

Besondere technische Aspekte von drahtlosen ATM-Systemen

Bernhard Walke

Seit einigen Jahren wird der drahtlose Anschluß an das ATM-Netz diskutiert. Das BMBF-Fördervorhaben ATMmobil widmet sich z. B. Problemen und Lösungen für den ATM-gestützten drahtlosen Zugang zu Multimedia-Diensten. Neben vier Einzelprojekten werden übergreifende Aspekte eines solchen W-ATM-Systems an der RWTH Aachen untersucht.

Das vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) unterstützte Fördervorhaben ATMmobil hat eine Laufzeit von April 1996 bis März 2000. In diesen vier Jahren sollen prototypische drahtlose ATM-Systeme für verschiedene ausgewählte Anwendungen entwickelt und ihre Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Während sich vier Arbeitsgruppen aus Industrie und Hochschulen mit den speziellen Aspekten unterschiedlicher Anwendungen beschäftigen, untersucht eine Systemgruppe an der RWTH Aachen (Comnets, Communications Networks, Lehrstuhl für Kommunikationssysteme) übergreifende Systemaspekte und trägt zur Integration aller vier Teilvorhaben in ein Gesamtsystem bei; außerdem übernimmt sie Koordinationsaufgaben.

Kanalzugriff auf der Funkstrecke

Die Funkschnittstelle dient als verteilter ATM-Multiplexer und überträgt zeitlich verschachtelt die in Protokolldateneinheiten der Zugriffsschicht (Medium Access Control, MAC) bzw. Verbindungssteuerschicht (Logical Link Control, LLC) enthaltenen einzelnen ATM-Zellen der verschiedenen Terminals auf der Aufwärtsstrecke (uplink) zur Basisstation bzw. in umgekehrter Richtung (downlink). Da die Funk-

übertragungsstrecke sehr anfällig gegen Übertragungsstörungen ist, muß nicht nur der Zugriff zum Medium koordiniert, sondern auch jede einzelne Dateneinheit gegen Übertragungsfehler gesichert werden. Die entsprechenden Protokolle sind kein Bestandteil von Standard-ATM-Systemen, sondern extra für die Funkschnittstelle entwickelt und in die ATM-Schicht eingefügt worden, Bild 1. Darüber liegt die ATM-Anpassungsschicht (AAL), die Anwendungsprozesse miteinander verknüpft.

Der physikalische Kanal wird unter Verwendung eines TDMA-Verfahrens in Zeitschlitze gleicher bzw. unterschiedlicher Länge unterteilt, in denen Signalisier- und Benutzerdaten übertragen werden. Die Kapazität der Funkschnittstelle wird dynamisch den Terminals nach ihrem aktuellen Bedarf zugeordnet. Die zentralisierte Steuerung in der Basisstation benutzt dienstgütespezifische Prioritäten, um einzelne Terminals bevorzugen zu können.

Die Information über die Pufferbelegung in den einzelnen Terminals bzw. die erforderliche Übertragungskapazität an der Aufwärtsstrecke erfährt die Basisstation in speziellen Zeitschlitzen, die von den Terminals im Vielfachzugriff genutzt werden; daneben fragt sie die Terminals bei Bedarf gezielt ab.

Den periodischen Ablauf der physikalischen Schicht des sogenannten DSA++-Protokolls (Dynamic Slot Assignment) und die Bedeutung der in den Zeitschlitzen übertragenen Informationen, wie er in ATMmobil, Samba, MagicWand und anderen Projekten [1 - 5] mit geringen Modifikationen angewandt wird, Bild 2. Gezeigt ist ein Verfahren mit Richtungstrennung im Frequenzbereich (Frequenz-Duplex); ATMmobil benutzt sowohl Frequenzduplex als auch ein Zeitduplexverfahren auf nur einer Trägerfrequenz [3]. In einem downlink-Signalisierungsburst teilt die Basisstation den Terminals die Struktur und Länge der nächsten Signalisierungsperiode mit, die in eine downlink- und eine uplink-

Phase (meist) unterschiedlicher Länge aufgeteilt ist. Im Signalisierungsburst wird mitgeteilt, an welche Terminals in welchem Zeitschlitz im downlink übertragen werden wird und welche Terminals welchen uplink-Zeitschlitz benutzen dürfen. Am Ende der Signalisierungsperiode folgt ein Feld mit Zeitschlitzen für den Zufallszugriff bzw. die Abfrage von Terminals. Benutzerdaten werden in Form von ATM-Zellen übertragen, die zusammen mit funkschnittstellenspezifischer Steuerinformation in den einzelnen Zeitschlitzen transportiert werden. Um die Anzahl der Zufallszugriffe zu minimieren, werden Anforderungen für Zeitschlitze für im

auf einen Blick ...

