPP) zu berücksichtigen, dies macht dann 1360 für die durchschnittliche Länge und eine Bandbreite von 580 bis 1924 Oktett.

Die Übertragung der XML-Nachrichten erfolgt mit SDH-C4-Container, die eine Übermittlungsrate von 139264 kbit/s haben. Zur Übertragung der Nachrichten wird ein Layer-2-Protokoll (HDLC PPP) verwendet, das die Nachricht mit 8 Oktett vergrößert. Die Übertragung der Nachrichten erfolgt als UI-Blöcke, also ohne Nummerierung und ohne Bestätigung durch den Empfänger.

Die durchschnittliche Nachrichtenlänge wächst damit auf **1360** Oktett für die Übertragung mit **139264000 bit/s**.

3.2 Parameter der drei Modelle

In diesem Abschnitt werden die genauen Konfigurationen der Modelle und sämtliche Komponenten sowie deren Zusammenschaltung genauer betrachtet. Aufgrund der genauen Konfiguration können die Bedien- und Verzögerungszeiten ermittelt werden. Die Funktionen der einzelnen Komponenten werden im nächsten Abschnitt betrachtet.

3.2.1 Modell A

Bei gleichmäßiger Aufteilung der Teilnehmer auf die 40 HLR und 80 MSC kann je HLR vereinfacht angenommen werden, dass zwei MSC angeschaltet sind. Die Signalisierungsverbindungen zwischen den MSC und HLR basieren auf n Primärsystemen (mit $n \geq 2$) mit jeweils 30 Kanälen und einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 2,048 Mbit/s. Die Signalisierungsnachrichten werden jeweils in einem der 30 64-kbit/s-Kanäle übertragen. Aus Sicherheitsgründen sind zwischen MSC und HLR immer mindestens zwei Links geschaltet. Die Summe der Anforderungen müssen aber immer prinzipiell von einem Link übertragbar sein, die Links werden daher nie in den Grenzen ausgenutzt. In der Praxis werden maximal die Hälfte der in einem Link zur Verfügung stehenden Kanäle verwendet. Für die weiteren Betrachtungen wurde mit einem System (bei Ausfall des zweiten Systems) mit 30 Kanälen mit jeweils 64 kbit/s von jeder der beiden MSC gerechnet ($n=m=1$). Bei einer gleichmäßigen Verteilung sind alle 40 Systeme aus jeweils 2 MSC und einem HLR identisch, so dass sich die Untersuchung auf ein System beschränken kann.

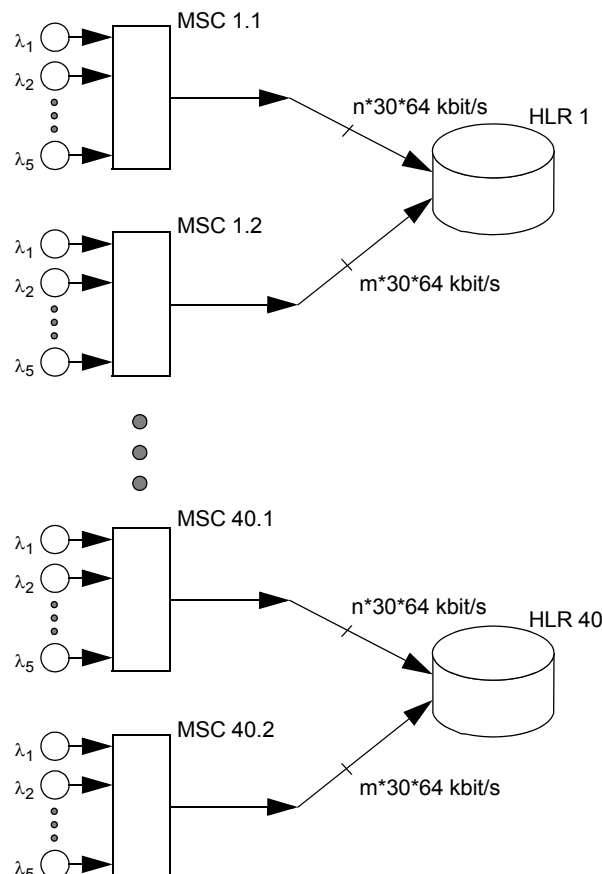


Bild 35: Übersichtsbild, Modell A

Die Gesamtkonfiguration für das Modell A ist in der Abbildung 36 dargestellt. Die Anforderungen λ_1 bis λ_5 belasten das Gesamtsystem, ermittelt wird die zu vergleichende Kenngröße für den Mobile Terminating Call in λ_2 . Die Laufzeit zwischen dem Absenden der Anfrage in λ_2 und die Antwort vom belasteten System in λ_2 werden für den Vergleich untersucht.

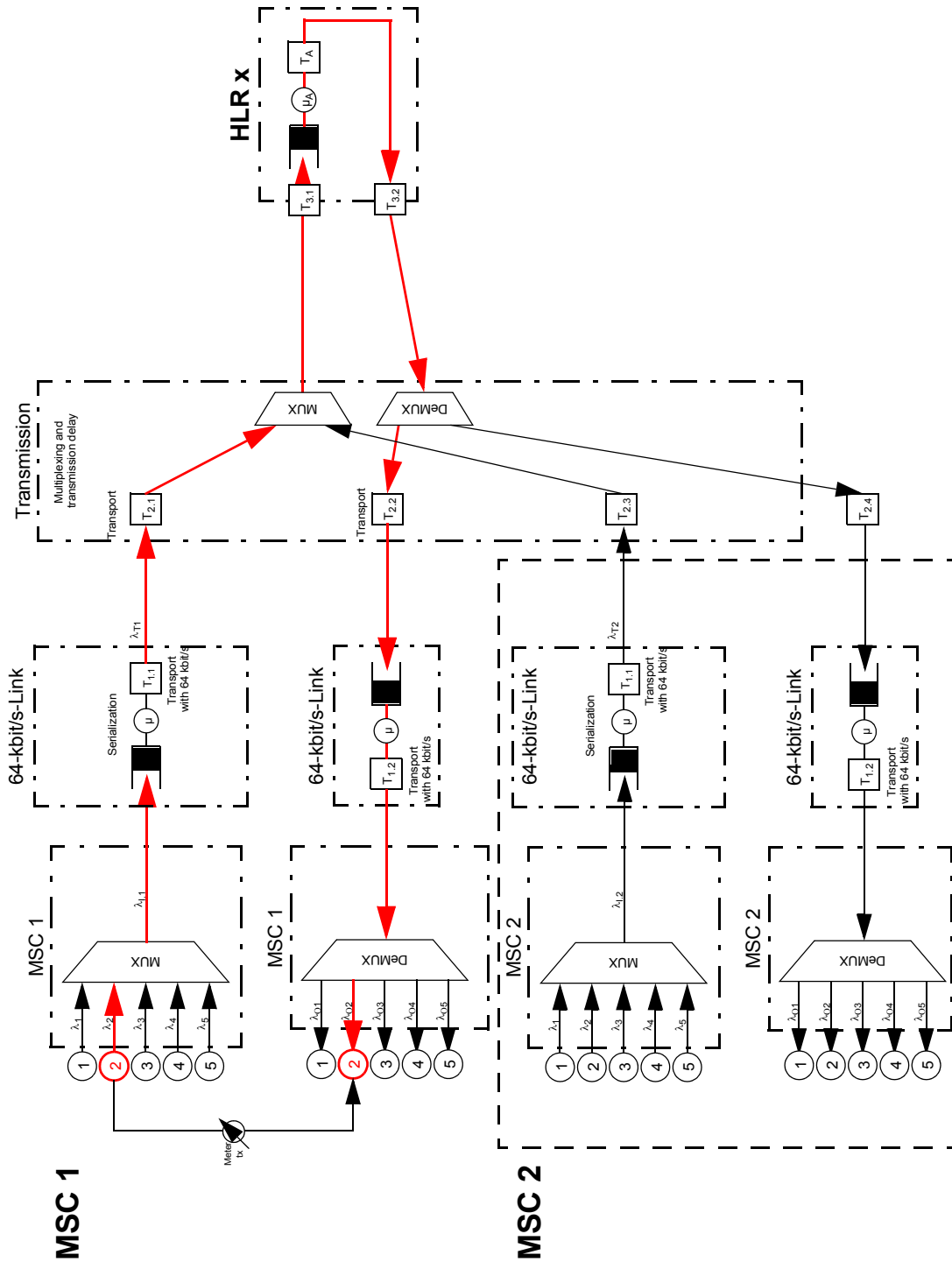


Bild 36: Gesamtkonfiguration Modell A

*Ermittlung der Verzögerungs- und Bedienzeiten für Modell A***T1.1 = T1.2 Serialisierung**

Nachrichtenslänge zwischen 60 and 238 Oktett, Mittelwert 168 Oktett, $168 \cdot 8 = 1344$ bit. Der einzelne Signalisierungskanal hat eine Übermittlungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s:

$1344 \text{ bit} / 64\,000 \text{ bit/s} = 0,021 \text{ sec} = 21,0 \text{ ms}$.

Der Transport findet in einem Primärsystem mit 2,048 Mbit/s mit 30 64-kbit/s-Kanälen statt (netto 1920 kbit/s):

Bedienzeit des Signalisierungs-Links: Hierfür ergibt sich entsprechend der Vereinfachung (s. Abschnitt 3.1.5) nach [Men et al 2001] und [MenAlm 2002]:

T1.1, T1.2 = 0,7ms + 20,3ms = 21 ms.

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 Multiplex und Transmission delay

Annahme: Die Entfernung zwischen MSC und HLR beträgt 20 km mit einem SDH-Cross Connect im Übertragungsnetz. Die Verzögerungszeit für den Durchlauf eines Primärsystems durch einen SDH-Cross-Connect beträgt $110 \mu\text{s}$ [Froh04].

Die Signallaufzeit über 20 km ($2/3$ der Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000 \text{ km/s}$) beträgt 0,1 ms.

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 = 0,210 ms

T3.1, T3.2 Serialisierung und Nachrichtenbehandlung

Am Eingang und Ausgang des HLR müssen die Nachrichten seriell empfangen werden, dann folgt die Bearbeitung und danach muss das Ergebnis wieder seriell übertragen werden. Diese Serialisierung bzw. De-Serialisierungs Zeit wird durch die Zeitglieder T3.1 und T3.2 realisiert. Die Anschaltung des HLR am GSM erfolgt mit 2,048-Mbit/s-Links, in denen jeweils 64-kbit/s-Kanäle verwendet werden. Für die Übertragung mit 64-kbit/s-Kanäle ist dies jeweils die gleiche Zeit, wie für T1.1 bzw. T1.2.

T3.1 = T3.2 = 21 ms

Bedienzeit für das HLR in Modell A

Die durchschnittliche Bedienzeit $1/\mu_A = 1 \text{ ms}$ mit einer neg. exponentiellen Verteilung (M/M/1 Modell), plus einer festen Verzögerungszeit $T_A = 60 \text{ ms}$ [Alcatel99-03] und [Lehm04].

Mit diesen Annahmen müsste das Modell in der Simulation vergleichbare Werte wie in Traces des Alcatel-Lucent-Labors verursachen. Ausgehend von dieser Verifizierung des Modells werden die Veränderungen in Richtung der zentralen Datenbank durchgeführt.

3.2.2 Modell B

Das Modell B verfügt über eine zentrale Datenbank. Am Ort der bisherigen HLR werden Gateways installiert, die die Signalisierungsnachrichten von einer ASN.1-Codierung in eine XML-basierte Darstellung umwandeln und mit SOAP zur zentralen Datenbank transportieren. Die MSC-Schnittstelle bleibt unverändert, basierend auf der Signalisierung Nr. 7 und Übermittlungsstrecken mit 2,048 Mbit/s ($N \cdot 64$ kbit/s für die Übertragung nutzbar). Um die Leistungsfähigkeit dieser Strecken zu prüfen, erfolgt die Übertragung alternativ dazu mit einer 2,048-Mbit/s-Strecke unstrukturiert und 140 Mbit/s. Die unstrukturierte Betriebsweise kann für die Signalisierungslinks eingerichtet werden, die 140-Mbit/s-Schnittstelle ist an den MSC real nicht vorhanden, sie dient in diesem Zusammenhang nur der theoretischen Überprüfung.

Alle Anfragen von den 40 angeschalteten Gateways werden durch die zentrale Datenbank bearbeitet. Die Verbindung zwischen dem Gateway und der zentralen Datenbank ist eine direkte Kopplung, der Transport der Signalisierungsnachrichten durch IP (SIGTRAN) ist daher nicht erforderlich. Die Verbindungsleitungen zwischen dem Gateway und der Datenbank basieren auf SDH-Links mit 155 Mbit/s brutto, von denen die C1-Container 140 Mbit/s zur Datenübertragung genutzt werden können.

Der Transport der Nachrichten erfolgt in der Schicht 2 mit dem HDLC-PPP [RFC1661]. Diese Übertragung basiert auf dem Austausch von einfachen UI-Blöcken ohne Bestätigungen von der Empfängerseite. Zusätzlich müssen hierfür 8 Oktett pro transportierter Nachrichten übermittelt werden.

Die SDH-Rahmen werden über eine angenommene Entfernung von 400 km transportiert. Im Verlauf der Übertragung der Nachrichten werden drei Cross Connect auf den 400 km durchlaufen [Annahme].

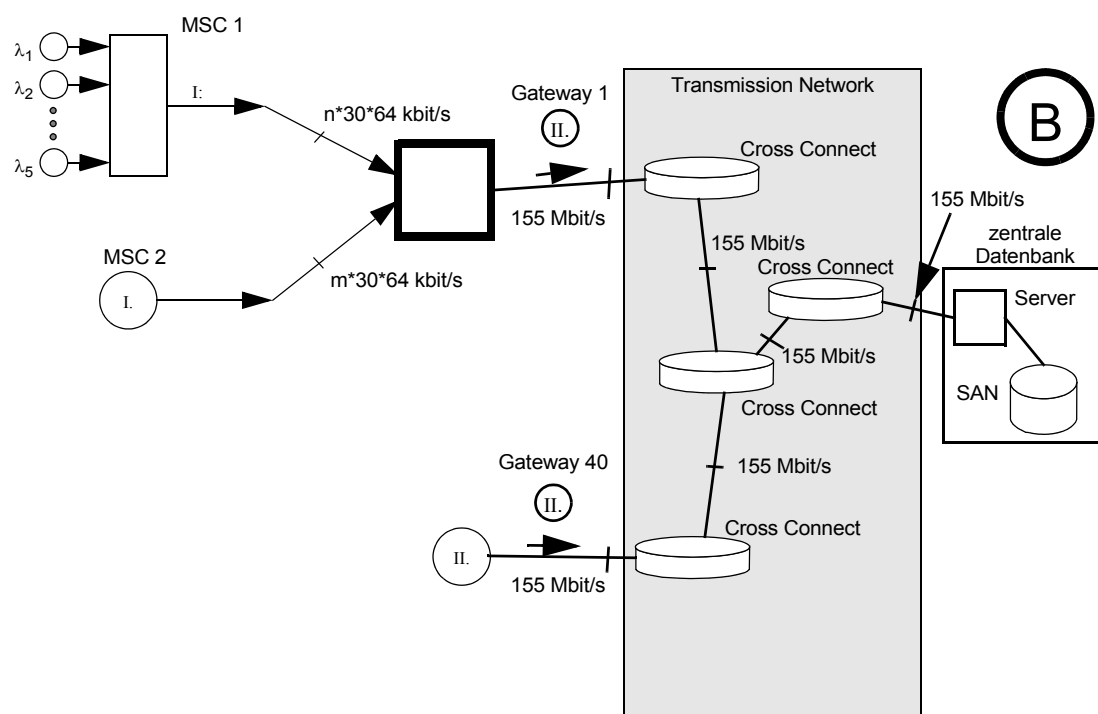


Bild 37: Übersichtsbild, Modell B

Die Gesamtkonfiguration für das Modell B ist in der Abbildung 38 dargestellt. Auch hier wird wieder die Laufzeit zwischen dem Absenden der Anfrage in λ_2 und die Antwort vom belasteten System in λ_2 untersucht.

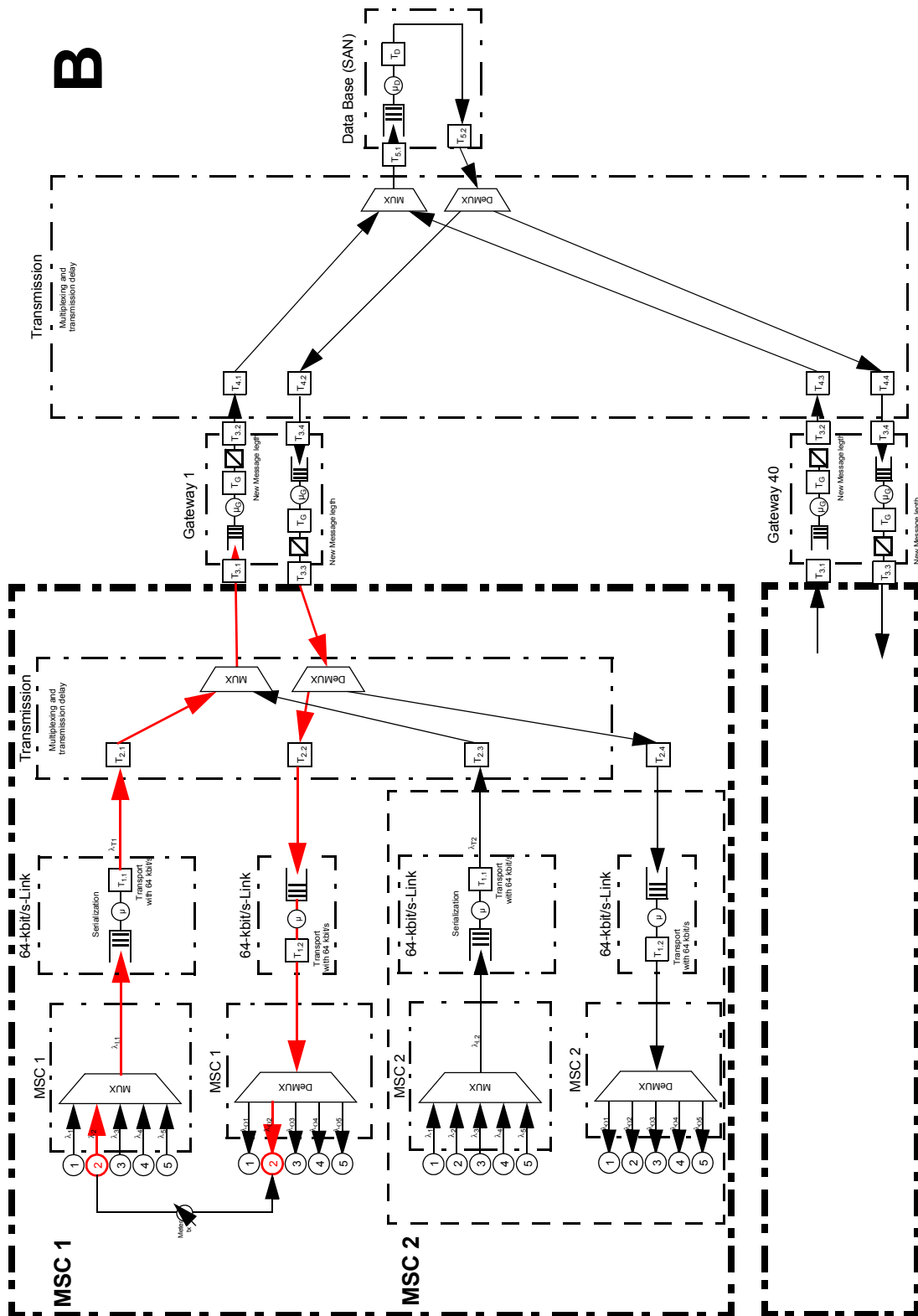


Bild 38: Gesamtkonfiguration Modell B

*Ermittlung der Verzögerungs- und Bedienzeiten für Modell B***T1.1 = T1.2 Serialisierung**

Nachrichtlänge ist in allen Modellen und bei den verschiedenen Geschwindigkeiten der Signalisierungs-Links immer gleich, sie liegt zwischen 60 and 238 Oktett, der Mittelwert ist 168 Oktett, bzw. $168 * 8 = 1344$ bit.

Die Zeit für die Nachrichtenübertragung hängt von der Übermittlungsgeschwindigkeit des Links ab:

- Für 64 kbit/s (s. Abschnitt 3.1.5): **T1.1, T1.2 = 21 ms.**
- Für 2,048 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: $1344 \text{ bit}/1920 \text{ kbit/s} = \mathbf{T1.1, T1.2 = 0,70 \text{ ms.}}$
- Für 140 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: $1344 \text{ bit}/139264 \text{ kbit/s} = \mathbf{T1.1, T1.2 = 0,00965 \text{ ms.}}$

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 Multiplex und Transmission delay

Für die Strecke zwischen MSC und Gateway gelten die gleichen Annahmen, wie für die Strecke MSC zum HLR im Modell A: Entfernung 20 km mit einem SDH-Cross Connect:

- Feste Verzögerungszeit für den Durchlauf eines Primärsystems (Transport mit 64-kbit/s-Kanal oder 2,048 Mbit/s unstrukturiert) durch einen SDH-Cross-Connect $110 \mu\text{s}$ [Froh04]. Für den Transport mit 140 Mbit/s verursacht ein CrossConnect eine Laufzeit von $10 \mu\text{s}$ [Froh04]. Insgesamt werden drei Cross Connect Systeme angenommen, das sind $30 \mu\text{s}$ Laufzeit für diese Systeme.
- Signallaufzeit über 20 km ($2/3$ Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000 \text{ km/s}$) = $0,1 \text{ ms}$

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 = 0,210 ms (für 64 kbit/s bzw. 2,048 Mbit/s)

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 = 0,13 ms (für 140 Mbit/s)

Gateway

Der Gateway übersetzt die ASN.1-Nachrichten in XML (und umgekehrt). Die durchschnittliche Bedienzeit wird mit $1/\mu_G = 0,1 \text{ ms}$ plus eine feste Verzögerungszeit von $T_G=10 \text{ ms}$ festgelegt [Lop04] mit einer neg. exponentiellen Verteilung (M/M/1 Modell).

T3.1, T3.2, T3.3, T3.4 Serialization/De-Serialization am Gateway

Die De-Serialisierung der Nachrichten von der MSC zum Gateway entspricht genau der Zeit T1.1:

- Für 64 kbit/s (s. Abschnitt 3.1.5): **T3.1, T3.3 = 21 ms.**
- Für 2,048 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: $1344 \text{ bit}/1920 \text{ kbit/s} = \mathbf{T3.1, T3.3 = 0,70 \text{ ms.}}$
- Für 140 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: $1344 \text{ bit}/139264 \text{ kbit/s} = \mathbf{T3.1, T3.3 = 0,00965 \text{ ms.}}$

Die Verbindung zwischen dem Gateway und der zentralen Datenbank basiert auf einer SDH-Übertragung mit HDLC PPP in Layer 2. Die mittlere Nachrichtenlänge ist 1360 Oktett, hieraus ergibt sich die Serialisierungs-/Deserialisierungszeit $T_{3.2} = 1360 \text{ Oktett} * 8 \text{ bit} / 139264 \text{ kbit/s} = 0,078125 \text{ ms}$

Die Zeit $T_{3.3}$ ist die Gegenrichtung von $T_{3.1}$ mit identischen Werten: $T_{3.3} = 21 \text{ ms}$

Die Zeit $T_{3.4}$ entspricht der $T_{3.2}$ und ist ebenfalls: $T_{3.4} = 0,078125 \text{ ms}$

$T_{4.1} = T_{4.2} = T_{4.3} = T_{4.4}$ Multiplex und Übertragungsdauer im SDH-Netz

Die Übertragung erfolgt mit SDH und 140 Mbit/s (C4-Container), die Entfernung zur zentralen Datenbank (Deutschland-weit) wird durchschnittlich mit 400 km und 3 SDH-Cross-Connect im Übertragungsweg angenommen.

- Feste Verzögerung für einen C4-Container pro Cross-Connect $30 \mu\text{s}$ [Froh04], $3 * 30 \mu\text{s} = 90 \mu\text{s}$. [Froh04]
- Signallaufzeit über 400 km ($2/3$ der Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000 \text{ km/s}$) = 2 ms.

$T_{4.1} = T_{4.2} = T_{4.3} = T_{4.4} = 2,09 \text{ ms}$

Die Zeiten $T_{5.1}$, $T_{5.2}$ betreffen die Serialization/De-Serialization an der zentralen Datenbank. Diese Zeiten entsprechen $T_{3.2}$ und $T_{3.4}$:

$T_{5.1}$ und $T_{5.2} = 1360 \text{ Oktett} * 8 \text{ bit} / 139264 \text{ kbit/s} = 0,078125 \text{ ms}$

Bedienzeit im zentralen HLR

Die Anforderungen an eine zentrale Datenbank, die alle bisherigen 40 HLR zusammenfasst sind entsprechend hoch. Die default Service-Zeit wurde mit $1/\mu_D = 20 \mu\text{s}$ (in der Simulation variiert diese von 1 to $20 \mu\text{s}$) mit einer neg. exponentiellen Verteilung (M/M/1 Modell), plus einer festen Verzögerungszeit $T_D = 10 \text{ ms}$ [Lop04] angenommen.

Die kurze Bedienzeit der zentralen Datenbank stellt hohe Anforderungen an die Realisierung der Datenbank, im Abschnitt 3.3.3 werden Ergebnisse einer realisierten Datenbank beschrieben. Die Realisierung erscheint aufgrund der Messergebnisse des realen Systems als machbar. Dennoch gibt eine solche zentrale Datenbank die Systemgrenzen vor. Die Anzahl der Abfragen resultiert aus der Anzahl der Teilnehmer und deren Nutzung verschiedener Dienste; eine Öffnung des Systems gegenüber anderen Zugangssystemen (wie unter Kapitel 4 beschrieben) erhöht diese Anfragen und damit die Anforderungen an die Service-Zeit der Datenbank.

3.2.3 Modell C

Im Modell C wird neben dem Gateway eine lokale Datenbank, ein Cache, vorgesehen, der ggf. bereits Anfragen an das HLR beantwortet. Der Cache ist zunächst leer, lernt dann aber mit steigender Anzahl der Anfragen zum zentralen HLR, welche Teilnehmer sich in den zugeordneten Location Areas aufhalten. Die Funktionsweise des Cache wird im nächsten Abschnitt 3.3 beschrieben.

Für die Simulation werden unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für die direkte Beantwortung der Anfragen durch den Cache angenommen. Ziel dieser Architektur ist eine Entlastung der Anforderungen an die zentrale Datenbank zu erreichen. Die direkt beantworteten Anfragen gelangen nicht mehr zur zentralen Datenbank und reduzieren dadurch deren Last. In der Berechnung und Simulation dieses Modells wird die lokale Beantwortung durch einen weiteren Parameter: der Wahrscheinlichkeit, dass die Antwort bereits durch die lokale Datenbank im Cache gegeben werden kann, p_{Local} . Bei $p_{\text{Local}} = 0\%$ entspricht das Modell C genau dem Modell B. Bei $p_{\text{Local}} = 100\%$ gelangt keine Anfrage bei der zentralen Datenbank.

Eine Replikation der Benutzerdaten aus dem belasteten HLR in die MSC wurde bereits in [SudSte96] 1996 vorgeschlagen und untersucht. Das Ergebnis war eine signifikante Entlastung der HLR und der Signalisierungslinks. Die in [SudSte96] vorgeschlagene Architektur hätte allerdings eine tiefgreifende Änderung der MSC verursacht. Aus heutiger Sicht wird das GSM-Netz mit seinen MSC nach einer vermutlich kurzen Übergangszeit in eine All-IP-Architektur übergehen, eine Zugangsvariante des IMS. Der Ansatz im Modell C verändert die MSC nicht.

Das Konzept des Modells C ist ähnlich dem dezentralen HLR-Konzept, nur dass der Cache lernt, welche Benutzer sich in der zugeordneten Location-Area *tatsächlich* aufhalten. Das VLR des klassischen GSM könnte ebenfalls durch den lokalen Cache realisiert werden. Die zusätzliche Last an ein VLR wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Der Nachrichtentransport zur zentralen Datenbank, deren Entfernung und die Anzahl der passierten Cross Connect wurden vom Modell B übernommen.

