

Digitaler Bündel Betriebsfunk

Klaus Bäumer

Neben den öffentlichen Mobilfunknetzen gibt es eine Vielzahl von nicht-öffentlichen Funknetzen, die als Betriebsfunknetze von privaten Unternehmen sowie von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben betrieben werden.

Eine verbesserte technische Realisierung des „Betriebsfunks“ ist der sogenannte „Bündelfunk“. Er erlaubt die Übertragung von Sprache und Daten und begegnet uns in seiner analogen Variante beispielsweise im Taxi wenn es „piepst“ und an einem kleinen Display im Armaturenbereich eine Anzeige erscheint – vielleicht ein neuer Fahrauftrag. Umgekehrt meldet der Fahrer sein Fahrziel oder seinen Status – frei/besetzt – an die Zentrale.

Mittlerweile setzt sich mit „Tetra“ und „TetraPol“ die digitale Technik auch im Bündelfunkbereich durch. Der folgende Artikel gibt einen Überblick über die verschiedenen Techniken und Anwendungsbereiche.

Herkömmlicher Betriebsfunk

Betriebsfunknetze unterscheiden sich in mehreren Punkten von den öffentlichen Mobilfunknetzen. Sie versorgen eine begrenzte Anzahl von Teilnehmern in einem definierten geografischen Bereich. Die Gesprächsdauer ist vergleichsweise kurz, die Kommunikation findet häufig nur zwischen zwei festen Partnern statt, weitere Gruppenmitglieder müssen gegebenenfalls unmittelbar mithören können und eine Verzögerung durch den Verbindungsaufbau wie im öffentlichen Mobilfunkbereich ist oftmals nicht akzeptabel.

Auch unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten sind die Unterschiede klar. Öffentliche Mobilfunknetze gestalten ihr Tarifsysteem gewinnmaximierend und nicht kostenorientiert. Je höher der Kundennutzen, um so teurer der Dienst. Das Angebot wird nicht bedarfsdeckend sondern bedarfsweckend ausgerichtet. Aus Nutzersicht stellen sich die Tarife als Fixkosten (Grundgebühren, Gerätekosten) und variable Kosten (Gesprächsdauer, Gesprächszeit, Dienstetyp) dar.

Im (firmeneigenen) Betriebsfunkbereich werden Angebot (Kommunikationsdienste) und Technik genauer dem tatsächlichen Bedarf angepasst. Ziel ist ein optimales Nutzen-Kosten-Verhältnis. Die Kosten bestehen überwiegend aus fixen Anteilen, dies erleichtert die innerbetriebliche Kostenplanung und Kostenrechnung.

Die Anforderungen im Betriebsfunk sind sehr unterschiedlich. Sie reichen von einfachen Sprechfunkverbindungen zwischen zwei Teilnehmern mit Handfunkgeräten bis zu großen Betriebsfunknetzen von Flughäfen, Nahverkehrsunternehmen und – als Spezialfall mit besonderen Anforderungen – den Funknetzen der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) wie Polizei, BGS, Feuerwehr und Hilfsorganisationen.

Starre Frequenz-/Kanalzuordnung, d.h. unökonomische Nutzung des Frequenzspektrums, unbefugte Mit-

funk – der moderne

hörmöglichkeit und für die betrieblichen Prozesse notwendige aber fehlende Zusatzdienste bilden die Hauptnachteile des herkömmlichen Betriebsfunks.

Analoger Bündelfunk

Das Bündelfunkprinzip ist eine Weiterentwicklung des einfachen Betriebsfunks. *Analoge Bündelfunksysteme* wurden Ende der achtziger Jahre entwickelt. Die dominierenden Standards MPT 1327/1343 stammen in ihren Grundlagen aus dem britischen Handels- u. Industrieministerium. Ausgehend von der durchweg kürzeren Gesprächsdauer im Betriebsfunkbereich bauen sie auf einer *dynamischen Zuweisung von Kommunikationskanälen* und einer flexibleren Bildung von Nutzergruppen auf. Die dadurch erzielte bessere Ausnutzung des genutzten Frequenzbereiches wird Bündelgewinn genannt.