Der Stand der prototypischen Entwicklung der verschiedenen Ausprägungen von ATMmobil-Demonstrationssystemen liegt im vorgesehenen Zeitplan. Neben der Entwicklung prototypischer ATM-Funkschnittstellen wird daran gearbeitet, drahtlose Internet-Anwendungen mit den entwickelten Funkschnittstellen zu unterstützen.

Terminal wartende Zellen in unmittelbar vorher übertragenen Zellen huckepack übertragen. Für die Auflösung möglicher Kollisionen beim Vielfachzugriff wird ein Nummern-Splittingverfahren benutzt [4].

Um mehreren Basisstationen, die zum gleichen oder zu verschiedenen Systemen gehören können, zu ermöglichen, ihre Funkschnittstellen ungestört von Übertragungen benachbarter Basisstationen zu steuern, benötigt man Regeln für eine geordnete Zuweisung von Funkbetriebsmitteln im Frequenz- bzw. Zeitbereich an Basisstationen. Dies leistet ein im Frequenzkanal vereinbartes synchrones Zeitmultiplexverfahren zur exklusiven Reservierung von Übertragungskapazität für Basisstationen, dessen Zeitkanäle eine wählbare Kapazität haben. Die Zeitkanäle werden dezentral von den Basisstationen im Vielfachzugriff belegt und dauerhaft reserviert und ggf. bezüglich ihrer Kapazität bei Bedarf verändert, u. U. auch aufgegeben [5].

Die Sicherungs-(LLC-)Schicht unterstützt das sog. adaptive Selective-Repeat-Request-

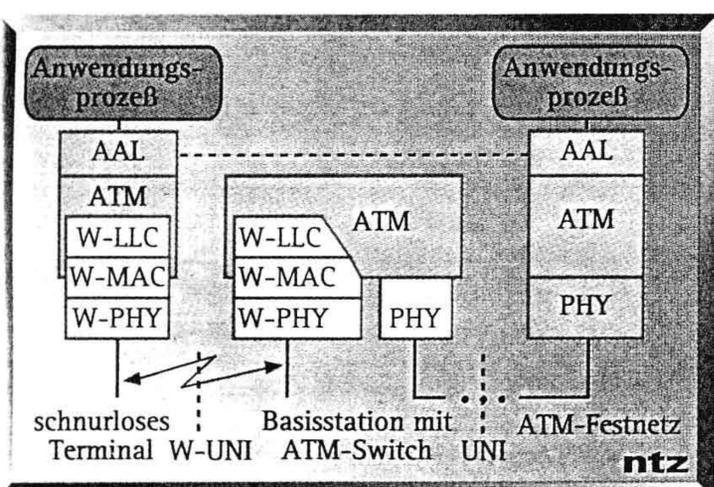
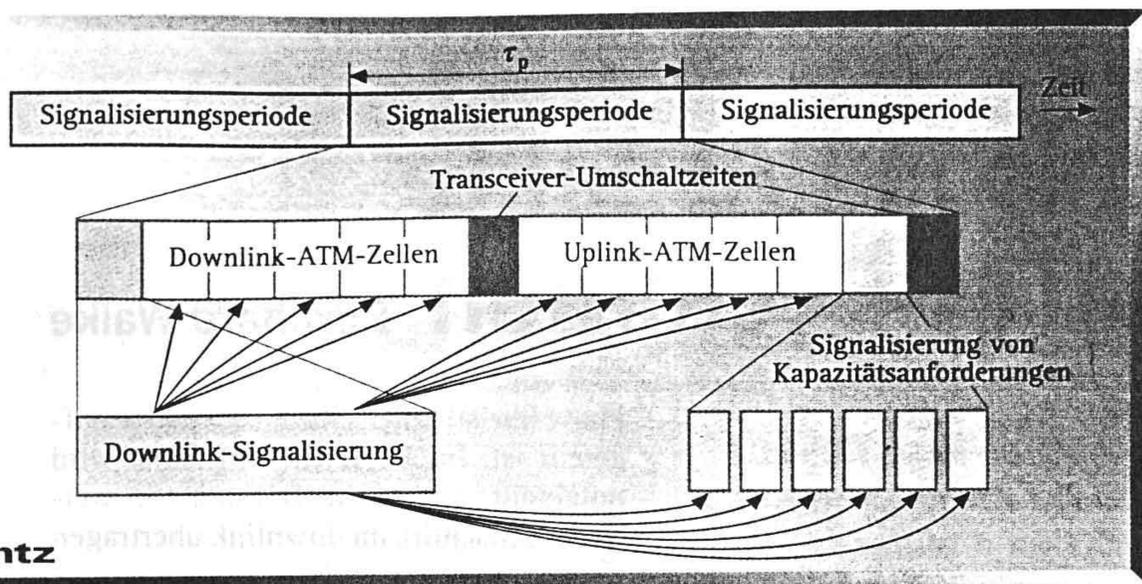


