

ATMmobil¹: Breitbandige Mobilkommunikation für Multimedia auf ATM-Basis²

Bernhard Walke

Kommunikationsnetze, Fachbereich Elektrotechnik,
RWTH Aachen, Kopernikusstr. 16, 52074 Aachen,

Email: Walke@comnets.rwth-aachen.de

Zusammenfassung: Dieser Übersichtsbeitrag bildet den Rahmen für eine Serie von fünf Folgebeiträgen, in denen das BMBF-Fördervorhaben ATMmobil (4/1996-3/2000) und der Stand der Entwicklung der einzelnen Teilvorhaben vorgestellt werden. Schwerpunkte dieses Beitrags liegen auf der Darstellung der Problemstellung und Zielsetzung, der gewählten Arbeitsmethodik im Projekt, dem Stand der Entwicklung bei anderen europäischen Forschungsgruppen und einer groben Beschreibung des bisher erreichten Standes. Die Darstellung erfolgt aus der Sicht der ATMmobil-Arbeitsgruppe Systemintegration, die unter der Leitung des Autors vierteljährlich tagt, die Arbeit von Ad-hoc Gruppen zu Spezialgebieten und den Fortgang der Teilprojekte koordiniert und durch Austausch wissenschaftlicher und praktischer Erkenntnisse den Fortschritt und die Fokussierung auf gemeinsame Ziele fördert. Nach einer Einführung in die Technik drahtloser ATM-Systeme zum Anschluß von Multimedia-Terminals an das Breitband-ISDN werden verschiedene Anwendungsszenarien eingeführt und ihr aktueller Entwicklungsstand zusammengefaßt. Abschließend werden einige interessante Probleme und Ideenskizzen zu ihrer Lösung angesprochen.

1. Einleitung

Breitbandig übertragende Telekommunikationsnetze, übertragen laut ITU-T³-Empfehlung I.113 mit Raten oberhalb von 2,048 Mbit/s. Sie können gemäß der I.300-Serie paketorientiert übertragen.

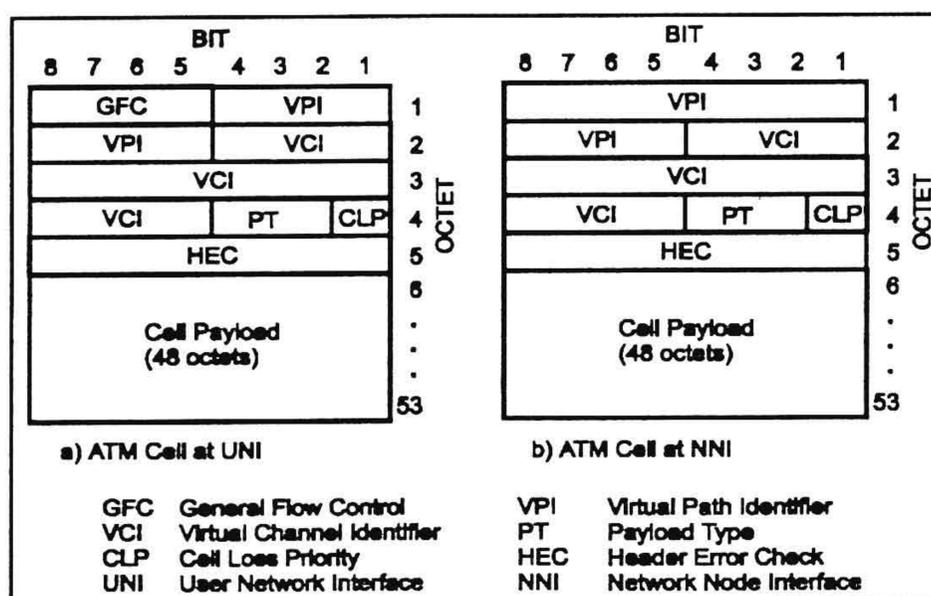


Bild 1: Zellformate an den Schnittstellen UNI und NNI

1990/91 wurde der asynchrone Übertragungsmodus (asynchronous transfer mode, ATM) standardisiert mit Paketen konstanter Größe (5 byte Paketkopf, 48 byte Informationsfeld), die Zellen genannt werden, vgl. Bild 1. Die Zellformate unterscheiden sich an der Benutzer-Netz-Schnittstelle (UNI) und der Schnittstelle zwischen den Netzknoten (NNI), Bild 2.

Anstelle der bei synchroner Übertragung üblichen Reservierung einer festen Kanalkapazität auf den Übertragungswegen und in den Vermittlungsknoten des Netzes für die Verbindung

zwischen den kommunizierenden Endeinrichtungen werden bei ATM-Netzen (im Breitband-ISDN) virtuelle Verbindungen benutzt, Bild 3. Die im Zellkopf enthaltene Information bezeichnet die jeweilige virtuelle Verbindung, die dazu dient, in Vermittlungen zellspezifisch den Zusammenhang zwischen kommendem virtuellem Pfad (virtual path, VP) und zugehörigem virtuellem Kanal (virtual channel, VC) und gehender Kombination VP/VC durch Vermittlung herzu-

¹ <http://www.comnets.rwth-aachen.de/project/ATMmobil/home.html>

² Die Arbeiten werden vom Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie BMBF gefördert: FKZ 01 BK 601/5

³ International Telecommunication Union - Telecommunications Sector

stellen. Die Aneinanderreihung mehrerer Teilstrecken mit je eigenen Parametern VP/VC bilden zwischen den kommunizierenden Terminals eine virtuelle Kanalverbindung (VCC⁴). Das ATM-Verfahren ist besonders gut für die gemeinsame Übertragung ("Integration") von Zellströmen unterschiedlicher Dienste (Sprache, Daten-, Video- und Grafik) über ein Netz hoher Übertragungsrates (155, 620, 2400 Mbit/s) geeignet, wobei charakteristische zeitliche Schwankungen der Zellenrate solcher Nachrichtenströme ausgenutzt werden. Dabei kann das Übertragungsmedium deutlich besser mit tatsächlichem Verkehr ausgelastet werden, als bei Zuweisung von Übertragungskapazität zu Verbindungen mit Hilfe von TDM⁵-Kanälen, wie es beim Schmalband-ISDN und bei SDH⁶-Systemen üblich ist.

ATM-Netze sind maßgeschneidert für Verkehrsquellen mit variabler Bitrate (variable bitrate, VBR), ein typisches Merkmal vieler Datenquellen und von Video-Codecs⁷. Der resultierende Zellstrom ist dann nicht kontinuierlich, sondern büschelartig mit hoher positiver lokaler Korrelation der Zeitabstände zwischen zu übertragenden Zellen. ATM-Netze ziehen einen Vorteil aus der Mischung korrelierter Zellenströme zur gemeinsamen Übertragung, indem Lücken eines Stromes durch Zellenhäufungen eines anderen aufgefüllt werden. Man unterscheidet die Dienstklassen Constant Bit Rate (CBR) für Stromdaten, real-time und non real-time Variable Bit Rate (rtVBR, nrtVBR) für Anwendungen mit bzw. ohne Echtzeitcharakter, Available Bit Rate (ABR) bzw. Unspecified Bit Rate (UBR) für Datenanwendungen.

Da jede virtuelle Verbindung bestimmte Dienstgüteforderungen hat, die durch den mittleren und maximalen Zellendurchsatz, die mittlere bzw. maximale Zellenverzögerung und evtl. die Varianz

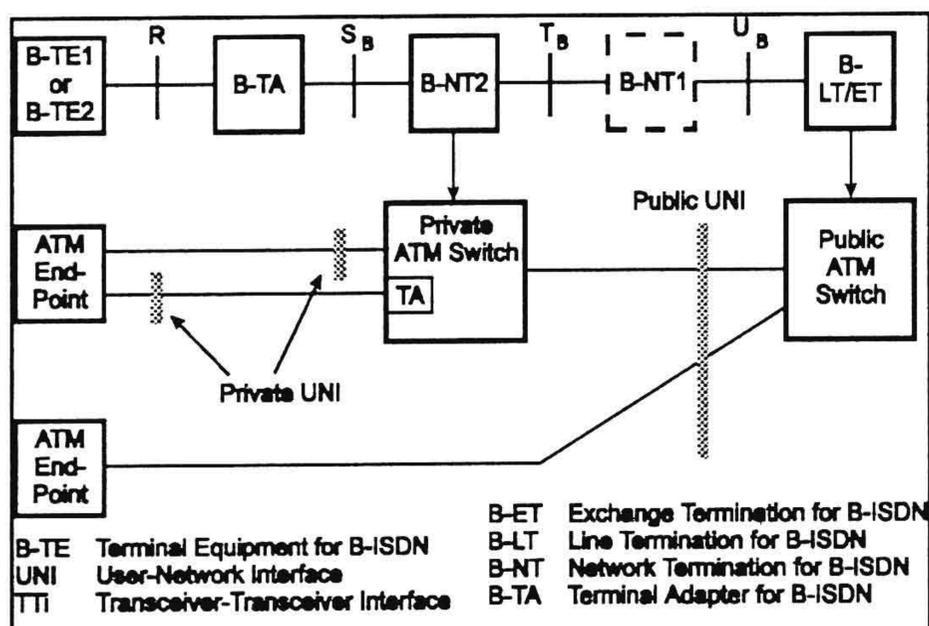


Bild 2: Referenzmodell des B-ISDN

kann, ohne die Dienstgüte der bestehenden Verbindungen unzulässig zu beeinträchtigen. Beispielsweise muß für den Videoübertragungsdienst eine Zellenverlustrate von 10^{-9} durch das Netz garantiert werden.

