

# Schlussbericht

**„Optimierung heterogener, paketbasierter Telekommunikationsnetze unter besonderer Berücksichtigung von Mobilitätsunterstützung sowie Sicherheit und Datenschutz“**

Förderkennzeichen: 1711403

Autoren: Ulrich Trick; Soulaymane El Bouarfati; Frank Weber

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing Ulrich Trick

Wissenschaftler: Dipl.-Ing. Frank Weber

Dipl.-Ing. Soulaymane El Bouarfati

Ausführende Stelle: Fachhochschule Frankfurt am Main – University of Applied Sciences  
Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften  
Nibelungenplatz 1  
60318 Frankfurt am Main

Datum: 20.10.2005

Inhaltsverzeichnis:

1	Aufgabenstellung .....	4
2	Voraussetzungen .....	6
3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	9
4	Wirtschaftlicher und technischer Stand.....	11
5	Zusammenarbeit mit externen Stellen.....	14
6	Erzielte Ergebnisse.....	15
6.1	Anforderungen an die zukünftige Telekommunikationsinfrastruktur.....	15
6.2	Erstellung eines Netzmodells .....	20
6.2.1	Aufbau des Netzmodells .....	22
6.2.2	Vorgehen beim Netzdesign .....	34
6.3	Funktionen des Netzmodells .....	39
6.3.1	Interworking zwischen Netzen.....	39
6.3.2	Netzoptimierung und Migrationsszenarien .....	40
6.4	Mobilitätsunterstützung.....	51
6.5	Sicherheit und Datenschutz.....	53
7	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	59
8	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	61
9	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse .....	62
10	Quellen und Literatur .....	63

## Kurzfassung

### 1 Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik

Was zukünftige Telekommunikationsnetze angeht, war die Situation bez. dieses Forschungsvorhabens die Folgende:

- Die Anforderungen wurden weniger von den Erfordernissen der Nutzer als von den technischen Möglichkeiten her formuliert.
- Die Modellbildung beruhte im Wesentlichen auf dem, zukünftigen Netzen und den darin zum Einsatz kommenden Protokoll-Stacks nicht mehr gerecht werdenden OSI-Referenzmodell (Open Systems Interconnection).
- Der Mobilitätsunterstützung in Festnetzen wurde eine zu geringe Bedeutung beigemessen.

### 2 Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

- Abhilfe für die unter 1 genannten offenen Punkte.
- Anforderungen an zukünftige Telekommunikationsnetze erarbeiten.
- Neues Netzmodell für die Modellierung heterogener Telekommunikationsnetze entwickeln, das konkrete Simulationen mittels Variantenrechnung unterstützt.
- Netzmigration und Netzoptimierung mittels Variantenrechnung.
- Berücksichtigung von Mobilität und Sicherheit in heterogenen IP-basierten Telekommunikationsnetzen.

### 3 Methode

- Erarbeiten der Anforderungen an zukünftige Telekommunikationsnetze auf Basis eines Gesellschaftsmodells und korrespondierender soziologischer Untersuchungsergebnisse.
- Zusammenführen der Anforderungen und technologischer Möglichkeiten bzw. Entwicklungen.
- Erweitern bisheriger Netzmodellansätze zu einem neuen, auch auf heterogene Netze anwendbaren grafischen Modell. Ergänzen dieses grafischen Modells um ein Rechnungsmodell für die Variantenrechnung.
- Betrachten konkreter Netzigrations- und Netzoptimierungsszenarien auf Basis des Rechnungsmodells.

### 4 Ergebnis

- Allgemeingültige Anforderungen an Netze
- Anwendung des NGN-Konzepts (Next Generation Networks)
- Neues leistungsfähiges Netzmodell
- Netzigrations- und Netzoptimierungsszenarien mit Variantenrechnung

### 5 Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

- Anwendung in Lastenheften für Netzbetreiber
- Konzepte für Netzmigration und Netzoptimierung
- Know-how für weitere Projekte zu den Themen NGN, VoIP, Protokolle
- Einschlägige Seminare zur beruflichen Weiterbildung

# 1 Aufgabenstellung

Auf dem Gebiet der Telekommunikationsnetze zeichnen sich umfassende Veränderungen ab. Stichworte dafür sind u.a. „Next Generation Networks (NGN)“, „Voice/All over IP“, „UMTS Release 5 (Universal Mobile Telecommunication System)“ und „Fixed/ mobile-Konvergenz“. Eine sehr wichtige Rolle spielt dabei auch die Integration der bestehenden Netze wie GSM (Global System for Mobile communications) und ISDN (Integrated Services Digital Network).

In der Gesamtheit führen diese Veränderungen zu sehr komplexen heterogenen Telekommunikationsnetzen. Während Konvergenz auf Basis IP (Internet Protocol) angestrebt wird, erhält man zuerst einmal einen massiven Zuwachs an Komplexität und Divergenz, speziell durch die Vielfalt der Protokolle und Protokollschichten.

Das Gesamtziel des angestrebten Vorhabens war die Optimierung heterogener, paketbasierter Telekommunikationsnetze unter besonderer Berücksichtigung von Mobilitätsunterstützung sowie Sicherheit und Datenschutz. Das Gesamtvorhaben unterteilt sich in zwei Projektphasen. In der ersten Phase wurden die folgenden Schwerpunkte erarbeitet:

- Vertiefen und präzisieren der Anforderungen an eine zukünftige heterogene Telekommunikationsinfrastruktur. Dabei wurden nicht nur die Technik, sondern auch Ökonomie, soziale Auswirkungen und Ökologie berücksichtigt. Darunter fällt auch die Frage nach der Nachhaltigkeit.
- Ausgehend von den gesellschaftlichen Anforderungen wurden aus Netzsicht technische Lösungen zu folgenden Themen erarbeitet:
  - \* Mobilitätsunterstützung in einer Fest- und Mobilfunknetze integrierenden Kommunikationsinfrastruktur
  - \* Sicherheit und Datenschutz im Telekommunikationsnetz der Zukunft
  - \* Nutzung der UMTS- und Beyond-3-G-Techniken für eine Fest- und Mobilfunknetze integrierende Kommunikationsinfrastruktur

Die Themen Mobilität sowie Sicherheit und Datenschutz hängen sehr eng miteinander zusammen. Daher soll hierfür ein Gesamtkonzept erarbeitet werden. Beide Themengebiete werden wiederum bei 3GGP bei der Standardisierung für UMTS, Release 5 und 6, diskutiert, allerdings ausschließlich mit dem Fokus auf zellulare Funknetze. In diesem Vorhaben sollen die einschlägigen UMTS-Ergebnisse für eine zukünftige, integrierte, heterogene, auch bestehende Netze einbindende Kommunikationsinfrastruktur nutzbar gemacht werden.

- Bezüglich der Mobilitätsunterstützung geht es um Konzepte für
  - \* Endgerätemobilität
  - \* Benutzermobilität und
  - \* Dienstmobilität.

Dabei wurde vor allem der Frage nachgegangen, wo im Netz im Hinblick auf eine umfassende Mobilitätsunterstützung und dabei möglichst einfache Realisierung, entsprechende Funktionalitäten bereitgestellt werden müssen und wie dies realisiert werden kann. Dabei sollten die Gesamtnetzesaspekte und die Einbeziehung der heutigen Netze berücksichtigt werden, aber auch z.B. ökologische Aspekte, in dem Protokolle herangezogen werden, die im Sleep-Modus betriebene Endgeräte bedienen können.

- Bezüglich Sicherheit und Datenschutz geht es um Konzepte für
  - \* Authentifikation
  - \* Zugriffskontrolle
  - \* Vertraulichkeit
  - \* Integrität
  - \* Anonymität

Dabei besteht das Hauptziel darin zu klären, wo im Netz im Hinblick auf Sicherheit und wirkungsvollen Datenschutz - insbesondere unter Berücksichtigung von Mobilität und der Tatsache, dass die Anwender nur einen geringen bis keinen Beitrag zu Sicherheit und Datenschutz leisten - entsprechende Funktionalitäten bereitgestellt werden müssen und können. Dabei sollen die Gesamtnetzespekte und die Einbeziehung der heutigen Netze berücksichtigt werden und welche Technologien dafür zur Verfügung stehen. Ein Ziel hierbei ist, die Sicherheit durch Komplexitätsreduktion und geeignete Techniken an Stellen im Gesamtnetz, die primär nichts mit Sicherheit und Datenschutz zu tun haben, zu erhöhen.

Auf der Basis der in der ersten Phase erarbeiteten Lösungsansätze wurden in der zweiten Phase folgende Ziele angestrebt:

- Die Erstellung eines Netzmodells, das die Bewertung dieser Lösungsansätze ermöglicht, und die Entwicklung eines Simulationsmodells zur Unterstützung der Bewertung und Optimierung.
- Erarbeitung eines Gesamtkonzepts
- Aufbau fester Forschungskontakte mit Industrieunternehmen/Hochschulen/Forschungsinstituten
- Erarbeiten einer Basis und der nötigen Kontakte für sich anschließende Drittmittelprojekte
- Einbringen der Forschungsergebnisse in die telekommunikationstechnischen Lehrveranstaltungen an der FH Frankfurt
- Veröffentlichungen zu den erzielten Ergebnissen

## 2 Voraussetzungen

Materielle Voraussetzungen:

Wesentliche Voraussetzung für die Durchführung des Vorhabens waren die im Labor für Telekommunikationsnetze an der Fachhochschule Frankfurt vorhandenen Hardware- und Software-Komponenten.

Bild 2.1 zeigt das vorhandene heterogene NGN-Labornetz. Es wurde mit dem Ziel entwickelt, die verschiedenen Netzelemente und vor allem Protokolle in ihrem Zusammenspiel im laufenden Betrieb präsentieren und untersuchen zu können. Das erfordert zum einen die Realisierung der Netzfunktionen und zum anderen Analyse- und Simulationsmöglichkeiten.

Die wesentlichen Bestandteile des NGN-Labornetzes in Bild 2.1 sind:

- 24-Gbit/s-Switch/Router Matrix E1 mit RIP-, OSPF- sowie DiffServ-Unterstützung
- PCs mit den Betriebssystemen Windows XP bzw. Server 2000/2003 sowie Linux
- VoIP-TK-Anlage Phoneware mit H.323-Gatekeeper und –Gateway sowie Terminals für Fast Connect-Verbindungsaufbau
- VoIP-TK-Anlage basierend auf Asterisk
- NetMeeting H.323 Terminal
- SIP Proxy/Registrar/Location Server snom4S
- SIP Proxy/Registrar/Location Server SER (SIP Express Router)
- SIP AS (Application Server) basierend auf SER
- SIP/E-DSS1-Gateway HiPath RG 2200
- SIP User Agent SCS-Client
- SIP User Agent Microsoft Windows Messenger
- SIP Hardware-Phones snom 200
- ISDN-TK-Anlage C46xe mit E-DSS1 sowie 6 x S<sub>o</sub>- und 6 x a/b-Schnittstellen
- ISDN- und analoge Telefone
- Access Points für WLAN

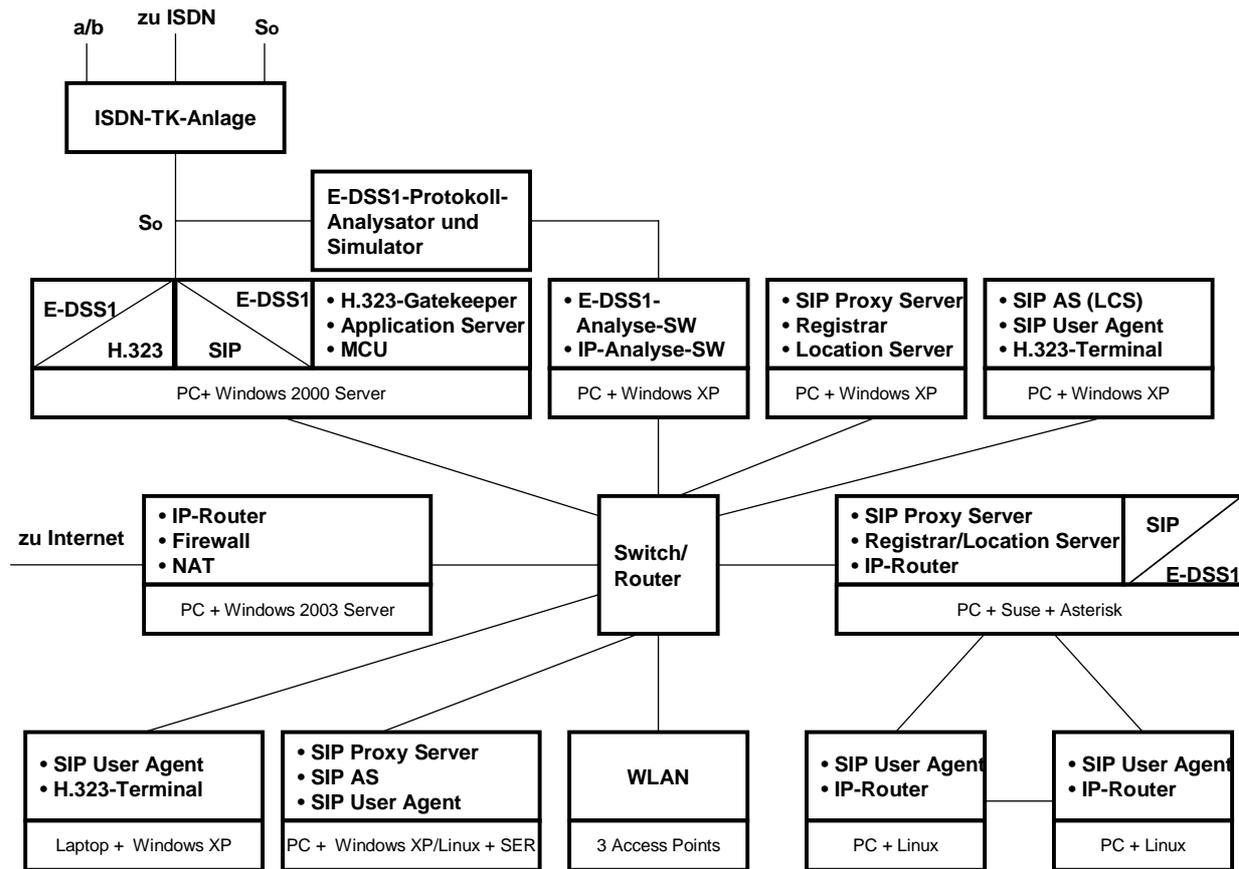


Bild 2.1: Das heterogene NGN-Labornetz

Da während der Durchführung des Vorhabens auch andere Diplomarbeiten und Laborversuche stattfanden und demzufolge die Kapazität des Labors nicht ausreichte, wurden drei weitere Rechner zwecks Durchführung der vorhabensbezogenen Diplomarbeiten und der darüber hinausgehenden vorhabensbezogenen Forschungsarbeiten beschafft.

Folgende Diplomarbeiten wurden im Rahmen des Vorhabens durchgeführt:

- Möglichkeiten und Grenzen des Session Initiation Protocol (SIP) - Lernmodule, Dienstmerkmale, Sicherheit (WS 2003/04)
- Analyse und Erprobung von Windows-Tools zur Simulation eines Telekommunikationsnetzes (SS 2004)
- Entwurf und Realisierung eines VPN (Virtual Private Network) auf Schicht 3- und Schicht 2-Basis (SS 2004)
- Entwurf und Realisierung eines SW-basierten SIP User Agents unter besonderer Berücksichtigung von Telefonie-Dienstmerkmalen (SS 2004)
- Optimierung eines heterogenen Telekommunikationsnetzes mit OMNet++ und Excel unter besonderer Berücksichtigung von Sicherheit und Datenschutz (WS 2004/05)
- Optimierung eines heterogenen Telekommunikationsnetzes unter Berücksichtigung des Verkehrs und der Kosten (WS 2004/05)
- Entwicklung einer Oberfläche mit VBA für ein Netzsimulationsmodell heterogener, paketbasierter Telekommunikationsnetze (WS 2004/05)

- SIP Application Server - Analyse der Funktionen und praktischer Einsatz (WS 2004/05)

Personelle Voraussetzungen:

Während des Bearbeitungszeitraums standen neben dem hauptberuflich als Professor an der Fachhochschule Frankfurt am Main tätigen Projektleiter zur Verfügung:

- ein Wissenschaftler (6 Monate BAT Va, 6 Monate BAT IVb, 7 Monate BAT IVa) für 19 Monate
- ein Wissenschaftler (6 Monate 0,5 BAT Va, 10 Monate 0,5 BAT IVb) für 16 Monate

### 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

#### Personal:

- \* Leiter: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Trick
- \* Wissenschaftler: Dipl.-Ing. (FH) Frank Weber
- \* Wissenschaftler: Dipl.-Ing. (FH) Soulaïmane El Bouarfati
- \* Diplomanden: 10 während der Vorhabenslaufzeit

#### Durchführung:

- Einarbeitung des Wissenschaftlers Frank Weber (bis Ende 10/03)
- Vertiefen und präzisieren der Anforderungen an eine zukünftige heterogene Telekommunikationsinfrastruktur (Trick; bis Ende 11/03)
- Analyse der Anforderungen an die Mobilitätsunterstützung in einem heterogenen Telekommunikationsnetz, u.a. durch Diskussion mit den Kooperationspartnern (Trick; Weber; bis 01/04)
- Einarbeitung/Einstellung des 2. Wissenschaftlers Soulaïmane El Bouarfati (bis Ende 01/04)
- Analyse der Anforderungen an Sicherheit und Datenschutz, u.a. durch Diskussion mit den Kooperationspartnern (Trick; Weber; El Bouarfati bis 03/04)
- Recherchieren möglicher Lösungen für die Mobilitätsunterstützung (Weber, El Bouarfati Diplomanden, Trick; bis 05/04)
- Bewertung der Lösungen für die Mobilitätsunterstützung unter Berücksichtigung einer heterogenen, heutige Netze einbeziehenden Kommunikationsinfrastruktur (Weber, El Bouarfati, Trick; bis 07/04)
- Recherchieren möglicher Lösungen für Sicherheit und Datenschutz unter Berücksichtigung von Mobilitätsunterstützung, auch bei Festnetzanschlüssen (Weber, El Bouarfati, Diplomanden, Trick; bis 09/04)
- Bewertung der Lösungen für Sicherheit und Datenschutz unter Berücksichtigung einer heterogenen, heutige Netze einbeziehenden, Mobilität unterstützenden Kommunikationsinfrastruktur (Weber, El Bouarfati, Trick; bis 11/04)
- Erarbeitung eines Modells für ein entsprechendes Gesamtnetz (Weber, El Bouarfati, Diplomanden; Trick, bis 03/05)
  - \* Netzelemente, Techniken, Architektur und Struktur
  - \* Ausarbeiten von Vorschlägen, welche Funktionen zur Mobilitätsunterstützung und für Sicherheit und Datenschutz wo im Netz angesiedelt werden sollten
  - \* Beschreibung in einem Modell
  - \* Definition von Kriterien zur Bewertung
  - \* Analyse käuflicher Software bzw. Software-Entwicklungsumgebung im Hinblick auf Einsetzbarkeit
  - \* Realisierung eines Simulationsmodells
- Ausarbeiten eines Gesamtkonzepts für ein heterogenes Telekommunikationsnetz anhand der erhaltenen und bewerteten Ergebnisse (Weber, El Bouarfati, Trick; bis 04/05)
  
- Laufzeit des Forschungsvorhabens über 19 Monate
- Beginn am 01.10.2003
- Ende am 30.04.2005

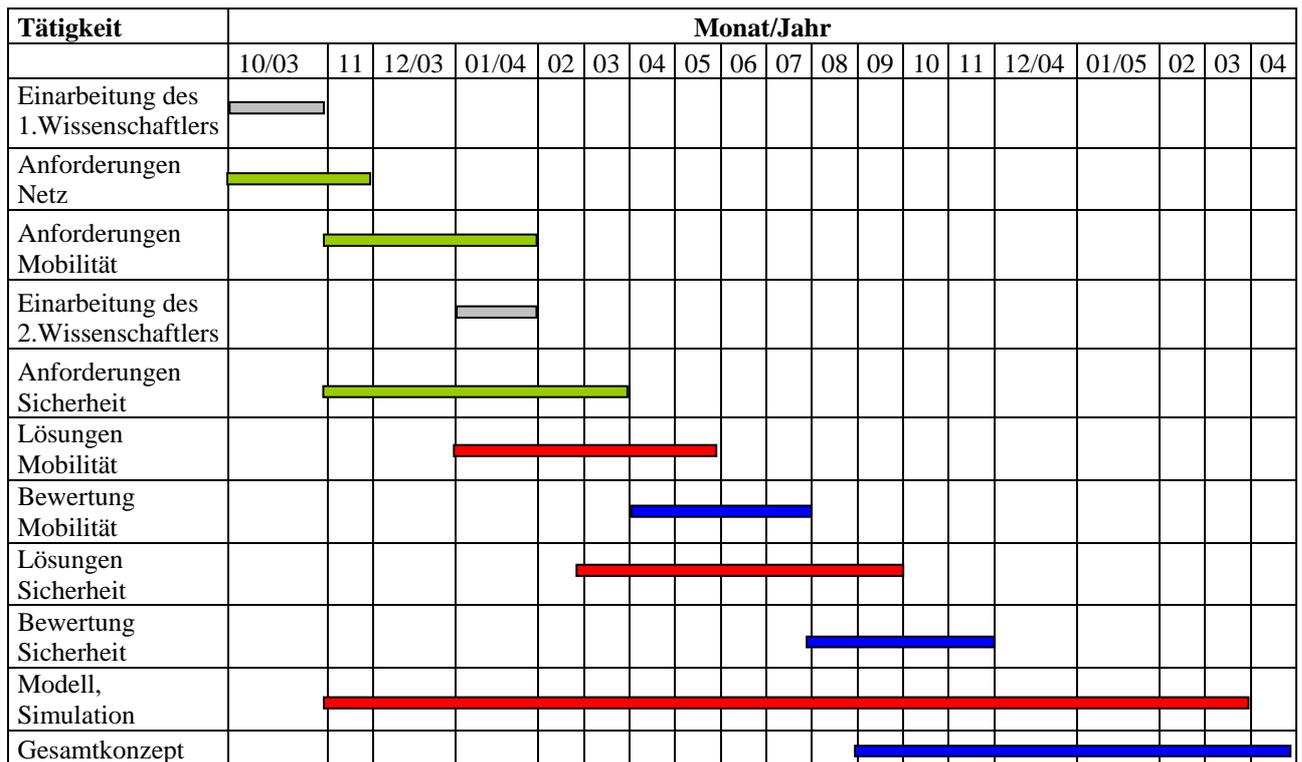


Bild 3.1: Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Laufe des Projekts hat sich gezeigt, dass eine Verlängerung der Dauer von 17 auf 19 Monate im Rahmen des bewilligten Budgets sinnvoll ist, speziell bez. des Netzmodells und der damit erzielbaren Ergebnisse . Sie wurde beantragt, bewilligt und dementsprechend durchgeführt.

## 4 Wirtschaftlicher und technischer Stand

Zur Klärung des Standes der Wissenschaft und Technik bez. des Themas dieses Vorhabens ist im Folgenden relevante Literatur zusammengestellt:

- [3GA1] 3GPP TS 33.203: 3G Security; Access security for IP-based services (Release 6). 3GPP, June 2002
- [3GA2] 3GPP TS 33.203: 3G Security; Access security for IP-based services (Release 5). 3GPP, June 2002
- [3GN] 3GPP TS 33.210: 3G Security; Network Domain Security (NDS); IP network layer security (Release 5). 3GPP, June 2002
- [3GM] 3GPP TS 23.057: Mobile Execution Environment (MExE); Functional description; Stage 2 (Release 6). 3GPP, September 2002
- [Cas] Castells, Manuel: Das Informationszeitalter I – Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft. Leske + Budrich, 2001
- [ITG] Bärwald, W. et al.: FMC – Konvergenz von Fest- und Mobilfunknetzen. ITG-Fachgruppe 5.2.4, Dez. 1999
- [IP6] SB3G: IPv6 activities of the „Systems beyond 3G“ cluster. IST, July 2002
- [Kub] Kubicek, Herbert et al.: Innovation@Infrastruktur - Jahrbuch Telekommunikation und Gesellschaft 2002. Hüthig, 2002
- [Rae] Raeppe, Martin: Sicherheitskonzepte für das Internet. dpunkt, 2001
- [Rot] Roth, Jörg: Mobile Computing. dpunkt, 2002
- [Sch] Schneier, Bruce: Secrets & Lies. dpunkt, 2001
- [SH1] SHAMAN-Workshop: Security for mobile systems beyond 3G. IST, July 2002
- [SH2] SHAMAN-Intermediate Report: Results of Review, Requirements and Reference Architecture – overview of existing security technologies relevant to the definition of a security architecture for post 3G systems. IST, Nov. 2001
- [Ske] Skehill, Ronald J.; McGrath, Sean: IP Mobility Management Survey for Mobile Hosts. ITT Conference, Waterford, Oct. 2002
- [Tri1] Trick, Ulrich: Infrastruktur der Informationsgesellschaft – Weg zur ökonomisch effizienten, sozial gerechten und ökologisch verträglichen Fortentwicklung der Informations- und Kommunikationsgesellschaft. Essay zum Reimut-Jochimsen-Preis, Sept. 2002
- [Tri2] Trick, Ulrich: All over IP – der Schlüssel zur Kommunikationsinfrastruktur der Zukunft. Erscheint in der ntz, H.1, 2003
- [VIS] SB3G: A Vision on Systems beyond 3G. IST, 2001

Beim Studium dieser Quellen bzw. ganz allgemein beim Recherchieren zu Literatur über zukünftige Telekommunikationsnetze wird deutlich, dass der Fokus eindeutig auf IP-basierten Netzen liegt, dabei aber fast ausschließlich Mobilkommunikation mit Funktechnologien betrachtet wird. Ein gutes Beispiel hierfür aus dem IST-Programm (Information Society Technologies) der Europäischen Union ist [VIS]. Zwar findet man in [ITG] eine Gesamtsicht des Themas „Konvergenz von Fest- und Mobilfunknetzen“, allerdings konnten dort die Themen nur angerissen werden, eine Vertiefung bzw. Anpassung auf die neuesten

Entwicklungen und Tendenzen bei den Telekommunikationsnetzen unterblieb. Insofern wurden und werden auch die Themen Mobilitätsunterstützung sowie Sicherheit und Datenschutz in der Literatur fast ausschließlich aus der Sicht funkbasierter Zugänge behandelt.

[IP6] und [Ske] greifen das Thema Mobilität auf, sowohl die netzübergreifende Makromobilität als auch Mikromobilität innerhalb eines Netzes. Allerdings wird dabei nicht auf Mobilität in Festnetzen und die Einbeziehung bestehender Festnetze wie ISDN eingegangen. Das Resume ist, dass die bisherigen Techniken zur Mobilitätsunterstützung noch nicht ausreichend sind. Insgesamt scheint es aber so, dass basierend auf den Ergebnissen für Mobilfunkanschlüsse auch Lösungen für Festnetzanschlüsse bzw. allgemeiner für heterogene Telekommunikationsnetze erarbeitet werden können. In [Rot] wird das Thema Mobilität aus Sicht der einzelnen Techniken behandelt, ihre konkrete Anwendung auf Netze und vor allem auf heterogene Netze bleibt offen. Im 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP), in dem u.a. die Standardisierung für UMTS läuft, wird das Thema Mobilitätsunterstützung in zahlreichen Technical Specifications angesprochen, z.B. in [3GM]. Entsprechend der Aufgabenstellung von 3GPP werden dabei aber ausschließlich Mobilfunknetze betrachtet. Aber auch hier erscheint es lohnend, bei den Spezifikationen für die zukünftigen Releases 5 und 6 nach Synergien für Festnetze und heterogene Gesamtnetze zu suchen.

Ähnliches wie für die Mobilitätsunterstützung gilt für die Themen Sicherheit und Datenschutz. Wie u.a. aus [SH1], [SH2], [3GA] und [3GN] hervorgeht, liegt auch hier die Zielsetzung eindeutig auf Lösungen und Vorgaben für funkbasierte Netze. In [Sch] und [Rae] werden zwar Fragestellungen und Lösungen für Festnetze behandelt, allerdings wird dort vor allem von reinen IP-Netzen, nicht von heterogenen Telekommunikationsnetzen mit unterschiedlichsten Zugängen und Gateways ausgegangen.

