Jahrbuch 2000
RWTH an Schwelle 2. 21. Jhd.

Kommunikation, Vernetzung, Mobilität
Potentiale der Mobilkommunikation

Bernhard H. Walke,
Kommunikationsnetze, Fachbereich Elektrotechnik, RWTH Aachen

Kurzfassung

1. Absehbare Entwicklungen

Das Wissensgebiet der Elektrotechnik und Informationstechnik wächst dramatisch. Aus der zeitlichen Entwicklung der Zahl der IEEE-Zeitschriften, die jede ein Fach repräsentieren und 1/3 der gesamten elektro- und informationstechnischen Publikationen mit höchstem Qualitätsniveau weltweit repräsentieren, ist das Wachsen des Wissensgebietes ersichtlich, vgl. Bild 1. Ein Ende ist nicht absehbar. Die Transactions befassen sich mit Grundlagen, Magazines mit Anwendungen, Journals mit Weiterbildung.

IEEE Periodicals	*1982*	*1989*	*1996*	14 Jahre
Transactions	36	41	60	+67%
Magazines	12	16	24	+100%
Journals	3	5	8	+266%

Bild 1: Zeitliche Entwicklung der Zahl Periodicals des Institute of Electrical and Electronic Engineers

Technische Fortschritte beruhen auf

- Weiterentwicklung des Standes der Technik durch Verfeinerung, Leistungssteigerung, Kombination von Systemen usw. Dafür ist die wichtigste Voraussetzung die unbeschränkte Verfügbarkeit technischer Informationen.
- "Quantensprüngen", d.h. Entdeckung/Einführung/Anwendung völlig neuer, nicht vorhersehbarer Techniken, Materialien, Denkansätzen, usw. und ihrer Verknüpfung mit Anwendungen zu gebrauchsfähigen Systemen.

1.1 Entwicklung von verfügbarem Wissen und technischer Fortschritt

Der allgemeine Zugang zu gespeichertem (zunächst nur schriftlich fixiertem) Wissen begann mit der Erfindung des Buchdrucks 1450 und verbesserte sich mit der Einführung von Zeitungen und Zeitschriften (1609/1682) zunächst nur allmählich, vgl. Bild 2.

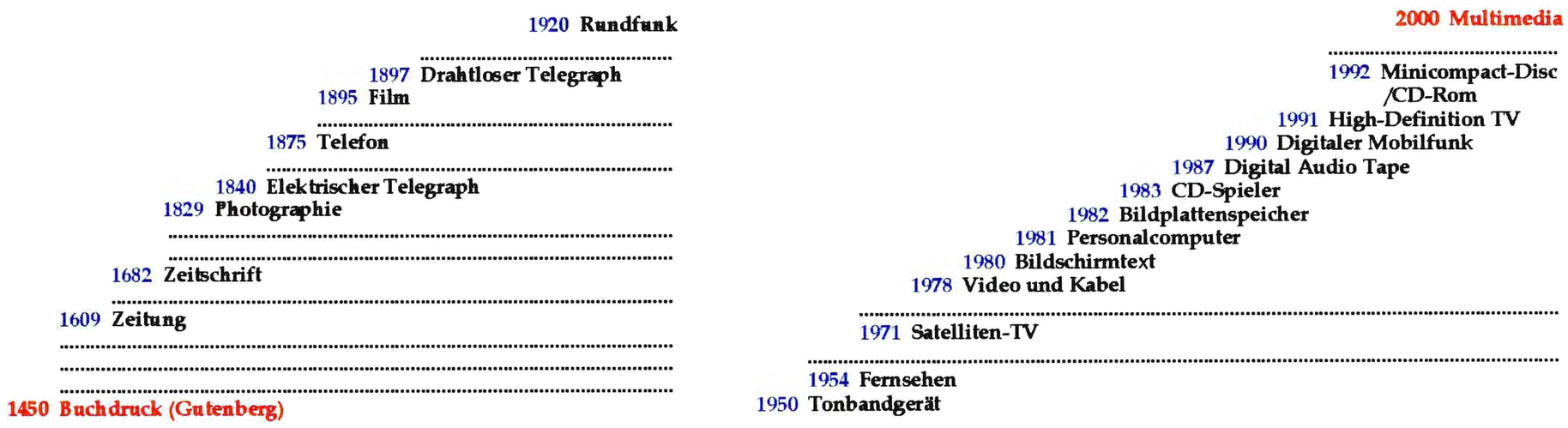


Bild 2: Historische Entwicklung technischer Systeme

Mit Einführung der allgemeinen Schulpflicht in Preußen 1717 und der Einrichtung öffentlicher Volksbüchereien in Großsstädten um 1850 sowie der Verfügbarkeit des Standes der Technik als Druckschriften wurde Wissen allgemein verfügbar und der Wissenszuwachs beschleunigte die Innovationsrate erheblich: in immer kürzeren Abständen entstanden neue Erfindungen und Produkte, vgl. Bild 2. Im Ergebnis beobachtet man u.a. die Einführung von Photografie 1829, Telegrafie 1840, Telefon 1875, Film 1895, Rundfunks 1920. Diese Komponenten von Kommunikationssystemen erleichterten den Zugang

zu Information weiter, auch wenn die erforderlichen Endgeräte und die Benutzung der Dienste für die meisten Menschen noch zu teuer war.
Ab den 60iger Jahren wurde die Arbeitszeit der Bevölkerung schrittweise zurückgeführt, Einkommen und Lebensstandard erlaubten Beschaffung und Betrieb der Endgeräte, die Bildungsrevolution begann. Die Einführung von Tonband (1950), Fernsehen (1954) und Videorecorder (1978), Personal Computer (1981), Bildplattenspeicher, (1982), CD-Spieler (1983), des Internet (TCP/IP-Einführung: 1983) und der digitalen Tonaufzeichung (1987)) und die schnelle Verbreitung der entsprechenden Endgeräte verbesserten den Zugang zu und die Handhabbarkeit von Information erheblich.
Die Verfügbarkeit von Information über Medien und zugehörige End- bzw. Übertragungssysteme hatte eine erhebliche positive Rückkopplung auf die weitere Verbesserung des Zugangs zu medialer Information und die Entwicklung der entsprechenden Systeme. Der Zugang zu Information wurde fast unbeschränkt: er wurde für öffentlich verfügbares Wissen kostenlos und blieb nur gebührenpflichtig für Information, die selbst Ware darstellt. In dieser Entwicklung spielen die Fortschritte der Kommunikationstechnik und der Netze eine entscheidende Rolle. Hauptkennzeichen dieser Entwicklung ist die gleichzeitige, erhebliche Beschleunigung von Innovations- und Produktionszyklen mit Ausstrahlung auf fast alle Bereiche des menschlichen Lebens, z.B.

- **Erziehung**
- **Freizeitwelt**
- **Kultur**
- **Gesundheit**
- **Wohnen**
- **Bildung**
- **Verkehr**
- **Einkauf**
- **Rechte/Justiz**
- **Arbeitswelt**
- **Verwaltungen**
- **Soziale Umwelt**

Vor diesem Hintergrund ist eine Aussage über Forschungspotentiale in der Kommunikationstechnik bzw. dem Mobilfunk (als Teilbereich) nicht leicht. Undenkbares wird wohl viel wahrscheinlicher realisierbar sein als je zuvor, vgl. auch [Ta98].
Die folgenden Prognosen über Potentiale zukünftiger Forschungsfelder sind Extrapolationen bestehender Entwicklungen und deshalb kurzsichtig, u.U. auch deshalb, weil die allgegenwärtige Verfügbarkeit des kumulierten Wissens dieser Welt noch nicht voll verstanden ist. Deshalb werden zeiliche Prognosen unterlassen, denn erfahrungsgemäß kommt alles Machbare, das sinnvoll bzw. verkäuflich ist, viel früher als erwartet.

2. 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 hohe Bedeutung wird der drahtlosen Kommunikation als Zugangstechnik zu Festnetzen zugemessen, denn Kommunikation über Kabel schränkt ihre Nutzung erheblich ein. Die Verbesserung von Übertragungstechniken (Modulation, Codierung, Synchronisation, Entzerrung, Interferenzunterdrükkung usw.) und der Empfindlichkeit der Empfänger wird den gerade beginnenden Durchbruch drahtloser Systeme erheblich verstärken. Heutige Beschränkungen der Dienstgüte (Durchsatz, Verzögerung, Bitfehlerhäufigkeit, usw.) werden überwunden werden. Die zukünftige Kommunikation im teilnehmernahen Bereich wird, wo immer vorteilhaft, drahtlos sein wie aus Bild 3 ersichtlich ist.
Dort sieht man (oben), daß ein mobiles Satellitensystem (z.B. Iridium: Regelbetrieb ab 11/1998, Orbitalhöhe 960 km) Teilnehmern an jedem Ort der Welt Zugang zum (dick gezeichneten) drahtgebundenen Kommunikationsnetz ermöglicht, indem eine erste Funkteilstrecke das handportable Gerät mit dem Satelliten und eine zweite Funkstrecke einen Satelliten des gesamten Systems, der evtl. über optischen bzw. Mikrowellen-Richtfunk zwischen den mobilen Satelliten erreicht wird, mit einer Bodenstation verbindet, die Festnetzzugang hat. Der Satellit kann auch Funkbasisstationen an das Festnetz anschließen, die in einem eigenen Frequenzband einen Funkversorgungsbereich zum Anschluß mobiler oder ortsfester Terminals betreibt (vgl. Schwellenland bzw. Pannenhilfe).
Mikro-Funkbasisstationen mit Antennen in ca. 5 m Höhe können kleine Mikro- bzw. Picofunkzellen versorgen, um in Ballungsgebieten hoch zivilisierter Länder in Gebäuden und außen Mobilterminals drahtlos an das Festnetz anzuschließen (vgl. Telepoint, Bus-/Bahnstation, Hotel). Mikrobasisstationen erreichen trotz sehr begrenzt für Mobilfunk verfügbarem Frequenzspektrum eine sehr hohe Verkehrskapazität – gemessen in Verbindungen/(Flächeneinheit * Frequenzbandbreite) - vergleichbar der von heutigen Kabelnetzen.

In Schulen, Krankenhäusern, Büros und Kaufhäusern sowie in privaten Wohnungen besteht Bedarf für drahtlose Kommunikation zur Unterstützung szenariospezifischer Kommunikationsdienste, z.B. multimedialer Schmalband- bzw. Breitbandkommunikation zwischen mobilem bzw. beweglichem Terminal und Datenbankrechnern, um Sprach- und Internetdienste zu nutzen. Dadurch werden heute bestehende drahtgebundene lokale Netze (LAN, Local Area Network) mit Übertragungsraten von bis zu 25 Mbit/s zur Verbindung von Rechnern untereinander durch drahtlose Netze ersetzt, z.B. durch W(wireless)-LANs bzw. W-HANs (Home Area Network) zur drahtlosen Verbindung von Geräten der Unterhaltungselektronik- und rechnergestützter Geräte im privaten Bereich. Neben bestehenden können auch neuartige Multimeda-Endgeräte drahtlos einbezogen werden wie z.B. gemäldegroße Flachbildschirme zur Darstellung von Stand- und Bewegtbildern (z.B. von Gemälden oder Landschaften) in Gebäuden.