2. Schnurlose Breitbandssysteme

ATM-Netze ermöglichen den breitbandigen direkten kabelgebundenen Anschluß von Terminals und den Verzicht auf die sonst dafür üblichen paketorientiert übertragenden Kommunikationsnetze, sog. LANs⁸. Neben dem kabelgebundenen Anschluß von Arbeitsplatzrechnern wird seit einigen Jahren der drahtlose Anschluß an das ATM-Netz diskutiert. Von 1992 bis 1994 wurde

⁴ Virtual Channel Connection

⁵ Time Division Multiplex, Zeitmultiplex

⁶ Synchronous Digital Hierarchy

⁷ Codierung-Decodierung

⁸ Local Area Network nach Standard IEEE 802.11

im RACE⁹ II Programm der Europäischen Gemeinschaft im Projekt MBS¹⁰ ein drahtloses zelluläres Breitbandssystem für bewegliche und mobile Terminals entwickelt, das eine Funkschnittstelle mit einer Multiplexübertragungsrate von bis zu 155 Mbit/s untersucht hat. Ein Demonstrationssystem wurde 1994 vorgestellt, das mobile Videoübertragung mit 16 Mbit/s netto im 60 GHz Frequenzband bei einer Terminalgeschwindigkeit von 50 km/h demonstriert hat [1]. Für MBS wurde erstmals eine ATM-Funkschnittstelle für ATM-übliche Dienstgüten vorgeschlagen [2]. Diese Idee fand sehr schnell weltweiten Anklang und füllte z.B. im August 1996 ein Themenheft „Wireless ATM“ des IEEE Personal Communications Magazine [4-6], in dem auch das Konzept des ATMmobil Projektes als Ergebnis der Arbeiten im MBS-Projekt vorgestellt worden ist [3].

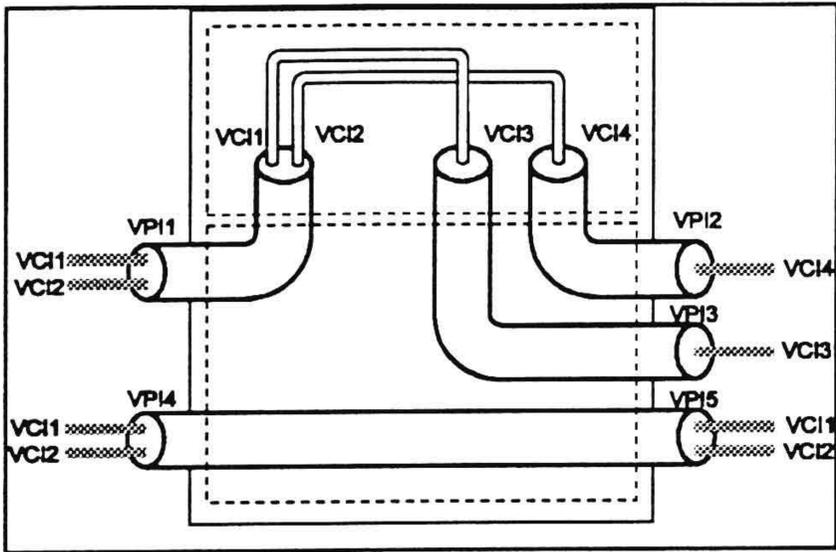


Bild 3: Vermittlung virtueller Verbindungen (VP/VC)

Allgemein spricht man heute von W-ATM Systemen und bezeichnet damit alle Drahtlossysteme, die über Funk, Infrarot oder Licht (Laser) den Betrieb vieler virtueller Kanalverbindungen für ATM-Übertragung zwischen vielen Terminals und einer zentralen Basisstation über eine Multiplexschnittstelle unterstützen. Manche Ausprägungen solcher W-ATM Systeme sind dezentral organisiert und verbinden die zufällig sich in Empfangsreichweite befindlichen „Stationen“ drahtlos untereinander, wobei die Unterscheidung in Terminal und Basisstation u.U. wegfällt. Man spricht dann von ad-hoc Netzen [7]. Sind Stationen ausgestattet, um auch nicht in gegenseitiger Empfangsreichweite befindliche Stationen durch Vermittlung zu verbinden, spricht man von multi-hop ad-hoc Netzen. [10].

Im ACTS¹¹-Forschungsprogramm der Europäischen Union wurden die Ergebnisse von RACE/MBS aufgegriffen und ab 1995 in folgenden Projekten weiterentwickelt:

- MEDIAN: Ein lokales W-ATM System bei 60 GHz für bis zu 155 Mbit/s Übertragungsrate mit Festnetzanschluß. Der Schwerpunkt liegt auf der Übertragungstechnik
- MagicWAND: Ein W-ATM LAN bei 5.2 GHz für 20 Mbit/s Übertragungsrate für die Dienste nrt-VBR und ABR/UBR mit Anschluß an das ATM-Festnetz [16]. Neben Übertragungstechnik werden auch die Funkprotokolle und Netzprotokolle bearbeitet. Dieses Projekt hat neben ATMmobil den stärksten Einfluß auf die ETSI/BRAN¹²-Standardisierung [13].
- SAMBA: Ein zelluläres W-ATM System für mobile Terminals bei 40 GHz für 25 Mbit/s Übertragungsrate für alle ATM-Dienstklassen mit Anschluß an das ATM-Festnetz. Neben Übertragungstechnik werden auch die Funkprotokolle und Netzprotokolle bearbeitet [17-19]. Wegen der unterstützten Terminalmobilität wurden in SAMBA Protokolle für den sog. Netzhandover entwickelt, um im Festnetz bei Bedarf eine ATM-VCC während der Benutzung umschalten zu können.
- AWACS: Ein zelluläres W-ATM System für ortsfeste (evtl. auch bewegliche) Terminals bei 19 GHz für 34 Mbit/s Übertragungsrate mit Festnetzanschluß. Es handelt sich um ein sog. WLL¹³-System für ATM-Terminals.

⁹ Research and Technology Development in Advanced Communications Technologies in Europe

¹⁰ Mobile Broadband Systems (die Forschungsgruppe des Autors war für die Spezifikation der Protokolle zuständig)

¹¹ Advanced Communications Technologies and Services

¹² European Telecommunications Standardisation Institute/Broadband Radio Access Networks

¹³ Wireless Local Loop (drahtloser Zugang im Ortnetz von Telekommunikationsnetzen)

- FRANS: Ein kabelgebundenes ATM-Zugangsnetz im Ortsnetz für bis zu 155 Mbit/s Übertragungsrate mit Festnetzanschluß. Später wurde im Projekt auch der drahtlose Zugang über ein W-ATM WLL-System zur Untersuchung mit aufgenommen.
- CABSINET: Ein zellulares W-ATM WLL-System bei 5, 17 und 40 GHz mit Festnetzanschluß für ortsfeste Terminals.

Bei AWACS, FRANS und CABSINET handelt es sich um Varianten des sog. LMDS¹⁴ Konzeptes, das ebenfalls zur Zeit bei ETSI standardisiert wird. Man rechnet weltweit mit einem sehr großen Bedarf an W-ATM Systemen für die verschiedenen im ACTS-Programm untersuchten Anwendungen.

2.1 ATMmobil und seine Teilvorhaben

Das BMBF-Fördervorhaben ATMmobil (Laufzeit 4/1996 bis 3/2000) untersucht Probleme und Lösungen für den ATM-basierten drahtlosen Zugang zu Multimedia-Diensten. Industrielle Forschungseinrichtungen arbeiten zusammen mit Hochschulen daran, in vier Jahren prototypische drahtlose ATM-Systeme für die verschiedenen ausgewählten Anwendungsgebiete zu entwickeln und ihre Funktionstüchtigkeit nachzuweisen. Im Unterschied zu den bis 1996 veröffentlichten Arbeiten [4, 5, 6, 14] werden in ATMmobil auch echtzeitbedürftige ATM-Anwendungen und alle interessanten Szenarien in die Untersuchung einbezogen, vgl. Bild 4.

