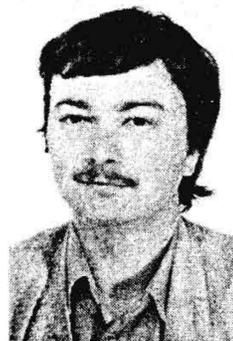


Mobile Datenkommunikation – Eine Übersicht

B. Walke, P. Decker, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, RWTH Aachen



Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke studierte Elektrische Nachrichtentechnik an der Universität Stuttgart. Seit 1965 arbeitete er als wiss. Mitarbeiter bzw. Gruppenleiter am AEG-Telefunken Forschungsinstitut Ulm und promovierte in Stuttgart 1975. 1983 wechselte er auf die Professur Datenverarbeitungstechnik im FB Elektrotechnik der FernUniversität Hagen und 1990 auf den Lehrstuhl Kommunikationsnetze im FB Elektrotechnik der RWTH Aachen. Sein Arbeitsgebiet ist die Leistungsanalyse realer Systeme anhand von Modellen. Gegenwärtiges Interessensgebiet sind Dienste und Protokolle digitaler Kommunikationsnetze für mobile Teilnehmer. Herr Walke arbeitet im Fachausschuß der GI und ITG mit und ist Senior Member des IEEE.



Dipl.-Ing. Peter Decker studierte Elektrotechnik mit Schwerpunkt Technische Informatik an der RWTH Aachen. Seit 1990 arbeitet er als wiss. Mitarbeiter am Lehrstuhl Kommunikationsnetze bei Prof. Dr.-Ing. B. Walke. Sein Arbeitsgebiet ist die Untersuchung von geeigneten Paket-Zugriffsmechanismen und Sicherungsprotokollen für mobile Datenkommunikation. Herr Decker nimmt seit 1993 an der Standardisierung der Datendienste in GSM (ETSI/SMG4) teil.

Der Beitrag beschreibt die technischen Systemdaten, Funktionsweisen und den Stand der Einführung digitaler Mobilfunksysteme, die ausschließlich oder auch für Datenfunk entwickelt worden sind und behandelt die jeweiligen Anwendungsschwerpunkte und die entsprechenden systemspezifischen Lösungen. Neben den Datendiensten GSM-basierter Zellulernetze, insbesondere dem (nicht)transparenten Telefaxdienst, werden folgende Netze und zugehörigen Dienste beschrieben: Paketfunk mit Modacom, Bündelfunk nach Standard MPT 1327 und ETSI-TETRA, Satellitenfunk,

Funkruf ERMES, schnurlose Telekommunikation nach ETSI-DECT und drahtlose LANs nach ETSI-HIPERLAN.

Mobile Radio Data Communications – An Overview

Abstract: Systems technical parameters, modes of operation and state of introduction of mobile radio networks are described, being in introduction or operation for data communication. Focus is also on the main areas of application of these networks and the resulting specific configurations of mobile and fixed network elements. Besides data services of the GSM-System, esp. the transparent and nontransparent telefax service the following systems and their related services are described: Packet data transmission via the Modacom network, trunked mobile radio according to standards MPT 1327 and ETSI-TETRA, mobile satellite services, paging according to ERMES, cordless telecommunications following the ETSI-DECT standard and wireless LANs according to ETSI-Hiperlan and IEEE 802.11.

1. Einleitung

Mobilfunknetze sind seit etwa sieben Jahren in das breitere öffentliche Bewußtsein getreten und haben seitdem eine Vielzahl von Ausprägungen entwickelt, die an die jeweiligen Bedürfnisse ihrer Teilnehmer angepaßt sind, Bild 1. Die größte wirtschaftliche Bedeutung haben heute mit ca. 1 Mio Teilnehmern zellulare Mobilfunknetze, die den Fernsprehdienst drahtgebundener Netze auf mobile Teilnehmer ausdehnen. Ursprüng-

lich hatten Funkrufnetze vergleichbare Bedeutung, sind jedoch mit heute ca. 430 Tsd. Teilnehmern inzwischen gegenüber Zellulernetzen deutlich zurückgefallen. Den Zellulernetzen vergleichbare Teilnehmerzahlen haben Betriebs- und Bündelfunknetze, die überwiegend von privaten Organisationen betrieben werden. Vergleichbar große Akzeptanz haben auch schnurlose Fernsprechsyste (schnurloses Telefon) gefunden, insbesondere im privaten Bereich. Da sie z.T. auch in für Deutschland nicht zugelassenen Frequenzbändern bei 1,6 und 47 MHz betrieben werden, ist ihre exakte Zahl nur schwer abschätzbar. Dem steigenden Bedarf nach Beweglichkeit von Arbeitsplatzrechnern (Standortwechsel nach Bedarf) tragen drahtlose lokale Funknetze (wireless LANs) Rechnung, für die ein ETSI Standard HIPERLAN in Vorbereitung ist. Daneben wird im Forschungsprogramm RACE II der Europäischen Gemeinschaft an der Definition der Systemarchitektur und der Luftschnittstelle

- des diensteintegrierenden (universellen) mobilen Telekommunikationssystems UMTS und
- des Mobilten Breitbandsystems (MBS, mobile broadband system)

gearbeitet, die – ähnlich wie das GSM-System – die Dienste des Schmalband- bzw. Breitband-ISDN auf den mobilen Bereich ausdehnen werden. Mit zunehmender Benutzung drahtgebundener Datenetze für die Kommunikation zwischen PC und Anwender-Rechner (Host) wächst der Bedarf für mobile Datenkommunikation und wird seit kurzem durch Eröffnung des Modacom Dienstes der DBP Telekom unterstützt. Daneben besteht

ein satellitenbasierter Dienst für Datenübertragung.

Erwähnenswert, aber hier nicht weiter behandelt, sind Datenfunknetze für Spezialanwendungen wie elektronische Gebührenerfassung, z.B. für die Nutzung von Parkhäusern und Autobahnen, deren Standardisierung bei CEN/CENELEC TC 278 in 1993 vorläufig abgeschlossen werden wird [Ro 92]. Diese Systeme laufen unter der Bezeichnung Digitaler Nahbereichsfunk (digital short range radio, DSRR), werden ab 1995 flächendeckend eingesetzt werden und eine Fülle von verkehrs- und reisebezogenen Diensten anbieten, wie z.B. optimierte automatische Ziel-führung, Reservierung von Park-plätzen, Hotels, Eintrittskarten usw., Notruf und Pannenhilfe, Ferndiagnose des Fahrzeugzu-stands, Diebstahlsicherung und anderes. Nahbereichsfunknetze übertragen typisch mit einigen 100 kbit/s und haben anwen-dungsspezifische Zelleradien zwi-schen 15 m und einigen km. Als Medium werden Infrarotstrahlung und Funk bei 5,8 GHz benutzt. Entsprechende Dienste, soweit sie mit der kleinen verfügbaren

Übertragungsrate auskommen, werden auch im GSM-System an-geboten werden; ihre Spezifikation erfolgt z.Z. im Europäischen Pro-gramm DRIVE II in den Sokrates-Projekten.

2. Entwicklung des Zellularfunks

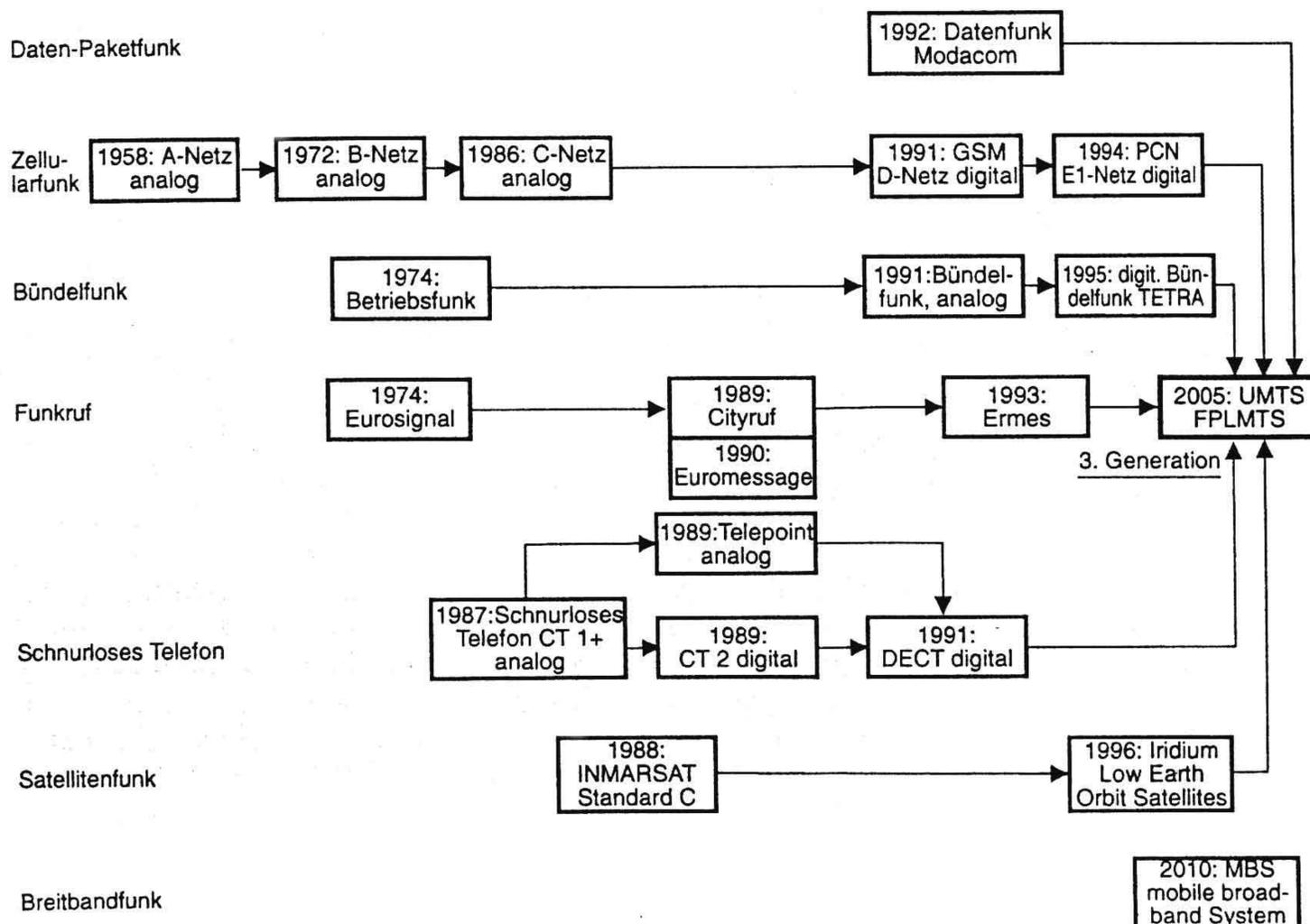
1958 wurde in der Bundesrepu-blik das erste öffentliche, bewegliche Landfunknetz öbl-A eröffnet. Das Netz war handvermittelt und gestattete dem Teilnehmer, über beliebige Feststationen zu verkeh-ren, vgl. [Kl 89]. 1972 wurde es durch das öbl-B Netz ersetzt. Es er-möglichte bereits den vollautoma-tischen Verbindungsaufbau in bei-den Richtungen (vom Mobil- zum Drahtnetz-Teilnehmer und umge-kehrt) und ist noch heute in Deutschland, Österreich, Holland und Luxemburg in Betrieb. Teil-nehmer können die Feststationen und Überleiteinrichtungen an das örtliche Fernsprechnet in allen 4 Ländern benutzen. Ein rufender Drahtnetzteilnehmer muß wissen, bei welcher Feststation sich der Mobilteilnehmer aufhält, um ihn zu

erreichen. Verläßt der kommuni-zierende Teilnehmer im B-Netz den Versorgungsbereich der Fest-station, so wird die Verbindung ge-trennt. Sie kann nicht an eine be-nachbarte Feststation weiterge-reicht und bei gestörtem Kanal nicht auf einen anderen umgeschal-tet werden.