Bild 1. Protokollstapel an der Funkschnittstelle



ntz

Bild 2. Nutzung des physikalischen Kanals durch das Protokoll DAS++

ARQ-(ASR-ARQ-)Protokoll, das die verbindungs-spezifischen Anforderungen an Übertragungsverzögerung und Bitfehlerhäufigkeit (BER) für Multimedia-Anwendungen berücksichtigt [4]. Es überwacht die Reihenfolge von ATM-Zellen für jeden einzelnen virtuellen Kanal (VCC), unterstützt Multi-Link-Übertragung und Makrodiversität und enthält dienstgütespezifische Maßnahmen zur ATM-konformen Verkehrsglättung zur Überlastvermeidung.

Die Prinzipstruktur einer Implementierung der LLC-Schicht des ATMmobil-Systems mit den Protokollinstanzen der Basisstation in Bild 3 zeigt, daß jede MAC-Instanz ebenfalls genau eine virtuelle Verbindung betreibt.

Handover und dynamische Funkbetriebsmittel-Verwaltung

Die Mikro- bzw. Piko-zellenstruktur von W-ATM-Systemen erlaubt keine statische Frequenzplanung. Mit dynamischer Kanalvergabe (dynamic channel assignment, DCA) können die hohe Dynamik der Ausbreitungsbedingungen beherrscht und die dienstspezifischen Bitraten mit der geforderten Dienstgüte bereitgestellt werden. DCA-Verfahren müssen mit MAC-Verfahren kombiniert werden. Mobilstationsgesteuerte Handover-Algorithmen müssen den aktuellen Signalpegel der empfangbaren Basisstationen und die Qualität der Verbindungen berücksichtigen und mit schnellem Handover reagieren können. Gleich-

zeitige Verbindungen zu mehreren Basisstationen (Makrodiversität) im Mehrkanalbetrieb müssen berücksichtigt und geeignete Handover-Algorithmen hierfür entwickelt werden, die einen nicht spürbaren („seamless“) Handover ermöglichen und die geforderte Qualität der Verbindung aufrecht erhalten.

Protokolle zur Mobilitätsverwaltung

Die Mobilitätsverwaltung des W-ATM-Systems umfaßt Protokolle für die Terminalmobilität, wie Aufenthaltsverwaltung, Funkruf und Benutzerdatenverwaltung im

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke ist Inhaber des Lehrstuhls für Kommunikationsnetze an der RWTH Aachen.

Festnetz. Instanzen dieser Protokolle befinden sich in den Endgeräten, in den Basisstationen und in Datenbanken im Festnetz. Dementsprechend müssen Daten über die Funkschnittstelle und im ATM-Festnetz ausgetauscht werden. Um diese Datenströme klein zu halten, insbesondere bei den zu erwartenden hohen Benutzerzahlen, werden dynamische Mechanismen und dezentrale Datenhaltung untersucht.