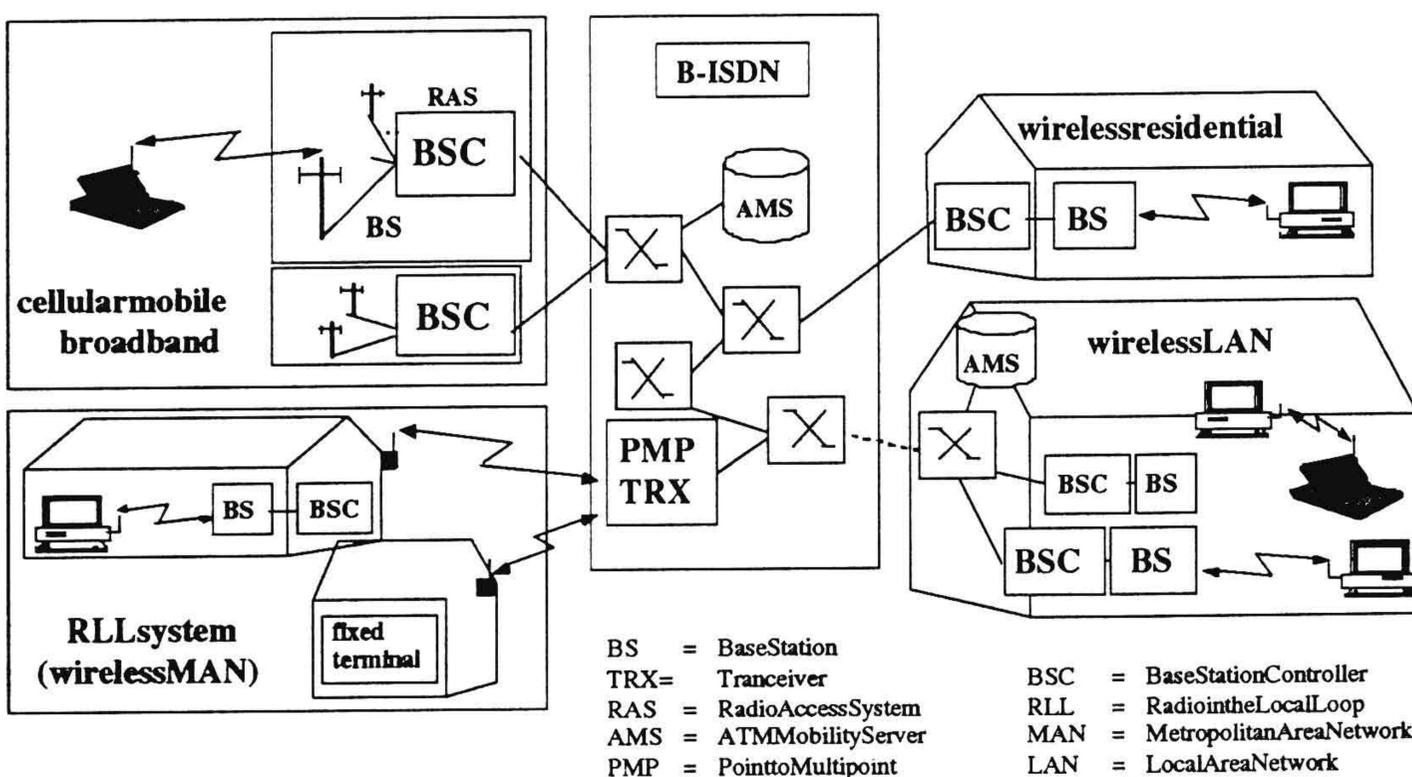


Bild 4: ATMmobil Anwendungen

Die nachfolgend vorgestellten W-ATM Systeme unterscheiden sich bzgl. der verfügbaren Dienste, der zulässigen Mobilität der Terminals und evtl. auch bzgl. der genutzten Medien und zugehörigen Trägerfrequenzen und Bandbreiten. Daraus resultieren unterschiedliche Übertragungsverfahren an der drahtlosen Schnittstelle, so daß man nicht von einem einheitlichen Standard für Modems¹⁵ von W-ATM Systemen ausgehen kann. Für die Struktur der logischen Kanäle und die Zugriffsprotokolle wird jedoch eine skalierbare, einheitliche Lösung angestrebt. Es gilt noch als ungewiß, ob dieses Konzept durchgehalten werden kann, denn es sollen sehr unterschiedliche Anwendungsbereiche abgedeckt werden, von der Unterhaltungselektronik (geringe Dienstgütereorderungen, billige Drahtlostechnik) bis zur Studioteknik. Nachfolgend werden die vier unter-

¹⁴ Local Multipoint Distribution System (ein Punkt-zu-Mehrpunktsystem für den breitbandigen drahtlosen Teilnehmeranschluß)

¹⁵ Modulator/Demodulator

schiedlichen anwendungsspezifischen Systemkonzepte kurz vorgestellt; eine ausführliche Vorstellung erfolgt in nachfolgenden Nummern der NTZ erscheinen werden.

2.1.1 Zellulare ATM Netze (CATM Systeme)

Ähnlich wie für Telefonie durch das DECT¹⁶ System realisiert, wird im Teilvorhaben 1) ein W-ATM System entwickelt, das an geografischen Orten mit hoher erwarteter Teilnehmerzahl wie Sportstätten, Verkehrsknotenpunkten, Labors usw. eingesetzt werden soll. Der technologische Stand erlaubt funkgestützte, zellulare, mobile Breitbandsysteme mit 25 Mbit/s Multiplexdatenrate für mobile ATM-Terminals zu realisieren, Bild 4 (oben links). Das Teilvorhaben CATM von ATMmobil hat folgende Partner

- Alcatel/SEL AG (Leitung)
- Ericsson Eurolab Deutschland GmbH
- DeTe Mobil GmbH
- TU Dresden/Mobile Kommunikationssysteme
- Daimler Benz Aerospace AG,
- Robert Bosch GmbH
- RWTH Aachen/COMNETS¹⁷

Der gegenwärtige Stand der Arbeiten ist wie folgt beschreibbar: Die Demonstratorconfiguration wird in der ersten Ausbaustufe aus der ATM-Vermittlung mit einem Multimedia-Speicher und dem Mobilitäts-Server, einer Basisstations-Steuereinheit, zwei Basisstations-Sende/Empfangseinrichtungen und einer Mobilstation bestehen und im Oktober 1998 lauffähig sein. Die Spezifikationen und die Hardwarebeschaffung dafür sind abgeschlossen. Die Module werden einzeln von den zuständigen Partnern getestet und anschließend mit den jeweils benachbarten Modulen getestet und so schrittweise integriert werden.

2.1.2 Drahtlose ATM-LANs für Multimedia im Industrie- und Privatbereich

Für im Internet übliche Anwendungen, die heute in vielen Fällen über ein lokales Netz (LAN) erreicht werden, besteht erheblicher Bedarf für den drahtlosen Anschluß bewegbarer (movable) Arbeitsplatzrechner, um Flexibilität bzgl. Raum und Aufstellungsort zu erreichen. Die Standardisierung hat gerade Lösungen erarbeitet, die einen ersten schnellen Schritt in diese Richtung bedeuten, vgl. HIPERLAN/1 [11], WLAN 802.11¹⁸. Bisher wurden sog. ein-hop Lösungen (für vollständig vermaschte Stationen) entwickelt, die bei den vorgesehenen Frequenzen 2.4 und 5.2, GHz LAN-Kommunikation zwischen den Stationen benachbarter Räume, oder auch mit Terminals am Festnetz über eine „Basisstation“ mit Festnetzanschluß (z.B. LAN) unterstützen. Da solche Netze vergleichbare Datenübertragungsraten wie LANs ermöglichen (typisch 10-15 Mbit/s), sind sie als Ersatz für LANs und weniger zur Unterstützung echtzeitbedürftiger Multimedia-Dienste geeignet.

Multimedienetze stellen u.U. Echtzeitforderungen an das Übertragungssystem, die weder von HIPERLAN/1 noch von WLAN 802.11, noch vom Internet unterstützt werden können. Beispielsweise wird im bestehenden HIPERLAN/1 Standard bei Übertragung von ATM-Zellen nur eine maximale Auslastung von ca. 9% erreicht, bei indiskutabler Verzögerungszeit der Zellen [12]. Neben bewegbaren Stationen können auch mobile Endgeräte unterstützt werden. Außer Funk werden für drahtlose LANs auch Medien wie Infrarot und Licht diskutiert. Mobilität (bzw. Beweglichkeit) von Endgeräten stellt neue Forderungen an die Internet Protokolle.

W-ATM LANs haben gegenüber solchen Lösungen den Vorteil, daß die ATM-Übertragungstechnik direkt bis zum Multimedia-Terminal geführt wird, vgl. Bild 4 (rechts unten), ohne die bei Benutzung von Internetprotokollen erforderlichen Anpaßfunktionen (interworking

¹⁶ Digital Enhanced Cordless Telecommunications

¹⁷ COMmunication NETworkS (Lehrstuhl Kommunikationsnetze)

¹⁸ Ein IEEE802-Projekt bei 2.4 GHz, gegenwärtig wird ein System bei 5.2 GHz entwickelt, das dieselben Protokolle benutzen soll

functions). Dabei ist neben zentralisierter Kommunikation (Mobilterminal zu Basisstation BS) auch die direkte Kommunikation zwischen Terminals möglich.