Die dafür erforderliche Funkti-on Weiterreichen (*Handover*) wur-de erst im C-Netz realisiert, das 1986 eingeführt wurde. Es realisier-te auch eine zweite wichtige Funk-tion landesweiter zellularer Mo-bilfunknetze, die den freizügigen Ortswechsel (*Roaming*) des Mobilteilnehmers gestattet und ermög-licht, ihn bei Bedarf aufzufinden. Dazu wird sein Aufenthaltsort im Netz kontinuierlich aktualisiert, ohne daß er dies nachteilig bemerkt. Beide Leistungsmerkmale Handover und Roaming sind Dien-ste der sog. Mobilitätsverwaltung eines Mobilfunknetzes, für deren Realisierung Mobilfunknetze interne Datenbanken besitzen, um auf den Aufenthaltsort und das Benut-zerprofil flexibel und schnell zu-greifen zu können.

Festnetze verfügen z.Z. über kei-ne Mobilitätsverwaltung ihrer Teil-

Bild 1: Zeitliche Entwicklung bestehender Mobilfunksysteme



nehmer. Die Netzbetreiber streben jedoch in absehbarer Zeit mit der Einführung des Dienstes Bundesweit einheitliche Rufnummer (Universal Personal Telecommunications, UPT) ebenfalls eine Verbesserung der Erreichbarkeit ihrer Teilnehmer an.

Die Entwicklung hat in den letzten Jahren im Bereich mobiler Kommunikation zu enormen Zuwachsraten geführt. Die Deutsche Bundespost Telekom stellt für mobile Nutzer derzeit das B-Netz (mit ca. 25 000 Teilnehmern) und das C-Netz (mit derzeit ca. 750 000 Teilnehmern und geplanter Aufnahmekapazität von bis zu 1 Mio. Teilnehmern) zur Verfügung. Das B-Netz wird voraussichtlich Ende 1994 außer Betrieb genommen. Das C-Netz befindet sich in seiner Hauptnutzungsphase und bietet günstige Voraussetzungen für flächendeckende Anwendungen von Fernsprech- und Datendiensten.

Während das B-Netz auf Fernsprechen beschränkt ist, umfaßt das Dienstangebot des C-Netzes auch Datendienste, nämlich Mobilfax und Mobilbox (entspr. Telebox 400). Mit Zusatzgeräten können Dienst- bzw. Netzübergänge zu Datex-P, Datex-J und Telebox 400 genutzt werden. Leistungsmerkmale wie Rufumleitung und gestaffelte Anschlußsperrern sind möglich. Der Betrieb von C-Netz Endgeräten ist auf Deutschland und wenige Nachbarländer beschränkt.

2.1 Zellularfunk nach Standard ETSI/GSM

Mitte 1992 wurden die dienstintegrierenden, digitalen Mobilfunknetze D1 (Betreiber: DeTe-Mobil) und D2 (Betreiber: Mannesmann Mobilfunk GmbH) nach GSM/ETSI-Standard in Betrieb genommen (GSM = Global System for Mobile Communication; ETSI = European Telecommunications Standardization Institute). Sie erweitern das Dienstangebot des 1990 eingeführten ISDN auf den mobilen Bereich und sind, anders als alle übrigen bestehenden Mobilfunknetze, auf hohe Kompatibilität mit dem ISDN ausgelegt. Durch den Aufbau entsprechender Netze in anderen europäischen

Staaten werden D-Netz Teilnehmer die verfügbaren Dienste zukünftig europaweit nutzen können. Das Dienstangebot umfaßt z.Z. nur Fernsprechen in Kombination mit einem Kurznachrichtendienst (140 Zeichen sind auf dem Display des Mobilfunktelefons darstellbar). Nach Festlegung entsprechender Funktionen kann ab Mitte 1993 der transparente Modus für den Telefaxdienst eingeführt werden, vgl. Kap. 2.1.1. Die Einführung weiterer Datendienste wie Mobilbox und transparente bzw. nicht-transparente Datenübertragung sowie von Dienstmerkmalen wie Rufumleitung und automatischer Rückruf sind geplant. Die erforderlichen Netzübergänge für den Datenaustausch mit ISDN, Datex-P, -L und -J sind vorgesehen.

Ab 1994 wird ein dritter Netzbetreiber (E-PLUS Mobilfunk) den Wettbewerb im zellularen Mobilfunk mit einem flächendeckenden Netz E1 nach Standard ETSI-DCS 1800 vergrößern. Bis auf die gegenüber den D-Netzen verdoppelte Trägerfrequenz und entsprechend modifizierte Sende-/Empfangseinrichtungen sowie kleinere Funkreichweiten folgt das Netz demselben ETSI Standard. Das ETSI/GSM Funksystem wird in [Wa 92] detailliert beschrieben. Da für DCS 1800 Systeme ein erheblich breiteres Frequenzband (also eine größere Teilnehmerkapazität) vorgesehen ist und die Zellen dämpfungsbedingt kleiner sein müssen als beim GSM 900-System, eignet sich DCS 1800 eher für die Versorgung von Ballungsgebieten, GSM 900 besser zur Flächendeckung. Es liegt nahe, Zwei-Moden Mobilfunkgeräte zu entwickeln und zwischen D- und E-Netz Betreibern, je nach Aufenthaltsort, zu wechseln. Technisch ist das relativ leicht machbar, jedoch kollidiert das mit den Interessen der Betreiber [DS 92].

Ein in Deutschland neuartiges Konzept sieht vor, Kunden von Mobilfunknetzen nicht nur durch den Netzbetreiber direkt, sondern auch indirekt durch private Agenturen (service provider) zu betreuen. Dabei wird neben Fernsprechen ein breites Angebot von

Dienstleistungen, z.B. Hotelreservierung, Flug- und Reiseinformationen usw. angeboten.

Tabelle 1 zeigt charakteristische Merkmale in Europa eingeführter zellulärer Mobilfunknetze und die belegten Frequenzbänder. Bemerkenswert ist, daß neuere digitale Netze bei höheren Frequenzen (0,9 GHz bzw. 1,8 GHz) und ältere analog übertragende Netze bei 0,4 GHz bis 0,9 GHz übertragen. Höhere Frequenzen erlauben (bei gleicher Senderleistung) kleinere Reichweiten und erfordern entsprechend größere Investitionen, um eine gegebene Fläche mit Infrastruktur (Feststationen, zugehörigen Steuereinrichtungen und Verbindungsleitungen) zu versorgen. Dabei ergibt sich in der Regel eine reduzierte erforderliche Sendeleistung der Mobilstationen, die der Batterie-Betriebsdauer und der Elektrischen Umweltverträglichkeit (EMUV) von Funkwellen entgegenkommt. Laut Bild 1 werden Zellulärnetze der 2. Generation weiterentwickelt und als 3. Generation ab etwa 2005 in Form des europäischen Universal Mobile Telecommunication System [Ha 92] die Dienste heute parallel bestehender Mobilfunknetze in einem integrierten System anbieten. Weltweit laufen vergleichbare Arbeiten, die auf ein Future Public Land Mobile Telecommunication System [Ca 91, Ly 92] abzielen. 230 MHz Frequenzband bei 2 GHz sind dafür reserviert.

2.1.1 Datendienste im ETSI-GSM System

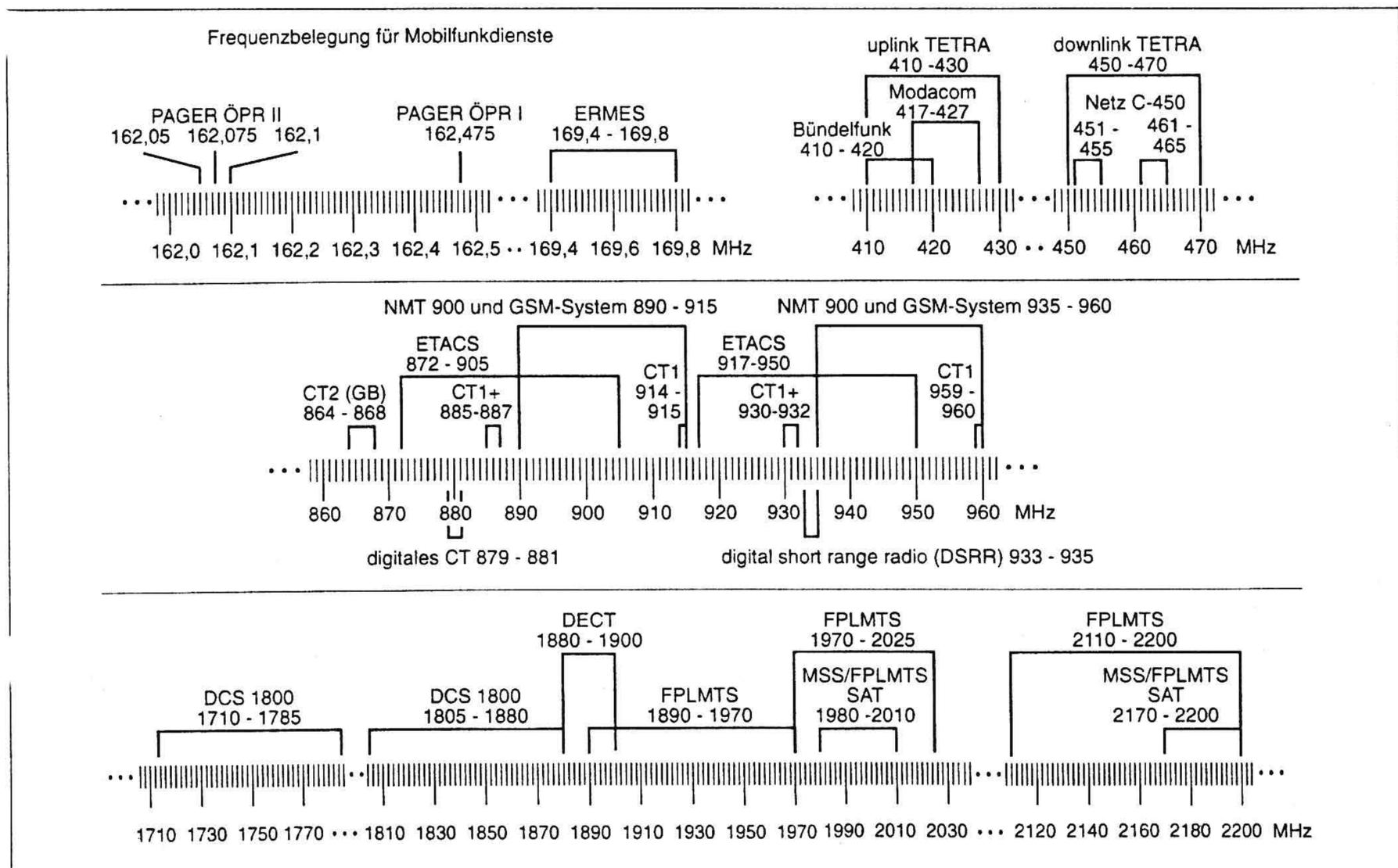
Durch das D-Netz wird erstmals digitaler mobiler Datenaustausch bei europaweiter Flächendeckung möglich. Der Anschluß von Modems und FAX-Geräten des analogen Fernsprechnetzes an ein Mobiltelefon erfordert im D-Netz spezielle Hardware. Dies ist durch den in GSM verwendeten Sprachcodec bedingt, der bei der Kompression spezielle Eigenschaften menschlicher Sprache ausnutzt.