Ein Bündelfunksystem besteht aus mehreren analog modulierten *Sprachkanälen*, einem oder mehreren *Organisationskanälen*, der Funk-Infrastruktur und einem rechnergestützten Verbindungsmanagement.

Jedem Gerät ist eine Kennung/Rufnummer zugeordnet. Bei einem Gesprächswunsch erhalten die beteiligten Teilnehmer für die Dauer des Gesprächs einen Nutzkanal aus dem Kanalbündel exklusiv zugeordnet. Kennungsaustausch, Kanalzuweisung und andere Signalisierungsinformationen werden über den Organisationskanal übertragen. Die starre Kopplung zwischen Funkkanälen und Nutzergruppen existiert nicht mehr. Freie Kanäle werden den nächsten Gesprächswünschen zugeordnet. Übersteigt deren Anzahl die der Kanäle, dann werden die Gesprächswünsche in eine *Warteschlange* aufgenommen und bei gleicher Priorität nach der zeitlichen Reihenfolge des Auftretens bedient.

Der analoge Bündelfunk nutzt die Frequenzbereiche 410-430 MHz (öffentliche Netze) und 450-470 MHz (private Netze). Einem Gespräch werden 2 Frequen-

zen, also ein Kanalpaar für beide Verbindungsrichtungen zugeordnet.

