

## HiperLan/2

### Ein weitgehend in Deutschland entwickeltes Breitbandnetz für den Internetzugang<sup>1</sup>

Bernhard H. Walke,

Kommunikationsnetze, Elektrotechnik und Informationstechnik, RWTH Aachen,

Email: walke@ComNets.RWTH-Aachen.de

#### 1. Potentiale von Mobilkommunikation und persönlicher Kommunikation

Informations- und Kommunikationstechnik befriedigen wie das Auto Elementarbedürfnisse der Menschen und werden deshalb auch in Zukunft erhebliche Nachfrage und viele neue Produkte erzeugen. Besonders große Bedeutung hat die drahtlose Kommunikation als Zugangstechnik zu Festnetzen, denn Kommunikation über Kabel schränkt deren Nutzung erheblich ein. Die Verbesserung von Übertragungstechniken (Modulation, Codierung, Synchronisation, Entzerrung, Interferenzunterdrückung usw.) und der Empfindlichkeit der Empfänger wird den gerade beginnenden Durchbruch drahtloser Systeme erheblich beschleunigen. Heutige Beschränkungen der Dienstgüte (Durchsatz, Verzögerung, Bitfehlerhäufigkeit, usw.) werden vermindert werden. Die zukünftige Kommunikation im teilnehmernahen Bereich wird, wo immer vorteilhaft, drahtlos sein wie aus Bild 1 ersichtlich ist.

Dort sieht man, daß drahtlose Funksysteme Teilnehmern an jedem Ort der Welt Zugang zum (dick gezeichneten) drahtgebundenen Kommunikationsnetz ermöglichen können. Mikro-Funkbasisstationen mit Antennen in Gebäuden in ca. 3 m Höhe und außen (5 m) können kleine Mikro- bzw. Picofunkzellen versorgen, um in Ballungsgebieten hoch zivilisierter Länder Mobilterminals drahtlos an das Festnetz anzuschließen (vgl. Telepoint, Bus-/Bahnhof, Hotel). Schnurlossysteme, bei denen die Leitung zwischen Telekommunikations-Terminal und Handgerät bzw. Monitor durch eine Funkstrecke ersetzt ist, sind dabei, kabelgebundene Systeme abzulösen. Das ist bei Telefonen schon weit fortgeschritten, bei Datenendgeräten (PC, Fax) beginnt dieser Prozeß gerade. Solche Picozellularen Netze erreichen trotz sehr begrenzt verfügbarem Frequenzspektrum eine sehr hohe Verkehrskapazität – gemessen in Verbindungen/(Flächeneinheit \* Frequenzbandbreite) - vergleichbar der von heutigen Kabelnetzen.

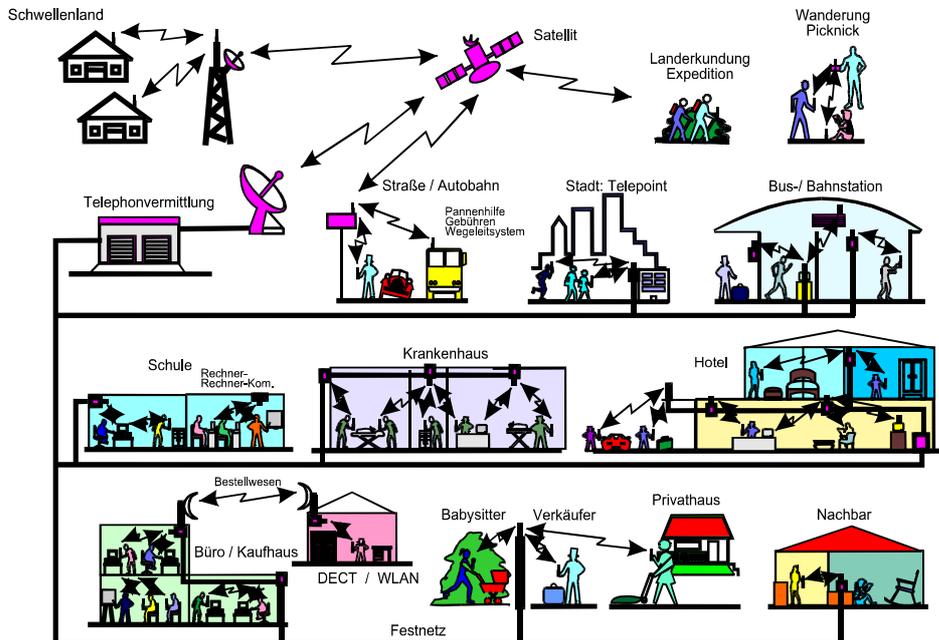


Bild 1: Drahtlose Kommunikation überall

#### 2. Festnetze und ihre Terminals

Bild 2 zeigt Telekommunikationsnetze (z.B. ISDN und Breitband-ISDN), die für Sprach- und Datenkommunikation benutzt werden und dabei die drahtgebunden oder drahtlosen Terminals in den Firmen und Privathäusern untereinander verbinden. Dafür ist z.B. eine Nebenstellenanlage (PABX) zum An-

<sup>1</sup> Die Arbeiten wurden vom Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (BMBF) im Förderschwerpunkt ATMmobil gefördert.

schluß von Telefonen und ein Router für den Anschluß von Datenendgeräten nötig, um die Datenpakete der verschiedenen angeschlossenen Terminals im Zeitmultiplex über ein Telekommunikationsnetz wie ISDN oder B-ISDN zu übertragen. Der Datenteilnehmer sieht u.U. nur das Internet (TCP/IP) als Übertragungssystem. Es wird unter Nutzung von Übertragungswegen von Telekommunikationsnetzen realisiert. Die Teilnehmer-Anschlußleitung im Telekommunikationsnetz, vgl. ISDN in Bild 2, hat am Basisanschluß eine Übertragungsrate von 2 x 64 kbit/s, die in vielen Fällen ausreicht, um neben Sprache auch Daten zwischen Rechnern zu übertragen. Daneben steht der Primärratenanschluß des ISDN (2048 kbit/s) zur Verfügung, um mittleren und kleinen Firmen den Anschluß der PABX und ihres Routers an das Telekommunikationsnetz mit Übertragungsraten von 2 Mbit/s zu ermöglichen. Die Terminals im Teilnehmerbereich können drahtgebunden bzw. drahtlos angeschlossen werden.

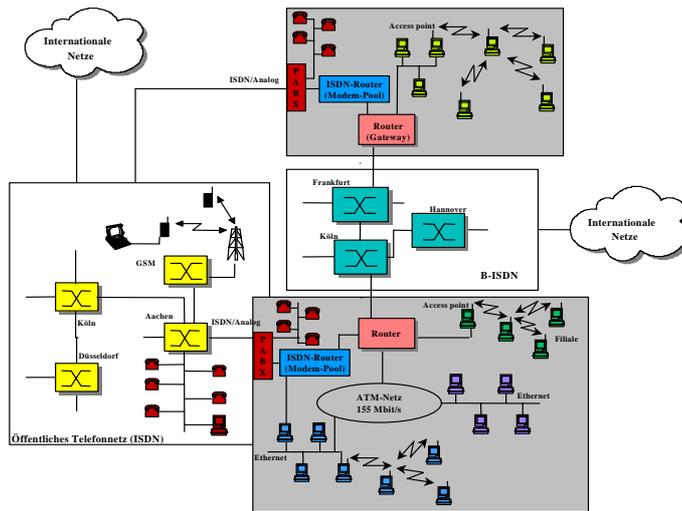
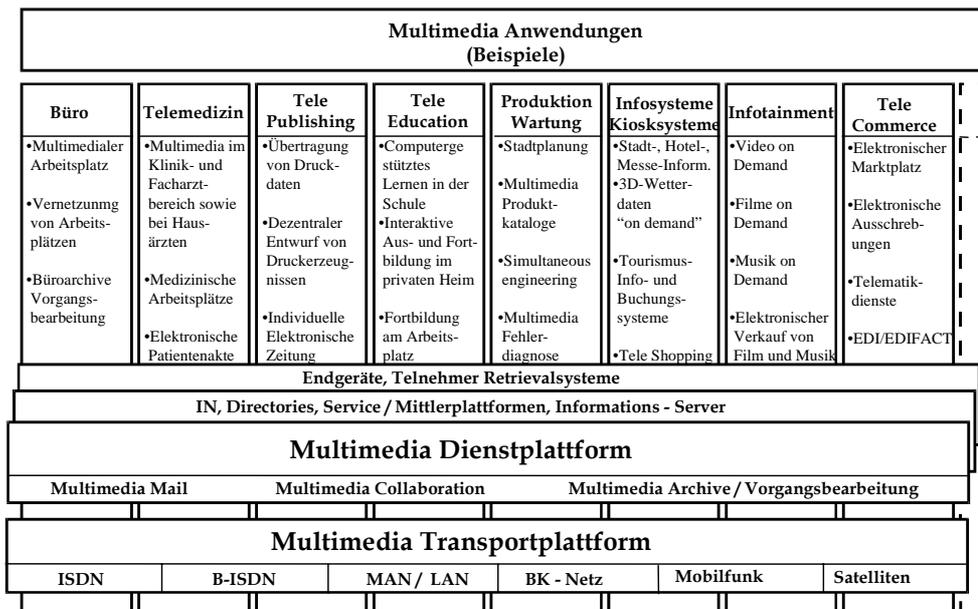


Bild 2:  
Telekommunikationsnetze  
mit Vermittlungsknoten,  
Routern und Terminals

### 3. Anwendungen für moderne Kommunikationsnetze

Beispiele für Multimedia-Anwendungen, die typischerweise auf Arbeitsplatzrechnern ablaufen und als Multimedia Plattform u.a. Standarddienste wie Elektronische Post (email), Internet Browsing (Datenbanksuche im Internet) unterstützen zeigt Bild 3. Diese Arbeitsplatzrechner sind durch Kommunikations-



Referenzmodell Multimediakommunikation Quelle: DeTe-Becker '95

Bild 3: Multimedia (MM)-Anwendungen auf MM-Plattformen verkehren über MM-Transportnetze

netze verbunden, z.B. ISDN, Breitband-ISDN, stadtweite (metropolitan area, MA) und lokale (local area, LA) Netze (networks, N), Breitbandkommunikationsnetze (BK, z.B. ADSL, koaxialkabel oder glasfaserbasiert) und seit kurzem auch über Mobilfunk.