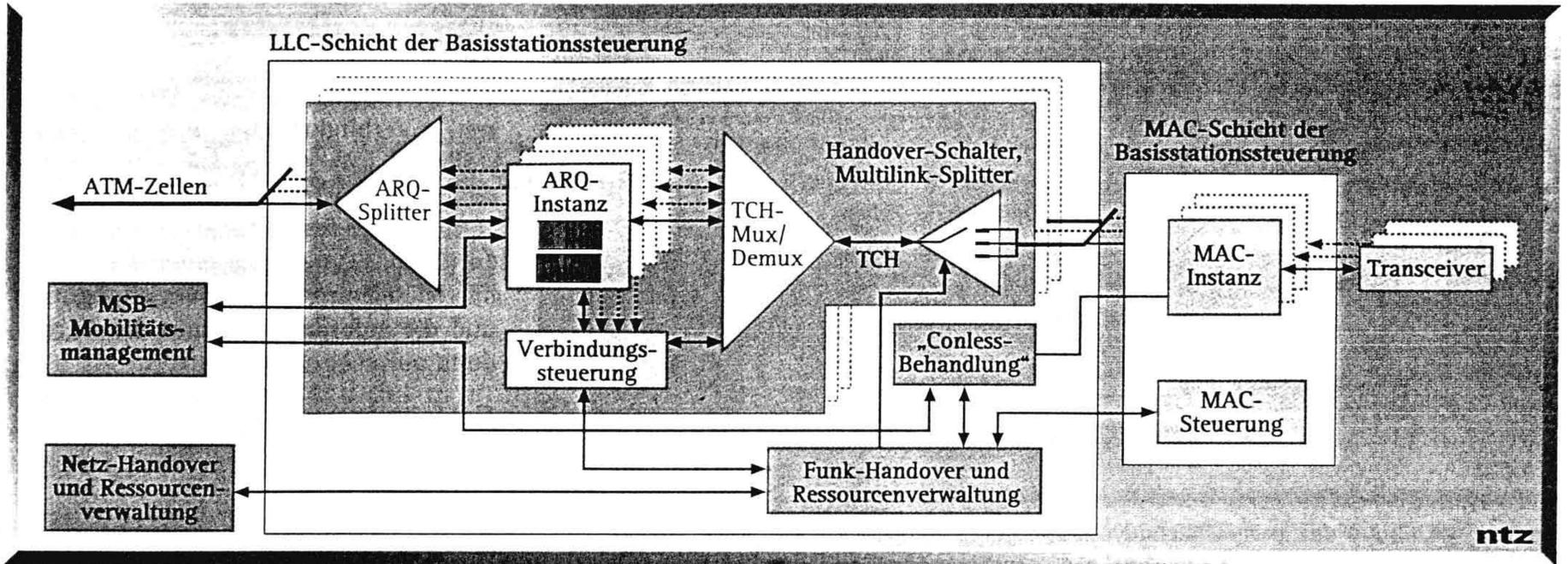


Bild 3. Realisierung der Verbindungssteuerung (LLC) beim Mobilbreitbandsystem (MBS)

Die Übertragung von ATM-Zellen über die Luftschnittstelle erfordert eine adaptierte ATM-Schicht in den Basisstationen. Die Anforderungen der ATM-Dienstklassen CBR, VBR, ABR, UBR müssen auf die speziellen Randbedingungen der Luftschnittstellen angepasst werden und sind in äquivalente Klassen des LLC-Protokolls umgesetzt worden. Verbindungsannahmesteuerung, Überlastschutz und Betriebsmittelverwaltung im Festnetz stehen im engen Zusammenhang mit den Protokollen für netzgestützten Handover und haben für ein künftiges W-ATM-System besondere Bedeutung.

ATM-gestützte Dienste werden im W-ATM-System unverändert benutzt. Basisstationen werden direkt mit einer ATM-Vermittlung verbunden. Bedingt durch Mobilität wird bei jedem Wechsel des ATM-Netzzugangspunkts ein netzgestützter Handover ausgeführt. Der Transportmechanismus in ATM-Netzen beruht auf virtuellen Verbindungen (VCC) statt auf Kanalvermittlung. Netz-Handover wird

von heutigen ATM-Netzen nicht unterstützt. Sie können für eine virtuelle Verbindung in Echtzeit keinen neuen Leitweg schalten und die ATM-Zellenfolge nicht beibehalten. Entsprechende Mechanismen werden gegenwärtig entwickelt und implementiert.