Features

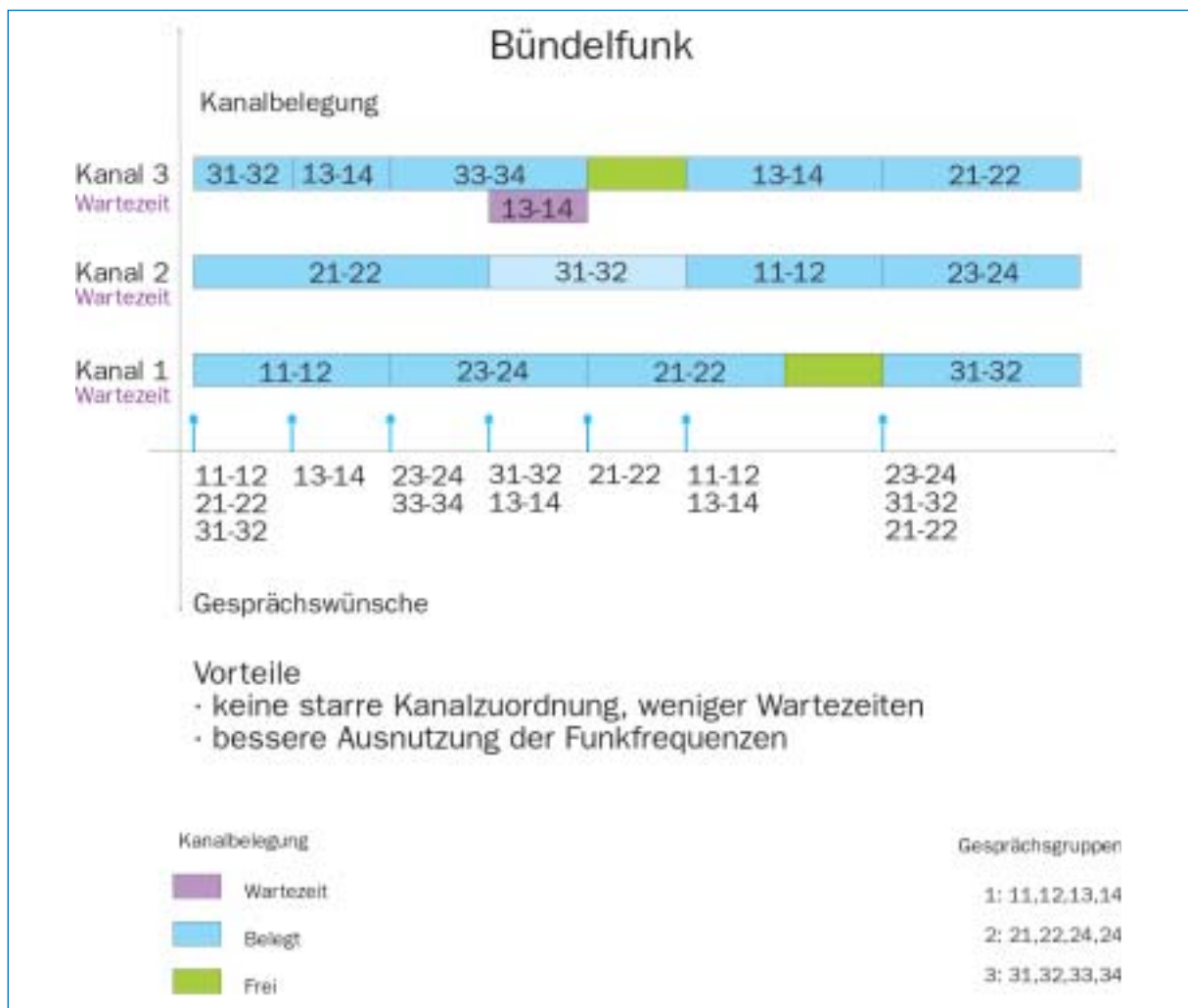
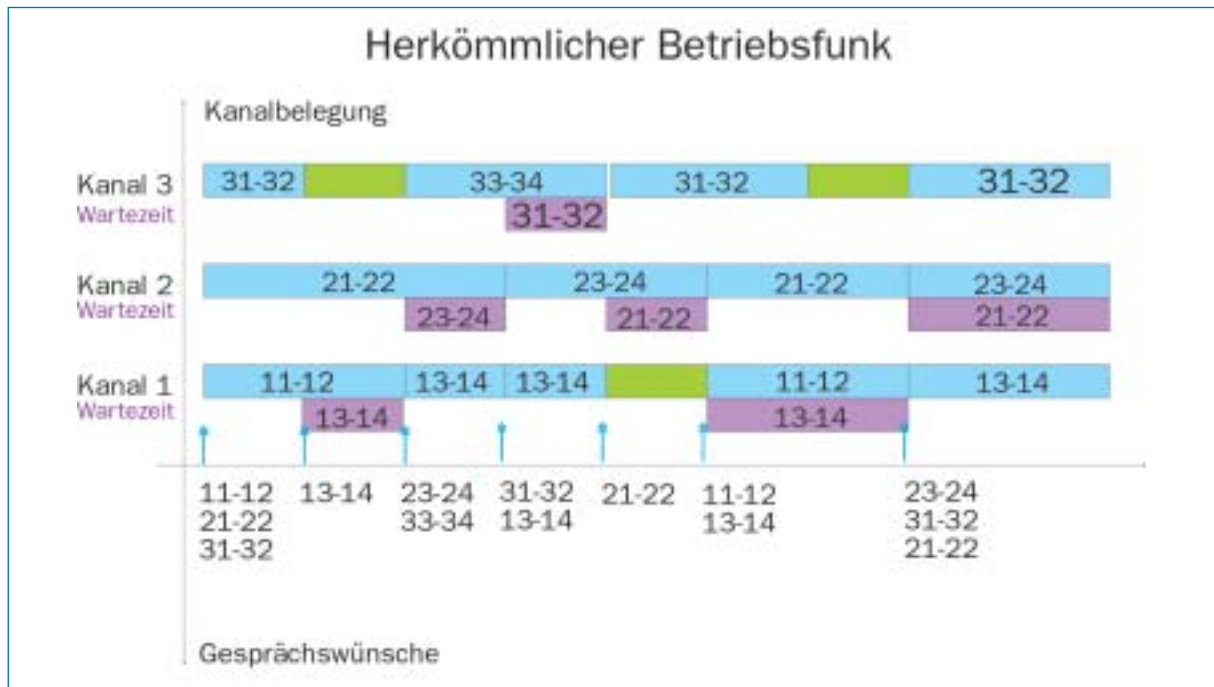
Das rechnergestützte Netz- u. Vermittlungsmanagement ermöglicht Dienste und Leistungsmerkmale, welche die betrieblich-logistischen Prozesse eines Unternehmens besser unterstützen:

- Direktruf ohne Wahl (voreingestellte Rufnummer, PTT, push-to-talk)
- Offener Gruppenkanal wie im herkömmlichen Betriebsfunk
- Gruppenruf
- Kurzurufnummer
- Geschlossene Benutzergruppen
- Statusmeldungen
- Mobile Datenübertragung in Nutz- u. Organisationskanälen
- Vermittelte Verbindung zu anderen Bündelfunkteilnehmern (Wählverbindung)
- Verbindungen ins Telefonnetz

Angebot und Nutzung

Bündelfunksysteme sind lizenzpflichtig, können aber in Eigenregie betrieben werden. Dies bietet sich bei großen Unternehmen an. Für kleinere Firmen oder bei einem größeren Aktionsradius von 50 km und mehr kann als Alternative das öffentliche Angebot eines Bündelfunknetzbetreibers genutzt werden. Er richtet für jeden Kunden eine geschlossene Benutzergruppe ein. Die Tarifierung erfolgt meist auf der Basis von monatlichen Festpreisen. Für Gespräche fallen keine Kosten an, lediglich Zusatzleistungen wie Datenübertragung, Gespräche in andere Funkzellen oder in das Telefonnetz werden gesondert berechnet.

In Eigenregie betriebene Bündelfunknetze bieten einen klaren Kostenvorteil, dieses Marktsegment hat sich entsprechend erfolgreich entwickelt. Im Gegen-



Funkschnittstelle		
	Tetra	Tetrapol
Kanalraster	25 kHz	12,5 kHz
Kanalzugriffsverfahren	TDMA	FDMA
Modulation	GMSK	GMSK
Netzstruktur	zellular Gleichwellenfunk*	zellular Gleichwellenfunk
Betriebsarten	semi-duplexduplexsimplex (direct mode)	semi-duplexduplex*simplex (direct mode)
Sprachkodierung	A-CELP	RP-CELP
Spektumseffizienz pro Zelle	50 Bit/(sec-kHz)	43 Bit/(sec-kHz)
Sendeleistung Basisstation je Trägerfrequenz	25 W ERP	25 W ERP
Sendeleistung	1,2,10 W	1,2,10 W
Mobilgeräte	adaptive Leistungsregelung	
Reichweite	Stadt: 4,5 km Land: 14 km	Stadt: 6 km Land: 20 km
Frequenzbereiche (Europa, Bündelfunk)	385-390 und 395-399 MHz 410-430 MHz 450-470MHz 870-876 und 915-921 MHz	

* mit Einschränkungen oder erhöhtem Aufwand

satz dazu bleibt der Markt für öffentlich angebotene Bündelfunkleistungen hinter den Erwartungen zurück. Öffentliche Mobilfunknetze bilden hier mittlerweile eine starke Konkurrenz. Der herkömmliche Mobilfunkmarkt ist in der Sättigungsphase und die Mobilfunkbetreiber sehen im Marktsegment Betriebsfunk/geschlossene Benutzergruppen mit hoher Mobilität noch Wachstumsperspektiven und erweitern ihr Angebot um entsprechende Leistungsmerkmale.