Manche dieser Dienste erfordern erhebliche Übertragungsraten, bzw. resultieren bei herkömmlichen Drahtlos-Systemen in großen Übertragungsdauern, Bild 4. Für die Übertragung von Photos, kurzen Videos oder gar einer CD-ROM benötigt man mit GPRS, EDGE und UMTS Minuten bis Stunden.

Application	Page of text	e-mail	Picture on laptop	WDR web home page	30-pp simple colour presentation	e-mail + excel file	Book (300 pp text)	30-pp simple colour presentation wimages	Professional quality photograph	15 minute video	CD-ROM	
Size in bytes	3,125	3,125	50,000	100,000	100,000	750,000	937,500	2,000,000	2,400,000	300,000,000	650,000,000	
Book equiv's (300 pp)	1 page(s)	1 page(s)	16 page(s)	32 page(s)	32 page(s)	240 page(s)	1 book(s)	2.1 book(s)	2.6 book(s)	320 book(s)	693.3 book(s)	
Size in bits	25,000	25,000	400,000	800,000	800,000	6,000,000	7,500,000	16,000,000	19,200,000	2,400,000,000	5,200,000,000	
Size in mega/kbits	25 kbits	25 kbits	400 kbits	800 kbits	800 kbits	6 mbits	7.5 mbits	16 mbits	19.2 mbits	24 gbits	52 gbits	
Technology	kbits	Time to transmit (secs)										
GSM today	9.6	2.6 secs	2.6 secs	41.7 secs	1.4 mins	1.4 mins	10.4 mins	13 mins	27.8 mins	33.3 mins	2.9 days	6.3 days
HSCSD	28.8	0.87 secs	0.87 secs	13.9 secs	27.8 secs	27.8 secs	3.5 mins	4.3 mins	9.3 mins	11.1 mins	23.1 hours	2.1 days
GPRS	115	0.22 secs	0.22 secs	3.5 secs	7 secs	7 secs	52.2 secs	1.1 mins	2.3 mins	2.8 mins	5.8 hours	12.6 hours
EDGE	384	0.07 secs	0.07 secs	1 secs	2.1 secs	2.1 secs	15.6 secs	19.5 secs	41.7 secs	50 secs	1.7 hours	3.8 hours
UMTS on the move	384	0.07 secs	0.07 secs	1 secs	2.1 secs	2.1 secs	15.6 secs	19.5 secs	41.7 secs	50 secs	1.7 hours	3.8 hours
Stationary UMTS	2,000	0.01 secs	0.01 secs	0.2 secs	0.4 secs	0.4 secs	3 secs	3.8 secs	8 secs	9.6 secs	20 mins	43.3 mins

Telecoms speeds are measured in bits per second but most items that are transmitted are measured in bytes (there being 8 bits to a byte)  
 Bytes are measured in powers of 2 - 2<sup>10</sup> is 1,024, a kilobyte, where as a kilobyte is 1,000  
 The indicative speeds are theoretical measures of raw bandwidth; effective bandwidth is inevitably slower given the performance of modems, switches and other network elements

Bild 4: Erforderliche Übertragungszeiten für beispielhafte Objekte über verschiedene Drahtlossysteme (Quelle: UBS)

#### 4. Drahtlose und mobile Kommunikationsnetze

Drahtlose Netze gewinnen zunehmend an Bedeutung, weil die Endgeräte unabhängig vom Festnetzanschluß nutzbar werden und hindernde Kabel entfallen. Bild 5 zeigt die Zukunftsvision die bei der Standardisierung in Europa verfolgt wird. Alle drahtlosen Systeme werden als Zugangnetze zu einem Festnetz Kern angesehen, der alle Netzfunktionen (NSS= Network and Switching Subsystem, IN= Intelligent Network, TINA= Telecommunications Infrastructure Networking Architecture) und Dienste wie ISDN (Integrated Services Digital Network), Internet-TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol) verfügbar hat, um drahtlose Zugangnetze wie GSM BSS (Global System for Mobile communications Base Station Subsystem), DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), S-PCN (Satellite Personal Communications Network), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), MBS (Mobile Broadband System) und drahtgebundene Zugangnetze (LAN/WAN= Local/Wide Area Network, CATV= Cable Television) zu unterstützen.

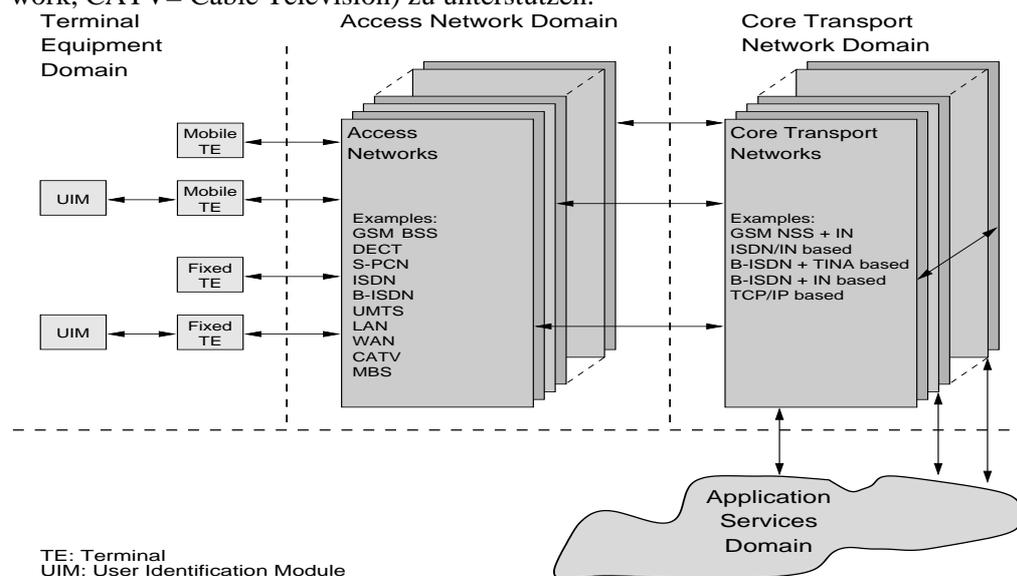


Bild 5: Global Multimedia Mobility Architecture des ETSI (European Telecommunications Standardization Institute)

Die genannten Systeme sind in [Wa00] im Detail beschrieben. Die in Bild 5 gezeigte Architektur des weltweiten "Kommunikationsgebäudes" für eine globale mobile Multimedia-Kommunikation deckt

Sprach-, jede Art von Datenkommunikation und Verteilkommunikation (Rundfunk) ab. Man kann man folgende bestehende, in ihrem Dienstangebot z.T. überlappende Mobilfunknetze unterscheiden:

- Zellularfunk für Sprach- und Datenkommunikation geringer Übertragungsrate (GSM 900/1800) mit seinen Datendiensten für mittlere Übertragungsraten (557,6-115 kbit/s) wie GPRS (general packet radio service) HSCSD (high speed circuit switched data) und hoher Rate (256-384 kbit/s) für asymmetrische Datendienste wie bei EDGE (enhanced data service for GSM evolution) vorgesehen,
- Bündelfunk (Professional Mobile Radio, PMR), d.h. Sprech- und Datenfunk für Gruppenkommunikation mit kleiner Bitrate für kommerzielle und behördliche Nutzer, z.T. nur regional,
- Funkruf, ein Benachrichtigungsdienst mit begrenzter Meldungslänge, europaweit,
- Rundfunk (Oberbegriff für Hörrundfunk und Fernsehen) mit analoger bzw. digitaler Übertragung,
- Schnurlos-Telekommunikation, wobei die Leitung zwischen Telefonapparat und Handgerät durch eine Funkstrecke ersetzt wird, mit Reichweiten von 50 m in Gebäuden und 300 m ausserhalb,
- Mobiler Satellitenfunk, ein weltweiter Dienst über geostationäre bzw. niedrig (100-15000 km) fliegende Satellitensysteme für Sprach- und Datenkommunikation kleiner Bitrate,
- Drahtloser Breitbandfunk (< 25 Mbit/s) im Nahbereich (< 200m) einer Basisstation.
- UMTS<sup>2</sup> wird als zellulares Mobilfunksystem der 3. Generation die terrestrischen Funkdienste Zellularfunk, Bündelfunk, Funkruf, Schnurloskommunikation in ein System mit reichweiteabhängiger Dienstgüte integrieren und wird auch das Raumsegment (mobiler Satellitenfunk) abdecken. Bei genauer Betrachtung handelt es sich um ein Sprachtelefonienetz, das auch Datenübertragung ermöglicht, ähnlich GSM/GPRS/EDGE.

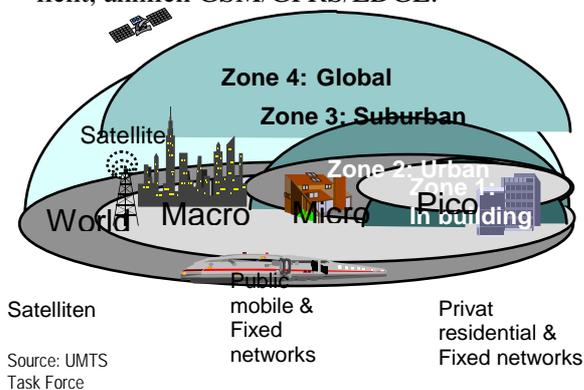


Bild 6: UMTS beinhaltet neben einer terrestrischen Komponente auch eine Satellitenkomponente.