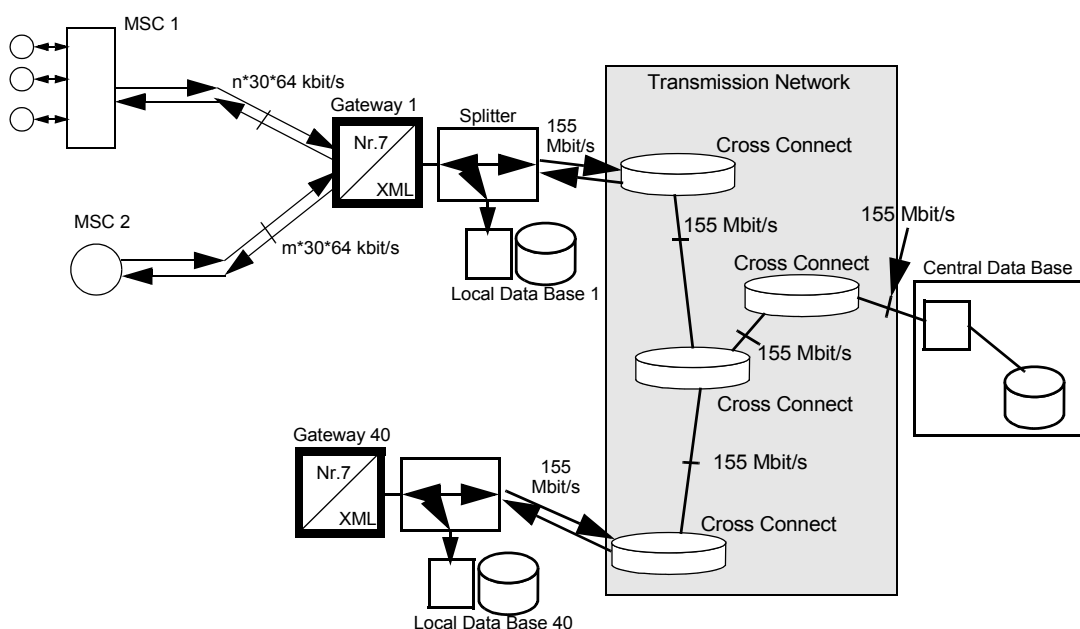


Bild 39: Übersichtsbild, Modell C

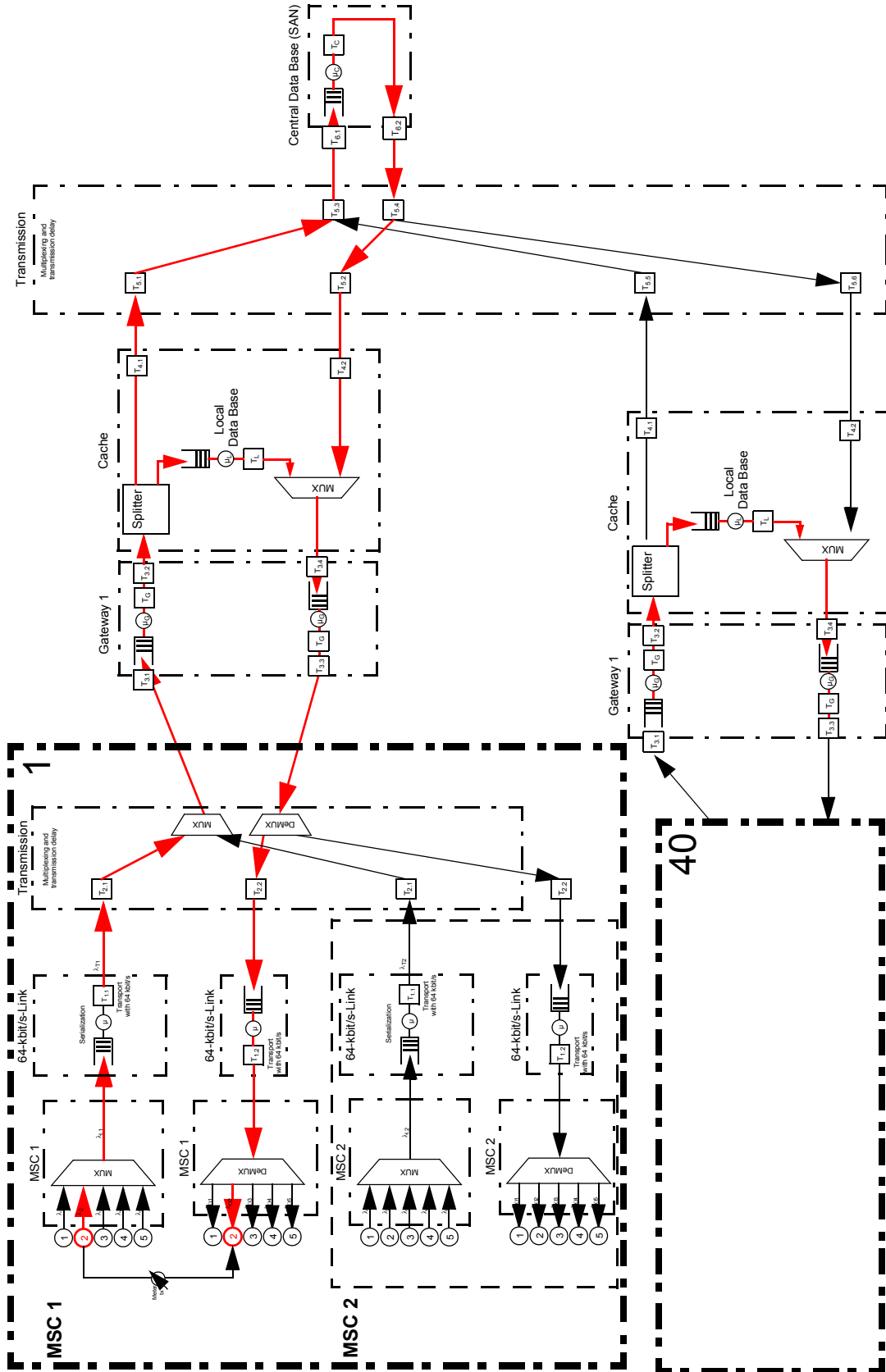


Bild 40: Gesamtkonfiguration Modell C

*Ermittlung der Verzögerungs- und Bedienzeiten für Modell C***T1.1 = T1.2 Serialisierung**

Die Zeit für die Nachrichtenübertragung ist, wie im Modell B, abhängig von der Übermittlungsgeschwindigkeit des Links:

- Für 64 kbit/s (s. Abschnitt 3.1.5): **T1.1, T1.2 = 21 ms.**
- Für 2,048 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: 1344 bit/1920 kbit/s = **T1.1, T1.2 = 0,70 ms.**
- Für 140 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: 1344 bit/139264 kbit/s = **T1.1, T1.2 = 0,00965 ms.**

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 Multiplex und Transmission delay

Wie im Modell B gilt auch hier:

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 = 0,210 ms (für 64 kbit/s bzw. 2,048 Mbit/s)

T2.1 = T2.2 = T2.3 = T2.4 = 0,13 ms (für 140 Mbit/s)

Gateway

Der Gateway übersetzt die ASN.1-Nachrichten in XML (und umgekehrt). Die durchschnittliche Bedienzeit ist $1/\mu_G = 0,1$ ms plus eine feste Verzögerungszeit von $T_G = 10$ ms [Lop04] mit einer neg. exponentiellen Verteilung (M/M/1 Modell).

T3.1, T3.2, T3.3, T3.4 Serialization/De-serialization am Gateway

Wie im Modell B:

- Für 64 kbit/s (s. Abschnitt 3.1.5): **T3.1, T3.3 = 21 ms.**
- Für 2,048 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: 1344 bit/1920 kbit/s = **T3.1, T3.3 = 0,70 ms.**
- Für 140 Mbit/s: Bedienzeit des Signalisierungs-Links $1/\mu$: 1344 bit/139264 kbit/s = **T3.1, T3.3 = 0,00965 ms.**

Zwischen dem Gateway und dem Splitter (der entscheidet, ob die Antwort lokal oder zentral gefunden wird) keine Entfernung, beide Systeme befinden sich im selben Gerät.

T3.2 = T3.4 = 0 ms

Bedienzeit der lokalen Datenbank (Modell C)

Die Service-Zeit für die lokale Datenbank wird in der Simulation variiert von 10 bis 100 μ s, der Standardwert (default) ist Service time $1/\mu_L = 20$ μ s mit einer neg. exponentiellen Verteilung (M/M/1 Modell), plus einer festen Verzögerungszeit $T_L = 10$ ms [Lop04].

T4.1, T4.2, Serialization/De-serialization an der lokalen Datenbank in Richtung der zentralen Datenbank

T4.1: $1360 \text{ Oktett} * 8 \text{ bit} / 139\,264 \text{ kbit/s} = 0,078125 \text{ ms}$

T4.2: $1360 \text{ Oktett} * 8 \text{ bit} / 139\,264 \text{ kbit/s} = 0,078125 \text{ ms}$

T5.1 = T5.2 = T5.3 = T5.4 Multiplex und Transmission delay

Wie im Modell B T4.1 bis T4.4 erfolgt die Übertragung mit SDH und 140 Mbit/s (C4-Container), die Entfernung zur zentralen Datenbank (Deutschland-weit) wird durchschnittlich mit 400 km und 3 SDH-Cross-Connect im Übertragungsweg angenommen.

- Feste Verzögerung für einen C4-Container pro Cross-Connect $30 \mu\text{s}$ [Froh04], $3 * 30 \mu\text{s} = 90 \mu\text{s}$. [Froh04]
- Signallaufzeit über 400 km (mit $2/3$ der Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000 \text{ km/s}$) = 2 ms.

T5.1 = T5.2 = T5.3 = T5.4 = 2,09 ms

T6.1, T6.2 Serialization/De-serialization an der zentralen Datenbank

Auch diese Werte entsprechen den Festlegungen im Modell B für die Zeiten T4.1 bis T4.2:

T6.1 = T6.2 = 0,078125 ms

Bedienzeit im HLR (zentrale Datenbank im Modell C)

Die Service-Zeit für die zentrale Datenbank wird ebenfalls vom Modell B übernommen: Default Service time $1/\mu_C = 20 \mu\text{s}$ (in der Simulation variiert von 1 bis $20 \mu\text{s}$) mit einer neg. exponentiellen Verteilung (M/M/1 model), plus einer festen Verzögerungszeit $T_C = 10 \text{ ms}$ [Lop04].

3.3 Komponenten

3.3.1 Gateway

In der Migrationsphase dient ein Gateway zur Kopplung der unterschiedlichen Netze. Auf der Seite des GSM-Netzes agiert der Gateway je nach Einsatz als HLR oder MSC. Auf der IP-Seite ist es ein Server, der Funktionen anfordert. Innerhalb des Gateway werden die Signalisierungsnachrichten auf eine XML-Darstellung umgesetzt und als SOAP-Nachrichten zur zentralen Datenbank transportiert.

Schnittstelle zum GSM

Die Anschaltung des Gateway zum GSM erfolgt mit Signalisierungsverfahren Nr.7. Diese verwendet normalerweise $n \cdot 64$ -kbit/s-Kanäle zur Übertragung der Nachrichten. Alternativ wurde auch die unstrukturierte Betriebsweise der Signalisierungs-Links untersucht. In den MSC muss dazu die Konfiguration der 2,048-Mbit/s-Schnittstelle vorgenommen werden. Die vorhandenen Schnittstellen der MSC sollten möglichst nicht verändert werden. Die Einführung der zentralen Datenbank sollte keine neuen Forderungen an die MSC stellen, der Ersatz durch Call Server (Softswitch) der NGN-Technik steht in absehbarer Zeit an. Die Schnittstellen wurden bereits im Kapitel 1 und 2 betrachtet.

Die Verbindung zur zentralen Datenbank

Das Konzept mit mehreren Gateway und einem zentralen HLR ist neu, daher gibt es keine Festlegungen für die Schnittstelle zwischen dem Gateway und der Datenbank. Gewählt wurde in dieser Betrachtung eine 155-Mbit/s-Schnittstelle der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH). In der Layer 2 wird ein einfaches Protokoll verwendet, auf Standards wie SIGTRAN, SCTP und M3UA wurde verzichtet, da es sich um eine direkte Kopplung zwischen diesen Komponenten handelt. Diese direkte Kopplung widerspricht zwar der SOAP-Theorie und dem Wunsch der Öffnung des Systems, ist aber für die Nutzung durch das GSM-Netz machbar. Für andere Zugänge kann die Datenbank und die Authentifizierungsfunktion erreichbar sein. Oberhalb der Schicht 2 wird direkt HTTP (grundsätzlich können auch andere Protokolle verwendet werden) und SOAP zum Transport der Nachrichten verwendet (s. Abb. 41).

SOAP (MAP, TCAP)
HTTP u.a.
Layer 3 – leer
Layer 2 – HDLC PPP
Layer 1 – SDH STM-1

Bild 41: Protokollstapel für die Übertragung zur zentralen Datenbank

In der Layer 1 wird SDH mit dem STM-1 (brutto 155,52 Mbit/s) [nach G.707] und dem C4-Container mit einer netto Übermittlungsrate von 139264 kbit/s verwendet.

Dass für die Layer 2 das Protokoll PPP verwendet wird, ist durch C2-Kennzeichnung im SDH-Path-Overhead (POH) $C2=16_{\text{hex}}$ gekennzeichnet.

Das Point-to-Point-Protokoll nach RFC1661 basiert auf dem Austausch von UI-Blöcken, die unnummeriert übertragen werden und keine Bestätigung von der Empfängerseite erfordern. Die Länge des Datenfeldes ist fest, kann aber systemspezifisch festgelegt werden, der Standard für das Datenfeld ist 1500 Byte. Für die Übertragung der Nachrichten sind 8 Oktett durch Verwendung des PPP zusätzlich zu übertragen. Der Aufbau der PPP-Nachrichten ist in der Abbildung 42 dargestellt.

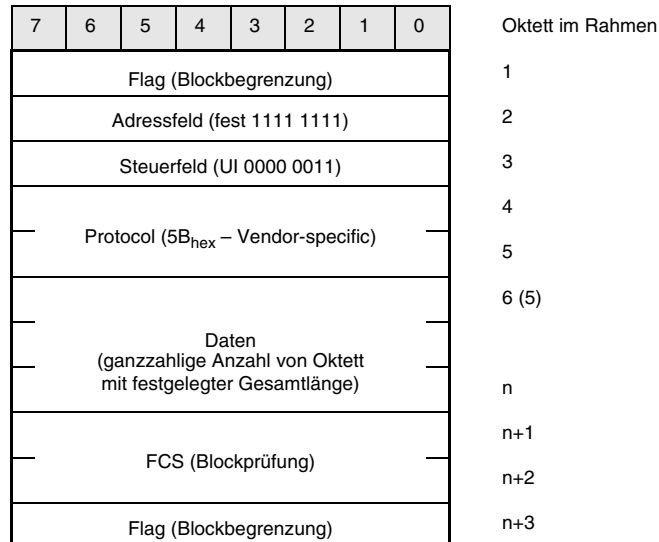


Bild 42: UI-Block für die Übertragung nach dem PPP

Realisierung des Gateway

Im Rahmen einer Diplomarbeit [Diehl04] wurde ein Gateway für die Umsetzung von ASN.1 auf SOAP und umgekehrt realisiert. Die Schnittstelle zur MSC ist durch die MSC selbst festgelegt und basiert auf Nr. 7 (MAP). Die Schnittstelle zur zentralen Datenbank wurde (wie oben beschrieben) aus Gründen der Öffnung für andere Systeme auf der Basis SOAP gewählt. Das Gateway hat die Aufgabe alle Nachrichten von der Nr.7-Schnittstelle in XML und umgekehrt zu übersetzen (Abb. 43).

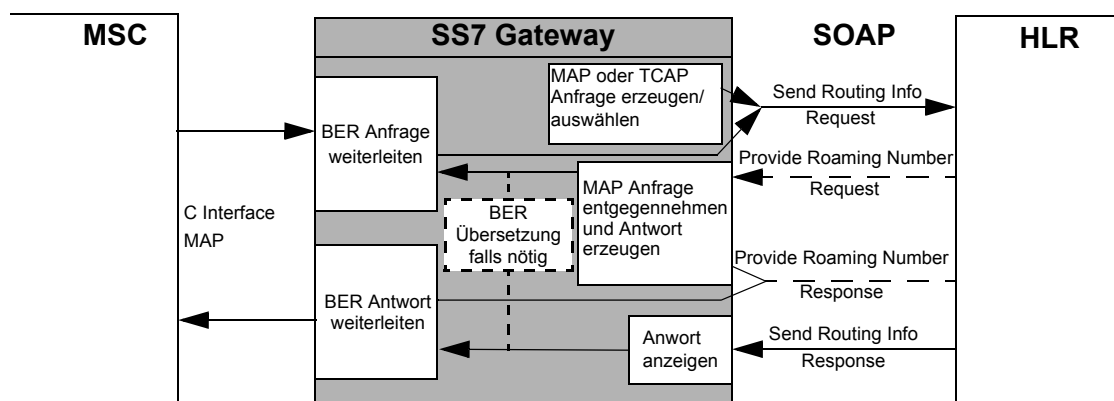


Bild 43: Struktur des Gateway [Diehl04]

Web Services basieren auf dem Simple Object Access Protocol (SOAP), das für den Transport der Dienstinformationen auf HTTP bzw. SMTP. Die SOAP-Nachrichten können als vollständig XML-Codierte Nachrichten ausgetauscht werden oder Informationselemente beliebiger Codierung als Anhang einer SMTP-Nachricht verwendet werden (s. Bild 44).

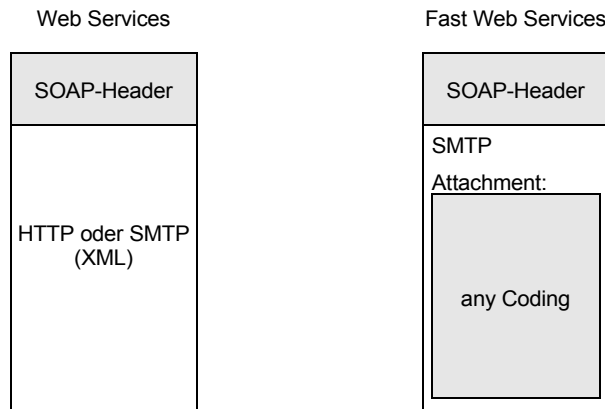


Bild 44: Grundsätzliche Möglichkeiten für SOAP-Nachrichten

Für die Umsetzung der Signalisierungsnachrichten gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- SOAP-Message with XML-Content (complete translation) – bei dieser kompletten Übersetzung entstehen sehr große Nachrichten [nach ITU-T X.693]. Alle Elemente werden in XML dargestellt und sind in Text-Form verfügbar und lesbar.
- SOAP-Message with ASN.1 BER-Coded Message (64 Based presentation) – eine schnelle Methode, die Nachrichten bleiben durch die ASN.1-Codierung sehr klein und können trotzdem mit SOAP Templates transportiert werden. Für das System ist immer noch erkennbar, nach welchen Regeln und durch welche Instanz die weitere Nachricht interpretiert werden muss. Die Fa. Sun hatte eine ähnliche Methode für den schnellen Transport von Daten von wireless-Anwendungen, die mit größerer Fehlerrate über eine Luftschnittstelle transportiert werden, entwickelt (s. Bild 45).

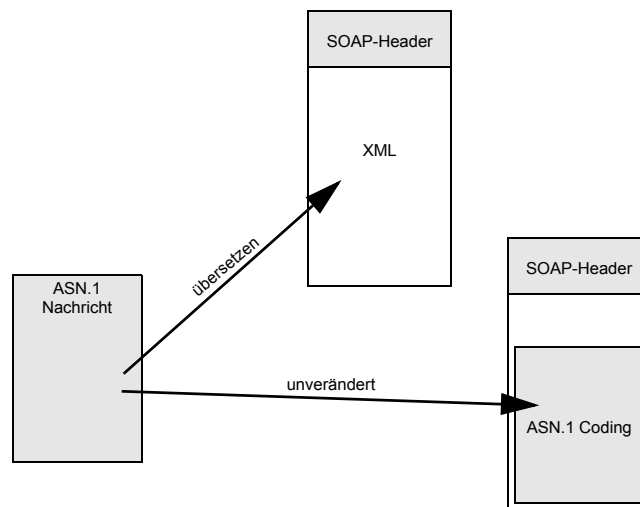


Bild 45: Abbildung von ASN.1-Nachrichten in SOAP

Im Anhang Abschnitt A.2 werden Beispiele für die Nachrichtendarstellung aufgezeigt.

In der Übersetzung wird ein vorgefertigtes XML-Template mit einem Feld mit binären Informationen verwendet. In diesem Feld werden die ASN.1-Informationen binär addiert und dadurch eine XML-konforme Nachricht erzeugt, dennoch sind die Einzelemente nicht in Text-Form, sondern entsprechen ASN.1. Es werden praktisch ASN.1-Informationen mit SOAP übertragen, binäre Informationen mit SOAP transportiert. Die Datenbank muss sowohl die volle XML-Darstellung, als auch die Übertragung eingeschossener binärer Elemente (nach ASN.1) unterstützen. (s. Abb 46) Der „Einstieg“ in die Decodierung erfolgt dann an anderer Stelle der Datenbank.

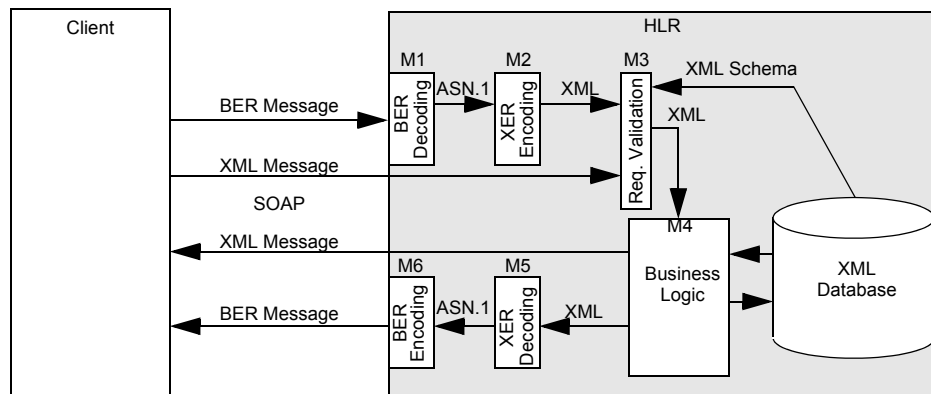


Bild 46: Instanzen zur Interpretation der SOAP-Nachrichten in der Datenbank [Diehl04]

Der Gateway im Simulationsprogramm

Im Simulationsmodell stellt sich der Gateway als System mit einer Warteschlange, einem Server zur Nachrichten Umsetzung und einer Komponente zur Änderung der Nachrichtenlänge dar (s. Abbildung 47).

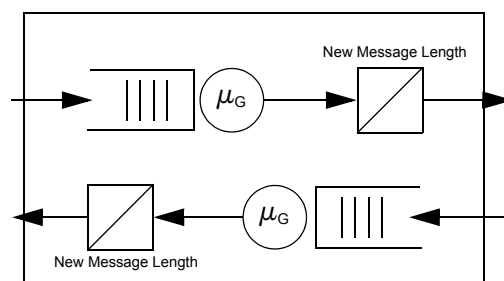


Bild 47: Gateway im Simulationsmodell

Die Warteschlangen in beiden Richtungen werden als M/M/1-Wartesysteme modelliert, die Service-Zeit wird als default mit 0,75 ms angenommen, für einige Untersuchungen aber auch im Bereich von 0,01 ms bis 10 ms variiert. Für den Datenbankzugriff wird eine feste Verzögerung von 10 ms angenommen. Hinzu kommen Zeiten für die Parallelisierung bzw. Serialisierung der Nachrichten, die von der Nachrichtenlänge abhängen und vom Gateway beim Durchlauf verändert werden (Umwandlung von Nr.7- in SOAP-Nachrichten).

3.3.2 Lokaler Cache

Die lokale Datenbank speichert im Modell C persistent die Daten der Teilnehmer, die Anfragen an die zentrale Datenbank stellen. Das Ziel ist es dabei, die zentrale Datenbank von Anfragen zu entlasten und schneller eine Antwort an die anfragende MSC zu geben. Die lokale Datenbank wurde zusammen mit dem Gateway am Ort des konventionellen HLR installiert. Sie erhält nur Anfragen aus den der jeweiligen MSC/VLR zugeordneten Location Area. Anfragen aus anderen Location Areas gelangen nicht zur lokalen Datenbank.

Lernen, aktualisieren, vergessen

Die lokale Datenbank übernimmt die Daten aller anfragenden Teilnehmer, zu denen die zentrale Datenbank angefragt wird. Da alle Anfragen zur zentralen Datenbank über den Gateway am Ort der lokalen Datenbank laufen, sind diese Anfragen bekannt. Die Wahrscheinlichkeit die Daten in der lokalen Datenbank bereits zu finden steigt mit dem Betrieb des Systems immer mehr an. Der Cache lernt damit immer mehr Einträge, er ist aber in seiner Größe begrenzt. Ab einem vorgegebenen Füllgrad müssen Einträge gezielt gelöscht werden, um Platz für neue Einträge zu schaffen. Für diesen Mechanismus gibt es verschiedene Methoden mit unterschiedlichen Strategien. Für die Anwendung als HLR würde sich das Cache-Verfahren *Least Recently Used* (LRU) anbieten, bei dem der Eintrag, auf den am längsten nicht zugegriffen wurde, verdrängt wird. Dieser Eintrag wird gelöscht um Platz für neue Einträge zu schaffen.

Zur gesicherten Datenkonsistenz sollten die vorgehaltenen Daten der lokalen Datenbank in regelmäßigen Abständen mit den Daten des zentralen HLR abgeglichen werden. Solche Vorgänge laufen typischerweise einmal pro Tag in verkehrsschwachen Zeiten, wie beispielsweise nachts.

Realisierung im Simulationsmodell

In der Simulation ist die lokale Datenbank eine Warteschlange und ein Server, der die Anfragen beantwortet. Um die große Zahl von Anfragen bearbeiten zu können, werden mehrere Prozessorsysteme parallel betrieben. In dem Simulationsmodell stellt sich das Gesamtsystem nur als eine einzelne Warteschlange (M/M/1, s. a. Abschnitt 3.1.4) mit einer Servicezeit ($10 \mu\text{s}$ bis $100 \mu\text{s}$, default $20 \mu\text{s}$) und einer festen Verzögerung von 10 ms , für den Zugriff auf die Datenbank, dar. Hinzu kommen Zeiten für die Serialisierung bzw. Parallelisierung der Nachrichten (abhängig von der Länge) an den Ein- und Ausgängen des Systems.

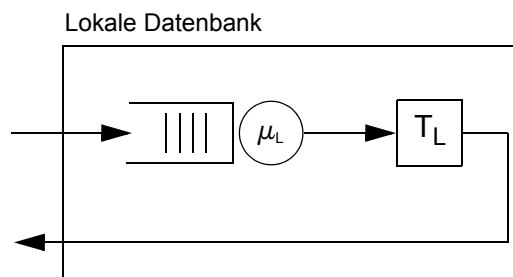


Bild 48: Lokale Datenbank im Simulationsmodell

3.3.3 Zentrales HLR

Die Ziele und Anwendungen der zentralen Datenbank wurden bereits beschrieben. Die Untersuchungen im Modell konzentrierten sich zunächst nur auf die Nutzung der Datenbank als zentrales HLR bzw. am Anfang von UMTS HSS, andere Zugänge wie WLAN, WiMAX usw. wurden nicht betrachtet. Auch der Gesamtbereich der kommenden ALL-IP-Basis, wie sie durch IMS und TISIPAN (für IMS in [3GPP TS 22.228 und 3GPP TS 23.228] und [PoiMayKhaNie-06] für TISIPAN: [ETSI TS 181 004, ETSI TS 181 005 und ETSI TS 282 001]) beschrieben werden, wurde bei der folgenden Betrachtung ausgeklammert. Der Einfluss anderer Systeme auf die Performance des Gesamtsystems wird im Kapitel 4 kurz beleuchtet, hierzu werden aber auch weitere Untersuchungen notwendig.

Die Realisierung der Datenbank und die verwendeten Mechanismen und Protokolle orientieren sich aber auch für diese Untersuchung bereits auf die spätere Verwendung. Die Kommunikation zwischen Gateway und der Datenbank basiert auf SOAP, weitere Applikationen neben GSM können durch weitere Server oder Erweiterungen in den vorhandenen Servern erbracht werden. Entgegen der Grundidee von SOAP und dem Wunsch nach Öffnung des Systems wird für diese Modellierung eine direkte Verbindung zwischen den Gateway und der zentralen Datenbank vorgesehen.

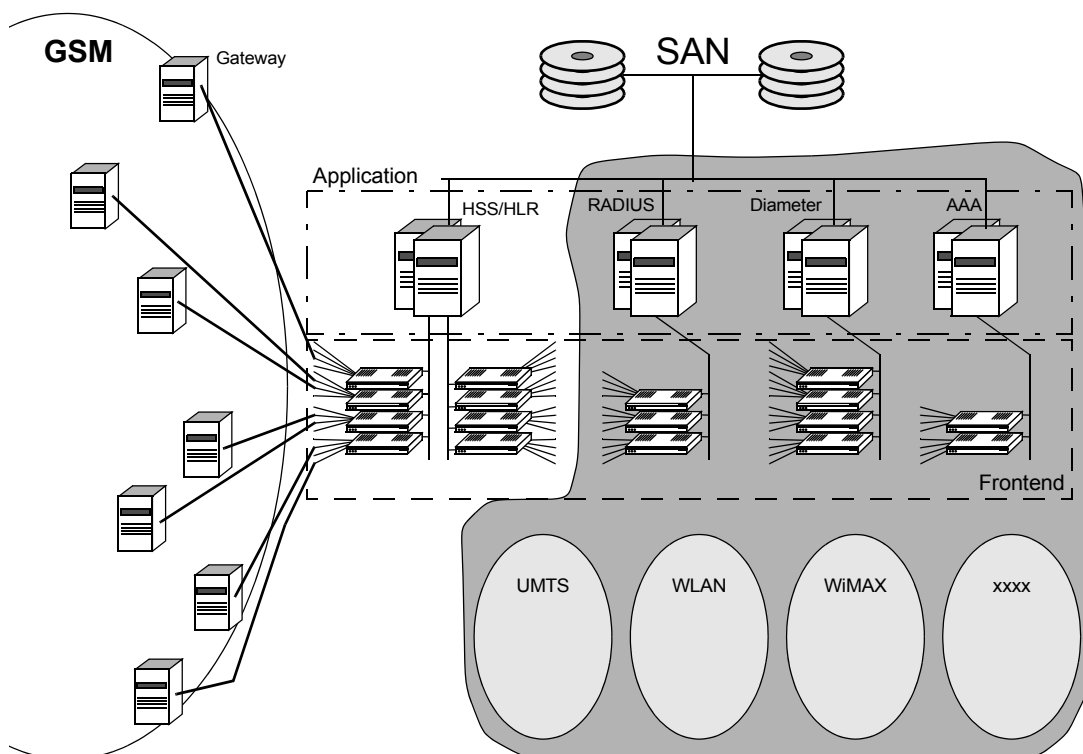


Bild 49: Die zentrale Datenbank in der Simulation

Realisierung im Simulationsmodell

Auch die zentrale Datenbank ist in der Simulation vereinfacht auf eine Warteschlange (s. Abschnitt 3.1.4) und einen Server, der die Anfragen beantwortet. Die Anforderungen an die zentrale Datenbank sind noch einmal deutlich höher als die an die lokale Datenbank. Auch dieses System wird durch eine größere Anzahl von parallelen Prozessorsystemen realisiert. Um die große Zahl von Anfragen bearbei-

ten zu können, werden mehrere Prozessorsysteme parallel betrieben. In dem Simulationsmodell wurde für die zentrale Datenbank (central database) eine Servicezeit (abhängig vom Modell $1 \mu\text{s}$ bis $100 \mu\text{s}$, default $20 \mu\text{s}$) und eine feste Verzögerung (10 ms, für den Zugriff auf die Datenbank) festgelegt. Für die Serialisierung bzw. De-Serialisierung der Nachrichten (abhängig von der Länge) an den Ein- und Ausgängen des Systems kommen Verzögerungszeiten hinzu.