Für Datenkommunikation benötigt der Mobilfunkteilnehmer, z.B. beim Telefax-Dienst, ein spezielles GSM-taugliches Datenendgerät oder einen Terminaladapter,

Tabelle 1: Merkmale wichtiger bestehender zellulärer Mobilfunknetze

NMT = Nordic Mobile Telephone,	MSS = Mobile Satellite System,
AMPS = Advanced Mobile Phone Service,	NTT = Nippon Telephone & Telegraph System,
DCS = Digital Communication System,	RC 2000 = Zellularfunk in Frankreich,
DSSR = Digital Short Range Radio,	Pager = Funkruf,
ERMES = European Radio Message System,	GSM = Global System for Mobile Communications,
ETACS = Enhanced Total Access Communications System,	DECT = Digital European Cordless Telecommunications,
FPLMTS = Future Public Land Mobile Telecommunication System,	TETRA = Trunked European Telecommunication Radio Airinterface
Modacom = Mobile Data Communications,	

System	NMT 450	NMT 900	AMPS	ETACS	NTT Japan	RC 2000	Netz C	D 1/2-Netze	E1-Netz
Kanalzahl	180/220	1999	666	1000	600	256	222	124	2992
Kanalraaster kHz	25	12,5	30	25	25	12,5	25	200	200
Dupl. Abstd. MHz	10	45	45	45	55	10	10	45	95
Bitrate bit/s	1200	1200	10000	8000	300	1200	5280	271	271
Modulation	FFSK	FFSK	PSK	PSK	PSK	FFSK	FSK	GMSK	GMSK
Band MHz	454 - 468	890 - 960	825 - 890	872 - 950	870 - 940	406 - 430	451 - 465	890 - 960	1710 - 1880



an den für das analoge Fernsprechnetz konstruierte Geräte angeschlossen werden können. Diese Adapter korrespondieren mit entsprechenden Partnergeräten am Übergangsknoten zum Festnetz (im mobile switching center) und setzen dort Umsetzfunktionen (interworking functions) voraus, welche die Kompatibilität zu Endgeräten an Datennetzen, am ISDN und über Modem an das analoge Fernsprechnetz angeschlossenen Tele-

fax-Geräten ermöglichen. In der zweiten Ausbaustufe werden GSM-Netze auch Übergänge zu paketvermittelten Datennetzen mit Schnittstelle nach Standard X.25 verfügbar machen.

GSM-Funkschnittstelle

Zwischen Mobil- und Feststation werden Daten digital übertragen. Vom Mobilgerät zur Basisstation (uplink) bzw. in umgekehrter Richtung (downlink) werden die Fre-

quenzbereiche 890 – 915 MHz bzw. 935 MHz – 960 MHz benutzt. Jede Frequenz wird durch 4,615 ms lange periodische Zeitmultiplex-Rahmen in 8 Zeitschlitze mit je 114 bit Nutzdaten unterteilt. Jeder periodische Zeitschlitz bildet einen physikalischen Kanal, den Verkehrskanal, der dem Teilnehmer als Vollratenkanal 22,8 kbit/s, bzw. als Halbratenkanal 11,4 kbit/s zur Verfügung stellt. Überträgt der Teilnehmer auf seinem Kanal zeitweise

keine Daten, kann der Kanal anderweitig nicht genutzt werden; die gesamte Dauer der Verbindung wird dem Teilnehmer in Rechnung gestellt.

Fehlerkorrekturverfahren

Die Empfangsfeldstärke der Mobilstation schwankt bewegungsabhängig um 30 dB und mehr um den Mittelwert. Dabei sinkt zeitweise die Einhüllende des Empfangssignals ab (fading) was zu einer drastischen Abnahme der Empfangsgüte führt. Bei digitalen Systemen steigt während dieser Zeit die Bitfehlerrate stark an. Dopplereffekt, Mehrwegeausbreitung und Abschattungseffekte stellen die dominierenden Störeffekte beim Mobilfunk dar. Um die Beeinflussung der übertragenen Daten durch solche Störeffekte zu vermeiden, sind verschiedene Maßnahmen vorgesehen:

- Den Daten wird systematische Redundanz zur Vorwärts-Fehler-Korrektur zugesetzt,
- ein Frequenzsprungverfahren (ein Sprung je Zeitschlitz) verringert frequenzabhängige Störeffekte,
- Verwürfelung (interleaving) der Daten vor der Übertragung auf verschiedene Zeitschlitze vermeidet das empfangsseitige Auftreten langer, fadingbedingter Fehlerbüschel,
- für Daten mit hoher Anforderung an die zulässige Restbitfehlerrate wird zusätzlich ein fehlererkennender Code (24bit-CRC) eingesetzt, so daß bei Erkennung fehlerhaft übertragener Blöcke eine Wiederholung veranlaßt werden kann (automatic repeat request, ARQ).

Unterschreitet während mehrerer Sekunden die Empfangsqualität eine bestimmte Schranke, wird ein Handover zum Kanalwechsel in derselben Zelle oder zwischen Zellen eingeleitet.

Trägerdienste zur Datenübertragung im GSM

Das GSM stellt für Datenübertragung zur Übermittlung von Signalen zwischen Netzzugangspunkten zwei unterschiedliche Trägerdienste zur Verfügung.

Der *transparente Trägerdienst* überträgt Daten mit konstantem Durchsatz und konstanter Verzögerungsdauer. Er basiert auf Vorwärtsfehlerkorrektur und verzichtet auf ARQ-Verfahren. Die Qualität der Verbindung ist von der schwankenden Güte des Funkkanals abhängig. Durch die Anwendung unterschiedlich leistungsfähiger Fehlerkorrekturverfahren ergeben sich für den Teilnehmer als mögliche Datenraten beim Vollratenkanal: 9,6/4,8/2,4 kbit/s, beim Halbratenkanal: 4,8/2,4 kbit/s. Laut Bild 2 werden zur Vorwärtsfehlerkorrektur verschiedene Faltungscoder (1/2, 1/3 und 1/6) eingesetzt und durch Interleaving der Tiefe 19 bzw. 8 unterstützt.

Der *nichttransparente Trägerdienst* basiert auf dem transparenten Trägerdienst und verwendet zusätzlich ein, vom high level data link control (HDLC)-Protokoll abgeleitetes, auf Fehlererkennung basierendes ARQ-Protokoll, das Radio Link Protocol (RLP). Angewandt wird der asynchrone gleichberechtigte Betriebsmodus (ABM). Neben Zurückweisung (reject) und Wiederholung ab einer bestimmten Blocknummer ist auch die wiederholte Anforderung einzelner Blöcke (selective-reject) zulässig. Steuerkommandos werden, abweichend von HDLC, auch im Informationsblock übertragen. Die maximale Fenstergröße ist mit 62 an die Interleaver Verzögerung angepaßt. Dieses hybride ARQ-Protokoll führt zu einer äußerst ge-

ringen Restbitfehlerwahrscheinlichkeit ($<10E-9$). Jedoch schwanken hier Durchsatz und Verzögerungsdauer der Übertragung funktfeldabhängig. Das benutzte Fehlerkorrekturverfahren entspricht dem für 9,6 kbit/s Datenrate, der Anschluß von Geräten niedrigerer Bitrate ist möglich.

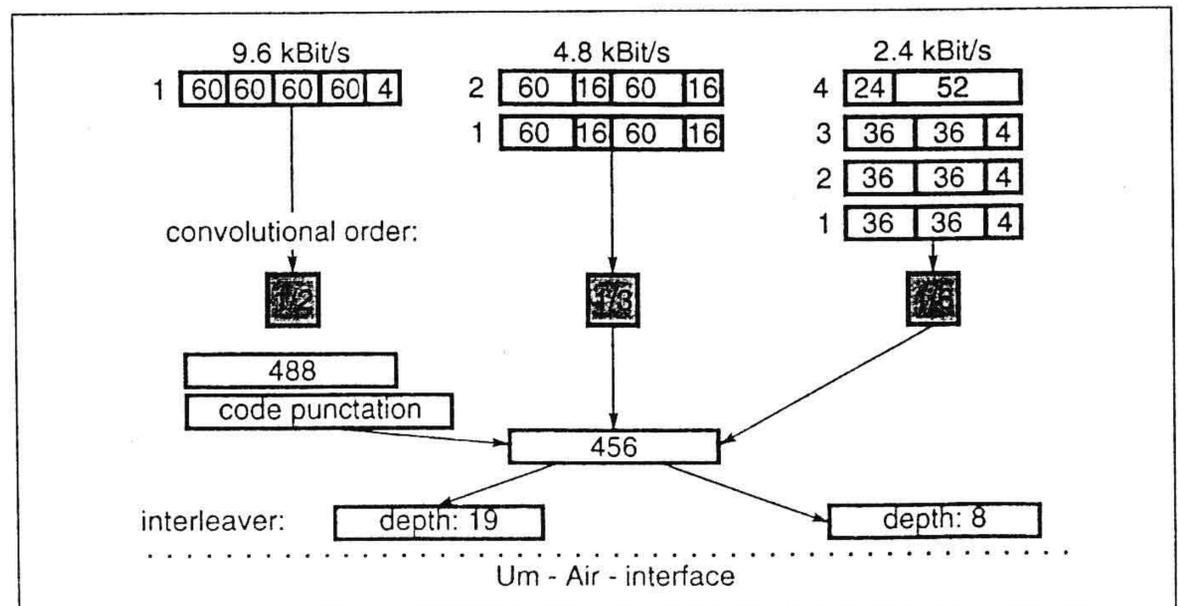
Übertragung von Kurznachrichten im GSM-System

Neben den Trägerdiensten gibt es einen Punkt-zu-Punkt-Kurznachrichtendienst (short-message-service, SMS). Er erlaubt den Empfang und das Versenden von Kurznachrichten mit bis zu 160 byte Länge über den sog. Signalisierungskanal des Zellulernetzes. Da Kurznachrichten verzögert (wenige sec.) übertragen werden dürfen, trägt dieser Dienst zur besseren Ausnutzung der Signalisierungskanäle bei. Längere Mitteilungen dürfen in Kurznachrichten von 160 byte zerlegt werden. Die Reihenfolge bei der Ankunft ist jedoch nicht sichergestellt.

Telefax-Dienste

Alle Netzbetreiber werden zunächst nur den transparenten Telefax-Dienst einrichten. Dabei werden codierte Daten und zugehörige Signalisierung mittels eines transparenten Trägerdienstes übertragen. In der Signalisierungsphase (mit 300 bit/s Datenrate) erreicht man durch Wiederholen der übertragenen Bits eine zusätzliche Redundanz für die Kommandos. In

Bild 2: Vorwärtsfehlerkorrektur der Teilnehmerdaten bei den verschiedenen GSM-Trägerdiensten



der Datenübertragungsphase können, funkfeldbedingt, stärkere Störungen von Dokumentzeilen auftreten als im Festnetz üblich. Vernachlässigt man die Signalisierungsphasen, so dauert die Telefax-Übertragung gleich lang wie im Festnetz.

