PIK — Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation 2/04, Saur Verlag, Juni 2004

Mobilitätsmanagement im Überblick: Von 2G zu 3,5G

Axel Küpper, Helmut Reiser, Michael Schiffers

Munich Network Management Team
Ludwig-Maximilians-Universität München
{kuepper|reiser|schiffers}@informatik.uni-muenchen.de

Dr. Axel Küpper, Studium der Informatik an der RWTH Aachen, Diplom 1996, Promotion über nomadische Kommunikation in konvergenten Netzen im Jahr 2001. Seit 2001 am Lehrstuhl Kommunikationssysteme und Systemprogrammierung (Prof. Dr. C. Linnhoff–Popien) der Ludwig–Maximilians–Universität München und Mitglied des Münchner Netzmanagement Teams. Forschungsgebiete: Mobile Computing, Location–Based und Context–Aware Services. Mitglied bei IEEE, der GI und beim Förderkreis IT– und Medien–Wirtschaft München e.V.

Dr. Helmut Reiser, Studium der Informatik an der Technischen Universität München, Diplom 1997, Promotion über Sicherheit in Managementsystemen auf der Basis Mobiler Agenten im Jahr 2001. Seit 1997 am Lehrstuhl Kommunikationssysteme und Systemprogrammierung (Prof. Dr. H.-G. Hegering) der Ludwig–Maximilians–Universität München und Mitglied des Münchner Netzmanagement Teams. Forschungsgebiete: Integriertes IT–Management sowie Sicherheitsaspekte im Management. Mitglied bei IEEE, ACM und GI.

Dipl.–Inform. Michael Schiffers, Studium der Informatik an der Universität Bonn, Diplom 1977. Seit 2002 am Lehrstuhl Kommunikationssysteme und Systemprogrammierung (Prof. Dr. H.-G. Hegering) der Ludwig–Maximilians–Universität München. Davor in verschiedenen Positionen der IT–Industrie. Mitglied des Münchner Netzmanagement Teams. Forschungsgebiete: Servicemanagement, Ubiquitous Computing. Mitglied bei GI und ACM.

Zusammenfassung

Die Bereitstellung von Mechanismen zur Lokalisierung von Teilnehmern bzw. deren Endgeräten und zur Aufrechterhaltung von Sitzungen mobiler Dienste ist Aufgabe des Mobilitätsmanagements. Insbesondere die globale Verfügbarkeit von Diensten in 3G und 3,5G–Netzen erfordert eine umfassende Erweiterung des Mobilitätsmanagements der 2G–Netze. Ziel ist es, dem Teilnehmer eine transparente betreiber–, system– und geräteübergreifende Verfügbarkeit von Diensten zu gewährleisten. In diesem Beitrag wird ein kurzer Überblick über wesentliche Entwicklungen des Mobilitätsmanagement von 2G bis 3,5G gegeben. Dazu werden die verschiedenen Mobilitätsformen klassifiziert. Zu den einzelnen Klassen werden offene Fragestellungen adressiert.

Schlüsselwörter: Mobilitätsmanagement, UMTS, GPRS, GSM, Handover

1 Einleitung

Mit der Einführung von UMTS wurde der Wechsel von der 2. zur 3. Generation (2G und 3G–Netze) zellularer Netze gerade vollzogen oder steht, wie in Deutschland, kurz bevor. Neben den erhöhten Übertragungsraten auf der Luftschnittstelle wartet UMTS mit neuen Diensten und verbesserten Roaming–Mechanismen auf, die dem Teilnehmer eine geräte– und betreiberunabhängige Nutzung nicht nur der Sprachtelefonie, sondern sämtlicher Dienste ermöglichen sollen.

Durch das für die Standardisierung von UMTS zuständige *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) werden zur Zeit weitere Ausbaustufen von UMTS vorbereitet (3,5G). Die entscheidenden Neuerungen sind hier die Integration von weiteren

Funktechnologien, allen voran WLAN–Umgebungen nach dem 802.11–Standard, und die Ablösung des leitungsvermittelten Prinzips durch eine „All–IP“–Lösung, bei der sämtliche Dienste des Netzes, die Anbindung der Zugangsnetze an das Kernnetz sowie das Kernnetz selbst IP–basiert sind. Sprachtelefonie bis hin zu komplexen Multimediasitzungen werden durch ein sogenanntes *IP Multimedia Subsystem* (IMS) erbracht. Aufbau und Management von Sitzungen erfolgen durch das *Session Initiation Protocol* (SIP), welches auch für eine nahtlose Anbindung an das drahtgebundene Internet sorgt.

Für die globale Verfügbarkeit von Diensten in 3G und 3,5G–Netzen wurde das Mobilitätsmanagement der 2G–Netze umfassend erweitert. Ziel ist es, dem Teilnehmer eine transparente betreiber–, system– und geräteübergreifende Verfügbarkeit von Diensten zu gewährleisten. Dieser Beitrag liefert einen kurzen Überblick über die Entwicklung des Mobilitätsmanagement von 2G bis 3,5G und adressiert offene Fragestellungen. Der folgende Abschnitt enthält eine Klassifikation der verschiedenen Mobilitätsformen, anhand derer die restlichen Kapitel des Beitrags strukturiert sind.