UMTS ermöglicht hochbitratige (1-2 Mbit/s) Kommunikation im Nahbereich, 384 kbit/s bei geringer und <128 kbit/s bei hoher Bewegungsgeschwindigkeit und überträgt bidirektional mit symmetrischen Kanälen. Da Datendienste stark asymmetrische Kanäle benötigen, wird im BMBF-Fördervorhaben UMTSplus im Teilprojekt COMCAR ein Konzept untersucht, bei dem Rundfunkkanäle auf der Abwärtsstrecke in Kombination mit UMTS im Rahmen eines gemeinsamen Dienstes eingesetzt werden, um die für Internetzugriffe erforderlichen hohen Datenraten für mobile Terminals, zunächst im Fahrzeug, bereitzustellen, vgl. Bild 7. Diese Initiative wurde europaweit begrüßt und wird inzwischen auch im IST-Projekt DRIVE untersucht.

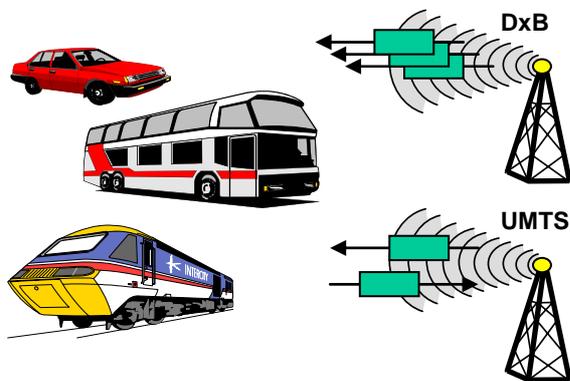
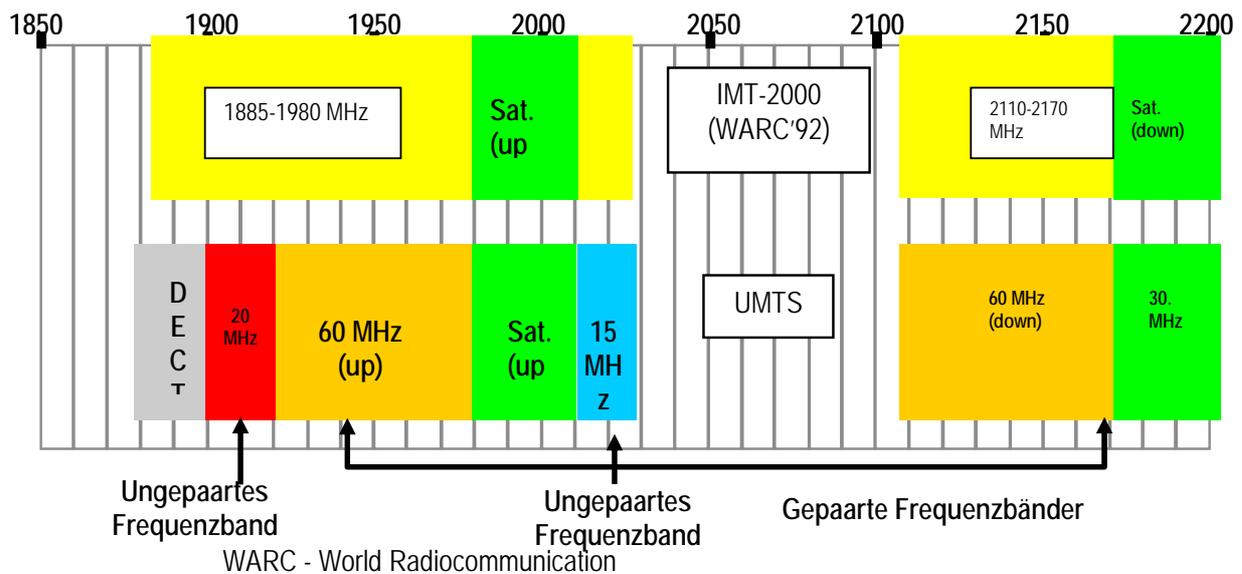


Bild 7: COMCAR verfolgt die Dienste-Integration von UMTS und Rundfunk (DVB-T)

<sup>2</sup> (Universal Mobile Telecommunications System)



Wichtige Funksysteme und ihre Lage im Spektrum

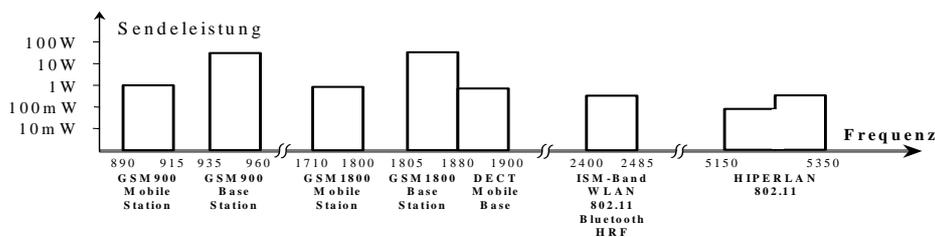


Bild 8: Spektrale Lage interessanter Mobilfunksysteme

## 5. Funkwellen, scheinbare Frequenzknappheit, Bandbreiten und Funkfelddämpfung

Die Lage der genannten Mobilfunksysteme im Funkfrequenzspektrum ist in Bild 8 zu sehen. UMTS liegt zwischen 1880 und 2200 MHz. Neben der sogenannten Bandbreite, die für das jeweilige System europä- bzw. weltweit reserviert ist, interessiert auch die abgestrahlte Leistung in Watt, bzw. Milliwatt. Die Leistung ist für die erzielbare Reichweite verantwortlich. Es wird allgemein behauptet, dass Spektrum für Mobilfunk knapp sei. Das hält einer ernsthaften Betrachtung nicht stand: Berücksichtigt man, dass für das terrestrische Fernsehen 412 MHz im für Mobilfunk bestgeeigneten Teil des Spektrums belegt sind, und dass nur noch etwa 7% aller Fernsehteilnehmer terrestrischen Empfang (statt Satellit oder Kabel) nutzen und die Betriebskosten/Jahr des terrestrischen Sendernetzes ca. 500 Mio DM betragen, dann ist klar, wo Spektrum verfügbar ist. Es ist also volkswirtschaftlich nicht zu rechtfertigen, UMTS-Frequenzen so knapp anzubieten, dass per Auktion lizenziert werden muss und pro MHz Lizenzgebühren erzwungen werden, die übertragen auf den Fernsehbereich dessen Wert auf hunderte Milliarden DM ausweisen, ohne nennenswerten ökonomischen Nutzen dieser Zuweisung. Die Lizenzpolitik belastet die UMTS-Technik mit so hohen Abgaben, dass die Gefahr des wirtschaftlichen Ruins der Betreiber und Hersteller besteht. Der weltweite Erfolg von GSM wird deshalb für UMTS nicht wiederholbar sein, weil die hohen Lizenzgebühren zu hohen Betriebskosten führen, die wenig Teilnehmer und wegen kleiner Stückzahl teure Endgeräte zur Folge haben werden. UMTS-Konkurrenztechniken haben dadurch erhebliche Wettbewerbsvorteile.

Drahtlose Terminals benötigen eine gute Funkversorgung, um den Weg zwischen Antenne des Terminals und Funkbasisstation, die typischerweise den Zugangspunkt (Access Point, AP) zum drahtgebundenen Festnetz herstellt, mit Hilfe elektromagnetischer Wellen zu überbrücken. Bild 9 zeigt ein Beispiel für eine Etage eines Hauses, wobei die Farben die Feldstärke am jeweiligen Ort wiedergeben. Rechts neben dem Bild ist die Bedeutung der Farben zu sehen. Bei Unterschreiten eines Pegels am Empfänger, der hier tief-

rot gezeichnet ist, wird die Funkstrecke unzuverlässig und es treten zu viele Übertragungsfehler auf. Es ist anzumerken, daß die für die Ausleuchtung der gezeigten Etage benötigte Funkenergie etwa der von zwei Taschenlampenbirnen entspricht und unter 200 mW liegt.

### 7. Drahtlose Lokale Netze (wireless LANs)

Drahtlose Funknetze sind für ortsfeste oder gelegentlich langsam bewegte Terminals gedacht. Wie man in Bild 10 sieht, gehören die Systeme DECT, Bluetooth, und alle drahtlosen lokalen Netze (wireless LANs) in diese Klasse. Mobile Funknetze wie GSM, TETRAx, UMTS erlauben dagegen hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, sind bei hoher Geschwindigkeit aber bisher auf relativ kleine Multiplexübertragungsraten der Funkschnittstelle beschränkt. Die Funkschnittstelle steht gleichzeitig mehreren (evtl. vielen) Terminals für Kommunikation zur Verfügung, weshalb die Terminals sich die Multiplexrate des jeweiligen Systems teilen müssen. Dafür sind entsprechende Zugriffs-(Medium Access Control, MAC) Protokolle standardisiert.

Die Beschreibung von GSM, TETRAx und DECT unterbleibt hier aus Platzgründen, vgl. [Wa00]. Drahtlose LANs sind neuerdings von großem Interesse und werden im folgenden genauer vorgestellt.