Der nichttransparente Telefax-Dienst benötigt einen Adapter, um das Endgerät an den vom GSM bereitgestellten Trägerdienst anzupassen. Der Adapter hat Modem-Funktionalität zum angeschlossenen Telefax-Gerät hin und überwacht und manipuliert das Telefax-Protokoll durch Speicherung von Daten, Transcodierung und Anpassung der Telefax-Rate an die Funkkanalqualität. Problematisch ist die bei Qualitätseinbrüchen des Funkkanals fallende Übertragungsrate, die durch Zwischenspeicherung des Dokumentes im sendenden Telefax-Adapter ausgeglichen wird. Das kann, wegen Zeitüberschreitung im Telefax-Endgerät, zu ungewolltem Abbruch der Übertragung führen. Simulationsuntersuchungen bei uns haben gezeigt, daß solche Abbrüche in normal ausgeleuchteten GSM-Zellen nicht auftreten, da bei schlechter Empfangsqualität ($5\text{dB} < \text{CIR} < 7\text{dB}$) in der Regel ein Handover eingeleitet wird. Der nichttransparente Telefax-Dienst ist also eine Alternative mit höherer Dienstgüte, als beim transparenten Telefax-Dienst erreichbar.

3. Weitere landesweite Mobilfunksysteme

Neben dem in Deutschland als öffentlicher beweglicher Landfunk (öbL) bezeichneten Zellularfunk bestehen weitere Funkdienste für den allgemeinen Gebrauch oder werden gerade eingeführt. Diese Funktionsdienste sind auf spezielle Anwendungen zugeschnitten bzw. durch Ausweitung des Dienstangebotes bestehender Drahtnetze auf den Funkbereich entstanden. Einige dieser Systeme werden nachfolgend genauer beschrieben.

3.1 Schnurlose Telefone

Schnurloses Telefon (Cordless Telephone, CT) ist; ein Dienst, der v.a. im Bereich des Teilnehmerhauptanschlusses verfügbar ist; er ermöglicht es, das Fernsprechgerät und den Hörer, statt über ein Kabel, über Funk bis zu 300 m/50 m weit (außer/im Haus) zu verbinden. Dafür werden das ortsfeste Endgerät als Feststation und der Hörer als Mobilteil je mit einer Sende- und Empfangseinrichtung ausgestattet. Die Funkübertragung erfolgt nach dem Frequenzmultiplex-Verfahren mit analoger (beim CT2 System, vgl. Bild 1, digitaler) Modulation. Der Teilnehmer kann über den Mobilteil und seine Feststation Gespräche aufbauen, bzw. kommende Gespräche entgegennehmen. Für den Bereich öffentliches Fernsprechen ist dieser Dienst ebenfalls standardisiert, wurde in Deutschland im Feldversuch "Telepoint" untersucht und ist in Großbritannien im Gebrauch. Da keine Mobilitätsverwaltung vorgesehen ist, sind nur gehende Rufe (vom Teilnehmer über den öffentl. Fernsprecher in das Drahtnetz) möglich. Die Einführung von Telepoint als öffentlicher Dienst erscheint fraglich.

Seit 1991 liegt ein ETSI-Standard DECT (digital european cordless telecommunication) für ein digital im Zeitmultiplex auf 10 Frequenzen bei 1,89 GHz übertragendes schnurloses Telekommunikations-System für Sprach- und Datenübertragung vor [DECT], das auch für den breiten Einsatz bei Nebenstellenanlagen von Interesse ist. Bei DECT ist keine Mobilitätsverwaltung vorgesehen. Der Teilnehmer wird vowiegend innerhalb von Gebäuden versorgt, während zellulare Netze ihre Teilnehmer überwiegend außerhalb von Gebäuden erreichen. Ein nächster Entwicklungsschritt wird die Vorteile beider Systeme in einem mobilen Handgerät vereinigen; entsprechende Arbeiten für den schnurlosen Zugang zum GSM-System laufen bereits [SMJ 92]. Bei der DECT Standardisierung wurde bereits berücksichtigt, daß der beim GSM-System in Entwicklung befindliche Halbraten-Sprachcode

(6,5 kbit/s Sprache) zukünftig benutzt werden kann, sobald es standardisiert sein wird (1994?).

Im Frühjahr 1992 wurde der draft DECT Standard in einer Arbeitsgruppe (STC RES-3) der ETSI verabschiedet. DECT gehört zur dritten Generation schnurloser Mobilfunksysteme. Dabei wurden die Anforderungen der Funkausbreitung in Gebäuden wie geringe Reichweiten, starke Abschattung, heftige Interferenz durch Mehrwegeausbreitung und benachbarte Gleichkanalsysteme und hohe Benutzerdichten besonders berücksichtigt. Das System ermöglicht die Übertragung digitalisierter Sprache und von Daten.

Der Frequenzbereich von 1880–1900 MHz (vgl. Tabelle 1) ist in zehn Frequenzbänder unterteilt, um nach dem FDM-Verfahren mehreren Benutzern gleichzeitigen Zugriff zu ermöglichen. Jeder Frequenzkanal enthält 24 gleichgroße, zyklisch auftretende Zeitschlitze, von denen zwei einer Verbindung zugeteilt werden. Entsprechend der Zyklusdauer liefert die periodische Belegung der Zeitschlitze eine Datenrate von 32 kbit/s pro Kanal für duplex Sprachübertragung. Die zu übertragene Sprache wird nach dem ADPCM-Verfahren (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) codiert. Für Datenübertragung können Kanäle zusammengefaßt werden, um höhere Raten zu erreichen. Auch kann von duplex auf halb-duplex Übertragung gewechselt werden, so daß einige hundert kbit/s je Mobilterminal erreicht werden können.

Eine DECT Installation kann in verschiedenen Ausbaustufen existieren, vgl. Bild 3:

Beim *Ein-Zellen-System* wird der Versorgungsbereich mit nur einer Feststation abgedeckt. Aufgrund der festgelegten geringen Sendeleistung und der hohen Dämpfung innerhalb von Gebäuden sind Ein-Zellen-Systeme für den privaten hausinternen Gebrauch gedacht. Sie eignen sich auch für Telepointssysteme außer Haus. *Mehr-Zellen-Systeme* erlauben den DECT-Dienst auf größere

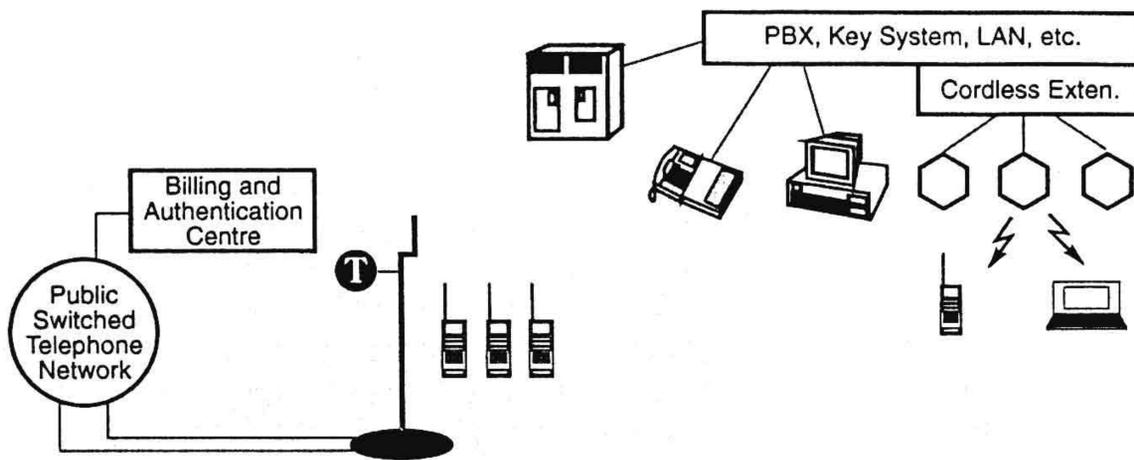


Bild 3: DECT-Systemstruktur

Flächen wie z.B. ein oder mehrere Gebäude, einschließlich des privaten Firmengeländes, auszudehnen.

Für das DECT-System liegen, vergleichbar dem GSM-System, Standards für Datenkommunikations-Protokolle vor [DECT]. Beispielsweise wird ein LAPC Protokoll beschrieben, das dem RLP von GSM entspricht. Da eine DECT-Verbindung mehrere parallele Kanäle mit je 32 kbit/s Übertragungsraten umfassen darf, können manche mobilen Daten-Endgeräte ausreichend gut unterstützt werden. Obwohl manchmal beansprucht, ist das DECT-System kein drahtloses LAN, weil die dort üblichen Datenraten nicht erreicht werden, vgl. Abschnitt 3.6.

3.2 Funkruf-(Paging)Systeme

Bei Funkruf handelt es sich um Rundfunkeinrichtungen wie Eurosignal, Cityruf, Euromessage im Cityruf und ERMES, vgl. Bild 1 bzw. Pager in Tabelle 1, die schmalbandige Signale zum gezielten Aufruf von Teilnehmern mit mobilen, taschenrechnergroßen Empfängern übertragen. Neben einem Piepton, auf den der Teilnehmer mit einem Anruf bei einem vorbestimmten Fernsprechanruf reagiert, können auch mehrere Rufnummern und kurze Zeichenfolgen auf einem Anzeigefeld sichtbar gemacht werden, um die Rufnummer oder eine Kurznachrichte zu signalisieren. Ein Funkruf wird automatisch veranlaßt, indem ein Fernsprechteilnehmer den Pagingdienst anwählt und dem sich dort meldenden Rechner die Rufnummer des aufzurufenden Teilnehmers (und evtl. die Kurznachrichte) über die

Fernsprechtastatur, Bildschirmtext über Datex-J oder einen PC übermittelt.

Der Standard für ERMES (European Radio Message System) wurde seit 1989 bei ETSI entwickelt und Anfang 1992 fertiggestellt [Ör 92]. Als im Vergleich zu Vorläufersystemen interessantestes Leistungsmerkmal wird internationales Roaming genannt. Außerdem wurde die Datenübertragungsrate um eine Größenordnung auf 6,25 kbit/s erhöht. 18 Länder und 28 Netzbetreiber haben ein Memorandum of Understanding (MoU) für die Einführung von ERMES unterzeichnet. Entsprechend Bild 4 verarbeitet die Funkruf-Netzsteuerung Eingaben über Telefon, Datennetze und von fremden Netzen unter Berücksichtigung der vom Teilnehmer vereinbarten und in der Netzsteuerung gespeicherten Dienste. Eingaben an ERMES sind über