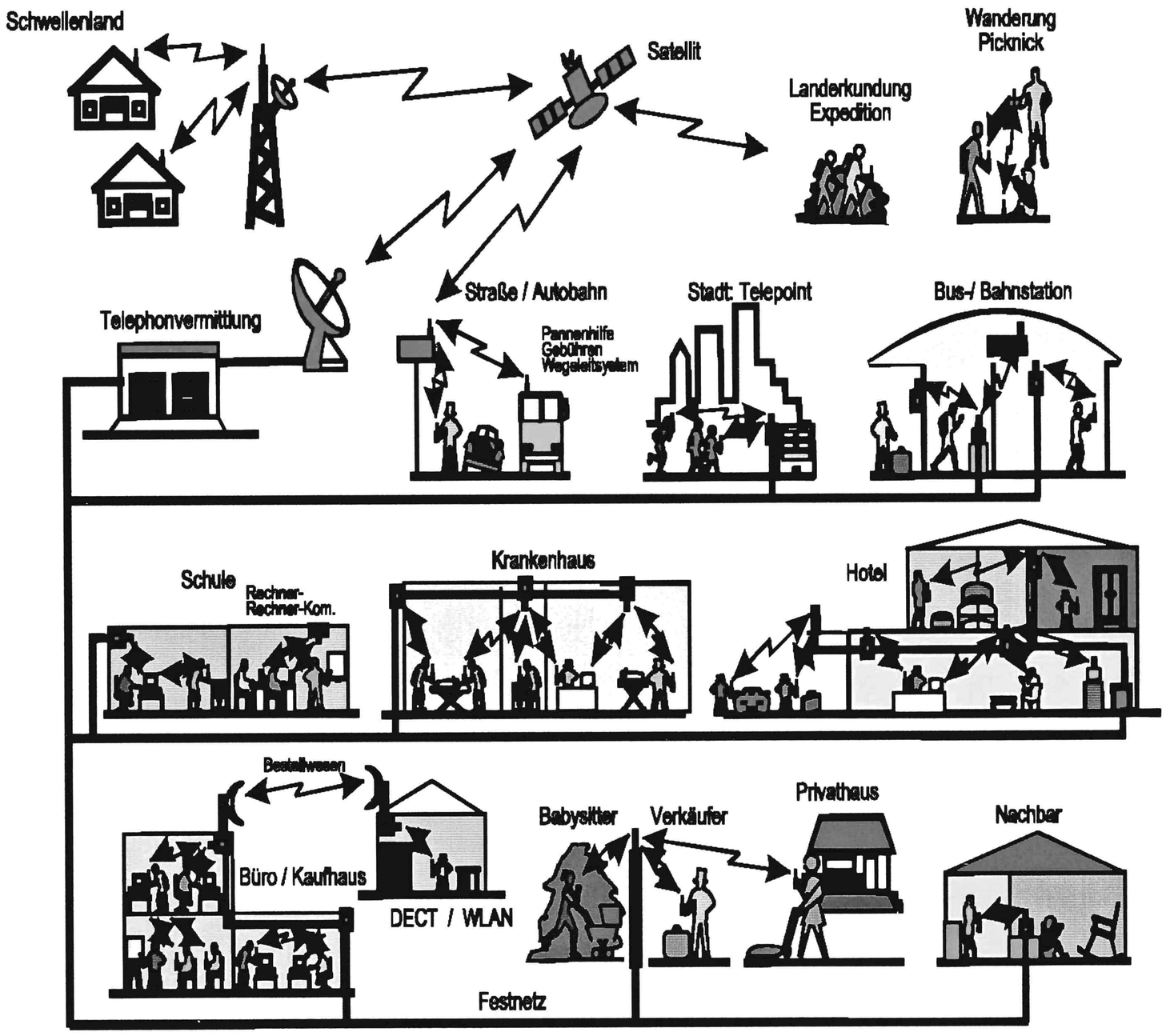


Bild 3: Drahtlose Kommunikation überall

Richtfunksysteme als ortsfeste Funkdienste zur Verbindung von Gebäuden untereinander und mit dem Festnetz sind ein Spezialfall drahtloser Kommunikationssysteme und schon heute allgegenwärtig.
In Bild 3 rechts unten sieht man, daß schnurlose Kommunikation ohne eigene Funkbasisstation durch Nutzung des Funkfeldes der Nachbarwohnung möglich ist.
Alle diese Systeme haben einen gewissen Stand der Einführung, sind aber in ihrer technischen Entwicklung vergleichbar dem Stand des Automobils der dreißiger Jahre, d.h. es ist noch viel zu tun, um drahtlos mit gleicher Dienstgüte (Durchsatz, Fehlerhäufigkeit, Verzögerung usw.) kommunizieren zu können wie im Festnetz.
Bild 4 zeigt die historische Entwicklung verschiedener Typen von Mobilfunksystemen [Wa98] anhand ihrer Einführung in Europa. Demnach kann man folgende, in ihrem Diensteangebot z.T. überlappende Mobilfunknetze unterscheiden:

- Zellularfunk, ein europaweiter öffentlicher Mobilfunk für Sprach- und Datenkommunikation geringer Übertragungsrate ("D- und E-Netze")
- Paketfunk und Bündelfunk, 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
- Schnurlos-Telekommunikation, wobei die Leitung zwischen Telefonapparat und Handgerät durch Funkübertragung 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
- Mobiler Breitbandfunk als drahtlose Kommunikation im Nahbereich (< 200 m) einer Funkbasisstation mit hoher Bitrate von bis zu 25 Mbit/s.

UMTS (vgl. ganz rechts in Bild 4) wird mit mehreren konkurrierenden Funkschnittstellen die terrestrischen Dienste Zellularfunk, Bündelfunk, Funkruf, Schnurloskommunikation in ein System mit reichweiteabhängiger Dienstgüte integrieren und wird auch das Raumsegment (mobiler Satellitenfunk) abdecken.

Bild 5 zeigt die Zukunftsvision die bei der Standardisierung in Europa verfolgt wird. Alle drahtlosen Systeme werden als Zugangsnetze zu einem Netzkern gesehen, der alle Netzfunktionen (NSS= Network and Switching Subsystem, IN= Intelligent Network, TINA= Telecommunications Intelligent Network Architecture) und Dienste wie ISDN (Integrated Services Digital Network), Internet-TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol) verfügbar hat, um drahtlose Zugangsnetze wie GSM

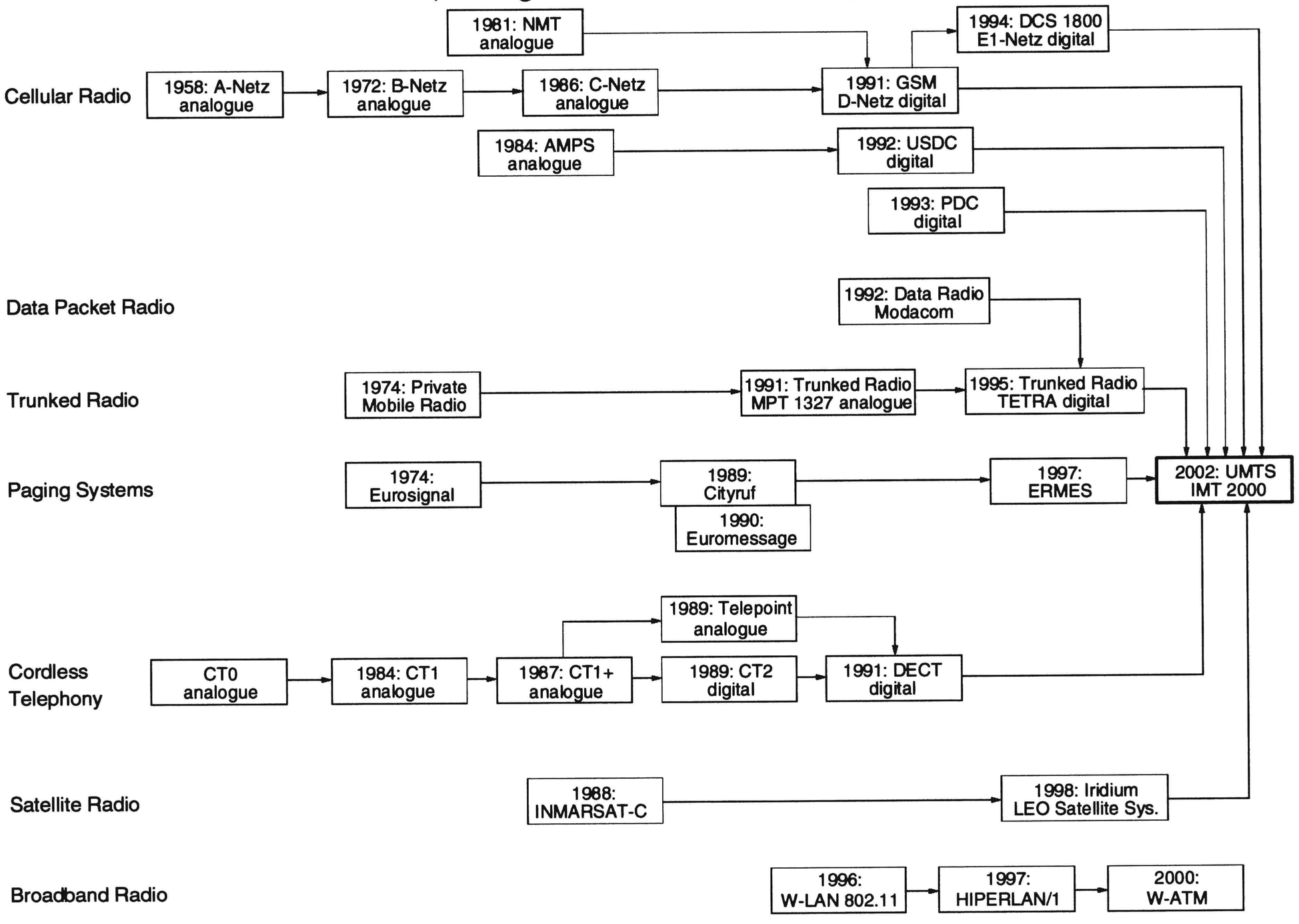


Bild 4: Historische Entwicklung verschiedener Mobilfunksysteme

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 Zugangsnetze (LAN/WAN= Local/Wide Area Network, CATV= Cable Television) zu unterstützen. Die genannten Systeme sind auch in Bild 4 angesprochen und in [Wa98] im Detail beschrieben. Die gezeigte Architektur des weltweiten "Kommunikationsgebäudes" für eine globale mobile Multimedia-Kommunikation deckt nicht nur Sprach- sondern auch jede Art von Datenkommunikation einschließlich der Verteilkommunikation (Rundfunk, Fernsehen) ab.

Die Idee ist nicht auszurotten, daß in Zukunft ein einziges integrierendes Mobilfunknetz alle Kommunikationsdienste weltweit über eine einheitliche Funkschnittstelle verfügbar machen wird und deshalb wird

an der Definition und Entwicklung von Systemen, die diesem Idealbild nahekommen, noch viel gearbeitet werden.