Aus den zitierten Quellen geht hervor, dass im Hinblick auf die Zukunft der technischen Kommunikation, der Telekommunikation, normalerweise immer nur ein ganz bestimmter Blickwinkel eingenommen wird. Allgemein bedeutet dies, dass in technisch ausgerichteten Aufsätzen einfach anhand der sich abzeichnenden technologischen Möglichkeiten die heutigen Netze in die Zukunft extrapoliert werden, normalerweise noch mit dem einseitigen Fokus auf die Mobilfunknetze oder Teilen davon. Eine andere Herangehensweise ist die aus soziologischer Sicht, ohne tiefgreifende Kenntnis der Technik, wie z.B. in [Cas]. Dies führt zwar zu einem tiefergehenden Verständnis der Gesellschaft, aber nicht zu konkreten Hinweisen für die Weiterentwicklung der Netze. Dem wird zwar in [Kub] ein Stückweit Rechnung getragen, in dem das Thema Kommunikationsinfrastruktur in allen möglichen Lebensbereichen angesprochen wird, auch im Hinblick auf die Technik, aber die einzelnen Beiträge bleiben für sich, ein Gesamtzukunftsszenario entsteht nicht.

Daher wurde in [Tri1] ein vielversprechender Ansatz verfolgt, der bei den gesamtgesellschaftlichen Anforderungen ansetzt, dabei aber immer auch die technischen Aspekte mit im Blick hat. Eine erste Vertiefung mit Blick auf die derzeitigen technischen Tendenzen und speziell das Problem der Quality of Service erfolgte in [Tri2].

Dieser innovative Ansatz ist die Basis für die Ausarbeitung eines Gesamtkonzepts zur Optimierung heterogener, paketbasierter Telekommunikationsnetze. Ausgehend von den Ergebnissen in [Tri1] und [Tri2] ist dabei ein besonderes Augenmerk auf Mobilität sowie Sicherheit und Datenschutz zu richten, da diese Themenbereiche bisher weitgehend losgelöst von heterogenen Netzen behandelt wurden und zukünftig massiv an Bedeutung gewinnen werden.

Ziel ist es dabei, ein so extrem komplexes System wie die heterogene Telekommunikationsinfrastruktur der Zukunft unter Berücksichtigung der grundlegenden Anforderungen an die Funktionen, aber auch ökonomischer, ökologischer und sozialer Fragen, bei Nutzung für spezielle Netze und Subnetze existierender oder sich abzeichnender Lösungen zu optimieren bzw. ein entsprechendes Szenario aufzuzeigen. Dabei soll die hohe Komplexität durch Konzentration auf das Wesentliche reduziert werden, so dass das Gesamtnetz mit seinen wesentlichen Parametern, nicht mit Details, in einem Simulationsmodell, das eine Bewertung anhand von Funktionalität, Netzarchitektur, Kosten etc. ermöglicht, dargestellt werden kann.

Die anstehenden Veränderungen auf dem Gebiet der Telekommunikationsnetze führen in der Gesamtheit zu sehr komplexen heterogenen Telekommunikationsnetzen. Abhilfe zur Komplexitätsreduktion könnte hier ein strukturiertes Modell schaffen. Allerdings zeigt sich bald, dass man mit dem OSI-Referenzmodell [X200] mit seinen sieben Schichten rasch an unüberwindliche Grenzen stößt. Auch eine Modellerweiterung mit Strata und Planes gemäß dem ISDN- und dem generischen Protokoll-Referenzmodell der ITU-T [I320; I322] kann die Grenzen nur hinausschieben, nicht überwinden, da das größte Problem, die Verteilung zentraler Netzfunktionen wie „Dienste“, „Mobilität“, „Sicherheit“ und „Quality of Service“ über verschiedene Schichten und Planes damit nicht modelliert werden kann. Aber gerade diese über das Netz verteilten und damit schwer fassbaren Funktionen werden in herausragender Weise von den Anforderungen an ein Netz adressiert. Daher war es eine sehr wesentliche Aufgabenstellung in diesem Vorhaben ein leistungsfähiges und an den Anforderungen orientiertes Netzmodell zu entwickeln.

## 5 Zusammenarbeit mit externen Stellen

Im Laufe des Vorhabens wurden wie geplant die Kontakte zu externen Stellen vertieft, um aus der Praxis bzw. von ausgewiesenen Fachleuten sowohl bez. der Anforderungen als auch der Lösungen weiterführende Informationen zu erhalten. Dies fand sowohl in Form von Fachgesprächen als auch E-Mail-Austausch und Telefonaten statt. Nachfolgend sind die wichtigsten Firmen/Behörden/Organisationen und die korrespondierenden Themenschwerpunkte aufgelistet.

- Marconi Communications GmbH, Frankfurt a.M.
  - \* NGN (Next Generation Networks)
  - \* Softswitch
  - \* Sicherheit und Softswitch-Lösung
- T-Systems International GmbH, Darmstadt
  - \* IN (Intelligent Network)
  - \* UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), Köln
  - \* Sicherheit in Telekommunikationsnetzen
  - \* Sicherheit im Zusammenhang mit SIP und IP
- ITG-Fachgruppe 5.2.3 „Next Generation Networks“ (Informationstechnische Gesellschaft im VDE)
  - \* Mitarbeit durch Prof. Trick
  - \* Diskussion aller mit dem Thema NGN zusammenhängenden offenen Punkte

## 6 Erzielte Ergebnisse

### 6.1 Anforderungen an die zukünftige Telekommunikationsinfrastruktur

Basis der im Folgenden erarbeiteten Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur sind Gesellschaftsmodell und -bild aus [Tric1]. Dabei ist die generelle Anforderung, dass die Einzelnen in ihrer Kommunikation innerhalb und zwischen den gesellschaftlichen Gruppen bestmöglich durch die technische Infrastruktur unterstützt werden. Ziel dabei ist die qualitative und quantitative Verbesserung der Lebensqualität und dabei die Einbeziehung möglichst aller Menschen in den gesellschaftlichen Kommunikationsprozess. Dies wird durch die Kriterien ökonomisch effizient, sozial gerecht und ökologisch verträglich umschrieben [Tric1]. Soziale Gerechtigkeit meint, dass keine gesellschaftliche Gruppe benachteiligt wird, sozial Schwache sogar eher gefördert werden.

Diese Vorgehensweise soll die Fragen „Was will der Mensch?“, „Was ist wünschenswert oder wenigstens akzeptabel?“ in den Mittelpunkt stellen (nicht die wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten), um über voraussagbare Lebensgewohnheiten der Menschen möglichst treffsichere Zukunftsprognosen abgeben zu können [Opas1; Opas2; Opas3]. Tabelle 6.1 listet die wichtigsten, sich aus erarbeitetem Gesellschaftsmodell und -bild ergebenden Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur auf. Sie resultieren aus der Überlegung: Was braucht jede der genannten gesellschaftlichen Gruppen und Gesellschaftsbereiche für eine möglichst optimale Kommunikation und damit Weiterentwicklung? Hierbei ebenfalls berücksichtigt sind die Ergebnisse der Aktivitäten der UNO (United Nations Organization) beim „World Summit on the Information Society (WSIS)“ [WSIS].

Daraus ergeben sich Anforderungen der Gesamtgesellschaft wie „Zugang für alle Bürger zur öffentlichen Infrastruktur“, „Keine gesundheitlichen Risiken“, „Infrastruktur auch für zukünftige Dienste“, „Vernetzung aller gesellschaftlichen Gruppen“ und „Verschiedenste Dienste“. Andererseits erhält man spezifische Anforderungen einzelner Gruppen oder Bereiche, wobei es hier natürlich Überlappungen und damit Mehrfachnennungen gibt. Im Folgenden sind die wichtigsten Beziehungen genannt. Jede Anforderung wird dabei nur einmal erwähnt:

Unternehmen → „Private“ Subnetze; hohe Netzzuverlässigkeit und -verfügbarkeit; Sicherheit und Datenschutz; hohe Mobilität; Förderung von Produktivität/Automatisierung

Ältere → Anwenderfreundlich

Kinder → Schutz vor Gewalt, Rassismus, Pornografie; öffentliche Netzzugänge, z.B. in Schulen, Bibliotheken; kostenfreier/-günstiger Zugang zu Information/Wissen

Landbewohner → Gleichwertige Netzzugänge in Stadt und Land

Gesundheitswesen → Schutz der Privatsphäre; Multimedia-Anwendungen

Ausländer → Nutzung in verschiedenen Sprachen

Weniger Vermögende → Kostengünstiger Netzzugang; kostengünstige Endgeräte

Familien, Freunde → Zugänge bei der Arbeit, von zu Hause und unterwegs

Öffentliche Verwaltung → Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen

Technik → Einbindung der bestehenden Infrastruktur

Umwelt → Geringer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung; geringer Energieverbrauch im Betrieb; geringe Umweltbelastung in Herstellung, Betrieb und Entsorgung

Ergänzt wird diese Liste durch direkte Anforderungen zu den Kosten der Infrastruktur: niedrige Betriebskosten; niedrige Systemkosten bei Neuinstallation von Teilnetzen; niedrige Inbetriebnahmekosten bei Neuinstallation von Teilnetzen.

Besonders wünschenswert ist die Unterstützung von breitbandigen Multimedia-Anwendungen. Die damit mögliche audiovisuelle Aufbereitung von Informationen und komfortable Kommunikation senkt durch die resultierende Benutzerfreundlichkeit die Hemmschwelle zur Anwendung, z.B. bei älteren, aber auch bei behinderten Menschen [WSIS], und erleichtert den Prozess der Umsetzung von Information in Wissen, z.B. bei Kindern. Allgemeiner ausgedrückt ist die Anwenderfreundlichkeit die wichtigste Anforderung an die zukünftige Kommunikationsinfrastruktur, sowohl aus ökonomischer als auch aus sozialer Sicht. Sie bestimmt maßgeblich, wie effizient die Nutzung ist und welche Bevölkerungsgruppen wie stark partizipieren.

Bei der Frage nach der zukünftigen Kommunikationsinfrastruktur müssen neben den Anforderungen aus Tabelle 6.1 auch die weiteren Randbedingungen „Erlebnisorientierung“, „Älter und kleiner werdende Gesellschaft“, „Regionen mit zunehmend dünnerer Besiedelung“ und „Situation in der Telekommunikationsbranche“ berücksichtigt werden.

Tabelle 6.1: Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur

<b>Anforderungen</b>
Zugang für alle Bürger zur öffentlichen Infrastruktur
Keine gesundheitlichen Risiken
Infrastruktur auch für zukünftige Dienste
Vernetzung aller gesellschaftlichen Gruppen
Verschiedenste Dienste
„Private“ Subnetze
Hohe Netzzuverlässigkeit und -verfügbarkeit
Sicherheit und Datenschutz
Hohe Mobilität
Förderung von Produktivität/Automatisierung
Anwenderfreundlich
Schutz vor Gewalt, Rassismus, Pornografie
Öffentliche Netzzugänge, z.B. in Schulen, Bibliotheken
Kostenfreier/-günstiger Zugang zu Information/Wissen
Gleichwertige Netzzugänge in Stadt und Land
Schutz der Privatsphäre
Multimedia-Anwendungen

Nutzung mit verschiedenen Sprachen
Kostengünstiger Netzzugang
Kostengünstige Endgeräte
Zugänge bei der Arbeit, von zu Hause und unterwegs
Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen
Einbindung der bestehenden Infrastruktur
Geringer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung
Geringer Energieverbrauch im Betrieb
Geringe Umweltbelastung in Herstellung, Betrieb und Entsorgung
Niedrige Betriebskosten
Niedrige Systemkosten bei Neuinstallation von Teilnetzen
Niedrige Inbetriebnahmekosten bei Neuinstallation von Teilnetzen

Die Frage nach der Infrastruktur ist die Frage nach Netz-, Systemarchitektur und Technik. Unter diesem Blickwinkel werden jetzt die Anforderungen aus Tabelle 6.1 auf konkretere technische Aspekte abgebildet. Hierbei erhält man, wie in den Tabellen 6.2 und 6.3 dargestellt, einige grundlegende Einsichten in die zukünftige Technik. Dabei wird auch bereits angedeutet, an welchen Stellen das SIP (Session Initiation Protocol) einen wichtigen Beitrag leisten kann.

Tabelle 6.2: Aus den Anforderungen sich ergebende technische Aspekte

<b>Anforderungen</b>	<b>Technische Aspekte (→ möglicher Beitrag von SIP)</b>
Zugang für alle Bürger zur öffentlichen Infrastruktur	Landesweites, breitbandiges Multimedia-Netz (→SIP); landesweit gleichwertige Zugänge (→SIP)
Keine gesundheitlichen Risiken	Funktechnik nicht als Ersatz für Festnetzanschlüsse; Kombination verschiedener Funktechniken, möglichst geringe Sendeleistung; intelligente Antennen
Infrastruktur auch für zukünftige Dienste	Diensteunabhängige breitbandige Plattform; möglichst Lichtwellenleiter als Übertragungsmedium; Netzarchitektur, die einfach Entwicklung und Einbringung neuer Dienste unterstützt (→SIP)
Vernetzung aller gesellschaftlichen Gruppen	Paketnetz (→SIP); universelle, standardisierte Teilnehmerschnittstellen (→SIP)
Verschiedenste Dienste	Paketnetz (→SIP); diensteunabhängige breitbandige Plattform (→SIP); universelle, standardisierte Teilnehmerschnittstellen (→SIP)
„Private“ Subnetze	Virtuelle private Netze; einfach einzurichten
Hohe Netzzuverlässigkeit und -verfügbarkeit	Definierte Quality of Service (QoS), auch für Echtzeitanwendungen (→SIP); Maschennetz; Systemredundanz
Sicherheit und Datenschutz	Authentifizierung (→SIP); Verschlüsselung; Firewalls; Virenschutz; Anti-Spam- und Anti-SPIT-Maßnahmen (Spam over Internet Telephony); virtuelle private Netze
Hohe Mobilität	Übergreifendes Roaming zwischen Mobilfunk- und Festnetzen; persönliche, Session-, Dienste- und Endgerät-Mobilität (→SIP);

	Rufnummernportabilität; Funktechniken mit umfassenden Handover-Mechanismen
Förderung von Produktivität/Automatisierung	Netz, das einfach und standardisiert Anbindung von Maschinen, Geräten, Kleidungsstücken etc. unterstützt
Anwenderfreundlich	Einfach zu bedienende multifunktionale Endgeräte (→SIP), z.B. mit Sprachsteuerung; 1 personalisiertes Endgerät für Mobilfunk- und Festnetze; 1 Voicebox; 1 Rechnung; 1 Vertrag; Betriebssysteme für Schnellstart
Schutz vor Gewalt, Rassismus, Pornografie	Content Filter (→SIP)
Öffentliche Netzzugänge, z.B. in Schulen, Bibliotheken	Kostengünstige Teilnehmerzugänge
Kostenfreier/-günstiger Zugang zu Information/Wissen	Multimedia-Server mit „echtem“ Content; kostengünstige breitbandige Teilnehmerzugänge
Gleichwertige Netzzugänge in Stadt und Land	Kostengünstige Netzstruktur auch für dünner besiedelte Gebiete; gleiche Dienste über unterschiedliche Access-Techniken (→SIP)
Schutz der Privatsphäre	Verschlüsselung; Firewalls; virtuelle private Netze
Multimedia-Anwendungen	Hohe Bandbreite
Nutzung in verschiedenen Sprachen	Dolmetscher-Server bzw. Software (→SIP); Endgeräte intuitiv bedienbar
Kostengünstiger Netzzugang	Jeweils kostengünstigste Access-Technik; möglichst Verwendung vorhandener Infrastruktur, z.B. von bereits verlegten Kabeln
Kostengünstige Endgeräte	Einheitliche Technik für verschiedenste Dienste (→SIP); offene, standardisierte Schnittstellen (→SIP)
Zugänge bei der Arbeit, von zu Hause und unterwegs	Universelle Rufnummern/Adressierung (→SIP); übergreifendes Roaming zwischen Mobilfunk- und Festnetzen (→SIP)
Berücksichtigung der regulatorischen Anforderungen	z.B. Abhör-Maßnahmen, Notruf-Unterstützung

Tabelle 6.3: Aus den Umweltaanforderungen und Netzkosten sich ergebende technische Aspekte

<b>Anforderungen</b>	<b>Technische Aspekte (→ möglicher Beitrag von SIP)</b>
Einbindung der bestehenden Infrastruktur	Gateways (→SIP); Nutzung der vorhandenen Access-Netze
Geringer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung	Längere Laufzeiten für System-Hardware, neue Leistungsmerkmale über Software (→SIP)
Geringer	Power Down Mode bei Endgeräten und Netzabschlüssen; keine

Energieverbrauch im Betrieb	Fernspeisung; energiesparende Systemtechnik und Technologie
Geringe Umweltbelastung in Herstellung, Betrieb und Entsorgung	Längere Laufzeiten für System-Hardware, neue Leistungsmerkmale über Software (→SIP)
Niedrige Betriebskosten	Möglichst nur eine Technik (→SIP); möglichst geringe Netzkomplexität; Sprache und Daten über 1 Kernnetz (→SIP); 1 Kernnetz für alle Access-Netze; einheitliches bzw. netzübergreifendes Netzmanagement
Niedrige Systemkosten bei Neuinstallation von Teilnetzen	Einheitliche Technik (→SIP); offene, standardisierte Systeme (→SIP)
Niedrige Inbetriebnahmekosten bei Neuinstallation von Teilnetzen	Einheitliche Technik (→SIP); einheitliches Netzmanagement

Da weiterhin von einem deregulierten Umfeld auszugehen ist, wird die zukünftige Infrastruktur natürlich nicht von einem Anbieter betrieben, sondern es wird wie heute schon mehrere Betreiber geben, jeweils für die Netze, die Dienste und die Inhalte. Sowohl wegen der System- als auch der Betriebskosten wird jeder Netzbetreiber versuchen, alle Dienste und Inhalte über ein Netz mit einheitlicher Technik anbieten zu können. Diese Forderung gilt speziell für sein Kernnetz. Im Access-Bereich, zu den einzelnen Kunden hin, wird er wiederum aus Kostengründen so weit wie möglich die vorhandene Infrastruktur (z.B. die Kupferkabel) nutzen. Damit die Technik für die einzelnen Netze, die Dienste und die Inhalte zu einer Gesamtinfrastruktur zusammengeschaltet werden kann, muss mit offenen, am besten standardisierten Schnittstellen gearbeitet werden. Niedrige Betriebskosten sind nur mit einem übergreifenden, zumindest in Teilbereichen einheitlichen Netzmanagement zu erreichen. Da unterschiedlichste Dienste, von der Steuerung eines Schalters (z.B. zum Ferneinstellen der Heizung) bis zur hochbitratigen, interaktiven Multimediakommunikation (z.B. bei einer medizinischen Behandlung an zwei räumlich getrennten Orten in Echtzeit) unterstützt werden sollen, mit konstantem und/oder burstartigem Datenaufkommen, muss das Gesamtnetz flexibel Bitraten von wenigen bit/s bis vielen Mbit/s für einen Dienst unterstützen. Dies ist kostengünstig nur mit einem Paketnetz realisierbar. Ausgehend vom heute verfügbaren Internet und den damit gegebenen Möglichkeiten wird dieses Paketnetz ein IP-Netz mit gegenüber dem heutigen Internet erweiterten Leistungsmerkmalen sein.

Die heutigen Netze, z.B. ISDN und GSM, arbeiten weitgehend kanalorientiert. Da sie ebenfalls aus Kostengründen noch längere Zeit weiter betrieben werden, müssen diese Netze über Gateways an die zukünftige paketorientierte IP-Kommunikationsinfrastruktur angebunden werden.

Das zukünftige Kernnetz muss, um Multimediakommunikation für alle zu unterstützen und um zukunftssicher zu sein, sehr hohe Bandbreiten, viele Tbit/s, handhaben können. Gleichzeitig muss die Netztechnik unabhängig von den Diensten sein. Da eine wichtige Rolle nach wie vor Echtzeitanwendungen wie Telefonie spielen, muss das Netz eine definierte Quality of Service (QoS) bieten, z.B. darf die Verzögerung nie einen bestimmten, für die Sprachkommunikation noch akzeptablen Maximalwert überschreiten. Eine weitere wichtige Anforderung an die Infrastruktur ist die massive Unterstützung des Vernetzungsgedankens. Jede gesellschaftliche Gruppe sollte nach Bedarf ihr eigenes virtuelles privates Netz innerhalb des Gesamtnetzes nutzen können.

Nur ein Kernnetz bedeutet auch, dass Fest- und Mobilfunknetze zusammen wachsen, dass sie sich nur noch in der Access-Technik unterscheiden. Damit sollte es auch einfacher sein, Mobilität in jeder Form – in einem Netz, zwischen Netzen (Roaming), mit z.B. einer universellen Rufnummer, einem Endgerät – zu unterstützen. Ein sehr wichtiger Punkt, der unter anderem die Mobilitätsunterstützung umfasst, ist die Anwenderfreundlichkeit. Hier gibt es vor allem bei den Endgeräten und ihrer Anbindung an die Netze ein sehr großes Potential. Ziel muss es sein, einen Großteil der Dienste mit einem einzigen multifunktionalen, einfach zu bedienenden und kostengünstigen Endgerät an einem Fest- oder Mobilanschluss nutzen zu können, unabhängig vom lokalen Netzbetreiber und der Zugangstechnik. Will ein Anwender auf Informationen, auf Inhalte zugreifen, muss das umgehend möglich sein: z.B. sollte das Hochfahren des Betriebssystems eines PCs nicht länger dauern als der Einschaltvorgang bei einem Fernsehgerät. Insgesamt muss für die Nutzer die Technik viel unsichtbarer werden. Die Basis für kostengünstige Zugänge sind die optimale Ausnutzung und Gestaltung der Access-Technik und trotz vieler verschiedener Dienste nur wenige universelle und standardisierte Teilnehmerschnittstellen. Funktechnik sollte nur wenn unbedingt notwendig und dann mit der für die Anwendung optimalen Technik zum Einsatz kommen, zum einen wegen der Bandbreiten, zum anderen wegen der elektromagnetischen Strahlung. Ein technisch einheitliches Netz mit offenen Schnittstellen ist rel. anfällig gegen Manipulationen, Angriffe, Überwachung etc. Daher werden durchgängige, wirkungsvolle Techniken zum Schutz der Daten und der Persönlichkeitssphäre benötigt wie Authentifizierungs- und Verschlüsselungsmechanismen, Firewalls, Virenschutz, Anti-Spam- und Anti-SPIT-Maßnahmen (Spam over Internet Telephony) sowie Content Filter. Geht man davon aus, dass für die zukünftigen IP-basierten Telekommunikationsnetze die gleichen regulatorischen Anforderungen wie heute für das ISDN und die GSM/UMTS-Mobilfunknetze gelten, müssen auch die Techniken zum Abhören und für Notrufe bereitgestellt werden.

Bei der System-Hardware ist sowohl bei der Systemkonzeption als auch bei der Technologie auf niedrigen Energie- und Ressourcenverbrauch zu achten, speziell bei in sehr hohen Stückzahlen vorkommenden Komponenten wie Netzabschlüssen und Endgeräten. Während heute z.B. ISDN-Netzabschlüsse bei Nichtnutzung automatisch in einen energiesparenden Power Down Mode gehen, ist dies bei den viel moderneren breitbandigeren und damit energieintensiveren xDSL-Anschlüssen (Digital Subscriber Line) größtenteils leider nicht der Fall. Sie sind 24 Stunden am Tag daueraktiv, auch wenn der Anwender überhaupt nicht online ist. Endgeräte sollten so konzipiert und realisiert werden, dass mit unveränderter Hardware, einfach durch Download und Aktivierung neuer Software, zukünftige neue Dienste und Leistungsmerkmale realisiert werden können.

Am schwierigsten, da nur zu einem geringen Teil durch die Technik bestimmbar, ist die Anforderung, kostengünstig Inhalte, Informationen, Wissen bereitzustellen. Hier kann die Infrastruktur nur unterstützend mit offenen und einfachen Schnittstellen sowie geeigneten Server-Techniken wirken.

## 6.2 Erstellung eines Netzmodells

Ausgangspunkt bei der Erstellung des neuen Netzmodells waren die derzeitigen umfassenden Veränderungen auf dem Gebiet der Telekommunikationsnetze. In der Gesamtheit führen diese Veränderungen zu sehr komplexen heterogenen Telekommunikationsnetzen.

Abhilfe zur Komplexitätsreduktion könnte hier ein strukturiertes Modell schaffen. Allerdings zeigt sich bald, dass man mit dem OSI-Referenzmodell [X200] mit seinen sieben Schichten

rasch an unüberwindliche Grenzen stößt. Auch eine Modellerweiterung mit Strata und Planes gemäß dem ISDN- und dem generischen Protokoll-Referenzmodell der ITU-T [I320; I322] kann die Grenzen nur hinausschieben, nicht überwinden, da das größte Problem, die Verteilung zentraler Netzfunktionen wie „Dienste“, „Mobilität“, „Sicherheit“ und „Quality of Service“ über verschiedene Schichten und Planes damit nicht modelliert werden kann. Aber gerade diese über das Netz verteilten und damit schwer fassbaren Funktionen werden in herausragender Weise von den Anforderungen an ein Netz adressiert.

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein neues Netzmodell gemäß Bild 6.1 entwickelt, das hier konkrete Abhilfe schafft. Das Netzmodell führt zusätzlich zu den Strata und Planes Funktionssäulen sowie als säulenübergreifende Erweiterung das Netzmanagement und konkrete Netzmerkmale wie Teilnehmerzahlen, Verkehrsgrößen etc. ein.

Es liefert die Grundlage sowohl für den Entwurf neuer als auch die Migration bestehender Netze, von der Anforderungsanalyse anhand der Säulen, d.h. bezogen auf „Dienste“, „Mobilität“ usw., über die funktionale Modellierung bis hin zur Optimierung bezüglich Architektur, Verkehr, Kosten, Gewinn etc. Letzteres wird durch ein das grafische Modell ergänzendes leistungsfähiges Rechnungsmodell zur Variantenrechnung möglich.

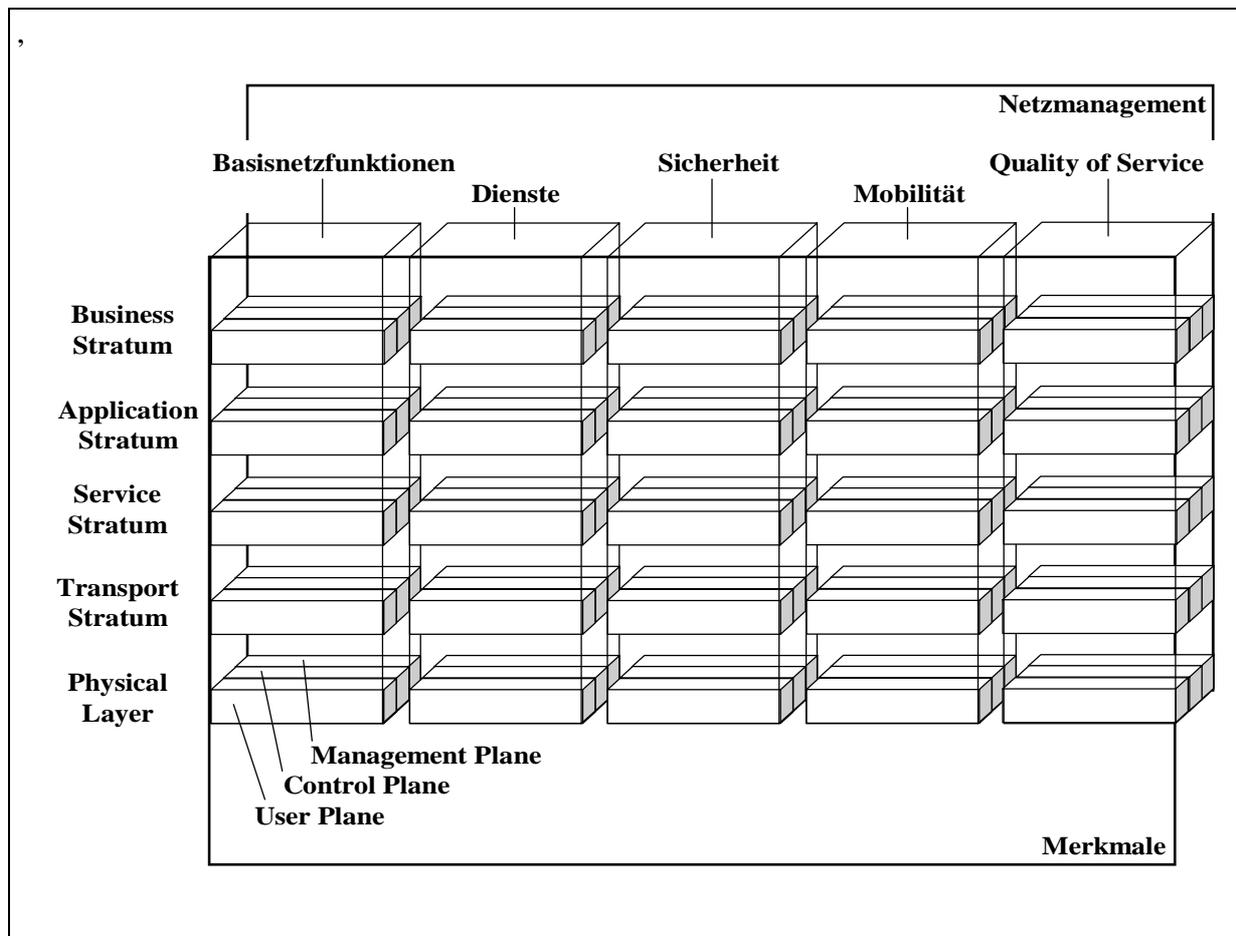


Bild 6.1: Neues Netzmodell mit Strata und Funktionssäulen

Dieses neue Netzmodell ist auf verschiedenste Netze wie GSM, UMTS, ISDN, SIP/IP (Session Initiation Protocol) oder auch zukünftige Netzformen anwendbar, ermöglicht die Definition der logischen und physikalischen Netzknoten, unterstützt das Design der Gateways

bei einer Zusammenschaltung verschiedener Netze und bietet umfangreichen Support für die qualitative und quantitative Optimierung der Netzarchitekturen, Kosten etc.