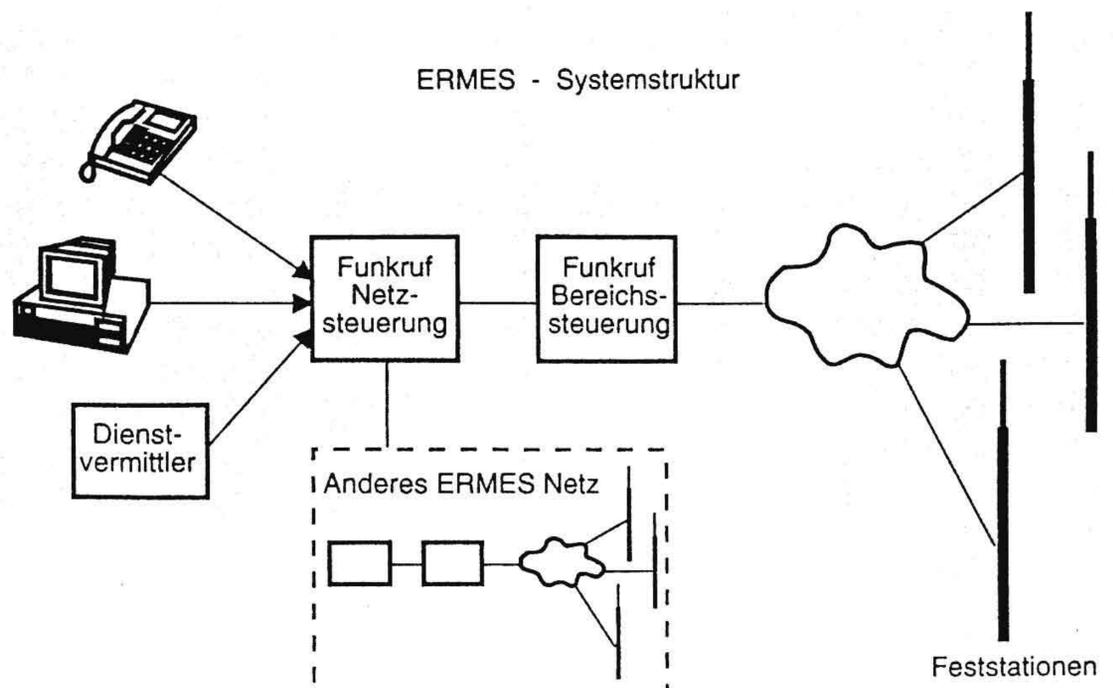
DTMF-Telefone (digital tone multiple frequency) für Funkruf mittels Ton- oder Ziffernruf möglich. Funkruftexte können über alle üblichen Datennetze unter Anwendung des standardisierten UPC-Protokolls eingegeben werden. Daneben kann der Dienst über Anbieter erreicht werden. Die Funkruf-Bereichssteuerung organisiert die Abstrahlung des Rufes und aktiviert entsprechend der Vereinbarung mit dem Teilnehmer einen oder mehrere Feststationen, um die betreffende Rufzone abzudecken. Feststationen senden mit bis zu 100 W und erreichen Zellradien bis zu 150 km.

ERMES wird in Europa im Band von 169,4125 MHz bis 169,8125 MHz betrieben mit 25 kHz Kanalbandbreite. Der Funkrufempfänger sucht ständig alle 16 ERMES Kanäle ab. Neben Tonruf (8 verschiedene Töne), Ziffernruf (bis zu 20 Ziffern), Alpha-Ziffernruf (bis zu 400 Zeichen) ist auch transparente Datenübertragung für Anwendungen wie Prozeßüberwachung, Telemetrie und Alarmaktivierung vorgesehen. Der Dienst wird voraussichtlich länderspezifische Namen tragen und geht Mitte 1993 in Betrieb.

3.3 Bündelfunk

Seit vielen Jahren betreiben Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), Flughäfen, die Großindustrie, Energie-

Bild 4: ERMES-Systemstruktur



versorger, der ÖPNV und Taxizentralen private Bündelfunksysteme als sog. nicht öffentlichen beweglichen Landfunk, nöbL. Manche Netze haben 250 Tsd. Teilnehmer, insgesamt gibt es ca. 1 Mio. Teilnehmer in Bündelfunknetzen. Sie ermöglichen, in einem örtlich durch die Sendeleistung der Feststation begrenzten Bereich, Sprech- und Datenfunk über halbduplex-Kanäle mit einer Zentrale oder zwischen mobilen Teilnehmern abzuwickeln. Man unterscheidet lokale Systeme mit nur einer Feststation und flächendeckende (zellulare) Systeme, wobei häufig Gleichkanalfunk angewandt wird. Die Frequenzpläne haben häufig große Überlappung mit Clustergrößen von 12 bis 14. Üblich sind auch Einrichtungen in den Feststationen für den Übergang in das Drahtnetz (typisch: Nebenstellenanlage), vgl. [Pe 91], [Ke 93]. Daneben bestehen die historisch gesehen älteren Betriebsfunknetze, die typischerweise auf einem exklusiv von einer Teilnehmergruppe genutzten Frequenzkanal basieren und Sprech- und Datenfunk abwickeln. Die Verbesserung beim Bündelfunk besteht darin, daß mehrere (viele) Teilnehmergruppen ihre Frequenzkanäle in ein gemeinsames System einbringen, das dann über ein Bündel von Funkkanälen verfügt und deshalb den sog. Bündelungsgewinn erzielt. Im Ergebnis werden alle Teilnehmer gleich gut wie vorher oder besser bedient, z.B. durch höhere Zuverlässigkeit des Systems oder Verfügbarkeit von gleichzeitig mehr als nur einem Funkkanal.

Seit 1990 wurde ein öffentlicher Bündelfunkdienst in 18 deutschen Wirtschaftszentren (sog. A-Regionen) geschaffen. Nach der Vergabe von Lizenzen durch den Bundesminister für Post und Telekommunikation an private Betreiber zum Betrieb regionaler Bündelfunknetze (z.B. Primus in Frankfurt) bestehen in allen A-Regionen zwei konkurrierende Anbieter: Die DB-Telekom bietet dort unter der Bezeichnung Chekker gleichzeitig denselben Dienst an. Gegenwärtig haben der Chekker Dienst etwa 35

Tsd., die Privaten zusammen etwa 25 Tsd. Teilnehmer. Die Vergabe von Lizenzen für B-Regionen (mit geringer erwarteter Teilnehmerachfrage) steht bevor. Damit haben Anwendungen des Betriebsfunks die Möglichkeit, in örtlich begrenzten Bereichen (typisch großstädtisches Ballungsgebiet mit bis zu 50 km Durchmesser und wenigen Zellen mit Zellrößen von typ. 10 km bis 25 km Durchmesser) Mobilfunkdienste zu nutzen. Durch Bildung geschlossener Benutzergruppen sind logisch getrennte Betriebsfunknetze möglich, die sich aufgrund technischer Maßnahmen wie physisch getrennte Netze verhalten. Alle Mobilstationen einer Benutzergruppe sind innerhalb einer Region direkt anwählbar. Beim Chekker Dienst beträgt die max. Gesprächsdauer 60 sec. Als zusätzliche Leistungsmerkmale werden Rundruf, Anruferidentifizierung, Anrufumleitung und Kurzdatenübertragung bis 23 Zeichen angeboten. Zukünftig können Cityruf- und Eurosignalempfänger, Funktelefone und Teilnehmer des analogen Fernsprechnetzes angewählt werden.

Die Netze werden im Frequenzband 410 bis 420 MHz mit einem Kanalaraster von 12,5 kHz oder 25 kHz betrieben, vgl. Tabelle 1. Je Zelle stehen bis zu 20 Kanäle zur Verfügung, die Senderleistung der Feststation beträgt bis zu 15 W. Als Modulationsart wurde gewählt für Sprache PM, für Daten FFSK. Die Übertragungsrate für Signalisierdaten beträgt 1.2 kbit/s lt. Standard MPT 1327. Datenübertragung ist mit 2,4 kbit/s möglich.

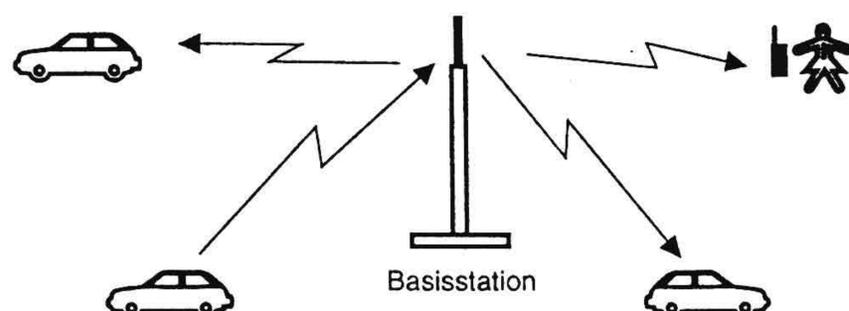
Bild 5 zeigt das Funktionsprinzip: Die von einer (Mobil-)Station der Benutzergruppe erzeugte Information wird über einen Frequenz-Kanal (up-link) zur Feststa-

tion übertragen, dort auf einen zweiten Frequenz-Kanal (down-link) umgesetzt und an die übrigen Teilnehmer der Gruppe wie beim Rundfunk abgestrahlt. Damit unterscheidet sich Bündelfunk vom Zellularfunk und schnurlosen Telefon erheblich, denn dort wird ausschließlich Punkt-zu-Punkt und nicht Punkt-zu-Mehrpunkt kommuniziert. Die Kombination von Teilnehmern, die dabei erreicht werden, kann der veranlassende Teilnehmer durch Adressierung steuern, ggfs. spricht er auch nur mit einem Partner. Die Zuweisung eines Kanalpaars (up- und down-link) erfolgt für die Dauer des Gesprächs durch die Feststation und zwar auf Anfrage eines Mobilteilnehmers. Dazu benutzt er einen, von allen Teilnehmern eines Bündelfunksystems im Vielfachzugriff gemäß dem S-Aloha-Zugriffsprotokoll gemeinsam genutzten Organisationskanal.

Bild 6 zeigt die Struktur solcher Netze [IsKr 90]: Jede Netzsteuerung ist für ein bestimmtes Bündelfunknetz zuständig und hat Verbindung zu anderen (benachbarten) Bündelfunknetzen. Über eine Bedienstation ermöglicht sie den Übergang zwischen Bündelfunk- und drahtgebundenen öffentlichen Telekommunikationsnetzen. Mehrere Feststationen sind an eine Zellsteuerung angeschlossen, Zell- und Netzsteuerung sind über Leitungen verbunden, eine Betriebs- und Wartungszentrale konfiguriert und überwacht das System, erfaßt Gebühren und macht statistische Auswertungen.

Die gezeigten Register sind Datenbanken mit geräte- und teilnehmerbezogenen Datensätzen. Das Hauptregister enthält netzweit relevante Daten, das Heimregister die jeweiligen in einer Zelle fest