Die Einsatzmöglichkeiten haben ihren Schwerpunkt in logistisch-organisatorischen Bereichen:

- Flottenmanagement bei Verkehrsbetrieben, Taxi- und Transportunternehmen
- Personal- und Einsatzmanagement in der Industrie
- Datenübertragung zur Fernwartung von Anlagen

Digitaler Bündelfunk

Anfang der neunziger Jahre begann man auf europäischer Ebene bei ETSI (European Telecommunications Standards Institute) mit der Entwicklung eines Standards für einen digitalen zellularen Bündelfunk. Zwei Vorschläge, Tetra 12 und Tetra 25 (Terrestrial trunked radio, 12,5 kHz und 25 kHz Kanalbreite), kamen in

die engere Wahl. Aus Tetra 25 wurde der ETSI-Standard „Tetra“.

EADS (vormals Matra, AEG) entwickelte daraufhin in Eigeninitiative aus Tetra 12 den Industriestandard „Tetrapol“, um eine spezielle Lösung für die Anforderungen von Sicherheitsorganisationen anbieten zu können.

Beide Lösungen vereinen die Vorteile des Bündelfunkprinzips mit denen eines digitalen Mobilfunks:

- Bessere Frequenzökonomie
- Bessere Übertragungsqualität bei Sprache und Daten
- Höhere Abhörsicherheit
- Flexibles Netz- und Verbindungsmanagement

Technisch unterscheiden sich beide Systeme vor allem in der Luftschnittstelle. Tetra benutzt als Zugriffsverfahren TDMA (Time Division Multiple Access), Tetrapol FDMA (Frequency Division Multiple Access).

Tetrapol kann deshalb bei geringerem Verkehr Gleichwellenfunknetze für einen großen Abdeckungsbereich mit guter Ausleuchtung einfacher realisieren. Zudem ist bei Zellulernetzen im Vergleich zu Tetra die Anzahl der Basisstationen geringer.