Die konkrete Anwendung des Modells auf Netzszenarien bis hin zu einem heterogenen Netz, bestehend aus SIP/IP-, GSM-, ISDN- und UMTS-Netz desselben oder mehrerer Betreiber, wird aufgezeigt.

Basierend auf den Ergebnissen werden Empfehlungen zum Netzdesign gegeben.

## 6.2.1 Aufbau des Netzmodells

Das hier vorgestellte neue Netzmodell bietet eine strukturierte grafische Modellierung beliebiger Telekommunikationsnetze, unabhängig vom Verbindungskonzept (verbindungsorientiert/ verbindungslos) und Vermittlungsprinzip (leitungsvermittelt/ paketvermittelt) mit frei wählbarer Abstraktionstiefe. Ergänzt wird das grafische Modell durch ein leistungsfähiges Rechenmodell.

Bild 6.1 zeigt das neue grafische Netzmodell in der Gesamtübersicht. Es besteht aus Strata, Planes und Funktionssäulen. Dabei entsprechen die Strata in erster Näherung Schichten, wie sie vom OSI-Referenzmodell (Layer 1 bis 7) bekannt sind. Allerdings kann ein Stratum, wie in [I320; I322] definiert, mehr als eine OSI-Schicht (Layer) umfassen. Darüber hinaus wurde der Stratum-Begriff hier weiter gefasst als in [I320; I322], so dass ein Stratum nicht auf die OSI-Schichten 3, 2 und ggf. 1 beschränkt bleiben muss.

Gemäß Bild 6.1 basiert dieses universelle Netzmodell auf fünf Strata. Der Physical Layer steht für die übertragungstechnischen Funktionen, z.B. SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Das Transport Stratum umfasst alle Funktionen, die für den Transport der Nutz-, Signalisierungs- und Managementdaten benötigt werden, z.B. PPP (Point-to-Point Protocol), IP, UDP (User Datagram Protocol). Das darüber liegende Service Stratum stellt die Funktionalität zur Bereitstellung der Basisdienste in einem Netz zur Verfügung, z.B. RTP (Real-time Transport Protocol) und SIP für die Echtzeitkommunikation in einem Paketnetz. Bietet das Netz auch komplexere Dienste, wie sie beispielsweise mittels Application Servern, Conference Servern oder dem IN (Intelligent Network) realisiert werden können, sind die zugehörigen Funktionen dem Application Stratum zuzuordnen. Das Business Stratum schließlich umfasst die IT-Umgebungen, die sich des Telekommunikationsnetzes bedienen. Zur Detaillierung der Strata dienen die Planes: User, Control und Management Plane. Sie ermöglichen die Kategorisierung der Funktionen innerhalb eines Stratums in solche, die der Nutz- (User Plane), der Steuer- (Control Plane) und der Netzmanagementinformation (Management Plane) zuzuordnen sind, z.B. RTP (User), SIP (Control) und SNMP (Management) im Service Stratum eines SIP/IP-Netzes.

Das eigentlich Neue an diesem Netzmodell ist die Erweiterung der Strata und Planes um fünf, erforderlichenfalls auch mehr Funktionssäulen: Basisnetzfunktionen, Dienste, Sicherheit, Mobilität und Quality of Service. Sie wurden eingeführt, um diese in modernen Netzen entscheidenden, aber in bisherigen Modellen funktional über die Layer/Strata und Planes „verschmierten“ Funktionen hier jeweils als Einheit modellieren und designen zu können. Damit steht ein Netzmodell zur Verfügung, bei dem nicht nur die Beschränkungen des OSI-Referenzmodells mit seinen sieben Schichten überwunden wurden, sondern in dem auch noch das viel größere Problem der Modellierung netzübergreifender Funktionen wie Sicherheit oder Mobilität gelöst ist.

Ergänzt werden die Funktionssäulen und damit die Beschreibung eines Telekommunikationsnetzes noch durch das säulenübergreifende Netzmanagement und die konkreten Merkmale (z.B. Teilnehmerzahlen, Verkehrswerte, Kosten etc.) des Netzes. Diese beiden Ergänzungen können als Vorder- und Rückwand des grafischen Modells angesehen werden (Bild 6.1).

**Grafisches Modell:**

Das hier vorgestellte Netzmodell wurde auf Excel-Basis realisiert. In diesem Kapitel wird das Netzmodell prinzipiell beschrieben. Das Bild 6.2 zeigt den Aufbau des Netzmodells auf Excel-Basis. Die drei Planes wurden anhand Excel-Listen erstellt. Excel-Listen ermöglichen das Filtern und Verwalten von Gruppen aus zusammenhängenden Daten in einem Excel-Arbeitsblatt.

Für jede Plane sind bis zu 220 Zellen vorgesehen, damit kann eine Plane bis zu 220 verschiedene Funktionen enthalten.

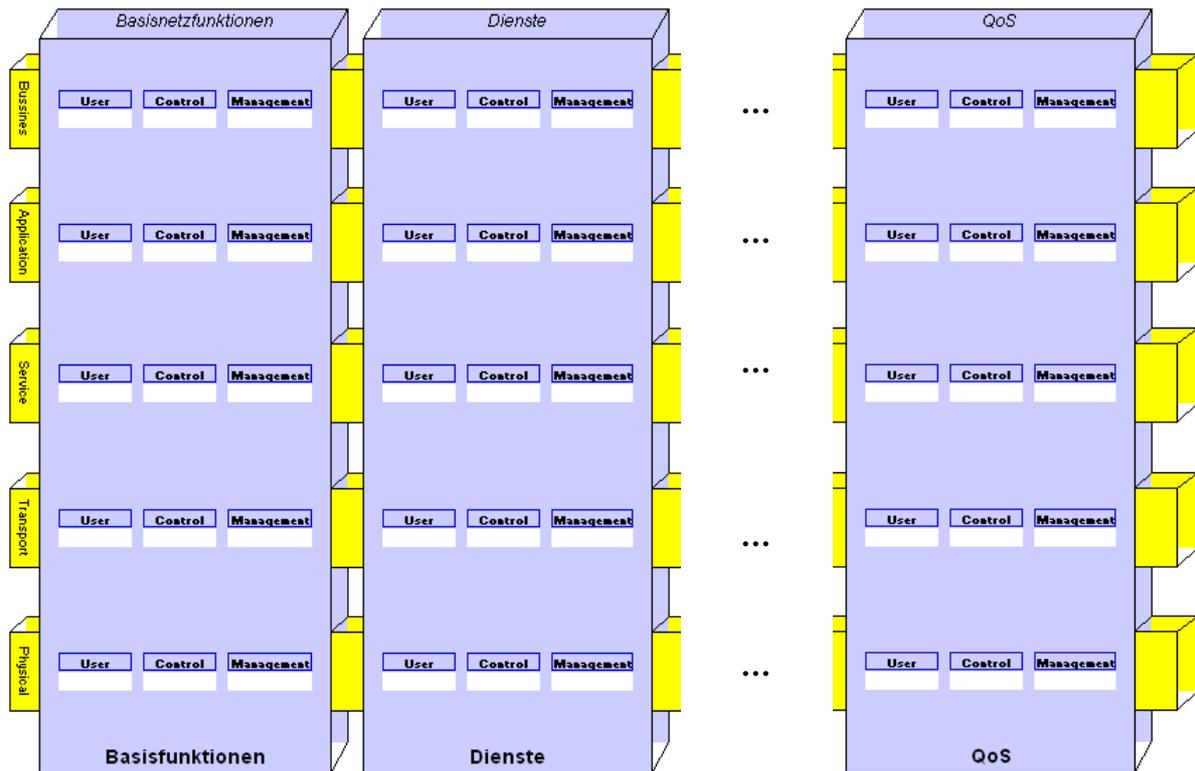


Bild 6.2: Aufbau des Netzmodells auf Excel-Basis

Das neue Netzmodell bietet zusätzlich zu den 5 Funktionssäulen das Netzmanagement und konkrete Merkmale als eine säulenübergreifende Erweiterung (Bild 6.3).

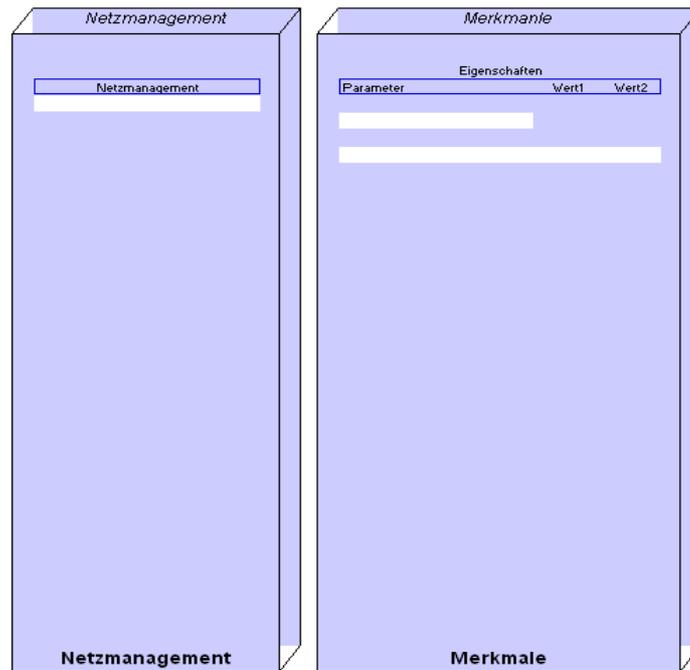


Bild 6.3: Säulenübergreifende Erweiterung des Netzmodells

Die Funktionen und Protokolle, die den Funktionssäulen, Strata und Planes zugeordnet werden, werden aus den Anforderungen des zu modellierten Netzes abgeleitet. Hierfür bietet das Netzmodell, wie im Bild 6.4 ersichtlich ist, eine grafische Oberfläche.

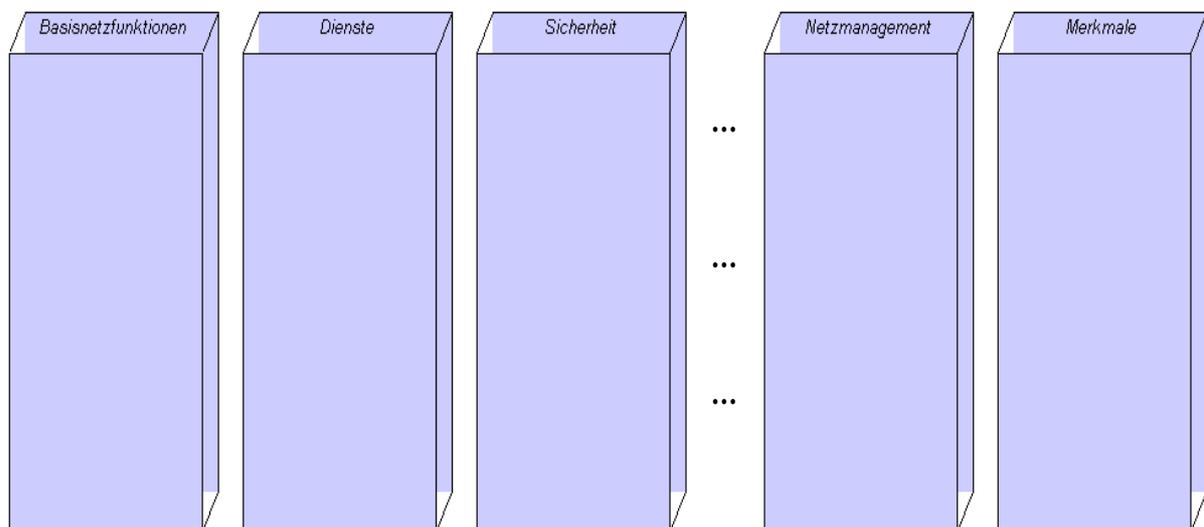


Bild 6.4: Graphische Oberfläche für Definition der Netzanforderungen

Beispiel:

Im Folgenden wird das grafische Netzmodell anhand eines Beispiels beschrieben. Als Beispiel eines zu modellierenden Netzes wird hier das Netz GSM betrachtet.

Das Bild 6.5 zeigt die beispielhaften Anforderungen an

- Basisnetzfunktionen
- Dienste
- Sicherheit
- Mobilität
- Quality of Service (QoS)
- Netzmanagement
- Merkmale.

Dieser erste Schritt bei der Netzmodellierung entspricht der „natürlichen“ Vorgehensweise beim Formulieren von Anforderungen an ein Netz, da diese sich vorzugsweise auf die netzübergreifenden Funktionen wie Dienste, Sicherheit, Mobilität, Quality of Service, Netzmanagement und Merkmale beziehen. Im nächsten Schritt werden Funktionen aus den Anforderungen abgeleitet und den Funktionssäulen, Strata und Planes zugeordnet.

Bild 6.6 zeigt einen Ausschnitt aus dem grafischen Netzmodell für das GSM-Netz. Dabei ist zu sehen, dass das neue Netzmodell nicht nur eine präzise Einteilung der Funktionen und Protokolle auf die Funktionssäulen, Strata und Planes erlaubt, sondern auch eine strukturierte Beschreibung komplexer Telekommunikationsnetze ermöglicht.

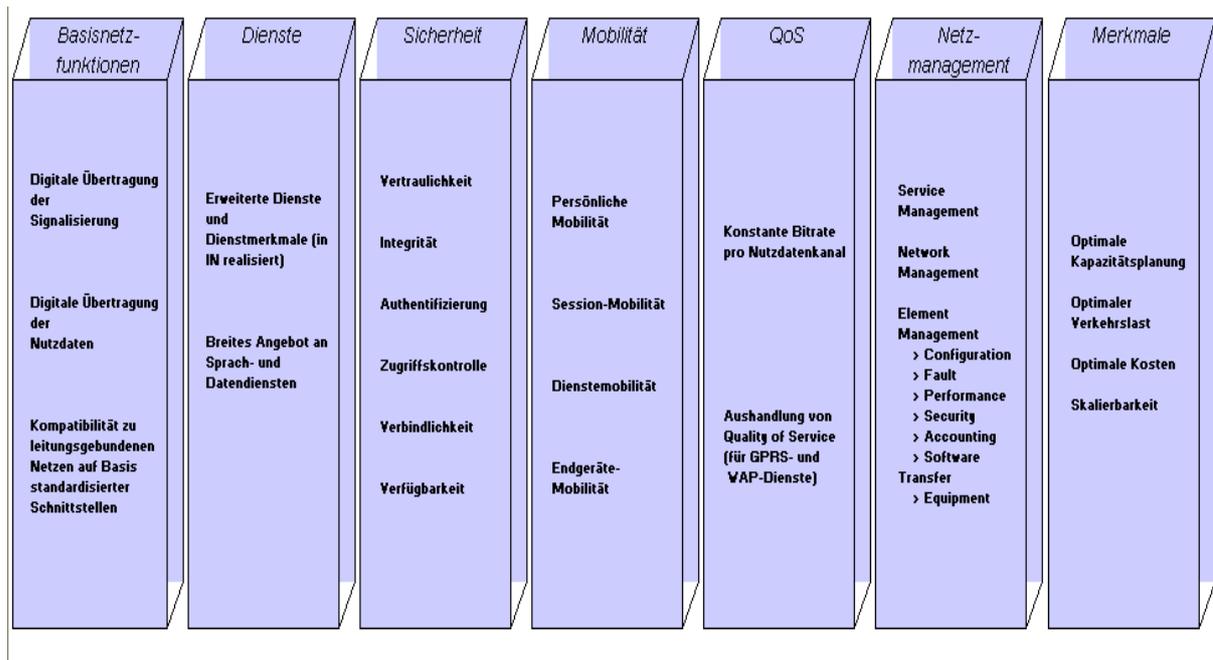


Bild 6.5: Beispiel der Anforderungen an ein GSM-Netz

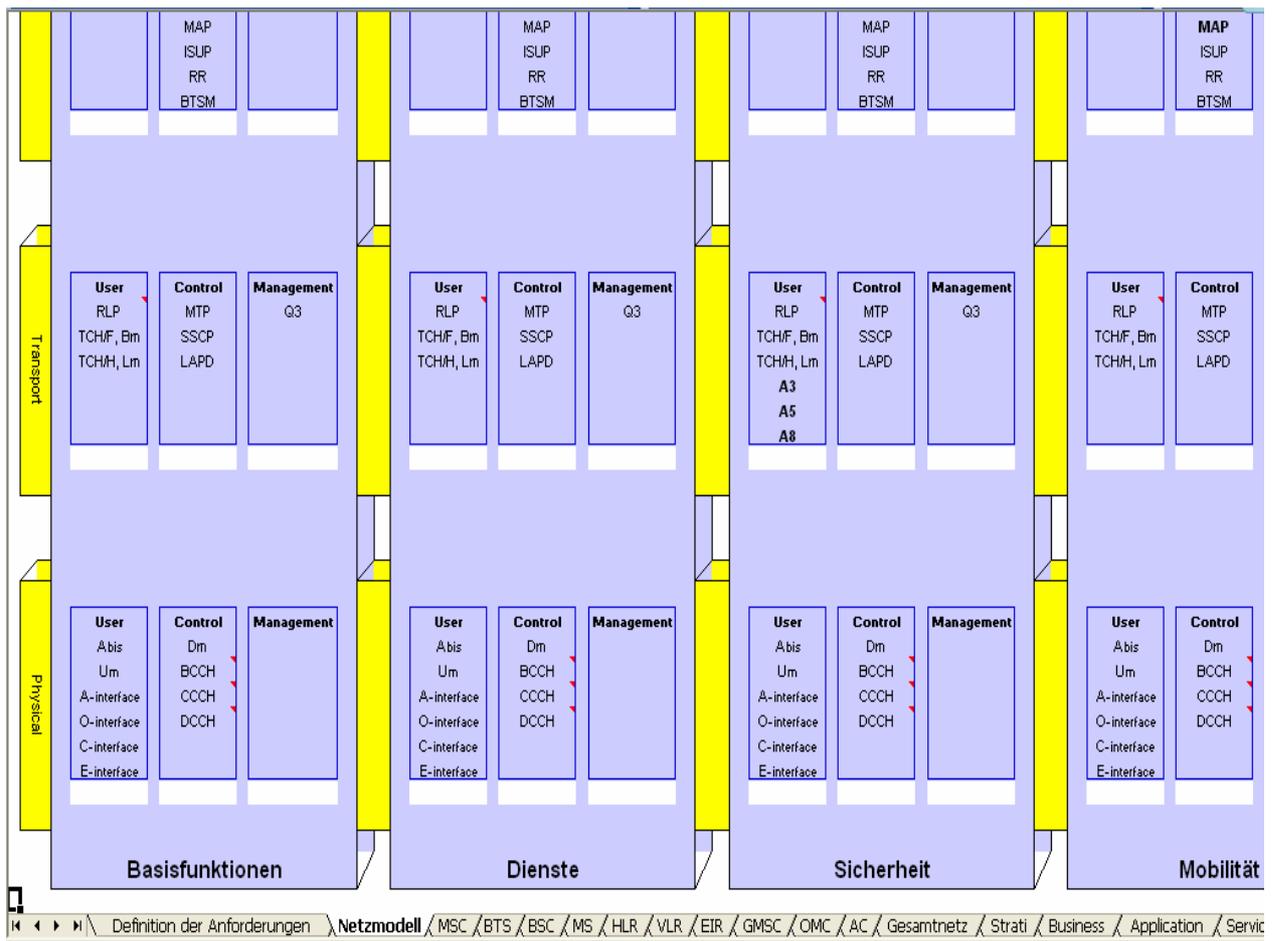


Bild 6.6: Funktionen des GSM-Netzes

Bild 6.7 zeigt einen Ausschnitt aus dem Netzmodell. Hier werden die Funktionen eingeführt, die netzübergreifend sind (z.B. Teilnehmerzahlen, Verkehrswerte, Kosten etc.). Letzteres wird durch ein das grafische Modell ergänzendes leistungsfähiges Rechnungsmodell zur Variantenrechnung möglich.

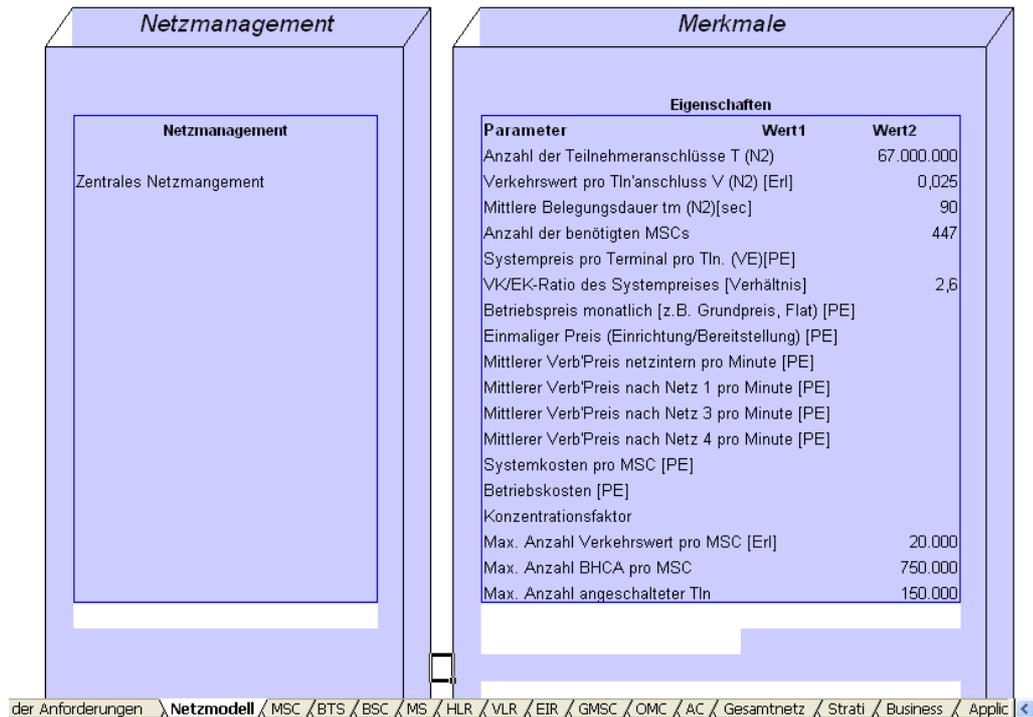


Bild 6.7: Netzübergreifende Funktionen für GSM-Netz

Die Funktionalitäten eines kompletten Telekommunikationsnetzes wie in Bild 6.6 lassen sich auf einzelne Netzelementtypen (abhängig vom konkreten Netztyp: z.B. SIP/IP-basiert, ISDN, GSM oder UMTS) aufteilen. Im Falle des hier betrachteten Beispiels sind dies z.B. MSC (Mobile Switching Centre), BSC (Base Station Controller), BTS (Base Transceiver Station), HLR (Home Location Register), VLR (Visitor Location Register) und MS (Mobile Station). Dabei kann es sich um physikalische und/oder logische Netzelemente handeln. Jeder Netzelementtyp wird hierbei in Form eines separaten Säulenmodells dargestellt, das bezüglich seiner Zelleneinteilung in Säulen, Strata und Planes identisch zum Gesamtnetzmodell ist. Bild 6.8 zeigt dies für ein MSC. Jedes Netzelement stellt bezüglich seiner Funktionen eine Untermenge des Gesamtnetzmodells dar bzw. die Überlagerung aller Netzelementmodelle ergibt das Gesamtnetzmodell.

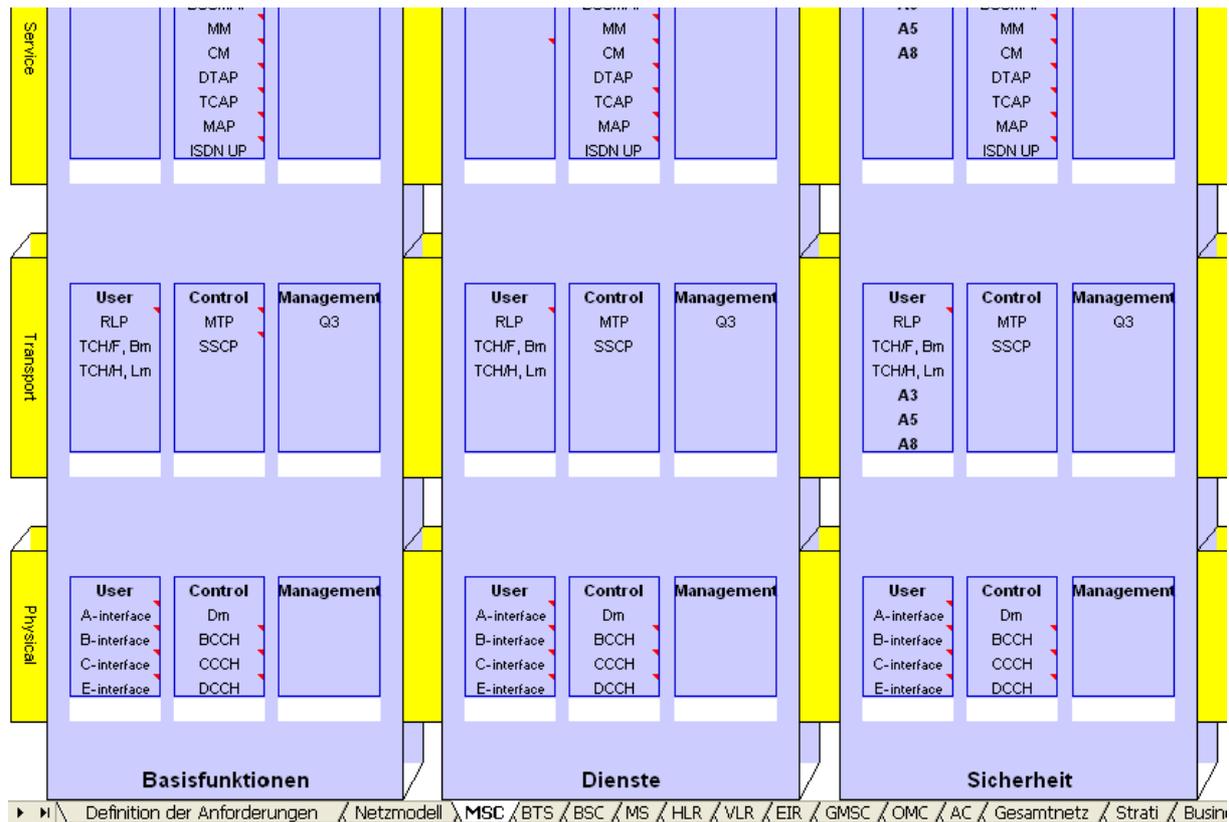


Bild 6.8: Funktionen des Netzelementtyps MSC als Untermenge des gesamten Netzmodells

Bild 6.9 zeigt ein zusätzliches Merkmal des grafischen Netzmodells. Demzufolge ist es möglich den prinzipiellen Aufbau des GSM-Netzes gemäß Bild 6.9 direkt mit den Netzmodellen der einzelnen Netzelementtypen zu verknüpfen, so dass beim Klicken auf einen Netzelementtyp in Bild 6.9 sofort das Netzmodell dieses Netzelementtyps angezeigt wird. Dieses Merkmal verschafft einen besseren Gesamtüberblick über das Netz.