Bild 5: Prinzip des Bündelfunks



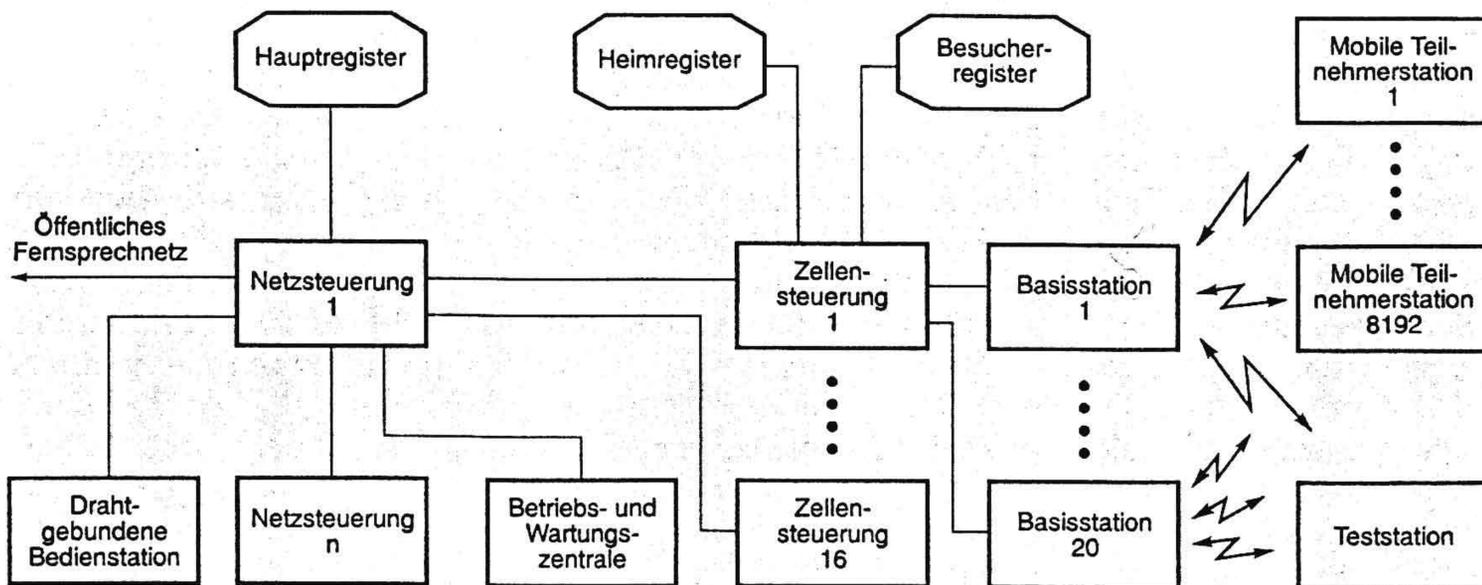


Bild 6: Struktur eines Bündelfunknetzes (z.B. Chekker)

gemeldeten Teilnehmer. Besucherregister treten nur bei zellularen Bündelfunknetzen auf und enthalten alle Mobilteilnehmer, die sich gegenwärtig nicht in ihrer Heimatzone aufhalten. Bündelfunknetze verfügen über eine netzspezifische Mobilitätsverwaltung und können Teilnehmer auch außerhalb ihrer Heimatzone im gleichen Netz auffinden; netzweites Roaming ist also möglich. Jede Zelle verfügt über eine Zellsteuerung zur Verwaltung des Bündels von Frequenzkanälen, die einer Zelle zur Verfügung stehen und der auf die Zuteilung von Kanälen wartenden Teilnehmer. Die Wahl des gerufenen Teilnehmers (bzw. der Gruppe) erfolgt durch Kurzwahl, da i.d.R. die

selben Teilnehmer einer Gruppe gerufen werden, ggfs. vermittelt die Netzsteuerung zur Zielzelle, falls der gerufene Teilnehmer sich nicht in der Heimatzone aufhält. Wie bei allen Funknetzen ist die Anzahl der Funkteilnehmer deutlich größer als die Zahl verfügbarer Kanäle.

Ein Gespräch wird durch Tastendruck eingeleitet. Dabei meldet das Mobilfunkgerät über den Organisationskanal bei der Zellsteuerung den Verbindungswunsch an. Ist der gerufene Teilnehmer in derselben Zelle und ein Sprechkanal frei, wird er alarmiert, sonst darf der Ruf warten. Ggfs. vermittelt die Netzsteuerung in eine andere Zelle, wobei der Ruf auch dann weniger als 1 sec für die Ver-

bindungsherstellung benötigt. Der zugewiesene Gesprächskanal besteht aus einem Frequenzpaar (uplink/downlink), kann aber nur als halb-duplex Kanal (im Wechsel-sprechbetrieb) genutzt werden.

Bündelfunk in Deutschland folgt einem veralteten Standard [MPT], für den gegenwärtig beim ETSI ein europäischer Nachfolgestandard erarbeitet wird [Fr 90]. MPT Standards sind Ergebnis der Vereinbarung der Firmen Motorola, GEC, Philips (Peye), Mobilfunkgeräte nach gemeinsamer Festlegung der Luft-Schnittstelle zu produzieren. MPT 1327 verwendet für die Signalisierung das S-Aloha Vielfachzugriffs-Protokoll. Als Rufarten sind Zweierverbindung, Sammel- und

Tabelle 2: Merkmale des TETRA-Bündelfunksystems

Frequenzen	2 * 5 MHz (anfangs), später 410–430 MHz und 450–470 MHz
Kanalraster	25 kHz
Modulation	$\pi/4$ DQPSK,
Bitrate	36 kbit/s brutto, 19.2 kbit/s netto (im 25-kHz-Kanal)
Kanäle/Träger	V+D: 4 Sprach- oder Datenkanäle je 25 kHz, time division duplexing, TDD DO: ein Kanal
Sprachcodierung	offen, 4.8 kbit/s
Zugriffsverfahren	V+D: S-Aloha Vielfachzugriff DO: S-Aloha mit Reservierung, bzw. Data Sense Multiple Access, DSMA je nach Verkehrslast.
Rahmenstruktur	V+D: 14.7 ms/slot; 4 slot/frame; 18 frame/multiframe; 1 slow control frame DO: der downlink benutzt kurze Blöcke: 128 bit, der uplink benutzt kurze und lange (256 bit) Blöcke, jeder Block ist durch FEC mit Coderate 2/3 gesichert, kontinuierliche bzw. diskontinuierliche Übertragung auf downlink bzw. uplink.
Nachbarkanalschutz	-60 dBc
Verbindungsaufbau	< 300 msec
Transit-Verzögerung	V+D: < 500 msec bei verbindungsorientiertem Dienst DO: < 100 msec bei 128 byte Nachricht

Tabelle 3: Träger- und Teledienste für V+D und DO beim TETRA-Standard

A) V+D: Trägerdienste:	a) 7,2 kbit/s kanalvermittelte ungeschützte Sprache, b) < 19,2 kbit/s kanalvermittelte Daten, c) < 28,2 kbit/s kanalvermittelte ungeschützte Daten, d) verbindungsorientierte Paketübertragung, e) verbindungslose Paketübertragung: Standardformat/ Spezialformat.
Teledienste:	f) 4,8 kbit/s Sprache, g) verschlüsselte Sprache.
B) DO: hier gibt es nur die unter d) bis f) genannten Paket-Trägerdienste.	

Festgruppenruf möglich; Gruppenruf wird durch sequentiellen Anruf der Teilnehmer realisiert. Weitere Dienste sind Konferenz, Rufumleitung, Nachtschaltung, Prioritätsverbindungen, Notruf, Datenübertragung.

Bündelfunk ist technisch einfacher als Zellularfunk zu realisieren. Deshalb wird erwartet, daß der Dienst kostengünstiger als über flächendeckende Zellularfunknetze (D1, D2, E1) angeboten werden wird, mit eingeschränkten Leistungsmerkmalen bzgl. Mobilitätsverwaltung und Übergang zu Drahtnetzen.

3.3.1 Pan-Europäischer Bündelfunk TETRA

1988 wurde entschieden, im ETSI Techn. Subcommittee RES 06 einen Standard für einen digitalen pan-europäischen Bündelfunk zu erarbeiten und bis 1994 vorzulegen [Cay 92], [Ke 93]. Angestrebt wird eine europaweite Harmonisierung der Frequenzuteilung und die Standardisierung der Funkchnittstelle (air-interface), der Grundelemente des Mensch-System-Dialogs und einiger netzinterner Schnittstellen in Mobilstationen.

Trotz der europaweiten Einführung des GSM-Systems werden folgende Teilnehmerzahlen für Bündelfunksysteme (private mobile radio, PMR) erwartet: 1 Mio. Teilnehmer nach 5 Jahren Verfügbarkeit europaweit, 5 Mio. nach 10 Jahren. Aufgrund digitaler Übertragung und standardisierter Schnittstellen werden die Gerätekosten gegenüber der bestehenden Analogtechnik deutlich fallen. Gleichzeitig werden Verbesserungen wie Einführung von

Datendiensten, Verschlüsselung, Roaming zwischen verschiedenen Netzen und beschleunigter Verbindungsaufbau möglich.

Zwei Standards sind gleichzeitig in Vorbereitung: Sprache und Daten (voice and data, V+D) und Paketfunk (data only, DO). Der TETRA V+D-Standard zielt auf die Nachfolge bestehender Bündelfunknetze, während der DO-Standard das europäische Paket-Bündelfunksystem (als Nachfolgesystem für nationale Vorläufersysteme wie z.B. Modacom) definiert. Beide TETRA-Systeme werden dieselbe Bitübertragungstechnik benutzen. Unklar ist, ob dasselbe Sende-/Empfangsgerät benutzt werden wird. Bisher sind die in Tabelle 2 zusammengestellten technischen Merkmale bekannt. Tab. 3 zeigt die verfügbaren Träger- und Teledienste.

Beispiele zukünftiger Anwendungen sind

- Flottenmanagement,
- digitaler Nahbereichsfunk für den Straßenverkehr incl. Fahrzeugortung (road transport informatics),
- Betriebsfunk für die Bahnen,
- jede Art von Datenübertragung.

Bündelfunk nach Standard ETSI-TETRA wird die Dienste bestehender Bündelfunk- und Paketfunknetze abdecken und Beiträge im Anwendungsbereich des digitalen Nahbereichsfunks leisten.

3.4 Mobiler Satellitenfunk

Das Inmarsat-2 (International Maritime Satellite) Netz basiert auf geostationären Satelliten und ermöglicht weltweit die Kommunikation zwischen mobilen (Inmarsat-) Stationen und Anschlüssen terrestrischer Netze. Das Dienstangebot umfaßt neben Telex und Datenübertragung (64 kbit/s) alle im Fernsprechnet verfügbaren Dienste (sog. Inmarsat Standard A Dienst) und Datenübertragung mit bis zu 600 bit/s duplex im Inmarsat Standard C Dienst. Ca. 5.000 Inmarsat-Mobilfunkstationen (einige Kilo schwer) sind z.Z. auf Schiffen, Land- und Luftfahrzeugen installiert. Die Kombination aus Inmarsat Standard C Endgeräten und Navigationsempfängern (basierend auf dem Global Positioning System GPS) wird heute als zunehmend interessant zum Einsatz für das Flottenmanagement großer Fuhrparks mit europaweitem Aktionsradius angesehen. Bisher gibt es weltweit ca. 20.000 Inmarsat-Teilnehmer.

Inmarsat plant die Einrichtung eines persönlichen Satellitendienstes, Inmarsat P, mit hand-held Mobilgeräten zur Erschließung ländlicher Gebiete für Sprach- und Datenanwendungen [Lu 92]. Folgende Dienste werden bereits angeboten bzw. sollen verfügbar werden:

- Inmarsat-C für tragbare mobile Datenfunktanwendungen, seit 1991,

Tabelle 4: Systemparameter einiger vorgeschlagener LEO-Systeme [BJLW 93]

System	Iridium	Globalstar	Odyssey	Leonet 1	Leonet 2
Firma	Motorola	LQSS	TRW	ESA	ESA
Bahnhöhe	795 km	1389 km	10355 km	6390 km	10355 km
Zahl der Satelliten	66	48	12	15	10
Zahl der Orbits	6	6	3	5	5
Bahnneigung bzgl. Äquator (Inklination)	90°	55°	55°	54°	54°
Antennenzellen je Satellit	48	6	19	37	37

Tabelle 5: Merkmale des Modacom Paketfunknetzes

Frequenzen	417-427 MHz bei 10 MHz Duplexabstand,
Kanalraster	12,5 kHz,
Modulation	4-Level FSK,
Bitrate	9,6 kbit/s netto,
Nachrichtenlänge	2048 byte max., gesendet als vier Pakete mit je 512 byte,
Kanäle/Träger	ein Datenkanal je Träger,
Zugriffsverfahren	DSMA (data sense multiple access),
Vorwärtsfehlerkorrektur	Trelliscodierung (mit Interleaving) Fehlererkennung CRC-Prüfsumme (cyclic redundancy check),
Strahlungsleistung	6 W ERP (emitted radiated power),
Bitfehlerrate	besser 10 ⁻⁶ , typisch 10 ⁻⁸

Datenterminals an ihren Anwender-Rechner (Host), z.B. MOBILTEX (Schweden/England), COGNITO (England) und ARDIS (USA), seit 1992 Modacom in Deutschland, Tabelle 5. Dabei werden z.Z. firmeneigene Protokolle benutzt. Der Standard ETSI-TETRA wird in Zukunft europaweit einheitliche mobile Paket-Bündelfunknetze ermöglichen.