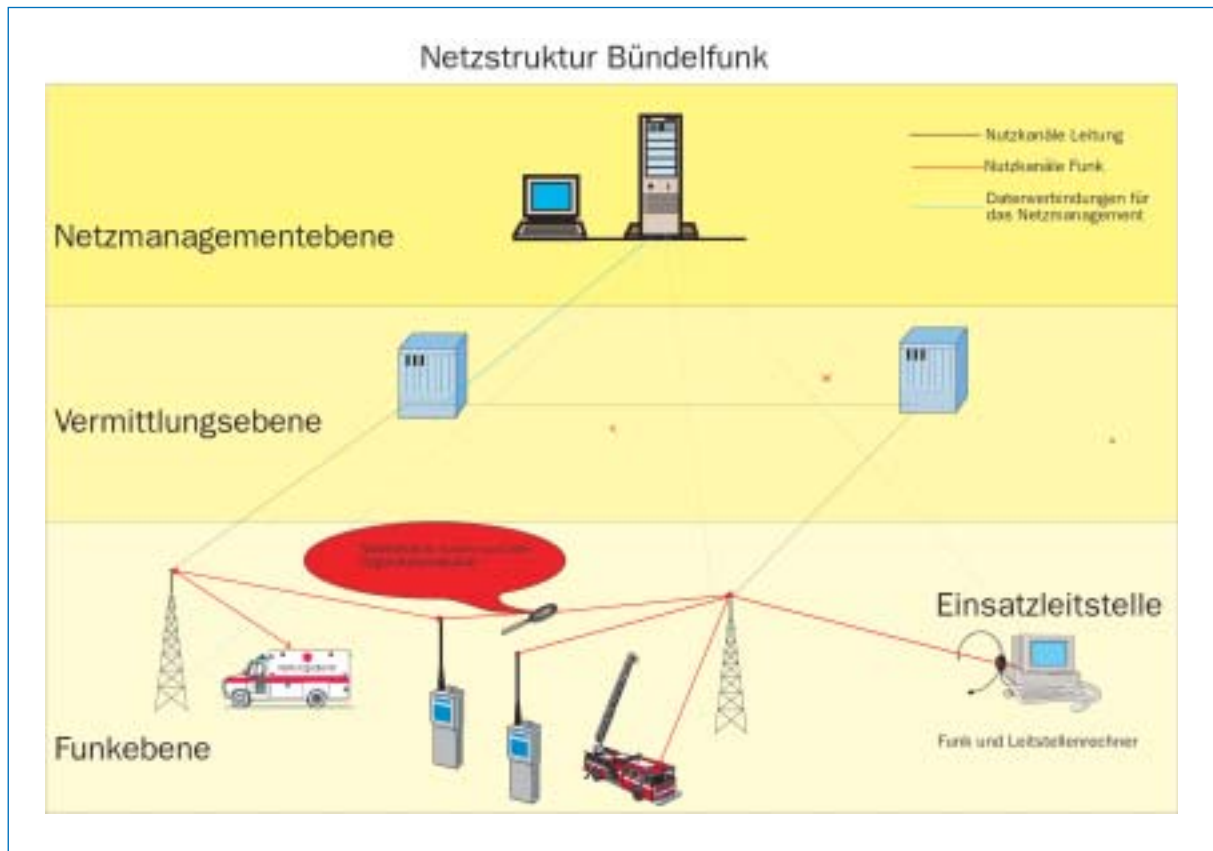


Abbildung 2: Funkebene, Vermittlungsebene, Netzmanagementebene

Tetra bietet neben einer höheren verbindungsorientierten Datenübertragungsrate den energiesparenden Vorteil, dass die Sendeleistung der Mobilgeräte - wie bei GSM - so geregelt wird, dass an der empfangenden Basisstation nur ein gerade ausreichender Signalpegel ankommt.

Speziell das Tetra-System wird - aufgrund der für TDMA typischen gepulsten Strukturen im Senderspektrum - momentan mit Fragen nach den gesundheitlichen Risiken konfrontiert.

Im Funkbereich werden verschiedene Betriebsarten benutzt (siehe Abbildung 3).

Das Spektrum der realisierten Dienste- und Leistungsmerkmale orientiert sich an den Anforderungen der professionellen Anwender. Viele von ihnen gehören zu den von ETSI festgelegten „Advanced Speech Call Items“ (ASCI). Neben den bereits im analogen Bündelfunk realisierten Features ermöglichen digitale Bündelfunksysteme u.a.

- Ende-zu-Ende-Verschlüsselung auf den Nutzkanälen
- IP-basierte, paketorientierte Datenübertragung
- Dynamische Untergruppenbildung
- Hand-over und Roaming (Wechsel und Anmeldung in Nachbarzellen)
- AVL-Funktionen (automatic vehicle location), die mit GPS-Unterstützung und in Verbindung mit einer entsprechenden Leitstellentechnik ein besseres Flottenmanagement erlauben
- Gateways zu anderen Kommunikationsdiensten (u.a. Tetra-Tetrapol)

Aus den speziellen Anforderungen der Sicherheitsdienste sind die folgenden Merkmale entstanden

- Verbindungsaufbau in weniger als 0,5 sec
- Notrufe
- Rufprioritäten mit 7 Stufen
- Aktive und passive Alarmierung (mit und ohne Rückmeldung)

- Direktmodus ohne Netzinfrastruktur (Funkgerät zu Funkgerät)
- Unbemerkte Mithörmöglichkeit im Notfall

Praxis

In Deutschland sind schon mehrere digitale Bündelfunksysteme in Betrieb oder im Aufbau, beispielsweise

- Stadtwerke Münster, Flughafen Köln/Bonn (Tetra),
- Audi, BMW, Flughafen Berlin Tegel (Tetrapol).