2 Formen der Mobilität

Mobile Dienste bzw. die Mobilität ihrer Nutzer in all ihren Ausprägungen zu unterstützen, ist die Aufgabe des Mobilitätsmanagements. Für die Nutzer sollte die Dienstanpassung auf Grund der Mobilität möglichst transparent sein, d.h. unabhängig vom Ort, vom verwendeten Zugangsnetz oder vom Endgerät sollte die durchgängige Dienstnutzung ohne aufwändige (Um–)Konfiguration möglich sein. Die daraus resultierende Komplexität des Mobilitätsmanagements wird zusätzlich erhöht, wenn Mobilität technologie– und organisationsübergreifend betrachtet werden muss. Abbildung 1 zeigt ein Referenzmodell für ein universelles Mobilitätsmanagement, welches die verschiedenen Formen der Mobilität zueinander in Beziehung setzt. Es wird zwischen den *primären Mobilitätsformen* Endgeräte–, Personen–, Dienst– und Sitzungsmobilität unterschieden, welche die Funktionen zur unmittelbaren Mobilitätsunterstützung des Nutzers abdecken. Sie werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Die *sekundären Mobilitätsformen* decken systemtechnische und administrative Aspekte der zuvor beschriebenen primären Mobilitätsformen ab. Die **Intrasystemmobilität** bezieht sich auf eine Mobilitätsunterstützung innerhalb eines Systems einer bestimmten Technologie, wohingegen bei der **Intersystemmobilität** eine Unterstützung zwischen heterogenen Systemen erfolgt. Analog hierzu bezeichnet **Intraorganisationale Mobilität** die Mobilitätsunterstützung innerhalb des Netzes eines Betreibers und **Interorganisationale Mobilität** die zwischen verschiedenen Betreibern.

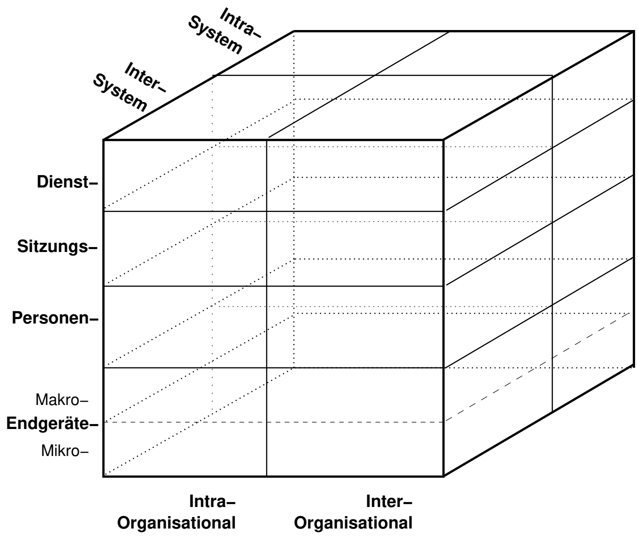

Abbildung 1: Mobilitätsformen

3 Endgerätemobilität

Endgerätemobilität bezeichnet die räumliche Beweglichkeit von klassischen mobilen Geräten wie Mobiltelefonen, PDAs oder Notebooks. Sie kann in verschiedenen Ausprägungen durch das Netz unterstützt werden. Die *kontinuierliche Endgerätemobilität* setzt eine drahtlose Verbindung über die Luftschnittstelle zwischen dem Gerät und einem Zugangspunkt des Netzes voraus. Bei der *diskreten Endgerätemobilität* liegt üblicherweise eine drahtgebundene Verbindung mit dem Netz vor, das Gerät kann aber transparent für die jeweils genutzten Dienste an verschiedenen Zugangspunkten angeschlossen werden. Für die Mechanismen des Mobilitätsmanagements spielt die Netztopologie eine wichtige Rolle, weshalb zwischen Mikro– und Makromobilität unterschieden wird. *Mikromobilität* umfasst unterstützende Mechanismen für eine transparente Endgerätemobilität innerhalb der Funkzelle eines Zugangspunktes oder aber zwischen den verschiedenen Zugangspunkten eines Teilnetzes. *Makromobilität* hingegen umfasst Mobilitätsmechanismen zwischen verschiedenen Teilnetzen. Eine vollständige Unterstützung von Endgerätemobilität liegt vor, wenn das Netz die Lokalisierung des Gerätes unterstützt, also die Bestimmung des momentanen Zugangspunktes, und eine bestehende Dienstsitzung, also z.B. ein Telefonat oder einen Datenaustausch, bei dem Wechsel des Zugangspunktes erhalten bleibt. Dies wird als *Handover* bezeichnet.

3.1 Endgerätemobilität in 2G und 2,5G

Das klassische Mobilitätsmanagement wurde ursprünglich für leitungsvermittelte Telefondienste in 2G–Netzen konzipiert und umfasst die Lokalisierung von Geräten sowie den Handover. Dem Mobilitätsmanagement liegt eine zweistufige Datenbankinfrastruktur zugrunde, bei der die Aufenthaltsinformationen in einem zentralen *Home Location Register* (HLR) und mehreren in den Teilnetzen befindlichen *Visitor Location Registers* (VLR) verwaltet werden. Das HLR verweist auf das gegenwärtige Teilnetz, in dem sich ein Gerät befindet. Im Gegensatz dazu enthält das VLR für jedes Gerät eine temporäre Netzadresse, die beim „Ausrufen" eines Gerätes in allen Zugangspunkten des Lokalisierungsgebietes, in dem der Nutzer registriert ist, verwendet wird (*Paging*). Damit kann die für eine Verbindung zuständige Basisstation ermittelt werden. Verschiedene Arten des Handovers wurden spezifiziert, um eine Verbindungsübergabe innerhalb eines Teilnetzes oder zwischen verschiedenen Teilnetzen durchzuführen.

Die Funktionen zur Lokalisierung sowie der Handover werden über eine Outband–Signalisierung gesteuert, d.h. über dedizierte Signalisierungskanäle. Innerhalb des Kernnetzes, wie auch zwischen den Netzen verschiedener Betreiber, erfolgt die Signalisierung über das Signalisierungsprotokoll SS7. Innerhalb der Teilnetze sowie auf der Luftschnittstelle wurden GSM–typische Protokolle spezifiziert. In [3] wird die Signalisierung des Mobilitätsmanagements detailliert beschrieben.