Zunächst ist nur ein Betrieb außerhalb von Gebäuden vorgesehen. Die Ausschreibung für die Lizenzvergabe an einen zweiten Betreiber in Deutschland wird für Ende 1993 erwartet. Bild 7 zeigt die Systemarchitektur. Jeder Funkbereich des Datenfunknetzes (RDN, radio data network) besteht mindestens aus einer Feststation (BS) und zugehöriger Steuereinheit (base station controller, BSC). Ein Feldversuch 1991 im Rhein/Ruhr-Gebiet mit einem System von Motorola [Nü91] verlief erfolgreich, so daß der Modacom Dienst im Juni 1993 eingeführt wurde. Der Dienst zielt auf Anwendungen, die von der Ausweitung der Dienste drahtgebundener, paketvermittelter Datennetze auf den mobilen Bereich profitieren:

- Inmarsat-M, ein tragbares Telefon, seit Ende 1992, weltweit ab Anfang 1993, für Sprache (4,8 kbit/s) und 2,4 kbit/s für Telefax und Datenübertragung,
- satellitenbasierter Funkruf an Taschenempfänger ab 1994,
- weltweiter hand-held Fernsprecher Inmarsat-P ab 1999, mit zwei Betriebsmoden für terrestrischen Zellular- und Satellitenfunk. Dafür wird ein spezielles Satellitensystem mit nicht-geostationärer Bahn installiert werden.

Mehrere internationale Konsortien bereiten, nach Zuweisung von Frequenzbändern durch die World Administrative Radio Conference WARC'92 [Ka 92], satellitenbasierte Systeme mit unterschiedlich stark elliptischen Bahnen zur weltweiten Versorgung besiedelter Gebiete vor, sog. LEO-Satellitensysteme (low earth orbit satellites). Neben der Verbindung ortsfester Bodenstationen untereinander wird ein zellularer Mobilfunkdienst angestrebt, bei dem die Satelliten untereinander ein weltweites Netz von Vermittlungsknoten bilden [Wad92]. Merkmale solcher Systeme sind, z.B. für das Satellitensystem Iridium des Systemführers Motorola:

- weltweite Erreichbarkeit von ca. 2 Mio. Teilnehmern,
- weltweite persönliche Rufnummer,
- hand-helds mit LED Anzeige und Speicher für bis zu 10 Seiten Faksimile,

- Integration terrestrischer Mobilfunkdienste wie Zellularfunk (AMPS in USA, GSM in Europa) mit bevorzugter Nutzung des Zellularfunks, Funkruf, Datenfunk,
- Komplementierung bestehender terrestrischer Telekommunikationsnetze.

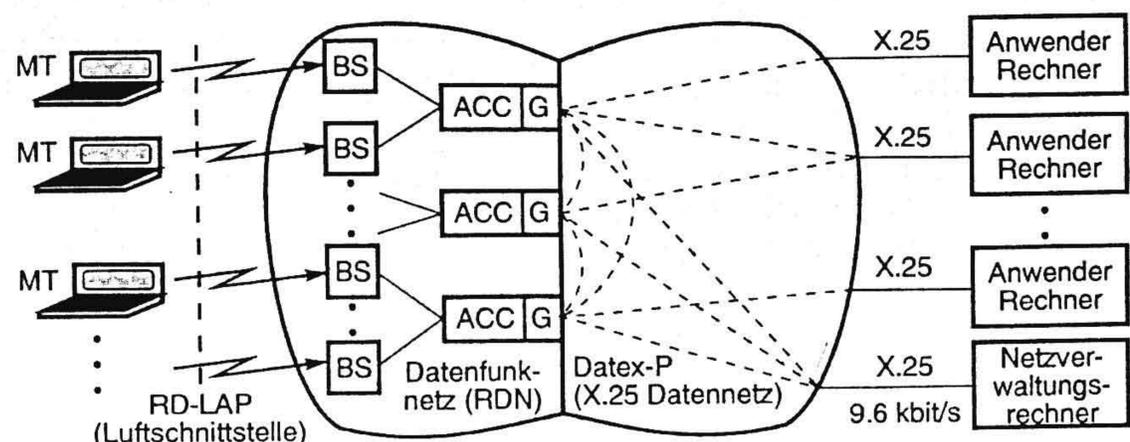
Das Experimentiersystem mit 5 Satelliten in zwei Orbits (Umlauf-Ebenen) wird 1996 realisiert werden. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die z.Z. in Planung befindlichen LEO-Satellitensysteme. Sie eignen sich zur schnellen Telekommunikations-Erschließung unterentwickelter Länder, z.B. werden z.Z. Systeme für Rußland, China und die dritte Welt geplant.

3.5 Modacom

ETSI STC RES 6 wird 1994 einen Standard für einen mobilen, paketorientierten Datenfunk vorgeben, vgl. TETRA, Kap. 3.3.1. Seit Jahren gibt es Mobilfunknetze zum Anschluß von X.25-orientierten

- Datenbankzugriff mobiler Endgeräte über das Datex-P-Netz (X.25),
- Dispatching Dienste z.B. für Transport-/Führunternehmen,
- Telemetrie (Immisionsmessungen, Einbruchsicherung, Parameterabfragen aus Fahrzeugen usw.),
- Wartungs- und Fehlersuche (Ferndiagnose, Zugriff auf Lager- und Verbrauchsdaten, Einsatz von Expertensystemen).

Bild 7: Systemarchitektur des Modacom Systems



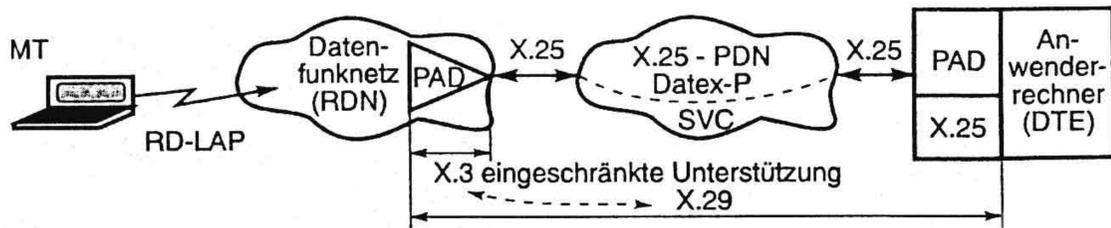


Bild 8: Anschluß von Mobilterminals mit Start/Stop Protokoll an ihren Host

Die Steuereinheiten (BSC) sind über Datendirektverbindungen der DBP Telekom mit 9,6 kbit/s Übertragungsrate an Netzbereichs-Steuerungen (area communications controller, ACC) angeschlossen, die jeweils mehrere Funkbereiche steuern und koordinieren. Ein oder mehrere Funkbereiche und zugehörige Bereichssteuerungen bilden eine Funkbereichsdomäne. Mobilterminals (MT) dürfen Domänengrenzen überschreiten und werden von ACC zu ACC weitergereicht (handover). Datenübertragung zwischen ACCs erfolgt über das Datex-P Netz.

Es gibt einen oder mehrere Übergangsknoten (ACC|G, G = gateway) zwischen Datenfunknetz und X.25 Netz. Eine Netzverwaltung (NAH) konfiguriert und überwacht das Funknetz.

Das Modacom Paketfunknetz basiert auf dem Funkprotokoll

RD-LAP (radio data link access procedure), das wahlweise verbindungsorientierte oder verbindungslose Kommunikation für synchrone Wählverbindungen mit halb-duplex Betrieb zwischen MT und Host ermöglicht.

Es stützt sich an der Funkschnittstelle auf das Motorola-Protokoll DSMA (data sense multiple access) mit folgenden Merkmalen:

- max. Paketlänge 512 byte, kürzere Pakete sind möglich,
- zu übertragende Pakete werden zurückgestellt und der Zeitpunkt des nächsten Versuches zufällig ermittelt, wenn der Kanal belegt vorgefunden wird (nonpersistent Verhalten),
- bei freiem Kanal wird mit Wahrscheinlichkeit p übertragen (p-persistent Verhalten),
- verbindungsorientierte Übertragung,
- Reservierung ist nicht möglich.

3.5.1 Mögliche Verbindungen im Modacom-Datenfunknetz

Messaging ist ein Dienst zur Verbindung zweier Mobilterminals über das Funknetz für den Austausch freier Texte mit manueller oder automatischer Quittung. Ggfs. wird die Nachricht in der Modacom-Box zwischengespeichert, bis das adressierte Mobilterminal erreichbar ist.

Verbindungen zwischen MT und Hosts werden ausschließlich über das Datex-P Netz geführt. Dabei werden drei Verbindungstypen unterstützt:

Typ 1-Verbindungen mit Vielfachnutzung einer virtuellen Wähl-Verbindung im X.25 Netz (switched virtual connection, SVC) sind nur von interaktiven MTs als abgehende Einzelverbindung einrichtbar und für den Zugang zum Mailbox-Dienst u.ä. gedacht. Typ 2-Verbindungen (Einzelverbindung ankommend) basieren auf exklusiv genutzten virtuellen Wählverbindungen und können nur vom Host eingerichtet werden. Typ 3-(fleet) Verbindungen ermöglichen die Verbindung vieler (z.B. >100) MTs über eine SVC oder PVC (P = permanent) mit einem Host. Kein Verbindungs-Typ erreicht die Leistung des X.25 Protokolls bzgl. eines transparenten Teledienstes, Typ 2 noch am ehesten.

Bild 8 zeigt die Typ1-Verbindung über einen PAD (packet assembly disassembly). Das MT muß die X.121 Adresse des Zielhosts angeben. Die MT-Verbindung im RDN wird über X.3 PAD Funktionen mit der SVC-Verbindung im Drahtnetz verbunden. Der PAD schließt asynchrone (Start/Stop) Terminals an einen X.25 Host an. Das RDN emuliert eine Untermenge der X.3 Schnittstelle und ebenso von X.29, X.28 (Kommandos des asynchronen Terminals zur PAD Konfiguration) werden nicht benötigt.