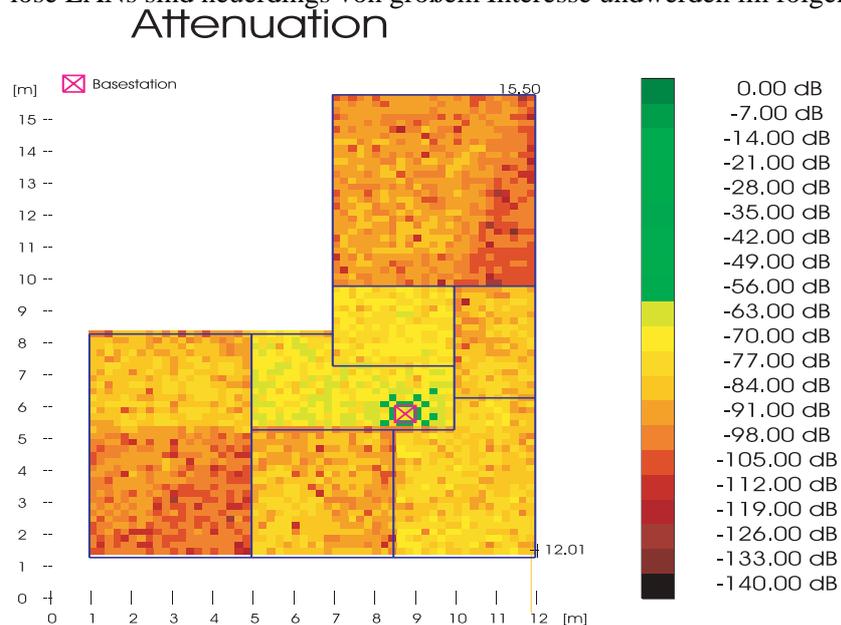


Bild 9: Funkausleuchtung in einer Etage eines Privathauses

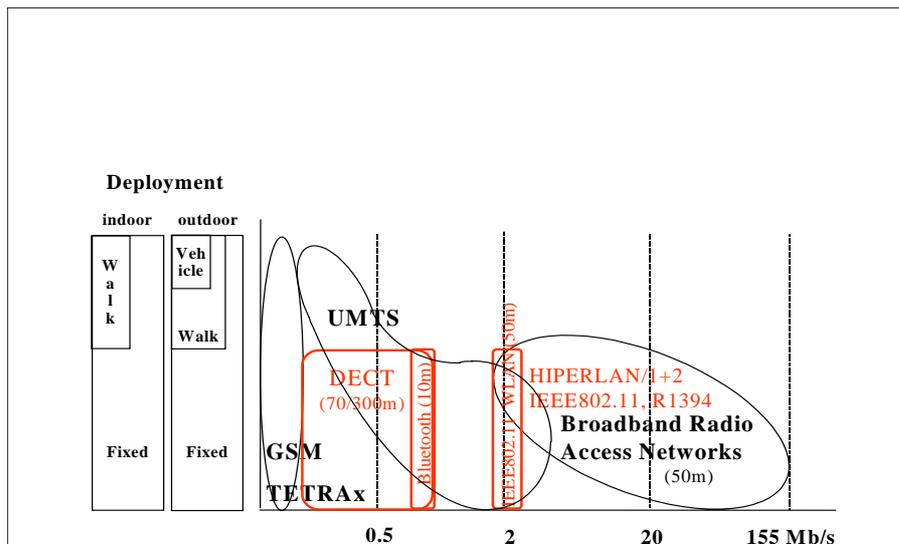


Bild 10: Mobilität, Multiplex-Datenrate und Reichweite von Drahtlos- und Mobilfunksystemen

Seit Sommer 1999 besteht der Standard Bluetooth 1.0, der ähnlich wie IEEE 802.11 arbeitet, jedoch den Schwerpunkt auf eine miniaturisierte Sendee-/Empfangeinheit (transmitter/receiver, transceiver) legt und deshalb nur etwa 10 m Reichweite hat. Bluetooth ist für die drahtlose Verbindung von Mobilterminals mit

anderen nahen Terminals (PC) gedacht, jedoch wird an weiteren Anwendungen gearbeitet. Mit einer Multiplexdatenrate an der Funkschnittstelle von bis zu 700 kbit/s eignet sich das System eher für Anwendungen mit seltenem Datenaustausch meist kleinen Umfangs.

Seit 1997 besteht der Standard IEEE 802.11 für ein drahtloses LAN mit 1 bzw. 2 Mbit/s Funk-Übertragungsrate im ISM-Band (Industrial, Scientific, Medical) bei 2.4 GHz. Da dort beliebige nicht lizenzierte Systeme betrieben werden dürfen, ist eine ausgefeilte Übertragungstechnik erforderlich, um trotz Störungen der Funkübertragung durch Systeme am gleichen Ort (z.B. Mikrowellenöfen) eine zuverlässige Übertragung zu gewährleisten. Das System benutzt ein CDMA-Verfahren zur Signalübertragung, um eine kleine Bitfehlerwahrscheinlichkeit zu erreichen. Besonders gut gelingt das, wenn die zu übertragenden Datenpakete groß sind, z.B. 2 kbyte. Pakete dieser Größe sind für Internet-Anwendungen typisch. Der Standard erlaubt auch den Betrieb selbstorganisierender Drahtlosnetze (ad hoc Netze), bei denen sich die Terminals beim Einschalten oder genügender Annäherung an das Funknetz zu einem Kommunikationsnetz logisch zusammenschließen können. Dann kann jedes Terminal mit jedem anderen über Funk kommunizieren und dabei auch einen Festnetz-Zugangspunkt (Access Point, AP) erreichen, um mit anderen ortsfesten oder drahtlosen Terminals am Festnetz zu kommunizieren. Ein Nachteil des Systems ist, daß keine Dienstgüte-Garantie wie in Breitbandnetzen üblich möglich ist.

### 7. HiperLAN/2 – ein drahtloses Breitband-LAN mit Dienstgüte-Garantie

Breitbandssysteme ermöglichen eine besonders hohe Übertragungsrate. Der Begriff Breitband ist in der ITU-T-Empfehlung I.113 mit einer Übertragungsrate höher als bei einem Primärmultiplexanschluß im ISDN (2048 kbit/s) definiert. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über den Stand der Entwicklung schnurloser Breitbandssysteme gegeben.

Die Bedeutung schnurloser Breitbandssysteme wird durch die große Zahl (inter)nationaler Projekte deutlich, die je zumindest einen Teil der in Bild 3 und 4 angesprochenen Dienste abdecken wollen.

Von 1988 bis 1995 dienten die EU-Förderprogramme RACE I (Research and Technology Development in Advanced Communications Technologies in Europe) und RACE II der Entwicklung und Überprüfung von Ansätzen für digitale Mobilfunksysteme und für Systeme mit breitbandiger Funkübertragung, vgl. Bild 11.

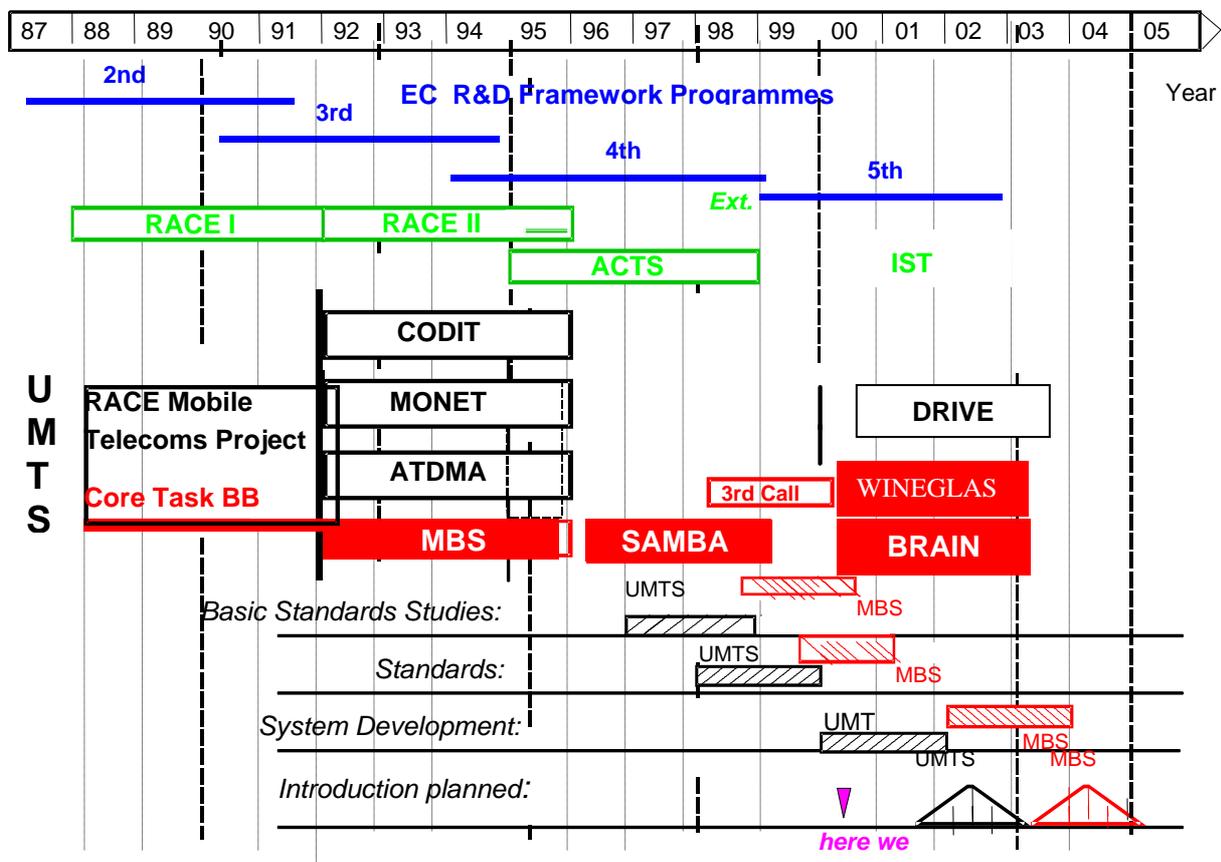


Bild 11: Zeitskala der Europäischen Forschungsprogramme und bearbeitete Projekte

In RACE II (1992-1995) wurde die Integration von Mobilfunksystemen der 2. in Systeme der 3. Generation gefördert. Zu nennen sind die Projekte MONET (Festnetz), ATDMA (Zeitmultiplex-Ansatz) und

CODIT (Codespreis-Ansatz). Daneben wurden im Projekt MBS (Mobile Broadband System) Technologien und Systemkonzepte für ein drahtloses ATM-System bei 60 GHz entwickelt und 1994 die Möglichkeit von Videoübertragung mit 16 Mbit/s Übertragungsrate (netto) bei 50 km/h Bewegungsgeschwindigkeit demonstriert [FeDe95, RoHu, Pet94].

In Bild 12 wird MBS zu anderen Systemen bzgl. Mobilität der Terminals und Übertragungsrate verglichen. Man sieht, daß MBS das Dienstespektrum des Breitband-ISDN abdeckt und mit der Mobilität von Mobilfunknetzen kombiniert. Aufgrund der Flexibilität von MBS und der Verfügbarkeit der Dienste des B-ISDN ist eine Vielfalt verschiedener Anwendungen möglich. Der Autor und seine Mitarbeiter waren für den Entwurf der Funk- und Netzprotokolle in MBS verantwortlich, die allerdings nicht im Demonstrator implementiert worden sind. Beispielsweise wurde in MBS erstmals eine ATM-basierte Breitbandfunkschnittstelle vorgeschlagen und in Teilen spezifiziert [Pet95, WaPeP196].