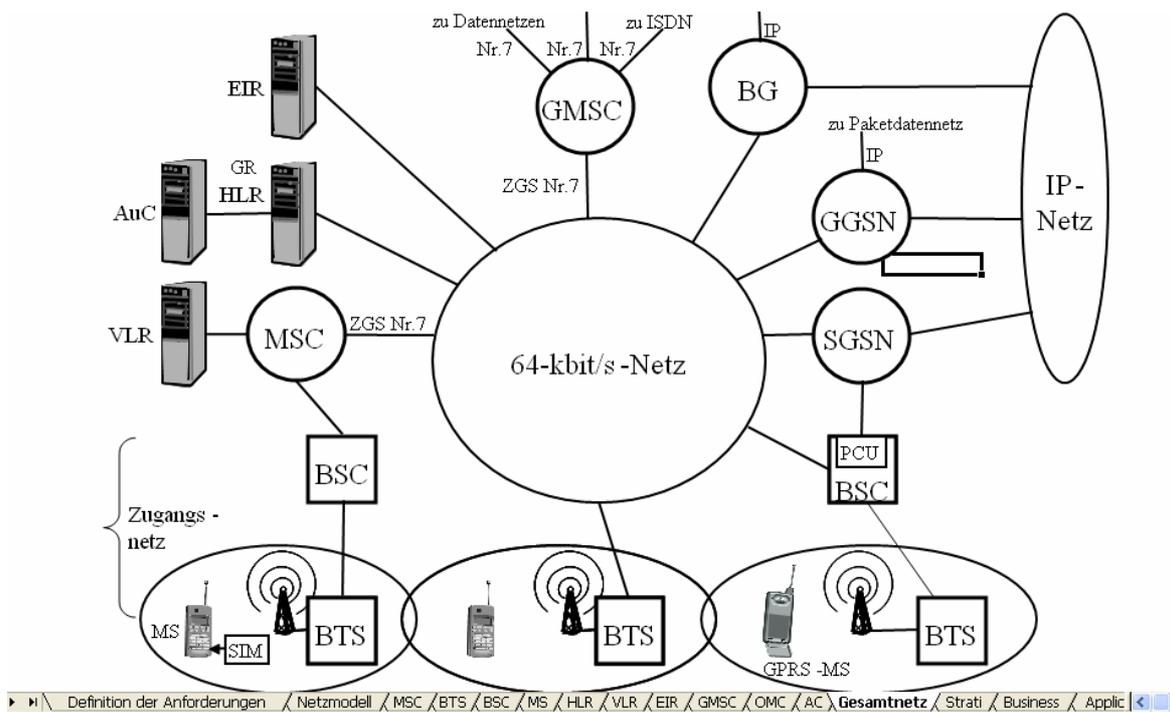


Bild 6.9: Prinzipieller Aufbau des GSM-Netzes

**Rechnungsmodell:**

Das Rechnungsmodell erlaubt das Auslesen von in Zahlen vorliegenden Merkmalen (z.B. Teilnehmeranzahl, Verkehrswerte, Kosten) von bis zu vier beliebigen TK-Netzen aus ihren jeweiligen grafischen Netzmodellen. Mit diesen importierten Merkmalen von bis zu vier verschiedenen Telekommunikationsnetzen und erforderlichenfalls weiteren hinzugefügten Merkmalgrößen können Netzberechnungen (z.B. Anzahl erforderlicher Vermittlungssysteme), Netzoptimierungen (z.B. Minimierung der Anzahl erforderlicher Gateways) und Migrationsszenarien (z.B. Übergang von GSM/UMTS Release 99 nach UMTS Release 7) betrachtet werden.

Für die Einbeziehung einer zeitabhängigen Entwicklung, z.B. der Teilnehmerzahlen, Verkehrswerte und Kosten, bietet das Rechnungsmodell die Verwaltung beliebig vieler, kompletter Einzelszenarien. Damit kann die Entwicklung sämtlicher Ein- und Ausgabeparameter über der Zeit (Zeiteinheit frei dimensionierbar) dargestellt werden.

Im Folgenden werden sämtliche Teile des Rechnungsmodells vorgestellt und erläutert. Das Tabellenblatt für die Eingabe von Netzparametern kann in zwei grundsätzliche Bestandteile zerlegt werden. Im oberen Teil des Blattes „Eingabewerte“ befinden sich die Eingabezellen für netzbezogene Parameter, jeweils für die Netze 1 bis 4. Im unteren Teil des Blattes sind Angaben für die netzübergreifende Kommunikationswegewahl zu machen.

Bild 6.10 zeigt die netzbezogenen Parameter, die aus dem Netzmodell für das ISDN-Netz automatisch importiert worden sind. Diese Parameter bilden die Grundlage für die Netzoptimierung. Die Parameter im Bild 6.10 sind in vier Gruppen unterteilt:

- Teilnehmeranschlüsse/ Terminals: In dieser Gruppe werden anschluss- bzw. endgerätebezogene Angaben gemacht.
- Interconnet-Kosten: In dieser Gruppe werden Angaben über dem Netzbetreiber tatsächlich entstehende Kosten für Verbindungen in andere Netze gemacht.
- Teilnehmer-Vermittlungseinheiten: Diese Gruppe dient der Angabe von für die Dimensionierung der in einem Netz einzusetzenden Teilnehmer-Vermittlungseinheiten (z.B. ISDN-TVSt) benötigten Parameterwerten.
- Sonstige/ Transit-Vermittlungseinheiten: Diese Gruppe dient der Angabe von für die Dimensionierung der in einem Netz einzusetzenden Durchgangs-Vermittlungseinheiten (z.B. ISDN-Transit-VSt) benötigten Parameterwerten.

		<b>Eingabewerte für Verkehrsberechnung</b>				
		<b>Zeitpunkt 1</b>	<b>Zeitpunkt 2</b>	<b>Zeitpunkt 3</b>	<b>Zeitpunkt 4</b>	<b>Zeitpunkt 5</b>
<b>Netz 1 - PSTN</b>						
<b>Teilnehmeranschlüsse/Terminals</b>						
E 001	Anzahl der Teilnehmeranschlüsse T (N1)	48.200.000	46.191.667	44.183.333	42.175.000	40.166.667
E 002	Verkehrswert pro TIn'anschluss V (N1) [Erl]	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119
E 003	Abgehender Anteil von V (N1) [Prozent]	50	50	50	50	50
E 004	Mittlere Belegungsdauer t <sub>n</sub> (N1) [sec]	128	128	128	128	128
E 005	Systempreis pro Terminal pro TIn. (VK) [PE]	0	0	0	0	0
E 006	VK/EK-Ratio des Systempreises [Verhältnis]	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
E 007	Betriebspreis monatlich (z.B. Grundpreis, Flat) [PE]	0	0	0	0	0
E 008	Einmaliger Preis (Einrichtung/Bereitstellung) [PE]	0	0	0	0	0
E 009	Mittlerer Verb'Preis netzintern pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
E 010	Mittlerer Verb'Preis nach Netz 2 pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
E 011	Mittlerer Verb'Preis nach Netz 3 pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
E 012	Mittlerer Verb'Preis nach Netz 4 pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
E 013	Verkehrsverhältnis (Busy Hour) : (Tagesmittel) [x:1]	2	2	2	2	2
<b>Interconnect-Kosten</b>						
E 014	Mittlere Verb'Kosten nach Netz 2 pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
E 015	Mittlere Verb'Kosten nach Netz 3 pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
E 016	Mittlere Verb'Kosten nach Netz 4 pro Minute [PE]	0	0	0	0	0
<b>Teilnehmer-Vermittlungseinheiten</b>						
E 017	Systemkosten pro Einheit [PE]	750000	750000	750000	750000	750000
E 018	Betriebskosten pro Einheit pro Monat [PE]	7000	7000	7000	7000	7000
E 019	Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	100000	100000	100000	100000	100000
E 020	Gewünschter Konzentrationsfaktor pro Einheit [x:1]	8	8	8	8	8
E 021	Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
E 022	Max. Anzahl angeschalteter TIn-Nutzkanäle pro Einheit	50000	50000	50000	50000	50000
<b>sonstige/Transit- Vermittlungseinheiten</b>						
E 023	Belastung durch xxx der N1-Teilnehmerverkehr(inkl. Interca) [x:]	75	75	75	75	75
E 024	Systemkosten pro Einheit [PE]	750000	750000	750000	750000	750000
E 025	Betriebskosten pro Einheit pro Monat [PE]	7000	7000	7000	7000	7000
E 026	Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	100000	100000	100000	100000	100000
E 027	Gewünschter Konzentrationsfaktor pro Einheit [x:1]	8	8	8	8	8
E 028	Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000

Bild 6.10: Die aus dem Netzmodell importierten Parameter

Im Rahmen der Hauptgruppe „Interconnect-Wegewahl“ (Bild 6.11) können Angaben über die Wegewahl des netzübergreifenden Verkehrs gemacht werden. Alle Angaben beziehen sich hierbei separat auf den aus jedem Netz abgehenden und in jedem anderen Netz ankommenden Verkehr.

Es existieren vier Eingabegruppen, die sich jeweils auf eines der vier Netze als Verkehrsquellnetz beziehen. Innerhalb jeder Eingabegruppe erfolgt eine auf die drei möglichen Zielnetze ausgelegte Einteilung.

Mittels prozentualer Angaben wird für jedes Verkehrsquellnetz festgelegt, welche Anteile des abgehenden Interconnect-Verkehrs in jedes andere Netz welchen Weg nehmen. Hierbei werden jeweils alle technisch möglichen Verkehrswege angeboten. Bild 6.11 zeigt die Angaben über die Wegewahl für das Netz 1 in die anderen drei möglichen Zielnetze.

		Eingabewerte für Verkehrsberechnung					
		Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3	Zeitpunkt 4	Zeitpunkt 5	
<b>Interconnect-Wegewahl</b>							
<b>Netz 1</b>							
E	115	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 2 über direktes GW</b>	100	100	100	100	100
E	116	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 2 über Netz 3</b>	0	0	0	0	0
E	117	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 2 über Netz 4</b>	0	0	0	0	0
E	118	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 2 erst über Netz 3, dann über Netz 4</b>	0	0	0	0	0
E	119	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 2 erst über Netz 4, dann über Netz 3</b>	0	0	0	0	0
K	001	Gesamt (100 %)	100	100	100	100	100
<b>Netz 3</b>							
E	120	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 3 über direktes GW</b>	100	100	100	100	100
E	121	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 3 über Netz 2</b>	0	0	0	0	0
E	122	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 3 über Netz 4</b>	0	0	0	0	0
E	123	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 3 erst über Netz 2, dann über Netz 4</b>	0	0	0	0	0
E	124	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 3 erst über Netz 4, dann über Netz 2</b>	0	0	0	0	0
K	002	Gesamt (100 %)	100	100	100	100	100
<b>Netz 4</b>							
E	125	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 4 über direktes GW</b>	100	100	100	100	100
E	126	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 4 über Netz 2</b>	0	0	0	0	0
E	127	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 4 über Netz 3</b>	0	0	0	0	0
E	128	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 4 erst über Netz 2, dann über Netz 3</b>	0	0	0	0	0
E	129	% des abgehenden Interconnect-Verkehrs nach <b>Netz 4 erst über Netz 3, dann über Netz 2</b>	0	0	0	0	0
K	003	Gesamt (100 %)	100	100	100	100	100

Bild 6.11: Angaben für die netzübergreifende Kommunikationswegewahl

Das vorliegende Netzmodell unterstützt auch das Design der Gateways bei einer Zusammenschaltung verschiedener Netze. Bild 6.12 zeigt die erforderlichen Angaben, die die Gateways dimensionieren. Hier wurden nur die maximalen Werte von Verkehrswert und BHCA (Busy Hour Call Attempts) berücksichtigt.

Eingabewerte für Verkehrsberechnung	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Zeitpunkt 3	Zeitpunkt 4	Zeitpunkt 5
<b>Gateway-Dimensionierung</b>					
<b>GW A (I1/I2)</b>					
Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	100000	100000	100000	100000	100000
Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	16000000	16000000	16000000	16000000	16000000
<b>GW B (I2/I3)</b>					
Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	19354	19354	19354	19354	19354
Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	360000	360000	360000	360000	360000
<b>GW C (I3/I4)</b>					
Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
<b>GW D (I1/I4)</b>					
Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	19354	19354	19354	19354	19354
Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	360000	360000	360000	360000	360000
<b>GW E (I1/I3)</b>					
Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	19354	19354	19354	19354	19354
Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	360000	360000	360000	360000	360000
<b>GW F (I2/I4)</b>					
Max. Verkehrswert pro Einheit [Erl]	19354	19354	19354	19354	19354
Max. BHCA pro Einheit [Erl/s]	360000	360000	360000	360000	360000
Gesamtnutzung Mobilfunk	21.000.000	21.230.263	21.460.526	21.690.789	21.921.053
Netz-Verkehrsentwicklung Mobilfunk	525000,00	521546,05	554934,21	625164,47	732236,84
Eingabewerte / Verkehrsrechnung / Netz 1 / Netz 2 / Netz 3 / Netz 4 / Interconnect-Verkehr / Int: <					

Bild 6.12: Angaben für die Gateway-Dimensionierung

Mit den bisherigen Angaben bzw. Parametern in den Bildern 6.10 – 6.12 werden Netzberechnungen (z.B. Anzahl erforderlicher Vermittlungs-Systeme), Netzoptimierungen (z.B. Minimierung der Anzahl erforderlicher Gateways) und Migrationsszenarien (z.B. Übergang von ISDN nach SIP/IP) betrachtet und die Ergebnisse als sog. „Ergebnisparameter“ ausgegeben.

Die Ergebnisparameter des Verkehrsrechnungsmodells teilen sich grundsätzlich in die Gruppen „Verkehrsberechnung“ sowie „Netzdimensionierung und Kostenrechnung“. Diese beiden Gruppen werden im Rahmen dieses Kapitels detailliert erläutert.

Die Ausgabegruppe Verkehrsberechnung teilt sich in die im Folgenden aufgezählten Untergruppen auf.

**1. Zwischenberechnungen**

(Berechnung von ankommendem und abgehendem Verkehr pro Netz in Form von Teilnehmer-, Nutzkanal- und Netzverkehrswerten sowie Kontrollfunktionen)

**2. Richtungsabhängige Nutzkanal-Verkehrswerte**

(Berechnung von Nutzkanal-Verkehrswerten pro Kommunikationsrichtung (Verkehr von Netz x nach Netz x, Verkehr von Netz x nach Netz y etc.))

**3. Richtungsabhängige Netz-Verkehrswerte (erzeugt durch Teilnehmerverkehr in den jeweiligen Netzen)**

(Berechnung von Netz-Verkehrswerten pro Kommunikationsrichtung (Verkehr von Netz x nach Netz x, Verkehr von Netz x nach Netz y etc.) sowie Interconnect-Verkehrswert-Funktionen)

**4. Zusätzliche Belastung der Netze durch indirekten Interconnect-Verkehr**

(Detaillierte Aufschlüsselung sämtlichen Zusatzverkehrs pro Netz, der durch indirekte Interconnect-Verbindungen (Interconnect zwischen zwei Netzen unter Einbeziehung eines dritten und ggf. eines vierten Netzes zu Durchgangszwecken) entsteht)

**5. Tatsächliche Belastung der Netze durch Internverkehr sowie durch direkten und indirekten Interconnect-Verkehr**

(Berechnung des Gesamtverkehrs in jedem Netz unter Berücksichtigung sämtlicher verkehrerzeugender Quellen)

**6. Tatsächliche Belastung der Gateways durch direkten und indirekten Interconnect-Verkehr**

(Detaillierte Aufschlüsselung sämtlichen Interconnect-Verkehrs pro Gateway)

**7. Busy Hour Call Attempts (BHCA)**

(Berechnung von Teilnehmer- und Netz-BHCA pro Netz)

**8. Kontrollrechnungen NV (N1), NV (N2), NV (N3), NV (N4)**

(Ermittlung der Netz-Verkehrswerte aller Netze jeweils anhand zweier verschiedener Methoden zur Überprüfung der Richtigkeit der Rechnungsgrundlage dieser Ausgabegruppe)

Die Ausgabegruppe „Netzdimensionierung und Kostenrechnung“ besteht aus vier einzelnen Tabellenblättern, die die entsprechenden Ausgabe- und Kontrollparameter für jeweils eines der vier Netze enthalten. Pro Tabellenblatt existieren die folgenden Untergruppen.

**9. Teilnehmeranschlüsse/Terminals**

(Summen der dem Netzbetreiber des jeweiligen Netzes durch den Ein- und Weiterverkauf von Teilnehmerendgeräten entstehenden Einnahmen und Ausgaben sowie Summen der Einnahmen monatlicher Betriebs- und einmaliger (z.B. Einrichtungs-) Preise)

**10. Verbindungen**

(Einnahmen durch von Teilnehmern des eigenen Netzes abgehend geführte Verbindungen, durch Interconnect entstehende Einnahmen aus anderen Netzen, Ausgaben durch von Teilnehmern des eigenen Netzes abgehende Interconnect-Verbindungen)

**11. Teilnehmer-Vermittlungseinheiten**

(Dimensionierung)

- a) aufgrund der gegebenen maximalen Anzahl von anschaltbaren Teilnehmer-Nutzkanälen pro Teilnehmer-Vermittlungseinheit
- b) aufgrund des gegebenen maximalen Verkehrswertes pro Teilnehmer-Vermittlungseinheit
- c) aufgrund der gegebenen maximalen BHCA pro Teilnehmer-Vermittlungseinheit)

**12. Sonstige/Transit- Vermittlungseinheiten**

- (Berechnung der Gesamt-Verkehrsbelastung sowie der Gesamt-BHCA für Transiteinheiten im jeweiligen Netz)
- Dimensionierung
  - a) aufgrund des gegebenen maximalen Verkehrswertes pro sonstiger/Transit-Vermittlungseinheit aufgrund der gegebenen maximalen BHCA pro sonstiger/Teilnehmer-Vermittlungseinheit)

**13. Kostenrechnung**

- (Einmalige Einnahmen und Ausgaben
  - a) Für Teilnehmeranschlüsse/Terminals
  - b) Für Vermittlungseinheiten
  - c) Summe
- Monatliche Einnahmen und Ausgaben
  - a) Für Terminals

- b) Für Verbindungen
- c) Für Vermittlungseinheiten
- d) Summe))

### 6.2.2 Vorgehen beim Netzdesign

Nachdem in Kapitel 6.2.1 das neue Netzmodell prinzipiell beschrieben wurde, soll nun im Detail auf die schrittweise Modellierung eines komplexen Telekommunikationsnetzes eingegangen werden. Bild 6.13 zeigt die Vorgehensweise bei der Netzmodellierung im Überblick.

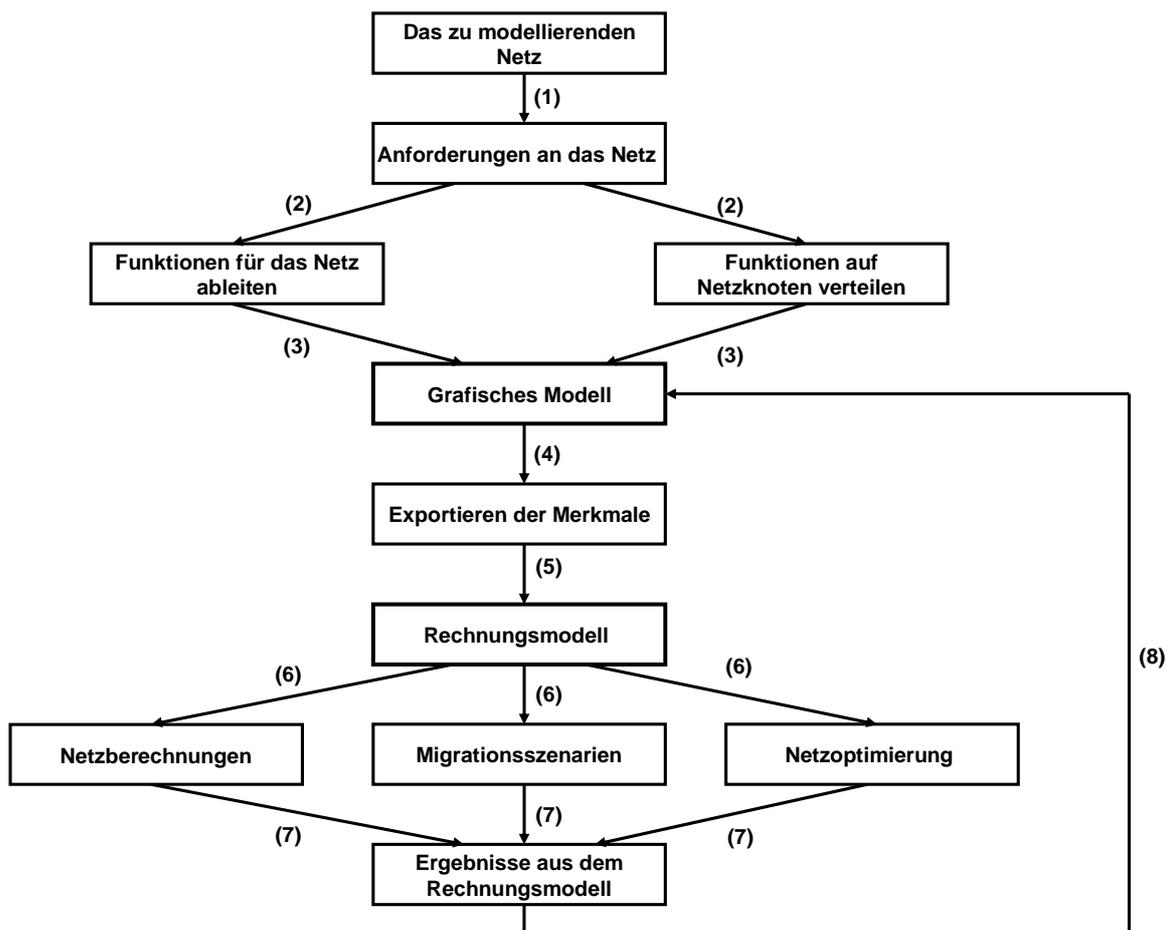


Bild 6.13: Vorgehensweise bei der Netzmodellierung

1. Schritt: Definition der Anforderungen an

- Basisnetzfunktionen
- Dienste
- Sicherheit
- Mobilität und
- Quality of Service

des zu modellierenden Netzes.

In Bild 6.14 ist dies vereinfacht für ein SIP/IP-Netz dargestellt. Dieser erste Schritt bei der Netzmodellierung entspricht der „natürlichen“ Vorgehensweise beim Formulieren von Anforderungen an ein Netz, da diese sich vorzugsweise auf die netzübergreifenden Funktionen wie Dienste, Sicherheit, Mobilität und Quality of Service beziehen.

2. Schritt: Aus Anforderungen Funktionen ableiten.

Aus den Anforderungen können konkrete Protokolle bzw. Funktionen abgeleitet und den Funktionssäulen, Strata und Planes zugeordnet werden.

Beispielhaft ist dieser zweite Schritt in den Bildern 6.15 und 6.16 für die Basisnetzfunktionen eines SIP/IP-Netzes dargestellt.

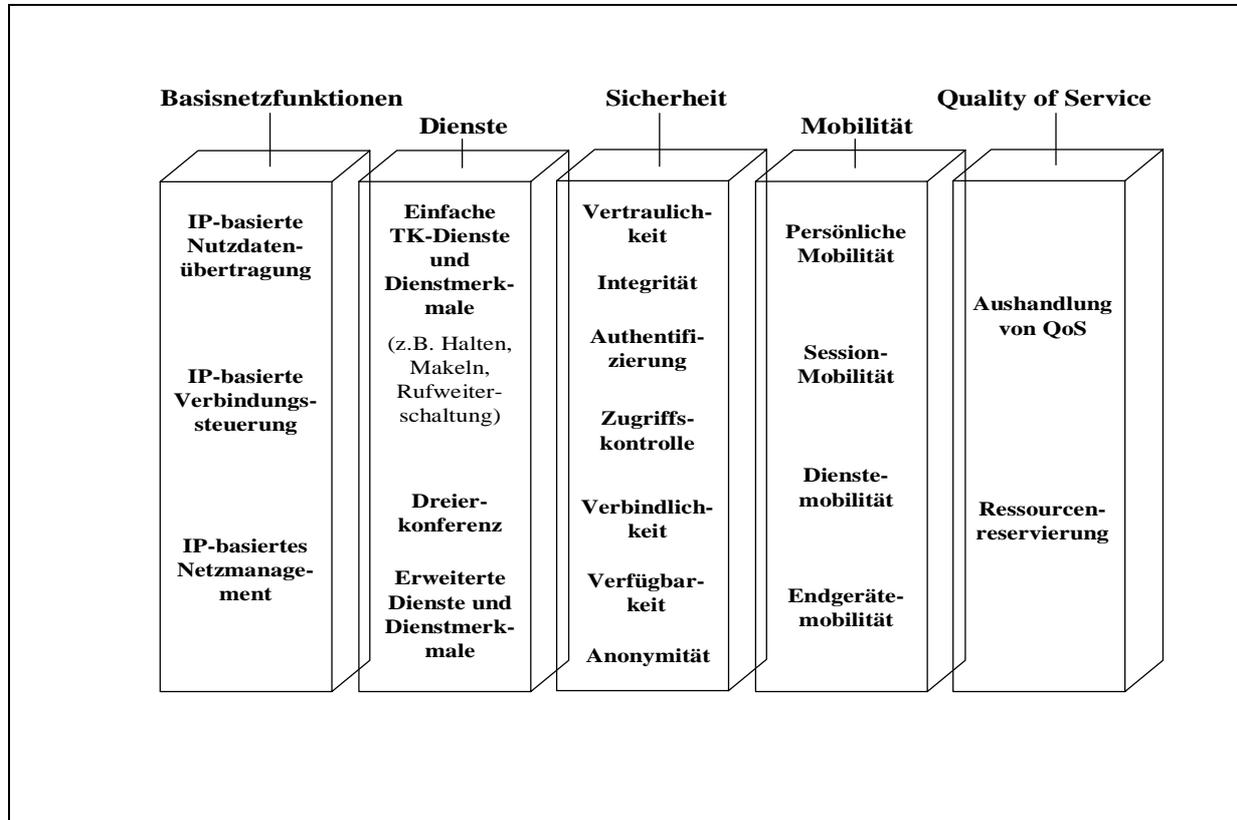


Bild 6.14: Definition der Anforderungen an ein Netz

3. Schritt: Einsortieren der Netzfunktionen in Netzknotten.

Die Funktionalitäten eines kompletten Telekommunikationsnetzes lassen sich auf einzelne Netzelementtypen (abhängig vom konkreten Netztyp: z.B. SIP/IP-basiert, ISDN, GSM oder UMTS) aufteilen. Im Falle eines SIP/IP-Netzes sind dies z.B. SIP User Agent, SIP Registrar Server, SIP Proxy Server, SIP Application Server, Conference Server, IP-Router, Firewall, Bandwidth Broker. Dabei kann es sich um physikalische und/oder logische Netzelemente handeln.

Jeder Netzelementtyp wird hierbei in Form eines separaten Säulenmodells dargestellt, das bezüglich seiner Zelleneinteilung in Säulen, Strata und Planes identisch zum Gesamtnetzmodell ist. Bild 6.17 zeigt dies für einen SIP User Agent, d.h. ein SIP-Endgerät. Jedes Netzelement stellt bezüglich seiner Funktionen eine Untermenge des Gesamtnetzmodells dar bzw. die Überlagerung aller Netzelementmodelle ergibt das Gesamtnetzmodell.