2.1 Software-definierte Mobilterminals

Dienstspezifisch optimierten Mobilfunknetzen mit einem teilweise überlappenden Diensteangebot wird wahrscheinlich die Zukunft gehören. Um dem Teilnehmer nicht mehrere Endgeräte zuzumuten, sind Varianten von durch Software definierbaren universellen Mobilterminals ein bedeutender Forschungsgegenstand. Ein durch Software definiertes Terminal hat einen Funkteil ("Radio"), einen Bereich mit Kommunikationsprotokollen und den Verarbeitungs- und Darstellungsbereich.
Letzterer wird durch einen Personal Computer-Chip im Terminal realisiert werden. Die situationsabhängige Konfiguration des Sende-/Empfangsteils (Radio) des Terminals durch Software stellt sehr große Herausforderungen an die Entwicklung neuer Konzepte, insbesondere wenn sehr unterschiedliche Funkschnittstellen wahlweise unterstützt werden müssen wie GSM, DECT, UMTS (eine typische heute untersuchte Kombination dreier in ein Terminal zu integrierender Syteme).
Ein software-definierter Kommunikationsprotokollstapel der Funkschnittstelle im Terminal ist vergleichbar schwierig lösbar, so daß es bisher keine Beispiele dafür gibt.
Die Software zur situationsgerechten Konfiguration des Terminals und seiner Anwendungen muß entweder aus einem mitgeführten Speicher oder über die Funkschnittstelle geladen werden. Mobile Agenten werden dabei erwartungsgemäß eine große Rolle spielen, vgl. Abschnitt 3.4.

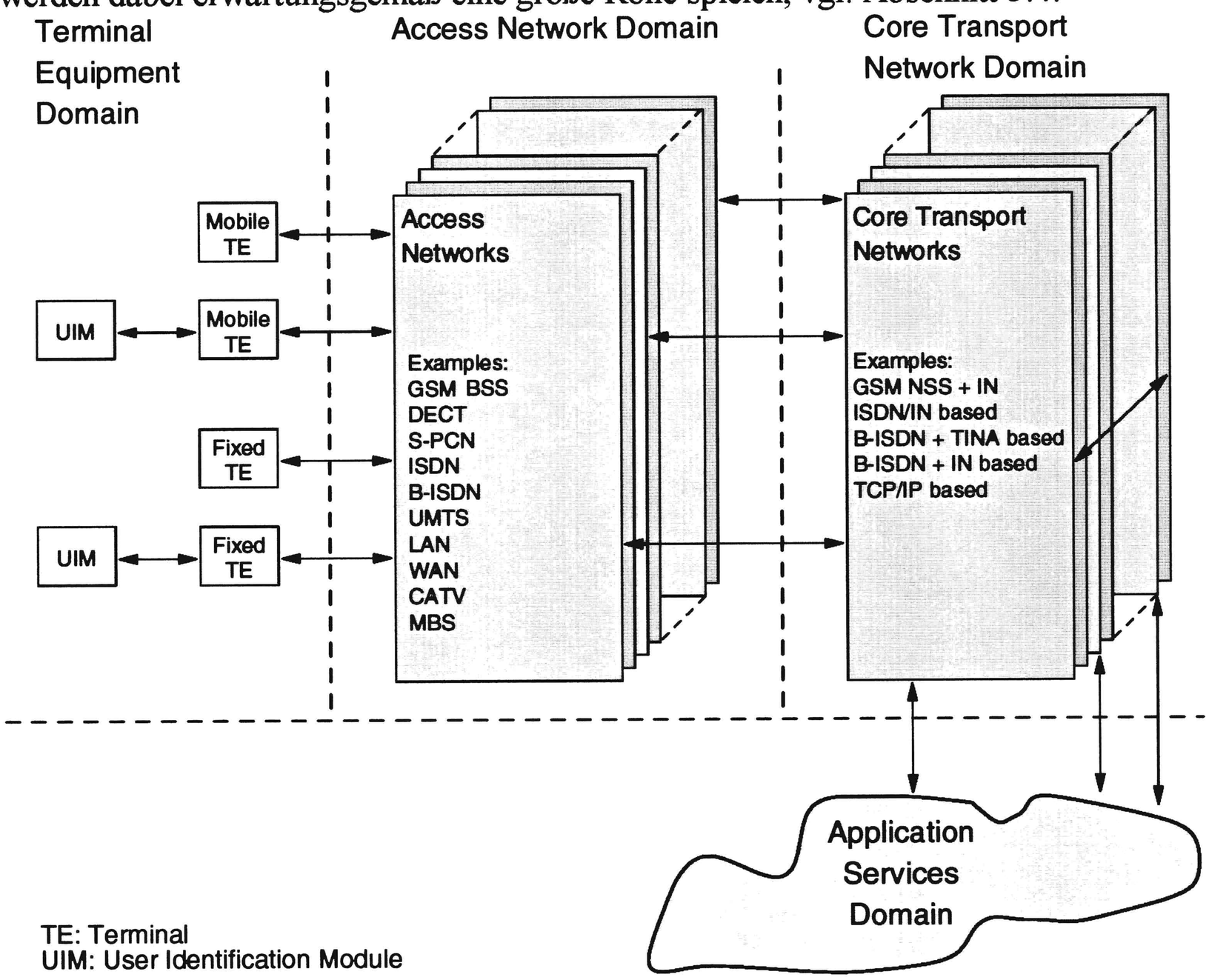


Bild 5: Global Multimedia Mobility Architecture des Europäischen Telekommunikations-Standardisierungsinstitutes ETSI.

3. Zukünftige Entwicklung von Mobilfunksystemen

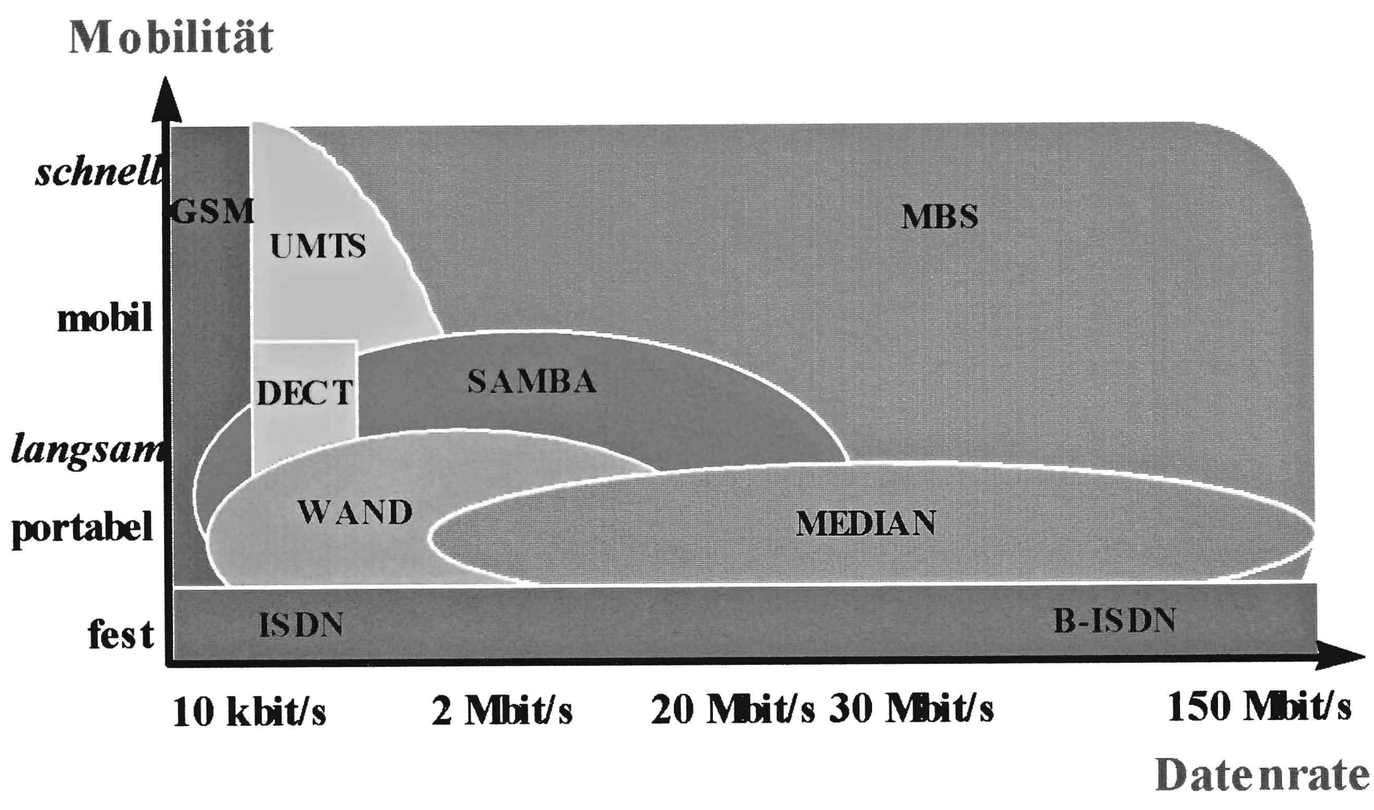
Drahtlose Netze sind Zugangsnetze zu drahtgebundenen Netzen, vgl. Bild 5. Heute läuft die Entwicklung von Systemen der 3. Generation wie UMTS und MBS. Insbesondere zur Definition und Realisierung des Mobile Broadband System (MBS) – in Bild 4 als W-ATM[1] unter "Broadband Radio" eingeführt - hat der Autor mit seiner Forschungsgruppe als Mitinitiator und Leiter der Systemgruppe des MBS-Projektes im RACE II Programm der Europäischen Gemeinschaft wesentlich beigetragen. Die seinerzeit entwickelten Konzepte werden heute im BMBF-Projekt ATMmobil in Deutschland und im

[1] Asynchronous Transfer Mode (Breitband-Übermittlungstechnik, z.B. im Glasfasernetz)

ACTS Programm der Europäischen Gemeinschaft (SAMBA, WAND, MEDIAN) unter der Bezeichnung MBS weiterentwickelt. Bild 6 zeigt die jeweils erreichte Mobilität und Multiplex-Bitrate der Systeme im Vergleich.