Ähnlich wie bei drahtloser Telefonie (DECT) wird insbesondere im Bereich der Konsumerelektronik mit Nachfrage nach kostengünstigen Drahtlostechniken für den Anschluß von interaktiven Multimedia-Terminals gerechnet, Bild 4 (oben rechts) [7]. Damit soll es möglich werden, interaktive Fernsehgeräte bzw. Multimedia-PCs an beliebigen Standorten in der Wohnung zu betreiben, frei von den Zwängen der Antennensteckdose. Die dafür erforderlichen Systeme kommen u.U. mit preiswerter Infrarot Übertragungstechnik und geringerer Dienstgüte aus, als für die anderen W-ATM Systeme gefordert. Es handelt sich im Unterschied zu bestehenden Breitbandverteilssystemen (Rundfunk, Fernsehen) um bidirektionale Kommunikation, evtl. mit reduzierter Bitrate auf dem (Schmalband-)Rückkanal.

Drahtlose Multimedia ATM-Terminals werden auch in der industriellen Prozeßautomatisierung erwartet, wo Kabel besonders unerwünscht sind. Bei Wahl der Übertragungsfrequenz im 5 GHz Bereich gibt es praktisch keine technisch bedingten Störungen (man-made noise), so daß W-ATM LANs auch hier eine Anwendung finden. Im Teilvorhaben 2) von ATMmobil wird ein universelles W-ATM LAN-System entwickelt, das die drei genannten Anwendungsbereiche abdecken wird.

Das 2. Teilvorhaben hat folgende Partner:

- Philips AG (Leitung)
- Daimler Benz AG
- RWTH Aachen/COMNETS

Der gegenwärtige Stand der Arbeiten ist wie folgt beschreibbar: Die Integration des ersten WLAN Demonstrators, der eine zentrale Basistations-Steuerung vorsieht, ist abgeschlossen. Ein Infrarot-basierter Demonstrator für die Anwendung im Privatbereich mit Spot-Diffusions-Übertragungstechnik der TU Ilmenau ist vorführfähig. Er kann 34 Mbit/s über Sichtlinienverbindung übertragen. Der Sender wird mit zugehöriger ATM-Vermittlung (! Chip) in die Set-Top-Box integriert werden. Das Demonstrationssystem des ad-hoc WLAN wird z.Zt. entwickelt.

2.1.3 Drahtlose ATM-Zugangsnetze

Neben der Nutzung hochbitratiger Übertragungsverfahren über bestehende verdrehte Zweidrahtleitungen im Ortsnetz nach dem Verfahren HDSL (high speed digital subscriber line) mit bidirektionaler Übertragung mit 2 Mbit/s, bzw. dem Verfahren ADSL (asymmetric digital SL) mit bis zu 6,5 Mbit/s Übertragungsrate zum Terminal hin und mit 650 kbit/s vom Terminal zurück, soweit die Leitungen dafür geeignet sind, wird Nachfrage nach hochbitratiger drahtloser ATM-Übertragungstechnik erwartet.

Dabei realisieren Basisstationen über Sichtlinien (Richtfunk) Punkt-zu-Mehrpunkt (PMP) Verbindungen zwischen vielen Terminals und einer Basistation, die evtl. über Punkt-zu-Punkt Richtfunk oder als Terminal einer nächsthöheren Hierarchiestufe von PMP-Systemen an die Ortsvermittlungsstelle des Festnetzes angeschlossen ist. Dabei wird die „letzte Meile“ zwischen Festnetz und Teilnehmeranschluß überbrückt, Bild 4 (links unten).. Als Frequenzbänder kommen 17, 26, und 40 GHz infrage. Das 3. Teilvorhaben W-ATM WLL von ATMmobil hat folgende Partner:

- Siemens AG(Leitung)
- Daimler Benz Aerospace AG
- TU München/mehrere Lehrstühle
- Uni Paderborn/Nachrichtentechnik
- RWTH Aachen/COMNETS.

Der gegenwärtige Stand der Arbeiten ist wie folgt beschreibbar: Die Integration des WLL-Demonstrators ist abgeschlossen. Gegenwärtig laufen Feldversuche. Die Weiterentwicklung für den verbesserten Demonstrator haben begonnen.

2.1.4 Integrierte W-ATM Systeme mit intelligenten Antennen

Die weitere Entwicklung von W-ATM Systemen wird insbesondere auf eine größere Spektrumskapazität und geringere Interferenzleistung abzielen wie das auch für andere Mobilfunknetze beobachtbar ist. Dazu sind intelligente adaptive Antennen (phased array) mit entsprechender Steuerung der Antennenkeulen erforderlich, die zu einer starken Interferenzminderung und Reduktion der Funkstrahlungsbelastung führen, wobei z.B. gleichzeitig zwischen Basisstation und Terminals in verschiedenen Richtungen kommuniziert werden kann (SDMA, space division multiple access). Derartige Systeme wurden schon 1985 für lokale Funknetze vorgeschlagen [15]. Sie können u.a. Nullstellen des Antennendiagramms in bestimmte Richtungen steuern, um den Störabstand zu vergrößern. Diese Technik ermöglicht quasi Richtfunk-Kommunikation zwischen Basisstation und Terminal. Sie bedarf, vor ihrer Einführung, noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei Antennen, ihrer Steuerung und bei Algorithmen zur zeitgerechten Ausleuchtung des jeweils richtigen Ortes (an dem sich eine ortsfeste, bewegliche oder mobile Station - mit/ohne aktuelle Verbindung - befindet). Auch sind die Zugriffsprotokolle auf die Bedürfnisse der SDMA-Technik abzustimmen.

Im 4. Teilvorhaben Integrated Mobile Broadband System (IBMS) werden Komponenten für W-ATM Systeme entsprechend den vorgenannten Teilvorhaben 1) bis 3) entwickelt und demonstriert, die mit intelligenten Antennen arbeiten und in ein gemeinsames System integriert sind. Da dafür mehrere bei verschiedenen Frequenzen (5.2, 19, 38 GHz) arbeitende Systeme zusammengefaßt werden müssen, wird kein vollständiger Demonstrator angestrebt. Das Teilvorhaben IBMS von ATMmobil hat folgende Partner:

- TU Dresden (Leitung)
- TU Berlin
- Krone AG
- Sony Deutschland GmbH
- TU Ilmenau
- TU München
- Heinrich-Hertz Institut Berlin

Der gegenwärtige Stand der Arbeiten von IBMS ist wie folgt beschreibbar: Das Demonstrator-konzept und die Schnittstellen zwischen den Teilsystemen wurden festgelegt. Kanalmessungen bei 5 GHz wurden durchgeführt. Der Vergleich von OFDM und Einträgerverfahren mit Entzerrung im Frequenzbereich spricht für Einträgerverfahren. Ein hochintegriertes ATM-Funkmodem, das als Software-Radio entworfen worden ist, wird Ende 1998 verfügbar sein.

2.1.5 Systemgruppe von ATMmobil

Neben den vier genannten Teilvorhaben von ATMmobil besteht eine Systemgruppe an der RWTH Aachen/COMNETS, die zur Integration aller vier Konzepte in ein Gesamtsystem beiträgt. Sie untersucht Grundlagen und führt das gesamte System betreffende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durch, die weltweite Entwicklungen schritthaltend im Projekt verfügbar machen und anfangs im Projekt nur unzureichend abgedeckte Problembereiche aufarbeiten. Dazu gehören

1. Bearbeitung von Querschnittsaufgaben wie Koordination der wissenschaftlichen Zusammenarbeit der Projektpartner.
2. Einrichtung von und Mitarbeit in ad-hoc Arbeitsgruppen mit Mitgliedern bzw. Leitern aus den Teilvorhaben, um ihre Erkenntnisse schritthaltend in die Projektarbeit einzubringen. Beispiele solcher Gruppen sind:
 - a) Frequenzplanung
 - b) Funkübertragung
 - c) Dienste
 - d) Antennen für mm-Wellen
 - e) Rechnerplattformen und Werkzeuge
 - f) Zugriffsprotokolle für skalierbare Funkschnittstellen
 - g) Schnittstellen und Verbindung der Prototypen über ein ATM-Festnetz
 - h) ATM-Netz-basierte Mobilitätsverwaltung
 - i) Regeln für die Koexistenz verschiedener W-ATM-Systeme

- j) Standardisierung bei ETSI/BRAN und der W-ATM Group des ATM-Forums.
3. Entwicklung von universellen, für alle Anwendungsbereiche geeigneten Protokollen
 - a) der drahtlosen Schnittstelle (Kanalzugriff, Verbindungssteuerung, dynamische Ressourcenverwaltung) für rundstrahlende, sektorisierte und adaptive Antennen
 - b) für das ATM-Festnetz (Mobilitätsverwaltung: Aufenthaltsverwaltung, Handover)
 - c) und ihre formale Spezifikation in SDL für Dokumentation und Portierung.
 4. Analytische und simulative Leistungsbewertung der Protokolle in realitätsnahen Szenarien,
 5. Modellierung der Funkausbreitung und Entwicklung von Kanalmodellen,
 6. Entwicklung von Mehrwertdiensten und Sicherheitsarchitekturen.
- Mitglieder der Systemgruppe wirken in den Teilvorhaben 1), 2) und 3) auch unmittelbar mit, um die vorgeschlagenen Protokolle in den Demonstrationssystemen zu implementieren.