Modellierung der Funkausbreitung

Die besonderen Eigenschaften des breitbandigen ATM-Funkkanals (frequenzselektiver Mehrwegeschwund, Abschattung usw.) erfordern die realitätsgetreue Modellierung der Funkausbreitung, um Vorhersagen für die Dimensionierung der Entzerrer und die Leistungsfähigkeit der Funkprotokolle treffen zu können. Dafür wurden auf der Basis von Messungen Kanalmodelle entwickelt [6] und Methoden zur Funkausbreitungsberechnung (Ray Tracing usw.) weiterentwickelt und benutzt, um im Systemsimulator Watsim die Leistung der vorgeschlagenen Protokolle zu untersuchen. Neben der Modellierung der Mehrwege-

ausbreitung (Ein- und Zweifachreflexionen an statischen und mobilen Reflektoren gegebener Szenarien) und von Polarisations-eigenschaften (vertikal, horizontal und zirkular), der Berücksichtigung von Diversityverfahren (Makro-, Mikro-, Raum- und Polarisationsdiversity) und der Ermittlung der Basischarakteristika von Antennen (Rundstrahler, Dipol, Phased-Array mit Schnittstelle zur Einbeziehung von Antennendaten) und der Berechnung von Antennen-„Footprints“ war die Bestimmung charakteristischer Signal-Rausch-Abstände (SNR) bzw. BER-Parameter auf Basis typischer Empfängereigenschaften bei gegebenen Modulationsverfahren erforderlich.

Steuerung intelligenter Antennen und zugehörige Zugriffprotokolle

Um eine möglichst hohe Spektrumeffizienz und Systemkapazität im verfügbaren Frequenzband, angepasste Reichweiten sowie kompakte Endgeräte mit möglichst geringem Stromverbrauch zu realisieren, ist die Entwicklung intelligenter Antennen und der zu ihrer Steuerung erforderlichen Verfahren zweckmäßig. Mit Hilfe adaptiver Antennen mit elektronisch schwenkbaren Keulen können der Mehrwegeschwund weitgehend reduziert, die Interferenzleistung im System minimiert und der Entzerrer drastisch vereinfacht werden. Allerdings sind spezielle Zugriff- und Ortungsprotokolle für solche Antennen erforderlich, die auch eine Lokalisierung und Verfolgung (tracking) der Mobilstationen und auch eine entsprechende Steuerung der Antennen-Keulen ermöglichen. Dieses Konzept für die funktionale Zusammenarbeit von Zugriff- und Ortungsprotokollen mit der Antennensteuerung wurde bereits im MBS-Projekt entwickelt. Die ATMmobil-Zugriffprotokolle werden z. Z. entsprechend weiterentwickelt, wobei sich gezeigt hat, daß das oben beschriebene Grundkonzept der Organisation der Funkschnittstelle beibehalten werden kann.