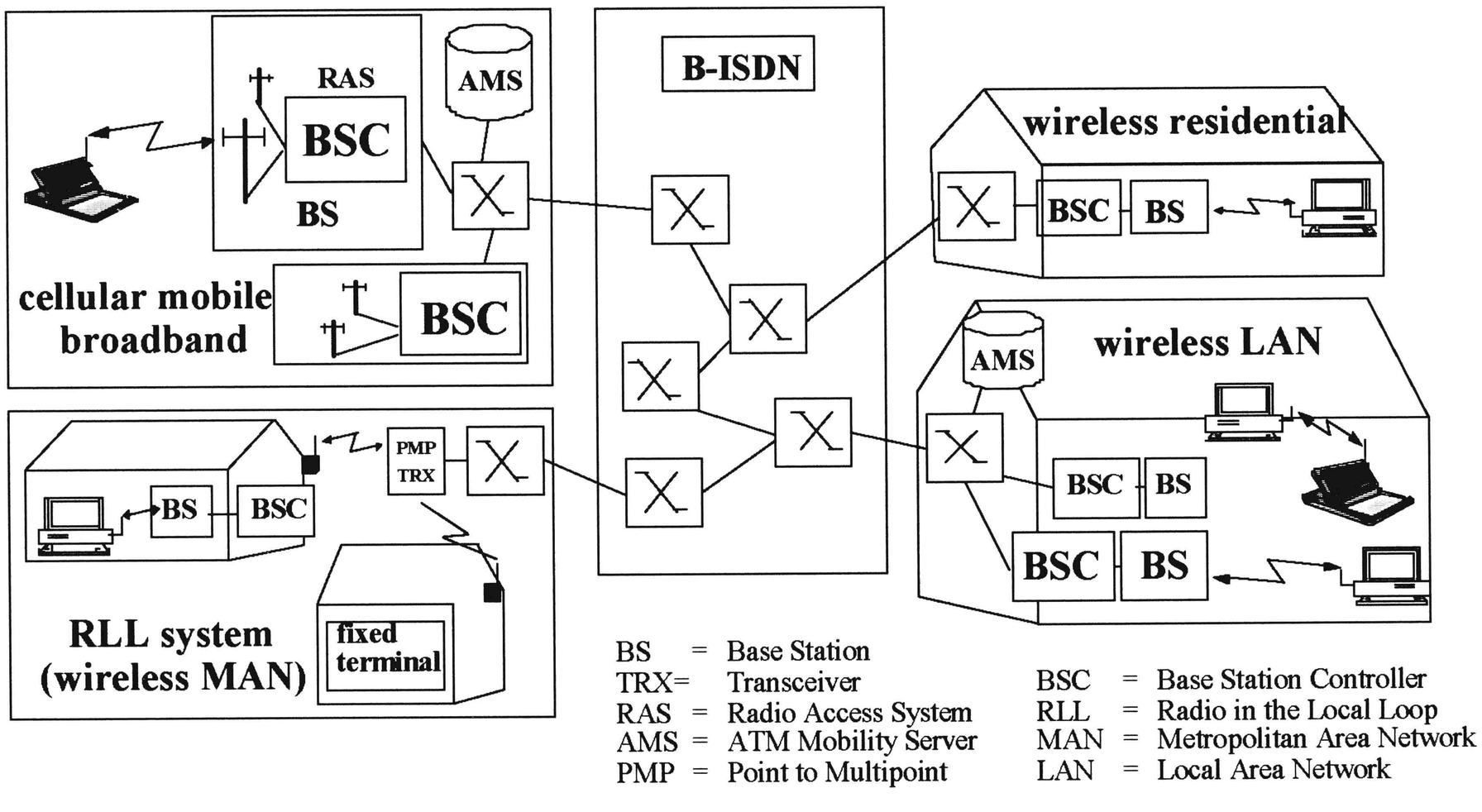
3.1 MBS Systemkonzepte

Prototypische drahtlose Breitbandsysteme (MBS) mit ATM- oder anderer Übertragungstechnik sind für verschiedenen Anwendungsgebiete denkbar, wobei auch echtzeitbedürftige Anwendungen unterstützt werden können, vgl. Bild 7.



ISDN Integrated Services Digital Network
DECT Digital Enhanced Cordless Telecommunication
GSM Global System for Mobile Communication
UMTS Universal Mobile Telecommunication System
WAND/SAMBA/MEDIAN sind ACTS Forschungsprojekte zur Realisierung des Mobile Broadband System
ACTS: Advanced Communications Technologies and Services

Bild 6: Mobile Kommunikationssysteme in der Forschung



BS = Base Station
TRX= Transceiver
RAS = Radio Access System
AMS = ATM Mobility Server
PMP = Point to Multipoint
BSC = Base Station Controller
RLL = Radio in the Local Loop
MAN = Metropolitan Area Network
LAN = Local Area Network

Bild 7: MBS-Ausprägungen

Bild 7 zeigt schematische Darstellungen von Systemen, deren Einführung in etwa 3 bis 5 Jahren erwartet werden. An ihrer prototypischer Entwicklung ist meine Forschungsgruppe aufgrund von Vorarbeiten [FeDe95, Pet95, WaPeP196, MaLo98, KrScLo98, HeVo98, Wa98] in Industriekooperationen für die Entwicklung der Funkschnittstelle und aller mobilitätsbezogenen Protokolle in den Projekten ATMmobil und SAMBA zuständig.
Die nachfolgend kurz vorgestellten MBS-Systeme (vgl. [Wa98b]) unterscheiden sich bzgl. der verfügbaren Dienste, der zulässigen Mobilität der Terminals und z.T. auch bzgl. der genutzten Medien und zugehörigen Trägerfrequenzen und Bandbreiten. Daraus resultieren unterschiedliche Übertragungsverfahren an der drahtlosen Schnittstelle. Für die Struktur der logischen Kanäle und die Zugriffsprotokolle

wird eine skalierbare, einheitliche Lösung angestrebt, obwohl sehr unterschiedliche Anwendungsbereiche abgedeckt werden sollen, von der Unterhaltungselektronik (geringe Dienstgüteforderungen, billige Drahtlostechnik) bis zur Studiotechnik [ETSI_RES].
Alle gezeigten Varianten des MBS gehen von einer zentralen Steuerung der Nutzung der Funkschnittstelle in der Umgebung einer Basisstation aus.

1.1.1 Zellulares MBS-System

Links oben in Bild 7 ist ein zellulares MBS-System gezeigt, das an geografischen Orten mit hoher erwarteter Teilnehmerdichte (Sportstätten, Verkehrsknotenpunkten, Labors usw.) eingesetzt werden wird. Der technologische Stand erlaubt funkgestützte, zellulare, mobile Breitbandsysteme mit 25 Mbit/s Multiplexdatenrate an der Funkschnittstelle für mobile Multimedia-Terminals zu realisieren.
Ein Demonstrations-System mit Anschluß an eine ATM-Vermittlung wurde unter unserer Beteiligung entwickelt und im Oktober 1998 auf der Expo'98 in Lissabon gezeigt; ein verbessertes System wird auf der CeBit'99 gezeigt werden. Das Mobilterminal kommuniziert mit der Basisstation (BS) über Funk mit bis zu 34 Mbit/s Übertragungsrate bei 40 GHz und ist zur Zeit noch ca. 20 kg schwer.

3.1.2 Drahtloses MBS-LAN für Multimedia im Industrie-, Labor- und Privatbereich

Im Internet übliche Anwendungen werden heute meist über ein lokales Netz (LAN) erreicht. Zukünftig wird der drahtlose Anschluß bewegbarer (movable) Arbeitsplatzrechner angestrebt, um Flexibilität bzgl. Raum und Aufstellungsort zu erreichen. Die Standardisierung hat 1997/98 Lösungen erarbeitet, die einen ersten Schritt in diese Richtung bedeuten, vgl. HIPERLAN/1 [ETSI_H1], WLAN 802.11 [IEEE802].
Multimediadienste stellen u.U. Echtzeitforderungen an das Übertragungssystem, die weder von HIPERLAN/1 noch von WLAN 802.11, noch vom heutigen Internet unterstützt werden. Neben bewegbaren Stationen sollen auch mobile Endgeräte möglich werden.
MBS-LANs als private drahtlose Netze haben gegenüber solchen Lösungen den Vorteil, daß die ATM-Übertragungstechnik direkt bis zum Multimedia-Terminal geführt werden kann. Alternativ kann auch für Internetdienste ein gewünschtes Zeitverhalten garantiert werden, ohne daß ATM-Protokolle eingesetzt werden müssen. Dabei wird neben zentral gesteuerter Kommunikation (Mobilterminal zu Basisstation BS) auch die direkte Kommunikation zwischen Terminals möglich sein, Bild 7 rechts unten.
Ähnlich wie bei schnurloser Telefonie wird im Bereich der Konsumer-Elektronik mit Nachfrage nach kostengünstigen Drahtlostechniken für den Anschluß von interaktiven Multimedia-Terminals gerechnet. Interaktive Fernsehgeräte bzw. Multimedia-PCs sollen an beliebigen Standorten in der Wohnung betreibbar sein, frei von den Zwängen der Antennensteckdose, vgl. Bild 7 rechts oben.
Drahtlose Multimedia MBS-Terminals werden auch in der industriellen Prozeßautomatisierung erwartet, wo Kabel besonders unerwünscht sind, vgl. Bild 8.

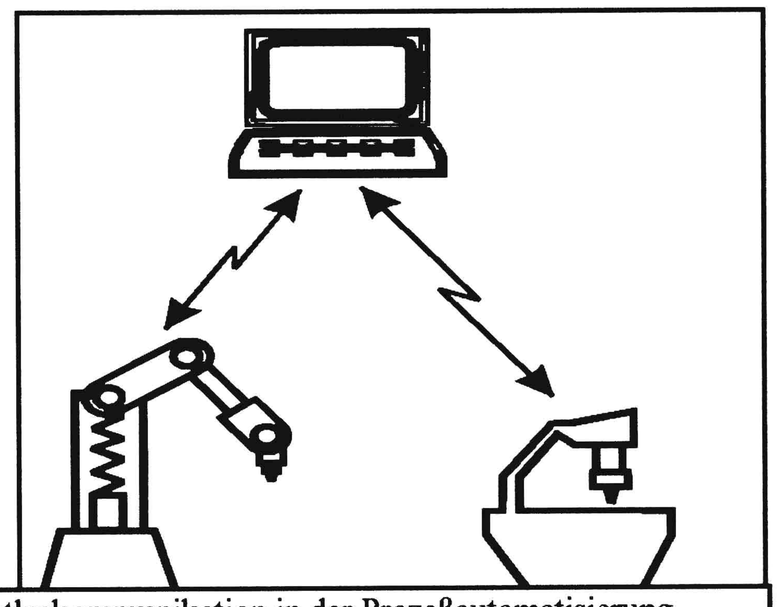


Bild 8: Drahtloskommunikation in der Prozeßautomatisierung

3.1.3 Drahtlose MBS-Zugangsnetze (ATM-RLL)

Neben der Nutzung hochbitratiger Übertragungsverfahren über bestehende verdrillte Zweidrahtleitungen nach dem Verfahren ADSL (asymmetric digital subscriber line) mit bis zu 6,5 Mbit/s Übertragungsrate zum Terminal hin und mit 650 kbit/s vom Terminal zurück, soweit die Telefonkabel dafür geeignet sind, wird im Ortsnetz Nachfrage nach hochbitratiger drahtloser Übertragungstechnik erwartet. Dabei realisieren Basisstationen über Sichtlinien (Richtfunk) Punkt-zu-Mehrpunkt (PMP) Verbindungen mit 25 Mbit/s Multiplex-Datenrate zur Kommunikation vieler Terminals mit 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, vgl. Bild 7 links unten.

3.2. Mobilfunksysteme mit adaptiven, intelligenten Antennen

Die weitere Entwicklung aller Mobilfunk- und Drahtlossysteme wird insbesondere auf eine größere Spektrumskapazität und geringere Interferenzleistung abzielen. Dazu sind intelligente adaptive Antennen, die ihre Strahlungsenergie gezielt in definierte Richtungen lenken können und Verfahren der digitalen Signalverarbeitung zur räumlichen Filterung erforderlich. Die resultierende starke Interferenzminderung und Reduktion der Funkstrahlungsbelastung erlaubt gleichzeitig zwischen Basisstation und mehreren Terminals, die unter verschiedenen Raumwinkeln erreicht werden, zu kommunizieren. Bild 9 zeigt schematisch das Prinzip und entsprechend geformte Antennenkeulen. Die Möglichkeit von einer Basisstation, an mehrere Terminals im selben Zeitschlitz auf der gleichen Frequenz zu senden, bzw. durch räumliche Filterung mehrere Terminals im selben Zeitschlitz zu empfangen, erlaubt echten räumlichen Vielfachzugriff (SDMA, space division multiple access).