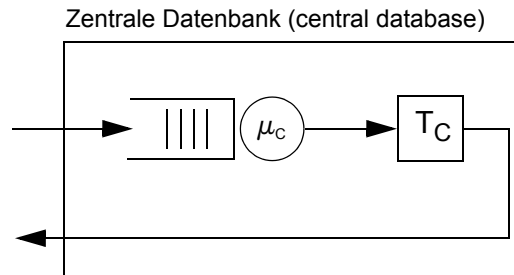


Bild 50: Modell der zentralen Datenbank

Realisierung eines Test-Systems im Labor

Ein Testsystem eines zentralen HLR wurde für Demonstrationszwecke und Leistungstest im Labor der Alcatel-Lucent realisiert. Unter der internen Bezeichnung: Intelligent Storage System (ISS) wurde das System im November 2005 in einer internen Vertriebsschulung vorgestellt [Kam05]. Der Systemaufbau ist in der Abbildung 51 dargestellt, er besteht aus den folgenden Komponenten:

- DB: Die Datenbank selbst basierte auf MySQL mit einem SAN und besteht aus 7 Server, 2 Datenbanken und 5 Daemons (Sun-Systeme). Pro Datenbank konnte bei 200000 Zugriffen pro Sekunde eine Reaktionszeit von 1,9 ms gemessen werden [Lop05-1].
- DH: Der Data Handler regelt den Zugriff auf die Datenbank und stellt die Daten für die DT bereit bzw. wenn keine Anpassung der Daten erforderlich ist dem PH.
- DT: Datamodel Translation zur Anpassung der Anfragen an das Datenmodell von externen Servern bzw. Applikationen. Im Falle der anfragenden Gateway ist diese Bearbeitung nicht erforderlich, da die Anfragen genau an das implementierte Datenmodell angepasst sind.
- PH: Der Protocol Handler bearbeitet die Protokolle (LDAP oder Diameter CORBA, Web Services oder ggf. weitere Protokolle) von den Anwendungen (z. B. HLR-Application). Abbilden der Business Modelle (Benutzer und Eigenschaften, Service Registry, Filter ..) auf die physikalischen Modelle (Query Building).
- HLR-Application: Applikation (HLR) mit den Signalisierungstrassen (Nr.7-Links) basierend auf 64-kbit/s-Kanälen, 2,048 Mbit/s-Systemen oder 140-Mbit/s-Systemen), hier erfolgt auch die Seriell/Parallel-Wandlung zur internen Verarbeitung.

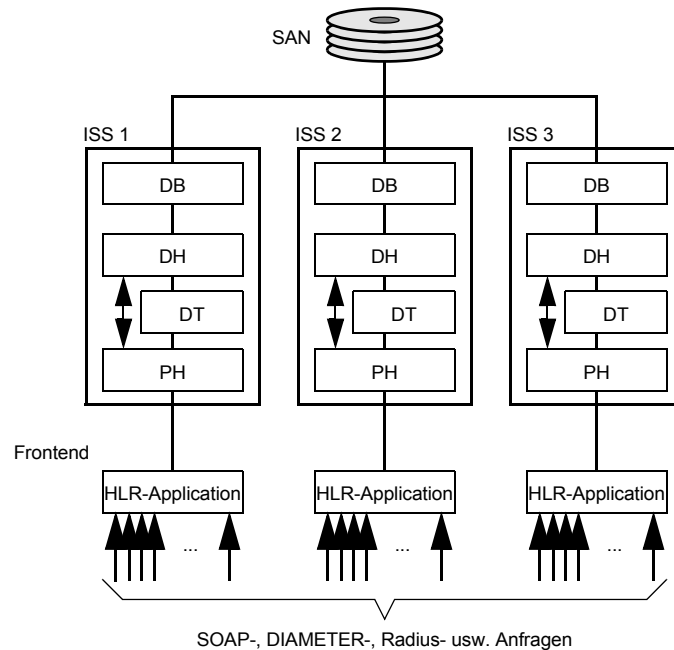


Bild 51: ISS-Realisierung bei Alcatel-Lucent

Diese Messungen zeigen, dass ein zentrales HLR mit den definierten Anforderungen realisierbar erscheint. Während in den Alcatel-Lucent-Laboren ein Wert von 1,9 ms für den reinen Zugriff ermittelt wurde, berichtete die Fa. Apertio im Rahmen eines Vortrags [Apert05] über ein realisiertes HLR für 40 Mio. Benutzer mit einer Service-Zeit von 3-5 ms für die komplette Transaktion.

Für Produktpräsentationen realisierte die Fa. Apertio ein HLR auf dem Laptop für 1 Mio. User (ohne Angabe zur Performance dieses Systems). Pro Teilnehmer rechnet man mit einem Datensatz von 5 kB (einschließlich Overheads), für 1 Mio. Teilnehmer wären das 5 GB Daten. Der Datenumfang kann gut auf einem Laptop untergebracht werden, nur reicht die Performance nicht aus, um mehrere Tausend Zugriffe auf die Datenbank zu behandeln.

Duplizierung

Die zentrale Datenbank besteht aus zwei gekoppelten Systemen, von denen jedes System die volle Last übernehmen kann. Das zweite System ist zum ersten völlig identisch (Mirror-System). Aus Sicherheitsgründen kann das Mirror-System über Weitverkehrsnetze kilometerweit entfernt sein. Die Daten jedes Systems werden auf eigene Disk (Level 1) gespeichert und regelmäßig auf Bändern gesichert. Die Sicherung erfolgt ohne Beeinflussung des Wirkbetriebs. Eine weitere Kopplung kann auf der Ebene 2 zwischen den Datenbank-Systemen (Datenbank-Server) erfolgen. Eine eigene Datenbank dient zur Lokalisierung der gesuchten Daten (Localization Database). Im Load-Sharing-Betrieb zwischen beiden Standorten kann über diese Datenbank ermittelt werden auf welchem System die Daten zu finden sind.

Die Kopplung könnte über einen Alcatel 1696 SAN Extender erfolgen, der die direkte Kopplung der beiden Systeme über Dark Fiber, SDH-Netze oder WDM-Systeme ermöglicht [Lop05-02].

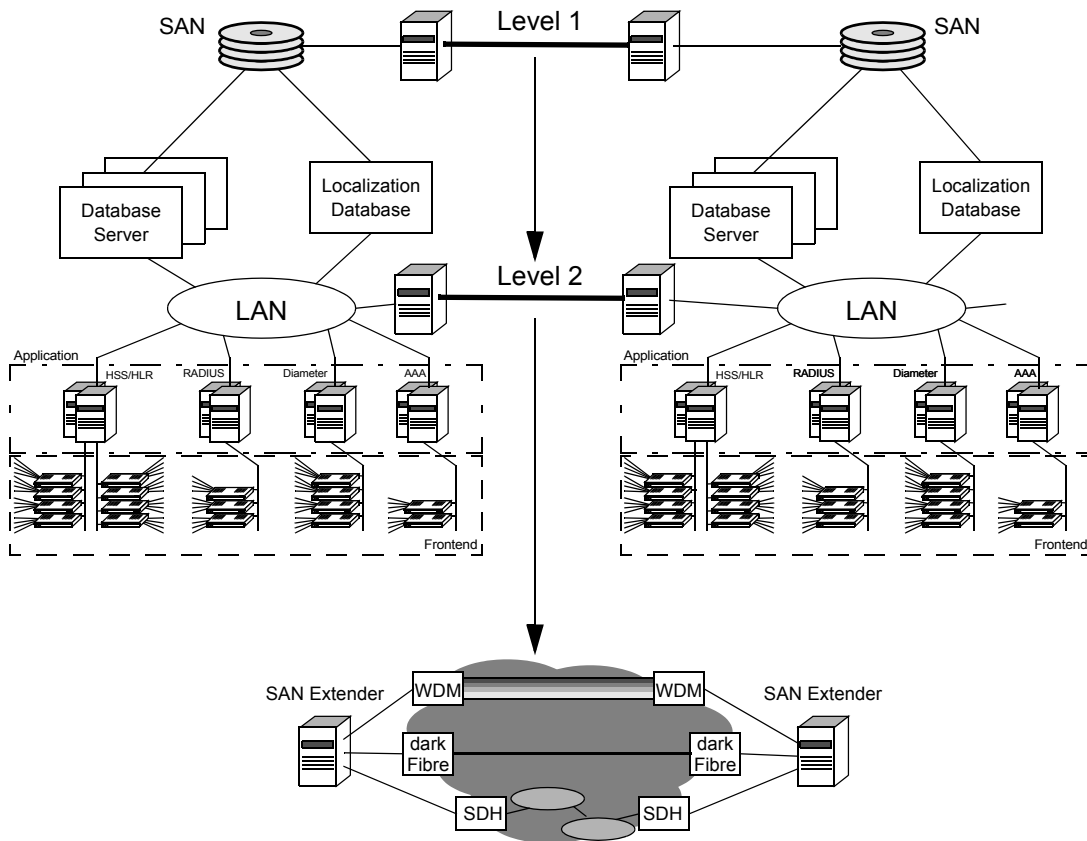


Bild 52: Duplizierung der zentralen Datenbank

Datenmodell

Das Datenmodell für die gemeinsame Datenbank basiert auf einem einheitlichen Datenmodell, das unabhängig vom jeweiligen Netz und verwendeten Protokoll ist. Ein Beispiel für ein solches objekt-orientiertes Profile Datenmodell wird in [Diehl et al 05, Diehl07] vorgestellt (Abb. 53).

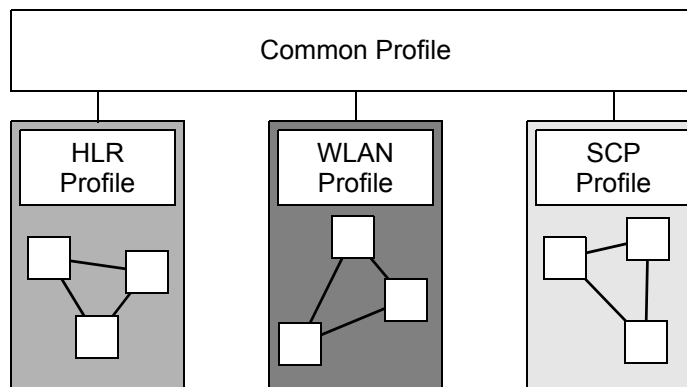


Bild 53: Gemeinsames Teilnehmerprofil

Teilnehmer-orientiert wird ein „Superset“-Profil definiert (Common Profile), in dem sich die Elemente verschiedener Netzzugänge (GSM, WLAN, WiMAX usw.) und Dienste (IN-Dienste oder IMS-Dienste u. a.) unabhängig von den Netzzugängen und verwendeten Protokollen befinden. Abhängig vom verwendeten Zugang und Dienst werden dann die entsprechenden Elemente angesprochen.

In der Abbildung 54 ist ein gemeinsames, übergeordnetes Teilnehmerprofil in einer hierarchischen Baumstruktur dargestellt.

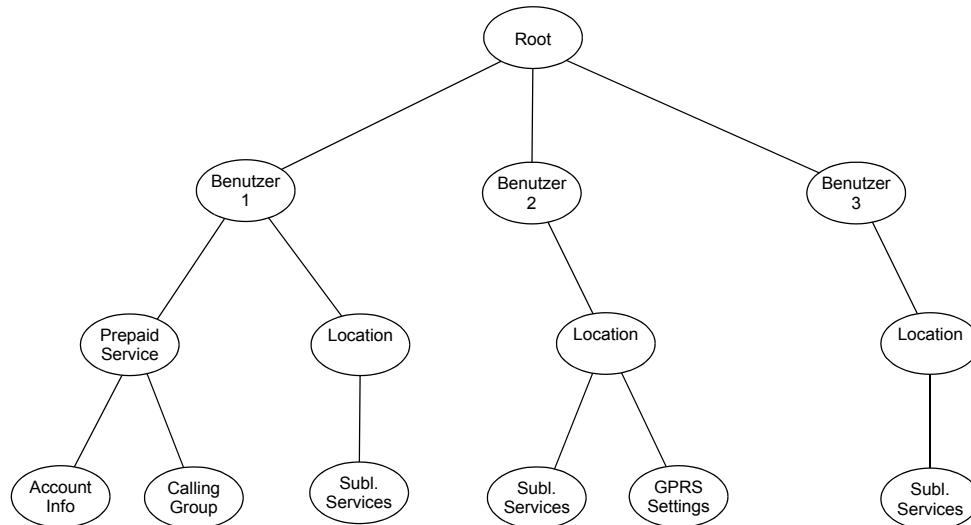


Bild 54: Hierarchische Organisation der Elemente eines Teilnehmerprofils

Die Einträge der Datenbank können nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zusammengefasst werden. Die Daten können beispielsweise nach Benutzern oder nach Diensten organisiert werden – Partitionierung der Daten. In beiden Fällen wird auf die gleichen Einträge der Baustruktur zugegriffen.

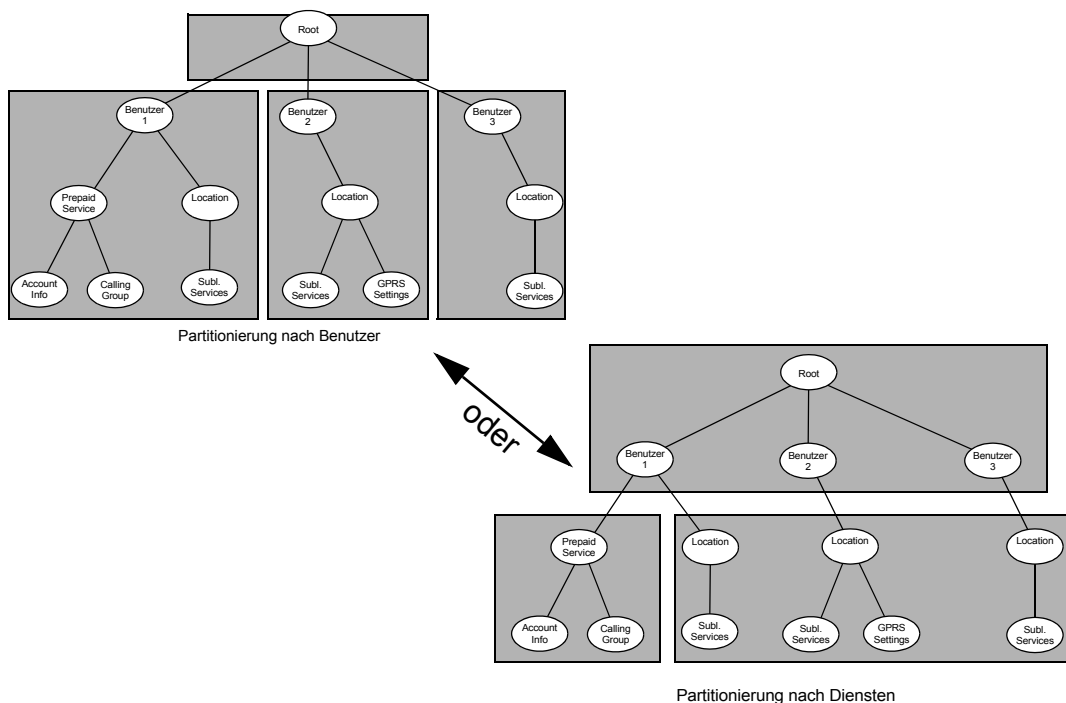


Bild 55: Partitionierung der Daten

3.4 Performance-Berechnungen

In den folgenden Abschnitten werden analytischen Zusammenhänge für die Berechnung der Gesamtlaufzeit für die MTC-Anfragen entwickelt. Aus Übersichtsgründen wurde das Gesamtsystem in die Abschnitte a) bis f) aufgeteilt, die im Folgenden zunächst einzeln betrachtet werden. Für das Modell C ergeben sich zwei mögliche Wege für eine Beantwortung der MTC-Anfragen (in der Abb. 56 die Wege C und L). In den folgenden Betrachtungen bestimmt die Wahrscheinlichkeit p , ob die Antwort von der lokalen Datenbank (Wahrscheinlichkeit p) oder der zentralen Datenbank gegeben wird (Wahrscheinlichkeit $1-p$). Mit $p=0$ entspricht das Modell C grundsätzlich dem Modell A und mit $p=1$ dem Modell B. Alle Komponenten wurden in den vorherigen Abschnitten beschrieben, die verwendeten Parameter sind im Anhang je Modell definiert.

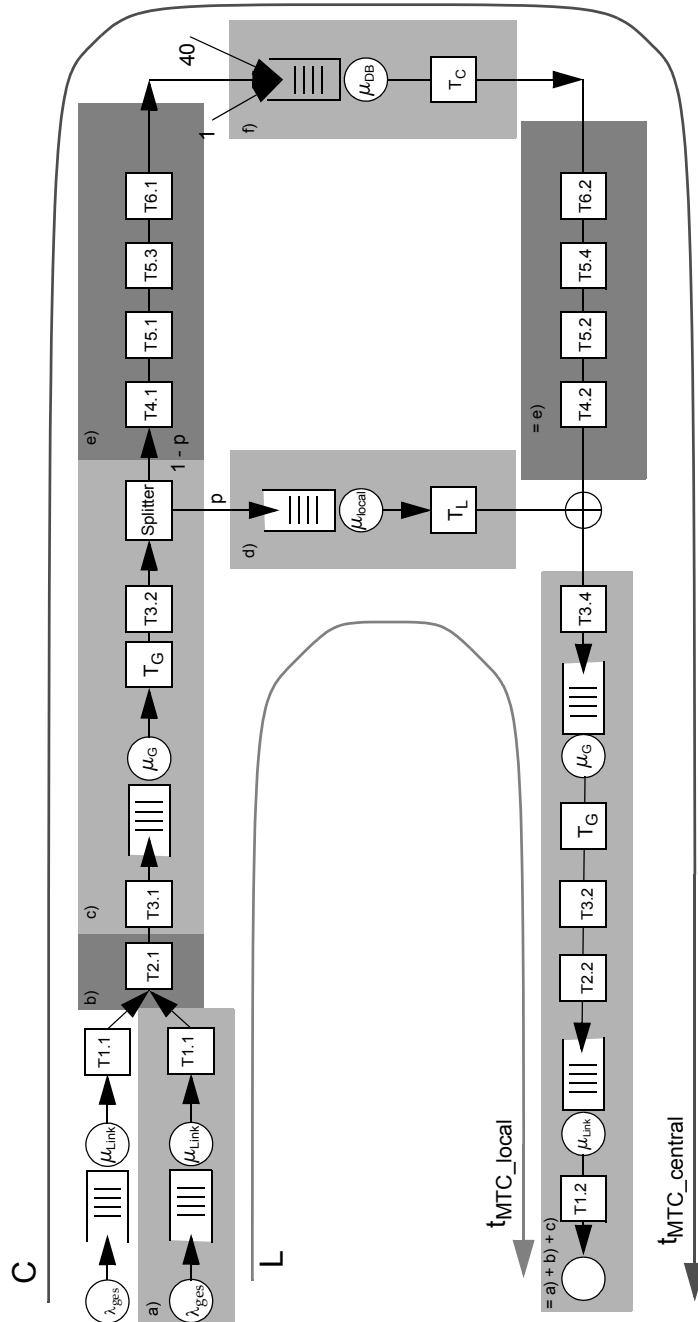


Bild 56: Laufzeiten im Modell C

3.4.1 Quellen

Die Anfragen an ein HLR wurden im Abschnitt 3.1.2 beschrieben:

- λ_1 : Location Update (81,25 Anfragen pro Sekunde)
- λ_2 : Mobile Terminating Call (MTC) (19,69 Anfragen pro Sekunde)
- λ_3 : Mobile Originating Call (MOC) (7,88 Anfragen pro Sekunde)
- λ_4 : Location based Services (52,08 bis 416,67 Anfragen pro Sekunde)
- λ_5 : SMS (114,59 Anfragen pro Sekunde)

Ermittelt wird die Laufzeit für die Antwort der Anfragen des MTC (λ_2). Die Summe der Anfragen λ_{ges} entspricht die Summe der Anfragen je MSC $\lambda_{ges} = \sum \lambda_i$. Die Anfragen je HLR sind doppelt so hoch ($2\lambda_{ges}$).

3.4.2 Link zwischen MSC und Gateway

Der Abschnitt a) besteht aus einer festen Laufzeit, die abhängig von der Link-Geschwindigkeit ist, und der Laufzeit, verursacht durch die Anfragen sehr vieler Benutzer des Mobilnetzes, die Signalisierungsnachrichten durch eine Warteschlange zum HLR transportieren müssen. Die Anfragen sind Poisson-verteilt, der Transport der Nachrichten (die Servicezeit des Links) richtet sich nach der Länge der Nachrichten (gleich-verteilt), daraus ergibt sich für die Berechnung eine M/G/1-Charakteristik. Der Zusatz bei der Serialisierung für 64-kbit/s-Links entspricht den Ausführungen von Abschnitt 3.1.4. Die Zeit für die Parallelisierung und Serialisierung der Nachrichten ist auf beiden Seiten desselben Links gleich. Insgesamt ergibt sich für den Abschnitt a) $t_{\text{ÜT_MSC-GW}}$ die Serialisierungszeit zwei Mal. Der folgende Ausdruck entspricht der Durchlaufzeit durch ein M/G/1-System nach der Pollaczek-Khinchin-Formel für die Wartezeit plus der Bearbeitungszeit:

$$t_{\text{ÜT_MSC-GW}} = 2 \cdot t_{\text{Serial_Link_a}} + \frac{1}{\mu_{\text{Link}}} + \frac{\lambda_{\text{ges}} \cdot \left(\frac{1}{\mu_{\text{Link}}}\right)^2}{2 \cdot (1 - (\lambda_{\text{ges}}/\mu_{\text{Link}}))}$$

Die Service-Rate der Leitung (μ_{Link}) ist abhängig von der Nachrichtenlänge und der Übermittlungsrate:

$$\frac{1}{\mu_{\text{Link}}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} \quad \begin{array}{l} \text{length}_{\text{MSG}} [\text{Oktett}] \\ \text{Speed}_{\text{Link}} [\text{kbit/s}] \\ m = 30 \text{ bei } 64 \text{ kbit/s} \end{array}$$

Für die durchschnittliche Nachrichtenlänge ist dies:

$$\frac{1}{\mu_{\text{Link}}} = \frac{168 \cdot 8 \text{ bit}}{64000 \text{ bit/s}} = 0,021 \text{ s}$$

Die feste Serialisierungszeit hängt von der Nachrichtenlänge und der Übermittlungsrate des Links ab:

$$t_{\text{Serial_Link_a_64}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} \cdot \frac{m-1}{m} \quad t_{\text{Serial_Link_64}} = \frac{168 \cdot 8 \text{ bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} \cdot \frac{30-1}{30} = 0,0203 \text{ s}$$

$$t_{\text{Serial_Link_a_2Mb}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{2048 \text{ kbit/s}} \quad t_{\text{Serial_Link_2Mb}} = \frac{168 \cdot 8 \text{ bit}}{2048 \text{ kbit/s}} = 0,66 \text{ ms}$$

$$t_{\text{Serial_Link_a_140Mb}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8 \text{ bit}}{139264 \text{ kbit/s}} \quad t_{\text{Serial_Link_140Mb}} = \frac{168 \cdot 8 \text{ bit}}{139264 \text{ kbit/s}} = 9,65 \mu\text{s}$$

3.4.3 Übertragungstechnik – Link T2.1 bis T2.4

Der Abschnitt b) beinhaltet nur die übertragungstechnischen Systeme zwischen der MSC und dem herkömmlichen HLR bzw. dem Gateway. Abhängig von der Übermittlungsgeschwindigkeit werden die folgenden Werte für das Durchlaufen eines SDH-CrossConnects plus die Signallaufzeit auf 20 km Leitung angenommen:

$$t_{\text{Trans_64}} = 0,210 \text{ ms}$$

$$t_{\text{Trans_2M}} = 0,210 \text{ ms}$$

$$t_{\text{Trans_140M}} = 0,13 \text{ ms}$$

3.4.4 Gateway

Der Abschnitt c) schließt die Parallelisierung und Serialisierung der Nachrichten und die Warteschlange des Gateway und den Zugriff auf eine Datenbank für die Übersetzung der Nachrichten von ASN.1 in ein XML-Format und umgekehrt. In dem Modell sind dies die Zeiten T3.1=T3.3, die in ihren Werten den Zeiten T1.1 und T1.2 entsprechen.

$$t_{\text{Gateway}} = t_{\text{Serial_Link}} + t_{\text{GW}}$$

Für die Warteschlange wird ein M/M/1-System mit negativ exponentieller Verteilung und für den Datenbankzugriff eine feste Verzögerungszeit von 10 ms angesetzt. Die Nachrichten mit variabler Länge werden durch Datenbankzugriffe auf übersetzte XML-Nachrichtenteile übersetzt, die Bearbeitungszeit hängt daher von der Nachrichtenlänge und den enthaltenen Parametern ab. Für die Gatewayfunktion basierend auf einer Datenbankabfrage ergibt sich:

$$t_{\text{GW}} = 10\text{ms} + \frac{1}{\mu_G - (2 \cdot \lambda_{\text{ges}})}$$

Die Serialisierung ist wieder von der Übermittlungsgeschwindigkeit und der Nachrichtenlänge abhängig:

$$t_{\text{Serial_Link}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}}$$

$$t_{\text{Serial_Link_64}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{64 \text{ kbit/s}}$$

$$t_{\text{Serial_Link_2Mb}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{2048 \text{ kbit/s}}$$

$$t_{\text{Serial_Link_140Mb}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{139264 \text{ kbit/s}}$$

Zusammen gilt für den Abschnitt c):

$$t_{\text{Gateway}} = \frac{\text{length}_{\text{MSG}} \cdot 8\text{bit}}{\text{Speed}_{\text{Link}}} + 10\text{ms} + \frac{1}{\mu_G - (2 \cdot \lambda_{\text{ges}})}$$

T3.2 und T3.4 sind 0 weil die Splitterfunktion im selben Gerät wie der Gateway untergebracht ist.

3.4.5 Lokale-DB

Der Abschnitt d) umfasst nur die Funktion der lokalen Datenbank mit einer festen Verzögerung von 10 ms [Annahme] und einer M/M/1-Warteschlange mit negativ exponentielle Verteilung. Für den Wert λ wird hier $2 \cdot \lambda_{ges}$ angesetzt, weil der Gateway an zwei MSC angeschaltet ist und sich damit der Verkehr verdoppelt. Verknüpft sind die Anfragen noch mit der Wahrscheinlichkeit p , dass die Anfrage durch die lokale Datenbank beantwortet werden kann. Der Wert μ_L hängt von der Leistungsfähigkeit der Datenbank ab und wird in der Simulation variiert, ein Standard ist $\mu_L = 1/20 \mu s$.

$$t_{Local} = 10ms + p_{local} \cdot \frac{1}{\mu_L - (2 \cdot \lambda_{ges})}$$

3.4.6 Übertragungstechnik – Gateway-DB

Im Abschnitt e) werden die größeren Nachrichten auf XML-Basis übertragen. Die Serialisierung der Nachrichten erfolgt mit 140 Mbit/s. Beim Transport der Nachrichten über 400 km (Laufzeit 2 ms) werden drei CrossConnect (je 30 μs s. Abschnitt 3.2) durchlaufen. Die Parallelisierung beim Empfänger (140 Mbit/s) ist wieder identisch mit der Serialisierung beim Sender.

$$t_{\text{ÜT_GW-DB}} = 2 \cdot t_{\text{Serial_Link_e_140Mb}} + 3 \cdot t_{\text{CC_140MB}} + t_{\text{Laufz}}$$

Die Übermittlungsrate ist fest und beträgt 139,264 Mbit/s.

$$t_{\text{Serial_Link_e_140Mb}} = \frac{\text{length}_{MSG_XML} \cdot 8bit}{\text{Speed}_{Link}} = \frac{\text{length}_{MSG_XML} \cdot 8bit}{139264 \text{ kbit/s}}$$

Für die Laufzeit und den Transport durch die drei Cross Connect können feste Zeiten angenommen werden:

$$t_{\text{CC_140MB}} = 30 \mu s \qquad t_{\text{Laufz}} = 2 \text{ ms}$$

Daraus ergibt sich insgesamt für den Abschnitt e):

$$t_{\text{ÜT_GW-DB}} = 2 \cdot \frac{\text{length}_{MSG_XML} \cdot 8bit}{\text{Speed}_{Link}} + 2,03 \text{ ms}$$

3.4.7 Datenbank

Die zentrale Datenbank wird durch den Abschnitt f) beschrieben. Auch hierfür wird eine festen Verzögerung von 10 ms und eine M/M/1-Warteschlange mit negativ exponentieller Verteilung angenommen. Da diese nur noch von den Anfragen kontaktiert wird, die nicht bereits durch die lokale Datenbank beantwortet wurden, wird dieser Teil mit $1-p$ multipliziert. An der zentralen Datenbank kommen alle Anfragen zusammen, so dass sich für den Verkehr der 80 anfragenden MSC das Produkt $80 \cdot \lambda_{ges}$ ergibt.

$$t_{DB} = 10 \text{ ms} + (1 - p_{local}) \cdot \frac{1}{\mu_{DB} - (80 \cdot \lambda_{ges})}$$

3.4.8 Rückweg

Beim Rückweg der Antwort werden die Leitungen und Netzelemente der Übertragungstechnik der gleichen Technik durchlaufen. Nur die Datenbanken selbst müssen nur einmal berücksichtigt werden. Die Abschnitte a), b) und c) müssen in der Gesamtformel mit 2 multipliziert werden. Bei der Gesamtzeit für Antworten der zentralen Datenbank auch der Abschnitt e).