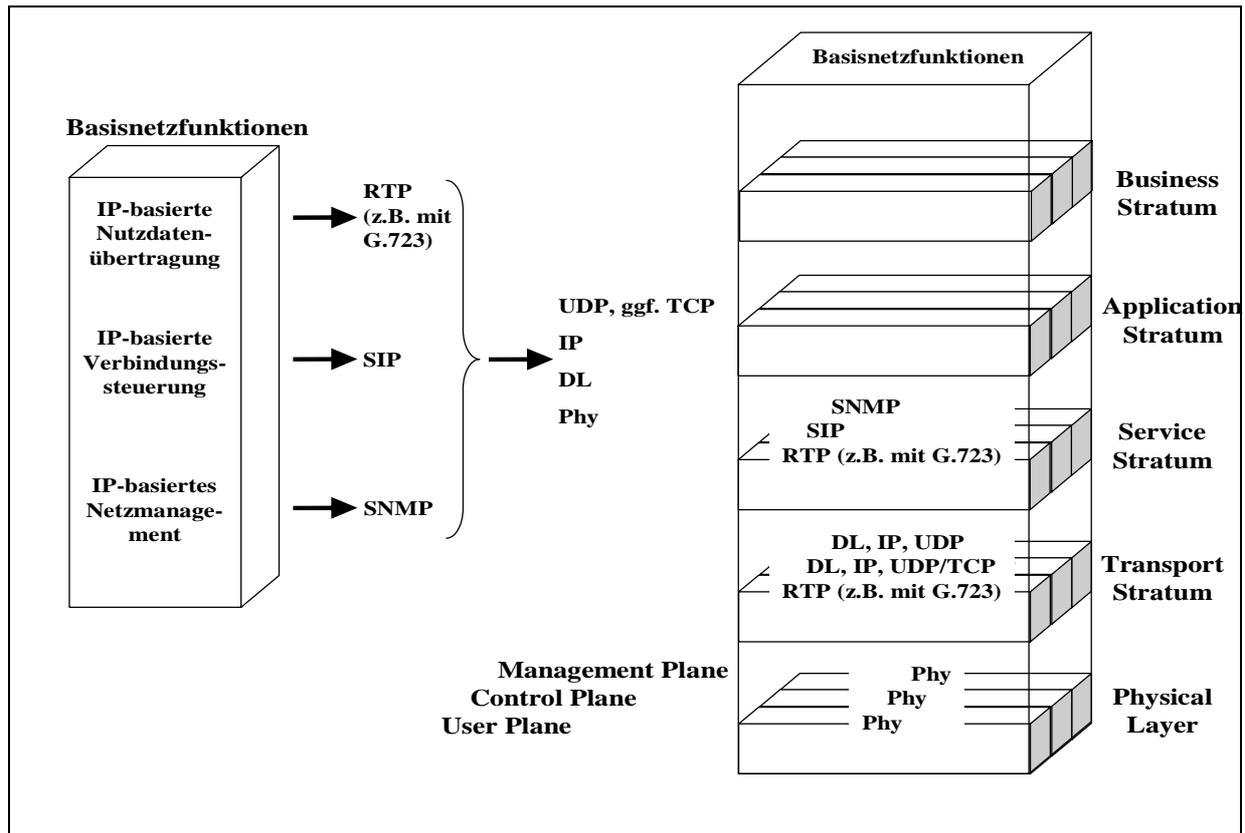


Bild 6.15: Ableiten der Funktionen eines Netzes aus den Anforderungen

4. Schritt: Erforderlichenfalls ergänzen von Funktionen in einem oder mehreren Netzknoten. Wird bei der detaillierten Betrachtung eines einzelnen Netzknotens festgestellt, dass Funktionen fehlen und daher ergänzt werden müssen, kann dies direkt vorgenommen werden. Die zusätzlichen Funktionen werden vom Modell automatisch für das Gesamtnetz übernommen.

5. Schritt: Exportieren der Merkmale aus dem grafischen Modell in das Rechnungsmodell. Bisher wurde das so genannte grafische Modell erläutert. Das korrespondierende Rechnungsmodell erlaubt das automatische Auslesen von in Zahlen vorliegenden Merkmalen (z.B. Teilnehmeranzahl, Verkehrswerte, Kosten) von bis zu vier beliebigen Telekommunikationsnetzen aus ihren jeweiligen grafischen Modellen.

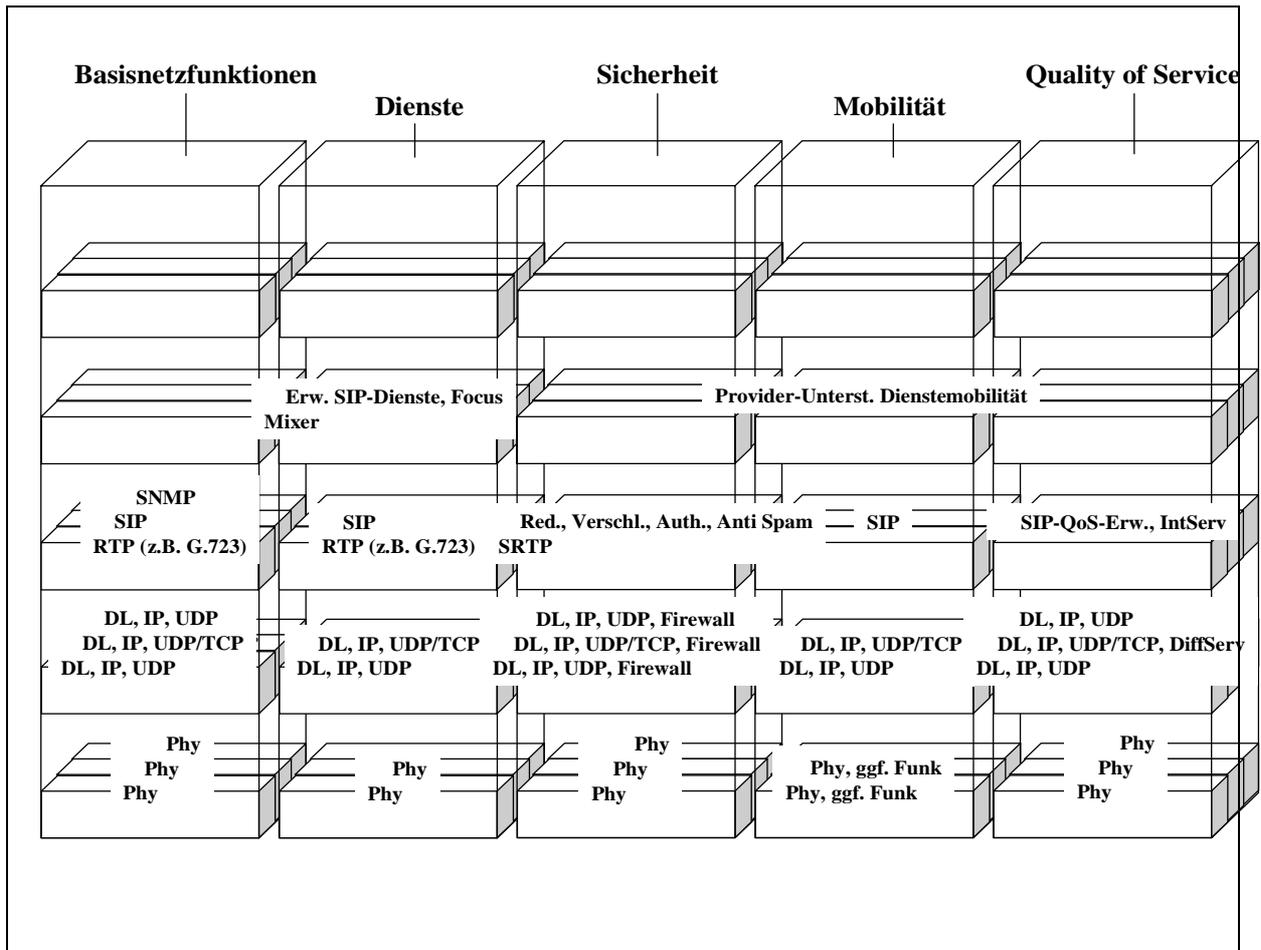


Bild 6.16: Funktionen eines SIP/IP-Gesamtnetzes

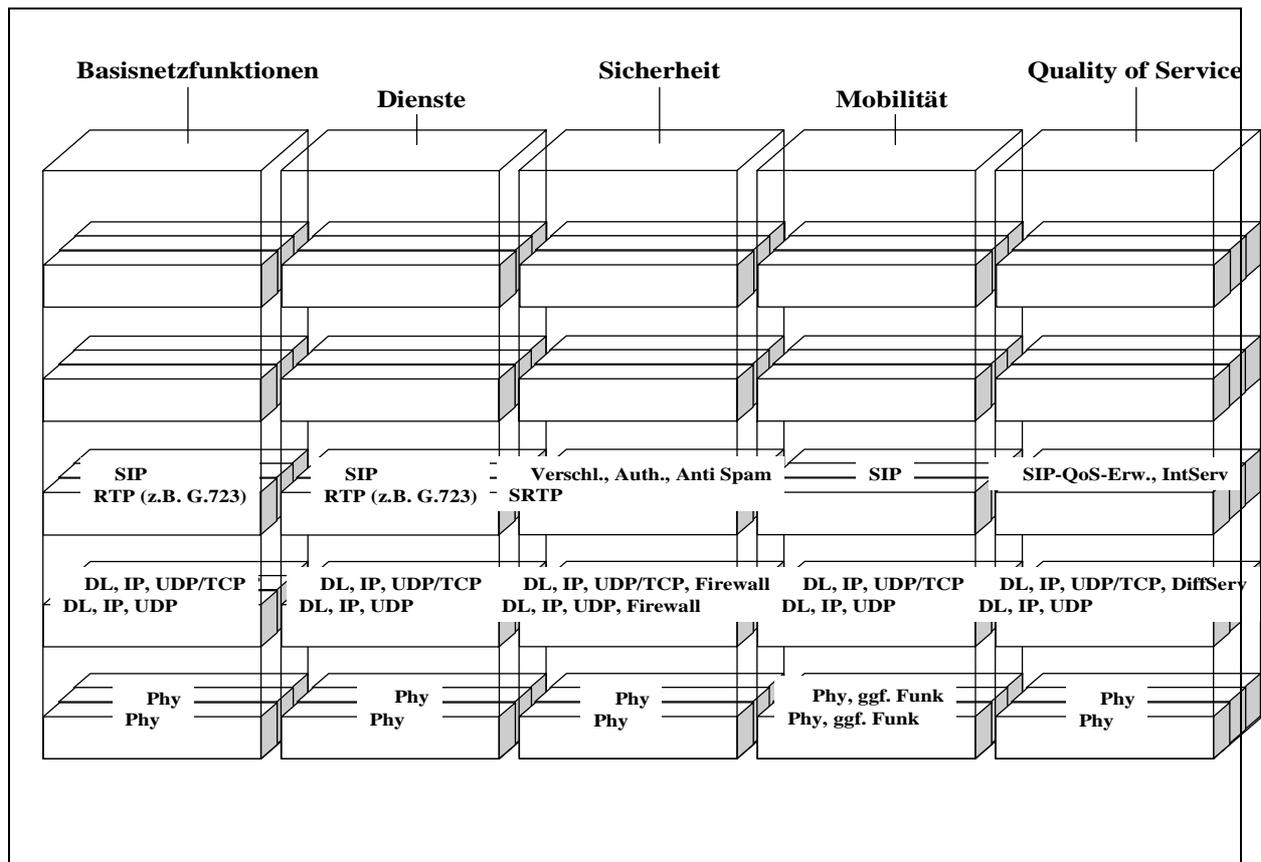


Bild 6.17: Funktionen eines SIP User Agents

### 6. Schritt: Rechnungsmodell anwenden.

Mit den in Schritt 5 in das Rechnungsmodell importierten Merkmalen von bis zu vier verschiedenen Telekommunikationsnetzen und erforderlichenfalls weiteren hinzugefügten Merkmalgrößen können Netzberechnungen (z.B. Anzahl erforderlicher Vermittlungssysteme), Netzoptimierungen (z.B. Minimierung der Anzahl erforderlicher Gateways) und Migrationsszenarien (z.B. Übergang von GSM/UMTS Release 99 nach UMTS Release 7) betrachtet werden.

Für die Einbeziehung einer zeitabhängigen Entwicklung, z.B. der Teilnehmerzahlen, Verkehrswerte und Kosten, bietet das Rechnungsmodell die Verwaltung beliebig vieler, kompletter Einzelszenarien. Damit kann die Entwicklung sämtlicher Ein- und Ausgabeparameter über der Zeit (Zeiteinheit frei dimensionierbar) dargestellt werden. Konkrete Beispiele für Schritt 6 finden sich in den Kapiteln 6.3.2.

### 7. Schritt: Exportieren von Ergebnissen aus dem Rechnungsmodell in das grafische Modell.

Damit können Ergebnisse aus der Variantenrechnung, z.B. die optimierte Anzahl von Gateways, als Merkmale wieder in das grafische Modell übernommen werden.

Sowohl das grafische als auch das Rechnungs-Modell wurden auf EXCEL-Basis realisiert. Damit ist eine komfortable, soweit prinzipiell machbar auch automatisierte Netzmodellierung, -berechnung und -optimierung möglich.

## **6.3 Funktionen des Netzmodells**

### **6.3.1 Interworking zwischen Netzen**

Auf dem Weg zu den zukünftigen reinen Paketnetzen (SIP/IP-Festnetze, UMTS Release 7) wird man es in massiver Weise mit heterogenen, Leitungs- und Paketvermittlung sowie verschiedenste Protokoll-Stacks kombinierenden Netzen zu tun haben. Das bedeutet aber, dass das Interworking und entsprechende Gateways eine bedeutende Rolle spielen werden. Diese Problematik wird ebenfalls durch das vorliegende neue Netzmodell berücksichtigt. Sollen zwei Netze zusammengeschaltet werden, muss zuerst für jedes der beiden Netze (z.B. ISDN und SIP/IP in Bild 6.18) ein grafisches Modell gemäß der Schritte 1 und 2 in Kapitel 3 entwickelt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass in Schritt 2 eine genügend große Detailtiefe gewählt wird, um daraus in den folgenden Schritten auch alle Interworking-Funktionen ableiten zu können.

In der Folge (8. Schritt) werden die beiden grafischen Modelle miteinander verschmolzen. D.h., die durch die Funktionssäulen, Strata, Planes und spezifischen Funktionen definierten Zellen beider Modelle werden zur Deckung gebracht. Daraus ergeben sich unmittelbar die Abbildungsbeziehungen zwischen den Funktionen von Netz X und Netz Y. Sind die Funktionen X und Y in einer Zelle gleich, ist prinzipiell keine Gateway-Funktionalität erforderlich. Sind sie unterschiedlich, ist damit für diese Zelle die benötigte Gateway-Funktionalität spezifiziert. Beispielsweise resultiert aus den Funktionen ISUP (ISDN User Part) und SIP die benötigte Konvertierungsfunktion ISUP-SIP. Die Verschmelzung der beiden grafischen, EXCEL-basierten Modelle der Netze X und Y erfolgt automatisiert mit Hilfe einer eigens hierfür auf VBA-Basis (Visual Basic for Applications) entwickelten Software-Ergänzung für EXCEL.

In einem Folgeschritt (9. Schritt) werden dann die erhaltenen Konvertierungsfunktionen auf konkrete physikalische oder logische Netzknoten aufgeteilt. Z.B. könnte die neue Funktion „ISUP-SIP-Konvertierung“ einem Media Gateway Controller (MGC) zugeordnet werden.

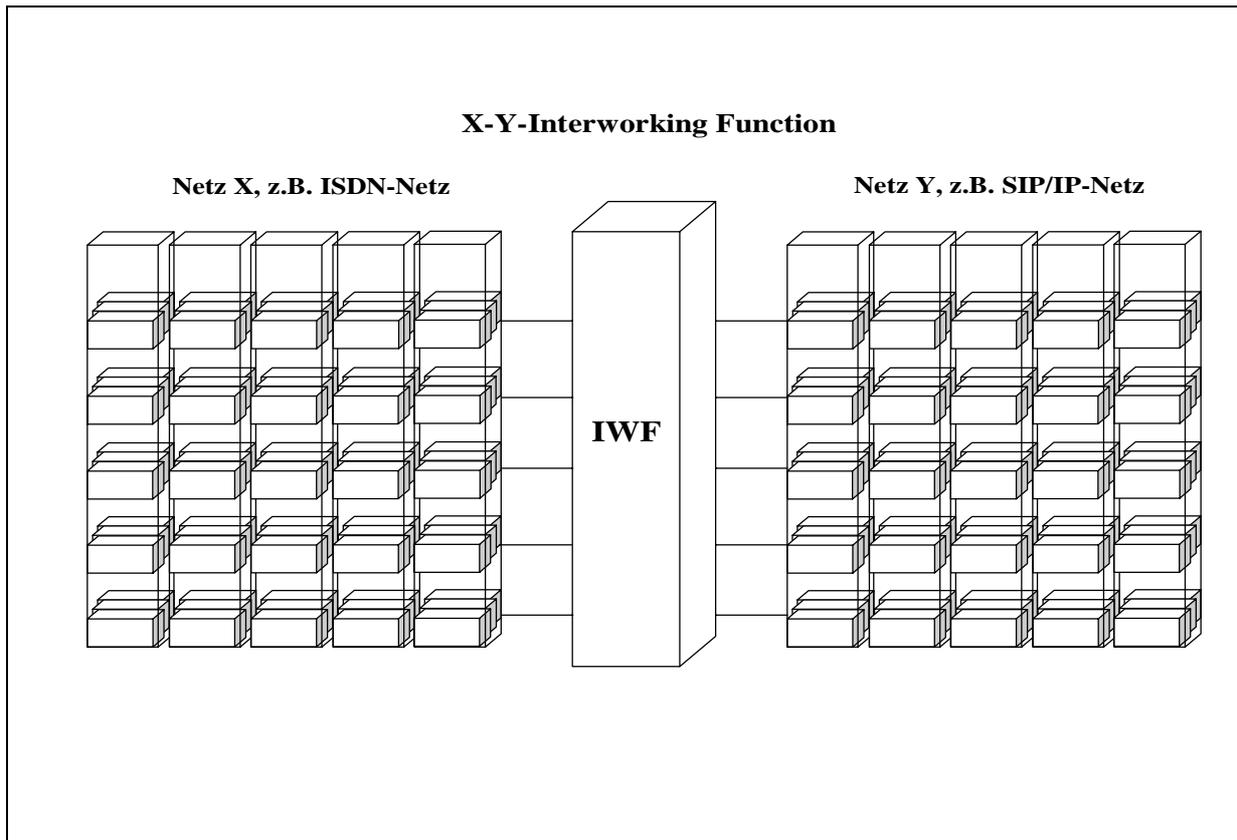


Bild 6.18: Interworking zweier verschiedener Netze

### 6.3.2 Netzoptimierung und Migrationsszenarien

In diesem Kapitel wird das bisher vorgestellte neue Netzmodell angewandt zur konkreten Berechnung eines GSM-Netzes, zur Optimierung der Migration von GSM nach UMTS IMS (IP Multimedia Subsystem) und zur Optimierung von Migrationsszenarien mit vier beteiligten Netzen (ISDN, SIP/IP-Festnetz, GSM, UMTS IMS bzw. UMTS Release 7 [22978; YNGN; FNGN]). Dabei liegt allen Berechnungen das allgemeine, für max. vier verschiedene Netze eines oder mehrerer Betreiber ausgelegte Rechnungsmodell nach Bild 6.19 zugrunde.

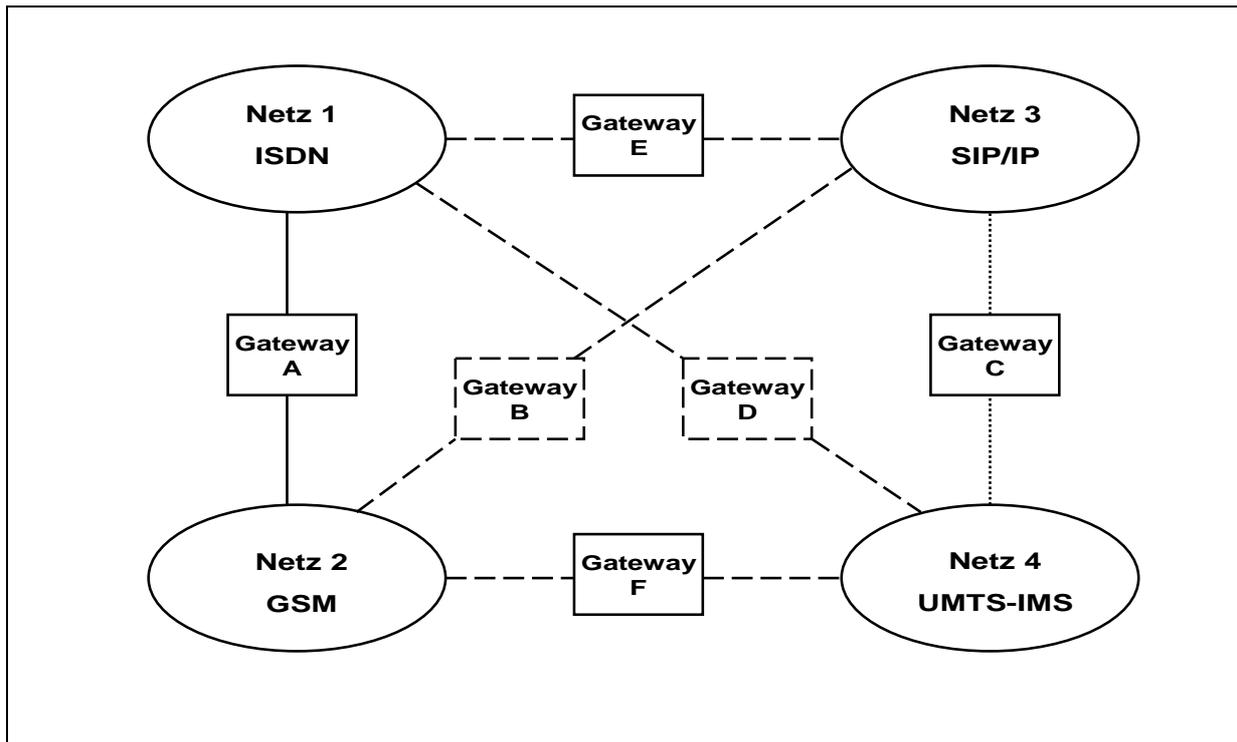


Bild 6.19: Zusammenschaltung vier verschiedener Netze

Als erste konkrete Anwendung des neuen Netzmodells wird im Folgenden die Entwicklung eines GSM-Netzes X über einen Zeitraum von zwölf Quartalen betrachtet. Dabei wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Teilnehmerentwicklung gemäß Bild 6.20
- 0,025 Erl Verkehrswert pro Mobilfunkteilnehmer
- max. 150000 Mobilfunkteilnehmer pro MSC (Mobile Switching Center)
- max. 20000 Erl Verkehr pro MSC
- max. BHCA-Wert (Busy Hour Call Attempts) von 750000 Erl/s pro MSC
- 60 Millionen Teilnehmer in anderen Mobilfunknetzen
- 53 Millionen B-Kanäle (= ISDN-Teilnehmer) in Festnetzen
- 0,119 Erl Verkehrswert pro Festnetzteilnehmer (B-Kanal)

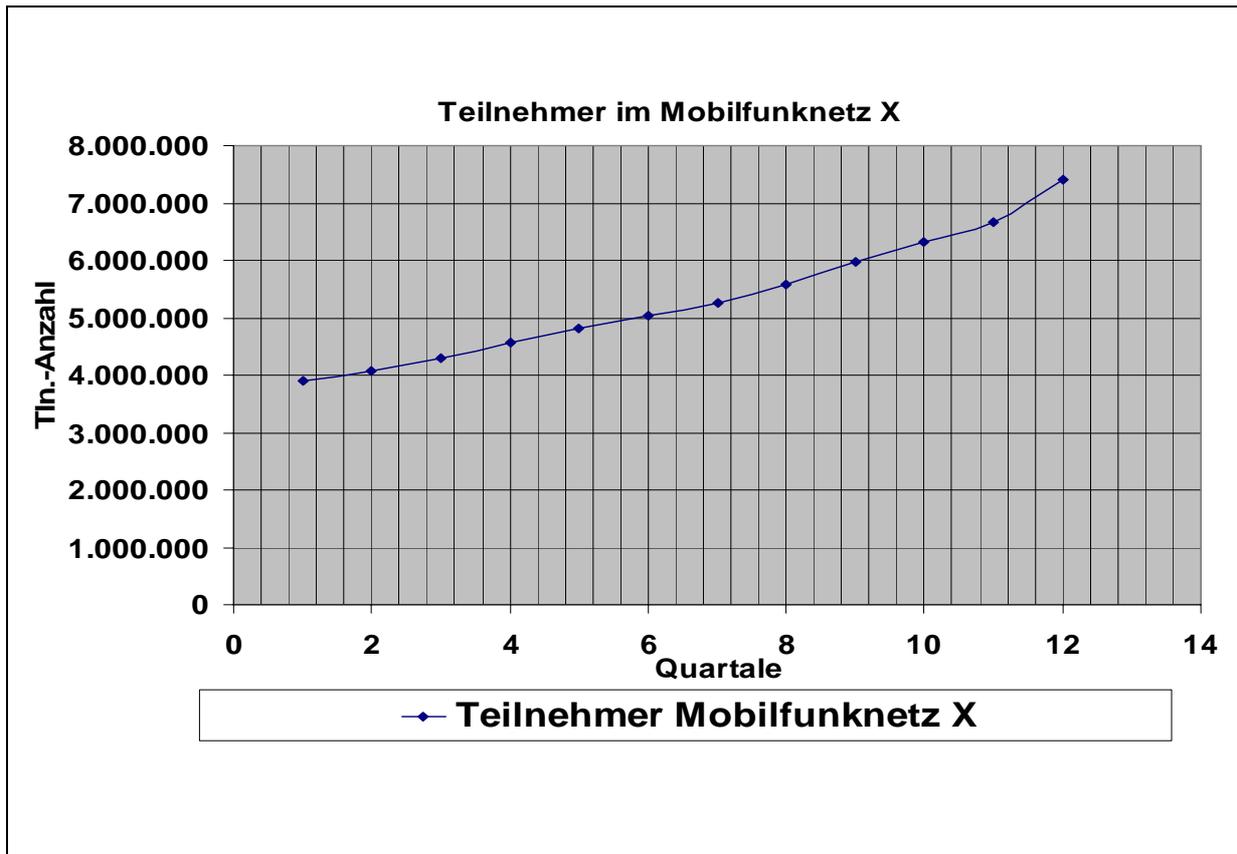


Bild 6.20: Teilnehmerentwicklung im GSM-Netz X

Das Rechenmodell liefert u.a. als Ergebnis die Anzahl der in Netz X benötigten MSCs (Bild 6.21) und den Interconnect-Verkehr in andere Mobilfunknetze und in die Festnetze (Bild 6.22).