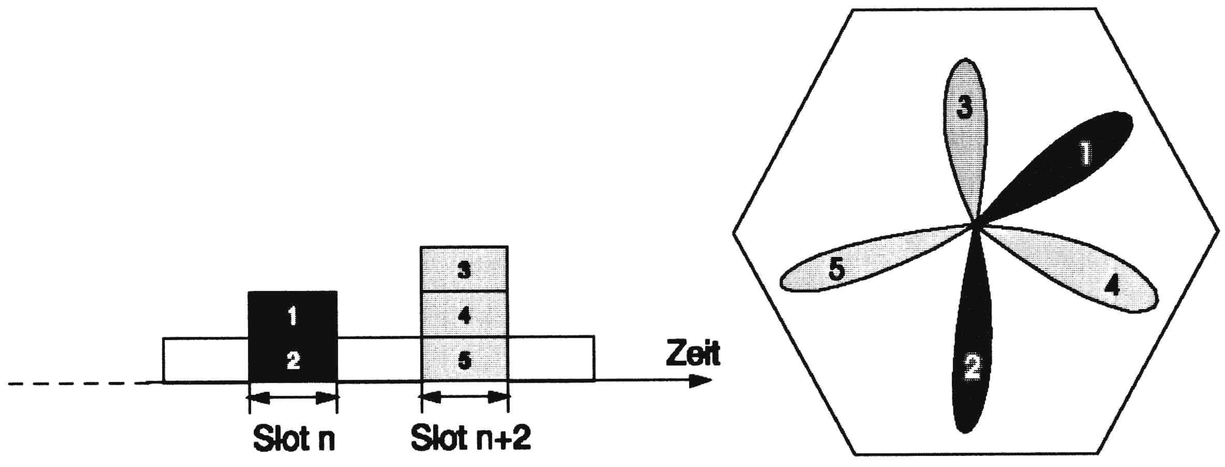


Bild 9: Gleichzeitige Kommunikation mehrerer Terminals mit derselben Basisstation

Je nach Lage der Terminals bezogen auf die zentrale Basisstation können 2, 3 oder mehr Terminals gleichzeitig (im selben Zeitschlitz) erfolgreich übertragen. Das Sechseck stellt den Funkversorgungsbereich der Basisstation dar. Adaptive Antennen können dazu beitragen, den tragbaren Verkehr wesentlich zu erhöhen und das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum erheblich besser auszunutzen; Kapazitätssteigerung um den Faktor 3 - 5 erscheinen möglich zu sein.
Solche Systeme wurden schon 1985 für lokale Funknetze vorgeschlagen [WaBr85]. Sie können u.a. Nullstellen des Antennendiagramms in bestimmte Richtungen steuern, um den Störabstand beim Empfänger zu vergrößern. Diese Technik ermöglicht quasi richtfunkartige Kommunikation zwischen Basisstation und Terminal.

3.3 Frequenzetiketten und Frequency Sharing Rules

Für drahtlose Systeme ist zunehmend mit Frequenzknappheit zu rechnen. Daraus ergibt sich die Forderung nach Koexistenz existierender und zukünftiger Funksystemen im gleichen Frequenzbereich. Exemplarisch ist in Bild 10 die Störsituation für zwei sich überlagernde zellulare Mobilfunksysteme dargestellt, die entweder in benachbarten oder im selben Frequenzbereich betrieben werden.
Je nach Wahl der Frequenzen für Aufwärts- und Abwärtsstrecke an der Funkschnittstelle stören sich die Basis- und Mobilstationen der unterschiedlichen Systeme. Für die effiziente Nutzung eines Frequenzbandes werden daher Methoden gesucht, um die gemeinsame Nutzung von Frequenzen zu ermöglichen. Berücksichtigt werden müssen dabei die in den jeweiligen Systemen unterstützten Dienste, das Verkehrsaufkommen sowie die Nutzerdichten [HeAlDu97]. Unter Umständen muß eine bestimmte Dienstgüte garantiert werden. Auch die Eigenschaften der Systeme und deren Einsatzbereich (Indoor / Outdoor, unterschiedliche Zellgrößen usw.) müssen in die Betrachtungen einbezogen werden.

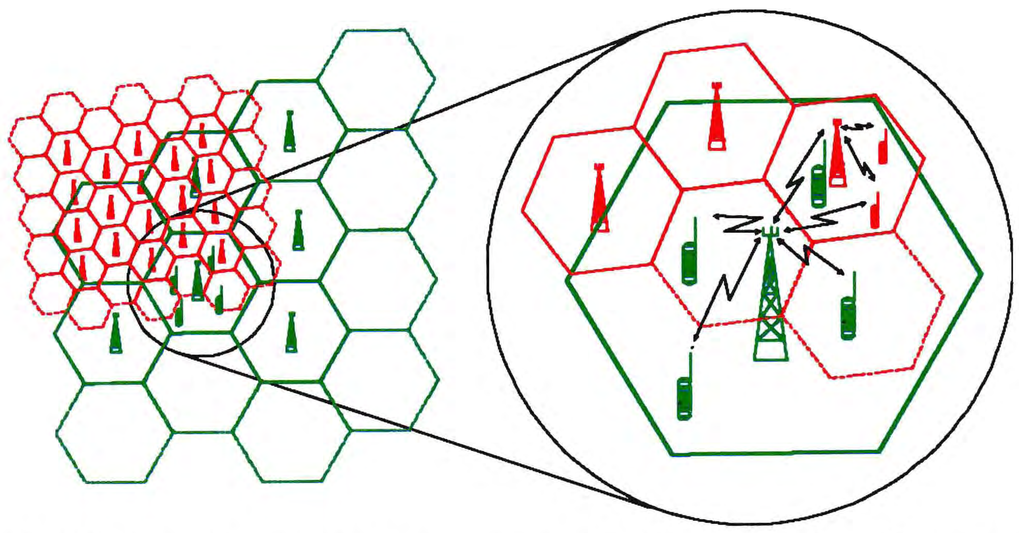


Bild 10: Störsituation zweier überlagerter Systeme

4. Systeme mit schnurlosen Basistationen

Zur Erweiterung drahtloser Zugangsnetze werden *ad-hoc* Funknetze vorgeschlagen, falls kein Zugangspunkt (Access Point, AP) in Form einer Basisstation zum Festnetz in unmittelbarer Funkreichweite eines Terminals verfügbar ist. Solche Systeme 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 die drahtlosen Stationen (Wireless Terminals, WT) idealerweise in Zugangsnetzen mit AP und in ad-hoc Netzen gleicherweise betrieben werden können. Für Netze mit AP und für ad-hoc Netze sollten daher möglichst die gleichen Protokolle verwendet werden.

Nach [IEEE802] sind ad-hoc Netze unabhängig von einer Infrastruktur und bilden sich spontan für eine begrenzte Zeit und mit begrenzter Ausdehnung. Die Entstehung und die Auflösung von ad-hoc Netzen geschieht selbständig auf einfache Art und Weise.

Bei der Bildung von Netzen werden zwei grundlegende Netztopologien unterschieden: Die *vollvermaschte* Topologie,vgl. Bild 11.1 und 11.2, bei der jedes WT mit jedem anderen WT desselben Systems eine direkte Funkverbindung über eine Funkstrecke (Hop) aufbauen kann, und die *teilvermaschte* Netztopologie (Bild 11.3, 11.4), bei der eine Ende-zu-Ende Verbindung zwischen einigen WTs über eine Folge von Hops (d.h. Multihop) aufgebaut werden muß.

Bei der Art der Organisation können außerdem zwei grundlegende Netzkonzepte unterschieden werden, *zentral* und *dezentral organisierte* Netze.