Der erwartete Erfolg solcher Systeme hat zu Anstrengungen geführt, drahtlose Breitbandssysteme zu entwickeln und zu standardisieren, um vergleichbare Übertragungsraten wie im B-ISDN üblich für drahtlose Terminals verfügbar zu machen. Die in MBS entwickelten Konzepte wurden im BMBF-Projekt ATM-mobil in Deutschland und 1996-1999 im ACTS-(Advanced Communication Technologies and Services) Programm der Europäischen Union (EU) in den Projekten MEDIAN, WAND, SAMBA weiterentwickelt.

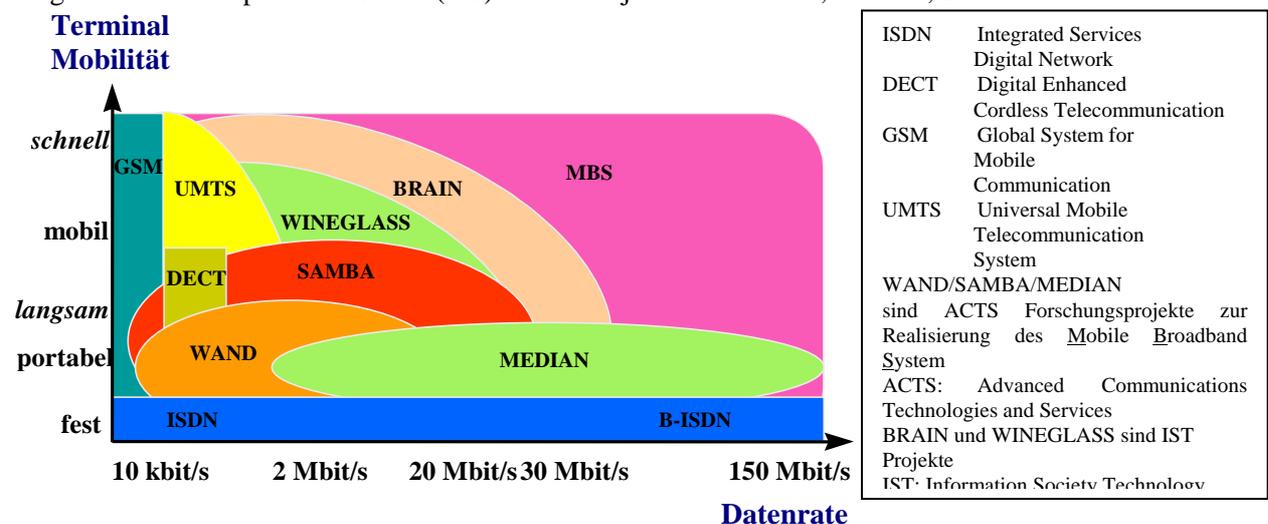


Bild 12: Bestehende Funknetze und ACTS/IST-Projekte im Bereich drahtloser Mobilfunknetze

**MEDIAN** (Wireless Broadband CPN/LAN for Professional and Residential Multimedia Applications) hat Übertragungstechnik bei 60 GHz für drahtlose ATM-Netze mit einer Datenrate von bis zu 155 Mbit/s für Multimedia, Sprach- und Videoanwendungen entwickelt. Der Schwerpunkt lag bei Untersuchungen zu Modulation, Kanalcodierung, Kanalzugriffsverfahren und Zusammenarbeit mit ATM-Festnetzen mit dem Ziel eine drahtloses LAN ohne Dienstgütegarantie zu spezifizieren.

**MagicWAND** (Wireless ATM Network Demonstrator) hat ein gebäudeinternes schnurloses ATM-System entwickelt und gebäudeinterne Benutzerumgebungen für Internet-Dienste mit 20 Mbit/s Übertragungsrate bei 5 GHz untersucht. Das Projekt war anfänglich sehr aktiv bei der ETSI/BRAN Standardisierung, hat sich im Verlauf aber zurückgezogen. Wichtige Beiträge zur Modellierung des Funkkanals, die Entwicklung von Kanalzugriffsprotokollen und von neuen Steuerungs- und Signalisierungsfunktionen sind als Ergebnisse zu nennen.

**SAMBA** (System for Advanced Multimedia Broadband Applications) hat ein zelluläres ATM Breitband-system bei 40 GHz für Mobilterminals mit dem Ziel entwickelt, die bei ATM standardisierten Dienstklassen CBR und VBR von anderen unterscheiden und klassenspezifisch zu unterstützen. Spezifikation und Implementierung der Funkschnittstelle, Mobilitätsunterstützung der Terminals und der Aufbau eines Demonstrationssystems bei 40 GHz mit bis zu 34 Mbit/s duplex Übertragungsrate waren die Schwerpunkte. Das Projekt hat auch eine beim ATM-Forum bisher nicht vorgesehene Technik für den Verbindungs-Handover zwischen verschiedenen ATM-Festnetzzugängen entwickelt. Der Autor und seine Mitarbeiter waren für die Spezifikation und Implementierung der Protokolle der Funkschnittstelle und der ATM-Netzprotokolle verantwortlich. Daneben sind Projekte erwähnenswert, die über Punkt-zu-Mehrpunkt (PMP) Richtfunk breitbandige ATM-Dienste über Funk untersucht haben:

**AWACS** (ATM Wireless Access Communication System) bei 19 GHz, Datenrate bis 34 Mbit/s .

**AMUSE** (Advanced Multimedia Services for Residential Users) untersucht die Kombination von Tech-

nologien wie HFC (Hybrid Fibre Coax), ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line), FTTC/FTTB (Fibre to the Curb/Building) und PMP-Richtfunk in Feldversuchen.

### Standardisierungsaktivitäten

**ETSI/DAVIC** (Digital And Video Council) hat ein PMP-System für die Fernsehverteilung entwickelt, das als LMDS (local multipoint distribution system) bezeichnet werden kann.

**ATM Forum** hat Festnetz-Protokolle für den Multimedia-Transport über B-ISDN Netze entwickelt, z.B. für TCP over ATM, MPEG over ATM, Wireless ATM.

**ETSI/RES 10** (Radio Equipment and Systems, RES) hat Ende 1997 den Standard HiperLAN 1 (WLAN mit ca. 10 Mbit/s Nettobitrate) bei 5 GHz fertiggestellt, der keinen Markt gefunden hat.

**ETSI/BRAN** (Broadband Radio Access Networks) hat im Frühjahr 2000 den Standard HiperLAN/2 (High Performance Local Area Network Type 2) vorgelegt [HeKe98, RaVo99, H/2]. Bild 13 zeigt die wesentlichen Parameter der dort in Standardisierung befindlichen Drahtlos-Systeme HIPERLAN/2, HIPERACCESS und HIPERLINK.

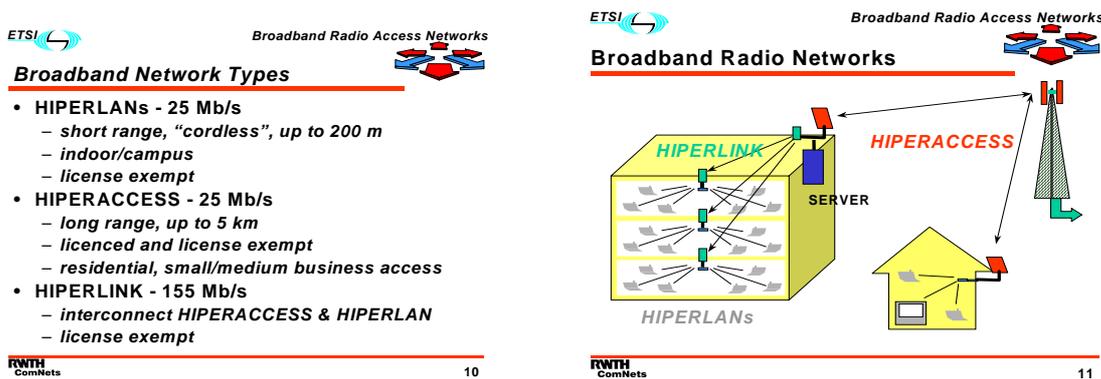


Bild 13: Parameter von HiperLAN/2 und der Richtfunksysteme HiperAccess (PMP) und HiperLink

**ATMmobil** hat als BMBF Förderschwerpunkt (1996-2000) zur Entwicklung drahtloser ATM-Systeme bei 5, 19, 40 GHz vier Ausprägungen drahtloser ATM-Systeme entwickelt und demonstriert, vgl. Bild 14 [KWFBM99]. ATM-RLL benutzt PMP-Richtfunk im Teilnehmer-Anschlussnetz bei 26/40 GHz. ATM-WLAN realisiert den drahtlosen Anschluß von Multimedia-Terminals bei 5/19 GHz. ZATM schafft ein zelluläres ATM-Netz bei 5 GHz mit Zugang zum B-ISDN. IBMS (Integrated Broadband Mobile System) hat als Technologieprojekt drahtlose Übertragungstechnik bei Infrarot, 5, 17, 40 und 60 GHz, adaptive

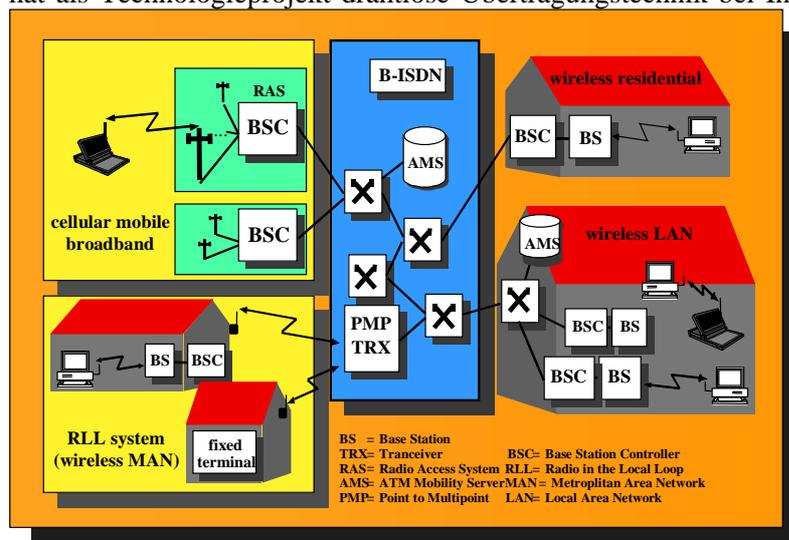


Bild 14: Vier Ausprägungen von mobilen Breitbandssystemen (Mobile Broadband System, MBS): Cellular Mobile ATM, Radio in the Local Loop, Wireless Residential LAN, Wireless LAN

Antennen, Funkprotokolle und den Internetzugang untersucht. Als Leiter der ATMmobil Systemgruppe und aufgrund unserer Beteiligung an den Konzepten 1. bis 3. kann ich in Kenntnis der absoluten und relativen Anzahl der Eingaben zur ETSI/BRAN Standardisierung (ca. 65%) sagen, daß die in ATMmobil beteiligten in Deutschland ansässigen Firmen und ihre Auftragnehmer den Großteil der Entwicklungs-

und Standardisierungsarbeit geleistet haben. Das ist im Titel dieses Beitrags etwas verkürzt so formuliert worden.