Die Berliner Verkehrsbetriebe scheinen besonders weise zu agieren. Die Linienbusse nutzen Tetrapol, die U-Bahn arbeitet mit Tetra und die Straßenbahn kommuniziert weiterhin über ein analoges Betriebsfunksystem.

Beide Systeme stehen zukünftig in verstärkter Konkurrenz zu GSM. Die Implementierung der ASCII-Features in die GSM-Systemtechnik ermöglicht es den Mobilfunkbetreibern, maßgeschneiderte Lösungen für den Betriebsfunkbereich anzubieten. Für die Eisenbahnen wurde GSM-R (Railway) und für die Sicherheitsdienste GSM-BOS entwickelt.

BOS-Funk

Die deutschen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) betreiben bis heute ein funktechnisches System, das Anfang der fünfziger Jahre eingeführt wurde. Lediglich die Kanalrasterfrequenz wurde Anfang der siebziger Jahre geändert. Das System wird den heutigen Anforderungen hinsichtlich Datenschutz und Datensicherheit nicht mehr (auch nicht ansatzweise) gerecht. Mit einem Funkscanner oder einem leicht modifizierten FM-Radio lassen sich die BOS-Funkverkehrskreise und damit personenbezogene Daten und einsatztaktische Maßnahmen problemlos abhören. Bei den Polizeibehörden ist es mittlerweile Usus, dass die Beamten in bestimmten Situationen die Kommunikation über ihre privaten Mobilfunkgeräte abwickeln. Funklöcher, mangelhafte Sprachqualität und die dem herkömmlichen Betriebsfunk anhaftende mangelhafte Flexibilität erschweren unnötig die Arbeit der Einsatzkräfte.

Seit Jahren versucht man auf Bundes- und Länderebene eine Einigung auf ein neues bundesweit einheitliches System herbeizuführen. Die Einführung des analogen Bündelfunks hat man – im Gegensatz zu anderen Staaten – bereits nicht zustande gebracht. Zur Zeit wird nach einem Beschluss der Bundesregie-