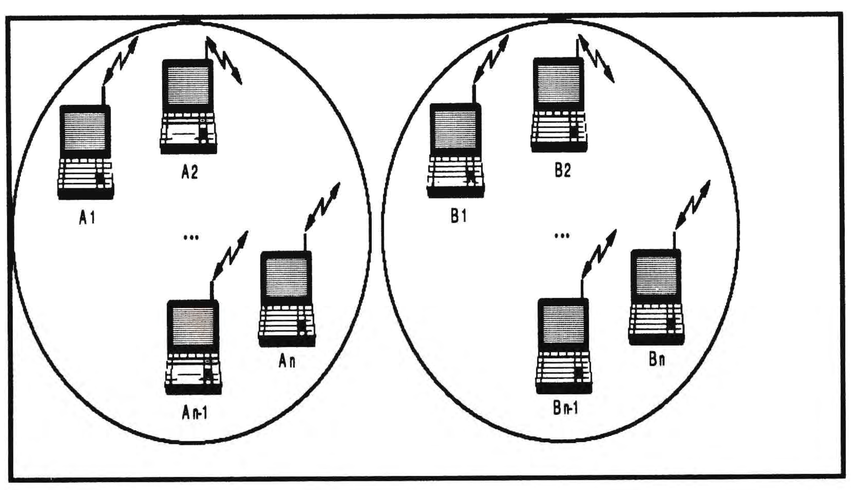


Bild 11.1 Unabhängige ad-hoc Netze

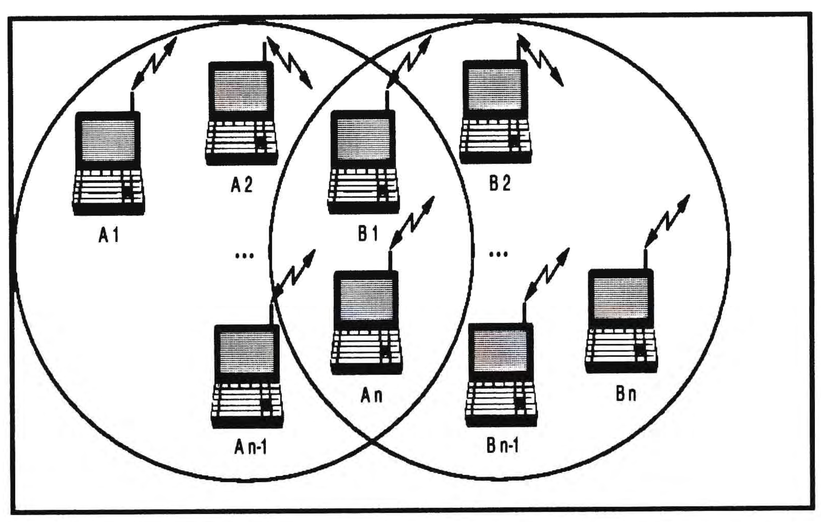


Bild 11.2 Überlappende ad-hoc Netze

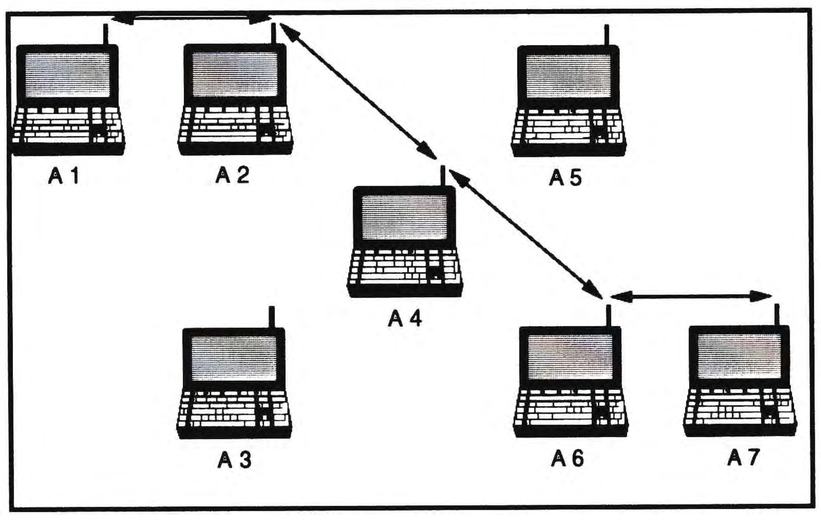


Bild 11.3 Multi-hop ad-hoc Netze

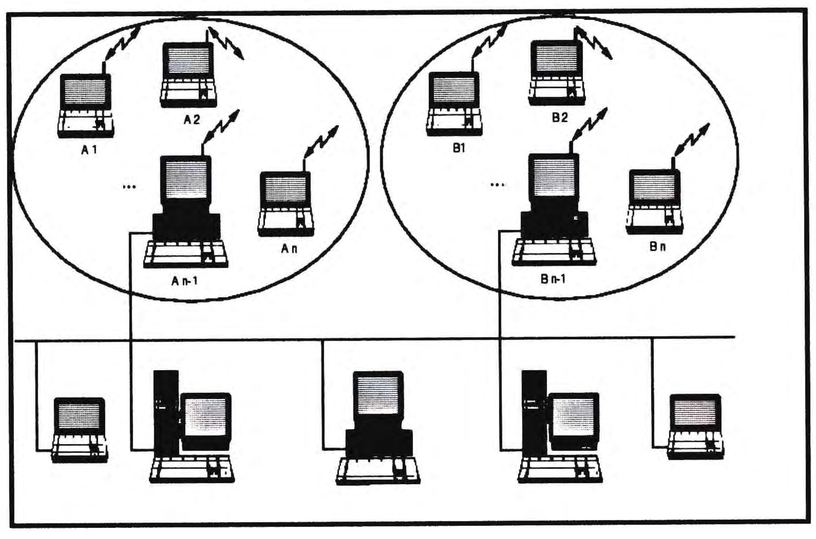


Bild 11.4: Zugang von adhoc Netzen zum Festnetz

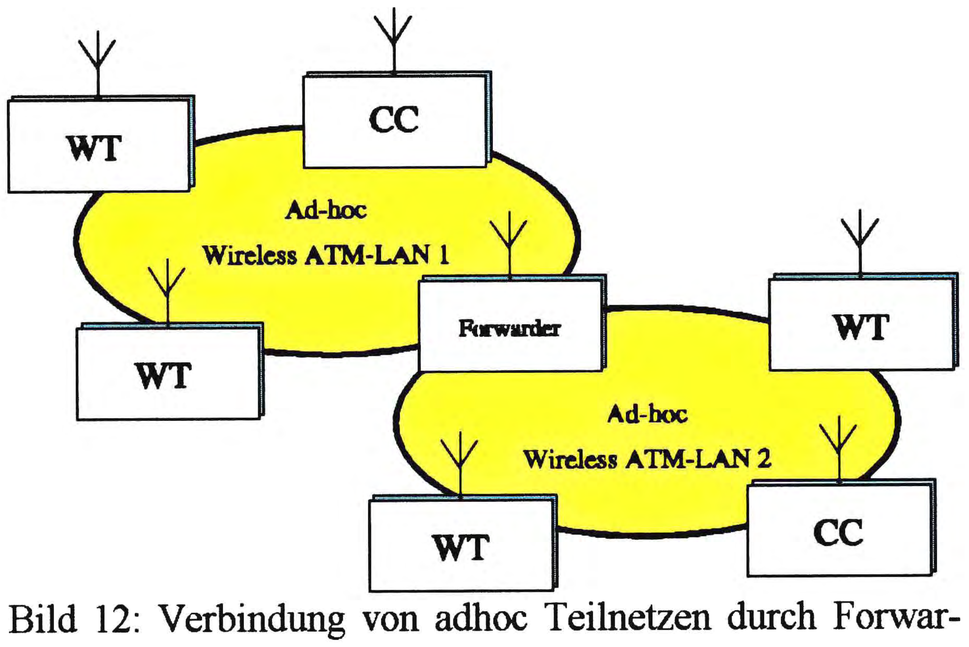


Bild 12: Verbindung von adhoc Teilnetzen durch Forwarder

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 12. 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 Frequenzen 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. Aufgrund der zeitlichen Verzögerung und der Mehrfachbelastung des Funkspektrums werden möglichst wenig Hops empfohlen [WaBoLo98].

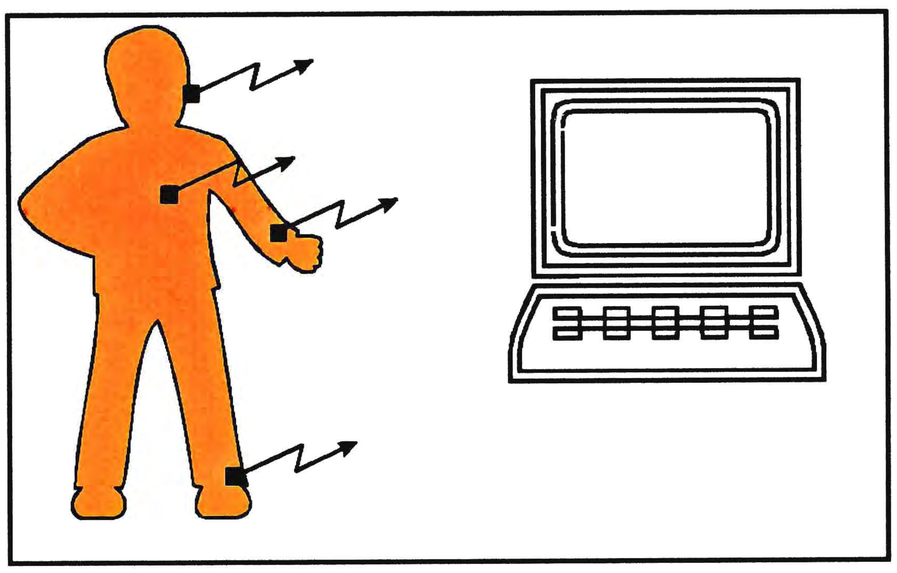


Bild 13: Körper-/kleidungsmontiertes Gesundheistüberwachungssystem mit abgesetztem Server

5. Anwendungen für Systeme der 4. Generation

Man rechnet in Zukunft mit erheblich wachsender Bedeutung sog. eingebetteter Systeme, die als Teil anderer Systeme auftreten und auf drahtloser Kommunikation beruhen. Diese eingebetteten Systeme werden typischerweise selbstorganisierende, sich selbst konfigurierende, dezentral gesteuerte (auch multihop) Drahtlossysteme in vielfältigen Anwendungsumgebungen sein und deshalb werden in diesen Bereichen erhebliche Forschungsarbeiten zu leisten sein.
Die Mikro- und Nanotechnik wird Sensoren und Aktuatoren schaffen, die sehr klein ausgeführt sein können und in Kombination mit Sende-/Empfangseinrichtungen die Basis für viele neuartige Systeme bilden werden.

5.1 Körpernahe sensorbasierte Funksysteme

Im MediaLab des MIT kann man Prototypen tragbarer (wearable) verteilter funkbasierter Systeme ansehen, die bzgl. der heute vorgestellten Anwendungen zwar noch wenig überzeugend aber allein aufgrund ihrer erwarteten Zukunft auch geeignete Anwendungen finden werden. Die Systeme können Teil der Bekleidung sein [MIT]. Hier sieht man, daß Sprach- und Datenkommunikation gleichermaßen bearbeitet werden.
Mein persönlicher Favorit ist ein "Tragbarer Schutzengel", ein selbstorganisierendes drahtloses System, das beliebig viele Sensoren mit zugehöriger Funkeinrichtung umfassen kann und als Teil von Ge-

brauchsgegenständen (Ring, Uhr, Brille, Schuh, Kleidung usw.) körgernah getragen werden kann, vgl. Bild 13. Die Sensoren messen medizinische Daten und übertragen sie gelegentlich, evtl. multihop, zu einem Rechner (server), der selbst tragbar als Teil eines Terminals oder ortsfest zu Hause ist. Das Programm auf diesem Rechner vergleicht die Meßwerte über Puls, usw. mit Normwerten und gibt Empfehlungen für das Eßverhalten, sportliche Betätigung, Kleidung, Urlaubsorte usw. die für mich besonders geeignet sind. Das System erhalte ich wahrscheinlich später geschenkt und als Gegenleistung bevorzugt Produkte der Sponsoren empfohlen.

5.2 Drahtlose Texteingabe

Für notorische Tastaturfeinde wird es drahtlose "Kugelschreiber" geben, die aus den auftretenden Momenten bei der Schreibbewegung auf die geschriebene Schrift schließen und das Ergebnis drahtlos an einen PC übertragen [Stift], vgl. Bild 14.
Das Ergebnis erscheint beispielsweise auf einem Korrketurtableau, das Handschriftkorrekturen erkennt und markierungsgerecht direkt in den Text aufnimmt, Bild 15. Selbstverständlich ist auch das Tableau drahtlos an einen Rechner angeschlossen [Tab].

3.3 Zukünftige Teleunterstützung der menschlichen Sinne

Die Sensortechnik wird dazu beitragen, daß über Kommunikationssysteme nicht nur Ton und Bild für Ohr und Auge, sondern auch Meßgrößen für andere Sinnesorgane, nämlich Geruch, Geschmack, Druck, Temperatur usw. kommuniziert werden. Dazu werden gerade geeignete Terminals untersucht.
Haptische Systeme sind in der Lage den Berührungsdruck von entfernten Objekten zu übermitteln, die E-Nose und neuronale Netze zur Geschmacksfindung gingen gerade durch die Fachzeitschriften [E-No].
Natürlich werden diese elektronischen Verlängerungen der menschlichen Sinne drahtlos bis zum Menschen am Terminal vorgenommen werden.