3.4.9 Gesamtformel

Lokal: Formel für Antworten der lokalen Datenbank (Wahrscheinlichkeit p):

$$t_{MTC_Local} = 2 \cdot \left(2 \cdot t_{Serial_Link_a} + \frac{1}{\mu_{Link}} + \frac{\lambda_{ges} \cdot \left(\frac{1}{\mu_{Link}}\right)^2}{2 \cdot (1 - (\lambda_{ges}/\mu_{Link}))} + t_{Trans_64} + \frac{length_{MSG} \cdot 8bit}{Speed_{Link}} \right) \\ + 10ms + \frac{1}{\mu_G - (2 \cdot \lambda_{ges})} + 10ms + p_{local} \cdot \frac{1}{\mu_L - (2 \cdot \lambda_{ges})}$$

Zentral: Formel Zentral (Wahrscheinlichkeit 1-p)

$$t_{MTC_Cent} = 2 \cdot \left(2 \cdot t_{Serial_Link_a} + \frac{1}{\mu_{Link}} + \frac{\lambda_{ges} \cdot \left(\frac{1}{\mu_{Link}}\right)^2}{2 \cdot (1 - (\lambda_{ges}/\mu_{Link}))} + t_{Trans_64} + \frac{length_{MSG} \cdot 8bit}{Speed_{Link}} \right) \\ + 2 \cdot \left(10ms + \frac{1}{\mu_G - (2 \cdot \lambda_{ges})} + 2 \cdot \frac{length_{MSG_XML} \cdot 8bit}{Speed_{Link}} + 2,03 \text{ ms} \right) \\ + 10 \text{ ms} + (1 - p_{local}) \cdot \frac{1}{\mu_{DB} - (80 \cdot \lambda_{ges})}$$

Viele Variable hängen von der jeweiligen Nachrichtenlänge der verwendeten Übermittlungsgeschwindigkeit und von der Auslastung der jeweiligen Warteschlangen ab. Die vollständige Berechnung der Laufzeiten wäre zu komplex. Mittelwerte helfen zur Abschätzung der Verhältnisse und der Größenordnungen der erforderlichen Leistungsfähigkeiten der Datenbanken. Um eine genauere Beurteilung der Architektur zu erzielen wurde das Gesamtsystem mit verschiedenen Übermittlungsgeschwindigkeiten und Leistungen der Datenbanken simuliert.

Die ersten Ansätze der Simulation wurden am Institut für Kommunikationsnetze und Rechnersysteme von Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. P. J. Kühn an der Universität Stuttgart im Rahmen einer Dipl.-Arbeit [Nant05] durchgeführt. Genauere Betrachtungen mit korrigierten Parametern wurden danach im Sommer 2005 bei Alcatel-Lucent mit den nur leicht modifizierten Modellen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Simulation werden im folgenden Abschnitt 3.5 zusammengefasst.

3.5 Simulationsergebnisse

3.5.1 Modell A

Die Simulationsergebnisse des Modells A entsprechen recht gut den Erwartungen, zeigen aber auch die Leistungsgrenzen des Systems. Mit heute 750 000 Tln pro HLR (= 375000 pro MSC, 30 Mio. in Summe) und dem gesteigerten Referenzverkehr nach Abschnitt 3.1 kann das HLR höchstens eine Servicezeit von 1 ms bis 0,8 ms haben, um diese Anforderungen bearbeiten zu können (s. Abb. 57).

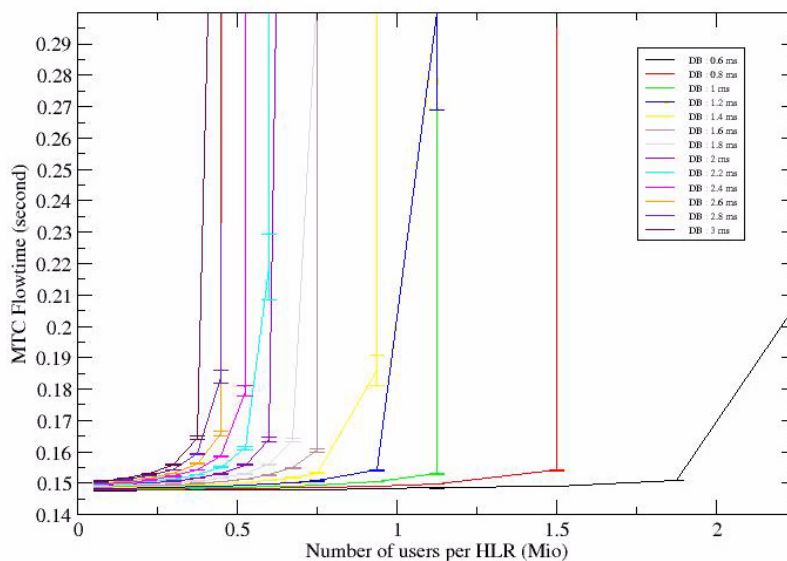


Bild 57: Modell A mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s

Aus Vergleichsgründen wurde das Modell A auch mit 2,048-Mbit/s-Links (unstrukturiert) getestet. In der Abbildung 58 ist zu erkennen, dass die Forderungen an die Datenbank mit höchstens 1 ms bis 0,8 ms bestehen bleiben, aber die Laufzeit sich von ca. 148 ms auf ca. 65 ms verkürzt.

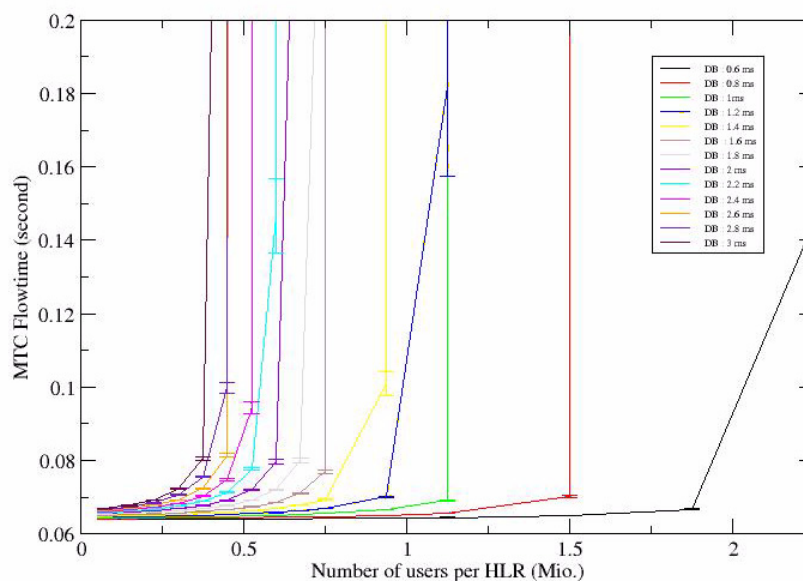


Bild 58: Modell A mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 2 Mbit/s

Eine weitere Erhöhung der Übermittlungsgeschwindigkeit hat keine weiteren Vorteile. Die Laufzeiten mit 140-Mbit/s-Links ist nur unwesentlich kürzer (Abb. 59). Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Datenbank sind unverändert.

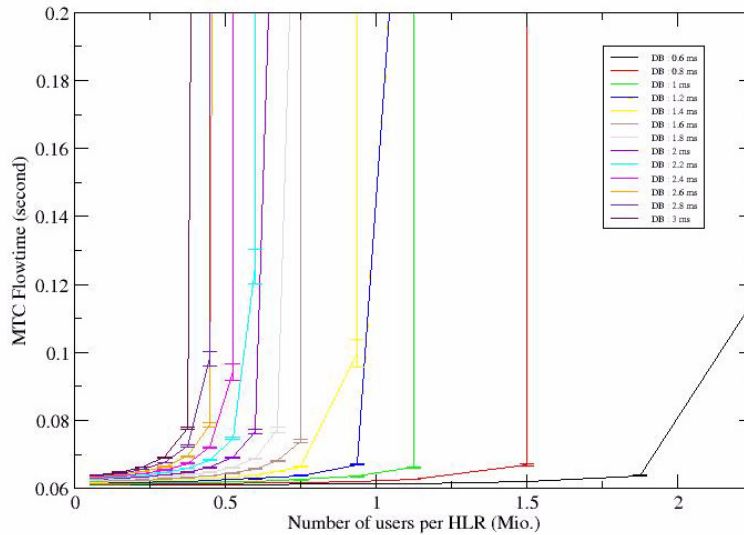


Bild 59: Modell A mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 140 Mbit/s

Die Location Based Services (LBS) wurden zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht im GSM-Netz unterstützt. Ein Punkt dieser Untersuchung ist die Abhängigkeit der Anforderungen an das HLR von diesen Diensten aufzuzeigen. Die Variation des Verkehrs zu denen des LBS-Verkehrs hat einen, wenn auch nicht sehr großen, Anteil an erhöhten Anforderungen an das HLR. Die Abhängigkeit vom LBS-Verkehr ist in der Abbildung 60 für das Modell A dargestellt. Mit einer Servicezeit von $< 0,8$ ms (entspricht 1250 Anfragen pro Sekunde) kann ein weites Feld von LBS-Anwendungen mit bis zu 6 Anfragen pro Stunde von jedem Benutzer beim HLR unterstützt werden. Für alle weiteren Untersuchungen wird eine LBS-Nutzung von 10 % der Teilnehmer angenommen, dies entspricht 2,17 Anfragen pro Teilnehmer und pro Stunde in der Hauptaktivitätszeit.

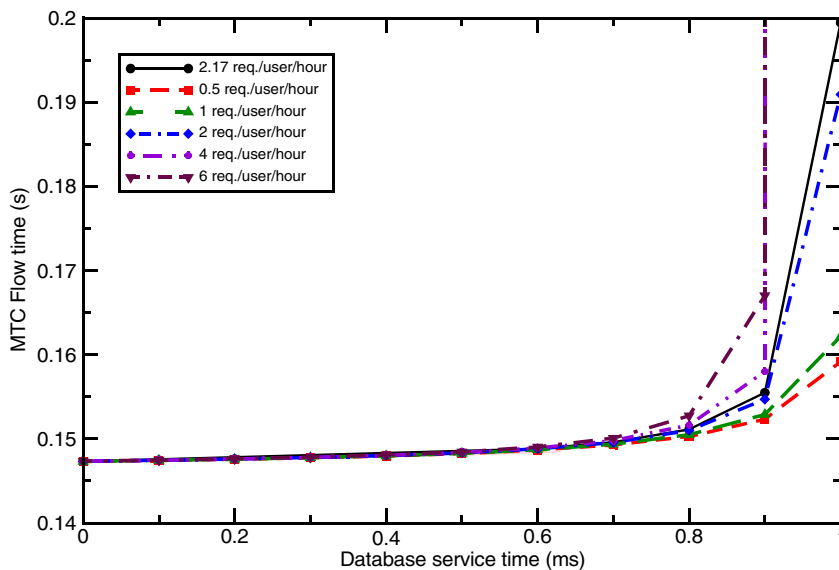


Bild 60: Einfluss der Location-based-Services

3.5.2 Modell B

Im Modell B können mit entsprechend schnellen Datenbanken vergleichbare Ergebnisse wie im Modell A erzielt werden. Die Service-Zeit muss dann, für den definierten Verkehr (s. Abschnitt 3.1) und 30 Mio. Teilnehmern, aber kleiner als $35 \mu\text{s}$ sein. Der Anteil der variablen Verzögerungszeit ist im Vergleich zu den großen festen Verzögerungszeiten durch die Übertragung über die Signalisierungs-Links sehr klein geworden. In der Abbildung ist dies durch den sehr raschen Übergang bei Erreichen der Lastgrenze erkennbar.

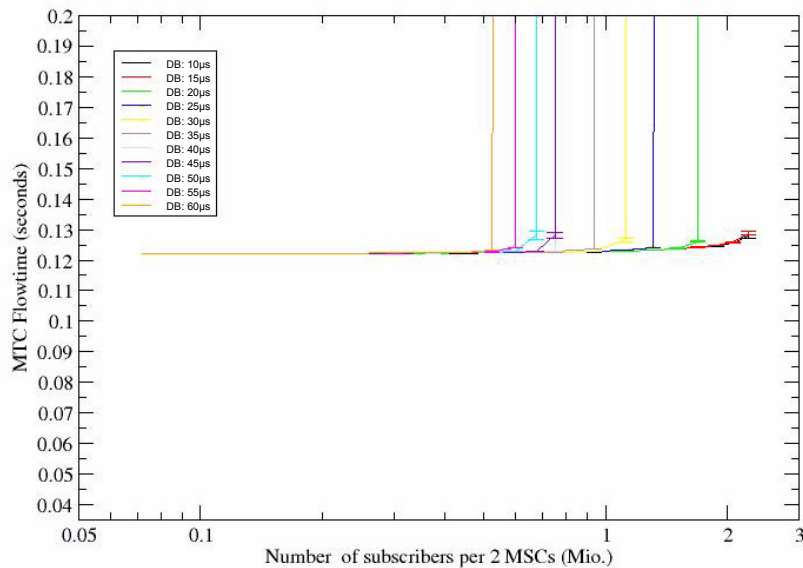


Bild 61: Modell B mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 64 kbit/s

Im unstrukturierten Mode beträgt die Laufzeit nur noch ca. 39 ms. Die festen Verzögerungszeiten sind nun im Vergleich zu der variablen Zeit deutlich kleiner geworden. Die Übergänge im Grenzfall sind nicht mehr so plötzlich. Die Service-Zeit muss für den geforderten Verkehr unter $30 \mu\text{s}$ liegen.

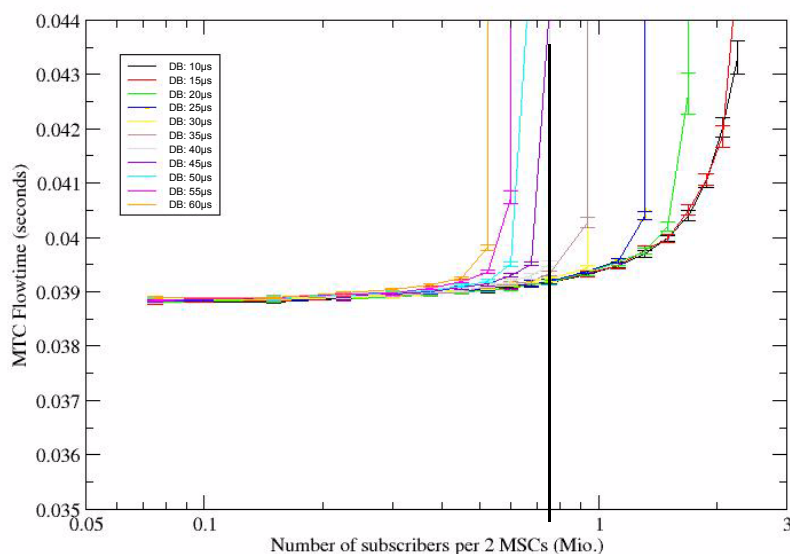


Bild 62: Modell B mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 2 Mbit/s

Unter Verwendung neuer Singalisierungs-Links mit 140 Mbit/s ändert sich an der erzielten Laufzeit nicht mehr viel. Statt den ca. 39 ms werden nun 36 ms erreicht. Die Service-Zeit muss für den geforderten Verkehr ebenfalls unter $30\ \mu\text{s}$ liegen.

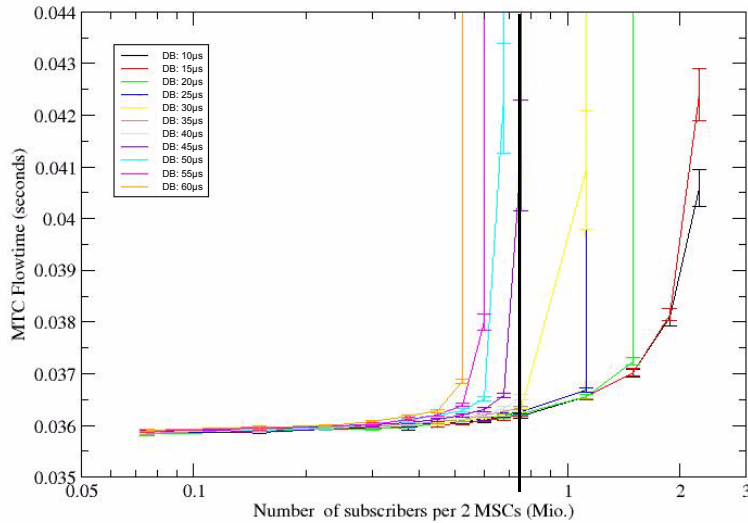


Bild 63: Modell B mit einer Übermittlungsgeschwindigkeit von 140 Mbit/s

Vergleich der Link-Geschwindigkeiten

In der Abbildung 64 sind die erzielten Laufzeiten unter Verwendung der verschiedenen Linkgeschwindigkeiten dargestellt. Wie in diesem Bild ganz deutlich wird, verursacht die Verwendung der 64-kbit/s-Kanäle innerhalb der 2,048-Mbit/s-Signalisierungs-Links mit großem Abstand die größten Laufzeiten. Die Verwendung der gleichen 2,048-Mbit/s-Links im unstrukturierten Mode senkt die Zugriffszeiten erheblich. Statt den über 120 ms der 64-kbit/s-Kanäle werden nun ca. 39 ms erreicht, das ist ein Drittel des Wertes. Die Verwendung der 140 Mbit/s verringert die Laufzeit nur noch unwesentlich (ca. 36 ms).

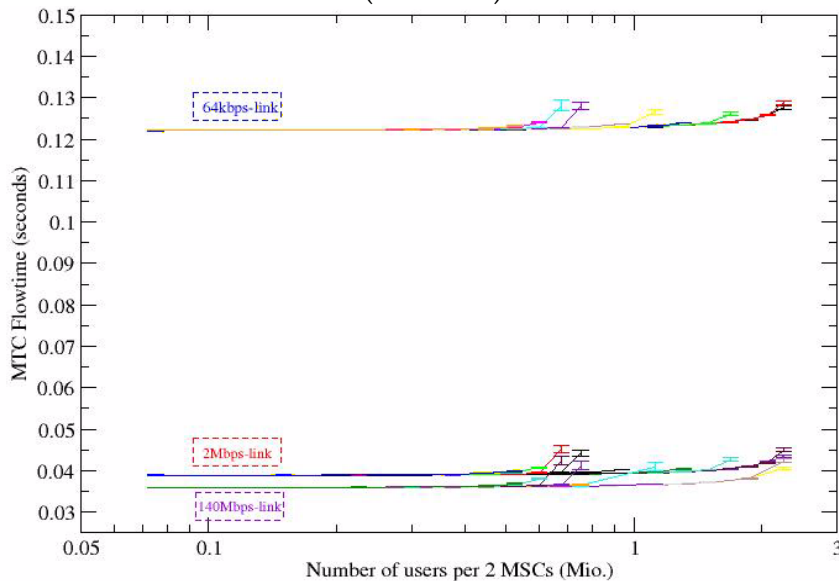


Bild 64: Vergleich erzielten Laufzeiten in Abhängigkeit von den Link-Geschwindigkeiten

Für die Migration des GSM zu einer zentralen Datenbank ist die Verwendung des unstrukturierten Modes empfohlen. Damit können die vorhandenen Signalisierungstrassen weiter verwendet werden, sie müssen nur in einen alternativen Betriebsmode gebracht werden. Abhängig vom jeweiligen Hersteller ist das ggf. nur eine Konfiguration der 2,048-Mbit/s-Baugruppe. Die Umrüstung auf höhere Geschwindigkeiten, wie beispielsweise 140 Mbit/s ist für die MSC nicht erforderlich. Die Forderungen an die Service-Zeit der zentralen Datenbank sind fast unabhängig von der gewählten Übermittlungsgeschwindigkeit.

Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Datenbanken und des Gateway

Die Bedienzeit des Gateway muss bei einer Anschaltung mit 64 kbit/s unterhalb von 0,1 ms bleiben, sonst prägt diese Bearbeitungszeit die Gesamtlaufzeit, fast unabhängig von der Leistungsfähigkeit der zentralen Datenbank. Die zentrale Datenbank muss eine Bedienzeit kleiner $25 \mu\text{s}$ haben, in der Abbildung 65 laufen alle Kurven übereinander mit einer Laufzeit $< 50 \text{ ms}$ (Flowtime). Die Kurve oberhalb der Kurvenschar entspricht einer Bedienzeit von $25 \mu\text{s}$ für die zentrale Datenbank, noch größere Werte liegen noch oberhalb dieser Kurve außerhalb des Darstellungsbereichs. Größere Bedienzeiten der zentralen Datenbank verursachen ein instabiles Verhalten des Systems, weil die Auslastung der zentralen Datenbank überschritten wird.

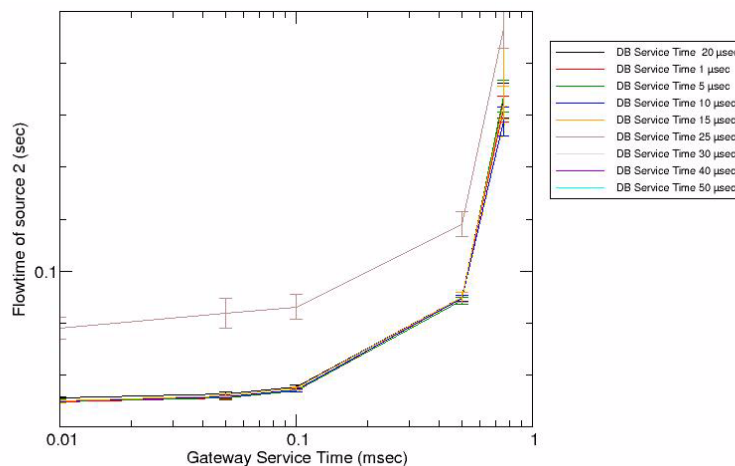


Bild 65: Zusammenhang zwischen der Bedienzeit des Gateway und der Datenbank

Den gleichen Zusammenhang nur umgekehrt dargestellt zeigt die Abbildung 66. Die Anforderungsgrenze für die zentrale Datenbank liegt bei $25 \mu\text{s}$. Der Einfluss der Bedienzeit des Gateway zeigen die Kurven. Eine Bedienzeit von 1 ms stellt genau den Grenzwert für den Gateway dar, die Kurve schwankt sehr stark. Größere Bedienzeiten verursachen viel zu große Laufzeiten ($> 20 \text{ s}$) und deuten auf ein instabiles Systemverhalten. Kleinere Bedienzeiten ($< 1 \text{ ms}$) zeigen ein sehr stabiles Verhalten mit kurzen Reaktionszeiten.

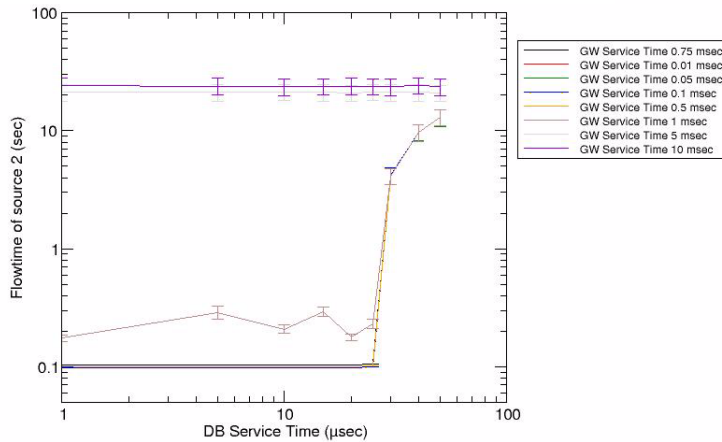


Bild 66: Zusammenhang zwischen der Bedienzeit der Datenbank und des Gateway

3.5.3 Modell C

Das charakteristische des Modells C ist der Cache, der Anfragen der zugeordneten Benutzer der eigenen Location Area lernt. In den Grenzen entspricht das Modell C den anderen beiden Modellen. Bei einer Wahrscheinlichkeit von $p=0$ wird bei keiner Anfrage der Datensatz des Teilnehmers lokal gefunden. Die Anfrage muss durch die zentrale Datenbank beantwortet werden, dies entspricht Modell B. An der anderen Grenze ist $p=1$, dies bedeutet, dass jede Anfrage lokal beantwortet wird, dies entspricht dem Modell A. An diesen Grenzen wäre die Variation der Bedienzeiten vergleichbar den gefundenen Werten des Modells A und B. Modell A sollte allerdings in dieser Untersuchung nur die heutigen Verhältnis wider spiegeln, d. h. die Datenbanken im Modell A sind nicht so leistungsfähig wie in den Modellen B und C.

Die folgenden Kurven untersuchen insbesondere die Abhängigkeit der Laufzeit von der Wahrscheinlichkeit die Antworten bereits in der lokalen Datenbank zu erhalten.

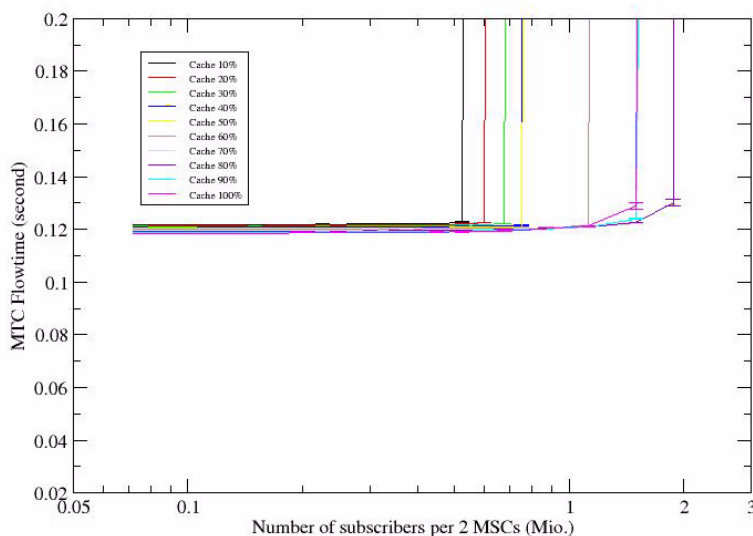


Bild 67: Modell C mit 64-kbit/s-Links

Unter Verwendung der 64-kbit/s-Verbindungsleitungen liegt die Laufzeit wieder bei ca. 120 ms, Abb. 67. Mit der Nutzung derselben Leitungen im „unstructured Mode“ mit 2 Mbit/s sinkt die Laufzeit auf ca. 38 ms, s. Abb. 68.

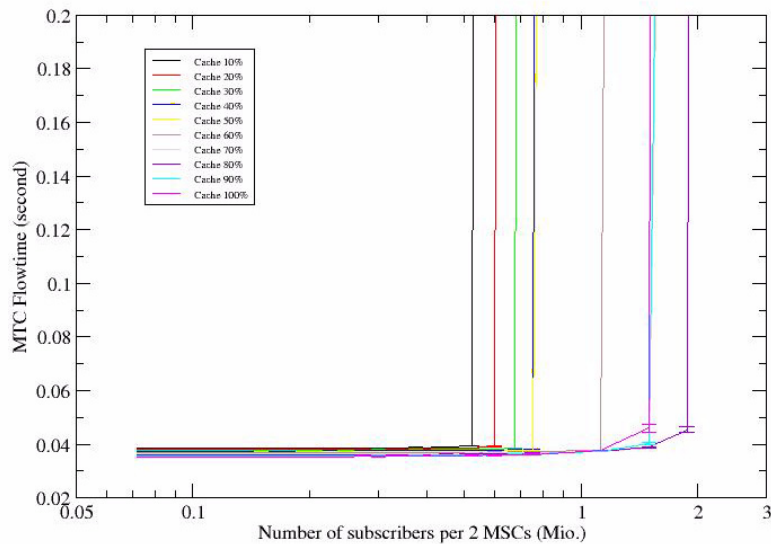


Bild 68: Modell C mit 2-Mbit/s-Links

In der vergrößerten Darstellung der Abbildung 69 ist zu erkennen, wie dicht die Kurven beieinanderliegen. Die Laufzeit unterscheidet sich nicht sehr, fast unabhängig von der Cache-Wahrscheinlichkeit. Die Unterschiede liegen in der Leistungsfähigkeit, wie viele Anfragen bzw. Anfragen von wie vielen Teilnehmern gestellt werden können.