2.2 Stand der Standardisierung von W-ATM Systemen

Bei ETSI/BRAN wird besonders intensiv an der Standardisierung von W-ATM LANs gearbeitet, wobei eine zentrale Steuerung der Terminals an der W-ATM Multiplexschnittstelle durch eine Basisstation bevorzugt wird. Derartige Systeme wurden oben als WLAN und als CATM bezeichnet. Bild 5 zeigt die Organisation dieser Gruppe und ihre Aufgaben.

Daneben gibt es die schon erwähnten Aktivitäten bei ETSI zur Standardisierung von LMDS. Die W-ATM Group des ATM-Forums arbeitet bei ETSI/BRAN mit und konzentriert ihre eigene Arbeit auf Festnetzaspekte. Deshalb wird erwartet, daß aus der Arbeit von ETSI/BRAN ein weltweiter Standard für W-ATM Systeme resultieren wird. Das Projekt ATMmobil ist bei beiden Standardisierungsgremien durch industrielle Vertreter aus den Teilvorhaben 1) bis 3) und die RWTH Aachen vertreten. Es ist bemerkenswert, daß ETSI/BRAN an der Funkschnittstelle ein sog. periodenorientiertes zellbasiertes Zeitmultiplexverfahren mit zentraler Zuteilung der Kapazität der Multiplex-Funkschnittstelle durch die Basisstation auf der Aufwärtsstrecke favorisiert, wie es in [2, 3] vorgestellt worden ist und in allen Teilvorhaben von ATMmobil (mit geringen Variationen) realisiert wird, vgl. Abschnitt 3.1. Dieses Verfahren wird auch im MagicWAND Projekt verwendet und heißt dort MASCARA Protokoll [16].

3. Beschreibung einzelner Aspekte von W-ATM Systemen

3.1 Kanalzugriff

Die Funkschnittstelle funktioniert als verteilter ATM-Multiplexer und überträgt zeitlich verschachtelt die in Protokolldateneinheiten der Zugriffs- (medium access control, MAC-) bzw. Verbindungssteuerungs- (logical link control, LLC-) Schicht enthaltenen einzelnen ATM-Zellen der verschiedenen Terminals auf der Aufwärtsstrecke (uplink) zur Basisstation bzw. in umgekehrter Richtung (downlink). Da die Funkübertragungstrecke 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, vgl. Bild 6. 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 Terminals bzw. die erforderliche Übertragungskapazität an der Aufwärtsstrecke erfährt die Basisstation in speziellen Zeitschlitzen, die von Terminals im Vielfachzugriff genutzt werden; daneben fragt sie Terminals bei Bedarf gezielt ab.

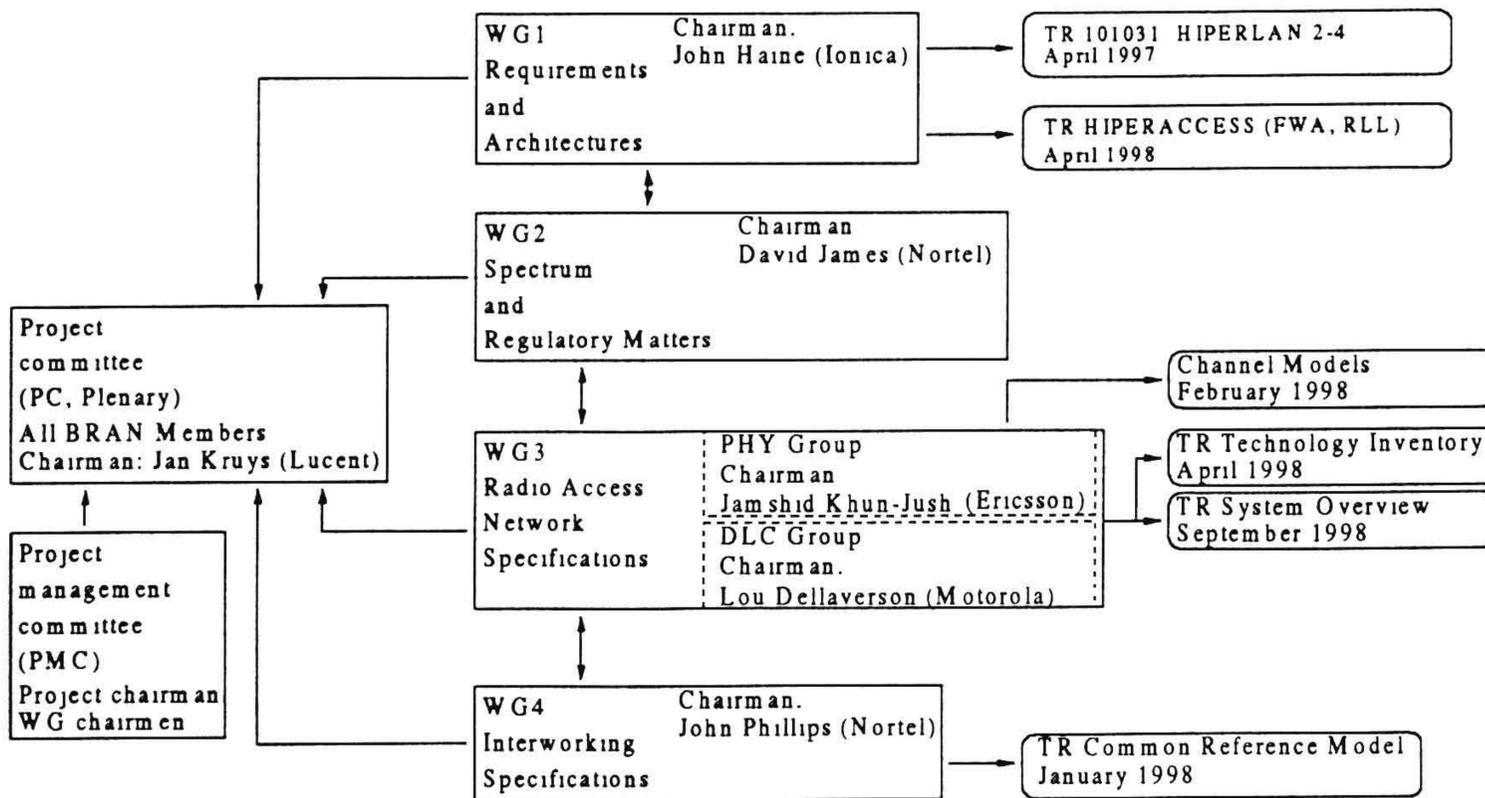


Bild 5: Organisation und Aufgaben der ETSI/BRAN Gruppe

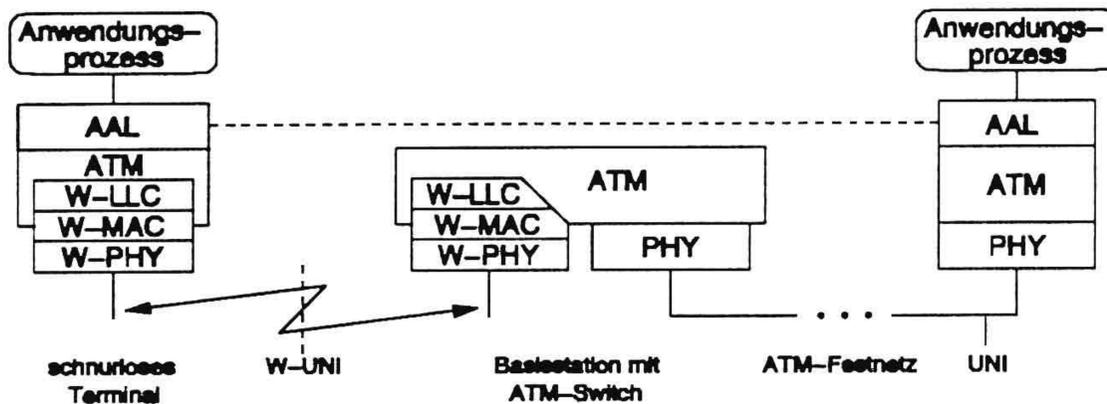


Bild 6: Protokollstapel an der funkschnittstelle

Den periodischen Ablauf der physikalischen Schicht des sogenannten DSA¹⁹⁺⁺-Protokolls und die Bedeutung der in den Zeitschlitz übertragenen Informationen wie er in ATMmobil, ACTS/SAMBA, ACTS/ MagicWAND und anderen Projekten mit geringen Modifikationen angewandt wird, zeigt Bild 7. Gezeigt ist ein Verfahren mit Richtungstrennung im Frequenzbereich (Frequenz-Duplex); ATMmobil benutzt ein Zeitduplexverfahren auf nur einer Trägerfrequenz [17]. In einem downlink-Signalisierungsburst teilt die Basisstation den Terminals die Struktur und Länge der nächsten Signisierungsperiode mit, die in eine downlink- und eine uplink-Phase (meist) unterschiedlicher Länge aufgeteilt ist. Im Signisierungsburst wird mitgeteilt, an welche Terminals in welchem Zeitschlitz am downlink übertragen werden wird und welche Terminals welchen uplink-Zeitschlitz benutzen dürfen. Am Ende der Signisierungsperiode folgt ein Feld mit Zeitschlitz für den Zufallszugriff bzw. die Abfrage von Terminals. Benutzerdaten werden in Form von ATM-Zellen übertragen, die zusammen mit funkschnittstellenspezifischer Steuereinformation in den einzelnen Zeitschlitz transportiert werden. Um die Zahl der Zufallszugriffe zu minimieren, werden Forderungen für Zeitschlitz für im Terminal wartende Zellen in unmittelbar vorher übertragenen Zellen huckepack übertragen. Für die Auflösung möglicher Kollisionen beim Vielfachzugriff wird ein Nummern-Splittingverfahren benutzt [18].