Bild 14: Drahtlose Texteinggabe

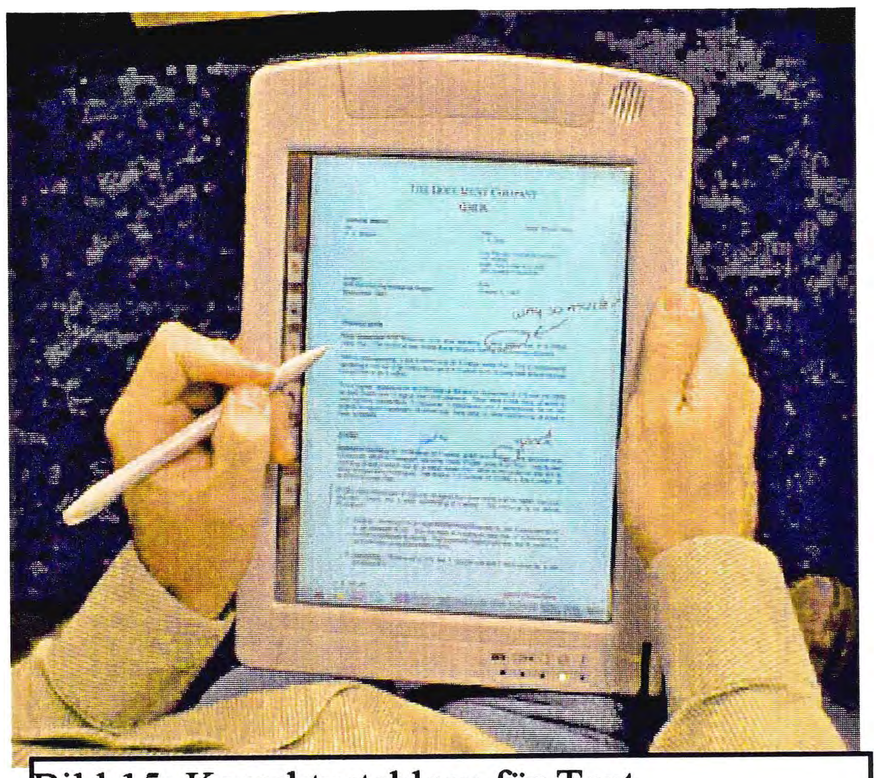
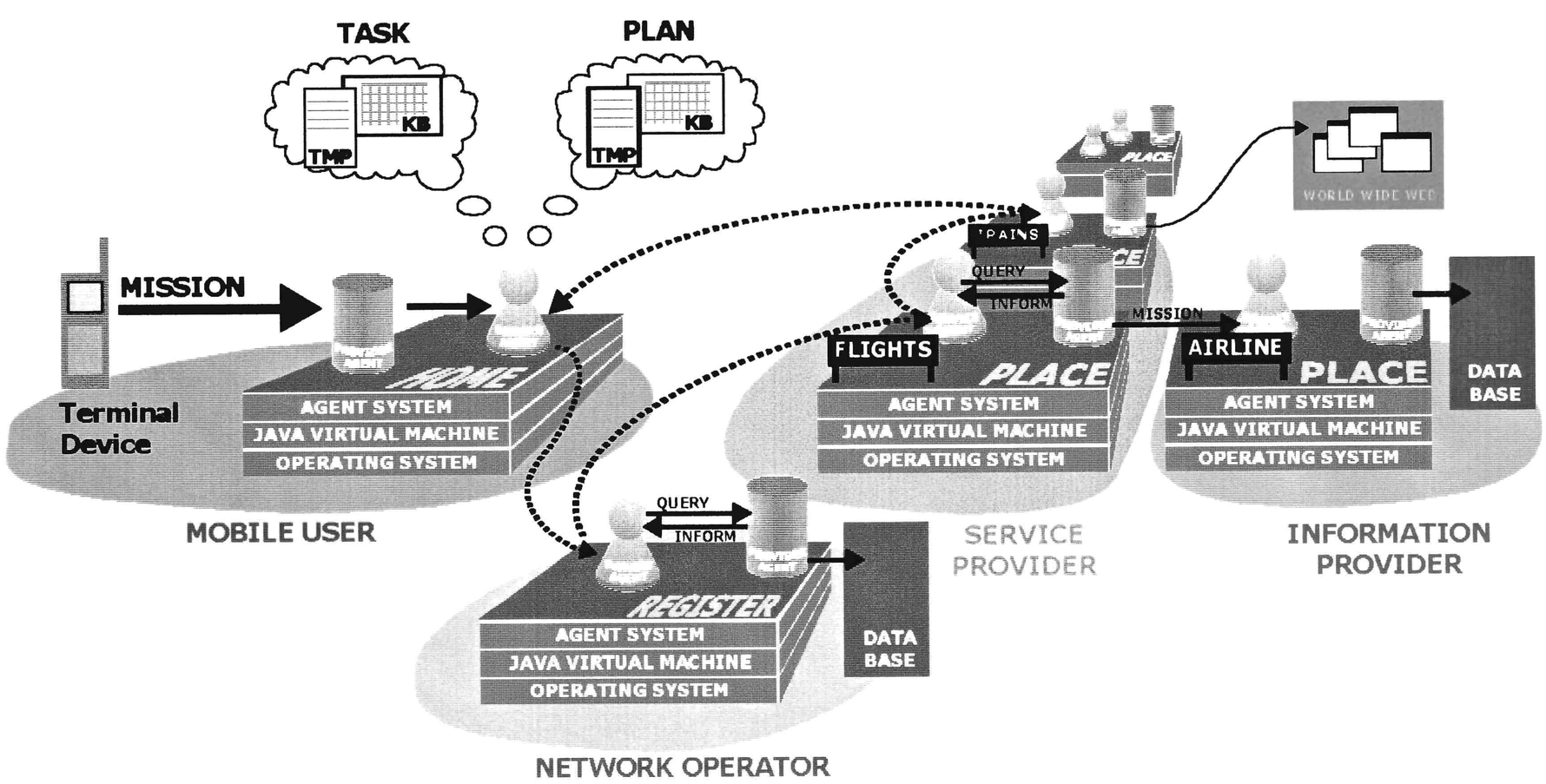


Bild 15: Korrekturtableau für Text

3.4 Agenten in mobilen Systemen

Benutzer des Internet greifen auf Datenbanken von Informationsanbietern (z.B. Verwaltung, Bank, Kaufhaus, ..) zu. Um sich im Wirrwar der Informationsanbieter zurechtzufinden und zielgerecht suchen zu können, werden sog. Suchmaschinen eingesetzt wie *Alta Vista, Jango, Net Crawler* usw., die man über die Bedienoberfläche eines sog. Browser Programmes wie *Netscape Navigator* oder *Internet Explorer* einfach aufrufen kann und die dem Benutzer eine übersichtliche Bedienoberfläche am Arbeitsplatzrechner bieten. Nach Eingabe eines Suchbegriffes und evtl. ergänzender Suchkriterien startet die Suchmaschine, beauftragt evtl. andere Suchmaschinen und kehrt in der Regel mit einer Liste von Fundstellen zurück, die anhand ihrer http://www.-Adresse am Bildschirm dargestellt werden. Diese Adresse kann man z.B. anschließend selbst aufrufen. Der Benutzer ist für die Dauer der Transaktion an das Terminal gebunden, ist also "online" und kommuniziert synchron.

In vielen Fällen möchte man komplizierte Aufträge an ein Programm formulieren und es beauftragen können, sie möglichst optimal durchzuführen, um später (off-line) die Ergebnisse anzusehen. Dafür sind seit einigen Jahren Agenten in Entwicklung und in Gebrauch, die als Mittler zwischen Mensch und rechnergestützten Datenbanken sowie anderen Agenten auftreten können.
Alle Objekte, Wissenselemente und Produkte dieser Welt sind elektronisch identifizierbar, nach Kriterien vergleichbar und elektronisch ansprechbar, z.B. gegen Bezahlung verfügbar. In diesem Dschungel von Informationsanbietern und Produkten stehen Agenten als softwarebasierte Makler (scheinbar) kostenlos zur Verfügung. Sie finanzieren sich durch Beteiligung an den geschäftlichen Abläufen, u.a. durch Werbung und nehmen Suchaufträge entgegen, z.B. nach
- Informationen, die sich über wenige Stichworte charakterisieren lassen, wie der Zielort einer Reise,
- Benutzergruppen mit bestimmten charakteristischen Merkmalen des Netz-Benutzungsverhaltens,
- Agenten, die bestimmte Spezialinformationen verfügbar machen können, vgl. Bild 16. Der Benutzer eines mobilen Endgerätes verfügt über eine Agentenplattform (z.B. ObjectSpace Voyager), d.h. ein Rechensystem mit (typisch) einer virtuellen Maschine für die Sprache JAVA, an die er seinen Auftrag (mission) erteilt, z.B. (find the cheapest connection to London on October 24t^{h,} before 11.00 a.m.). Daraus wird für einen mobilen Agenten ein Plan erstellt, den er anschließend abarbeitet. Dabei bedient er sich entsprechender Agentenplattformen und Datenbanken des Netzbetreibers, wendet sich an Dienstanbieter und befragt deren Datenbanken, kommuniziert mit anderen Agenten und geht evtl. direkt zum Informationsanbieter, bei dem er die Datenbestände durchstöbert und geeignete Informationen weltweit sucht. Anschließend kommt er zurück und berichtet.
Gemäß Bild 17 haben Agenten die Fähigkeit, auf der Basis von Vorauswissen anspruchsvolle Entscheidungen zu fällen und aus ihren Aufträgen zu lernen. Sie arbeiten autonom ohne Steuerung durch den beauftragenden Benutzer und bewegen sich körperlich durch Netze.



Example User Query:
Find cheapest connections to London on October 24th before 11.00 a.m.

Bild 16: Schematische Darstellung des Ablaufs bei dem Einsatz eines Agenten für eine Suchaufgabe

Das Betätigungsfeld für Agenten scheint in Zukunft noch viel größer zu sein: Ein Agent
- lernt die Vorlieben und Verhaltensweisen seines "Herrn" durch Beobachtung
- unterstützt ihn wie ein Sklave bei vielen seiner Aktivitäten
- kämpft für ihn gegen feindliche Agenten, die ihm z.B. Information, Güter und Kompetenzen streitig machen
- virtualisiert die Bedienoberflächen von Geräten (Terminals) und den Umgang mit Dritten und Objekten ohne Begrenzung der Phantasie