Die Verwirklichung interorganisationaler Endgerätemobilität war ein primäres Ziel der Standardisierung von GSM. Durch das *Roaming* wird es einem Teilnehmer ermöglicht, Dienste eines Fremdnetzes zu nutzen und dort unter seiner Telefonummer erreichbar zu sein. Interorganisationale Mobilität ist eng verknüpft mit Fragen des Abrechnungsmanagements. In GSM erfolgt die Abrechnung der Dienste über den Heimatnetzbetreiber. Die Erreichbarkeit im Fremdnetz wird gewährleistet durch einen Verweis im HLR des Heimatnetzes auf das HLR des Fremdnetzes. Die Lokalisierung innerhalb dieses Fremdnetzes erfolgt dann mit Hilfe der zuvor beschriebenen Mechanismen. Der Handover zwischen Netzen verschiedener Betreiber wird in GSM prinzipiell nicht unterstützt, läßt sich jedoch durch proprietäre Lösungen der beteiligten Betreiber einrichten. In vielen Fällen erfolgt dies zur Realisierung eines nationalen Roamings.

Mit GPRS wurde ein paketorientierter Datenübertragungsdienst in GSM eingeführt, der die Nutzung von Diensten der Vermittlungsschicht wie IP oder X.25 in GSM ermöglicht (verwendet wird in heutigen Netzen aber nur die IP–Version). Ein generelles Problem von IP ist, dass es ursprünglich nicht für eine Mobilitätsunterstützung konzipiert wurde. Die IP–Adresse eines Gerätes verweist grundsätzlich auf ein lokales Netz, mit dem dieses Gerät verbunden ist. Beim Wechsel dieses lokalen Netzes verliert die IP–Adresse somit ihre Gültigkeit. GPRS löst dieses Problem durch einen hybriden Ansatz, bei dem einerseits mit Hilfe eines Tunneling–Mechanismus die an einem Internet–Gateway eintreffenden Pakete innerhalb des GSM–Netzes weitergeleitet werden und andererseits die etablierten Mechanismen des Mobilitätsmanagements (mit einigen Modifikationen) für die Lokalisierung des Zielgerätes verwendet werden. Aus Sicht der Vermittlungsschicht ist ein GSM–Netz also ein lokales Netz mit einem Internet–Gateway als Zugang, wodurch die Bindung zwischen einem Gerät und seiner IP–Adresse bei einem Wechsel des Teilnetzes erhalten bleibt. Endgerätemobilität wird in GPRS auch beim Roaming unterstützt: wechselt ein Gerät in ein fremdes Netz, werden die am Gateway eintreffenden Pakete in das Fremdnetz weitergeleitet. Eine umfassende Beschreibung von GPRS findet sich in [12].

3.2 Endgerätemobilität in 3G und 3,5G

Der Übergang von 2G zu 3G–Netzen wird durch einen Migrationspfad beschrieben, bei dem eine schrittweise Erweiterung existierender 2G–Infrastrukturen erfolgt. Ziel ist ein vollständig integriertes Kernnetz, welches auf 2G– und 3G–Funktechnologien basierende Zugangsnetze miteinander verbindet. Die existierenden GSM–Zugangsnetze werden als *GSM/EDGE Radio Access Networks* (GERAN) weiterbetrieben. Für das *UMTS Terrestrial Access Network* (UTRAN) existieren verschiedene Varianten, die Up– und Downlink durch *Frequency Division Duplex* (FDD) oder *Time Division Duplex* (TDD) organisieren. UTRAN–FDD ist hier überwiegend für leitungsvermittelte Dienste, UTRAN–TDD für paketorientierte Dienste konzipiert. In weiteren Ausbaustufen der 3G–Netze (3,5G) erfolgt die Integration zusätzlicher Zugangsnetze, allen voran WLAN. Als Folge dieses integrierten Ansatzes bleiben die Mechanismen zur Endgerätemobilität in 3G und 3,5G im wesentlichen erhalten. Eine Ausnahme bildet hierbei die Handover–Funktion.

Eine große Herausforderung der Intersystem–

Endgerätemobilität ist die Umsetzung einer nahtlosen Handover–Funktion zwischen heterogenen Funktechnologien, die als *vertikaler Handover* bezeichnet wird. Die verschiedenen Funktechnologien unterscheiden sich durch die Bandbreite der Trägerkanäle, die verwendeten Modulations– und Zugriffsverfahren und die daraus resultierenden Implikationen auf die Leistungskontrolle, Quell– und Kanalkodierung sowie die verfügbaren Datenübertragungsraten. Probleme ergeben sich insbesondere bei der Handover–Entscheidung und der Handover–Durchführung.

Beim *horizontalen Handover* zwischen homogenen Funkzellen basiert die Handover–Entscheidung im wesentlichen auf der Signalstärke zwischen benachbarten Funkzellen. Die Eigenschaften dieser Funkzellen sind identisch, weshalb die Handover–Durchführung in der Regel von der jeweiligen Anwendung unbemerkt bleibt. In 3,5G–Netzen werden an einem Ort meistens Funkzellen verschiedener Technologien verfügbar sein, die sich durch Bandbreite der Trägerkanäle, die verwendeten Modulations– und Zugriffsverfahren und den daraus resultierenden Implikationen auf die Leistungskontrolle, Quell– und Kanalkodierung und die verfügbaren Datenübertragungsraten unterscheiden. Somit ergeben sich neben der Signalstärke zusätzliche Kriterien, die es bei der Handover–Entscheidung zu berücksichtigen gilt [16]. Diese werden vor allem durch die jeweilige Anwendung vorgegeben. Hierzu zählen beispielsweise die benötigte Übertragungsrate und die maximale Verzögerung. Zusätzlich sind ggf. Nutzerpräferenzen zu berücksichtigen, insbesondere dann, wenn die vor Ort verfügbaren Zugangsnetze unterschiedlich tarifiert werden. Bei der Handover–Entscheidung muss daher ein Abgleich dieser Kriterien erfolgen. Wünschenswert wäre hier ein universelles Policy–Management, bei dem die Handover–Kriterien der verschiedenen Akteure (Nutzer, Netzbetreiber, Dienstanbieter) durch Policies spezifiziert und abgeglichen werden.