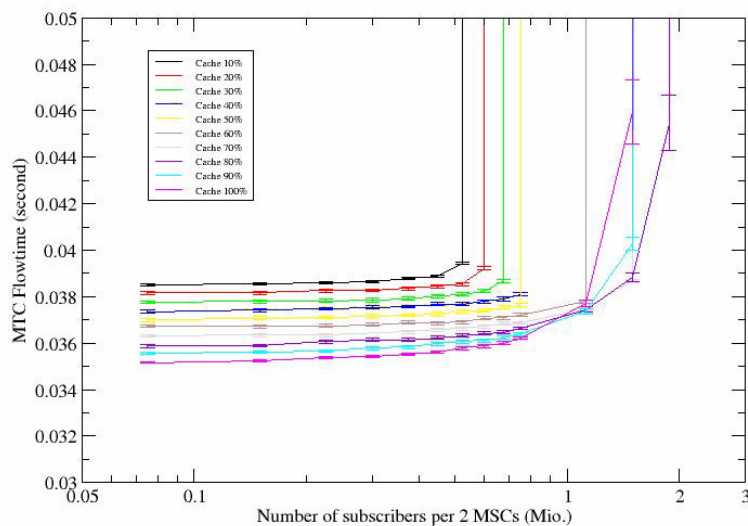


Bild 69: Modell C mit 2-Mbit/s-Links, vergrößert

Die noch höhere Geschwindigkeit der Verbindungsleitungen mit 140 Mbit/s verbessert die Laufzeit um ca. nur 4 ms (von ca. 38 ms auf ca. 34 ms). Auch die Anzahl der möglichen Teilnehmer unterscheidet sich praktisch nicht durch den Einsatz der leistungsfähigeren Leitungen, Abbildung 70 in der vergrößerten Darstellung.

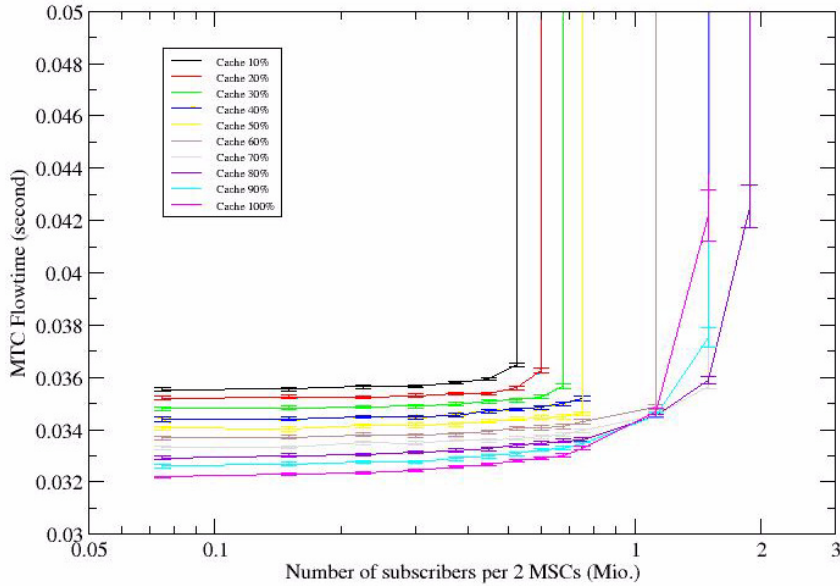


Bild 70: Modell C mit 140-Mbit/s-Links, vergrößert

Da weniger Anfragen an die zentrale Datenbank gerichtet werden, werden die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der zentralen Datenbank geringer oder weitere Systeme können neue Anforderungen an die Datenbank stellen. In der Abbildung 71 ist zu erkennen, je häufiger die Anfragen aus der MSC lokal beantwortet werden können, je geringer sind die Anforderungen an die zentrale Datenbank. Von ca. 20 μ s im Modell B bis ca. 200 μ s bei 90% Cache.

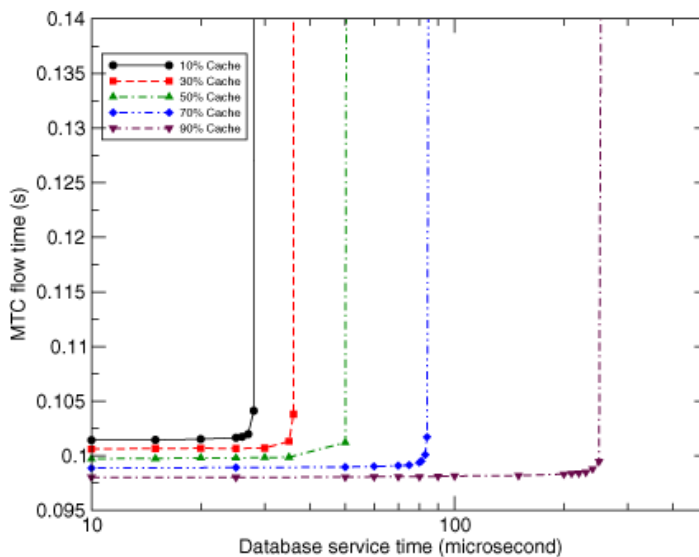


Bild 71: Anforderungen an die zentrale Datenbank

Die höchsten Anforderungen stellt die Architektur B an die Leistungsfähigkeit, die entspricht $p=0$ im Modell C. In der Abbildung 72 sind die Ergebnisse von Modell B und C zusammen dargestellt.

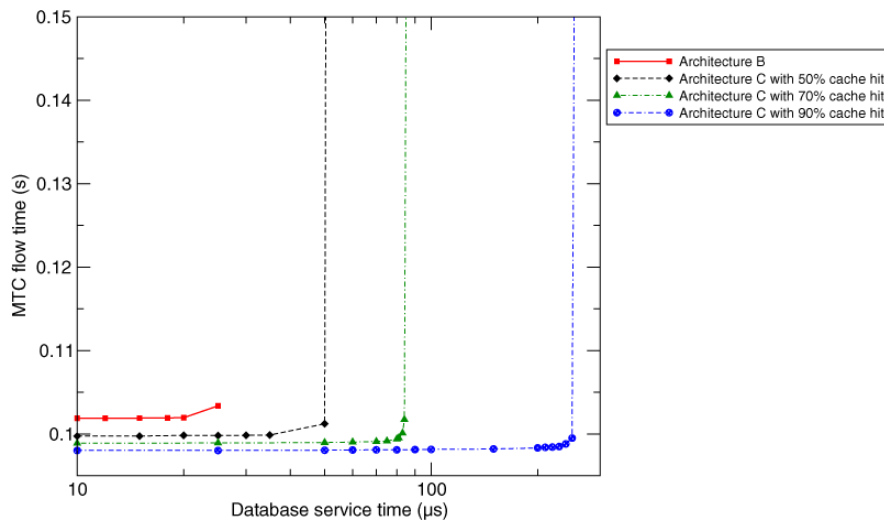


Bild 72: Anforderungen an die zentrale Datenbank Modell B und C

Laufzeit in Abhängigkeit von der Nutzung des Cache-Speichers

Die Abbildung 73 zeigt die Auswirkung des Cache auf die Laufzeit. Wie oben auch schon an den Kurven gesehen, sind es nur etwas mehr als 4 ms Unterschied. Die Leistungsfähigkeit ist für die lokale und zentrale Datenbank gleich mit 25 µs festgelegt, der Unterschied liegt damit nur in der eingesparten Laufzeit durch die 140-Mbit/s-Strecke.

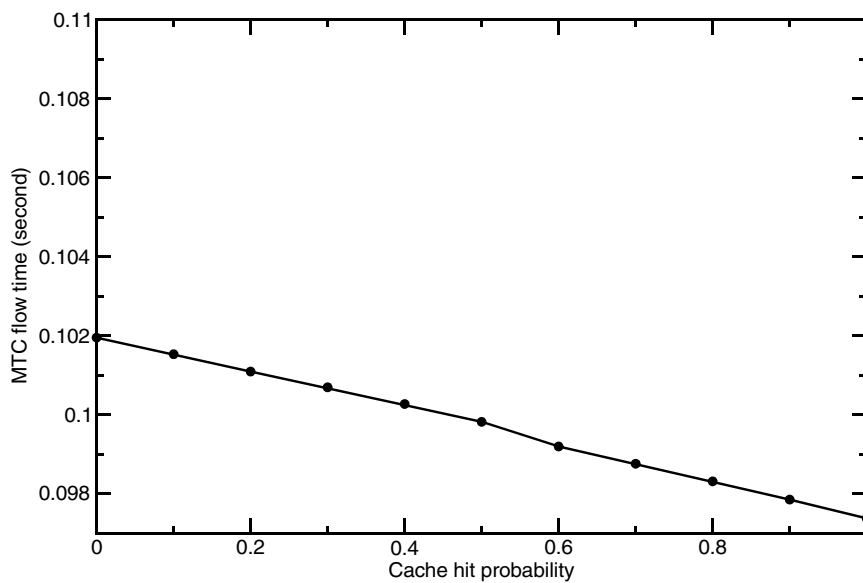


Bild 73: Laufzeit in Abhängigkeit von der Cache-Wahrscheinlichkeit

4 Erweiterung der Architektur

4.1 Öffnung für andere Netze

4.1.1 Grundsatzbetrachtung

Die Grundidee einer zentralen Datenbank (auch Next Generation Profile Register – NGPR genannt) auf der Basis von XML ist zum einen die Bereinigung der verteilten Benutzerdaten der konventionellen Netze, auf der anderen Seite aber auch vor allem, um neuen Access-Technologien die Möglichkeit zu geben Authentifizierungsanfragen an diese zu richten. Eine bedeutende aktuelle Entwicklung ist beispielsweise das Angebot von öffentlichen WLAN-Hotspots, (Public WLAN – PWLAN) die an großen Plätzen, in Restaurants, in Flughäfen, Bahnhöfen oder in öffentlichen Gebäuden installiert werden. Die Nutzung dieser Infrastruktur kann frei oder kostenpflichtig sein. Für die kostenpflichtige Nutzung ist eine Authentifizierung des Benutzers notwendig. Die Hotspots, die kostenfrei genutzt werden können, benötigen keine Authentifizierungen und werden daher in dieser Untersuchung nicht betrachtet. Von im April 2007 weltweit registrierten 141 644 WLAN Hotspots können nur 10 000 kostenfrei genutzt werden [jiwire]. Einer der größten Anbieter, die T-Mobile, betrieb nach eigenen Angaben im April 2007 weltweit 30 000 Hotspots, in Deutschland allein davon 8500. In diesem Zeitraum gab es nur 55 freie Hotspots [jiwire].

Für die Authentifizierung der Benutzer mit ihren Terminals an den kostenpflichtigen Hotspots gibt es eine Reihe von vorgeschlagenen Verfahren. Im Folgenden wird eine beispielhafte Konfiguration einer größeren WLAN-Installation genauer betrachtet.

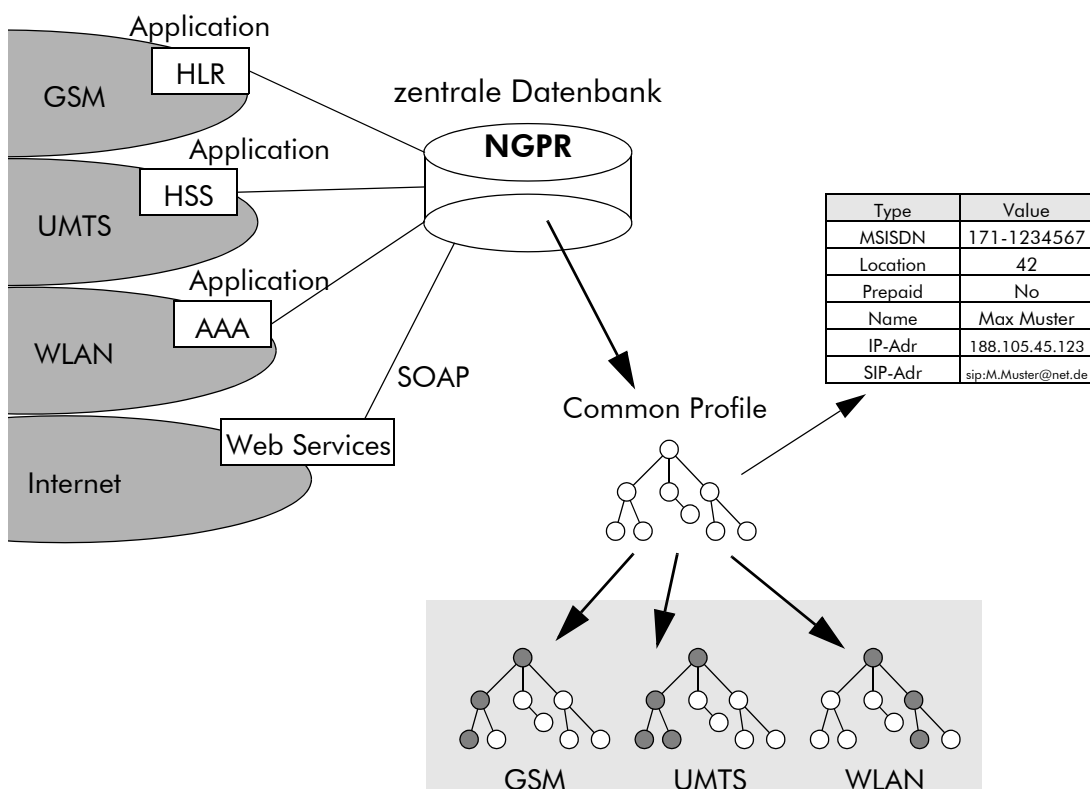


Bild 74: Authentifizierung anderer Zugänge

Zur Nutzung der zentralen Datenbank als Authentifizierungs-Server an WLAN-Hotspots muss der Zugang realisiert werden und ein zugehöriges Datenmodell in der Datenbank verfügbar sein. Unterschiedliche Netze erfordern ggf. unterschiedliche Authentifizierungsmethoden und Protokolle mit verschiedenen Schnittstellen und erfordern daher unterschiedliche Datenmodelle in der Datenbank. In der GSM-Anwendung wird die Funktion des HLR über die Applikationsserver mit dem SAN und dem Common Profile realisiert. In der UMTS-Anwendung wird auf ein erweitertes Profil zugegriffen (HSS-Funktion). Um die Authentifizierungs-Anfragen von WLAN-Installationen zu berücksichtigen, muss die entsprechende AAA-Applikation (z. B. über RADIUS-Server) verfügbar sein und die benötigten Elemente im Common-Profil enthalten sein. In [Diehl et al 05, Diehl07] werden Ansätze beschrieben, wie möglichst viele Arten von Authentifizierungsanfragen basierend auf verschiedenen Methoden und Protokollen mit einem einheitlichen User-Profile (Common Profile) berücksichtigt werden können.

4.2 Authentifizierung am WLAN-Hotspot

Grundsätzlich gibt es inzwischen eine ganze Reihe von Möglichkeiten die Authentifizierung an einem WLAN-Zugang durch zu führen:

- WEP-Verschlüsselung (Wired Equivalent Privacy – WEP, die Kodierung muss allen Nutzern bekannt sein - dies entspricht praktisch einem offenen Hotspot).
- Zugang mit Benutzerkennung und Paßwort, mit oder ohne dynamischem WEP (wechselt regelmäßig) für eine dauerhafte oder zeitlich begrenzte Nutzung.
 - User-ID und Passwort per Abo beim Hotspotanbieter
 - Login per Kreditkarte
 - Prepaid Login (Voucher, Rubbelkarte o. ä.)
 - SMS-Login
- Gateway zur Authentifizierung am HLR durch SIM mit einem Gateway.
- Zugangsmethoden nach 802.1x und dem Extensible Authentication Protocol (EAP). Hier sind eine große Zahl von Varianten definiert worden, die wichtigsten sind:
 - EAP-OTA wie MD5 nur mit dem OTA-Protokoll (One Time Password Authentication RFC 2289).
 - EAP-GTC Generic Token Card wie OTA nur mit Hardware Token Card.
 - EAP-TLS (ein defacto Standard für 802.11i), wird in vielen gesicherten Zugängen verwendet.
 - EAP TTLS
 - EAP SIM, Verwendung der GSM-Authetifizierungs-Methoden mit der SIM-Card im Terminal (einseitig).
 - EAP AKA - UMTS, Verwendung der UMTS-Authetifizierungs-Methoden mit der USIM-Card im Terminal (gegenseitige Authentifizierung).

4.2.1 Anschaltung von WLAN am GSM

In 3GPP-Dokumenten [3GPP TS 33.234, 3GPP TS 23.234] werden verschiedene Szenarios beschrieben, in denen die Authentifizierung der Teilnehmer an einem WLAN-Hotspot im Mobile-Netz erfolgt. Das Authentifizierungsverfahren von GSM, basierend auf der SIM-Card, gilt immer noch als ein sicheres Authentifizierungsverfahren. Von den GSM-Betreiber besteht auch ein gewisses Interesse, den Dienst der Authentifizierung durch GSM (per HLR und SIM-Card) in anderen Netzen, wie WLAN, verfügbar zu machen.

In vielen Szenarios bleibt das Mobile-Netz dabei völlig unverändert und der Zugriff zur Authentifizierung erfolgt über einen Gateway. Dieser Gateway verhält sich zum Mobile-Netz wie eine weitere MSC. Das HLR und die Verbindung zum HLR bleiben unverändert. Als Standard wird daher auch hier ein 2-Mbit/s-Link mit einer Anzahl von 64-kbit/s-Kanälen verwendet. Die Schnittstelle vom Gateway zum HLR basiert auf dem Nr.7-Signalisierungsprotokoll mit MAP. Wie oben beschrieben, stellen gerade die Nr.7-Links mit 64-kbit/s-Kanäle die größten Engpässe für eine sehr große Anzahl von Anfragen zur zentralen Datenbank dar.

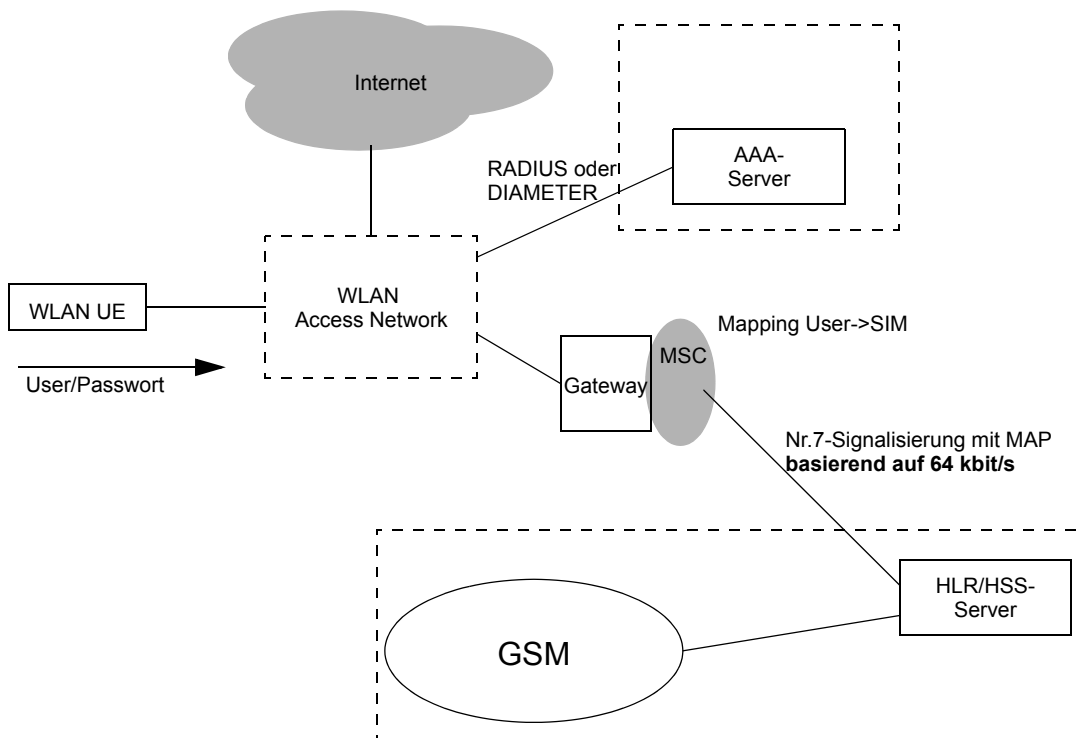


Bild 75: WLAN-Authentifizierung im HSS/HLR

Das konventionelle Netz bleibt in diesem Szenario unverändert, das modernere WLAN-Netz benötigt einen Adapter in Form des Gateway. Im Falle der zentralen Datenbank auf XML-Basis ist dies aber nicht die einzige Art der Anschaltung. Für andere Authentifizierungen werden in WLAN-Systemen AAA-Server eingesetzt, die mit EAP-Mechanismen und den Protokollen RADIUS oder Diameter angesprochen werden.

Die XML-Basis wurde gerade in Hinblick auf künftige Anforderungen verschiedenster Netze gewählt. Bei der Einführung der zentralen Datenbank mußte das konventionelle Mobile-Netz dazu (wie oben beschrieben) adaptiert werden – ein Gateway übernimmt die Anpassung der Nr.7-basierten Anfragen auf XML-basierte

Anfragen zur zentralen Datenbank. Also genau umgekehrt wie oben beschrieben, hier passt sich das alte Netz an und öffnet sich den anderen Anfragen. Eine Anpassung auf Nr.7-Signalisierungslinks ist in diesem Fall für die WLAN-Anfragen nicht erforderlich. Gleichzeitig kann auf den Einsatz von 64-kbit/s-Kanälen verzichtet werden, wodurch sich eine verbesserte, schnellere Kopplung und eine höhere Performance erzielen lässt.

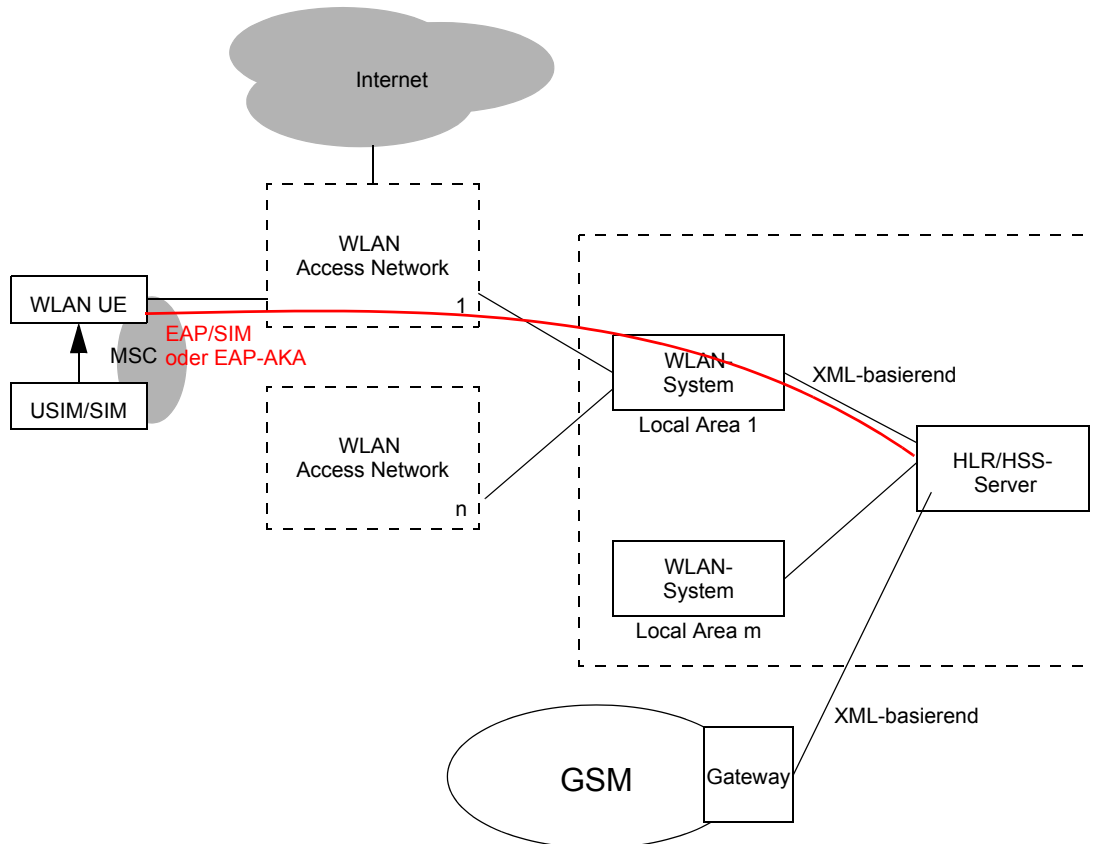


Bild 76: WLAN-Authentifizierung im HSS/HLR

In den Konfigurationen entsprechend den Architekturen nach 3GPP TS 33.234 V6.6.0 entspricht der 3GPP-AAA-Server nun direkt dem zentralen HSS/HLR auf XML-Basis – es ist kein Gateway notwendig. Die Verbindung zur zentralen Datenbank kann eine sehr enge Kopplung zwischen genau festgelegten Netzkomponenten sein. In diesem Fall werden direkte Verbindungsleitungen zwischen dem WLAN-System und der Datenbank verwendet.

Die Authentifizierung wird als Web Service bereitgestellt, dieser basiert aber genau auf dem Prinzip einer losen Kopplung. Die angeforderten Dienste werden nur bei ihrer Verwendung (zur Laufzeit) durch ein „Binding“ in die Funktionen des anfragenden Systems eingebunden.

4.2.2 EAP-Arbeitsweise

Extensible Authentication Protocol (EAP), festgelegt nach RFC 2284, ist ein generelles Transportprotokoll für Authentication, nicht selbst das Authentifizierungsprotokoll. Um eine großen Vielfalt von Authentication-Varianten und den dazu

gehörenden Protokollen zu verhindern, wurde mit EAP ein offenes Transportprotokoll definiert, das unabhängig vom jeweils verwendeten Authentifizierungsverfahren und -protokoll verwendet werden kann. Mit EAP wurde eine Authentifizierungs-Applikation definiert, die nicht nur einem bestimmten Protokoll einer bestimmten Layer zugeordnet ist. Die Authentifizierungsnachrichten im Anschlussbereich der Layer 2 (EAP over Ethernet – EAPoL oder WAP over WLAN – EAPoW) werden auf der Seite zum Server über IPsec, UDP und RADIUS übertragen.

Die Verfügbarkeit des Terminals wird regelmäßig durch Senden von ICMP-Ping-Nachrichten überprüft. Antwortet das Terminal nach einer vorgegebenen Zeit nicht, werden alle Informationen einschl. der Authentifizierung zu diesem Terminal gelöscht.

Der MAC-Filter unterdrückt Pakete mit Nutzinformationen, bis der entsprechende Port durch die Authentication-Prozedur innerhalb der Layer 2 freigegeben ist. Die Authentication-Pakete werden durch den Ethernet-Type = 888E erkannt und von einer getrennten Instanz (EAPoL) bearbeitet. Dabei findet eine Umsetzung der EAP-Pakete von der Layer 2 im Anschlussbereich (EAPoL) auf eine Schicht oberhalb der Layer 4 (Transport-Ebene) statt (EAP TLS). Die EAP-TLS-Pakete werden mit RADIUS und UDP sowie IPsec über eine geeignete Layer 2 und 1 transportiert. In diesem Beispiel könnte man für den Transport in der Übertragungsebene das Protokoll HDLC PPP(wie im GSM-Modell) annehmen, mit dem IP-Daten über SDH-Netze transportiert werden können.

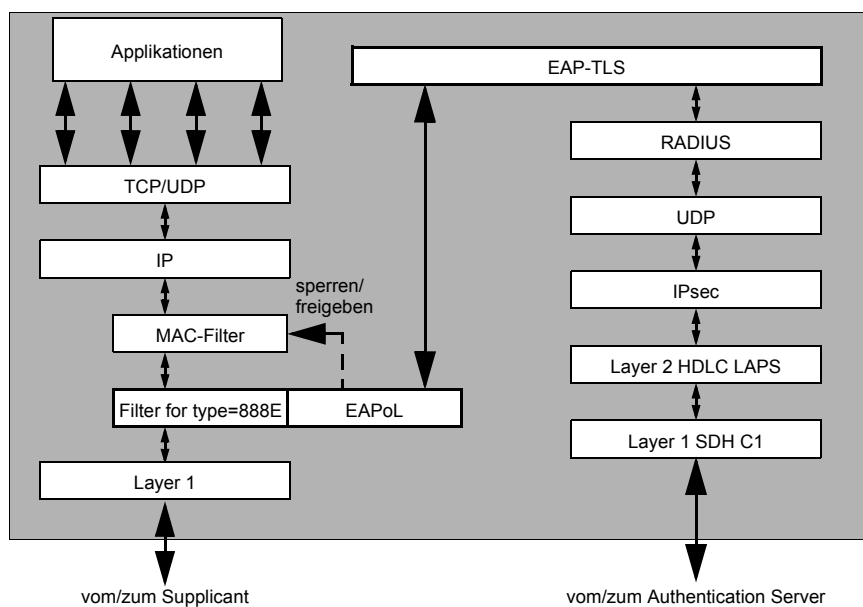


Bild 77: EAP-Wirkungsweise

In der EAP-Architektur werden die verschiedenen Rollen Supplicant (Benutzer mit Terminal, der Zugang zum System sucht), Authenticator (Netz-Instanz) und der Authentication-Server definiert. Die Ports für den Transport von Nutzdaten werden am Supplicant und Authenticator gesperrt bzw. nach einer Authentifizierung (Challenge – Zugangsberechtigung) freigegeben. In den drahtgebundenen Systemen können die freizugebenden Ports physikalische Schnittstellen (RJ45-Buchse)

sein, bei einem Zugang über WLAN-Schnittstellen (EAPoW) werden logische Ports freigegeben [RFC 3770 EAP and WLAN]. Im EAP-Standard wird zwischen den Zuständen authorized (Port enabled) und unauthorized (Port disabled) unterschieden, dabei kann auch an einem disabled Port eine bestimmte, begrenzte Art von Kommunikation möglich sein (z.B. DHCP zur Konfiguration des Benutzers). Mit DHCP wird dem Terminal eine IP-Adresse zugeordnet und Adressinformationen für den DNS und einen Gateway übermittelt.