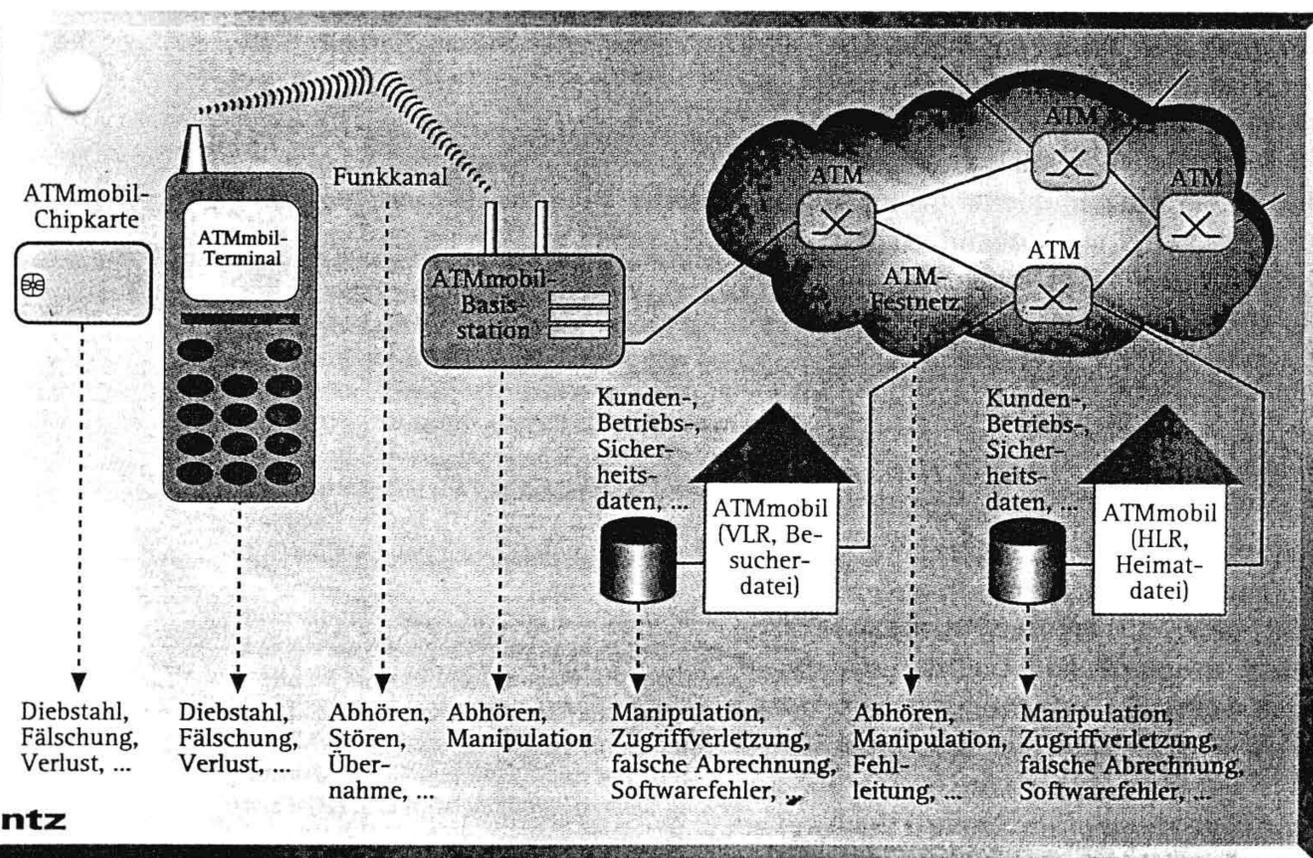


Bild 4. Sicherheitsanalyse für ATMmobil

AAL	ATM Adaption Layer, ATM-Anpassungsschicht
ABR	Available Bit Rate, verfügbare Bitrate
ASR-ARQ	Adaptive Selective-Repeat Request Automatic Repeat Request, angepaßte selektive automatische Wiederholungsanforderung
ATM	Asynchroner Transfermodus
B-ISDN	Breitband-ISDN auf ATM-Grundlage
BER	Bit Error Rate, Bitfehlerhäufigkeit
BMBF	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
CBR	Constant Bit Rate, konstante Bitrate
Comnets	Communications Networks, Lehrstuhl für Kommunikationssysteme der RWTH Aachen
DCA	Dynamic Channel Assignment, dynamische Kanalvergabe
DSA	Dynamic Slot Assignment, dynamische Zuordnung der Zeitschlitze
HLR	Home Location Register, Heimatdatei
LLC	Logical Link Control, Verbindungssteuerungsschicht
MAC	Medium Access Control, Zugriffsschicht
MBS	Mobile Broadband System, mobiles Breitbandsystem
TDMA	Time Division Multiplex Access, Zeitmultiplexzugriff
UBR	Unspecified Bit Rate, keine festgelegte Bitrate
VBR	Variable Bit Rate, variable Bitrate
VCC	Virtual Channel Connection, virtuelle Kanalverbindung im ATM-Netz
VLR	Visitor Location Register, Besucherdatei
W-ATM	Wireless ATM, drahtlose ATM-Systeme