Ausgangspunkt für die Entwicklungsarbeiten waren die Veröffentlichungen zum DSA++ Protokoll [Pe94, Pe95, WaPeP196], das als Weiterentwicklung der MAC- und LLC-Protokolle aus dem Projekt MBS bezeichnet werden kann. In ATMmobil ist zusammen mit den beteiligten Firmen daraus das HiperLAN/2 Data Link Control (DLC) Protokoll entstanden und in der Standardisierung durchgesetzt worden. Aus Bild 15 kann man mit etwas Phantasie ablesen wie aus dem Protokoll DSA++ durch Weiterentwicklung in ATMmobil das DLC-Protokoll von HiperLAN/2 geworden ist. Man sieht kurze periodische MAC-Rahmen zu deren Beginn jeweils die Nutzung von Zeitabschnitten im Rahmen festgelegt wird. Die sog. Period Control PDU bei DSA++ entspricht den logischen Kanälen BCH und FCH bei HiperLAN/2. Am Ende des Rahmens liegt der Vielfachzugriffskanal (request channel bzw. random channel genannt).

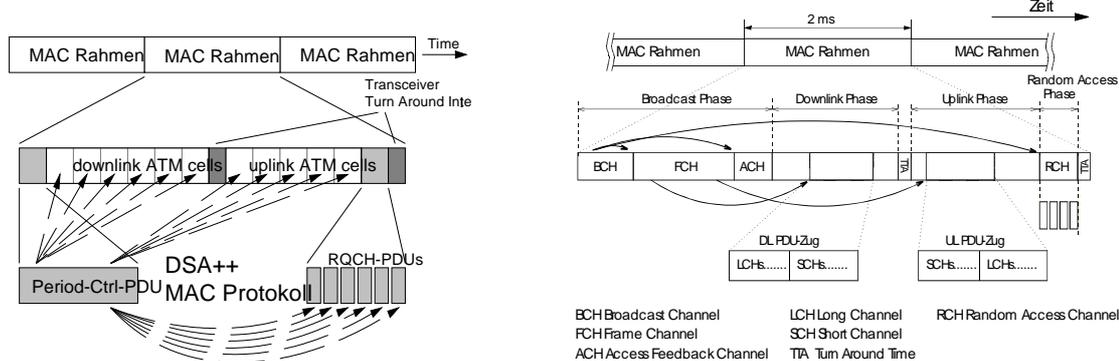


Bild 15: Vergleich der MAC-Protokolle DSA++ (links) und DLC von HiperLAN/2 (rechts)

### Weiterführung der Forschung für drahtlose Breitbandssysteme im EU/IST Programm

Seit 1/2000 laufen die ersten Projekte des EU-Programmes IST (Information Society Technology), von denen im Zusammenhang mit WLANs vor allem BRAIN (Broadband Radio Access to IP Networks) und WINEGLASS (Wireless IP Network as a Generic Platform for Location Aware Services) zu nennen sind.

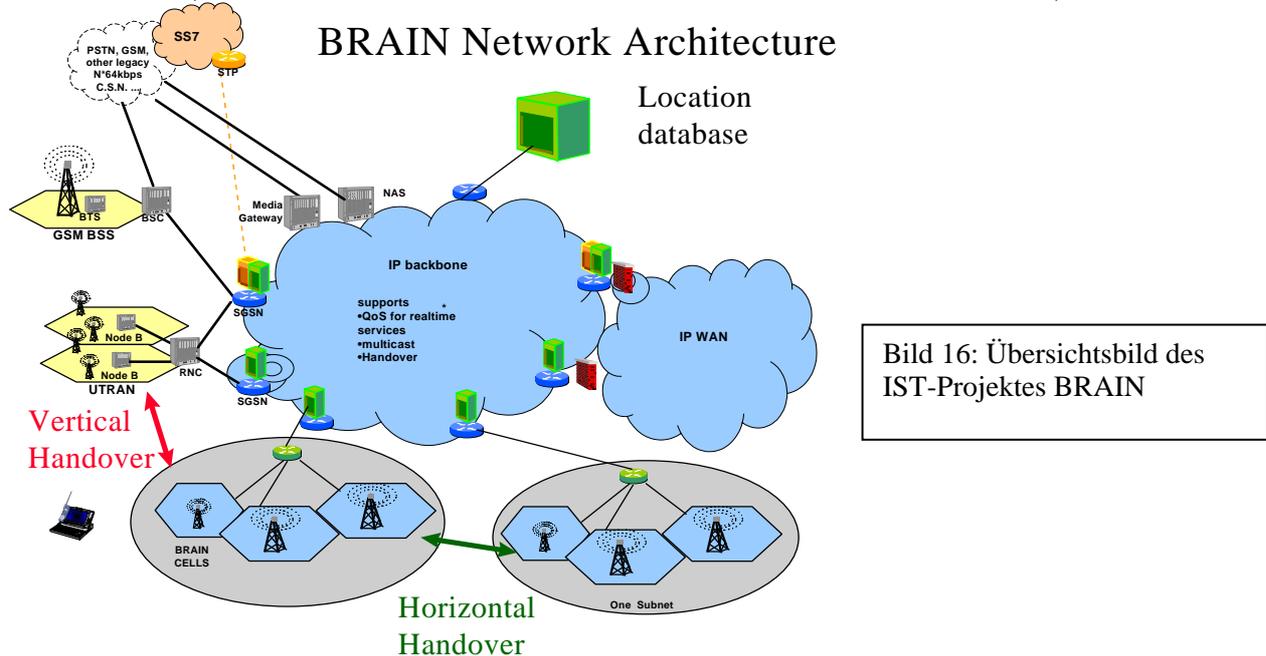


Bild 16: Übersichtsbild des IST-Projektes BRAIN

Im IST Programm werden insbesondere Aspekte der Integration von drahtlosen Nahbereichsnetzen in zellulare Mobilfunksysteme bearbeitet. BRAIN betrachtet eine Vielzahl integrierter Dienste die von verschiedenen Funknetzen beigetragen werden, vgl. Bild 16, wo horizontales und vertikales Handover zur Mobilitätsunterstützung gezeigt werden. Daneben werden Signalisierung, Mobilitätsverwaltung, Dienstgüteverwaltung usw. betrachtet, alles unter dem Gesichtspunkt des Broadband Radio Access for IP based Networks, wobei alle Dienste einschließlich Sprache paketvermittelt übertragen werden.

WINEGLASS strebt insbesondere die Integration von UMTS/UTRA und WLANs einerseits und IP-Festnetzen andererseits mit dem Ziel an, die Konvergenz der Netze zu realisieren und einheitliche ortspezi-

fische Dienste anbieten zu können.

## 9. Zur Bedeutung von HiperLAN/2 für die drahtlose Medienwelt

Nach Einschätzung des Autors werden drahtlose Breitbandnetze in den meisten Fällen in erheblichen und erfolgreichen Wettbewerb zu UMTS treten und dabei alle höherbitratigen Dienste auf sich ziehen, so daß für UMTS im wesentlichen solche Dienste übrig bleiben, die unbedingt sofort erbracht werden müssen, wo Kosten keine Rolle spielen oder wo nur kleine Bitraten nötig sind. Der Grund dafür sind die immensen Kosten der Lizenzierung des UMTS-Spektrums in Europa, die bei WLANs nicht anfallen. WLANs verfügen zwischen 5 und 6 GHz in Europa über 440 MHz nicht-lizenziertes Spektrum, während UMTS bis auf weiteres nur über 155 MHz insgesamt verfügt, wovon 60 MHz gepaart sind.

Fast alle eine hohe Bitrate erfordernden Anwendungen betreffen mediale Dienste, die auf Konserven beruhen, die man bei Gelegenheit drahtlos in sein Terminal lädt und später konsumiert – ähnlich wie das Freunde von Video- und CD-Shops heute auch tun. Dasselbe gilt z.B. für eine Mailbox, die ebenfalls wie eine Konserve geladen anschließend bearbeitet und das Ergebnis als Email später verschickt werden kann. Kaum jemand wird ernsthaft erwägen, umfangreiche Datenbestände „mit dem Strohhalm“ über UMTS in zeitraubender (vgl. Bild 4) und kostenträchtiger Weise zu übertragen.