Grundsätzlicher EAP-Ablauf

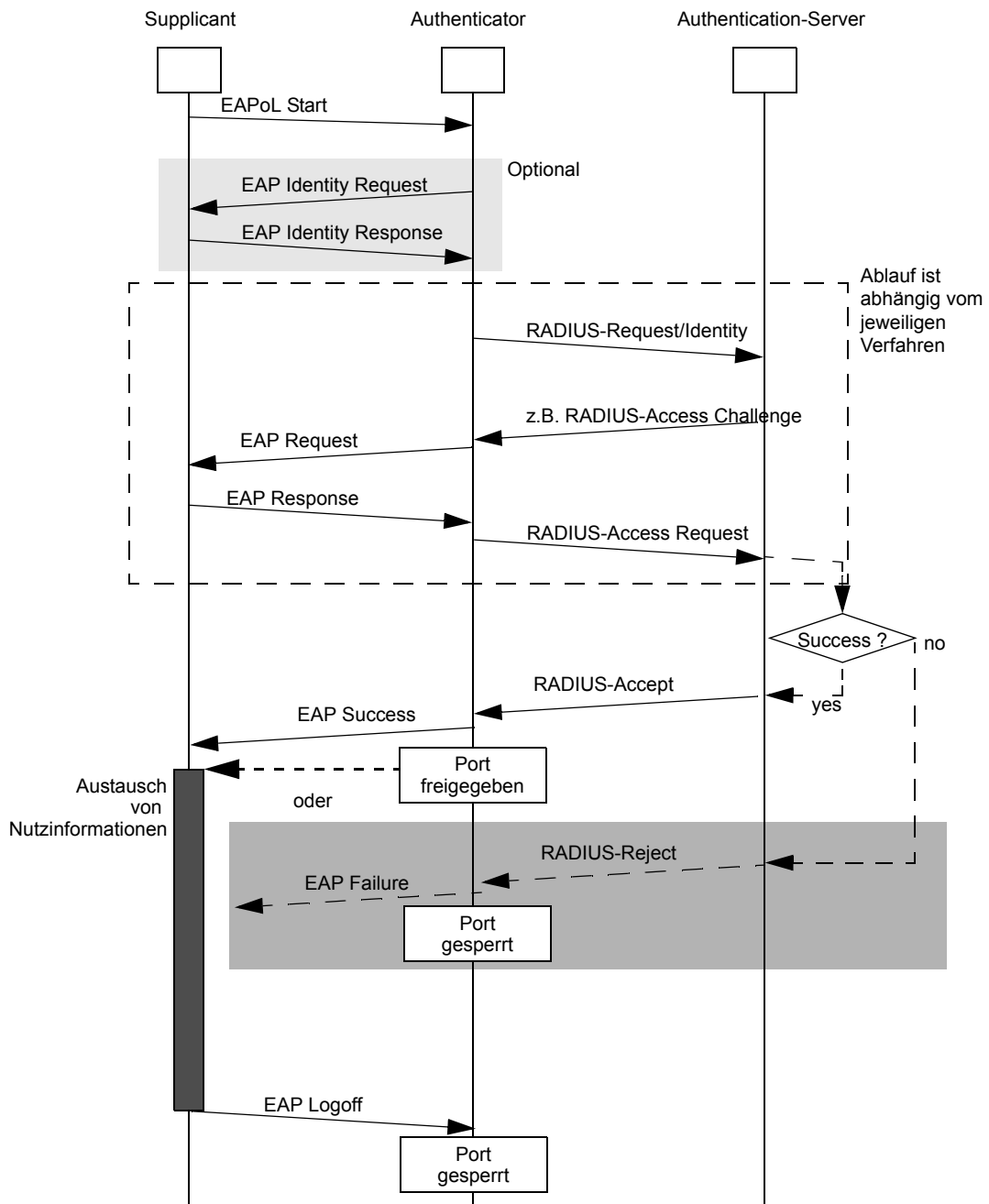


Bild 78: EAP-Funktionsablauf

Der Authentifizierungsvorgang beginnt durch Aufforderung vom Benutzer (EAPoL Start) oder durch regelmäßiges Polling aller erreichbaren Clients vom Server aus mit EAP Request Identity.

Bei EAPoL läuft die Kommunikation (EAPoL Start und EAP Request sowie die Antwort EAP Response) zwischen dem Terminal und dem Authenticator innerhalb der Layer 2. Die Antwort des Supplicant (EAP Response Identity) wird zum Authentication Server mittels IPsec, UDP und RADIUS übertragen (Layer-Wechsel). Der Authenticator reicht die nun folgenden EAP-Pakete einfach nur durch, die Authentifizierung erfolgt im Authentication Server. Beim Durchreichen müssen die Pakete allerdings von den höheren Schichten auf die Schicht 2 umgepackt werden und in Richtung Server alle unterliegenden Schichten vollständig bearbeitet werden.

Die Kommunikation, die Anzahl und Art der Nachrichten sowie der genaue Ablauf der Nachrichten zwischen dem Supplicant und dem Authentication Server hängt von der jeweiligen Authentifizierungsmethode ab (EAP SIM, EAP AKA, usw.).

Bei erfolgreicher Authentifizierung wird die Nachricht RADIUS Access Accept vom Server gesendet, war diese nicht erfolgreich, sendet der Server RADIUS Access Reject zum Supplicant. Ist der Benutzer am Access-Point Authentifiziert, wird der Port freigegeben und die Nutzinformationen können ausgetauscht werden. Nach Beendigung der Kommunikation kann der Supplicant mit der Nachricht „Logoff“ die Kommunikation beenden, der Port wird dann wieder gesperrt.

Aufbau der EAPoL-Pakete

Der MAC-Header enthält die Quell- und Zieladressen (je 6 bei LAN und 24 oder 30 Byte bei WLAN). Im Ethernet-Type-Feld wird der Ethernet-Typ unterschieden, diesen EAPoL-Paketen wurde 88-8e_{hex} zugeordnet. Im Feld Version steht die verwendete Protokollversion.

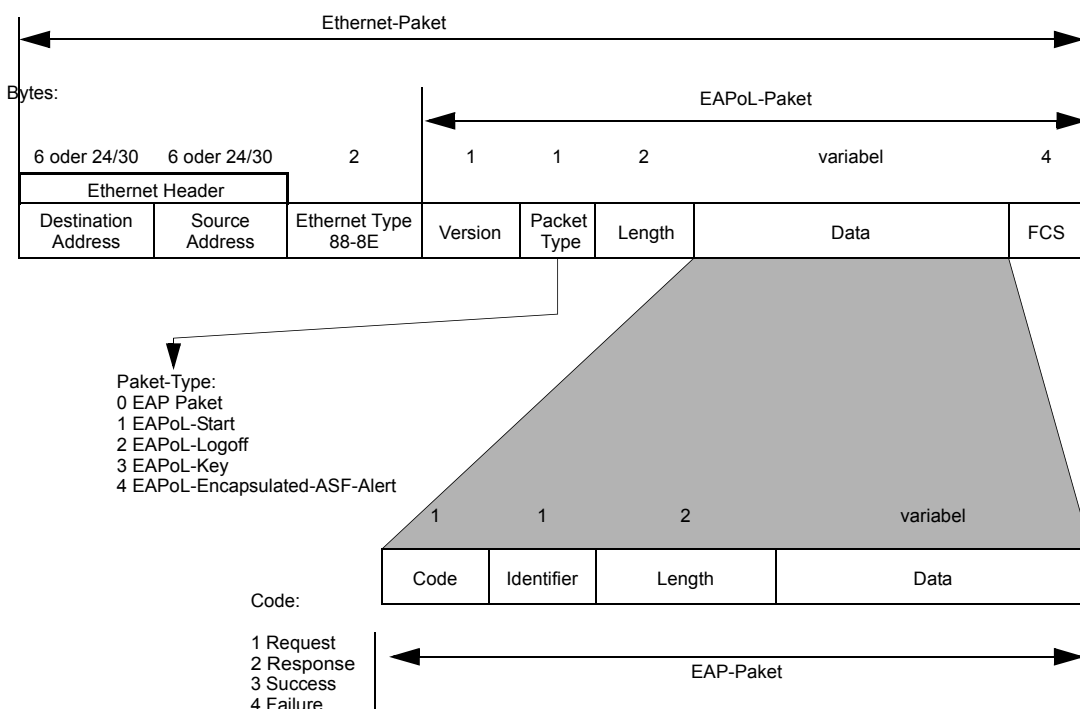


Bild 79: Aufbau der EAP-Pakete

Im Packet-Type wird eine Erweiterung zu EAP definiert (EAP-Paket, EAPoL-Start, EAPoL-Logoff, EAPoL-Key und für das Weiterleiten von Alarmmeldungen EAPoL-Encapsulated ASF-Alert). Mit Length wird die Paketlänge der folgenden Daten angegeben (0, wenn keine Daten im Rahmen vorhanden). Mit Data werden Nutzdaten einer variablen Länge übermittelt. Im Nutzfeld wird das eigentliche EAP-Paket (vergl. EAP-Grunddefinitionen) übertragen. Prüfzeichen werden im FCS-Feld übertragen.

4.2.3 EAP-SIM und EAP-AKA

Architekturen, wie sie nach 4.2.1 definiert sind, verwenden GSM mit EAP-SIM oder UMTS mit EAP-AKA (Authentication and Key Agreement, unter Verwendung der USIM) zur Authentifizierung der Benutzer [3GPP TS 33.234 und 3GPP TS 23.234]. Abläufe dazu wurden in [PrasWangSchoo] veröffentlicht.

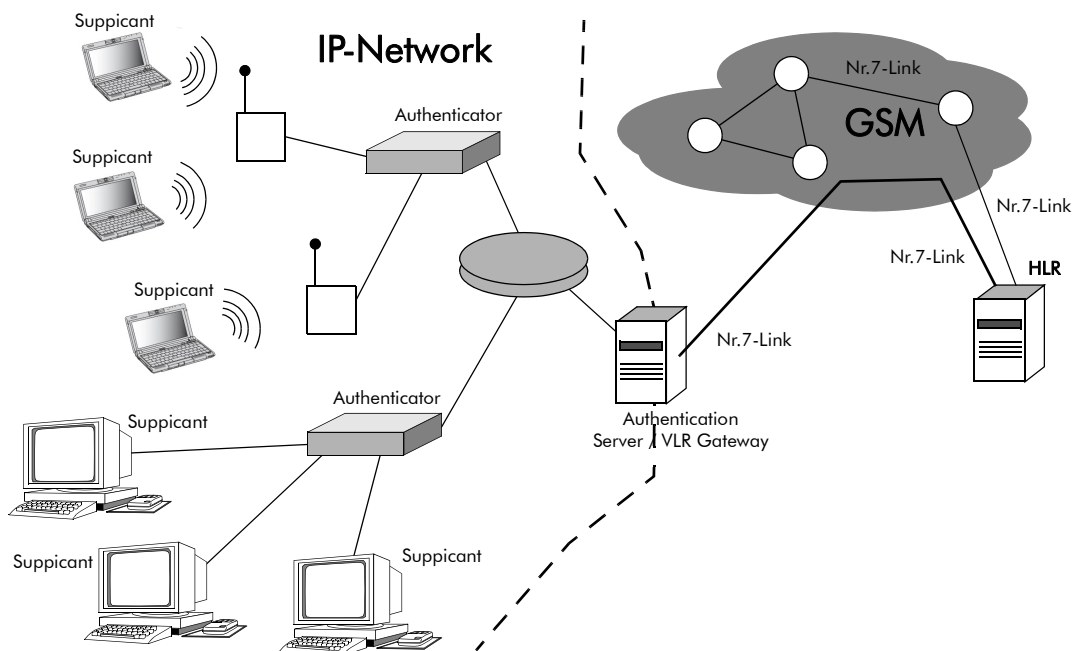


Bild 80: Gateway zwischen WLAN und GSM

Für die zentrale Datenbank sind diese Anfragen nicht von Anfragen aus GSM bzw. UMTS zu unterscheiden. Zur Authentifizierung werden genau dieselben Nachrichten und Mechanismen wie für die herkömmlichen Mobile-Netze verwendet. Für die zentrale Datenbank bedeutet dies, dass genau die gleichen Application-Server angesprochen werden. Wird zwischen dem WLAN und dem Mobilnetz ein Gateway eingesetzt, erfolgt auch die Anschaltung über Nr.7-Signalisierungs-Links mit 2,048 Mbit/s – damit werden auch die gleichen Frontend-Rechner verwendet. Der Gateway verhält sich im GSM-Netz wie ein VLR und Teile der MSC. Beim Einbuchten eines Teilnehmers führt ein VLR beim HLR eine Authentifizierung durch.

Vom WLAN-System zum Terminal wird das EAPoL verwendet. Zwischen dem WLAN-Terminal (auch WLAN User Equipment UE genannt) und dem Gateway wird das EAP-SIM eingesetzt. Die EAP-SIM Anforderungen werden auf Nr.7 und MAP umgesetzt.

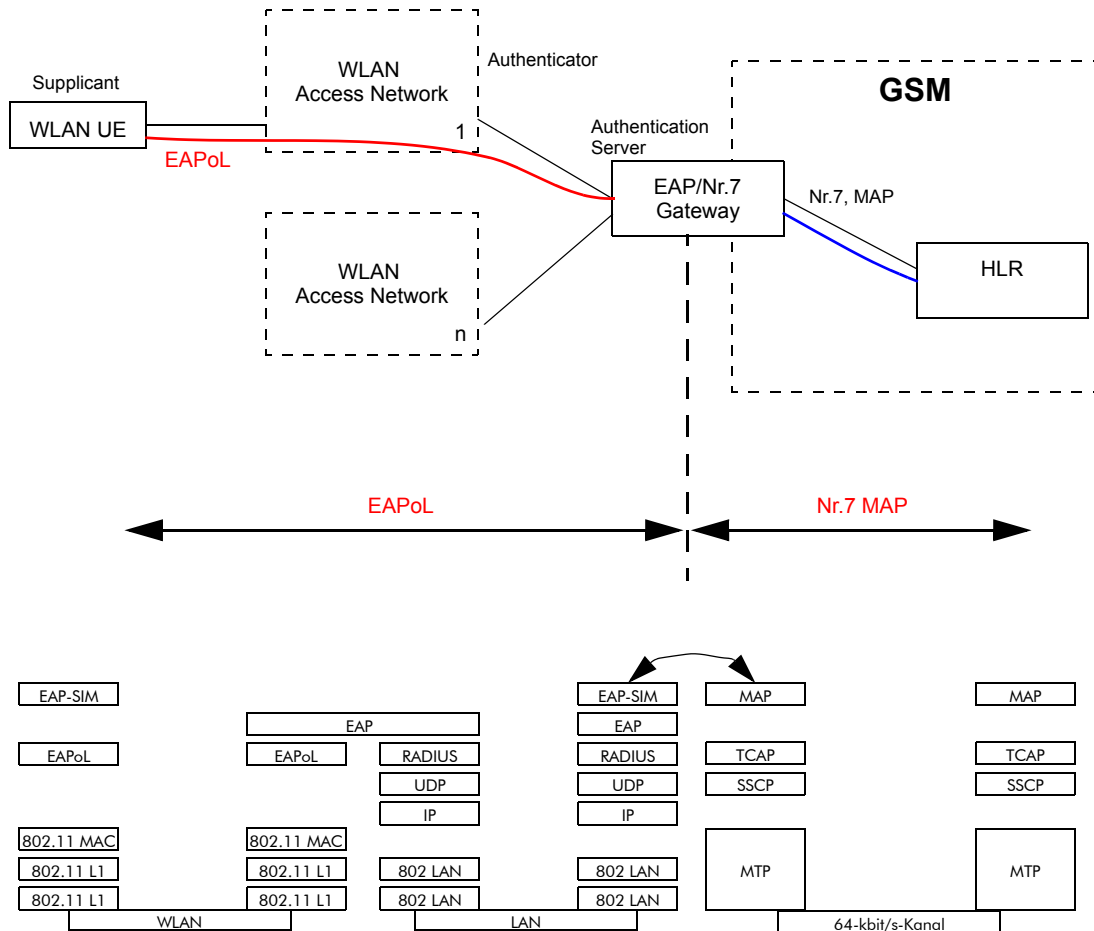


Bild 81: Der Gateway im Referenzmodell

Ohne Gateway können andere Transportsysteme und damit andere Frontend-Rechner verwendet werden, es werden aber immer noch die gleichen Application-Server (HLS bzw. HSS) angesprochen.

Für die Performance-Untersuchungen bedeutet dies, dass eine größere Anzahl von Benutzern zu den Anfragen des Mobilnetzes hinzukommt. Die Anzahl der Anfragen λ erhöht sich damit. Abschätzungen zu diesem zusätzlichen Verkehr werden unter 4.4 zusammengefasst.

4.2.4 Authentifizierung nach 802.1x mit EAPoL und TLS

Die WLAN-übliche Authentifizierungsmethode (ohne GSM oder UMTS) erfolgt mit Hilfe eines AAA-Server (Authentication, Autorization and Accounting – AAA), der über RADIUS oder auch Diameter angesprochen wird. In diesem Fall wird eigentlich kein HSS/HLR kontaktiert, sondern der zuständige AAA-Server – an dessen Stelle die zentrale Datenbank eingesetzt werden soll. Der Application-Server für AAA ist ein eigener Server, der parallel zu HLR und HSS in der zentralen Datenbank angesprochen werden kann. Das Signalisierungsverfahren Nr.7 und MAP spielen hier keine Rolle mehr.

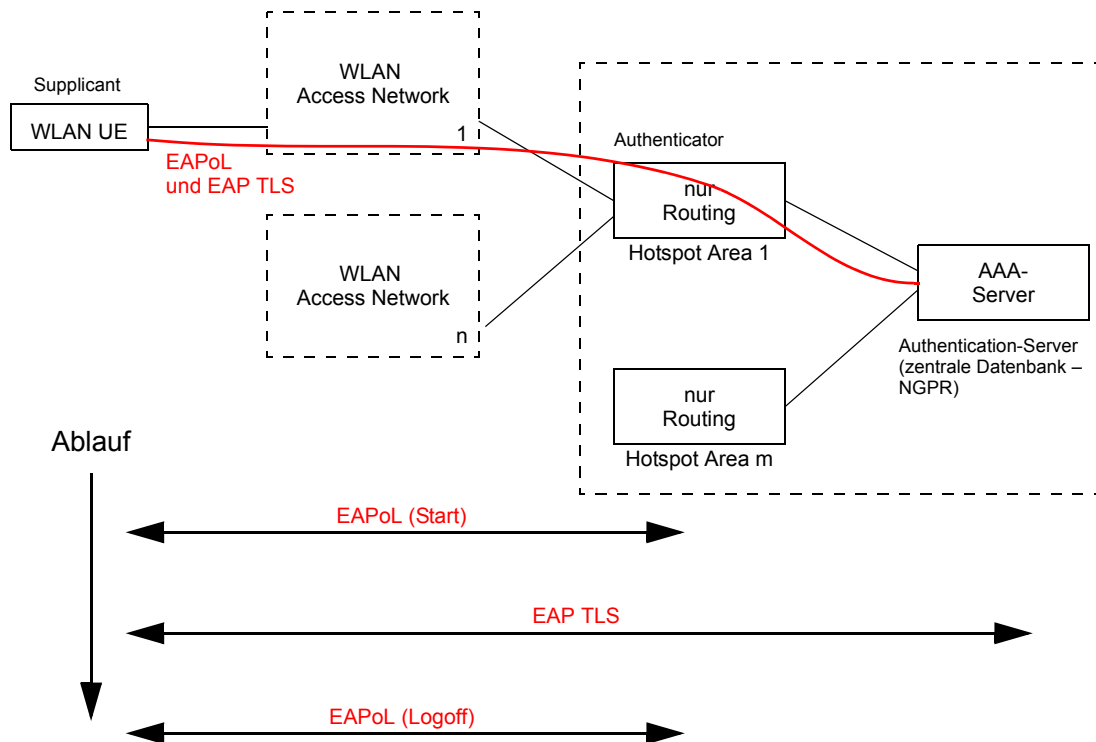


Bild 82: EAP-TLS verwendet einem AAA-Server

Transport Layer Security (TLS)

Die Authentifizierung mit der Transport Layer Security (EAP-TLS, RFC 2716, TLS: RFC 2246) basiert auf einer gegenseitigen zertifikatsbasierten Authentisierung des Servers und des Clients und wird von vielen empfohlen [BSI05] und IEEE 802.11i, es gilt hier als eins der sichersten Verfahren. Clients sind für LINUX und Microsoft Windows erhältlich [LANCOM]. Die Authentifizierung erfolgt hier zwischen dem Terminal (Supplicant) und dem Authentication-Server direkt und gegenseitig. Zwischen beiden werden gegenseitig X.509 Zertifikate [RFC 3770] ausgetauscht.

Nach der Authentifizierungsanfrage antwortet der Server mit der Aufforderung zum Start des TLS-Verfahrens (TLS_Start). Das Terminal antwortet mit der ClientHello-Nachricht und startet das TLS. Die Antwort des Authentication-Servers (ServerHello) enthält sein Zertifikat, das vom Terminal überprüft wird. Ist diese Prüfung erfolgreich, antwortet der Supplicant mit seinem Zertifikat in der Certificate-Nachricht. Das Zertifikat wird vom Server geprüft und danach vom Supplicant und Server unabhängig ein sog. „Master-Secret“ und hieraus dann wiederum weitere Schlüssel abgeleitet. Mit der ChangeCipherSpec Finished signalisiert der Server das Ende des TLS, danach erfolgt im Abschluss der eigentlichen Zugang am WLAN durch den EAP_Access_Request und der EAPoL-Bestätigung EAPoL/EAP_Success.

Ablauf

Für die direkte Authentifizierung erfolgt die Kommunikation direkt zwischen Terminal und Authentication-Server, der Authenticator leitet die Nachrichten nur weiter. Der Ablauf basiert auf [3GPP TS 33.234] und dem RADIUS-Protokoll zu einem AAA-Server.

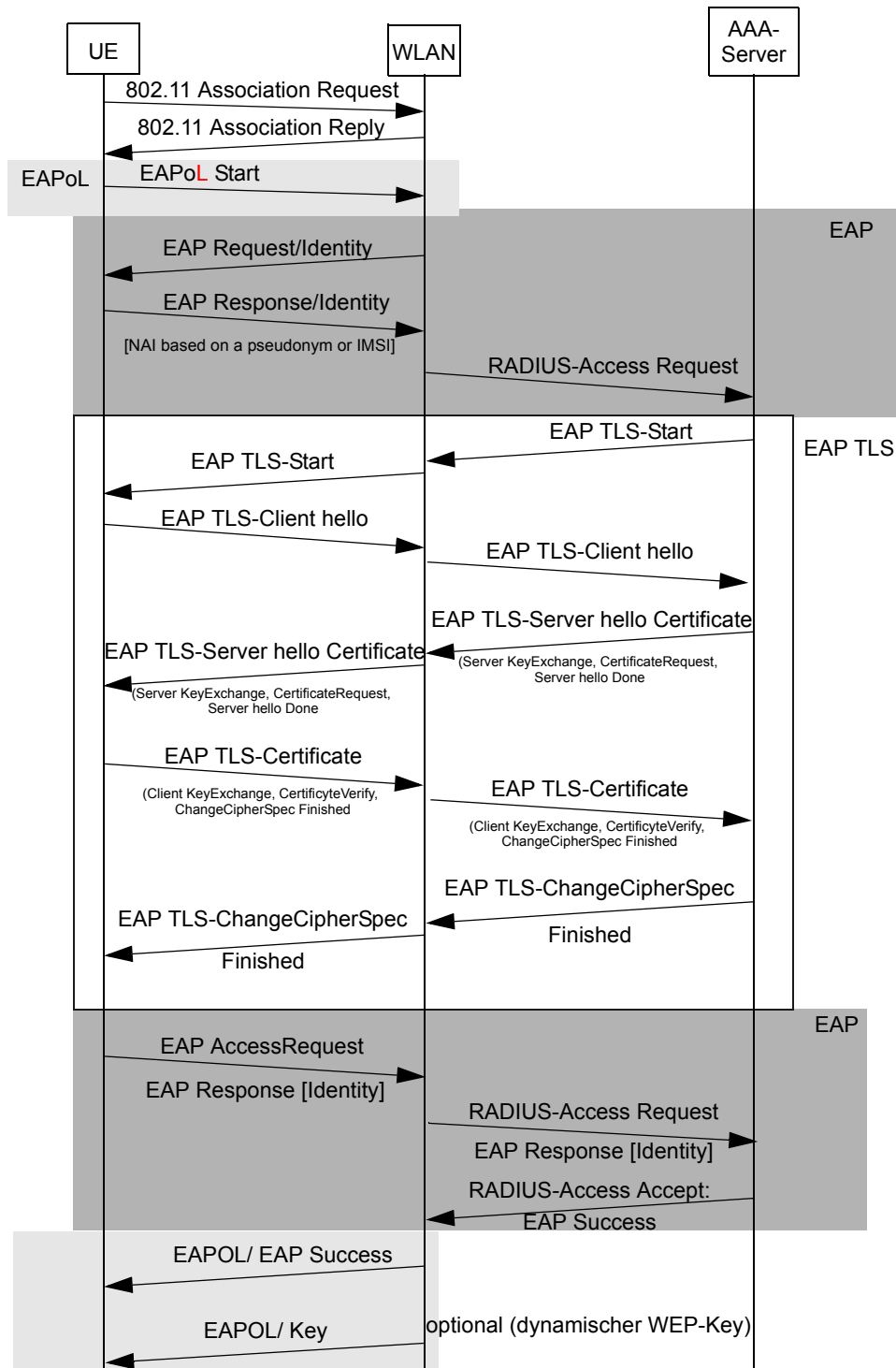


Bild 83: Nachrichtenablauf für EAP-TLS

Nachricht	Richtung	Layer 2 PPP	IPsec	UDP+RADIUS +EAP-TLS	Summe
RADIUS Access Req.	->	10	33+2 Pad.	161	206
EAP TLS-Start	<-	10	33+2 Pad.	1180	1245
EAP TLS Client hello	->	10	33+2 Pad.	197	242
EAP TLS Server hello	<-	10	33+2 Pad.	922	967
EAP TLS Certificate	->	10	33+2 Pad.	1199	1244
EAP TLS Change Chi	<-	10	33+2 Pad.	191	236
RADIUS Acc Req (ID)	->	10	33+2 Pad.	197	242
RADIUS Accept	<-	10	33+2 Pad.	104	149

Tabelle 3: Größe der Nachrichten zwischen Authenticator und Authentication

Die Gesamtlänge ist die Länge der Nachricht plus 102 Byte (Padding: 2 Byte im Durchschnitt). Insgesamt sind dies 8 Nachrichten mit zusammen 4531 Oktett. Im Durchschnitt sind dies $4531/8=566,38$ Oktett.