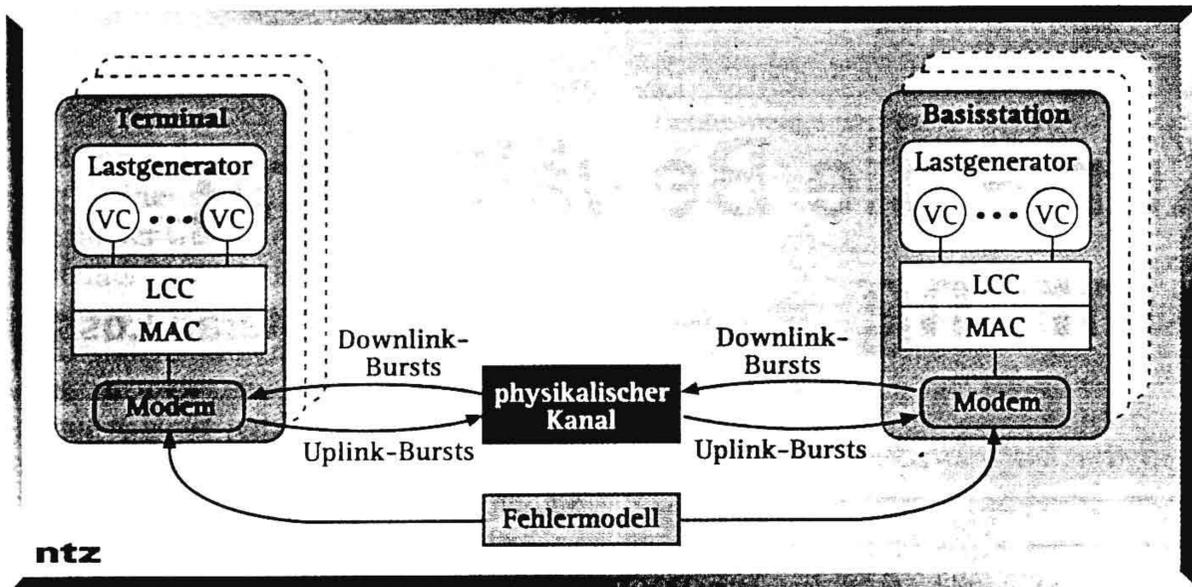


Bild 5. Wichtige Module des ereignisgesteuerten Simulators Watsim

Mobilitätsspezifische Dienste und Sicherheitsarchitektur

Die unterschiedlichen, mit ATMmobil zu verbindenden Netze und zugehörigen Dienste sind nicht ohne weiteres kompatibel. Deshalb müssen neue und bestehende Möglichkeiten der Dienstewandlung in praktikable Lösungen umgesetzt werden. Dabei wird schrittweise die Funktion „Dienstewandlung“ der Mobil-Mediaplattform entwickelt und realisiert. Die heutige Kommunikationslandschaft wird durch ATMmobil um mobile ATM-Terminals, -Netze, -Dienste und -Protokolle im lokalen und öffentlichen Bereich erweitert werden. Dazu wird u. a. eine Plattform zur Unterstützung mobiler Breitbanddienste definiert. Diese umfaßt z. B. die Anpassung der Mediendarstellung an die Möglichkeiten des momentanen Endgeräts, um echte Mehrwertdienste zu erhalten, sowie die Personalisierung der Dienste.

Mobilfunksysteme benötigen Sicherheitsarchitekturen, um in Multidomänen-Netzen uneingeschränkt betreibbar zu sein [7]. Eine auf ATMmobil zugeschnittene Sicherheitsanalyse zeigt die Bedrohungen des Gesamtsystems und erfordert die Auswahl geeigneter kryptografischer Verfahren für Authentifizierung, Integritätsicherung, Anonymität usw., Bild 4. Die Verwendung personalisierter Dienste macht die Benutzung eines persönlichen Sicherheitsmoduls in Form einer Chipkarte erforderlich. Sicherheitsprotokolle zur Interaktion mit den einzelnen Komponenten von ATMmobil, wie z. B. Chipkarte, Terminal und Mediaplattform, sind in Entwicklung. Dabei ist das Sicherheitsmanagement zu berücksichtigen, das z. B. die Verwaltung sicherheitsrelevanter Daten und Geräte (Zertifikate, Chipkarten, Kryptomodule) betrifft.