Bei der Handover–Durchführung muss dann eine dynamische Adaption der Datenströme im Netz und im Gerät erfolgen. Hierbei kommen Quell– und Kanalkodierungsverfahren zum Einsatz, bei denen das zu übertragende Datenvolumen an die verfügbare Übertragungsrate angepasst wird. Je nach genutztem Dienst kann ein vertikaler Handover für den Teilnehmer nicht unbemerkt bleiben. Bei Sprachtelefonie ist er mit deutlichen Qualitätseinbußen oder –verbesserungen verbunden. Bei anspruchsvolleren Dienste wie Videotelefonie kann beispielsweise die Übertragung von Bewegtbildern in einer GERAN–Funkzelle nicht fortgesetzt werden.

Generell ist der vertikale Handover bei kontinuierlichen Datenströmen, insbesondere leitungsvermittelter Dienste, sehr problematisch. Die Umsetzung des Handovers zwischen GERAN– und UTRAN–Zugangsnetzen hat die Komplexität dieser Probleme deutlich gemacht und die Einführung von UMTS maßgeblich verzögert. Bei IP–basierten Diensten mit eher burst–artigen Verkehrscharakteristika kann der Handover zusätzlich durch Mobilitätsmechanismen auf der Vermittlungsschicht wie Mobile und Cellular IP unterstützt werden, was die Integration von WLAN–Umgebungen erleichtern dürfte [10] [2].

4 Personenmobilität

Personenmobilität beschreibt die Möglichkeit eines Nutzers, seine Geräte zu wechseln und gleichzeitig seine Identität dem Netz gegenüber aufrecht zu erhalten. Sie erfordert Abbildungsmechanismen im Netz, bei denen die dem jeweiligen Dienst zugrundeliegende Nutzerkennung, z.B. die Telefonnummer, auf die Adresse des verwendeten Gerätes abgebildet wird. Als Folge hiervon ist der Nutzer unter Angabe seiner Identität auf beliebigen Geräten erreichbar. Voraussetzung für Personenmobilität ist, dass sich der Nutzer anhand seiner Identifikationsmerkmale beim Netz registriert. Diese Identifikationsmerkmale können aus Kontonamen und Passwort, kryptographischen Schlüsseln, Hardwaretokens (z.B. einer Chipkarte) u.Ä. bestehen. Eng mit der Personenmobilität verknüpft sind somit Authentifizierungs– und Abrechnungmechanismen, d.h. die Tarifierung der Dienstnutzung erfolgt nicht in Abhängigkeit des jeweils verwendeten Gerätes, sondern unter Berücksichtigung der Nutzeridentität.

4.1 Personenmobilität in 2G und 2,5G

Bei den primär für die Sprachkommunikation konzipierten 2G–Netzen werden Personen– und Endgerätemobilität durch den Vorgang der Registrierung eines Nutzers beim Netz gekoppelt. In GSM geschieht dies mit Hilfe einer zwischen den Geräten austauschbaren Chip–Karte, dem sogenannten *Subscriber Identity Module* (SIM). Mit Hilfe der SIM authentifziert sich der Teilnehmer beim Netz. Nach erfolgreicher Authentifikation bilden Teilnehmer und Gerät eine Einheit, die netzintern durch die zuvor erwähnten temporären Kennungen repräsentiert wird. Bei eingehenden Anrufen erfolgt eine Abbildung der Telefonnummer auf diese geräte– und ortsabhängigen Kennungen, anhand derer das Gerät lokalisiert werden kann.

Im GPRS–Modus wird Personenmobilität eingeschränkt unterstützt, indem die Nutzung von GPRS anhand der *International Mobile Subscriber Identity*

(IMSI) abgerechnet wird. Da GPRS lediglich einen Dienst der Vermittlungsschicht anbietet, ist keine Vergabe von Nutzerkennungen möglich und muß daher von den jeweiligen Diensten der Anwendungsschicht realisiert werden. Die einem Gerät im GPRS–Modus zugewiesene IP–Adresse wird in der Regel temporär vergeben (auch wenn eine permanente Zuweisung technisch vorgesehen ist) und wird daher bei einem Gerätewechsel während einer Sitzung nicht auf das neue Gerät übertragen.

4.2 Personenmobilität in 3G und 3,5G

In UMTS wird Personenmobilität durch eine UMTS SIM (USIM) unterstützt, die eine abwärtskompatible Erweiterung der SIM darstellt. Eine wesentliche Neuerung ist hier die gegenseitige Authentifikation, d.h. es erfolgt zusätzlich eine Authentifikation des Netzes gegenüber dem Teilnehmer.

Die Integration von WLAN–Umgebungen in 3.5G–Netze erfordert die Übernahme der in zellularen Netzen verwendeten Identifikations–, Authentifizierungs– und Abrechnungsmerkmale, siehe [1]. Angedacht ist hier die Entwicklung von SIM/USIM–fähigen WLAN–Geräten, bei denen der Zugang zu einer WLAN–Umgebung über die Betreiber zellularer Netze abgerechnet wird. Erste Standards und Entwicklungen existieren hierfür bereits [15]. Auf diese Weise ist ein weltweites Roaming in WLAN–Netzen möglich, vergleichbar dem zellularer Netze. Der Hauptaspekt bei WLAN SIM liegt auf einer einheitlichen Identifizierung und einfachen Abrechnung für — von unterschiedlichsten Betreibern unterhaltenen — WLAN Hotspots.