4.3 WiMAX

Die EAP-Mechanismen sind auch in IEEE 802.16 einsetzbar. Grundsätzlich ist EAP unabhängig von höher liegenden Convergence-Layer. EAP läuft bei WiMAX dann in der 802.16 Security Sublayer (auch als Privacy Sublayer bezeichnet) die EAP-Pakete werden eingekapselt im Payload der PKM-MAC-Nachrichten (PKM – Private-Key-Management Protocol, Teil des 802.16-MAC-Layer-Protokolls). Für die Betrachtungen der Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit in den Mobilnetzen hat WiMAX die gleichen Auswirkungen wie WLAN. Die Verkehrsvolumen durch WiMAX-Authentifizierungen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

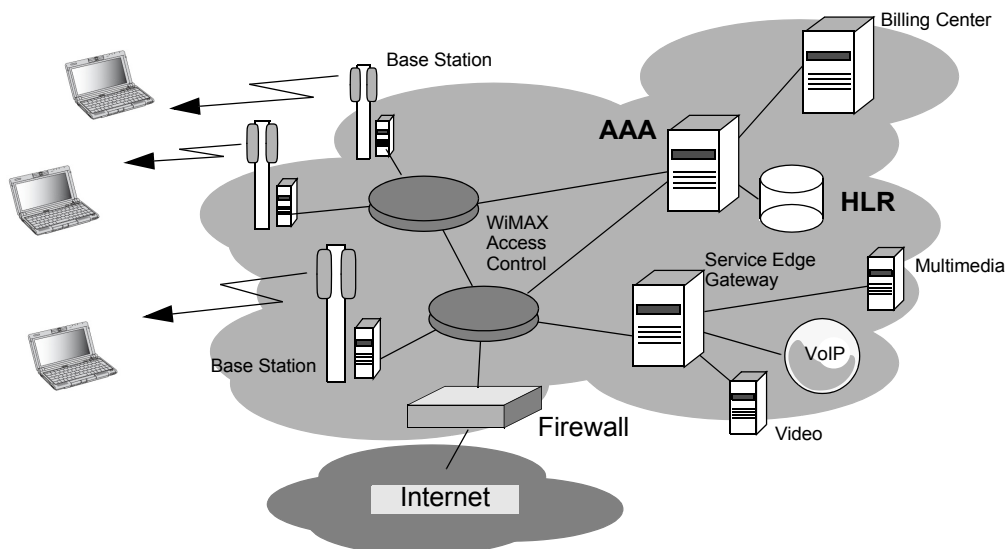


Bild 84: WiMAX-Architektur

4.4 Auswirkungen auf die Performance

Die große Zahl der WLAN-Hotspots ermöglichen eine lückenhafte Abdeckung wichtiger Plätze, Geschäfts- und Urlaubsregionen, Hotels oder Cafés. Die Zahl der WLAN-Hotspot steigt dabei immer noch an. Wie der Name „HotSpot“ schon ausdrückt, sind die einzelnen WLAN-Installationen meist isoliert von anderen Installationen. Die Benutzer sind immer nur eine sehr begrenzte Zeit im System registriert - anders als in den flächendeckenden Mobilnetzen, in die sich ein Kunde einbucht und dann lange Zeit im System erreichbar bleibt. Die Registrierungsvorgänge sind daher in WLAN-Hotspot-Installationen häufiger erforderlich. An vielen öffentlichen Plätzen (im Bahnhof, im Café, im Flughafen, im Hotel) ist die Verweildauer des einzelnen Benutzers relativ kurz, das Potential der Nutzer relativ groß mit einer stark wachsenden Trend. Dieses Teilnehmerverhalten und deren Nutzungsprofile wurden bisher noch nicht genauer untersucht. Für eine erste Schätzung der Anforderungen wurde das folgende Verkehrsprofil angenommen:

- Für hoch frequentierte Hotspots (DB Lounges) werden 25 Registrierungen pro Stunde angenommen. Fast alle Hotspots werden zurzeit in hoch frequentierten Bereichen installiert. Bei einer Annahme von 20 Registrierungsanfragen pro Hotspot sind dies $20 * 8500 = 160\,000$ Anfragen in der Hauptaktivitätszeit.
- Synchronisierte Einbuchungen können an Bahnhöfen nach Einfahrt des Zuges eintreffen. Während der Fahrt werden die WLAN-Zugänge im Zug an UMTS weitergeleitet, diese Anfragen sind in den Anforderungen des Mobilnetzes enthalten. Im Bahnhof könnten eigene Hotspots als Teil eines WLAN-Flatrate-Angebots eine preiswerte Alternative bieten. Solche Angebote würden synchronisierte Einbuchungen erzeugen. Bei 12 Wagen eines ICE und 8 Interessierten pro Wagen des Zuges sind dies 96 Anfragen je Zug. Pro Stunde kommen meistens 2 ICE (je einer pro Richtung), in einigen Bahnhöfen sind es aber auch mehr. Werden 4 Züge in 90 Bahnhöfen im Durchschnitt angenommen, sind dies $34\,560$ Anfragen je Stunde in der Hauptaktivitätszeit.

Zusammen sind es $194\,560$ Anfragen in der Hauptaktivitätszeit pro Stunde oder $54,04$ Anfragen pro Sekunde.

Der gemeinsame Application-Server wird aber nur bei der Verwendung von EAP-SIM oder EAP-AKA durch die WLAN-Teilnehmer angesprochen. Im Abschnitt 3.1 wurden für GSM $275,49$ Anfragen pro Sekunde pro MSC ermittelt, treffen alle WLAN-Anforderungen auf ein HLR im klassischen GSM-Netz (Modell A), kommen hier $605,02$ Anfragen zusammen ($2 * 275,49$ GSM + $54,04$ WLAN). Die WLAN-Anfragen führen zu einem Anstieg von $10,2\%$. In den Modellen B und C treffen die WLAN-Anfragen erst in der zentralen Datenbank auf die GSM-Anfragen, hier sind es in Summe $80 * 275,49 = 22039,2$ Anfragen von GSM. Die zusätzlichen WLAN-Anfragen entsprechen hier einer Erhöhung um nur $0,25\%$.

Nutzen die Teilnehmer das EAP-TLS-Verfahren, wird ein anderer paralleler AAA-Server angesprochen. Die Leistungsfähigkeit dieses Servers kann den Anforderungen angepasst werden. Die synchronisierten Anfragen aus den Bahnhöfen müssen dabei gesondert betrachtet werden, da diese nicht Poisson-verteilt eintreffen. Der Fahrplan der Bahn sorgt dabei dafür, dass an Umsteigebahnhöfen die ICE auf beiden gegenüberliegenden Gleisen zum gleichen Zeitpunkt in den Bahnhof einfahren. Entsprechend der Annahmen oben sind dies bis zu 192 gleichzeitiger Anfragen.

5 Zusammenfassung

5.1 Migration des GSM-Netzes

Telekommunikationsnetze sind in vielen Jahren zu komplexen Systemen mit einer Vielzahl sehr spezialisierter Netzelemente gewachsen, die durch die Einführung weitere Funktionen immer komplexer werden. Viele Funktionen sind mehrfach in verschiedenen sehr spezialisierten Systemen realisiert. Das Ziel der Restrukturierung dieser Netze ist es Funktionen nur einmal im Netz mit offenen Schnittstellen zu realisieren, damit diese von anderen Systemen genutzt werden können.

Ein Ansatz in diese Richtung ist die Einführung einer Datenbank, die als zentrales Element sowohl alle bisherigen HLR des GSM-Netzes ablösen, als auch durch eine offene Systemarchitektur anderen Systemen Funktionen zur Verfügung stellen. Gewählt wurde hierfür die Technik der Web Services basierend auf dem SOAP-Protokoll. Mit dieser Arbeit sollte untersucht werden, welchen Einfluss diese Entwicklung auf die bestehenden Netze und ihre Performanz hat. Als zu vergleichende Kenngröße wurde die Zeit für eine HLR-Abfrage bei einer kommenden Verbindung (Mobile Terminating Call – MTC) gewählt.

Die Untersuchungen zeigten, dass die gewachsene GSM-Architektur für die ursprünglichen Anwendungen ausgelegt war, zunehmend aber an ihre Grenzen kommt. Ein HLR verwaltet heute bereits das Vierfache der ursprünglichen Annahmen. Wie in der Simulation gezeigt werden konnte, sind es insbesondere die Signalisierungs-Links auf der Basis von 64-kbit/s-Kanälen, die hier einen Engpass darstellen. Die Verwendung derselben Verbindungsleitungen in einem anderen Betriebsmode der unstrukturierten Betriebsweise, führt zu deutlich kleineren Laufzeiten. Dieser Effekt ist umso stärker, je länger die Nachrichten sind. Große Signalisierungsnachrichten warten auch bei geringer Auslastung der Signalisierungs-Links lange bis alle Oktett der Nachricht transportiert sind. Statt die Nachrichten als zusammenhängende Einheit zu transportieren, müssen sie aufgrund der 64-kbit/s-Kanal-Aufteilung jedes Oktett in einem Abstand von $125 \mu\text{s}$ transportieren, auch wenn im Extremfall keine weiteren Nachrichten zu transportieren sind.

Mit der Festlegung der unstrukturierten Übertragung für die Signalisierungsnachrichten, entsprechend leistungsfähigen Datenbanken und der Festlegung einer sehr leistungsfähigen Umsetzung der ASN.1-Nachrichten auf die XML-Basis des SOAP, könnte ein System mit einer zentralen Datenbank auf Basis des SOAP-Protokolls realisiert werden. Die Vergleichsgröße für den MTC konnte sich aufgrund des Technologischen Fortschritts der Datenbank sogar verbessern. Ein Cache am Ort des bisherigen HLR könnte die hohen Forderungen an die Leistungsfähigkeit vermindern, hat aber kaum einen Einfluß auf die Reaktionszeit des Gesamtsystems.

Die Öffnung für andere Systeme kann sowohl unter Verwendung der GSM/UMTS-typischen Prozeduren als auch mit eigenen Verfahren gewährleistet werden. Bei der Verwendung eigener Verfahren, die in eigenen Application-Server erbracht werden, erfolgt keine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der herkömmlichen Systeme. Nur bei der Verwendung der GSM/UMTS-Verfahren müssen die zusätzlichen Anforderungen bei der Systemauslegung berücksichtigt werden. Entscheidend für die Öffnung ist die Festlegung eines gemeinsamen Profils auf das verschiedene Systeme über unterschiedliche Schnittstellen zugreifen können.

5.2 Interpretation der Ergebnisse

Basierend auf den Messungen von Alcatel-Lucent (Abschnitt 3.3) und den Ergebnissen (Abschnitt 3.5) der Simulation wird in diesem Abschnitt geprüft, ob sich die in den Modellen und den Parametervorgaben (Abschnitt 3.2) geforderte Datenbank realisieren lässt.

Die Forderungen an eine einzelne Datenbank, die 40 vorhandene Datenbanken in GSM ersetzen soll, sind sehr hoch. Das in den Simulationen verwendete, vereinfachte Modell ist in der Abbildung 85 dargestellt.

Die eingesetzte default Service-Zeit von $20 \mu\text{s}$ entspricht einem $\mu = 1/0,02\text{ms}$ oder eine Service-Rate von 50 000 Anfragen pro Sekunde. Für die Gesamtreaktionszeit kommt die Zeit $T_{5.1} = 0,078125 \text{ ms}$ für die Parallelisierung, eine feste Verzögerungszeit für den eigentlichen Zugriff auf die Daten $T_D = 10 \text{ ms}$ und die Zeit für die Serialisierung $T_{5.2} = 0,078125 \text{ ms}$ der Antwort hinzu. Die Angaben der Zeiten $T_{5.1}$ und $T_{5.2}$ entsprechen den Komponenten im Modell B, im Modell C sind dies die Zeiten $T_{6.1}$ bzw. $T_{6.2}$.

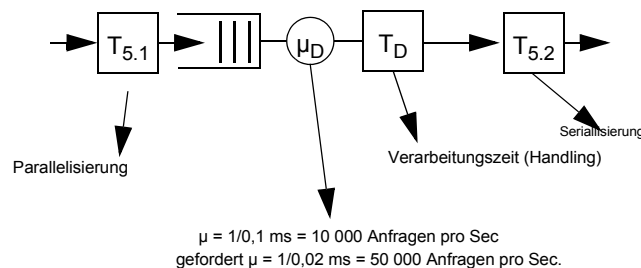


Bild 85: Die zentrale Datenbank in der Simulation

In realen Systemen wird die Datenbank durch ein Storage Area Network (SAN) und parallele Prozessoren, die auf das SAN zugreifen realisiert. Zur Abkopplung der Schnittstellen erfolgt die Parallelisierung bzw. Serialisierung in eigenen Rechnern, die den Prozessoren vorgelagert sind (Frontends).

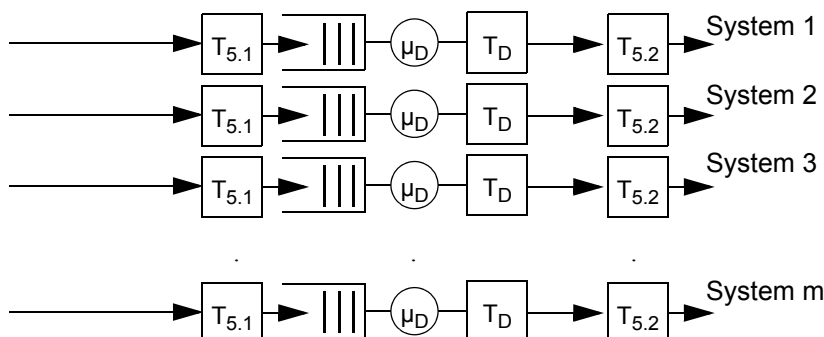
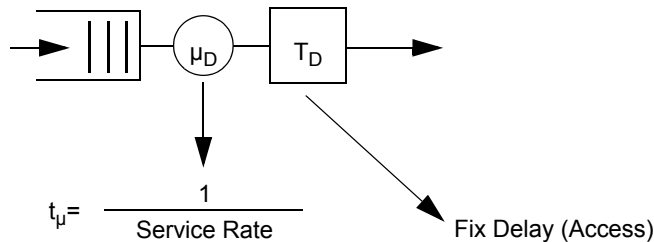


Bild 86: Realisierung durch Parallelisierung der Prozessoren

In dem Alcatel-Lucent-Labor wurden verschiedene System getestet und hinsichtlich ihrer Performanz untersucht. Nach [Lop05-1] konnte 2005 ein System auf der Basis von MySQL-Cluster und SUN-Rechner (Sparc IV, E2900 und V20Z von SUN) realisiert werden, das eine Zugriffszeit von 1,9 ms bei 10100 Zugriffen pro Sekunde hatte.

Schaltet man 6 solcher Systeme parallel könnten 6*10100 Zugriffe pro Sekunde bearbeitet werden, dies entspricht nach [Men et al 2001] und [MenAlm 2002]:



Bei 6 Systemen mit je 1,9ms Bearbeitungszeit:

$$\frac{D}{m} = \frac{1,9 \text{ ms}}{6} = 316,67 \mu\text{s}$$

$$\frac{D * (m-1)}{m} = \frac{1,9 \text{ ms} * 5}{6} = 1,5833 \text{ ms}$$

$$\text{Service Rate} = 6 * 10100 = 60600 = 1/16,5\mu\text{s}$$

für das Gesamtsystem: 16,5 μs + Fix Delay (Access) 3* 1,9 ms + Handling
in der Simulation (Modell C, zentr. DB) angenommen $1/\mu=20\mu\text{s}$ Fix Delay = 10ms

Bild 87: Umrechnung der realen Werte

In der Simulation wurde als default für $1/\mu = 20 \mu\text{s}$ und eine feste Verzögerungszeit von 10 ms angenommen - **dies erscheint nach den Messwerten aus [Lop05-1] als realisierbar.**

Teilweise wurden auch kleinere Werte für die Service-Rate der zentralen Datenbank angenommen, diese würden dann eine weitere Parallelisierung erfordern, erscheinen aber nach Rücksprache mit den Experten von Alcatel-Lucent als machbar. Bei der Parallelschaltung von 10 Systemen ergibt sich $10 * 10100 = 101\,000$ Anfragen pro Sekunde oder $1/\mu = 0,99 \mu\text{s}$. Kleinere Werte als $1/\mu = 1 \mu\text{s}$ wurden in der Simulation nicht angenommen.

Der Gateway wurde mit $1/\mu = 0,1 \text{ ms}$ eingesetzt, dies entspricht 10 000 Anfragen pro Sekunde und wäre mit einem System realisierbar. Auch bei dem Gateway wurde eine feste Verzögerungszeit von 10 ms für den realen Zugriff angenommen.

Die 192 gleichzeitig eintreffenden Anfragen von WLAN-Systemen wären bei dieser Leistungsfähigkeit in den Modellen B und C auch kein Problem. Im klassischen GSM könnten diese die Leistungsfähigkeit des einzelnen HLR überschreiten oder zu größeren Reaktionszeiten für GSM-Anfragen führen.

5.3 Potentiale

Kurzfristig für das GSM-Netz:

- Die Zeit für den HLR-Zugriff kann auf 1/3 der ursprünglichen Zeit verkürzt werden.
- Das Routing des GSM-Netzes wird einfacher. Der zuständige HLR-Bereich muss nicht mehr anhand der ersten Ziffern der Rufnummer unterschieden werden. Für alle kommenden Rufe gibt es einen zentralen Eintrittspunkt ins Mobilnetz.
- Jeder Teilnehmer ist immer im eigenen HLR-Bereich (es gibt ja nur einen). Es wäre noch zu untersuchen, ob dadurch auch die lokalen VLR überflüssig werden. Das VLR enthält allerdings weitere Daten für viele dynamische Prozesse und zur genauen Aufenthaltsverwaltung des Teilnehmers. Die Inhalte von HLR und VLR sind nicht identisch aber teilweise deckungsgleich. Allerdings verhält sich das VLR praktisch wie ein Cache -> dies könnte dem Modell C entsprechen.
- Leichter Umstieg von GSM auf UMTS, einfache Konfiguration für Teilnehmer, die beides nutzen.
- Optimale Behandlung der Teilnehmerdaten (Daten des einzelnen Teilnehmers sind nicht über viele Datenbanken verteilt),
- Einfaches Wachstum der Datenbanken, da das HLR-Splitting entfällt.
- Aufbau mit Standard-Produkten (Off-the-shelf Equipment) statt hochpreisiger, spezialisierte Systeme. Die Standard-Produkte passen sich schneller den Markttrends und dem verfügbaren Leistungsniveau an.

Mittelfristig durch die Öffnung für neue Systeme:

Die Öffnung ermöglicht den Zugang auch anderer Systeme, die Leistung der Authentifizierung, Autorisierung und des Accounting kann anderen Netzen angeboten werden:

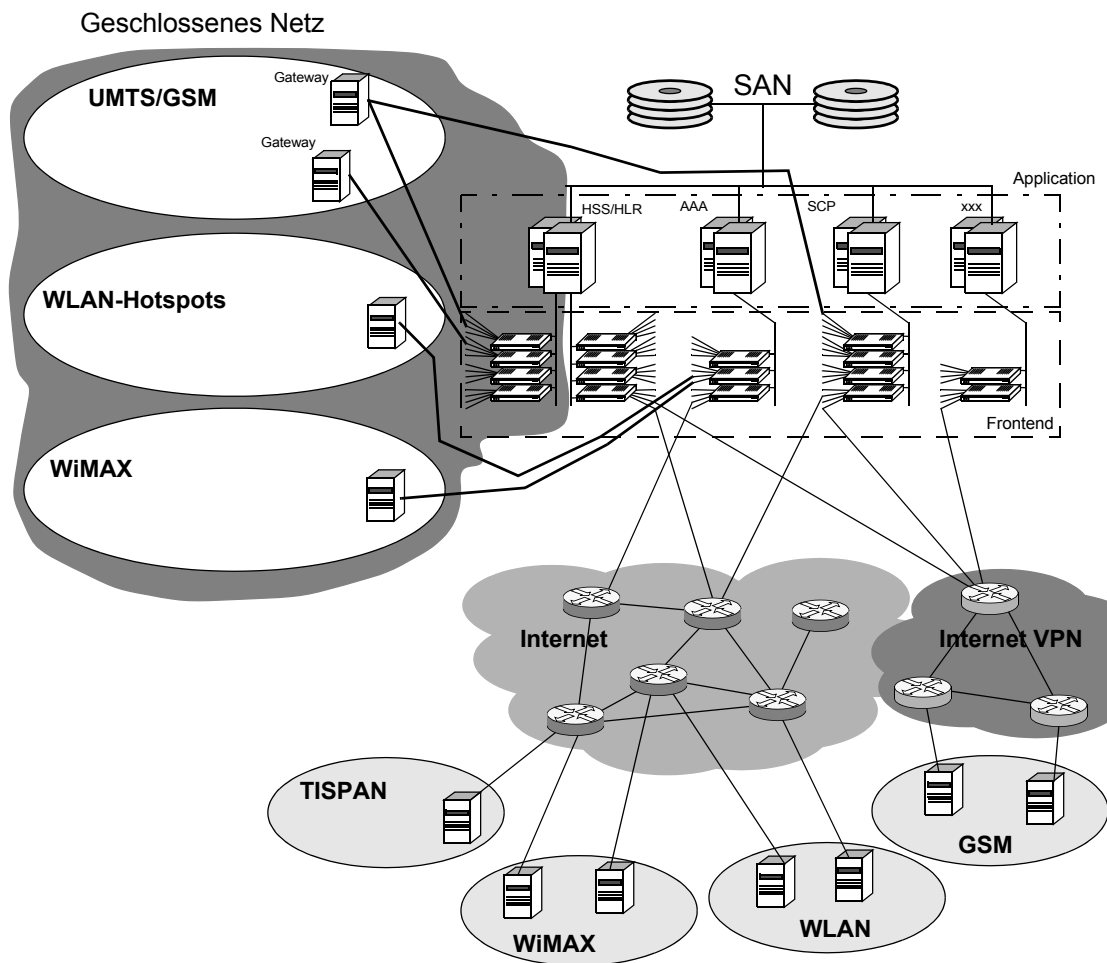
- Integriert AAA- und andere Server, wie auch IN-Dienste, Tarifierung usw.
- Gemeinsame Verwaltung von Nutzern in verschiedenen Netzen.
- WLAN und WiMAX sind integrierbar.
- Performanz für neue Dienste wie AAA geht nicht auf Kosten der herkömmlichen Systeme.
- Die Leistung kann dort erweitert werden, wo sie gebracht wird.

Langfristig durch die Restrukturierung:

- frühzeitiger Einstieg in IMS (Dienste in unterschiedlichen Infrastrukturen,),
- Einfache Migration zu IMS und TiSPAN.
- Einfachere Netzstrukturierung.

Öffnung für andere Netze

In den Untersuchungen dieser Arbeit erfolgte der Zugang zu der zentralen Datenbank über feste Verbindungen. Die erweiterten Möglichkeiten, die sich durch Web Services ergeben, konnten hierbei nicht genutzt werden. Neben diesen „geschlossenen Zugängen“ können andere Netze die Dienste über Internetverbindungen nutzen. Wie unter 2.6 beschrieben, ermöglichen Web Services das Suchen, Finden und Nutzen von solchen Diensten. Damit können beispielsweise auch andere, fremde Anbieter ihre GSM-Netze über Gateway an die Datenbank anschalten und den Dienst der Authentifizierung nutzen. In diesem Fall kommt nur in der Schicht 3 des Zugangs das Internet Protokoll hinzu, alles andere bleibt wie beschrieben. Die Zugänge müssen anderen Frontend-Prozessoren zugeführt werden, getrennt von den Zugängen des geschlossenen Netzes.



Web-Service – Zugänge über das Internet

Bild 88: Öffnung der Zugänge zur Datenbank

Die Datenbank kann also sowohl offene als auch geschlossene Zugänge bedienen. Neben GSM können auch andere Zugänge angesprochen werden, Beispiele hierfür könnten WLAN-Netze, WiMAX aber auch UMTS, IMS oder TISPAN sein. Die Funktion der Authentifizierung würde damit vom ursprünglichen Netz (GSM) abgelöst und durch die Unterstützung anderer Verfahren und Protokolle generalisiert und über Web Services auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Ein erster Ansatz der Netzrestrukturierung.

5.4 Kritische Bewertung

Kritische Bewertung der Verkehrsannahmen: Die Festlegungen und Annahmen erfolgten unter Einbeziehung der zur Verfügung stehenden Planungsunterlagen in Abstimmung mit den Fachleuten des Herstellers. Die Werte entsprechen nicht genau den Verhältnissen des Netzes, sie versuchen die verfügbaren, älteren Verkehrsannahmen, aktuelle Trends und neue Anforderungen widerzuspiegeln. Exakte Verkehrswerte sind sensible, interne Daten des Netzbetreibers und stehen auch vielen Fachleuten der Hersteller nicht zur Verfügung. Im Verlauf dieser Arbeit wurden die Anforderungen mehrfach, teilweise erheblich, verändert.

Die zusammen mit den Fachleuten der Alcatel-Lucent festgelegten Basisdaten müssten aus heutiger Sicht reduziert werden. Aktuelle (nicht zitierbare) Werte zeigen einen deutlich geringeren Verkehr für die Sprachkommunikation und geringere Werte für den SMS-Verkehr.

Die Verkehrswerte für die Sprache ändern sich aufgrund der größeren Teilnehmerzahl, als zu den Zeiten, in denen die ursprünglichen Werte festgelegt wurden. Mitte der 90' er Jahre war das Mobiltelefon vielfach noch der geschäftlichen Kommunikation vorbehalten. Diese ist durch deutlich größere Verkehrswerte als die Privatkommunikation gekennzeichnet [Sieg02-1]. Im Festnetz werden für die geschäftliche Kommunikation Verkehrswerte von ca. 0,1 bis 0,2 Erl. angenommen, für Privatanträge werden nur ca. 0,015 Erl. angesetzt. Die mittlere Belegungsdauer nimmt bei den Privatgesprächen gleichzeitig zu. Weiterhin können Tarife und deren Veränderungen, wie beispielsweise die Flatrate-Angebote für den Privatkunden, das Verkehrsverhalten beeinflussen. Durch Einführung der Flatrate für die Sprachkommunikation wird auf der anderen Seite der Verkehr, der durch SMS verursacht wird, geringer. Günstige Tarife für die Datenkommunikation oder Flatrate-Angebote hierfür begünstigen die direkte Nutzung der e-Mail anstelle der SMS-Dienste.

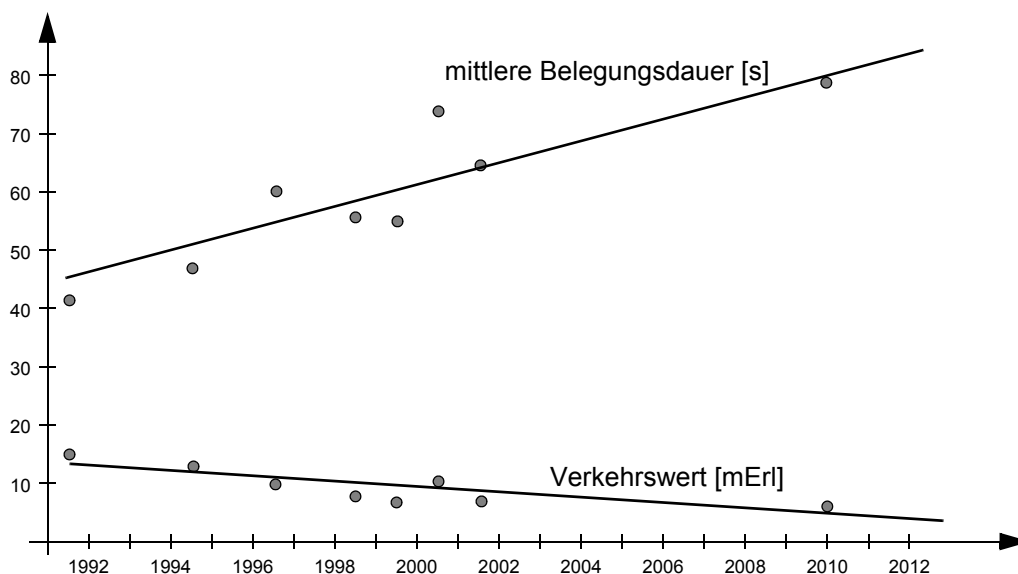


Bild 89: Entwicklung und Trends der Verkehrswerte und Belegungszeit

In der Abbildung 89 sind verschiedene Angaben aus Sicht der Hersteller und der Netzbetreiber zusammengefasst [Alcatel98-1, Alcatel98-2, Alcatel03, Alcatel04, Siemens92, Siemens02-1, Siemens02-2, Siemens03, Ban04, Alcatel99-03]. Der Trend geht in Richtung eines geringeren Verkehrswertes für den einzelnen Teilnehmer mit einer gleichzeitig zunehmenden Belegungsdauer.

Rückblickend müssen die für diese Untersuchung angenommenen Werte mit 0,01 Erl. pro Teilnehmer und 60 s für die mittlere Belegungsdauer als zu hoch eingestuft werden. Aus der heutigen Sicht würde man die Simulation mit 0,0065 Erl. pro Teilnehmer und einer mittleren Belegungsdauer von 75 s verwenden. Die Anzahl der Anfragen pro Sekunde wird damit geringer, an den grundsätzlichen Aussagen ändert sich nichts. Für das Gesamtsystem ergibt sich damit etwas mehr Reserve für die Beantwortung von Anfragen anderer Systeme.

5.5 Offene Punkte und Verweise auf weitere Arbeiten

Diese Arbeit konzentrierte sich nur auf einen Ausschnitt des Gesamtkomplexes. Neben diesen Betrachtungen zur Migration des GSM-Netzes in Richtung einer zentralen Datenbank und einer Öffnung dieser für fremde Netzzugänge in Richtung einer *Service oriented Architecture*. Aus dieser ersten Betrachtung ergeben sich weitere, noch offene Punkte:

- Die Anbindung anderer Systeme wie WLAN und WiMAX könnte mit besseren Erkenntnissen zu dem Teilnehmerverhalten genauer betrachtet werden.
- Für die Gesamtbeurteilung fehlt noch eine genauere Betrachtung des Zielsystems, das vollständig auf IP basiert und Architekturen wie IMS und TISPA berücksichtigt.
- Eine Schlüsselrolle kommt der zu definierenden gemeinsamen Datenstruktur zu. Diese wird parallel zu dieser Arbeit in [Diehl-07] genauer betrachtet. Forderungen an diese Festlegungen und erste Lösungsansätze wurden im Abschnitt 4.1 angesprochen.
- In dieser Arbeit wurde die zentrale Datenbank immer nur sehr vereinfacht dargestellt. Die Realisierung einer solchen hochverfügbaren und hochperformanten Datenbank ist nicht trivial und Bedarf einer genaueren Untersuchung. Die Simulationsmodelle wurden für weitere Arbeiten an der Datenbank bereits vorgesehen. Die erstellten Modelle und Simulationsprogramme sind vorbereitet das einfache Modell der Datenbank durch genauere, besser adaptierte Modelle abzulösen. Weitere Arbeiten können auf dieser Vorarbeit basieren und die festgelegten Stimuli, angepasst nach den neueren Erkenntnissen der Verkehrswerte, zur Untersuchung der Datenbank selbst und deren Einbindung in die Architektur dienen. Die ersten, vielversprechenden Tests von grundsätzlichen Ansatzpunkten wurden im Labor von Alcatel-Lucent bereits vorgenommen und im Abschnitt 5.2 vorgestellt.