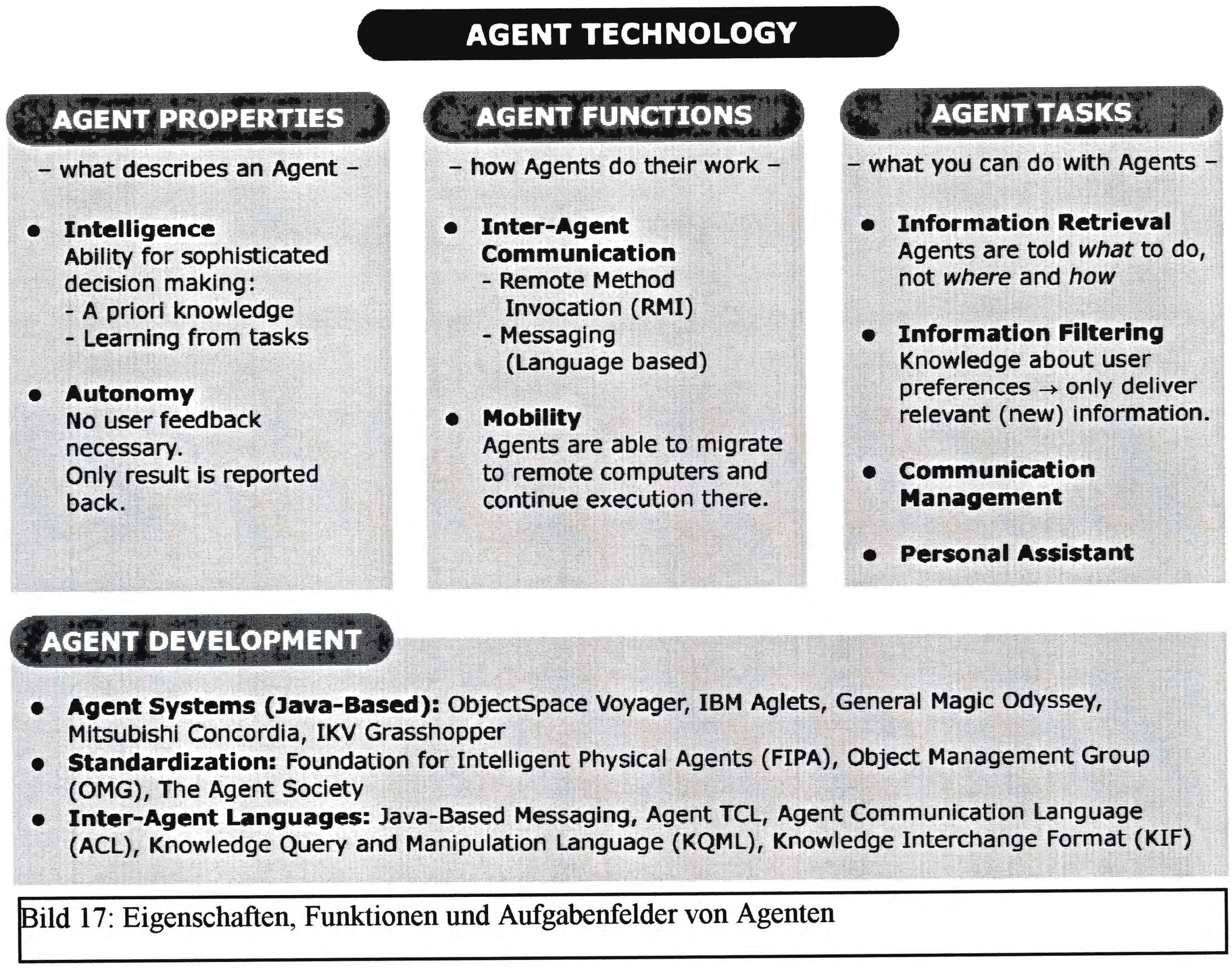


Bild 17: Eigenschaften, Funktionen und Aufgabenfelder von Agenten

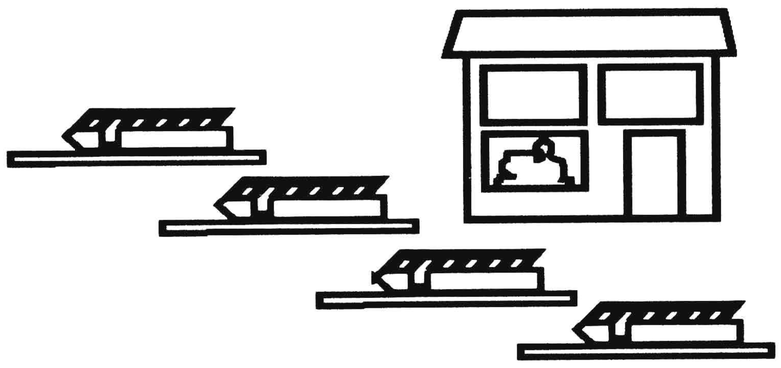
- übernimmt Aufgaben von Sinnesorganen seines Herrn (riechen, tasten, schmecken, sehen, hören)
- überwacht seinen Gesundheitszustand aufgrund von online-Meßdaten und organisiert Nahrungsaufnahme und Freizeitverhalten
- entwickelt Empfindungen und urteilt erfahrungsbasiert für seinen Herrn
- entscheidet für ihn – und übernimmt über kurz oder lang Teile seiner Entscheidungskompetenz, weil er es einfach schneller und besser kann

Da Funkkanäle in der Regel kleinere Übertragungsraten haben als Festnetze, erwartet man insbesondere für Nutzer mobiler Terminals einen Boom der Agententechnik, denn es ist billiger wenig ausführbaren Code zu transportieren als viele Daten (einer Datenbank).

4. Informations- und Kommunikationstechnik im öffentlichen Nahverkehr (ÖPNV)

Die sozialen und politischen Randbedingungen werden sich verändern und als Folge davon werden heute noch undenkbare Systeme eingeführt werden. Eines davon wird anhand eines Szenarios beschrieben:

1. Herr Müller möchte in sein Büro fahren.
2. Deshalb ruft er den Betreiber eines ÖPNV[2]-Systems an und bestellt ein Fahrzeug in fünf Minuten vor seine Haustür.



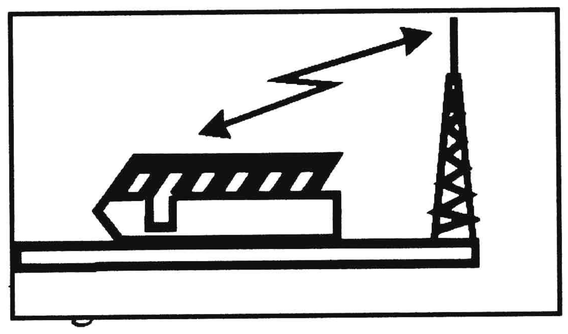
3. Da zur Zeit Hauptverkehrsstunde ist, bestätigt der Betreiber durch automatische Ansage einen reservierten Sitzplatz für die Fahrt in 7 Minuten.
4. Die Buchung bezieht sich auf einen Vertrag mit Herrn Müller und die zugehörige Smartcard.
5. Als Herr Müller pünktlich sein Haus verläßt, fährt das fahrerlose Fahrzeug gerade vor.
6. Er steckt seine Smartcard in den Leser und die Tür geht für ihn auf. Sein reservierter Sitzlatz ist frei.
7. Im Fahrzeug sind noch andere Passagiere, die in dieselbe Richtung fahren.

---

[2] Öffentlicher Personen Nah-Verkehr

8. Die Reisegeschwindigkeit beträgt inklusive Haltevorgängen durchschnittlich 30 km/h. Das Fahrzeug fährt soweit vorhanden auf einer Vorrangspur für den ÖPNV, sonst auf der Straße.
9. Herr Müller erreicht sein Ziel bequem in der vereinbarten Reisezeit, während er eine Zeitung liest.

Was ist hier Mobilfunk und Informationstechnik?



- Die Automatisierung des Fahrbetriebs der fahrerlosen Kabinen
- Das Routen der Kabinen im Straßennetz der Stadt
- Die Optimierung der Fahrgastzahl und der Umsteigevorgänge
- Die gesamte drahtlose Kommunikation zur Betriebssteuerung
- Sensorik und Informationsverarbeitung für das Fahren auf öffentlichen
- Die Benutzerverwaltung und Abrechnung der Benutzung.

5. Sicherheit und Datenschutz in der Informationsgesellschaft

Kryptografische Methoden unterstützen Privatheit und Datensicherheit (z.B. für den Kauf mit Kreditkarte und die Abrechnung erbrachter Leistungen).
Anbieter, Banken, Versicherungen, Verwaltungen usw. werden neue Dienste verbindlich machen, die (drahtlos) über öffentliche Netzzugänge (POS, Geldautomat, Internet, usw.) verfügbar werden. Hersteller werden Multifunktionsterminals anbieten. Personen werden dadurch beruflich und privat mit vielen Anwendungen konfrontiert werden, ohne die sie bestimmte Aufgaben des täglichen Lebens nicht mehr abwickeln können (z.B. Geld abheben).
Private und öffentliche Einrichtungen werden versuchen, sich in großem Umfang Daten über Personen beschaffen und untereinander austauschen. Die Betroffenen wissen nicht, ob diese Informationen ungenau, veraltet, oder unzutreffend sind, weil sie nichts davon wissen. Rechnergestützte Verfahren der Mustererkennung werden zahllose Menschen bei ihren Kontakten mit Kommunikationssystemen automatisch erfassen und auf Lebensstil, Umgang und ihre Beschäftigung hin überwachen, um daraus Informationen für Werbefeldzüge usw. abzuleiten.
Um in dieser neuen Welt als Individuum bestehen zu können, sind Techniken für drahtlose Terminals für jedermann in Entwicklung und bedürfen weiterer Verfeinerung, z.B.:

- vereinbart jedes Individuum mit jeder Organisation, mit der es verkehrt, ein digitales Pseudonym, das in Zusammenarbeit mit ihr festgelegt wird.
- Wer mit vielen Organisationen verkehrt, kann viele Pseudonyme zu Recht benutzen, ohne Nachteile für andere.
- Da keine Organisation die verschiedenen Pseudonyme kennt, sind die Aktivitäten der Eigentümer nicht beobachtbar.
- Personen benutzen tragbare Rechner (Smartcard), um gleichberechtigt die jeweilige Identität unterstützen und die jeweils ablaufende Transaktion bzgl. aller Aspekte Steuern zu können.

Der vollständige Schutz der Privatspäre von Personen ist also lösbar, sofern die Bedienbarkeit einfach genung realisiert ist. Es kann als wahrscheinlich angesehen werden, daß die entsprechenden Endgeräte drahtlos mit Terminals der jeweiligen Organisationen (im Nahbereich) kommunizieren werden.

6. Schlußbemerkungen

Die dargestellten Entwicklungsrichtungen und -chancen stellen sicher nur einen kleinen Ausschnitt der tatsächlichen Möglichkeiten dar. Kennzeichnend ist, daß tragfähige Ideen für zukünftige Produkte üblicherweise nicht voraus in Zeitschriften oder im Internet bekannt gemacht werden, sondern zu gegebener Zeit als Produkte in Erscheinung treten. So gesehen sind möglicherweise alle hier vorgeschlagenen Forschungsziele und Entwicklungsrichtungen keine Trendsetter sondern Randerscheinungen und werden durch bedeutendere noch unbekannte Entwicklungen überdeckt werden. Sicher erscheint mir jedoch, daß die drahtlose Kommunikation erst am Anfang ihrer Entwicklung steht und ein hohes Potential für die Eroberung vieler Anwendungsbereiche im menschlichen Umfeld hat.
Viele Menschen empfinden Veränderungen als Bedrohung, was z.T. mit ihrer Erziehung zusammenhängt. Die rechtzeitige Information kann helfen Ängste abzubauen und Verständnis vorzubereiten, denn eines ist ganz sicher: zukünftige Produkte, für die ein genügend großer Markt gesehen wird, werden realisiert werden, sofern die Naturgesetze dies zulassen. Denn es gibt weltweit keinen Regulierer, der

nach absoluten oder allgemein akzeptierten Wertmaßstäben entscheidet, was wünschenswert ist und seine Maßstäbe auch in der Lage ist durchzusetzen.

Literatur

[E-No] The E-Nose, IEEE Spectrum, September 1998, pp.22-31 and pp. 32-34

[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. 5th IEEE Int. Conf. Universal Personal Communications (ICUPC96), 1996, pp. 477-481

[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

[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.

[MaLo98] 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.

[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

[MIT] http://www.media.mit.edu/~nitin/NomadicRadio/img/wear_front.jpg
http://www.media.mit.edu/~nitin/NomadicRadio/EricssonTalk/sld010.htm;
http://www.media.mit.edu/~nitin/NomadicRadio/EricssonTalk/sld013.htm
http://www.media.mit.edu/~nitin/NomadicRadio/EricssonTalk/sld019.htm

[Stift] http://www.innovate.bt.com/showcase/smartquill/

[Ta98] Franz Tank: Some Thoughts on the State of the Technical Science in 2012. Proceeding of the IEEE, Vol 86, No. 10, Oct. 1998, pp. 2106-07

[Tab] http://www.fxpal.xerox.com/xlibris/

[WaBr85] 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

[Wa98b] B. Walke: Breitbandige Mobilkommunikation für Multimedia auf ATM-Basis, NTZ, Heft 8, S. 58-61 und Heft 9, S. 60-63

[Wa98] B. Walke: Mobilfunknetze und ihre Protokolle, Band 1 und Band 2, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart 1998.

[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.