Für Unternehmensverbünde, die eigene WLAN–Infrastrukturen betreiben und eine interorganisationale Personenmobilität realisieren wollen, ist dieser Ansatz nur bedingt geeignet. In solchen Szenarien sollen einem Mitarbeiter im Fremdnetz der Partnerorganisation Zugang gewährt und Rechte in Abhängigkeit seines Heimatnetzes erteilt werden. Hier stehen also die organisationsbezogene Authentisierung und Autorisierung und weniger eine einfache Abrechnung im Vordergrund. Außerdem bestehen zwischen den beiteiligten Organisationen vertragliche Beziehungen und es bedarf keines „Vermittlers“ in Form eines Mobilfunkbetreibers.

Ein Beispiel für ein solches interorganisationales WLAN–Roaming wird zur Zeit im Deutschen Forschungsnetz (DFN) aufgebaut [9]. Dabei werden dem „reisenden Wissenschaftler“ europaweit Internet–, Email–Dienste sowie ein Tunneling–Dienst zwischen besuchter Universität bzw. Forschungseinrichtung und seinem Heimatnetz angeboten. Dazu ist es erforderlich, dass die Forschungseinrichtungen Authentisierungs–

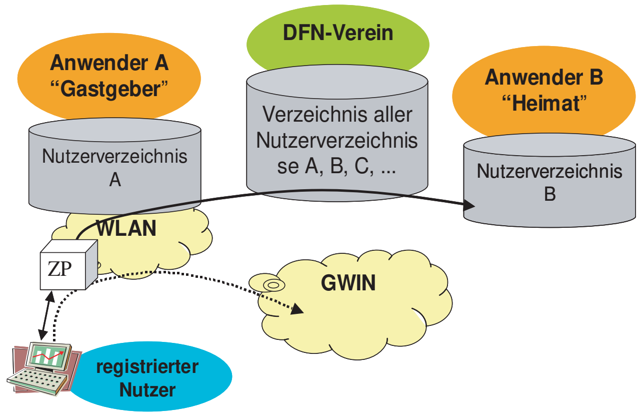

Abbildung 2: WLAN–Roaming im DFN nach [9]

und Autorisierungsinformationen austauschen. Der DFN wird zu diesem Zweck ein “globales“ Verzeichnis aller Nutzerverzeichnisse der beteiligten Institutionen etablieren. Ein reisender Wissenschaftler meldet sich in der besuchten Domäne mit den Authentisierungsinformationen seiner Heimatdomäne an. Diese Informationen werden über den DFN ans Heimatnetz zur Verifikation übermittelt. Nach erfolgreicher Authentisierung erhält der Reisende in der Gastdomäne Zugriff auf das *Gigabit Wissenschaftnetz (GWIN)* und die für ihn autorisierten Dienste (vgl. Abb. 2). Technisch wird die Authentisierung und Autorisierung über WLAN–Protokolle und einen Verbund von Radius–Servern realisiert.

5 Dienstmobilität

Dienstmobilität bezieht sich auf das im Zusammenhang mit 3G und 4G–Netzen häufig zitierte „Anytime–Anywhere“–Paradigma. Je nach Ausprägung sollen dem Nutzer Anwendungsdienste netz–, betreiber– und geräteübergreifend zur Verfügung stehen. Dies gilt sowohl für die standardisierten Dienste wie Sprach– und Videotelefonie, aber auch für so genannte maßgeschneiderte Dienste, die von Anbietern für spezielle Kunden oder Kundengruppen entwickelt werden und die somit ein Alleinstellungsmerkmal dieser Anbieter gegenüber Konkurrenten darstellen.

Die Realisierung dieser Dienste erfolgt in der Regel durch das Zusammenspiel einer Reihe von Dienstkomponenten, die in der Netzinfrastruktur des Betreibers, auf dem Gerät des Nutzers und ggf. bei einem Drittanbieter angeordnet sind und den Prozess der Diensterbringung steuern. Hierbei kann es sich um Client–Applikationen auf dem Gerät, Dienstserver oder Gateways im Netz handeln. Dienstmobilität zwischen unterschiedlichen Betreibern und Anbietern setzt die Verfügbarkeit definierter Dienstzugangspunkte voraus, über die von außen auf die Dienstkomponenten eines Netzes zugegriffen werden kann. Einem solchen interorganisationalen Szenario müssen vertragliche Beziehungen zwischen den beteiligten Anbietern und Betreibern zugrunde liegen, in deren Rahmen u.a. Abrechnungs– und Sicherheitsmechanismen festgelegt werden.

Dienstmobilität bedeutet ferner, dass die auf den Geräten ausgeführten, oftmals dienstspezifischen Client–Applikationen bei einem Gerätewechsel automatisch auf das neue Gerät transferiert werden und ggf. an die Eigenschaften dieses Gerätes, z.B. CPU–Leistung, Speicher und Displaygröße, angepasst werden. Die einem Dienst zugrundeliegenden Nutzerprofile, durch die eine Personalisierung der Dienste erfolgt, sollen sowohl bei einem Gerätewechsel als auch bei der Dienstnutzung in Fremdnetzen verfügbar sein, um aufwändige Neukonfigurationen zu vermeiden.