Zum Laden von Multimedia-Inhalten sind sehr hohe Übertragungsraten (>25 Mbit/s) erforderlich, damit Teilnehmer im Vorbeigehen (on the move) ihre Konserven laden können und nicht warten müssen. HiperLAN/2-Systeme haben als drahtlose Zugangstechnik zu europaweiten bzw. weltweiten Festnetzen (Internet) ein ähnlich hohes Potential wie das zellulare GSM. Drahtlose Internets auf mit HiperLAN/2 basierten Zugangspunkten (MEDIA Point) werden voraussichtlich in ca. fünf Jahren an allen Orten verfügbar sein, an denen sich Menschen häufig aufhalten, vgl. [FBBY00]. Als Beispiel ist in Bild 17 ein Autobahnszenario gezeigt, bei dem Media Points an Autobahnbrücken angebracht sind und mit z.B. plus/minus 200 m Ausleuchtzone vor und nach einer Brücke einen Bereich ausleuchten, bei dessen Durchfahren ein fahrzeuginternes Terminal über 100 Mbyte Daten übertragen kann; ergänzende Daten können am nachfolgenden Media Point geladen werden. Entsprechend dem Ansatz lt. Bild 16 kann das Terminal jederzeit, wenn es keinen Media Point erreicht, ein zellulares Netz benutzen. Ebenso ist eine Teilversorgung von städtischen Bereichen für Fußgänger usw. möglich, Bild 17 (links).

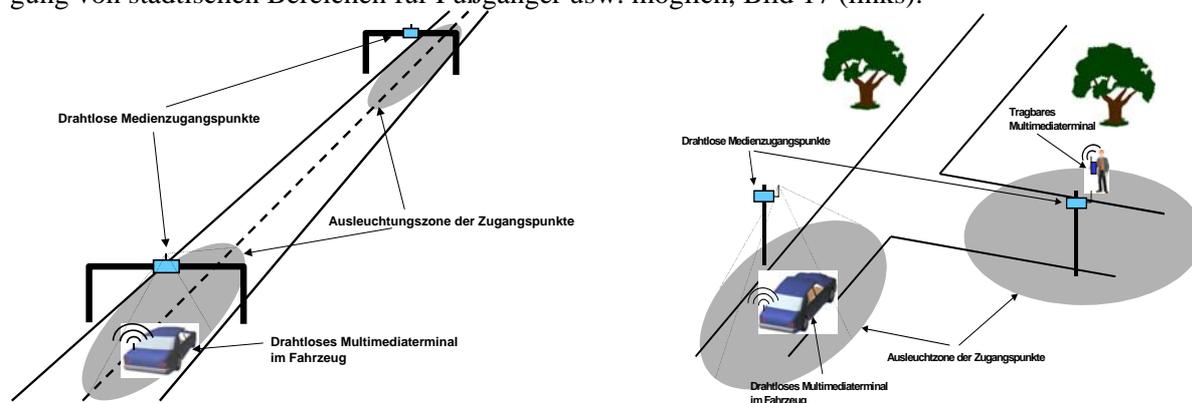


Bild 17: Szenarien auf der Autobahn bzw. in einem Wohngebiet mit HiperLAN/2 Media Points

## 10. Multi-hop Netze und selbstorganisierende Netze

Zur kostengünstigen Erweiterung des Versorgungsbereichs hochbitratig übertragender Funk-Zugangsnetze, haben wir drahtlose Basisstationen (wireless base station, WBS) für HiperLAN/2 vorgeschlagen, die keinen Festnetzanschluß benötigen [EVW00]. Dabei übernimmt ein am Rand einer durch eine mit dem Festnetz verbundene Basisstation (access point, AP) versorgten Zelle befindliches Mobilterminal die Rolle einer WBS und verbindet als Relais solche Terminals mit der festnetzgebundenen Basisstation (AP), die sonst keinen Funkanschluß zum Festnetz haben würden, vgl. Bild 18. Es hat sich gezeigt, daß die Realisierung der drahtlosen Basisstation (WBS) mit kleinem Aufwand möglich ist und überall dort Kabelkosten einzusparen erlaubt, wo das Funkspektrum örtlich nicht ausgelastet ist. Die Kommunikation eines über eine WBS angeschlossenen Terminals geht dabei z.B. über zwei Funkteilstrecken (hops): je einen zwischen AP und WBS und zwischen WBS und Terminal. Da drahtlose Basisstationen kaskadierbar sind, kann ein multi-hop Funknetz mit mehreren WBS in Reihe entstehen. Bemerkenswert ist, daß das durch die WBS versorgte Terminal nicht bemerkt, ob es direkt an eine festnetzgebundene oder eine drahtlose Basisstation angeschlossen ist.

Die Funkwellen bei 5 GHz werden durch massive Wände sehr stark bedämpft, weshalb man in Gebäuden mit einer relativ hohen Zahl fester Basisstationen rechnen muß. Die Einführung drahtloser mobiler oder ortsfester Basisstationen verringert die Zahl kabelgebundener Basisstationen erheblich.

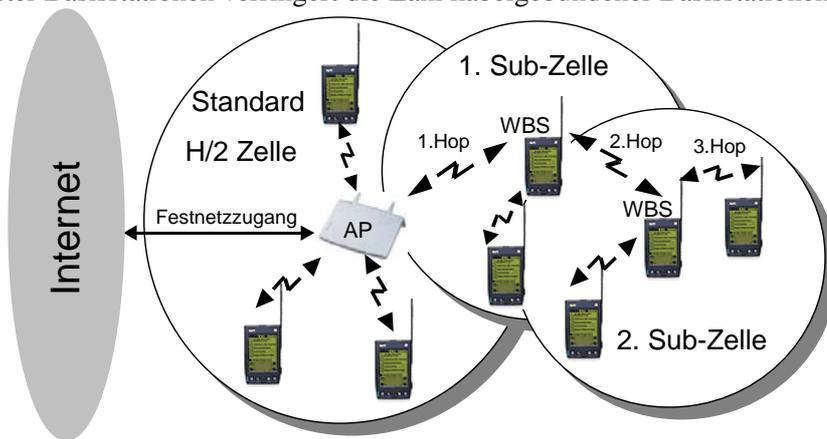


Bild 18: Drahtlose Basisstation in HiperLAN/2 (WBS = Wireless Basestation)

In Zukunft wird eine große Verbreitung tragbarer Terminals erwartet, so daß an Orten mit vielen Menschen eine hohe Dichte von Mobilterminals anzutreffen sein wird. Funkübertragung erfordert pro übertragenes Bit eine gewisse Sendeleistung, die proportional zur Bitrate ist und unter Berücksichtigung der Standzeit von Batterien bei breitbandiger Übertragung klein bleiben muß. Deshalb ist die mögliche Funkreichweite der drahtlosen Breitbandterminals klein. Unterstellt man eine ausreichend hohe Prozessorleistung in den Terminals, dann kann man das Konzept der selbstorganisierenden Funknetze einsetzen, bei dem sich Terminals je nach Situation zu einem lokalen Netz konfigurieren und sich gegenseitig dabei unterstützen, über mehrere sequentielle Teilstrecken (multi-hop) ein Terminal mit Zugang zum Internet zu erreichen.

Adhoc Funknetze organisieren sich selbst, sind fähig hinzukommende Terminals aufzunehmen bzw. zu entlassen und die Spektrumsnutzung effizient zu organisieren. Sie werden als Mobilfunksysteme der 4. Generation angesehen. Aus Gründen der Kompatibilität sollten drahtlose Stationen (Wireless Terminals, WT) idealerweise in Funknetzen mit Festnetzanschluss und in ad-hoc Netzen gleichermaßen betrieben werden können. Für beide Typen von Netzen sollten daher möglichst die gleichen Protokolle verwendet werden.

Bei der Bildung von Netzen werden zwei grundlegende Netztopologien unterschieden: Die *vollvermaschte* Topologie, vgl. Bild 19.1 und 19.2, bei der jedes WT mit jedem anderen WT desselben Systems eine direkte Funkverbindung über eine Funkstrecke (Hop) aufbauen kann, und die *teilvermaschte* Netztopologie (Bild 19.3, 19.4), bei der eine Ende-zu-Ende Verbindung zwischen einigen WTs über eine Folge von Hops (d.h. Multihop) aufgebaut werden muß.

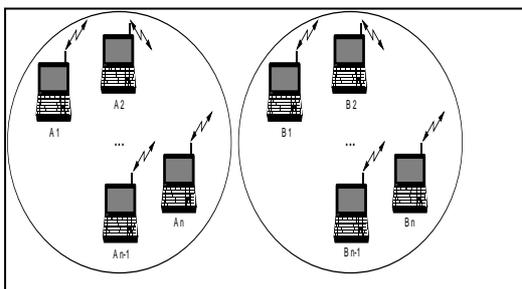


Bild 19.1: Unabhängige ad-hoc Netze

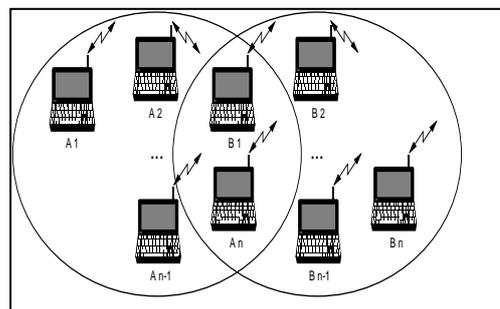


Bild 19.2: Überlappende ad-hoc Netze

Nach der Art der Organisation können außerdem zwei grundlegende Netzkonzepte unterschieden werden, *zentral* und *dezentral organisierte* Netze. Bei zentral organisierten Netzen wird das Zugriffsrecht auf die Funkschnittstelle von einer zentralen Station vergeben. Bei Initialisierung eines Netzes sind alle Stationen gleichrangig. Die zentrale Station (central controller, CC) kann z.B. für einen möglichst optimalen Betrieb in Abhängigkeit der Signalstärken aller empfangbaren WTs dezentral ausgewählt werden, vgl. **Bild 20**. Die Station mit der größten Anzahl erreichbarer WTs wird dabei die zentrale Station. Kann keine Station mit allen aktiven WTs kommunizieren, werden Teilnetze mit jeweils eigenständigen zentralen Stationen gebildet. Um diese Teilnetze zu verbinden, werden Forwarder eingerichtet, welche auf den Fre-

quenzen der zu verbindenden adhoc Netze übertragen können. Haben zentrale Stationen direkten Funkkontakt, oder können WTs über den Forwarder erreicht werden, dann kann die Ende-zu-Ende Verbindung über 3 bzw. 2 Funkstrecken (hops) realisiert werden.