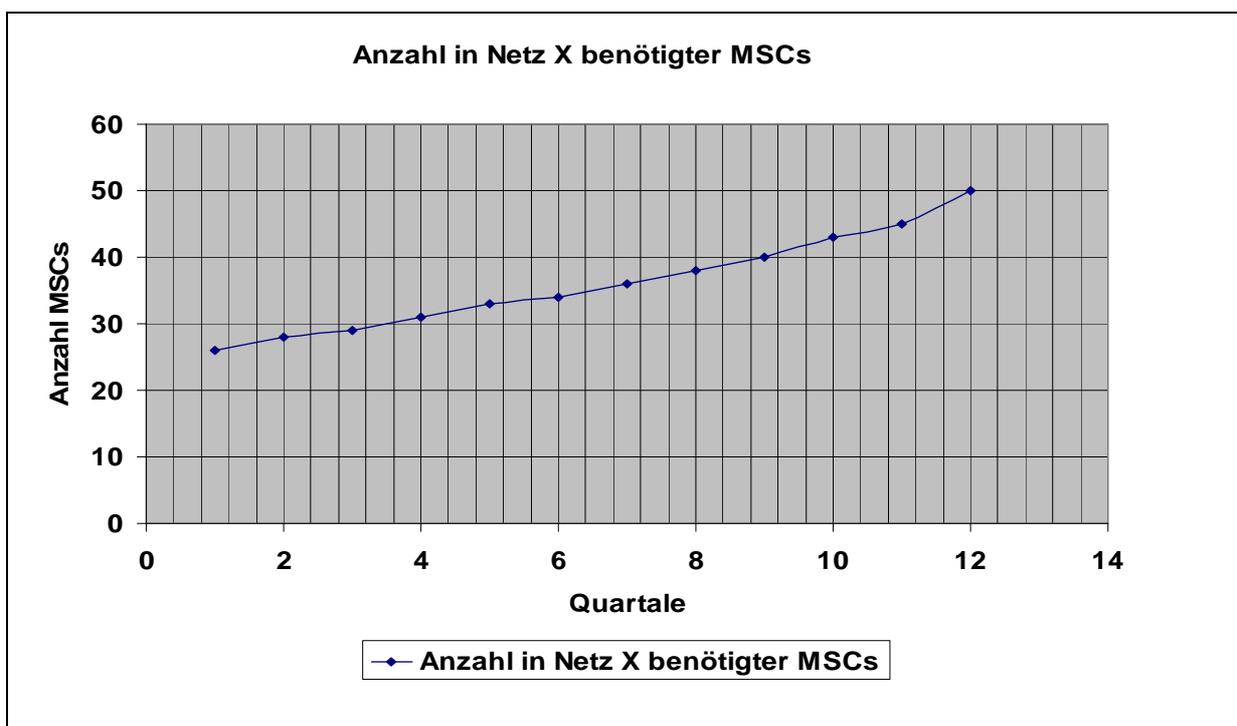


Bild 6.21: Anzahl der in GSM-Netz X benötigten MSCs

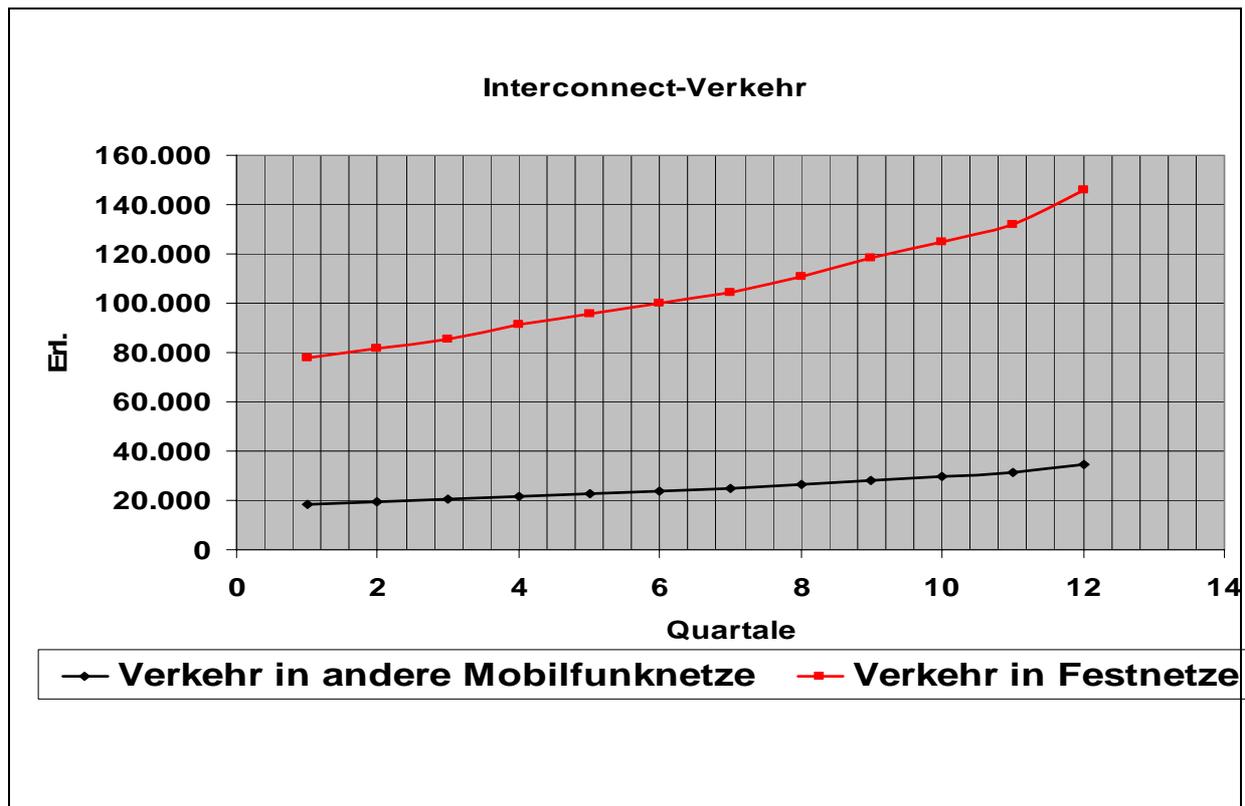


Bild 6.22: Interconnect-Verkehr zwischen GSM-Netz X, anderen GSM- und den Fest-Netzen

Im zweiten Rechenbeispiel wird von der Migration eines GSM-Netzes zum IMS eines UMTS-Netzes bzw. zu UMTS Release 7 (All-IP) ausgegangen. Damit werden alle Fälle, z.B. auch UMTS Release 99, eingeschlossen, bei denen aus einem leitungsvermittelten in ein paketvermitteltes Netz migriert wird. Andere Netze und zugehöriger Interconnect-Verkehr werden hier nicht betrachtet. Die zugrunde gelegten Parameter sind wie folgt:

- Teilnehmerentwicklung über 25 beliebige Zeitpunkte gemäß Bild 6.23, d.h. lineare Abnahme der GSM-, lineare Zunahme der IMS-Teilnehmer, am Anfang 21 Millionen GSM-Teilnehmer
- 0,025 Erl Verkehrswert pro GSM-Teilnehmer
- max. 150000 Mobilfunkteilnehmer pro MSC
- max. 20000 Erl Verkehr pro MSC
- max. BHCA-Wert von 750000 Erl/s pro MSC
- 0,4 Erl Verkehrswert pro IMS-Teilnehmer
- max. 1 Million Teilnehmer pro S-CSCF (Serving-Call Session Control Function = IMS-Softswitch)
- max. 400000 Erl Verkehr pro S-CSCF
- max. BHCA-Wert von 16 Millionen Erl/s pro S-CSCF
- max. 19354 Erl pro IMS/GSM-MG (Media Gateway)

Bild 6.24 zeigt die Entwicklung der Anzahl an weiterhin benötigten MSCs und neu hinzukommenden CSCFs. Hierbei wird ein großer Vorteil der Umsetzung des NGN-Konzepts (Next Generation Networks) im IMS deutlich. Die Zahl der vermittelnden Knoten nimmt massiv ab, in diesem Fall um 85%. Statt 140 MSCs am Anfang werden am Schluss noch 21 CSCFs benötigt.

Aus Bild 6.25 geht die Anzahl der für die Migration zur Behandlung des Nutzdatenverkehrs zwischen GSM (leitungsvermittelt) und IMS (paketvermittelt) benötigten Media Gateways hervor. Wegen der unterschiedlichen Verkehrswerte der GSM- (0,025 Erl) und IMS-Teilnehmer (0,4 Erl) wird das Maximum bereits nach 5 und nicht erst nach 13 Zeiteinheiten erreicht.

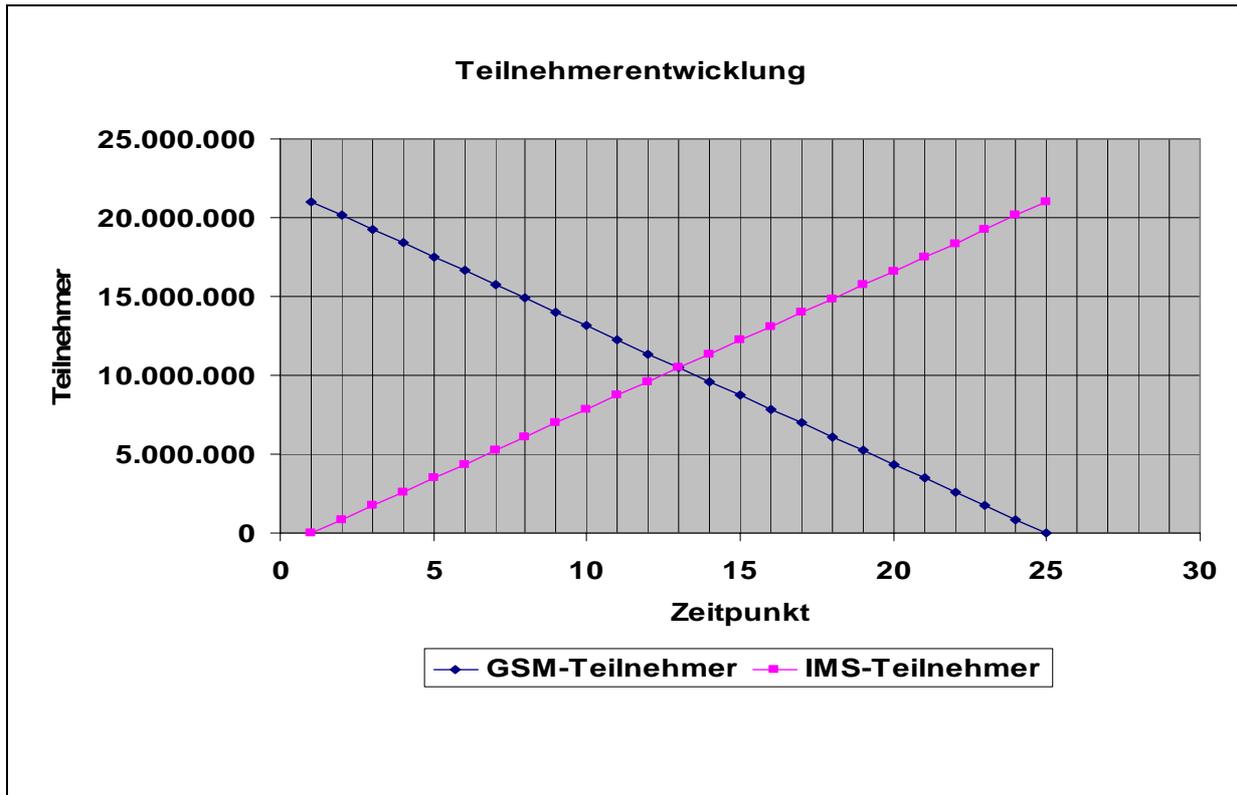


Bild 6.23: Teilnehmerentwicklung bei linearer GSM-IMS-Migration

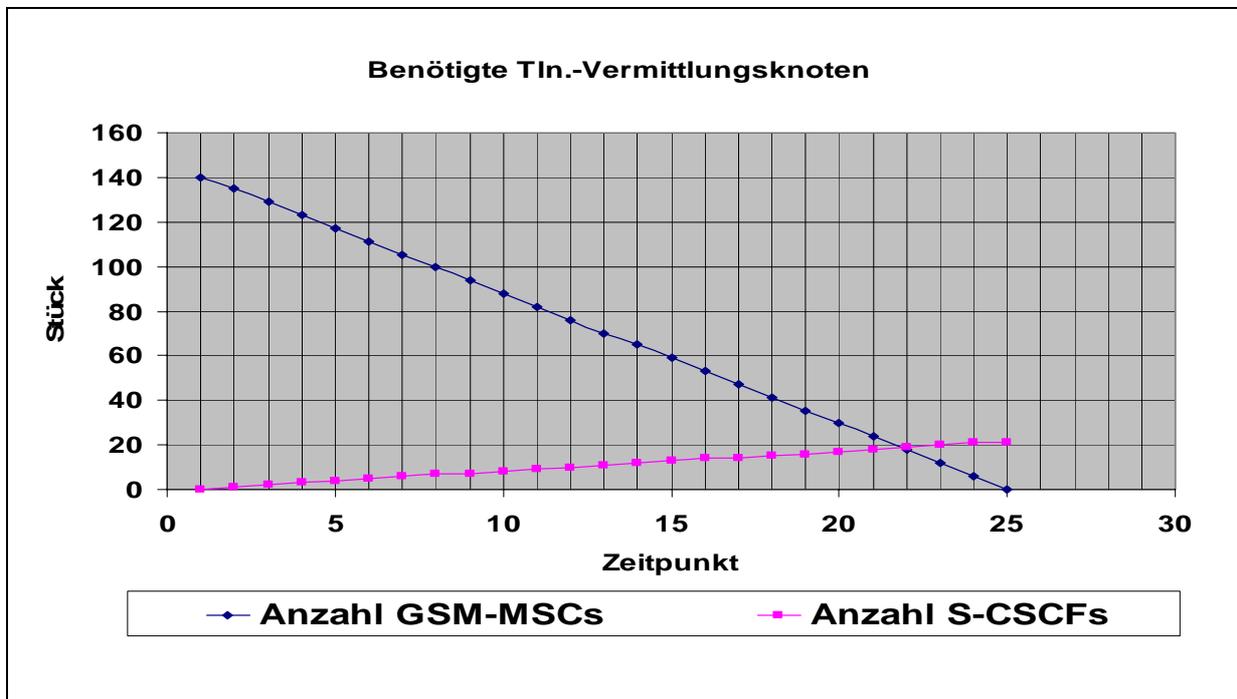


Bild 6.24: Anzahl der bei der GSM-IMS-Migration benötigten MSCs und CSCFs

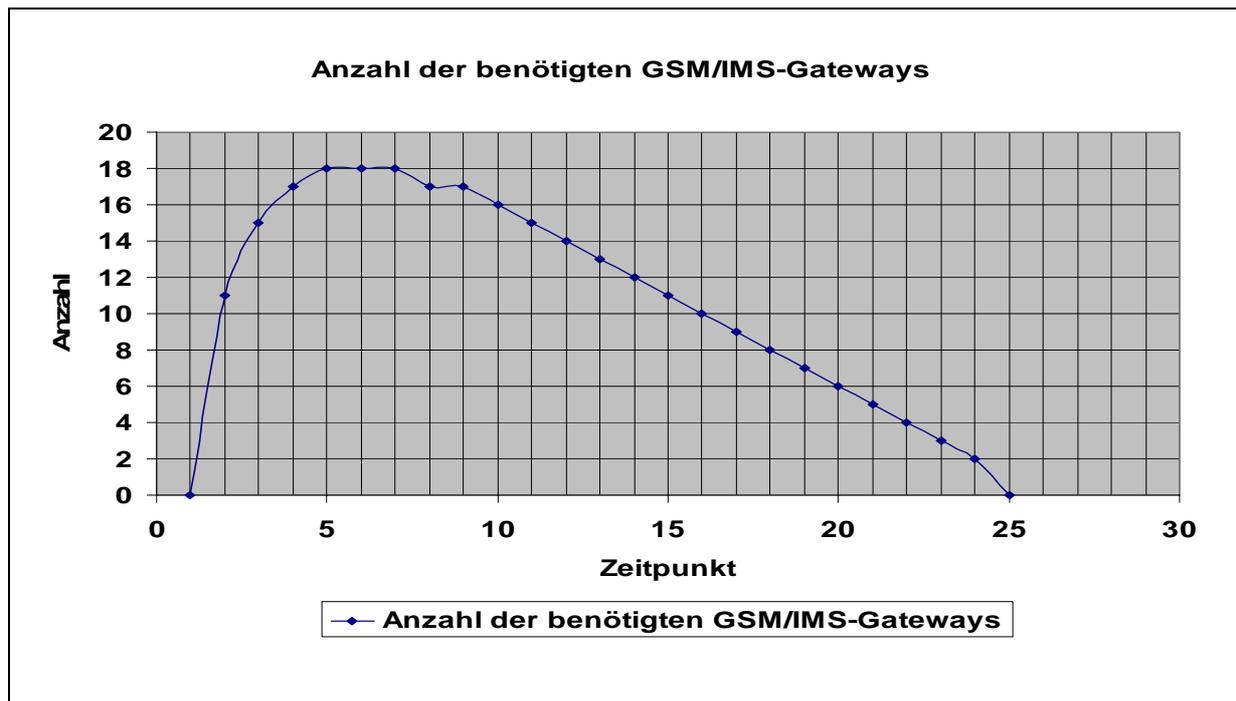


Bild 6.25: Anzahl der bei der GSM-IMS-Migration benötigten Media Gateways

Abschließend wird die Migration von vier verschiedenen Netzen (ISDN, SIP/IP, GSM, IMS) hin zu einem All-IP-Netz (SIP/IP-Festnetz und IMS-basiertes UMTS-Mobilfunknetz) betrachtet. Dabei wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Teilnehmerentwicklung über 25 beliebige Zeitpunkte gemäß Bild 6.26, d.h. gleichzeitige lineare Abnahme der ISDN- und GSM-, lineare Zunahme der SIP/IP- und IMS-Teilnehmer, am Anfang 53 Millionen B-Kanäle (=ISDN-Teilnehmer) und 67 Millionen GSM-Teilnehmer
- 0,119 Erl Verkehrswert pro B-Kanal (Festnetzteilnehmer)
- max. 50000 B-Kanäle pro TVSt
- max. 100000 Erl Verkehr pro TVSt
- max. BHCA-Wert von 16 Millionen Erl/s pro TVSt
- 0,4 Erl Verkehrswert pro SIP/IP-Teilnehmer
- max. 1 Million Teilnehmer pro CS (Call Server = SIP/IP-Softswitch)
- max. 400000 Erl Verkehr pro CS
- max. BHCA-Wert von 16 Millionen Erl/s pro CS
- 0,025 Erl Verkehrswert pro GSM-Teilnehmer
- max. 150000 Mobilfunkteilnehmer pro MSC
- max. 20000 Erl Verkehr pro MSC
- max. BHCA-Wert von 750000 Erl/s pro MSC
- 0,4 Erl Verkehrswert pro IMS-Teilnehmer
- max. 1 Million Teilnehmer pro S-CSCF
- max. 400000 Erl Verkehr pro S-CSCF
- max. BHCA-Wert von 16 Millionen Erl/s pro S-CSCF
- max. 19354 Erl pro IP/ISDN- oder IMS/GSM-Media Gateway
- Es wird angenommen, dass die GSM/IP- und ISDN/IP-Gateways austauschbar sind.

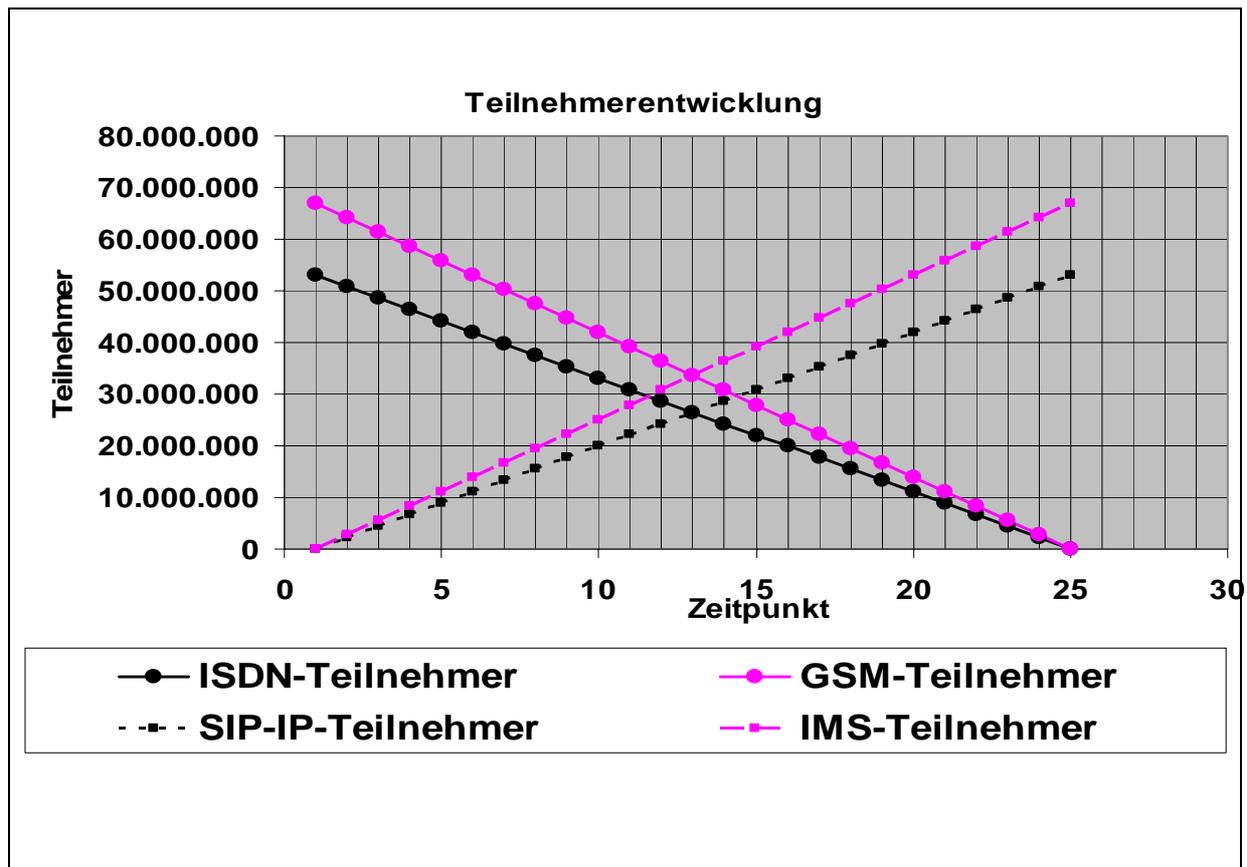


Bild 6.26: Teilnehmerentwicklung bei gleichzeitiger linearer Migration mit vier Netzen

Als ein Ergebnis der Modellberechnung zeigt Bild 6.27 die Entwicklung der vermittelnden Knoten in den vier Netzen. 1060 TVSts und 447 MSCs am Anfang der Migration entsprechen 53 CS und 67 CSCFs, d.h. 1507 leitungsvermittelnden Knoten stehen 120 paketvermittelnde Knoten gegenüber. Das entspricht bei gleichzeitig deutlich erhöhtem Teilnehmerverkehr einer Abnahme der vermittelnden Knoten um 92%.

Pauschal gilt somit, dass auch in sehr großen öffentlichen Telekommunikationsnetzen zukünftig nur noch vergleichsweise sehr wenige zentrale IP-basierte Vermittlungssysteme, so genannte Call Server oder Softswitches, benötigt werden. Dies ist ein großer Vorteil für die Netzbetreiber, könnte sich aber nachteilig auf die Vermittlungssystemhersteller auswirken. Die Zahl der benötigten Media Gateways, speziell auch für den Übergang aus der leitungs- in die paketvermittelte Welt geht für den Fall einer gleichzeitigen linearen ISDN- und GSM-Teilnehmerentwicklung aus Bild 6.28 hervor. In der Spitze werden in Summe für alle Netze 209 C/P-MGs (Circuit/Package switched) benötigt.

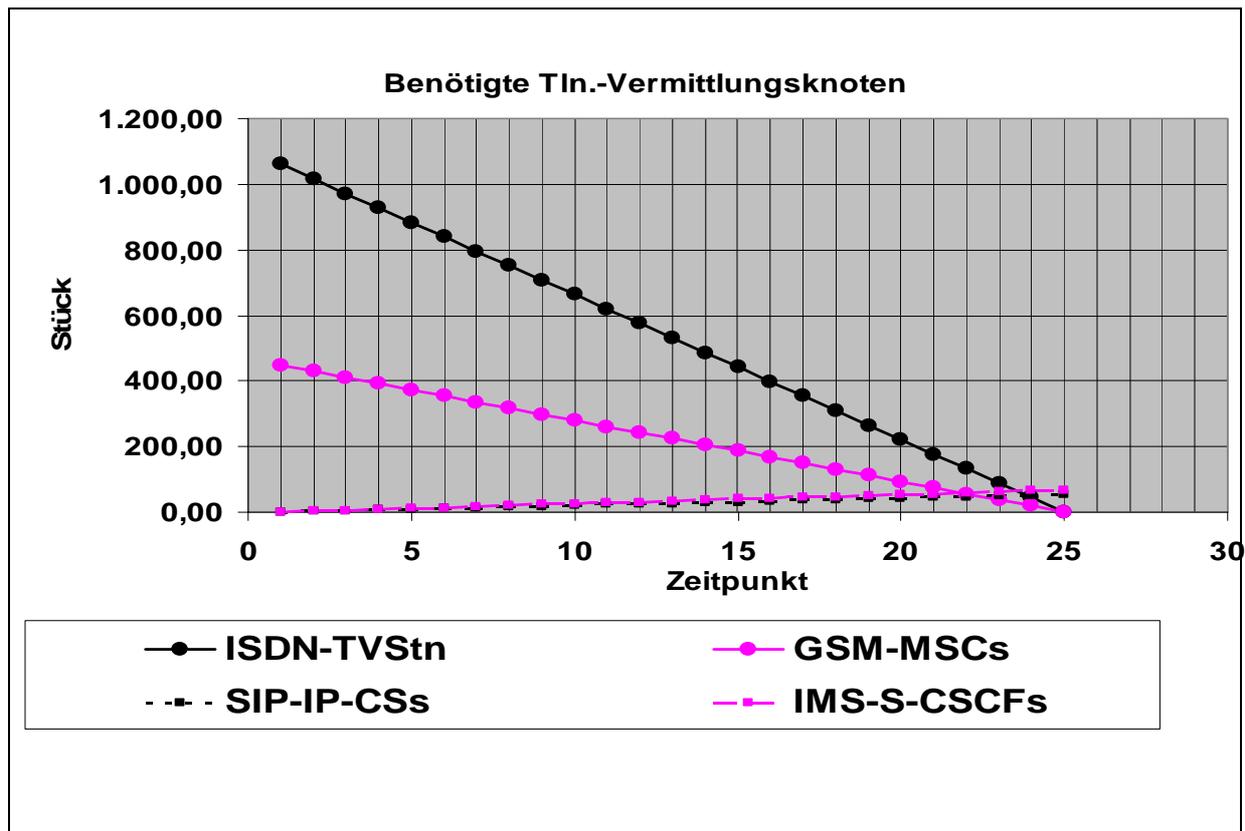


Bild 6.27: Anzahl der bei der Vier-Netze-Migration benötigten TVStn, CSs, MSCs und CSCFs

Gateways sind im Unterschied zu den Call Servern Hardware- und damit kosten-intensiv. Um so problematischer ist es, dass ein Großteil der Gateways mit der Zeit überflüssig wird.