¹⁹ Dynamic Slot Assignment

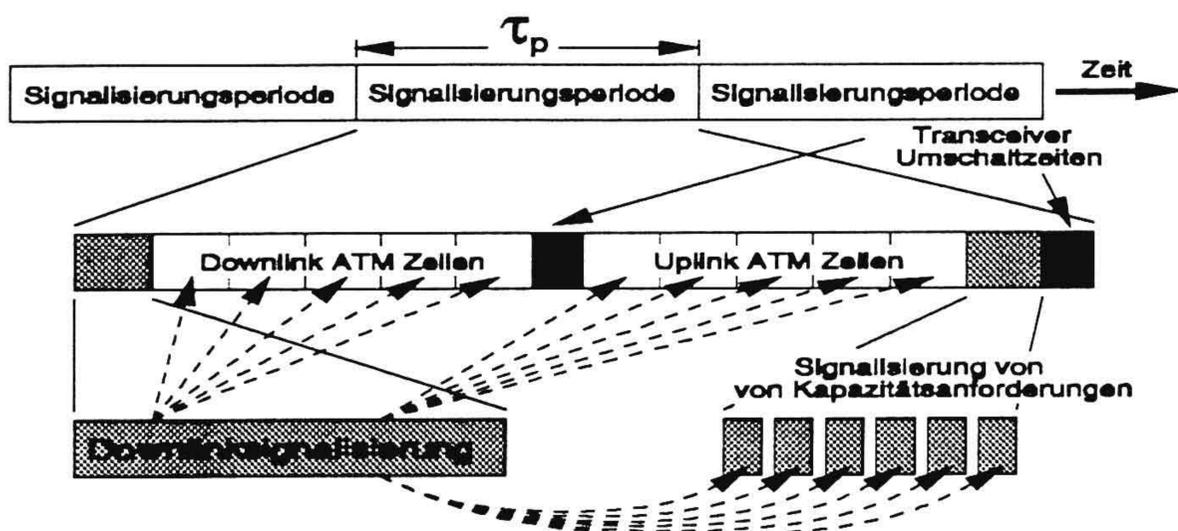


Bild 7: Nutzung des physikalischen Kanals durch das DAS++ Protokoll

Um mehreren Basisstationen, die zum gleichen oder 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 Kanäle eine wählbare Kapazität haben und dezentral von den Basisstationen zugegriffen und reserviert werden [19].

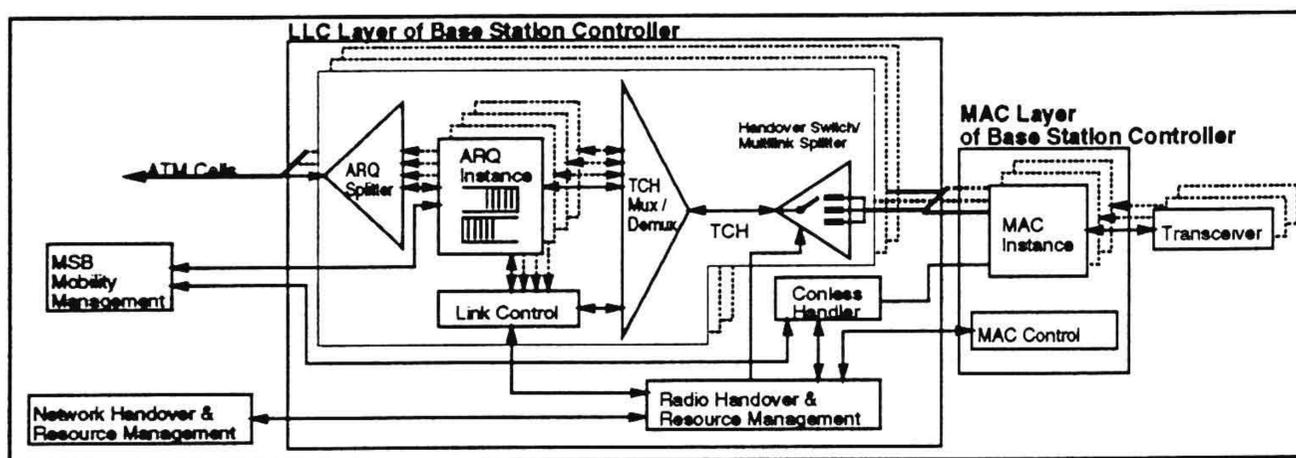


Bild 8: Logical Link Control (LLC): Realisierung bei MBS

Die Sicherungs- (LLC-) Schicht unterstützt das sog. adaptive Selective-Repeat-Request-ARQ (ASR-ARQ) Protokoll, das die verbindungspezifischen Anforderungen an Übertragungsverzögerung und Bitfehlerhäufigkeit (BER) für multimedia Anwendungen berücksichtigt [18]. 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 8 zeigt, daß jede MAC-Instanz ebenfalls genau eine virtuelle Verbindung betreibt.

3.2 Handover und dynamische Funkbetriebsmittel-Verwaltung

Die Mikro-/Pikozellenstruktur 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 Handoveralgorithmen müssen den aktuellen Signalpegel der empfangbaren Basisstationen und die Qualität der Verbindungen berücksichtigen und mit schnellem Handover reagieren können. Gleichzeitige Verbindungen zu mehreren Basisstationen (Makrodiversität) im Mehrkanalbetrieb müssen berücksichtigt und geeignete Handoveralgorithmen

men entwickelt werden, die einen nicht spürbaren (*seamless*) Handover ermöglichen und die geforderte Qualität der Verbindung aufrecht erhalten.

3.3 Protokolle zur Mobilitätsverwaltung

Die Mobilitätsverwaltung des W-ATM Systems umfaßt Protokolle für die Terminal-Mobilität, wie Aufenthaltsverwaltung, Funkruf und Benutzerdatenverwaltung im 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 zu erwartenden hohen Benutzerzahlen werden dynamische Mechanismen und dezentrale Datenhaltung untersucht.

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 basierte Dienste werden im W-ATM System unverändert benutzt. Basisstationen werden direkt mit einer ATM-Vermittlung verbunden, vgl. Bild 4. Bedingt durch Mobilität wird bei jedem Wechsel des ATM Netz-Zugangspunktes ein netzgestützter Handover ausgeführt. Der Transportmechanismus in ATM Netzen beruht auf virtuellen Verbindungen (VCC), statt auf Kanalvermittlung. Der 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.

3.4 Modellierung der Funkausbreitung

Die besonderen Eigenschaften des breitbandigen ATM-Funkkanals (frequenzselektiver Mehrwegeschwund, Abschattung, etc.) erfordern die realitätsgetreue Modellierung der Funkausbreitung, um Vorhersagen für die Dimensionierung der Entzerrer und die Leistungsfähigkeit der Funkprotokolle machen zu können. Dafür wurden auf der Basis von Messungen Kanalmodelle entwickelt [20] und Methoden zur Funkausbreitungsberechnung (Ray-Tracing, etc.) weiterentwickelt und eingesetzt, um im Systemsimulator WATSIM die Leistung der vorgeschlagenen Protokolle zu untersuchen.

Neben der Modellierung der Mehrwegeausbreitung (Ein- und Zweifachreflektionen an statischen und mobilen Reflektoren gegebener Szenarien) und von Polarisations-eigenschaften (vertikal, horizontal und zirkular), der Berücksichtigung von Diversityverfahren (Makrodiversity, Mikrodiversity, Raumdiversity, Polarisationsdiversity) und der Ermittlung der Basischarakteristika von Antennen (Rundstrahler, Dipol, Phased-Array mit Schnittstelle zur Einbeziehung von Antennendaten) und der Berechnung von Antennenfootprints war die Bestimmung charakteristischer SNR bzw. BER-Parameter auf Basis typischer Empfängereigenschaften bei gegebenen Modulationsverfahren erforderlich.