Die Sicherheitssoftware läuft auf den Dienstplattformen der ATMmobil-Demonstratoren; dabei werden unterschiedliche Dienstanbieter und Netzbetreiber unterstützt. Sichere Methoden für den Austausch von Abrechnungs- und Signalisierungsinformation und Funktionen zum Schlüsselmanagement sind in Arbeit.

Analytische und simulative Leistungsbewertung der Protokolle

Das ATMmobil-Funknetz muß unterschiedliche B-ISDN-Dienste mit unterschiedlichen Systemanforderungen in verschiedenen Umgebungen (Indoor, Outdoor) mit unterschiedlichen Funkausbreitungscharakteristika und entsprechenden Einfluß auf die Kanalqualität unterstützen. Eine Verifikation und quantitative Leistungsbewertung der entwickelten Protokolle in den verschiedenen ATMmobil-Systemumgebungen ist daher von besonderer Bedeutung, wobei für bestimmte ATM-Dienste und verschiedene Systemumgebungen optimale Parameterwerte und Kommunikationsprofile entwickelt werden sollen. Dazu gibt es einen sehr detaillierten ereignisgesteuerten Simulator „Watsim“, Bild 5.

Kommunikationsobjekte, die je einen Funk-Protokollstapel, Lastgeneratoren und ein Modem-Objekt enthalten, sind in die Modellumgebung eingebettet. Das Modem bildet das Verhalten des digitalen Übertragungssystems nach und verbindet die Protokollstapel über den Funkkanal. Das Objekt „physikalischer Kanal“ modelliert die zeitlichen und räumlichen Aspekte beim Übertragen von Datenbursts. Es bestimmt aus der Position von Terminal und Basisstation und der Senderichtung die Empfangsverhältnisse und leitet dementsprechend Bursts an die Modems weiter. Das Objekt „Fehlermodell“ modelliert die ausbreitungsbedingten Übertragungsfehler.

Meinen Mitarbeitern Andreas Hettich, Arndt Kadelka, Andreas Krämling, Mathias Lott, Steffan Mangold, Dietmar Petras, Dieter Plabmann, Markus Scheibenbogen, Martin Stepler, Ulrich Vornefeld, die mit ihrer Arbeit erheblich zum Gelingen der Arbeiten in ATMmobil beigetragen haben, möchte ich sehr herzlich danken. Mein Dank gilt auch allen ATMmobil-Projektpartnern für das gute Arbeitsklima und die vielen konstruktiven Diskussionen und Beiträge.

Die Arbeiten an ATMmobil werden vom BMBF gefördert (FKZ. 01 BK 61/5)

Literatur

- [1] ETSI. Radio Equipment and Systems (RES): High performance local area networks (HiperLAN): Requirements and architectures for wireless ATM access and interconnection TR 101 031, April 1997
- [2] Ala-Laurila, J., Awater, G. The MagicWand - Wireless ATM network demonstrator system. Proc. ACTS Mobile Summit '97, Aalborg, Dänemark, Okt. 1997
- [3] Vornefeld, U.; Krämling, A.; Esseling, N.: Implementation of WATM-DLC protocols for a 34 Mbit/s FDD air interface. Proc. ACTS Mobile Communications Summit '98, Juni 1998, Rhodos, Griechenland
- [4] Petras, D.; Vornefeld, U.: Joint performance of DAS++ MAC protocol and SR/D-ARQ protocol for wireless ATM under realistic traffic and channel models. Proc. 1st Int. Workshop on Wireless Mobile ATM Implementation, April 1998, Hangzhou, China
- [5] Krämling, A., Scheibenbogen, M.: Dynamic channel reservation in FDD based wireless ATM networks. Proc. ACTS Mobile Communications Summit '98, Juni 1998, Rhodos, Griechenland
- [6] Mangold, S. u. a.: Indoor radio channel modeling - Bridging from propagation details to simulation. 9th Personal and Indoors Mobile Radio Comms. Conf. '98, Boston/Mass., USA
- [7] Popp, R.; Fröhlich, M.: A security architecture for mobile personal communication services among heterogeneous networks. 2. ITG-Fachtagung Mobile Kommunikation, Neu-Ulm, 1995 ITG-Fachber 135 Berlin Offenbach VDE-VERLAG, 1995, S. 423-431