5.1 Dienstmobilität in 2G und 2,5G

GSM wurde ursprünglich für die klassische leitungsvermittelte Sprachtelefonie konzipiert und enthält keinerlei Mechanismen für eine Dienstmobilität (abgesehen einmal von der geräte– und betreiberunabhängigen Verfügbarkeit der Sprachtelefonie selbst). Mit der Einführung von neuen, teilweise betreiberspezifischen Diensten trat dieser Mangel mehr und mehr zu Tage. Klassische Zusatzdienste wie Rufnummernweiterleitung oder Rufumleitung, aber auch die Abfrage der Sprachmailbox, funktionierten lange Zeit beim Roaming in Fremdnetzen nicht. Erst durch umständliche, manuelle Konfigurationen der Dienstzugangspunkte zwischen den Betreibern ist eine eingeschränkte Verfügbarkeit mittlerweile gegeben. Ähnlich verhält es sich beim mobilen Internet–Zugang nach dem *Wireless Application Protocol* (WAP). Dieser Dienst erfordert eine betreiberspezifische Konfiguration auf dem Gerät, die in Fremdnetzen nutzlos ist und beim Gerätewechsel verloren geht. Dies gilt häufig auch für die Nutzung des GPRS–Modus.

In vielen Fällen ist eine betreiberunabhängige Nutzung spezieller Dienste auch deshalb nicht möglich, weil es an entsprechenden Abrechnungsmechanismen zwischen den Betreibern fehlt. Ein Beipiel hierfür sind *Location–Based Services (LBS)*, bei denen die geographische Ortsbestimmung eines Teilnehmers von den Betreibern sehr unterschiedlich tarifiert wird und deren Nutzung beim Roaming deshalb schlichtweg unterbunden wird.

5.2 Dienstmobilität in 3G und 3,5G

UMTS spezifiziert eine Reihe von Infrastrukturdiensten zur Unterstützung einer interorganisationalen und geräteunabhängigen Dienstmobilität. *Customised Applications for Mobile Network Enhanced Logic* (CAMEL) definiert eine Reihe von Dienstzugangspunkten und zugehörigen Protokollen zur betreiberübergreifenden Unterstützung klassischer Zusatzdienste, z.B. Rufumleitung, mobile Virtual Private Networks (VPN) oder Location–Based Services. Integraler Bestandteil von CAMEL sind Abrechnungsmechanismen zwischen den Betreibern, die nicht nur für Vertragskunden sondern auch für Prepaid–Nutzer ausgelegt sind. Allerdings zielen diese Lösungen in erster Linie auf die klassischen leitungsvermittelten Sprach– und Datendienste; Anwendungsdienste auf IP–Basis werden nicht unterstützt (siehe auch Abbildung 3).

Das *Virtual Home Environment* (VHE) ermöglicht dem Nutzer die Festlegung einer persönlichen Dienstumgebung. Diese Umgebung enthält eine Liste der Dienste, deren Nutzung mit seinem Heimatbetreiber vereinbart wurden, sowie die Konfiguration dieser Dienste. Die Dienstumgebung wird teilweise im Netz, teilweise auf dem Gerät gespeichert. Ihr liegt eine einheitliche, verbindliche Struktur zugrunde, so dass die darin enthaltenen Informationen beim Roaming in Fremdnetzen bei der dortigen Dienstnutzung interpretiert werden können. Auf diese Weise werden Erscheinungsbild (Look and Feel) und Ablauf des jeweiligen Dienstes betreiberunabhängig personalisiert.

Als Ausführungsumgebung für Client–Applikationen auf den Geräten dient das *Mobile Station Execution Environment (MExE)*, das in Abhängigkeit der Hardwareeigenschaften des jeweils verwendeten Gerätes WAP, PersonalJava oder die Java2 Micro Edition (J2ME) vorsieht. Entsprechend kann auf einen bestimmten Dienst über verschiedene Client–Applikationen zugegriffen werden. Bei einem Gerätewechsel können sie dynamisch von einem MExE–Server aus dem Netz geladen werden. Eine zweite Ausführungsumgebung ist das *UMTS SIM Application Toolkit* (USAT), welches die Speicherung und Ausführung von Client–Applikationen auf der USIM vorsieht. Die für die Nutzung spezieller Dienste eines Betreibers oder Anbieters benötigten Applikationen sind somit automatisch auf dem jeweils genutzten Gerät verfügbar. USAT ermöglicht wie MExE den Download von Applikationen von einem USAT–Server im Netz. Die verschiedenen Infrastrukturdienste werden in [7] detailliert beschrieben.

Mit der schrittweisen Ablösung des leitungsvermittelten Prinzips durch eine All–IP–Lösung in 3,5G–Netzen werden Anwendungsdienste durch Dienstkomponenten des IP Multimedia Subsystem (IMS) realisiert. Im Gegensatz zu CAMEL, dem VHE, MExE und USAT ist das IMS nicht integraler Bestandteil eines Kernnetzes, sondern wird extern über GPRS–Gateways mit dem Kernnetz verbunden, was eine interorganisationale Bereitstellung von Diensten erheblich erleichtert. Als Folge hiervon bleiben Anwendungsdiensten die zugrundeliegenden Netzinfrastrukturen verborgen; es entsteht eine nahtlose Vermittlungsschicht sowohl zwischen den verschiedenen mobilen Netzen als auch zwischen diesen Netzen und dem klassischen Internet.

Im IMS werden Telefonie– und Multimediaanwendungen durch das Session Initiation Protocol (SIP) auf der Anwendungsebene gesteuert. SIP ermöglicht den Aufbau und die Kontrolle von Sitzungen, die aus mehreren Datenströmen bestehen und an denen zwei oder mehr Teilnehmer partizipieren können. Ein typisches Merkmal von SIP ist die Mobilitätsunterstützung auf der Anwendungsschicht. Im Bereich der Endgerätemobilität stellt sie eine Alternative zu den Mechanismen der Vermittlungsschicht, wie z.B. Mobile IP, dar. Dienstmobilität läßt sich ebenfalls durch SIP realisieren, zur Zeit existiert aber (noch) kein durchgängiger Ansatz, der insbesondere die Funktionalitäten des VHE und des USAT ersetzen könnte. In [13] werden mögliche Lösungsansätze für ein durchgängiges Mobilitätsmanagement auf der Anwendungsschicht diskutiert.