3.5 Steuerung intelligenter Antennen und zugehörige Zugriffsprotokolle

Um eine möglichst hohe Spektrumseffizienz 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. Durch adaptive Antennen mit elektronisch schwenkbaren Keulen kann der Mehrwegeschwund weitgehend reduziert, die Interferenzleistung im System minimiert und der Entzerrer drastisch vereinfacht werden. Allerdings sind spezielle Zugriffs- und Ortungsproto-

kolle für solche Antennen erforderlich, die auch eine Lokalisierung und Verfolgung (tracking) der Mobilstationen und eine entsprechende Steuerung der Antennen-Keulen ermöglichen, Bild 9. Dieses Konzept für die funktionale Zusammenarbeit von Zugriffs- und Ortungsprotokollen mit der Antennensteuerung wurde bereits im MBS-Projekt entwickelt. Die ATMmobil Zugriffsprotokolle werden zur Zeit entsprechend weiterentwickelt, wobei sich gezeigt hat, daß das oben beschriebene Grundkonzept der Organisation der Funkschnittstelle beibehalten werden kann.

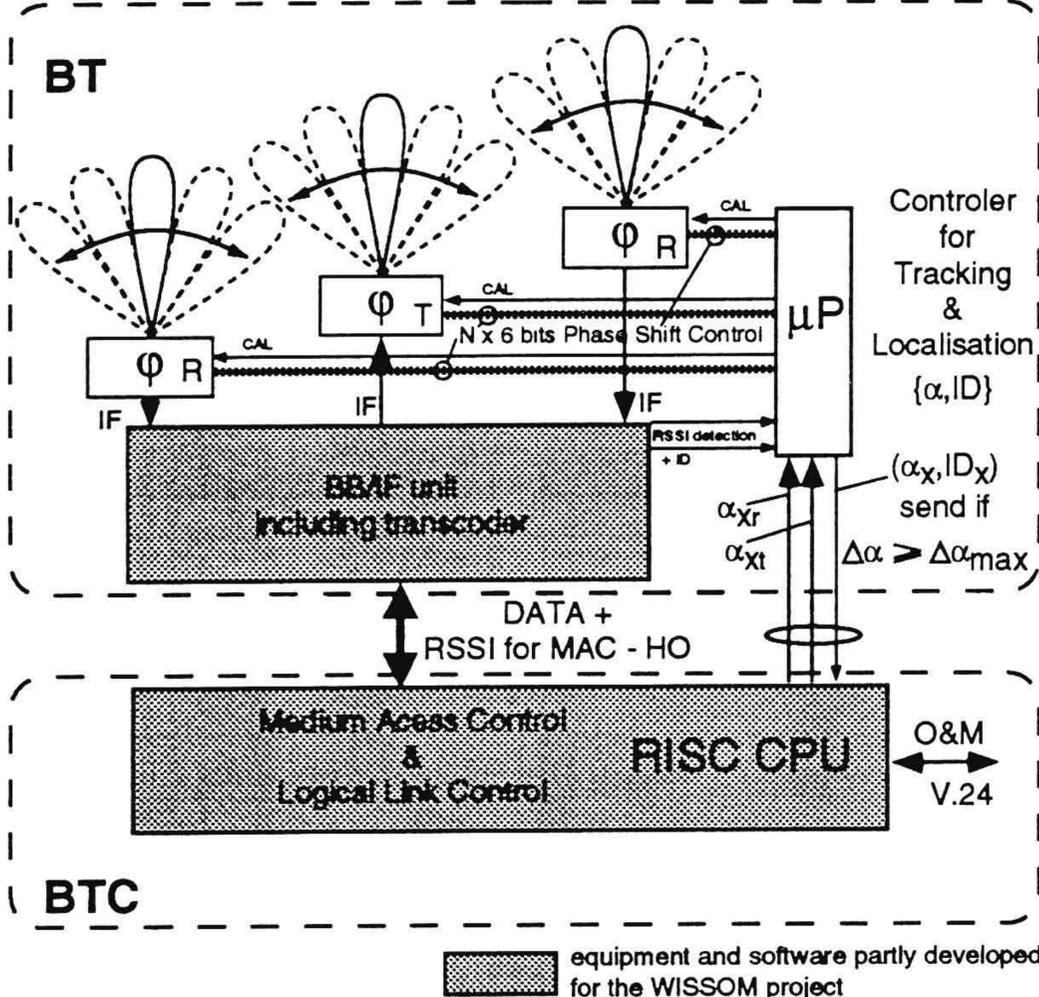


Bild 9: Steuerung intelligenten Antennen der Basisstation (BT) durch die Steuereinheit (BTC)

4. Mehrwertdienste

Die unterschiedlichen, mit dem ATMmobil-System 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. Dazu gehört z.B. die Anpassung der Mediendarstellung an die Möglichkeiten des momentanen Endgerätes, um echte Mehrwertdienste zu erhalten sowie die Personalisierung der Dienste.

4.1 Mobilitätsspezifische Dienste und Sicherheitsarchitektur

Mobilfunksysteme benötigen Sicherheitsarchitekturen, um in Multidomänen-Netzen uneingeschränkt betreibbar zu sein [21]. Eine auf ATMmobil zugeschnittene Sicherheitsanalyse zeigt die Bedrohungen des Gesamtsystems und erfordert die Auswahl geeigneter kryptographischer Verfahren für Authentifizierung, Integritätssicherung, Anonymität, usw., vgl. Bild 10. Die Verwendung personalisierter Dienste macht die Benutzung eines persönlichen Sicherheitsmoduls in Form einer Chipkarte erforderlich. Sicherheitsprotokolle zur Interaktion mit den einzelnen Komponenten von ATM-Mobil, 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.

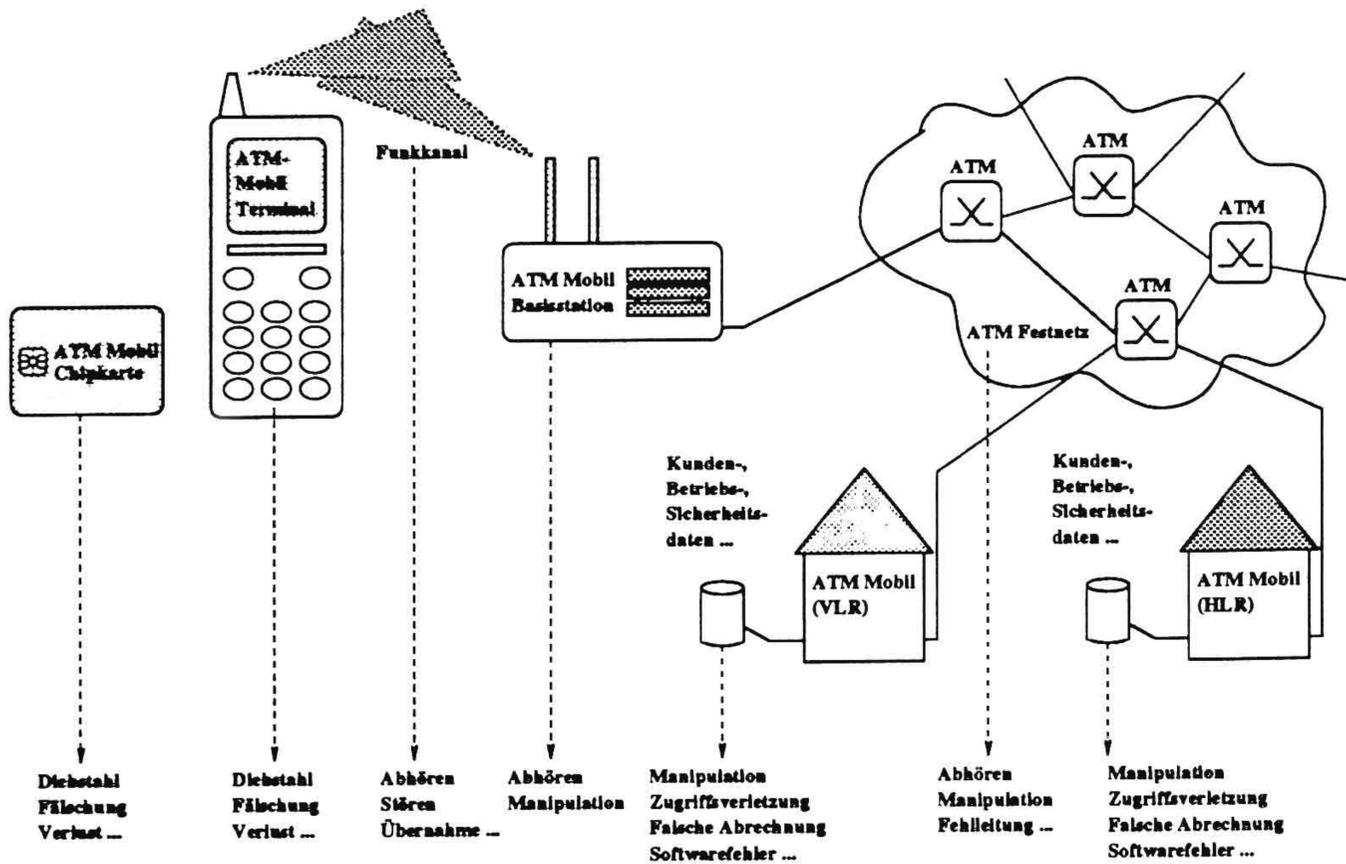


Bild 10: Sicherheitsanalyse für ATMmobil

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.