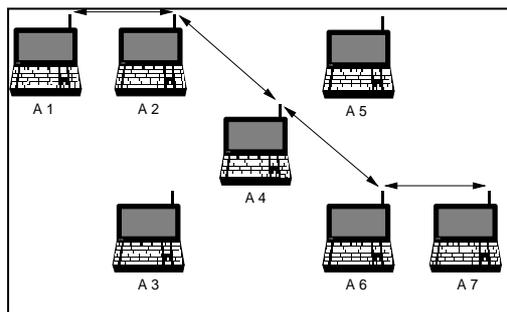


Bild 19.3: Multi-hop ad-hoc Netze

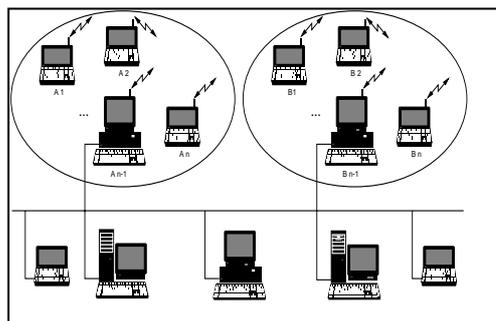


Bild 19.4: Zugang von adhoc Netzen zum Festnetz

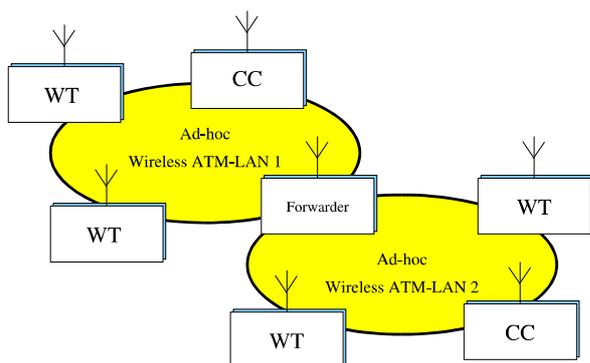


Bild 20: Verbindung von adhoc Teilnetzen durch Forwarder

Aufgrund der zeitlichen Verzögerung und der Mehrfachbelastung des Funkspektrums werden möglichst wenig Hops empfohlen [WaBoLo98]. Multi-hop Netze benötigen pro hop einen Funkkanal, für mehrerer hops also mehrere Funkkanäle und sind deshalb nicht spektrumeffizient. Andererseits helfen sie Infrastrukturkosten zu sparen, indem nicht gefordert werden muß, daß nach einem hop bereits ein Festnetzzugang erreicht wird. Es liegt also ein Optimierungsproblem vor, das szenario-abhängig die eine oder andere Lösung als die günstigere erscheinen läßt

## 11. Schlußbemerkungen

Drahtlosen hochbitratig übertragenden lokalen Netzen wie HiperLAN/2, die Dienstgüte bei der Kommunikation unterstützen können, wird eine große Zukunft vorhergesagt, weil sie vielfältig und bequem einsetzbar sind und genügend Frequenzspektrum zu ihrem Betrieb kostenfrei zur Verfügung steht. Man rechnet mit vielen unterschiedlichen Ausprägungen wie zentral gesteuertes Zellularnetz, dezentral betriebenes adhoc-Netz, mit und ohne multi-hop Betrieb und Mischformen davon. Drahtlose Funknetze werden in vielen Fällen die Kommunikation nicht synchron (während die Anwendung oder der Benutzer die Daten konsumiert), sondern asynchron unterstützen und das wird in den meisten Fällen völlig ausreichen, um den vollen Komfort der drahtlosen Kommunikation zu genießen. Viele für breitbandig übertragende selbstorganisierende multi-hop Drahtlosnetze entwickelten Algorithmen sind auch für schmalbandig übertragende Systeme nutzbar, so daß die angestrebten Forschungsergebnisse auf ein breites Interesse treffen werden, in den verschiedensten heute noch nicht absehbaren Anwendungsgebieten.

## Danksagung

Die hier beschriebenen Arbeiten wurden vom Bundesminister für Bildung und Wissenschaft (BMBF) über viele Jahre im Förderschwerpunkt MOBIKOM/ATMmobil nachdrücklich gefördert. Dadurch wurde die Zusammenarbeit mit vielen Firmen und Forschergruppen in Deutschland ermöglicht. Dafür möchte ich hier meinen Dank aussprechen. Daß diese Arbeiten zu einer breiten Akzeptanz in Europa in Form des Standards HiperLAN/2 geführt haben, ist nicht selbstverständlich. Ein solches Ergebnis gelingt nur, wenn günstige Umstände vorliegen. Diese Umstände ergeben sich aus der langjährigen Förderung des MBS durch die EU, das Vordringen des Internet in alle Bereiche des Lebens und die Forderung der Benutzer nach drahtlosem breitbandigem Internet-Zugang.

Danken möchte ich auch meinen Mitarbeitern am Lehrstuhl, insbesondere dem ATMmobi-Koordinator Andreas Krämling sowie den Kollegen Ralf Keller (Ericsson), Markus Radimirsch (Bosch) und Yonggang Du (Philips), die durch ihren hohen Einsatz in ATMmobil den Projektfortschritt wesentlich beeinflusst haben.

## Literatur

- [ETSI\_RES] European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Radio Equipment and Systems (RES): High Performance Local Area Networks (HIPERLANs): Requirements and Architecture for Wireless ATM Access and Interconnection, TR 101 031, April 1997
- [ETSI\_H1] High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN); Services and Facilities ETR 096. Technical Report ETSI- Radio Equipment and Systems (RES), February 1993.
- [DuHu96] 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. 5<sup>th</sup> IEEE Int. Conf. Universal Personal Communications (ICUPC96), 1996, pp. 477-481
- [EVW00] N. Esseling, H.S. Vandra, B. Walke: A Forwarding Concept for HiperLAN/2. Proc. 3. European Wireless (EW2000), Dresden, Germany, Sept. 12-14, 2000, VDE-Verlag Berlin.
- [FBBY00] R.H. Frenkel, B.R. Badrinath, J. Borrás, R.D. Yates: The Infostation Challenge: Balancing Cost and Ubiquity in Delivering Wireless Data. IEEE Personal Comms. Mag. April 2000, pp. 66-71
- [FeDe95] L. Fernandez: Developing a System Concept and Technologies for Mobile Broadband Communications. IEEE Personal Communications, Vol. 2, No. 1, Febr. 1995, pp. 54-59
- [H/2] ETSI Broadband Radio Access Networks (BRAN) HiperLAN/2, Physical (PHY) Layer Standard TS 101 475, Dec. 1999  
Data Link Control (DLC) Layer Part 1, Standard TS 101 761-1, Dec. 1999  
DLC Layer Part 2: Radio Link Control (RLC) sublayer, Standard TS 101 761-, April 2000.
- HeKe98] A. Hettich, R. Keller: Status of the Wireless ATM Standardisation at ETSI and ATM-Forum, Proc. MTT-S European Wireless'98 Conference, pp. 139-144, Amsterdam, The Netherlands,
- [HeVo98] A. Hettich, U. Vornefeld, "Error Control Schemes for Wireless ATM Systems", ACTS Mobile Summit 1998, Rhodes, Greece, June 1998.
- [HeAlDu97] A. Hettich, M. Aldinger, Y. Du, M. Litzenburger, M. Radimirsch, Frequency Sharing Rules for HIPERLAN-/U-NII-Systems, ACTS Mobile Communication Summit, S. 133-137, 1997.
- [IEEE802] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Standard IEEE 802.11, IEEE, New York, November 1997
- [KrScLo98] Krämling, M. Scheibenbogen, T. Lohmar, "Dynamic Channel Allocation in Wireless ATM Networks", International Conference on Telecom. (ICT'98), S. 286-290, Juni, 1998.
- [KWFBM99] R. Keller, B. Walke, G. Fettweis, G. Bostelmann, K. Möhrmann: Wireless ATM for Broadband Multimedia Wireless Access: The ATMMobil Project. IEEE Personal Communication Magazine, pp. 66-79, Oct. 1999
- [MaLo98] S. Mangold, M. Lott, D. Evans, R. Fifield: Indoor Radio Channel Modeling - Bridging from Propagation Details to Simulation, 9<sup>th</sup> Personal & Indoors Mobile Radio Comms. Conf., Sept. 1998, Boston, Mass. USA.
- [Pet94] D. Petras: Performance Evaluation of Medium Access Control Schemes for Mobile Broadband Systems. 6. Nordic Seminar on Digital Mobile Radio Comms. DMR VI, pp. 255-261, Stockholm, Schweden, Juni 1994.
- [Pet95] D. Petras: Medium Access Control Protocol for Wireless transparent ATM Access, Proc. IEEE Wireless Communications Systems Symposium, Long Island, NY, Nov. 1995, pp. 79-84, Available from <http://www.comnets.rwth-aachen.de/~petras>
- [RaVo99] M. Radimirsch, V. Vollmer: HiperLAN/2 Standardization – An overview. Proc. 2. European Wireless'99, München, Deutschland, pp. 139-144, Oct. 1999, VDE-Verlag Berlin.
- [RoHu] C.H. Rokitansky, H. Hussmann: Mobile Broadband System – System Architecture. 4th Winlab Workshop on 3rd Generation Wireless Information Networks, pp.309-316, Brunswick Hilton, New Jersey, USA, Oct. 1993
- [Wa98b] B. Walke: Breitbandige Mobilkommunikation für Multimedia auf ATM-Basis, NTZ, Heft 8, S. 58-61 und Heft 9, S. 60-63
- [Wa00] B. Walke: Mobilfunknetze und ihre Protokolle, Band 1/2, 2. Auflage, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart 2000.
- [WaPeP196] B. Walke, D. Petras, D. Plaßmann: 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
- [WaBoLo98] B. Walke and S. Böhmer and M. Lott, "Protocols for a Wireless-ATM Network", International Zurich Seminar, Zürich, Schweiz, S. 75-82, Februar 1998.