B		Description	Value	Remark
B				
B	T1.1	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
B	T1.2	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
B	1/μ	Serialization 2Mbit/s	0,70 ms	168*8/1920000
B			M/G/1	
B	T2.1	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	T2.2	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	T2.3	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	T2.4	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	1/μG	Gateway Service Time	0,75 ms (0,01 ms to 10 ms)	Assumption
B	TG	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
B		Gateway Queing	M/M/1	
		Message Length (170/1056)		
B	T3.1	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
B	T3.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T3.3	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21,0 ms	168 * 8/64000
B	T3.4	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T4.1	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.2	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.3	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.4	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B				
B	T5.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T5.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	TD	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
B	1/μD	Service Time	20 μs (10 - 60 μs)	Assumption
			M/M/1	
C		Description	Value	Remark
C	T1.1	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
C	T1.2	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
C	1/μ	Serialization 2Mbit/s	0,70 ms	168*8/1920000
C			M/G/1	
C	T2.1	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	T2.2	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	T2.3	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	T2.4	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	1/μG	Gateway Service Time	0,75 ms (0,01 ms to 10 ms)	Assumption
C	TG	Database fix delay	10 ms	Assumption
C		Gateway Queing	M/M/1	
C	T3.1	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
C	T3.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,00	internal
C	T3.3	Msg.-Handling, Serialization (64 kbit/s)	21 ms	168 * 8/64000
C	T3.4	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,00	internal
C	T4.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	T4.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	TL	Local Database accessfix delay	10 ms	Assumption
C	1/μL	Service Time	20 μs (10 - 100 μs)	Assumption
			M/M/1	

B		Description	Value	Remark
B				
B	T1.1	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
B	T1.2	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
B	1/μ	Serialization 2Mbit/s	0,70 ms	168*8/1920000
B			M/G/1	
B				
B	T2.1	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	T2.2	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	T2.3	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	T2.4	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	1/μG	Gateway Service Time	0,75 ms (0,01 ms to 10 ms)	Assumption
B	TG	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
B		Gateway Queing	M/M/1	
		Message Length (170/1056)		
B				
B	T3.1	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
B	T3.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T3.3	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
B	T3.4	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B				
B	T4.1	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.2	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.3	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.4	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B				
B	T5.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T5.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	TD	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
B	1/μD	Service Time	20 μs (10 - 60 μs)	Assumption
			M/M/1	
C		Description	Value	Remark
C	T1.1	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
C	T1.2	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
C	1/μ	Serialization 2Mbit/s	0,70 ms	168*8/1920000
C			M/G/1	
C				
C	T2.1	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	T2.2	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	T2.3	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	T2.4	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,21 ms	SDH 0,11+0,1ms
C	1/μG	Gateway Service Time	0,75 ms (0,01 ms to 10 ms)	Assumption
C	TG	Database fix delay	10 ms	Assumption
C		Gateway Queing	M/M/1	
C				
C	T3.1	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
C	T3.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,00	internal
C	T3.3	Msg.-Handling, Serialization (2 Mbit/s)	0,7 ms	168 * 8/1920000
C	T3.4	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,00	internal
C				
C	T4.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	T4.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C				
C	TL	Local Database accessfix delay	10 ms	Assumption
C	1/μL	Service Time	20 μs (10 - 100 μs)	Assumption

		Description	Value	Remark
B				
B	T1.1	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
B	T1.2	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
B	1/μ	Serialization 140 Mbit/s	0,00965 ms	168 * 8/139264000
B			M/G/1	
B	T2.1	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
B	T2.2	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
B	T2.3	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
B	T2.4	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,11+0,1ms
B	1/μG	Gateway Service Time	0,75 ms (0,01 ms to 10 ms)	Assumption
B	TG	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
B		Gateway Queing	M/M/1	
		Message Length (170/1056)		
B	T3.1	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
B	T3.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T3.3	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
B	T3.4	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T4.1	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.2	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.3	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B	T4.4	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30μs+2ms
B				
B	T5.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	T5.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
B	TD	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
B	1/μD	Service Time	20 μs (10 - 60 μs)	Assumption
			M/M/1	
C		Description	Value	Remark
C	T1.1	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
C	T1.2	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
C	1/μ	Serialization 140 Mbit/s	0,00965 ms	168 * 8/139264000
C			M/G/1	
C	T2.1	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
C	T2.2	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
C	T2.3	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
C	T2.4	Multiplexing and Transm. (incl. SDH)	0,13 ms	SDH 0,03+0,1ms
C	1/μG	Gateway Service Time	0,75 ms (0,01 ms to 10 ms)	Assumption
C	TG	Database fix delay	10 ms	Assumption
C		Gateway Queing	M/M/1	
C	T3.1	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
C	T3.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,00	internal
C	T3.3	Msg.-Handling, Serialization (140 Mbit/s)	0,00965 ms	168 * 8/139264000
C	T3.4	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,00	internal
C	T4.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	T4.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	TL	Local Database accessfix delay	10 ms	Assumption
C	1/μL	Service Time	20 μs (10 - 100 μs)	Assumption
			M/M/1	

C	5_1	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30µs+2ms
C	5_2	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30µs+2ms
C	5_3	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30µs+2ms
C	5_4	Transm. (SDH, 140 Mbit/s 400km)	2,09 ms	SDH 3*30µs+2ms
C	T6.1	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	T6.2	Msg.-Serialization (140 Mbit/s)	0,078125 ms	1360*8/139264000
C	TC	Database accessfix delay	10 ms	Assumption
C	1/µC	Service Time	20 µs (1 - 100 µs)	Assumption

A.2 Umsetzung der ASN.1-Nachrichten

Original Nachricht

In dieser Form wird die Nachricht original im Signalisierungssystem übertragen:

```
62614804002C45C26B1A2818060700118605010101A00D600BA1090607040000010005036C3DA13B020100
02011630338007919730470301F983010086079197300741FFFF8706AE00F302002CAA0E0A0104040904038
090A37D029181AB04030206C0
```

ASN.1 Decodiert

Decodiert nach ASN.1 Stellt sich eine MAP-Nachricht wie folgt dar:

```
timestamp difference = 20:23:30"677,672i
13:59:16"5 HLR> SCCP 104 1 100 1 63 C3 14207 14136 1 UDT
White Book SCCP (SCCP) Unitdata (UDT)
-1101000 Backward Sequence Number 104
1----- Backward Indicator Bit 1
-1100100 Forward Sequence Number 100
1----- Forward Indicator Bit 1
--111111 Length Indicator 63
00----- Spare
----0011 Service Indicator SCCP
--00---- Sub-Service: Priority Spare/priority 0 (U.S.A. only)
11----- Sub-Service: Network Ind National message 1
***** Destination Point Code 14207
***** Originating Point Code 14136
***** Signalling Link Selection 1
00001001 SCCP Message Type 0x9
----0000 Protocol Class Class 0
0000---- Message Handling No special options
00000011 Ptr to Called address pa 3
00001110 Ptr to Calling address p 14
00011001 Ptr to Data parameter 25
Called address parameter
00001011 Parameter Length 11
-----0 Point Code Indicator PC absent
-----1- Subsystem No. Indicator SSN present
--0100-- Global Title Indicator Has transl,n-plan,code,natur
-0----- Routing Indicator Route on Global Title
0----- For national use 0
00000110 Subsystem number HLR
00000000 Translation Type Not used
----0001 Encoding Scheme BCD, odd number of digits
0001---- Numbering Plan ISDN/Telephony (E.164/E.163)
-0000100 Nat. of Address Indicator International number
0----- Spare
***** Called Address Signals 79037430109
0000---- Filler
Calling address parameter
00001011 Parameter Length 11
-----0 Point Code Indicator PC absent
-----1- Subsystem No. Indicator SSN present
--0100-- Global Title Indicator Has transl,n-plan,code,natur
-0----- Routing Indicator Route on Global Title
0----- For national use 0
00001000 Subsystem number MSC
00000000 Translation Type Not used
----0010 Encoding Scheme BCD, even number of digits
0001---- Numbering Plan ISDN/Telephony (E.164/E.163)
-0000100 Nat. of Address Indicator International number
0----- Spare
***** Calling Address Signals 790370140000
Data parameter
01100011 Parameter length 99
```

```

***** Data 62 61 48 04 00 2C 45 C2 6B 1A 28 18
06 07 00 11 86 05 01 01 01 A0 0D 60
0B A1 09 06 07 04 00 00 01 00 05 03
6C 3D A1 3B 02 01 00 02 01 16 30 33
80 07 91 97 30 47 03 01 F9 83 01 00
86 07 91 97 30 07 41 FF FF 87 06 AE
00 F3 02 00 2C AA 0E 0A 01 04 04 09
04 03 80 90 A3 7D 02 91 81 AB 04 03
02 06 C0
E-GSM 09.02 (MAP) Rev 5.6.0 (MAP)
Begin
1 Origination Transaction ID
***** Orig Trans ID 0x2C45C2
2 DialoguePortion
2.1 DialogueExternal
2.1.1 DialogueObjectID
00000000 Authority CCITT Recommendation
00010001 Name Form q
10000110 Rec Number 7
00000101 Rec Number 73
00000001 AS 1
00000001 Dialog-AS Dialogue PDU
00000001 Version 1
2.1.2 DialoguesingleASN1
2.1.2.1 DialogueRequest
2.1.2.1.1 Application Context Name
2.1.2.1.1.1 ACN Object Id
0000---- ObjId CCITT
----0100 Organization Identified-organization
00000000 ETSI
00000000 Domain Mobile Domain
00000001 Mobile Subdomain GSM-Network
00000000 Common Component ID AC-ID
00000101 Application Context Loc Info Retrieval
00000011 Version Version3
3 Component Portion
3.1 Invoke
3.1.1 Invoke ID
00000000 Invoke ID value 0
3.1.2 Local Operation
00010110 Operation Code Send Routing Info
3.1.3 Parameter Sequence
3.1.3.1 MS Isdn Address Number
1----- Extension Indicator No Extension
-001---- Nature of Address International number
----0001 Numbering Plan Indicator ISDN Telephony No plan (E.164)
***** MS ISDN Address Signals 79037430109
1111---- Filler
3.1.3.2 Interrogation Type
00000000 Interrogation Type Basic call
3.1.3.3 Gsmc Address
***** Gsmc Address 91 97 30 07 41 FF FF
3.1.3.4 Call Reference Number
***** Call Reference Number AE 00 F3 02 00 2C
3.1.3.5 Network Signal Info
3.1.3.5.1 Protocol Id
00000100 Protocol Id Ets-300102-1
3.1.3.5.2 Signal Info
***** Signal Info 04 03 80 90 A3 7D 02 91 81
3.1.3.6 Camel Info
3.1.3.6.1 Supported Camel Phases
00000110 UnusedBits -- unknown / undefined value --
1----- Phasel Yes
-1000000 Undefined 64

```

SOAP mit XML-Umsetzung

Die Übersetzung der vollständigen Nachricht in XML:

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soapenv:Body>
    <tcapService name="SendRoutingInformation" id="10000" reqEncoding="xer" resEncoding="ber">
      <TCMessage>
        <begin>
          <otid>002C45C2</otid>
          <dialoguePortion>
            <direct-reference>0.0.17.773.1.1.1</direct-reference>
            <encoding>
              <single-ASN1-type>600BA109060704000001000503</single-ASN1-type>
            </encoding>
          </dialoguePortion>
          <components>
            <basicROS>

```

```

    <invoke>
      <invokeId>
        <present>0</present>
      </invokeId>
      <opcode>
        <local>22</local>
      </opcode>
      <argument>
        <SendRoutingInfoArg>
          <msisdn>919730470301F9</msisdn>
          <interrogationType>
            <basicCall/>
          </interrogationType>
          <gsmc-OrGsmSCF-Address>9197300741FFFF</gsmc-OrGsmSCF-Address>
          <callReferenceNumber>AE00F302002C</callReferenceNumber>
          <networkSignalInfo>
            <protocolId>
              <ets-300102-1/>
            </protocolId>
            <signalInfo>04038090A37D029181</signalInfo>
          </networkSignalInfo>
          <camelInfo>
            <supportedCamelPhases>11</supportedCamelPhases>
          </camelInfo>
        </SendRoutingInfoArg>
      </argument>
    </invoke>
  </basicROS>
</components>
</begin>
</TCMessage>
</tcapService>
</soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>

```

Komprimierte Darstellung (angelehnt an die Fast Web Services)

Request Send Routing Info ASN.1-Nachricht in SOAP transportiert (BER-Kodierung). Die Nachricht oberhalb des SCCP wurde einschl. des TCAP nicht dekodiert, sondern einfach nach den Basic Encoding Rules als codierte Zahlenfolge übertragen.

```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soapenv:Body>
    <tcapService name="SendRoutingInformation" id="10000" reqEncoding="ber"
resEncoding="ber">62614804002C45C26B1A2818060700118605010101A00D600BA1090607040000010005036C3DA1
3B02010002011630338007919730470301F983010086079197300741FFFF8706AE00F302002CAA0E0A010404090403
8090A37D029181AB04030206C0</tcapService>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>

```

Durch die Zeile <tcapService und das Attribut requestEncoding jedes ASN.1 encoding dynamisch für jede Nachricht genutzt werden kann (BER, XER ...). Mittels des eigens definierten XML Steuerungselements (tcapService) wird der SS7 Layer für GSM definiert (z.B. tcap -> tcapService oder map -> mapService) und mit Hilfe des Attributs (requestEncoding) ASN.1 je nach angegebenem Verfahren de/kodiert. Das Steuerungselement wird beim Parsen ausgelesen und dementsprechend Teile der Nachricht verarbeitet. Momentan sind BER und XER realisiert, andere ASN.1 encodings lassen sich aber über die Anpassung der Steuerungszeile einfügen.

A.3 Quellen

[3GPP TS 22.228]: Service Requirements for the IP Multimedia Core Network Subsystem. V7.5.0 (2006-09), http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.228/

[3GPP TS 23.228]: Network Architecture IP Multimedia Subsystem (IMS) V6.10.0 (2005-06), <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/22228.htm>

[3GPP TS 33.234]: 3GPP TS 33.234 09/2005 (Technical Specification Group Service and System Aspects; 3G Security; Wireless Local Area Network (WLAN) interworking Security Release 6

[3GPP98]: 3GPP (1998), "Mobile Application Part (MAP) specification" Technical Specification Group Core Network, (Release 1998), 3GPP, <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/0902.htm>

[Alcatel03]: interne Unterlage der Fa. Alcatel-Lucent: HLR Dimensioning G10, 3BL 33851 DAAA BGAHA, Alcatel 900/HLR System documentation, 13.03.2003, For internal use only.

[Alcatel04]: interne Unterlage der Fa. Alcatel-Lucent: STR-Basic Call GSM/U3G, TLD Strategy-Document, 215-50081-7WAA-DS 16.06.2004.

[Alcatel98-1]: interne Unterlage der Fa. Alcatel-Lucent: Traffic Model for FT, AAC020241400DT Alcatel 900 System documentation v. 4.2.1998

[Alcatel98-2]: interne Unterlage der Fa. Alcatel-Lucent:(für den Vergleich der Reaktionszeiten] Alcatel: FMM processing times for A900LM5, 15.05.1998. System Confidential

[Alcatel99-03]: interne Unterlage der Fa. Alcatel-Lucent: Labor Traces, ohne Titel, vom 01.10.1999, 22/04/2004, 25.05.2004 und 5.02.2005

[Alcatel-Lucent] zusammenfassung der Quellen: [Alcatel98-1, Alcatel98-2, Alcatel03, Alcatel04]

[Ape05]: Vortrag Apertio 02.12.2005 Subscriber Centricity, K. Wakefield, Flexinet Workshop Stuttgart Weilimdorf am 02.12.2005.

[Arn93] "Handbuch der Telekommunikation" im Deutschen Wirtschaftsdienst, erstmals 1993 mit ständigen Ergänzungen, herausgegeben von Franz Arnold

[Arsl04]: A. Arslaner, Entwurf eines Emulators zur Modellierung eines HLR in einem restrukturierten IP-basierten Netz. Diplomarbeit, Universität Hannover, 2004.

[Banet03]: Mündliche Aussagen von F. J. Banet der Fa. Alcatel-Lucent zu T-Mobile HLR Strategie, Anforderungen zum Next Generation HLR vom Dez. 2003.

[Banet04]: F.-J. Banet, A. Gärtner und G. Teßmar: UMTS, Netztechnik, Dienstarchitektur, Evolution. Hüthig, Landsberg 2004

[Banet04]: F.-J. Banet: interne Unterlage der Fa. Alcatel-Lucent: MAP Operation Types with the HLR, Alcatel 12.2004, Stuttgart.

[Basis-Daten] zusammenfassung der Quellen: Alcatel [Alcatel98-1, Alcatel98-2, Alcatel03, Alcatel04] und Siemens [Siemens92, Siemens02-1, Siemens02-2, Siemens03], sowie Informationen zum Netz der T-Mobile [Ban04] und Labor-Traces aus [Alcatel99-03]

[BNA01] Nummerverwaltung, Bundesnetzagentur,

http://www.bundesnetzagentur.de/enid/64df538f93442b5504a9d63e132931a6,0/Nummernverwaltung/Uebersicht_Nummernraum_1hz.html

[Brand95]: G. Bandow et al: Zeichengabesysteme L.T.U.-Verlagsgesellschaft mbH, Bremen 2. Auflage, 1995

[BSI05] Fraunhofer, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Bonn, Technische Richtlinie Sicheres WLAN, Technische Richtlinie 03103, Version 1.0, 10/2005

[DieFuhrSieg 04]: Andreas Diehl, Woldemar Fuhrmann, Gerd Siegmund: MAP-SOAP Interworking in Future Service-Oriented Wireless Networks, International Networking Conference (www.INC2004.org) Plymouth, England 06.-09.07.2004.

[Diehl et al 05]: Diehl, A., Banet, F.J., Siegmund, G., Rupp, S., Fuhrmann, W., (2005): "A Flexible Objekt-Oriented Data Model for Centralized Subscriber Profile Database", 14th IST Mobile and Wireless Communications Summit 19 - 23. June 2005, Dresden Germany.

[Diehl04]: A. Diehl, SOAP MAP Interworking in zukünftigen Mobilkommunikationssystemen. Diplomarbeit, FH-Darmstadt 2004.

[Diehl07]: Diss: Software Architecture for Data Storage Concepts within Future Mobile Telecommunication Networks,

[Diehl2004] A. Diehl, XML Caching, Diplomarbeit an der Fachhochschule Darmstadt, 2004.

[DiehlAng05] A. Diehl, K. Angrishi: An Approach for Interoperable Service Mediation in diverse Telecommunication Networks, 14th IEEE International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2006), Split Dubrovnik, Croatia, October 2006,

[ETSI TS 181 004]: NGN Generic Capabilities and their use to develop Services, 2006

[ETSI TS 181 005]: Service and Capabilities Requirements for TISPAN NGN; Rel. 1, 2006

[ETSI TS 282 001]: NGN Functional Architecture; Rel. 1, 2005

[ETSI TS 282 004]: NGN Functional Architecture; Network Attachment Sub-System (NASS); 2006

[Froh04]: Mündliche Aussagen Dr. W. Frohberg, Grüll, Kleine-Altenkamp Aussagen zu SDH-Übertragungssystemen, 2004

[Gab94]: Gaelgaard, B.: The (GSM) HLR - Advantages and Challenges. IEEE D-7803-1823-4/94, 3rd ICUPC '94, Session 2.4, S. 335. NY, USA.

[Heine99]: G. Heine, GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation, Artech House Publishers, 1999.

[ITU-T X.690] (2003), "Specification of Basic Encoding Rule, Canonical Encoding Rule and Distinguished Encoding Rule", X Serie: Data networks and open system communications, International Telecommunications Union, <http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=items&lang=e&parent=T-REC-X.690-200207-I>

[ITU-T X.693] (2003), "XML Encoding Rule" X Serie: Data networks and open system communications, International Telecommunications Union <http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=items&lang=e&parent=T-REC-X.693-200112-I>

[jiwire] (<http://www.jiwire.com>)

[Kam05] Dr. Stephan Rupp: Kam-Schulung Alcatel-Lucent-interne Unterlage, Präsentation am 2.11.05

[KuWö02] M. Kuschke, L. Wölfel: Web Services kompakt. Spektrum Akademischer Verlag, 2002.

[LANCOM] Techpaper 802.1x von LANCOM Systems GmbH Würselen, www.lancom.de)

[Lehm04]: Markus Lehmacher, Alcatel-Lucent 09.2004 Vorgaben für HLR-Reaktionszeit aus Ausschreibungen der Netzanbieter und internen Planungsunterlagen der Alcatel-Lucent

[Lehm07]: Markus Lehmacher, Alcatel-Lucent 03.2007 Mündliche Aussagen aus einem Gespräch anlässlich der CeBIT 2007, Hannover.

- [Les02]: P. Lescuyer, UMTS, Grundlagen, Architektur und Standard, dpunkt.verlag Heidelberg 2002.
- [Lop04]: Aussage Rudolfo Lopez Aladros, Alcatel-Lucent, 11.2004, Gemeinsames Gespräch zur Servicezeit der Datenbanken, Alcatel-Lucent Stuttgart.
- [Lop05-1]: Testergebnisse aus: R. Lopez: "Performance problem with MySQL an SUN Fire E2900", 23.11.2005, interner Report, Alcatel-Lucent Stuttgart
- [Lop05-2] R. Lopez Aladros: Alcatel intern: Datenbank_Alcatel: Architecture Description, INTELLIGENT STORAGE SYSTEM (ISS), New Generation Core Networks, Edition 0.4 07.2005
- [Men et al 2001]: D. A. Menascé, D. Barbará und R. Dodge: Preserving QoS of E-Commerce Sites Through Self-Tuning: A Performance Model Approach, Proc. 2001, ACM Conference on E-Commerce, Tampa, Florida, Oct. 14-17. 2001.
- [MenAlm 2002]: D. A. Menascé, V. A. F. Almeida: Capacity Planning for Web Services, Metrics, Models and Methods, Prentice Hall Upper Saddle River NJ, USA, 2002.
- [Mouly92] Michel Mouly, Marie-Bernadette Pautet: The GSM, System for Mobile Communications, 1992 im Selbstverlag
- [Mur01]: F. Muratore, UMTS, Mobile Communications for the Future, Wiley & Sons, Chichester, New York 2001
- [Nant05]: Napat Nantavechsanti: Modelling and Performance Evaluation of a Centralized Subscriber Database in GSM, Master Thesis IKR, University of Stuttgart, March 2005.
- [PoiMayKhaNie-06] - M. Poikselkä, G. Mayer, H. Khartabil, A. Niemi: IMS, IP Multimedia Concepts and Services, Secound Edition, J. Wiley & Sons, West Sussex, England, 2006
- [PrasWangSchoo]: DoCoMo in dem Beitrag von A.R. Prasad, H. Wang und P.Schoo Infrastructure Security for Future Mobile Communication Systems, WPMC 2003 Yokosuka, Japan 19-22.Okt. 2003.
- [RFC 2716] B. Aboba, D. Simon: Requests for Comments: 2716, PPP EAP TLS Authentication Protocol, October 1999. <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2716.html>
- [RFC 2960]: R. Stewart et al: Request for Comments: 2960, Stream Control Transmission Protocol, October 2000, IETF, <http://rfc.net/rfc2960.html>
- [RFC 3286]: L. Ong, J. Yoakum, Request for Comments: 3286, An Introduction to the Stream Control Transmission Protocol (SCTP), May 2002, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3286.txt>
- [RFC 3770]: Request for Coments: 4334 Obsoletes: 3770 Category: Standards Track February 2006: Certificate Extensions and Attributes Supporting Authentication in Point-to-Point Protocol (PPP) and Wireless Local Area Networks (WLAN), IETF, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4334.txt>
- [RuLoBa03]: Franz-Josef Banet, Rodolfo Lopez Aladros, Dr. Stephan Rupp, Dr. E. Winter: Restrukturierung der TK-Netze, Einsatz von Speichernetzen und Web Services zur Vereinfachung der Netzinfrastruktur. VDE-Networkshop 2003,
- [Rupp et al 04-1]: Rupp et al 1 (2004), Dr. Stephan Rupp, Gerd Siegmund, Rodolfo López Aladros, and Franz-Josef Banet, "FLEXINET-A Network Service Architecture". Journal of the Communications Network Jan-March 2004.
- [Rupp et al 04-2]: Rupp et al 2 (2004), Stephan Rupp, Rodolfo Lopez Aladros, Franz-Josef Banet and Gerd Siegmund, "Flexible universal networks - a new approach to telecommunication services", The 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando 2004

[Rupp et al 3] (2004), Stephan Rupp, Gerd Siegmund, Rodolfo-López Aladros, and Franz-Josef Banet, "FLEXINET Service Architecture". WTC 2004 Seoul, ISS 12.-15.09.2004, www.wtc2004.org.

[RuppSieg-04]: Rupp-Sieg-2004: Dr. Rupp, Stephan und Siegmund, Gerd: Java in der Telekommunikation. Grundlagen, Konzepte, Anwendungen, dpunkt.verlag 2004

[Schul94] Loseblattwerk "Telekommunikation herausgegeben von Heinz Schulte, in einem Beitrag von Egon Bohländer, GSM-Netze von 1994, Kap. 9/2.3

[ScriStiv00]: K. Scribner and M. Stiver, Understanding SOAP, SAMS Verlag Indianapolis, USA 2000.

[Sieg et al 04] Siegmund et al (2004), Gerd Siegmund, Stephan Rupp, Franz-Josef Banet and Rodolfo-Lopez Aladros, "Service Oriented Architecture - Decrease the Increase" IST Mobile & Wireless Communications Summit 2004: Lyon, France, June 27 - 30, 2004

[Sieg01]: Siegmund, Gerd (Hrsg.): Intelligente Netze, Technik, Dienste und Vermarktung, 2. Auflage, Hüthig Verlag Heidelberg, 2001.

[Sieg02-1]: Siegmund, Gerd: Technik der Netze, 5. Auflage, Hüthig Verlag Heidelberg 2002

[Sieg02-2]: Siegmund, Gerd: Next Generation Networks, IP-basierte Telekommunikation, , Hüthig Verlag Heidelberg 2002

[Siem06] Firmenunterlagen Siemens Core Mobility Server @vantage CMS-8200, München 2006

[Siemens02-1]: interne Unterlage der Fa. Siemens: Air Interface Dimensioning, Traffic Dimensioning, Sept. 2002.

[Siemens02-2]: interne Unterlage der Fa. Siemens: Performance Description PO 3.0 P30309-A1172-A153-02-7618 10.2002.

[Siemens03]: interne Unterlage der Fa. Siemens: Performance Requirement Specification GSM SE, ICM N PG GSM SE, 30.06.2003

[Siemens92]: interne Unterlage der Fa. Siemens: Verkehrsmodelle verschiedener Netzbetreiber für den Mobilfunk (Parameter für das GSM-System), Dokument 325.01.01, vom 11.02.1992.

[Steu02]: J. Steuer, Lastbalancierung und Verkehrsschätzung mit Verfahren zur Positionsbestimmung in Mobilfunknetzen, Hannoversche Beiträge zur Nachrichtentechnik, Reihe 2 Kommunikationsnetze, Shaker Verlag, Aachen, 2002

[SudSte96]: Sudeep, K., Steinar, A.: User Profiles and their Replication for Reduction of HLR Access and Signalling Load, 0-7803-3300-4/96, IEEE, S. 865 xx????

[Walke00]: B. Walke, Mobilfunknetze und ihre Protokolle, Teubner, Stuttgart, Leipzig und Wiesbaden, 2000.

[Wöhr04]: H. Wöhr, Web-Technologien, Konzepte, Programmiermodelle, Architekturen, dpunkt.verlag, Heidelberg 2004.

[X.209], [X.208]: abgelöst durch: [X.680]: Information technology - Abstract Syntax Notation One (ASN.1): Specification of basic notation, 07.2002

All-IP Workshop (2000), "Presentation, Third Generation Partnership Program (3GPP)", 06 February 2000, Nice.

Lebenslauf

Name: Gerd Siegmund
Geburtsdatum, -ort: 25. Dezember 1954 in Eilte Kreis Bad Fallingbostal
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: verheiratet, ein Kind

Schulbildung und Wehrdienst:

1960 - 1970 Volksschule in Langenhagen
Abschluss: Volksschulabschluss
1970 - 1973 Berufsausbildung zum Fernmeldemonteur
Abschluss: Fernmeldemonteur
1973 - 1974 Berufsaufbauschule, Hannover
1974 - 1975 Fachoberschule, Hannover
Abschluss: Fachhochschulreife
1975 - 1976 Wehrdienst

Studium:

1976 - 1979 Studium an der Fachhochschule Hannover
Abschluss: Dipl. Ing.

Berufstätigkeit:

1979 - 1985 Entwicklungsingenieur bei Alcatel in der
Bürokommunikation, Stuttgart
1985 - 1990 Gruppenleiter SW, Alcatel Bürokommunikation,
Stuttgart
1990-1995 Abteilungsleiter System Design in der Entwicklung,
Alcatel Bürokommunikation, Stuttgart
1995-2000 Abteilungsleiter Business Development im
Produktmanagement Intelligente Netze,
Alcatel Network Application Division in Stuttgart
2001 - 09.2003 Referent Aus- und Weiterbildung in der
Entwicklung, Siemens AG, Stuttgart
10.2003 Gründung des Technologietransferzentrums
in Stuttgart
seit 10.2003: Leiter des Steinbeis
Technologietransferzentrums "Technik der Netze"

Nebentätigkeiten:

- | | |
|---------------|---|
| seit 1991 | Fachbuch Autor beim Hüthig-Verlag Heidelberg |
| 1996 bis 2005 | Berater Telekommunikation beim Hüthig-Verlag,
Heidelberg/Bonn |
| seit 1995 | Schulungsleiter für ganztägige Seminare bei
Bodo Peters in Kropp, DOK Systeme in Hannover,
der „Akademie der Technologie“ in Flensburg
sowie intern bei Nokia-Siemens und Alcatel-Lucent |
| seit 1985 | Lehrbeauftragter an verschiedenen Hochschulen
(seit 1985 an der Berufsakademie Stuttgart, seit 2006
an der Berufsakademie Friedrichshafen, seit 2006 an
der Fachhochschule Hannover. |