Bild 9 zeigt die Situation bei Typ 2-Verbindungen. Das Datex-P Netz kann nur Endgeräte (DTE, data terminal equipment) mit X.25 Schnittstelle verbinden. Das Modacom-Netz RDN, bzw. sein Gateway Knoten G wird als Datex-P Teilnehmer (DTE) angeschlossen. Es ordnet bei (vom Host) ankommenden

Bild 9: Typ 2 Verbindungen zur Kommunikation des Host mit seinen Mobilterminals

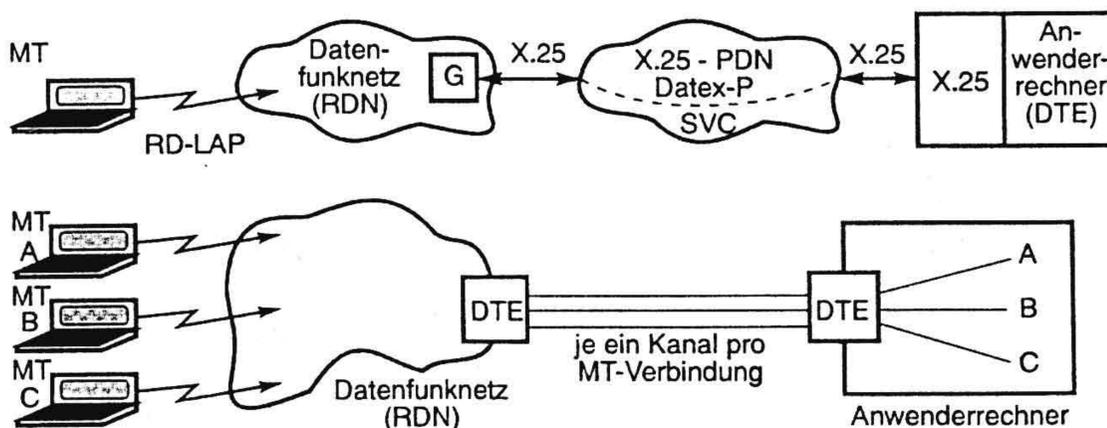


Bild 10: Situation bei Typ 3 Verbindungen für Flottenmanagement-Anwendungen

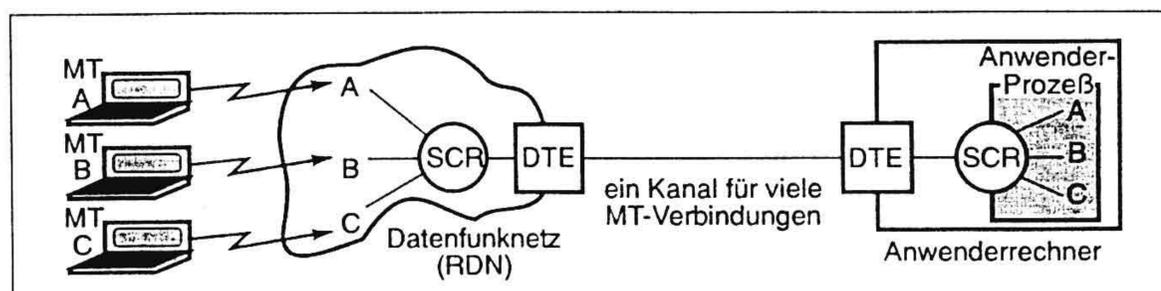


Tabelle 6: Frequenzzuweisungen und Standardisierungsgruppen, WLAN = wireless local area network

FunkLAN	ETSI-Frequenzzuweisung	Standardisierungsgruppe
WLAN *	59 ... 62 GHz vorerst 61 ... 61,5 GHz (B = 500 MHz)	IEEE 802.11
HIPERLAN und Wide Band Data Transmissions Systems	5,15 ... 5,35 GHz oder 5,47 ... 5,65 GHz (B = 150 MHz) 17,1 ... 17,3 GHz (B = 200 MHz) 2,4 ... 2,5 GHz (B = 100 MHz)	ETSI TC RES 10 ETSI TC RES 2

den Verbindungen jedem MT eine virtuelle Wählverbindung (SVC) zu, so daß je MT eine SVC exklusiv verwaltet werden muß. Dabei entsteht eine Tandem Verbindung mit der im X.25 Netz üblichen max. Nachrichtenlänge.

Typ 3-Verbindungen benutzen eine SVC bzw. PVC zwischen einem Host und vielen MTs. Dafür wird das sog. standard context routing SCR benutzt, um die Datenpakete der verschiedenen MTs auf der im Zeitvielfach genutzten virtuellen Verbindung unterscheiden zu können. Im Datenteil von X.25 Paketen steht der SCR Kopf mit der log. Zieladresse des MT bzw. Hosts und weiteren anwendungsbezogenen Parametern, die von RDN bzw. Host-Anwendungen genutzt werden, Bild 10. Jedes MT kann auf bis zu 7 Gruppenadressen reagieren, so daß innerhalb einer Flotte von MTs bis zu 7 Gruppen unterschieden werden können.

3.6 Drahtlose lokale Netze, ETSI HIPERLAN

Drahtlose LANs stellen eine neue Entwicklung im Bereich lokaler Netze dar. Bei diesen Systemen werden anstelle eines Kabels Funkwellen als Medium für die Übertragung zwischen den Stationen verwendet. Die Vorteile der Funkübertragung liegen vor allem

in den geringen Installationskosten: die Verkabelung der Stationen untereinander entfällt. Außerdem werden die Endgeräte beweglich (Ortsveränderung in Betriebspausen) oder gar mobil. Die ETSI strebt an, bis Ende 1994 einen Standard HIPERLAN zu entwickeln. Dafür sind Frequenzen im Bereich von 5,2 GHz und 17,1 GHz vorgesehen, vgl. Tab. 6.

Die dem Benutzer verfügbare maximale Datenrate hängt von der Entfernung der kommunizierenden Stationen ab. Bei kurzen Reichweiten bis zu etwa 50 m wird eine asynchrone Datenrate von 20 Mbit/s erreicht, bei einer Entfernung von 800 m soll eine Datenrate von 1 Mbit/s zur Verfügung gestellt werden. Für verbindungsorientierte Dienste, wie z.B. Videotelephonie, werden mindestens 64 kbit/s angeboten. Die maximale Datenrate entspricht dem ISDN Primärmultiplexanschluß mit 2048 kbit/s.

Die Zugriffsprotokolle für kabelgebundene LANs sind in IEEE 802 standardisiert. Um das Sicherungsprotokoll 802.2 Logical Link Control (LLC) auch bei wireless LANs weiterhin verwenden zu können, wird z. Z. das Projekt 802.11 bearbeitet. Dabei werden unterhalb des LLC-Protokolls die in Bild 11 gezeigten Protokolle für

unterschiedliche Frequenzen (Media 1 bis 4) entwickelt.

Die DLC (data link control) Schicht ist in drei Teilschichten aufgeteilt: 802.2 Control Sublayer, 802.10 Security and Integrity Sublayer und 802.11 (wireless) Media Access Control Sublayer. Eine genauere Spezifikation der Sublayer ist in den nächsten Jahren zu erwarten.

Mehrere europäische Großforschungsprojekte arbeiten an der Entwicklung von Mobilfunksystemen der 4. Generation, die auch Dienste des wireless LAN übernehmen können. Im RACE-Programm (Research and Development in Advanced Communications for Europe) arbeitet z.B. das MBS Projekt (Mobile Broadband System) an der Entwicklung eines, auch für gebäudeinterne Kommunikation geeigneten Funksystems, das B-ISDN Dienste mobilen Teilnehmern verfügbar macht. Dabei werden Datenraten von voraussichtlich bis zu 80 Mbit/s an der Funkschnittstelle zur Verfügung stehen.

Literatur

[BJLW 93] A. Böttcher, A. Jahn, E. Lutz, M. Werner: Zur Modellierung und Analyse von Kommunikationsnetzen mit niedrigfliegenden Satelliten. In: Kommunikation und verteilte Systeme, N. Gerner, H.G. Hegering, J. Swoboda (Hrsg.) München, Febr. 1993, Reihe: Informatik Aktuell, Springer Verlag Berlin, 1993, pp. 173-187

[Ca 91] M. Callendar: Standards for global personal communications services, Mobile Radio Conferenc MRC, Nov. 1991, Nice, France, pp. 229-234

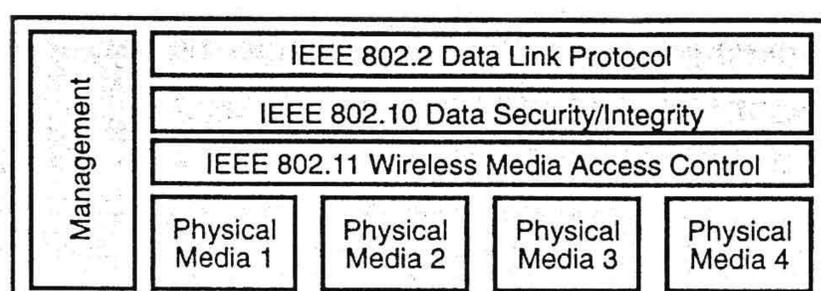
[Cay 92] G. Cayla: TETRA: The new digital professional mobile radio. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 113-118

[DECT] ETSI Draft prETS 300 175-4: Radio Equipment and Systems. Digital European Cordless Telecommunications Common Interface. Part 4: Data link control layer (DE/RES 3001-4), ETSI Secretariat: B.P. 152, F-06561 Valbonne Cedex, France, pp. 1-138

[DS 92] P. Dupless, P. Simmons: Towards a combined GSM 900 DCS 1800 System. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 89-92

[Fr 90] G.J.Freij et al.: Trunked mobile radio: Towards a pan-european digital standard. Proc. 40th Vehicular Technology Conference, Orlando, Florida, May 1990, pp. 317-322

Bild 11: ISO/OSI-Schicht 2 Protokolle für wireless LANs



- [Ha 92] S. Hansen: The standardization of UMTS in ETSI SMG5, Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 185-194
- [IsKr 90]: P. Iselt, G. Krüger: Pilotprojekt Bündelfunk. In: Neues von Rohde & Schwarz 128, Winter 1989/90 pp. 4-7
- [Ka 92] J. Karjalainen: WARC'92: Mobile and mobile satellite communication. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 15-20
- [Ke 93] H. Keinath: Digitale Betriebsfunknetze im privaten Mobilfunk. ITG Fachtagung Mobile Kommunikation, Sept. 1993, Neu-Ulm, VDE-Verlag 1993
- [Kl 89] R. Klingler: Die Entwicklung des öffentlichen Landmobilfunks, FIBA-Kongress Europäischer Mobilfunk, München, 21./22. Febr. 1989, S. 11-27
- [Lu 92] O. Lundberg: The development of personal mobile satellite communications. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 137-143
- [Ly 92] E. Lycksell: Network architectures for FPLMTS. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 203-212
- [MPT] Ministry of Post and Telecommunications, Department of Trade and Industry, Radiocommunications Division, UK, Febr. 1988: Standard MPT 1327, A Signalling Standard for trunked private land mobile radio systems; MPT 1343, Minimum performance requirements additional to MPT 1327 to be met by radio units used with commercial trunked mobile radio; MPT 1347, Radio interface specification for commercial trunked networks operating in Band III, Subband 2
- [Nü 91] K. Nübler: Modacom - The public packet mode mobile data service of the Deutsche Bundespost Telekom. Proc. MRC'91, Nice, France, Nov. 1991, pp. 192-200
- [Ör 92] A. Örtqvist: ERMES role in Europe. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 119-122
- [Pe 91] P. Pernsteiner: Bündelfunk in Deutschland, Funkschau Telecom, Band 4, Franzis Verlag 1991, München.
- [Ro 92] C. H. Rokitansky: Leistungsanalyse von zur Standardisierung vorgeschlagenen Protokollen für die Fahrzeug-Baken Kommunikation, ITG-Fachtagung Mobile Kommunikation, Sept. 1993, Neu-Ulm, VDE-Verlag Berlin 1993
- [SMJ 92] S. Salmela, S. Mäenpää, J. Lehmusvuori: Cordless access to GSM. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 93-98
- [Wa 92] B. Walke: Technik des Mobilfunks. In: J. Kruse (Hrsg.) Zellularer Mobilfunk, net Buch Telekommunikation, R.v.Deckers Verlag, G. Schenk, Heidelberg, 1992 S. 17-62
- [Wad92] P. Wade: Iridium: Global personal communications with a pocketphone. Proc. 5th Seminar on Digital Mobile Radio Communications, DMR V, December 1992, Helsinki, Finland, pp. 145-151