6. Analytische und simulative Leistungsbewertung der ATMmobil Protokolle

Das ATMmobil-Funknetz muß unterschiedliche B-ISDN Dienste mit unterschiedlichen Systemanforderungen in verschiedenen Umgebungen (Indoor, Outdoor) mit unterschiedlichen Funkausbreitungscharakteristika und entspr. 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 besteht ein sehr detaillierter ereignisgesteuerter Simulator WATSIM, Bild 11.

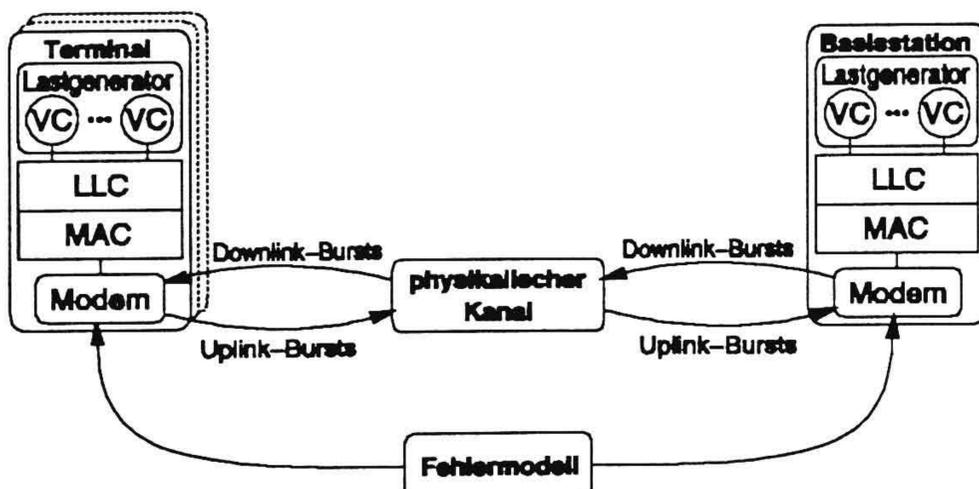


Bild 11: Wichtige Moduln des ereignisgesteuerten Simulators WATSIM

Kommunikationsobjekte, die je einen Funk-Protokollstapel, Lastgeneratoren und ein Modem-Objekt enthalten, sind in die Modellumgebung eingebettet. Der 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 Sende- richtung die Empfangsverhältnisse und leitet dementsprechend Burst an die Modems weiter. Das Objekt Fehlermodell modelliert die ausbreitungsbedingten Übertragungsfehler.

Schlußbemerkungen und Danksagung

Der Stand der prototypischen Entwicklung der verschiedenen Ausprägungen von ATMmobil Demonstrationssystemen liegt im vorgesehenen Zeitplan und hat erheblich dazu beigetragen, die laufende Standardisierungsdiskussion konstruktiv zu beeinflussen und voranzutreiben. Neben der Entwicklung prototypischer ATM-Funkschnittstellen wird auch daran gearbeitet, drahtlose Inter- net-Anwendungen ohne und mit Dienstgütegarantie mit den entwickelten Funkschnittstellen zu unterstützen.

Meine Mitarbeiter Andreas Hettich, Arndt Kadelka, Andreas Krämling, Mathias Lott, Steffan Mangold, Dietmar Petras, Dieter Pläßmann, Markus Scheibenbogen, Martin Steppeler, Ulrich Vornefeld, haben mit ihrer Arbeit erheblich zum Gelingen der bisherigen Arbeit in ATMmobil beigetragen. Ich möchte ihnen dafür an dieser Stelle herzlich danken.

Literatur

- [1] L. Fernandez: Developing a System Concept and Technologies for Mobile Broadband Communications. IEEE Personal Communi- cations, Vol. 2, No. 1, Febr. 1995, pp. 54-59
- [2] D. Petras: Medium Access Control Protocol for Wireless transparent ATM Access, Proc. IEEE Wireless Communications Sys- tems Symposium, Long Island, NY, Nov. 1995, pp. 79-84, Available from <http://www.comnets.rwth-aachen.de/~petras>
- [3] B. Walke, D. Petras, D. Pläßmann: Wireless ATM: Air Interface and Network Protocols of the Mobile Broadband System, IEEE Personal Comms. Magazine, Aug. 1996, Vol. 3, No.4, pp. 50-56
- [4] A. Acampora: Wireless ATM: A perspective on Issues and Prospects, IEEE Personal Comms. Magazine, Aug. 1996, Vol. 3, No.4, pp. 8-17
- [5] E. Ayanoglu, K.Y.Eng, M.J. Karol: Wireless ATM: Limits Challenges and Proposals, IEEE Personal Comms. Magazine, Aug. 1996, Vol. 3, No.4, pp. 18-34
- [6] D. Raychaudhuri: Wireless ATM: An enabling technology for Multimedia Personal Communication. Wireless Networks, Vol. 2, No. 3, 1996, pp. 163-171
- [7] Y. Du, S. Hulyalkar, D., Evans, D. Petras, C. Ngo, P. May, C. Herrmann, M. Duque-Anton, R. Kraemer, R. Fifield, D. Verma: System Architecture of a Home Wireless ATM Network. Proc. 5th IEEE Int. Conf. Universal Personal Communications (ICUPC96), 1996, pp. 477-481
- [8] G.P. Fettweis, M. Bronzel, H. Schubert, V. Aue, D. Mämpel, A. Wolisz, G. Walf, J.P. Ebert: A Closed Solution for an Integrated Broadband Mobile System (IBMS), Pro. 5th IEEE Int. Conf. Universal Personal Communications (ICUPC96), 1996, pp. 707-711
- [9] B. Walke: Mobilfunknetze und ihre Protokolle, Band 2, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1998
- [10] B. Walke, S. Böhmer, M. Lott: Protocols for a Wireless ATM Multihop Network, Proc. Int. Zürich Seminar on Broadband Com- munications, Febr. 17-19, 1998, Zürich, Schweiz, IEEE-Publication, pp. 75-82
- [11] European Telecommunications Standards Institute RES10, High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN), Draft Version 1.1, Sophia Antipolis, France, January 1995
- [12] W. Herrig, C. Plenge: Bewertung von dezentralen Zugriffsmechanismen bei HIPERLAN, 2. ITG-Fachtagung Mobile Kommunikati- on, 26.-28. Sept. 1995, Neu-Ulm, ITG-Fachberichte Nr. 135, VDE-Verlag, S. 371-378
- [13] ETSI, Radio Equipment and Systems (RES): High Performance Local Area Networks (HIPERLANs): Requirements and Archi- tectures for Wireless ATM Access and Interconnection, TR 101 031, April 1997
- [14] J. Porter, A. Hopper: An ATM-based Protocol for Wireless LANs, Olivetti Research Limited, ORL Technical Report 94.2, April 1994, available from <http://www.orl.co.uk/abstracts.html#25>
- [15] B. Walke, G. Briechle: A Local Cellular Radio Network for Digital Voice and Data Transmission at 60 GHz, Proc. Int. Conf. Cellular and Mobile Communications, London, Nov. 1985, Online Publication, pp. 215-225
- [16] J. Ala-Laurila, G. Awater: The MagicWAND - Wireless ATM Network Demonstrator System. Proc. ACTS Mobile Summit '97, Aalborg, Denmark, Oct. 1997
- [17] U. Vornefeld, A. Krämling, N. Esseling: Implementation of WATM-DLC Protocols for a 34 Mbit/s FDD Air Interface, Proc. ACTS Mobile Communications Summit '98, June 8-11, 1998, Rhodos, Greece.
- [18] D. Petras, U. Vornefeld: 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 6-10, 1998, Hangzhou, China
- [19] A. Krämling, M. Scheibenbogen: Dynamic Channel Reservation in FDD based Wireless ATM Networks, Proc. ACTS Mobile Communications Summit '98, June 8-11, 1998, Rhodos, Greece.
- [20] S. Mangold, M. Lott, D. Evans, R. Fifield: Indoor Radio Channel Modeling - Bridging from Propagation Details to Simulation, 9th Personal and Indoors Mobile Radio Comms. Conf. #98, Sept. 8-11, 1998, Boston, Mass. USA.
- [21] R. Popp, M. Fröhlich: A Security Architecture for Mobile Personal Communication Services among Heterogeneous Networks, 2.ITG-Fachtagung Mobile Kommunikation, Neu-Ulm, 26-28. Sept. 1995, ITG-Fachberichte Nr. 135, VDE-Verlag Berlin, S. 423-431