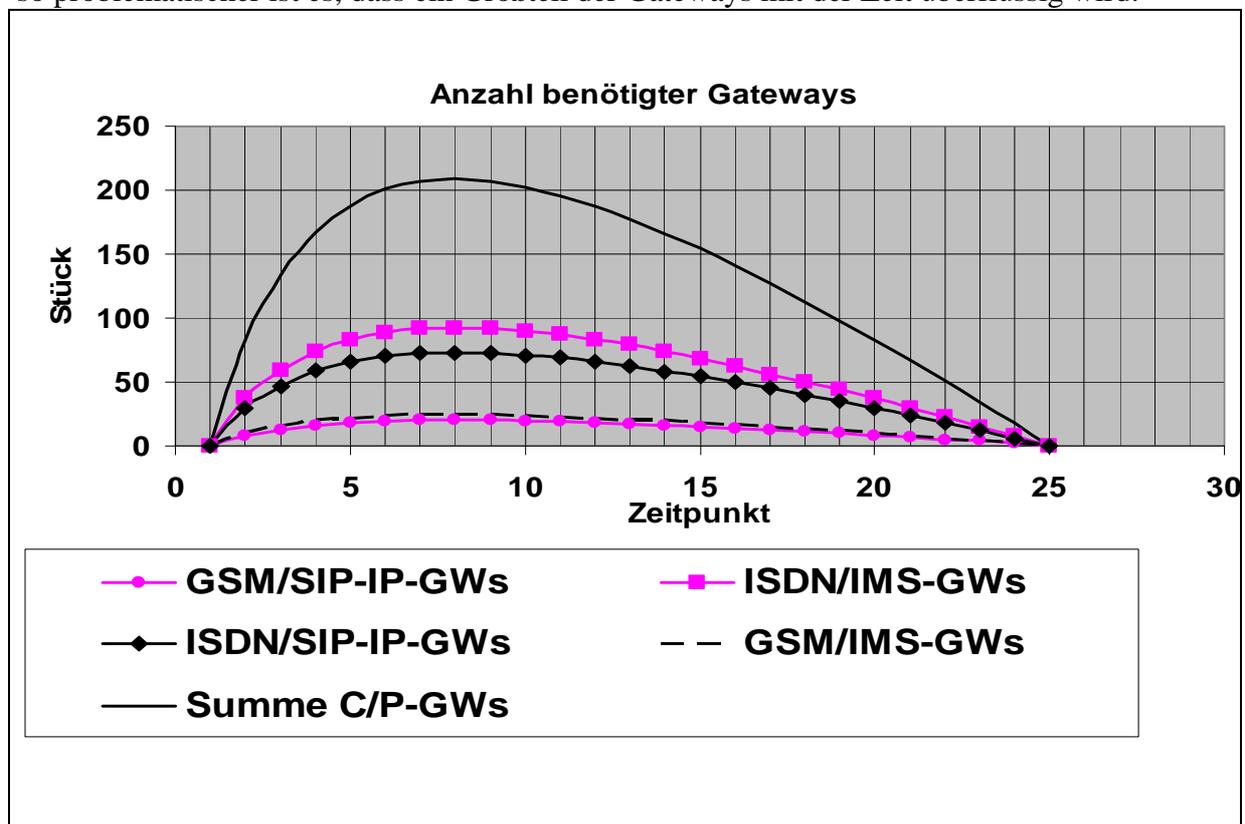


Bild 6.28: Anzahl der bei gleichzeitiger linearer Vier-Netze-Migration benötigten Media Gateways

Bild 6.29 geht ebenfalls von einem Szenario mit einer Vier-Netze-Migration aus, allerdings erfolgt der Übergang jetzt in zwei Stufen. Die linear verlaufende ISDN-SIP/IP-Migration ist bereits vollständig abgeschlossen, wenn der gleiche Vorgang für GSM-IMS gestartet wird.

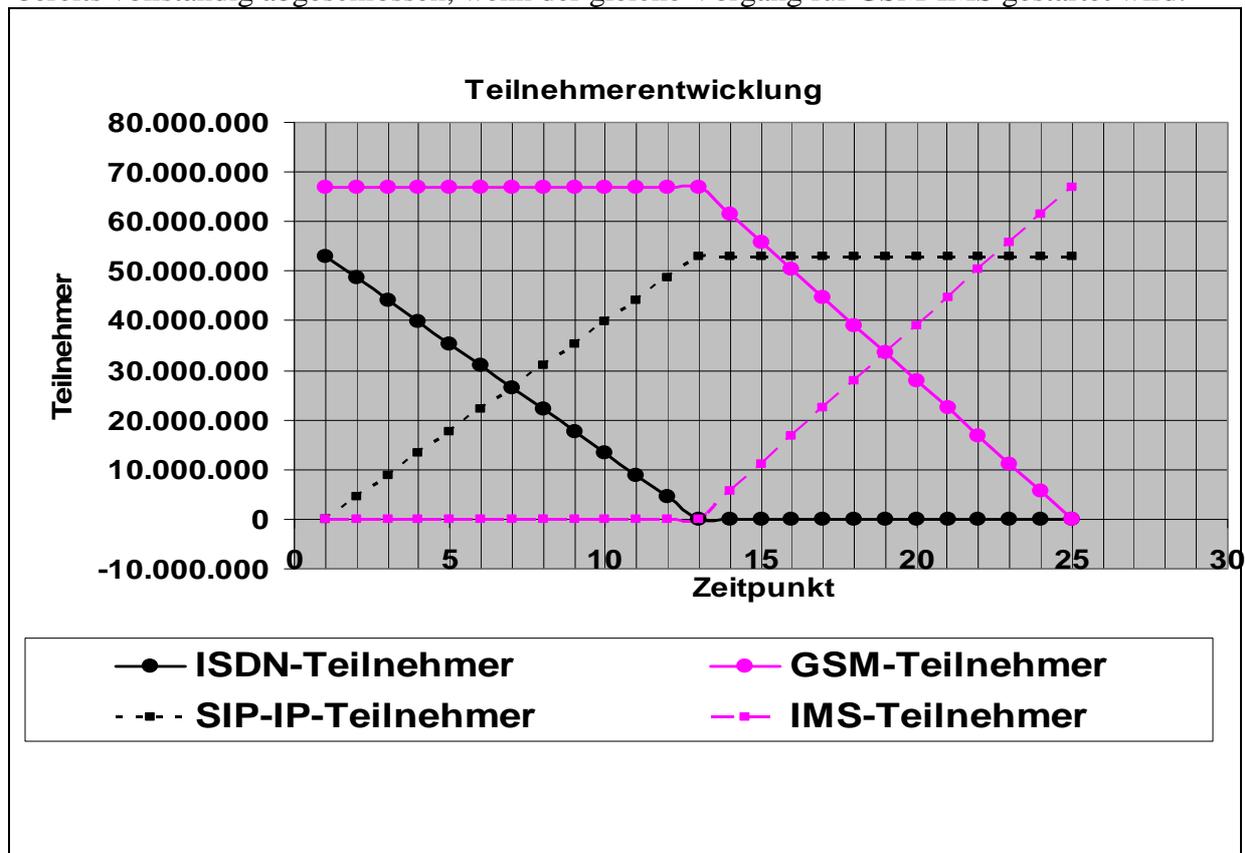


Bild 6.29: Teilnehmerentwicklung bei sequenzieller linearer Migration mit vier Netzen: 1. ISDN, 2. GSM

Diese Sequenzialisierung der Migration der beiden leitungsvermittelten Netze ISDN und GSM führt gemäß den Rechnungsergebnissen in Bild 6.30 zu einer deutlichen Abnahme der in der Spitze benötigten und später überflüssigen C/P-Media Gateways. Statt 209 C/P-MGs bei der gleichzeitigen Migration von ISDN und GSM (Bild 6.28) werden jetzt beim sequenziellen Vorgehen nur noch max. 173 C/P-MGs (Bild 2.29) gebraucht, d.h. immerhin 17% weniger. Diese Reduktion ist darin begründet, dass ein Teil der GSM-SIP/IP- und alle GSM-IMS-Gateways erst dann benötigt werden, wenn die ISDN-SIP/IP-Migration bereits fortgeschritten bzw. abgeschlossen ist, d.h. frei gewordene C/P-MGs können für den GSM-SIP/IP-Verkehr und die GSM-IMS-Migration weiter verwendet werden.

Mit einer solchen Vorgehensweise könnte beispielsweise ein Netzbetreiber, der zwei leitungsvermittelte Netze zu migrieren hat, Kosten sparen.

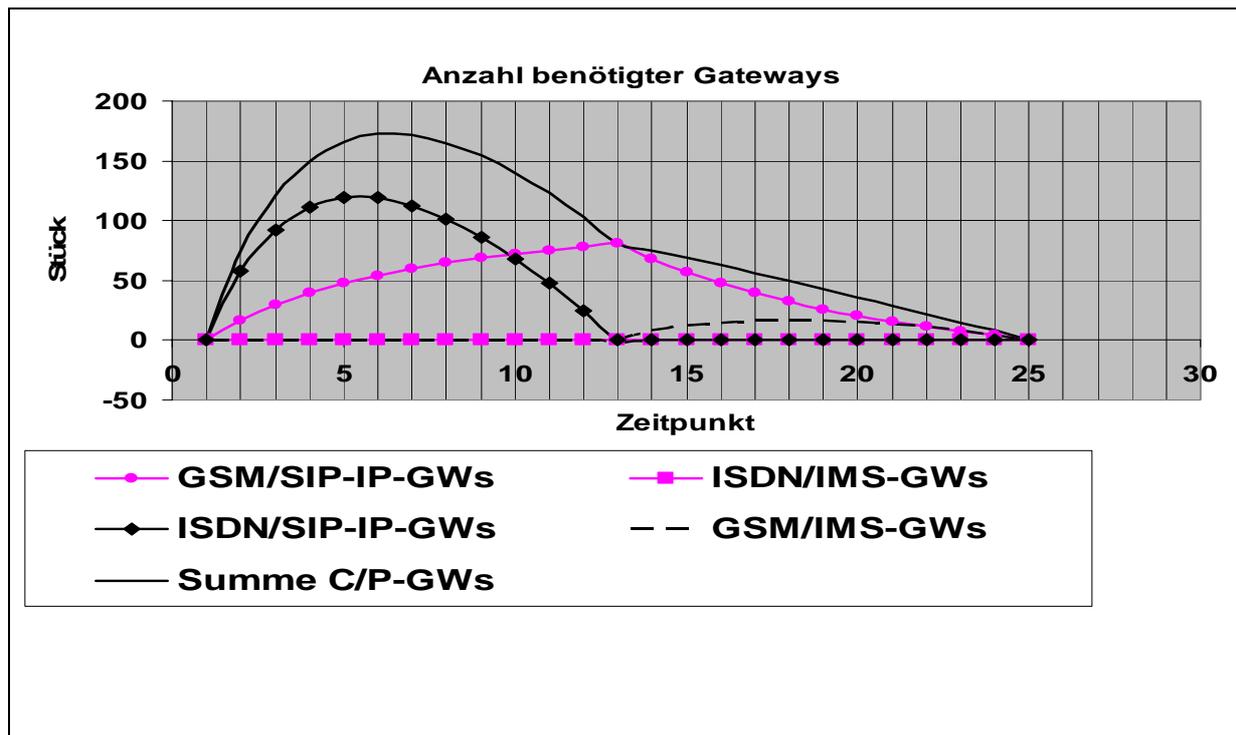


Bild 6.30: Anzahl der bei sequenzieller linearer Vier-Netze-Migration benötigten Media Gateways: 1. ISDN, 2. GSM

Dass ein sorgfältiges Vorgehen unter Berücksichtigung der verschiedenen Netzparameter bei der Migration unabdingbar ist und dass dies in komplexeren Szenarien mit Modellunterstützung ablaufen muss, wird besonders deutlich, wenn man die Reihenfolge bei der Netzmigration gemäß Bild 6.29 entsprechend Bild 6.31 umdreht, ansonsten aber alle Parameter beibehält. D.h., jetzt erfolgt zuerst die GSM-IMS- und dann die ISDN-SIP/IP-Migration. Dies führt u.a. dazu, dass nach Bild 6.32 die Zahl der benötigten C/P-Media Gateways massiv zunimmt, auf max. 264 bzw. um 43%. Dies ist zurückzuführen auf die hohe Zahl an GSM-Teilnehmern und den für die IMS-Nutzer angenommenen Verkehrswert von 0,4 Erl.

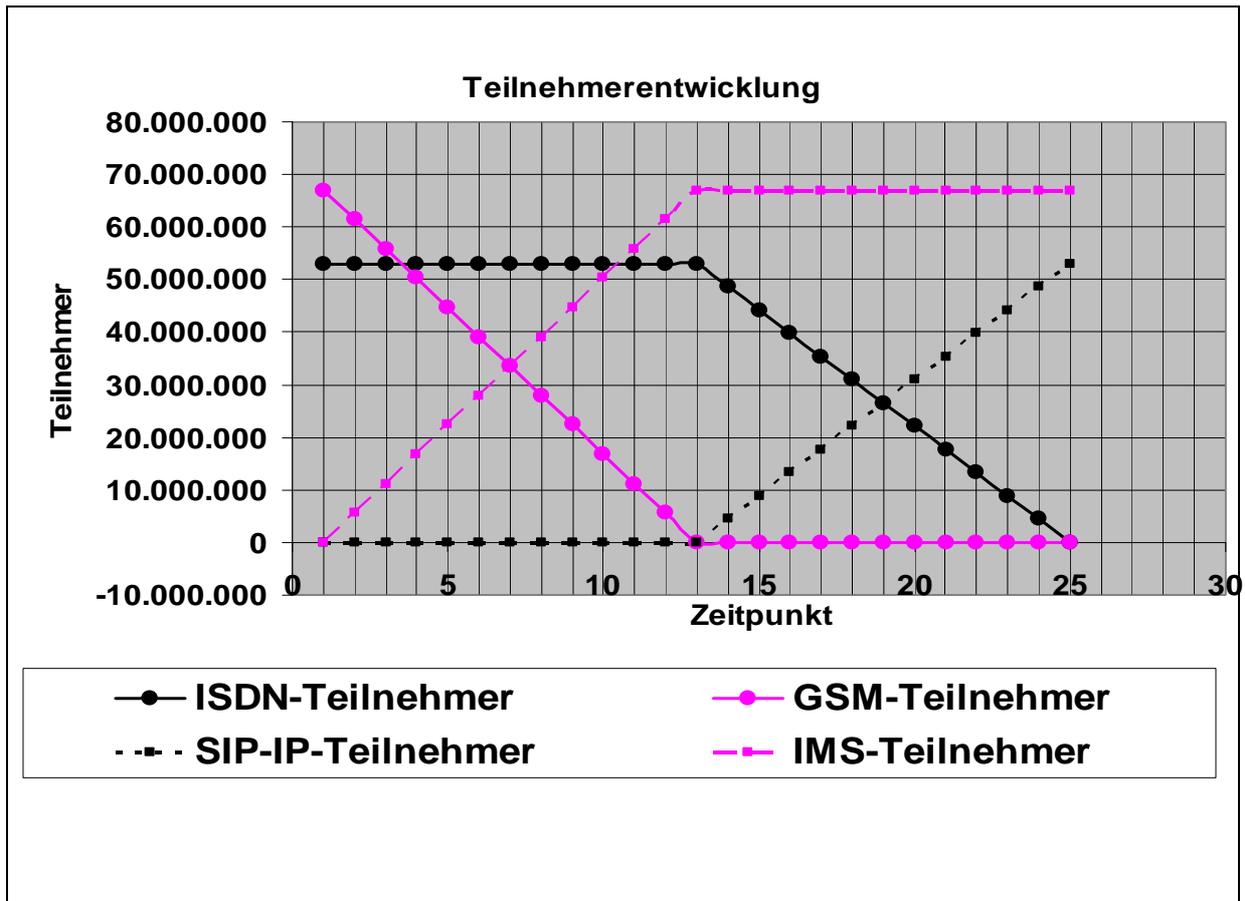


Bild 6.31: Teilnehmerentwicklung bei sequenzieller linearer Migration mit vier Netzen: 1. GSM, 2. ISDN

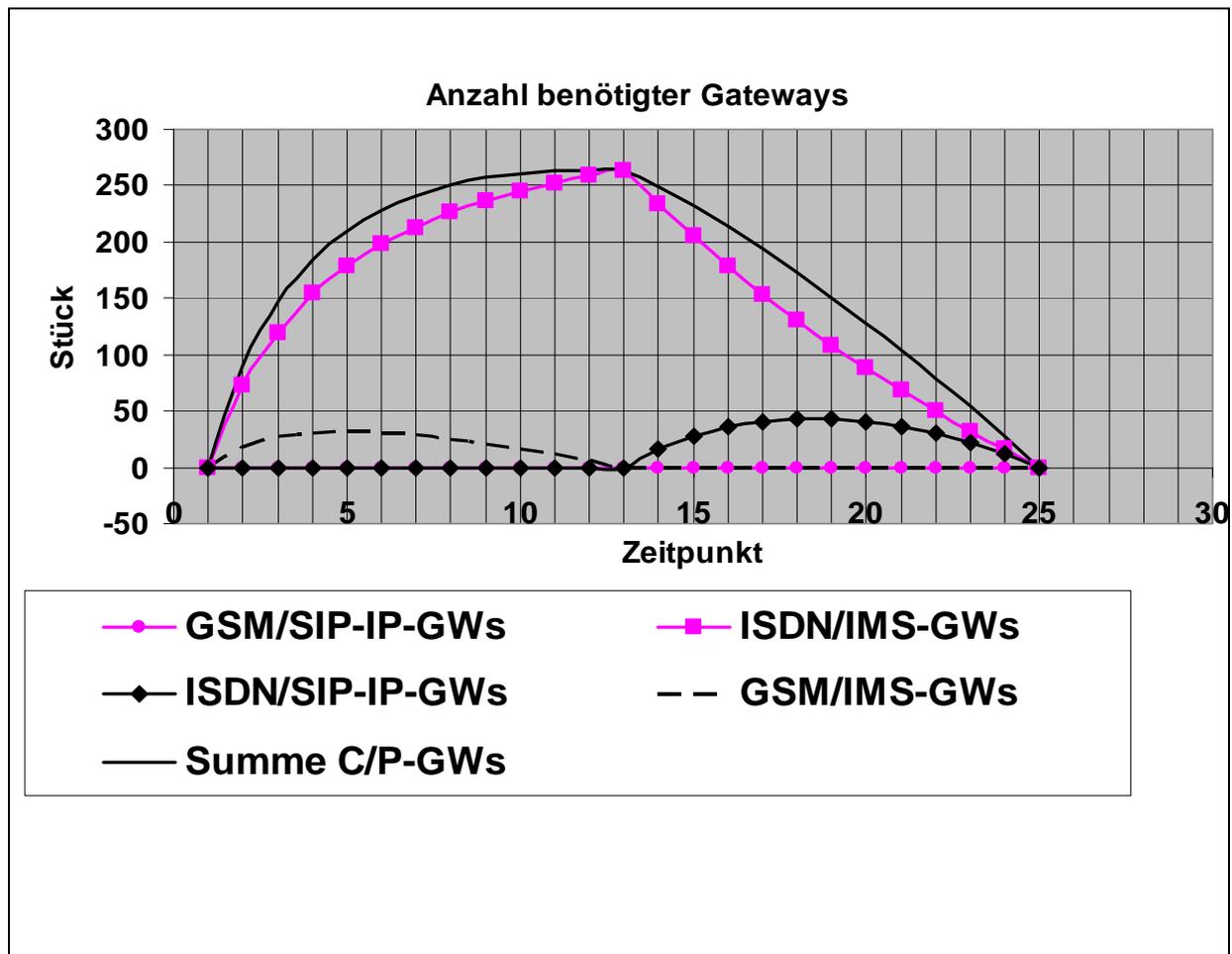


Bild 6.32: Anzahl der bei sequenzieller linearer Vier-Netze-Migration benötigten Media Gateways: 1. GSM, 2. ISDN

Ausgehend von obigen Ergebnissen können u.a. die folgenden Empfehlungen zum Netzdesign gegeben werden:

- Vorgehen entsprechend den Schritten 1 bis 9 in den Kapiteln 6.2.2 und 6.3.1
- Sehr starke Reduzierung der Anzahl an benötigten Vermittlungssystemen durch Migration von einem leitungs- zu einem paketvermittelten Netz
- Minimierung der Anzahl der benötigten und später größtenteils überflüssigen Media Gateways durch geschickte Migration

Weitere Ergebnisse aus diesem Vorhaben zu Netzmigration und -optimierung sowie Netzdesign-Hinweise finden sich in [ElBo].

### 6.4 Mobilitätsunterstützung

Zur Unterstützung von Mobilität in IP-Netzen gibt es verschiedene Möglichkeiten mit unterschiedlichem Funktionsumfang.

Die einfachste Möglichkeit besteht in der Nutzung des DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), das für IPv4 im RFC 2131 [2131], für IPv6 im RFC 3315 [3315] definiert ist und mit UDP (User Datagram Protocol) transportiert wird. Befindet sich ein Host-Rechner in einem für ihn fremden Netz, lässt er sich eine für dieses Netz gültige IP-Adresse, normalerweise nur für eine bestimmte Zeitdauer, geben (Lease) und kann in der Folge kommunizieren. Mit diesen Informationen ausgestattet kann der mobile Host alle Dienste in Anspruch nehmen, bei denen nicht von vornherein seine IP-Adresse bekannt sein muss, z.B.

E-Mail, WWW-Homepage-Abruf. Selbst erreichbar, ohne Eigeninitiative, ist er jedoch nicht. Z.B. kann ein anderer Host B, der diese neue IP-Adresse ja nicht kennt, ihm keine IP-Pakete zusenden, ihn also beispielsweise nicht ankommend erreichen [2131; 3315; Roth].

Eine Lösung für dieses Problem bietet Mobile IP. Spezifiziert ist es unter anderem im RFC 3344 [3344]. Definiert wird dabei ein spezielles Set von Steuernachrichten, die mittels UDP gesendet werden.

Der mobile Host bekommt eine IP-Adresse  $b$ , die er auch beim Wechsel in ein fremdes Netz behält und unter der er auch dort erreichbar ist. Mit dem IPv6, bei dem Mobile IP-Funktionen integriert sind, wird Mobilität einfacher.

Mit Mobile IP lässt sich Mobilität über Netzgrenzen hinweg realisieren, so genannte Macro Mobility. Schwierig wird sein Einsatz in zellularen Mobilfunknetzen bei Zellwechseln, da ja jedes Mal eine Registrierung beim Home Agent erforderlich ist und daher ein sehr hohes Signalisierungsaufkommen entstehen kann. Zur Unterstützung dieser Micro Mobility werden weitere Protokolle mit Mobile IP kombiniert [Ske; Camp].

Interessanterweise wird Mobile IP für die Mobilitätsunterstützung bei SIP-gesteuerter multimedialer Echtzeitkommunikation gar nicht benötigt, da SIP bereits die nötigen Mechanismen bereitstellt. SIP unterstützt

- Persönliche Mobilität
- Session-Mobilität und
- Dienste-Mobilität [Webe].

„Persönliche Mobilität“ bedeutet, dass ein Benutzer generell unter derselben, ihn persönlich identifizierenden Rufnummer bzw. SIP URI erreichbar ist, ganz gleich wo er sich befindet und welches Endgerät er benutzt [Schu]. Im SIP ist diese Form der Mobilität bereits durch die Grundfunktion von Registrar Servern implementiert: Ein Benutzer kann sich von jedem Ort mit jedem beliebigen SIP UA bei demjenigen Registrar Server anmelden, der das Benutzerkonto des jeweiligen Anwenders verwaltet. Der Registrar Server erkennt die logische Verbindung zwischen der übermittelten, ständigen SIP URI des Benutzers und seiner derzeitigen temporären IP-Adresse. Diese Informationen übergibt er an einen Location Server, der sie anderen SIP-Netzelementen (wie z.B. Proxy- oder Redirect Servern) bei Bedarf zur Verfügung stellt.

Unter „Session-Mobilität“ versteht man die Möglichkeit eines Benutzers, das zur Kommunikation benutzte Endgerät während einer laufenden Session zu wechseln, also eine Session auf ein anderes Endgerät zu übertragen. Anwendungen hierfür sind z.B. das Verlegen einer Telefonie-Session von einem Mobil- auf ein Festnetz-Endsystem oder umgekehrt, aber auch das Auslagern einzelner Elemente einer Session auf ein anderes Endsystem (z.B. das Verlagern eines Video-Datenstroms im Rahmen einer kombinierten Audio- und Video-Session auf einen Computer mit entsprechender zur Video-Wiedergabe geeigneter Software, während die Sprachkommunikation weiterhin über ein herkömmliches Telefonie-Endsystem erfolgen soll) [Schu]. Im SIP existieren derzeit zwei Möglichkeiten, diese Form der Mobilität zu realisieren. Beide Möglichkeiten basieren auf „Third-Party Call Control“, also dem Prinzip der teilautomatisierten Vermittlung einer Kommunikationsverbindung durch eine dritte, am Nutzdatenaustausch unbeteiligte Instanz: „Third-Party Call Control“ mittels INVITE“ und „Third-Party Call Control mittels REFER“. Wegen der besseren Handhabbarkeit ist die zweite Möglichkeit zu bevorzugen.

Als „Dienstmobilität“ bezeichnet man die Möglichkeit eines Benutzers, jederzeit bestimmte, individuell auf den jeweiligen Anwender zugeschnittene Dienste in Anspruch nehmen und verwalten zu können, unabhängig davon, wo er sich befindet und welches Endsystem er

benutzt. Dienste im Sinne dieser Definition können die durch einen SIP-Service-Provider zur Verfügung gestellten Leistungsmerkmale wie z.B. „Anrufweiterleitung“ (für Telefonie), aber auch die Verwaltung und Nutzung persönlicher Komfortdaten wie Adressbuch- und Kurzwahlliste sein [Schu]. Die reine Nutzung benutzerspezifischer, durch Service-Provider zur Verfügung gestellter Dienstmerkmale mittels SIP ist orts- sowie endsystemunabhängig durch die erläuterte „persönliche Mobilität“. Ist ein Benutzer bei dem sein Anwenderkonto verwaltenden Registrar Server registriert, kann er die dort eingerichteten Dienste jederzeit in Anspruch nehmen, unabhängig von seinem Standort und dem benutzten Endsystem. Die zusätzliche Möglichkeit der mobilen Verwaltung Provider-spezifischer Leistungsmerkmale könnte beispielsweise durch die potentielle Zugriffsfähigkeit eines entsprechend autorisierten Benutzers auf einen SIP-Server realisiert werden. Ein Anwender könnte so von jedem Ort und von einem beliebigen (zur entsprechenden Kommunikation fähigen) Endsystem die für ihn im Server gespeicherten benutzer- und dienstspezifischen Daten modifizieren, unabhängig z.B. von seiner aktuellen IP-Adresse. Auch die Synchronisation benutzerbezogener, persönlicher Daten (Adressbuch, Kurzwahlliste etc.) zwischen unterschiedlichen Endsystemen mittels SIP ist denkbar. Ein Ansatz hierfür könnte z.B. die Einrichtung einer in einem Registrar Server integrierten Datenbank sein, die beim Registrierungsvorgang durch den UA angesprochen wird. Im Rahmen der REGISTER-Nachricht und weiterer folgender Kommunikationselemente könnten die persönlichen Daten zwischen UA und Datenbank abgeglichen werden, so dass der Anwender jederzeit auf jedem Endsystem, das er gerade benutzt und das sich demzufolge beim Server registriert hat, denselben Datenstand vorfindet. Einen relativen Schutz der persönlichen Nutzerdaten vor Missbrauch würde in diesem Fall die SIP-Digest-Authentifizierung im Rahmen der Registrierung bieten.

Der Begriff „Endgerätemobilität“ besagt, dass ein Endsystem – z.B. ein SIP UA – sowohl bezüglich seiner ständigen Sende- und Empfangsbereitschaft als auch in Bezug auf die Aufrechterhaltung einer gerade währenden Session völlig unabhängig von einem bestimmten IP-Subnetz und somit frei beweglich ist [Schu]. Diese Form der Mobilität macht allerdings nur im Zusammenhang mit einer funkbasierten Kommunikationsinfrastruktur Sinn, da eine festnetzbasierende Endgerätemobilität schlicht eine Verschmelzung aus den oben genannten Mobilitätsformen darstellen würde.

In SIP/IP-Netzen hat man eine recht umfassende Mobilitätsunterstützung. Die Frage nach einer übergreifenden Mobilitätsunterstützung in einem heterogenen Netz ist allerdings noch offener. Man könnte sich z.B. vorstellen, mit Hilfe des IN-Dienstes „Universal Personal Telecommunications (UPT)“ und der Mobilitätsunterstützung durch SIP Mobilität im gesamten heterogenen Netz (im ISDN, den zellularen Mobilfunknetzen und dem SIP/IP-Netz) zu realisieren. Ein Nutzer würde über das IN seine möglichen Aufenthaltsorte bekannt machen und wäre dann genauso über das leitungs- oder paketvermittelte Festnetz wie das Mobilfunknetz über eine Rufnummer erreichbar. Hierfür fehlen aber die nötigen IN-Erweiterungen.

## 6.5 Sicherheit und Datenschutz

Das Thema Sicherheit ist für ein NGN und damit ein in weiten Teilen IP-basierendes Netz wegen der durch IP gegebenen Offenheit für Angriffe von außerordentlicher Wichtigkeit. In der Literatur werden Sicherheit und Datenschutz durch so genannte Sicherheitsdienste repräsentiert. Anhand von sieben solcher Sicherheitsdienste und ihrer möglichen Realisierung wird im Folgenden der Frage nach Sicherheit in IP-Netzen nachgegangen [Ecke; Rae].