Als allgemeineres Konzept der Dienstmobilität wird der Einsatz *Mobiler Agenten* diskutiert. Ein großes Problem stellen die Sicherheitsfragen in diesem Bereich dar [11]. Mobile Dienstkomponenten könnten von Angreifern dazu verwendet werden, ganz neue Arten von Viren zu verbreiten. Des Weiteren verursachen Migration mobiler Dienstkomponenten zwischen den Servern unterschiedlicher Anbieter sowie deren Lokalisierung einen beträchtlichen Overhead, den es gegenüber stationären Lösungen abzuwägen gilt [8].

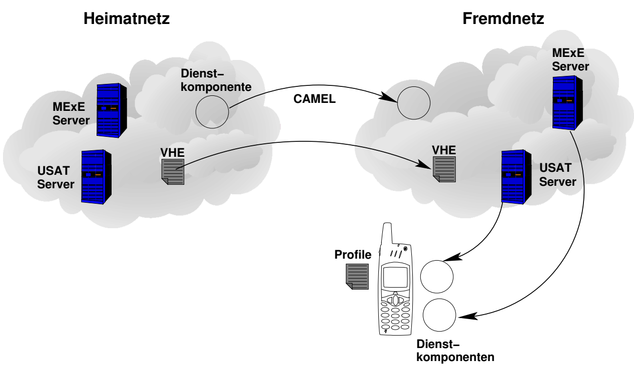

Abbildung 3: Interorganisationale Dienstmobilität

Eine transparente, interorganisationale Nutzung eines mobilen Dienstes wäre aus Sicht der Nutzer sicher wünschenswert. Aus Sicht des Managements führt dies allerdings in allen Managementfunktionsbereichen zu neuen und ungelösten Fragen. Interorganisationale Dienste erfordern zur Realisierung ein föderatives Management. An der Diensterbringung beteiligte unabhängige Organisationen, die ein eigenes Managementsystem betreiben, müssten anderen über Schnittstellen Zugriff auf das eigene System gewähren. Nur dann ist ein interorganisationales Fehler–, Konfigurations–, Accounting–, Performance– und Sicherheits–Management (FCAPS) überhaupt möglich. Die mit einem föderativen Managementsystem verbundenen technischen und organisatorischen Fragen werden heute allenfalls in einigen Randbereichen, z.B. beim Identity–Management, diskutiert. In Mobilfunknetzen ist im Moment eine gegenteilige Vorgehensweise erkennbar. Die Netzbetreiber versuchen, durch spezielle Dienste (z.B. verbilligte Tarife in bestimmten Lokalisierungsgebieten (Home Zone) oder betreiberspezifische Portale), die nur innerhalb ihrer Infrastruktur funktionieren, die Kunden an sich zu binden. An einem interorganisationalen Austausch besteht hier kein Interesse.

6 Sitzungsmobilität

Eine *Sitzung* bezeichnet die temporäre Beziehung zwischen verteilten Dienstkomponenten im Rahmen der Diensterbringung. Sie ist zu einem gegebenen Zeitpunkt beschrieben durch die Menge der beteiligten Komponenten, ihren gegenwärtigen Zustand und ihre Historie. Mechanismen zur Unterstützung der **Sitzungmobilität** ermöglichen eine temporäre Unterbrechung einer Sitzung. Hierbei werden Zustand und Historie der Sitzung eingefroren und können bei Bedarf auf andere Instanzen der Komponenten verlagert werden. Auf diese Weise wird es dem Nutzer ermöglicht, seine Sitzung (oder Teile davon) auf ein anderes Endgerät oder in das Netz eines anderen Betreibers zu verlagern. Nach der Verlagerung muss die Sitzung dann nicht erneut aufgebaut werden, d.h. Zustand und Historie bleiben erhalten.

Es kann zwischen diskreter oder kontinuierlicher Sitzungsmobilität unterschieden werden. Im ersten Fall kann der Dienst nur an bestimmten Synchronisationspunkten unterbrochen werden. Bei einer kontinuierlichen Sitzungsmobilität kann der Dienst zu jedem Zeitpunkt und in jedem Zustand unterbrochen und später wieder fortgesetzt werden. Für jeden Dienst müssen deshalb Synchronisationspunkte festgelegt werden. Im kontinuierlichen Fall sind zusätzlich roll–back oder roll–

forward Mechanismen nötig, um exakt denselben Zustand wiederherstellen zu können, an dem der Dienst unterbrochen wurde. Entsprechende Zustandsinformationen müssen zwischen verschiedenen Netzen und Providern übermittelt werden, damit die Sitzung am neuen Ort oder mit neuem Gerät fortgesetzt werden kann. Aus Nutzersicht wäre die transparente, kontinuierliche Sitzungsmobilität der Optimalfall. Beispielsweise könnte der Benutzer dann seinen Dienst auf dem heimischen PC öffnen, die Sitzung beim Verlassen des Hauses auf seinem Mobiltelefon mitnehmen, seine Tätigkeit auf dem Weg zur Arbeit fortsetzen, um dann die Sitzung dort auf den Arbeitsplatzrechner zu übernehmen. Etwaige Übergänge zwischen Anbietern und Netztechnologien sollten für den Nutzer transparent bleiben und müssen daher auf der Anwendungsschicht abgefangen werden.