- **Vertraulichkeit:** Sie schützt Informationen beim Transport durch die Netze vor unberechtigten Einblicken. Gegebenenfalls gehen die Anforderungen so weit, dass schon die bloße Existenz der Informationen für Außenstehende nicht mehr erkennbar sein darf.
- **Integrität:** Hierunter wird die Unversehrtheit von Daten verstanden, d.h. die Sicherung gegen beabsichtigte oder zufällige Manipulationen. Der Empfänger muss in die Lage versetzt werden, die Unverfälschtheit der Daten beurteilen zu können.
- **Authentifizierung:** Bei vielen Anwendungen oder auch im Hinblick auf die Gebührenerfassung muss sich ein Nutzer gegenüber dem Netz oder einem Dienst ausweisen, er muss einen Beweis für seine Identität erbringen.
- **Zugriffskontrolle:** Der Authentifizierung nachgeschaltet ist häufig eine Zugriffskontrolle. Sie sorgt dafür, dass ein Nutzer oder eine Nutzerklasse nur auf die Dienste oder Netze zugreifen kann, für die er oder sie eine Berechtigung hat.
- **Verbindlichkeit:** Vor allem im Hinblick auf die Rechtssicherheit im Zusammenhang mit digitaler Kommunikation ist es erforderlich, dass ein zweifelsfreier Zusammenhang zwischen den übermittelten Daten und der Person, die sie versendet bzw. empfangen hat, hergestellt werden kann.
- **Verfügbarkeit:** Netze oder Dienste müssen den dafür autorisierten Nutzern zur Verfügung stehen, auch im Falle von durch Angriffe oder technisch bedingte Ausfälle hervorgerufenen Ressourcen-Engpässen.
- **Anonymität:** Sie schützt eine Person im Netz, indem sie verhindert, dass ihre Identität bekannt wird.

Beispiele möglicher Sicherheitstechniken werden nachfolgend aufgelistet und erforderlichenfalls kurz erläutert. Ihre denkbare Einbindung in ein IP-Netz zeigt Bild 6.33 auf, wobei die genannten Funktionen in den gezeigten Netzknoten nicht direkt integriert sein müssen. Der Zusammenhang zwischen den Sicherheitstechniken und -diensten geht aus Tabelle 6.5 hervor.

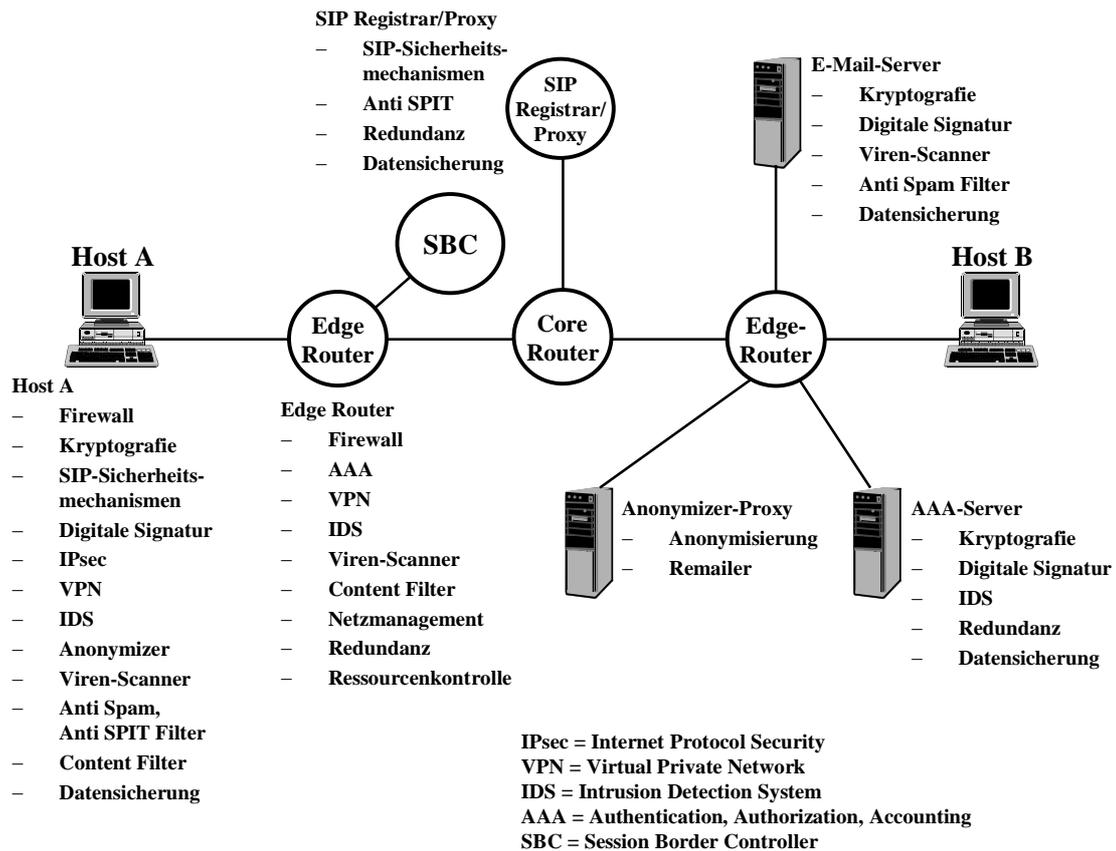


Bild 6.33: Funktionen für Sicherheit und Datenschutz in einem IP-Netz

- Firewall: realisiert eine wirkungsvolle Sicherheitsstrategie am Übergang zwischen zwei Netzen durch Zugriffskontrolle auf Basis von Paketfiltern (IP-Adressen, Port-Nummern, Protokoll-Typ u.a.), Stateful Inspection (Berücksichtigung der Vergangenheit, z.B. Antwort auf vorher gesendetes IP-Paket), Proxy-Funktionen und/oder Applikationsfiltern [Ecke; Steu].
- Kryptografie: Hierunter versteht man die Verschlüsselung von Informationen, um sie vor Unbefugten geheim halten zu können. Dabei kommen Schlüssel zum Einsatz, sowohl für den Chiffrierungs- als auch den Dechiffrierungsvorgang. Kryptographische Verfahren werden für die sichere Datenübermittlung in VPNs (Virtual Private Network), von Webseiten und E-Mails eingesetzt, aber auch zur Authentifizierung oder digitalen Signatur [Schn].
- Authentication Server: per Passwort, Chipkarte, Biometrie; unter Einsatz von Kryptografie/Verschlüsselung; mit speziellen Protokollen für Einwahlzugänge oder verteilte Systeme [Ecke; Rae].
- Authorization Server: zur Rechteverwaltung und Zugriffskontrolle, normalerweise in Verbindung mit Authentication.
- SIP-Registrierung für Authentifizierung und Zugriffskontrolle
- SIP-Sicherheitsmechanismen für verschlüsselte Registrierung, Authentifizierung, Verbindungssteuerung und gesicherte Nutzdatenübermittlung
- Session Border Controller für Authentifizierung, Zugriffskontrolle, Anonymisierung, Ressourcenkontrolle, Verschlüsselung u.a.
- Digitale Signatur

- IPsec (Internet Protocol Security): Im Hinblick auf die Sicherheit werden die betroffenen IP-Pakete um zusätzliche Authentication und/oder Encapsulating Security Payload Header erweitert, um Authentifizierung und Integrität sowie Vertraulichkeit zu gewährleisten [Ecke].
- VPN (Virtual Private Network): Den Nutzern wird über ein öffentliches Netz hinweg ein für sie völlig transparentes privates Netz bereitgestellt (Tunneling), mit Authentifizierung, verschlüsselter Informationsübermittlung und einem privaten Adressbereich. Realisiert werden kann ein solches VPN z.B. mit IPsec oder MPLS (Multiprotocol Label Switching) [Rae].
- Intrusion Detection System (IDS) zum Erkennen von Angriffen [Rae]
- Anonymizer-Proxy: Server, der z.B. bei Zugriffen auf das WWW die Anfragen eines Client anonymisiert, d.h. die IP-Adresse des Client nach außen ändert. Für den angefragten Web-Server bleibt damit der anfordernde Client anonym [Müll].
- Remailer: E-Mail-Server zur Unterstützung anonymer E-Mails
- Viren-Scanner gegen Viren, Würmer, Trojaner
- Anti Spam, Anti SPIT Filter (Spam over Internet Telephony) [Rose]
- Content Filter
- Leistungsfähiges, übergreifendes Netzmanagement
- Redundanz wichtiger Netzknoten und Wege [Rae]
- Ressourcenkontrolle im Netz [Rae]
- Datensicherung bei wichtigen Netzknoten [Rae]

Die Tabelle 6.4 zeigt in der Übersicht speziell die SIP-Sicherheitsmechanismen anhand der oben genannten Sicherheitsdienste. Hierbei wird lediglich der SIP-basierte Datenaustausch im Rahmen der Vermittlung bzw. Signalisierung, nicht jedoch der Nutzdatenaustausch berücksichtigt.

Tabelle 6.4: Vergleich von SIP-Sicherheitsmechanismen anhand definierter Sicherheitsdienste

SIP-Sicherheitsmechanismus	Sicherheitsdienst						
	Vertraulichkeit	Integrität	Authentifizierung	Zugriffskontrolle	Verbindlichkeit	Verfügbarkeit	Anonymität
SIP Digest			+	+	+		
SIPS	+	+					
S/MIME	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)		(+)
Anonymisierungsdienst							+

Darüber hinaus gibt es für den Nutzdatenaustausch die folgenden Sicherheitsmechanismen:

- SRTP (Secure Real-time Transport Protocol) [RFC 3711]
- Initiierung von SIP-Sessions für gesicherten Nutzdatentransport mit geeignetem Transportprotokoll (z.B. TLS (Transport Layer Security) für echtzeitunkritische Nutzdaten, siehe u.a. Chat und File Transfer)

Zudem kann als genereller Sicherheitsmechanismus für IP-Kommunikation IPsec (Internet Protocol Security) [RFC 2401] zum Einsatz gebracht werden.

Mit relativ viel Aufwand lässt sich das NGN-Kennzeichen „integrierte Sicherheitsfunktionen“ in einem großen IP-Netz bzw. einem Netz von IP-Netzen erfüllen. Allerdings steigt durch diese Maßnahmen die ohnehin schon hohe Komplexität und diese ist der schlimmste Feind

von Sicherheit. So gilt es, die Netzarchitekturen, die Systeme und die Sicherheitsmaßnahmen in Kombination so zu gestalten, dass das Gesamtnetz möglichst einfach und damit sicherer wird [Schn].

Tabelle 6.5: Sicherheitsdienste und Technologien in IP-Netz

Technologien	Sicherheitsdienste						
	Vertraulichkeit	Integrität	Authentifikation	Zugriffskontrolle	Verbindlichkeit	Verfügbarkeit	Anonymität
<b>Firewall</b>				+			
<b>Kryptografie</b>	+	+	+				
<b>Authentication Server</b>			+				
<b>Authorization Server</b>				+			
<b>SIP-Registrar</b>			+	+			
<b>SIP-Sicherheitsmechanismen</b>	+	+	+	+			
<b>Session Border Controller</b>	+		+	+		+	+
<b>Digitale Signatur</b>		+	+		+		
<b>IPsec</b>	+	+	+				
<b>VPN</b>	+	+	+	+		+	
<b>IDS</b>						+	
<b>Anonymizer</b>							+
<b>Remailer</b>							+
<b>Viren-Scanner</b>						+	
<b>Anti Spam, Anti SPIT Filter</b>						+	
<b>Content Filter</b>						+	
<b>Netzmanagement</b>						+	
<b>Redundanz</b>						+	
<b>Ressourcenkontrolle</b>						+	
<b>Datensicherung</b>						+	

Noch komplexer wird das Thema Sicherheit, wenn man das Augenmerk wirklich auf ein heterogenes Telekommunikationsnetz legt. ISDN benötigt wegen seiner spezifischen Technik und den leitungsgebundenen Teilnehmerzugängen wenig zusätzliche Sicherheitsfunktionen, wobei dies nicht mehr uneingeschränkt bei Mobilitätsunterstützung gilt. Bei den Mobilfunknetzen wurde und wird wegen der leicht attackierbaren Funkzugänge relativ viel Aufwand für Sicherheit und Datenschutz getrieben. IP-Netze sind wegen der IP-bedingten Offenheit besonders gefährdet. Die Zusammenschaltung dieser Netze zu einem integrierten Netz führt zu einem höchst komplexen Gebilde mit dadurch allerhöchsten Anforderungen bezüglich Sicherheit und Datenschutz. Eine Übersicht des Netzes und der diesbezüglichen Funktionen zeigt Bild 6.34.

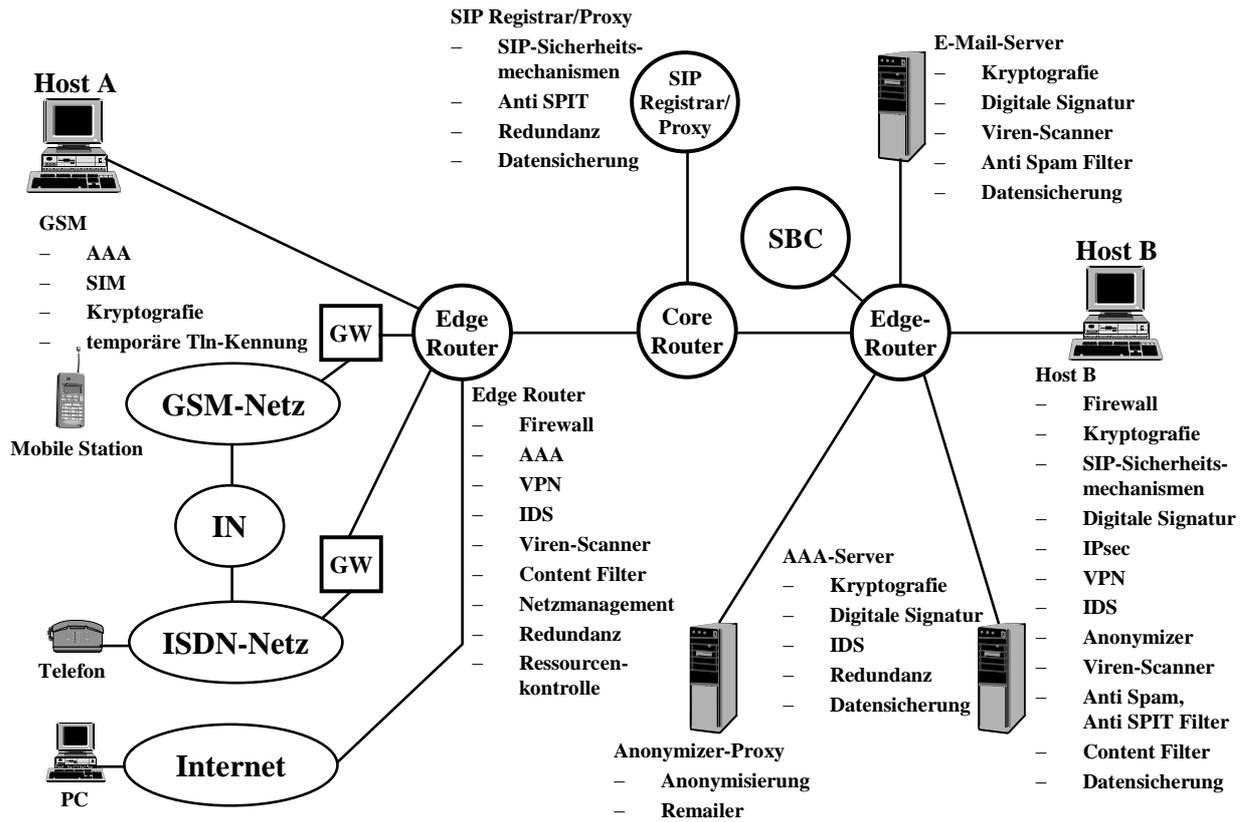


Bild 6.34: Funktionen für Sicherheit und Datenschutz in einem heterogenen Netz

## 7 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

In diesem Projekt konnten wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der Techniken für Next Generation Networks (NGN), der Modellbildung für Telekommunikationsnetze und der Optimierung von heterogenen Telekommunikationsnetzen gewonnen werden. Diese wurden und werden bereits angewandt in Drittmittelprojekten mit Firmenpartnern, in Fachseminaren an der FH Frankfurt und Inhouse bei Firmen sowie in größeren Forschungsprojekten mit Hochschul- und Firmenpartnern.

### Ursprünglicher Verwertungsplan mit Ergebnissen aus heutiger Sicht

- Vertiefung einzelner Themen mit Firmen:
  - Firmenprojekt: Notruf bei Voice over IP; 05/2005-10/2005
  - Firmenprojekt: Anforderungen an Carrier Class-VoIP-Netz; 08/2005-10/2005
  - Firmenprojekt: Anti-Spam und Click-to-Dial bei Voice over IP; 08/2005-12/2005
  - Firmenprojekt: High Quality Audio VoIP-Technologie für Rundfunkstationen; 10/2005-03/2006
- Seminare und Schulungen (kurz-, mittel- und langfristig)
  - \* Durchführung von Schulungen und Seminaren zu den neuen Netztechniken für Firmen
    - 2-tägiges Seminar „Next Generation Networks, Voice over IP und SIP“ (6 x durchgeführt)
    - 2-tägiges Seminar „Das Session Initiation Protocol (SIP)“ (1 x durchgeführt)
    - 4-tägiges Seminar „Next Generation Networks (NGN) und Session Initiation Protocol (SIP)“ (2 x durchgeführt)
  - \* Dabei ggf. auch Nutzung des Labors für Telekommunikationsnetze
    - Ja, bei an der FH Frankfurt durchgeführten Seminaren
- In Teilen - z.B. bei Sicherheit und Datenschutz sowie Mobilität - praktische Umsetzung der Ergebnisse in dem sich zur Zeit in Aufbau befindlichen Labor für Telekommunikationsnetze für die praxisnahe Lehre:
  - Siehe Kapitel 2 „Labor“ und „Diplomarbeiten“.
- Einbringen der Forschungsergebnisse in die telekommunikationstechnischen Lehrveranstaltungen an der FH Frankfurt:
  - Diplom-Wahlpflichtvorlesung „Next Generation Networks“
  - Master-Pflichtvorlesung „Mobile Computing“
  - Weiterer Ausbau des Labors für Telekommunikationsnetze
- Geplante Veröffentlichungen:
  - Siehe Kapitel 9
- Einbringen der Ergebnisse und des erarbeiteten Know-hows in größeres Forschungsprojekt mit weitergehender Detailtiefe zusammen mit mehreren Kooperationspartnern
  - BMBF-Projekt: Verbesserung der netzeübergreifenden Quality of Service bei SIP-basierter VoIP-Kommunikation (QoSSIP); 10/2005-03/2008. Kooperationspartner sind Fachhochschule Köln, HEAG MediaNet GmbH/Darmstadt, Acterna GmbH/Eningen u.A., Tecon Systems AG/Köln, , FhG-Institut FOKUS Satcom/Sankt Augustin, Arcor AG & Co. KG/Eschborn.
  - FH-Projekt: Dienste und Architekturen in zukünftigen Telekommunikationsnetzen (DazTel); 11/2005-04/2008. Kooperationspartner sind University of Technology and Agriculture Bydgoszcz/Polen, R-KOM Regensburger Telekommunikationsgesellschaft mbH & Co. KG, Marconi Communications GmbH/Frankfurt, Fachbereich 4 “Soziale Arbeit und Gesundheit”.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass das hier dokumentierte Vorhaben eine sehr gute Basis ergab und weiterhin bereitstellt: für Drittmittelprojekte mit Firmen, für stark nachgefragte Fachseminare, für größere Forschungsprojekte sowie für eine die neuesten Erkenntnisse berücksichtigende Lehre. Die Drittmittelfähigkeit wurde in massiver Weise gesteigert.

## 8 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

- Die Veröffentlichungen zu NGN, SIP, Mobilität, Sicherheit etc. in den einschlägigen Fachzeitschriften und bei der Standardisierung (IETF, 3GPP, ETSI, ITU-T) wurden laufend verfolgt und ggf. in das Vorhaben mit einbezogen.
- Was die Modellbildung für Telekommunikationsnetze angeht, ist dem Verfasser bis jetzt kein ähnlich leistungsfähiges Modell bekannt.
- Das von European Commission geförderte Forschungsprojekt "Integrated Project Ambient Networks" befasst sich derzeit mit ganz neuen Netzlösungen für mobile und drahtlose Netze beyond 3G. Mit der "Ambient Network-Technologie" soll ein persönliches Netz automatisch, effizient und sicher mit den jeweils umgebenen Netzen verbunden werden, um die für den Nutzer relevanten Kommunikationsdienste zur Verfügung zu stellen. Die gleiche Technologie soll auch das dynamische Zusammenschalten und Trennen beliebiger Netze ermöglichen. Dies könnte mittelfristig zu neuen Lösungen für die Modellierung von Telekommunikationsnetzen führen [Berl]. In der ersten Phase des EU-Projekts wurden Konzepte formuliert, die für die zukünftige Telekommunikationsinfrastruktur wichtig sind, und Anforderungen an die AN-Architektur definiert. Weitere interessante Ergebnisse im Rahmen des ersten Phase des Projekts sind:
  - Ambient Network Composability
  - Media Delivery
  - Context Management
  - Low Cost Wireless Infrastructure
  - Composable Network Management
  - Efficient Interdomain Mobility Management
  - Composable Network Security.

## 9 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Im Laufe des Projekts bzw. im Anschluss daran wurden die folgenden Veröffentlichungen auf Fachtagungen publiziert:

- Weber, Frank; Trick, Ulrich: Mobilität und SIP. ITG-Fachbericht 184 Mobilfunk, S.21-31, Juni 2004 [Webe]
- Trick, Ulrich; Weber, Frank; El Bouarfati, Soulaymane: Modellierung heterogener Telekommunikationsnetze. ITG-Fachbericht 187 Mobilfunk, S. 41-49, Juni 2005 [Tric3]
- El Bouarfati, Soulaymane; Weber, Frank; Trick, Ulrich: Netzmodellierung und ISDN-NGN-Migration. IP-Netzmanagement, Netzplanung und Optimierung, Workshop Uni Würzburg, Juli 2005 [ElBo]

Mindestens eine weitere Veröffentlichung ist geplant:

- El Bouarfati, Soulaymane; Weber, Frank; Trick, Ulrich: Network Modelling and PSTN-NGN Migration. ITU/BDT Regional Seminar on Fixed Mobile Convergence and new network architectures for the ARB Region, Tunis, November 2005. Vortrag angenommen

## 10 Quellen und Literatur

- [2131] Droms, R.: RFC 2131 – Dynamic Host Configuration Protocol. IETF, March 1997
- [22978] TR 22.978: All-IP Network (AIPN) Feasibility Study (Release 7). 3GPP, Oct. 2004
- [2401] Kent, S.; Atkinson, R.: RFC 2401 – Security Architecture for the Internet Protocol. IETF, November 1998
- [3315] Droms, R.; Bound, J.; Volz, B.; Lemon, T.; Perkins, C.; Carney, M.: RFC 3315 – Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6). IETF, July 2003
- [3344] Perkins, C.: RFC 3344 – IP Mobility Support for IPv4. IETF, August 2002
- [3711] Baugher, M.; McGrew, D.; Naslund, M.; Carrara, E.; Norrman, K.: RFC 3711 – The Secure Real-Time Transport Protocol. IETF, March 2004
- [3GA1] 3GPP TS 33.203: 3G Security; Access security for IP-based services (Release 6). 3GPP, June 2002
- [3GA2] 3GPP TS 33.203: 3G Security; Access security for IP-based services (Release 5). 3GPP, June 2002
- [3GM] 3GPP TS 23.057: Mobile Execution Environment (MExE); Functional description; Stage 2 (Release 6). 3GPP, September 2002
- [3GN] 3GPP TS 33.210: 3G Security; Network Domain Security (NDS); IP network layer security (Release 5). 3GPP, June 2002
- [Berl] <http://www.tu-berlin.de/presse/pi/2004/pi39.htm>
- [Camp] Campbell, Andrew T.; Gomez, Javier; Kim, Sanghyo; Wan, Chieh-Yih: Comparison of IP Micromobility Protocols. IEEE Wireless Communications, February 2002
- [Cas] Castells, Manuel: Das Informationszeitalter I – Der Aufstieg der Netzwerkgesellschaft. Leske + Budrich, 2001
- [Ecke] Eckert, Claudia: IT-Sicherheit. Oldenbourg, 2005
- [ElBo] El Bouarfati, Soulaïmane; Weber, Frank; Trick, Ulrich: Netzmodellierung und ISDN-NGN-Migration. IP-Netzmanagement, Netzplanung und Optimierung, Workshop Uni Würzburg, Juli 2005
- [FNGN] FGNGN-OD-00050: Scenarios for PSTN/ISDN evolution to NGN. ITU-T, Dec. 2004
- [I320] I.320: ISDN Protocol Reference Model. ITU-T, Nov. 1993

- [I322] I.322: Generic protocol reference model for telecommunication networks. ITU-T, Feb. 1999
- [IP6] SB3G: IPv6 activities of the „Systems beyond 3G“ cluster. IST, July 2002
- [ITG] Bärwald, W. et al.: FMC – Konvergenz von Fest- und Mobilfunknetzen. ITG-Fachgruppe 5.2.4, Dez. 1999
- [Kub] Kubicek, Herbert et al.: Innovation@Infrastruktur - Jahrbuch Telekommunikation und Gesellschaft 2002. Hüthig, 2002
- [Müll] Müller, Günter; Eymann, Torsten; Kreutzer, Michael: Telematik- und Kommunikationssysteme in der vernetzten Wirtschaft. Oldenbourg, 2003
- [Opas1] Opaschowski, Horst W.: Deutschland 2010. Germa Press, 2001
- [Opas2] Opaschowski, Horst W.: Wir werden es erleben – Zehn Zukunftstrends für unser Leben von morgen. PRIMUS, 2002
- [Opas3] Opaschowski, Horst W.: Deutschland 2020. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2004
- [Rae] Raeppe, Martin: Sicherheitskonzepte für das Internet. dpunkt, 2001
- [Rose] Rosenberg, Jonathan: SIP and SPAM. Int. SIP Conference, Paris, January 2005
- [Rot] Roth, Jörg: Mobile Computing. dpunkt, 2002
- [Sch] Schneier, Bruce: Secrets & Lies. dpunkt, 2001
- [Schn] Schneier, Bruce: Secrets & Lies. dpunkt, 2001
- [Schu] Schulzrinne, Henning; Wedlund, Elin: Application-Layer Mobility Support using SIP. Mobile Computing and Communications Review (MC2R), Volume 4, Number 3, Columbia University, July 2000
- [SH1] SHAMAN-Workshop: Security for mobile systems beyond 3G. IST, July 2002
- [SH2] SHAMAN-Intermediate Report: Results of Review, Requirements and Reference Architecture – overview of existing security technologies relevant to the definition of a security architecture for post 3G systems. IST, Nov. 2001
- [Ske] Skehill, Ronald J.; McGrath, Sean: IP Mobility Management Survey for Mobile Hosts. ITT Conference, Waterford, Oct. 2002
- [Steu] Steuernagel, Kai: IP-Netze – Planung und Design. Hüthig, 2002
- [Tri1] Trick, Ulrich: Infrastruktur der Informationsgesellschaft – Weg zur ökonomisch effizienten, sozial gerechten und ökologisch verträglichen Fortentwicklung der Informations- und Kommunikationsgesellschaft. Essay zum Reimut-Jochimsen-Preis, Sept. 2002

- [Tri2] Trick, Ulrich: All over IP – der Schlüssel zur Kommunikationsinfrastruktur der Zukunft. Erscheint in der ntz, H.1, 2003
- [Tric3] Trick, Ulrich; Weber, Frank; El Bouarfati, Soulimane: Modellierung heterogener Telekommunikationsnetze. ITG-Fachbericht 187 Mobilfunk, S. 41-49, Juni 2005
- [VIS] SB3G: A Vision on Systems beyond 3G. IST, 2001
- [Webe] Weber, Frank; Trick, Ulrich: Mobilität und SIP. ITG-Fachbericht 184 Mobilfunk, S.21-31, Juni 2004
- [WSIS] WSIS: Plan of Action. 12.12.2003
- [X200] X.200: Information Technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model. ITU-T, July 1994
- [YNGN] Y.NGN-MIG: Migration of networks (including TDM Networks) to NGN. ITU-T, NGN-WD-87, June 2004