Die vollständige Unterstützung von Sitzungsmobilität nach diesen Prinzipien ist zur Zeit bei der Spezifikation von 3G und 3,5G–Netzen nicht zu erkennen, weshalb hier auf eine gesonderte Betrachtung system– und organisationsübergreifender Aspekte verzichtet wird.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Effizientes Mobilitätsmanagement ist eine der Voraussetzungen für zukünftige mobile Dienste und globales Roaming, wie es für Kommunikationssysteme der nächsten Generationen angestrebt wird. In diesem Beitrag wurden die verschiedenen Mobilitätsformen, wie sie in solchen Umgebungen typischerweise zu finden sind, klassifiziert und einige der dabei auftretenden Problembereiche beleuchtet. Die Evolution der Endgeräte–, Personen–, Dienst– und Sitzungsmobilität von 2G zu 3,5G wurde aufgezeigt. Im Rahmen einer zukünftigen durchgängigen Netzarchitektur muss Mobilitätsmanagement mittel– bis langfristig auf der zellularen Ebene (GSM, GPRS, UMTS), der Hot Spot–Ebene (WLAN) und einer persönlichen Netzebene (z.B. Bluetooth) sichergestellt werden. Wie diese Ebenen miteinander verbunden werden können, ist zum Teil noch Forschungsgegenstand. Die Wireless Strategic Initiative (WSI) geht in ihrem *Book of Visions* [14] von einem multi–technologischen Zugangsnetz aus, das die verschiedenen Zugangstechnologien transparent überbrückt.

Eine weitere interessante Fragestellung ist die Einbeziehung weiterer Umgebungsparameter (Kontextinformationen) sowohl in das Mobilitätsmanagement als auch in allgemeine Managementfragen. Damit könnten Personen, Endgeräte, Dienste und Sitzungen nicht nur geographisch lokalisiert werden, sondern Mobilitätsdienste auch abhängig von Situationen oder Infrastruktur–Umgebungen (siehe [14]) gestaltet werden. Die Bereitstellung entsprechender Kontextinformationen induziert neue, bislang ungeklärte Probleme, nicht nur für den Bereitstellungsprozess [6] selbst, sondern auch für das Management von Diensten mit Kontextbezug [5]. Die Verwendung (technischer) Kontextinformationen für das Management verlässlicher Dienste wird derzeit am Lehrstuhl näher untersucht.

Danksagung

Die Autoren danken dem Münchner Netzmanagement Team für intensive Diskussionen zu früheren Versionen dieses Beitrages. Das MNM–Team, das von Prof. Dr. H.-G. Hegering und Prof. Dr. C. Linnhoff–Popien geleitet wird, ist ein Gruppe von Wissenschaftlern beider Münchner Universitäten und des Leibniz–Rechenzentrums der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Der Webserver des Teams ist unter `http://wwwmnmteam.informatik.uni-muenchen.de` zu finden.

Literatur

[1] K. Ahmavaara, H. Haverinen, and R. Pichna. Interworking Architecture Between 3GPP and WLAN Systems. *IEEE Communications Magazine*, pages 74–81, November 2003.

[2] A. Campbell, J. Gomez, C-Y. Wan, S. Kim, Z. Turanyi, and A. Valko. Cellular IP, 2000. http://www.ietf.org/proceedings/00jul/I-D/mobileip-cellularip-00.txt.

[3] Jörg Eberspächer, Hans-Jörg Vögel, and Christian Bettstetter. *GSM – Switching, Services and Protocols*. John Wiley and Sons, 2001.

[4] H.-G. Hegering, S. Abeck, and B. Neumair. *Integriertes Management vernetzter Systeme — Konzepte, Architekturen und deren betrieblicher Einsatz*. dpunkt–Verlag, ISBN 3–932588–16–9, Januar 1999. 607 S.

[5] H.-G. Hegering, A. Küpper, C. Linnhoff-Popien, and H. Reiser. Management Challenges of Context-Aware Services in Ubiquitous Environments. In *14th IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems: Operations and Management (DSOM 2003)*, pages 246–259, Heidelberg, September 2003. LNCS 2867, Springer-Verlag.

[6] I. Hochstatter, A. Küpper, M. Schiffers, and L. Köthner. Context Provisioning In Cellular Networks. In *Proceedings of 8th International Workshop on Mobile Multimedia Communications*, München, Oktober 2003.

[7] H. Kaaranen et al. *UMTS Networks*. John Wiley and Sons, 2001.

[8] A. Küpper. *Nomadic Communication in Converging Networks*. PhD thesis, January 2001.

[9] J. Pattloch and R. Paffrath. DFNRoaming. In *DFN Mitteilungen, Heft 63*, pages 4–5, 2003.

[10] C. E. Perkins. *Mobile IP: Design Principles and Practises*. Prentice Hall PTR, 1998.

[11] H. Reiser. *Sicherheitsarchitektur für ein Managementsystem auf der Basis Mobiler Agenten*. PhD thesis, Dezember 2001.

[12] G. Sanders, L. Thorens, M. Reisky, O. Rulik, and S. Deylitz. *GPRS Networks*. John Wiley and Sons, 2003.

[13] H. Schulzrinne and E. Wedlund. Application-Layer Mobility Using SIP. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 4(3):47–57, 2000.

[14] Wireless World Research Forum. The Book of Visions 2001 - Visions of the Wireless World, Dezember 2001. Version 1.0.

[15] WLAN Smart Card Consortium. WLAN SIM Specification – Version 1.0, 2003. http://www.wlansmartcard.org/.

[16] Q. Zhang, C., Z. Guo, and W. Zhu. Efficient Mobility Management for Vertical Handoff between WWAN and WLAN. *IEEE Communications Magazine*, pages 102–108, November 2003.