Bündelfunk

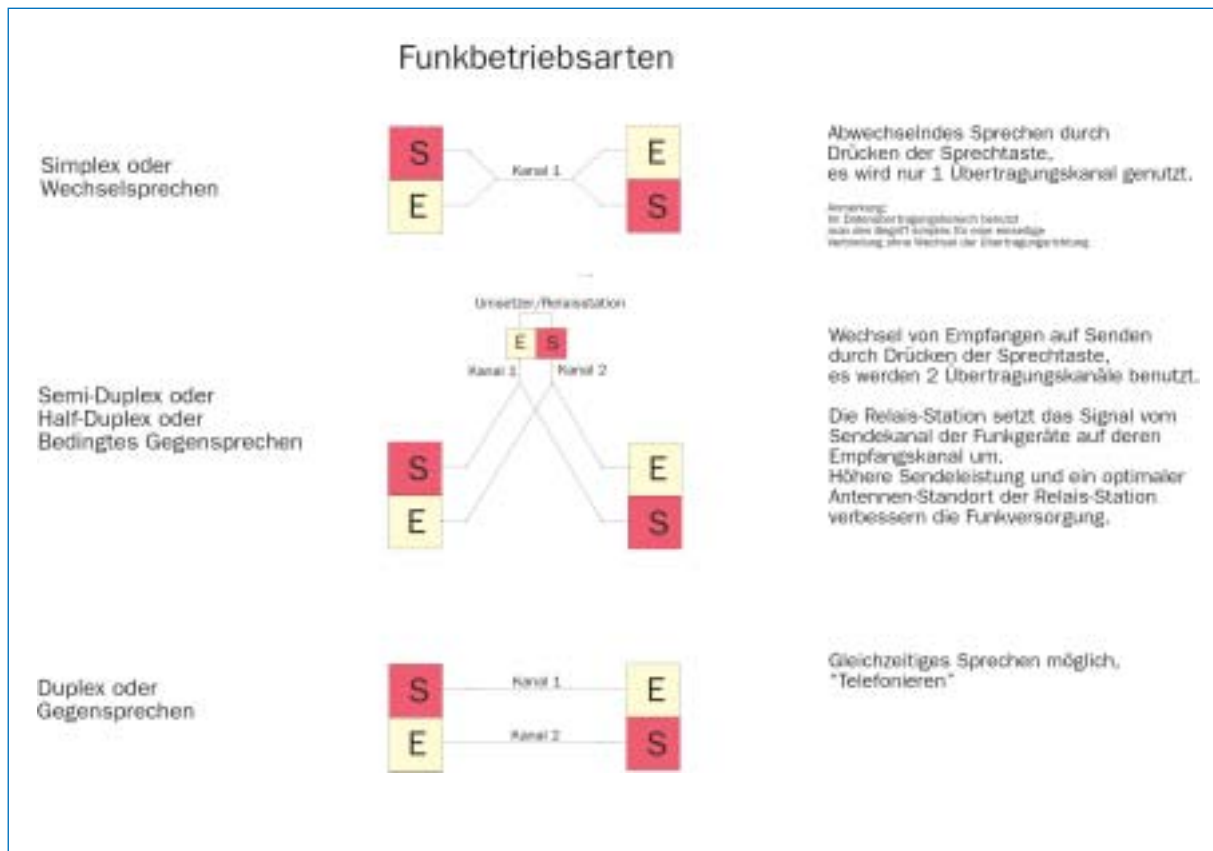


Abbildung 3: Erläuterungen Betriebsarten, Simplex (Wechselsprechen), Semiduplex (bedingtes Gegensprechen), Duplex (Gegensprechen)

rung aus dem Jahr 2002 der Wechsel zum digitalen Bündelfunk angestrebt. Bund und Länder streiten sich jedoch um die Finanzierung. Die ursprünglichen Planungen, bis zur Weltmeisterschaft 2006 ein einheitliches System flächendeckend eingeführt zu haben, sind bereits hinfällig. Ob Tetrapol (EADS), Tetra (Motorola et al.) oder GSM-BOS (Vodafone) zum Zuge kommt, ist noch nicht entschieden. Die Kosten werden dabei eine entscheidende Rolle spielen. Die bisher in der Öffentlichkeit bekannt gewordenen Zahlen – die Spannweite geht von ca. 2 bis 7 Mrd. Euro – lassen sich jedoch kaum vergleichen. Eine klare Aufgliederung in Investitions- und Betriebskosten bei gleichem Abdeckungsgrad und gleichem Leistungsspektrum fehlt.

Komödie oder Tragödie – die Folgerung, dass die tatsächliche Sicherheitslage angesichts des beschaulichen Pokerspiels zwischen Bund, Ländern und Anbie-

tern entspannter ist als von der Politik dargestellt, ist natürlich nicht statthaft.

Schaut man ins benachbarte Ausland, dann ergibt sich ein zweigeteiltes Bild. In Großbritannien, Belgien, den Niederlanden, den skandinavischen Ländern und Polen kommt „Tetra“ zum Zuge. In Frankreich und Spanien hat man sich für „Tetrapol“ entschieden, die französischen Netze „Rubis“ (Gendarmerie) und Acropol (Police Nationale) beispielsweise wurden bereits Mitte der 90er Jahre errichtet. Die Schweiz hat mit „Polycom“ auf Tetrapol-Basis einen vollständig integrierten Ansatz verfolgt. Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste, Zivilschutz, Militär und kommunale Dienste nutzen eine gemeinsame Plattform und die damit verbundenen einsatztaktischen Vorteile. Ein ähnlich umfassender Ansatz auf Tetrapol-Basis wird auch in Tschechien realisiert. Ob eine Lösung auf

GSM-BOS-Basis zum Zuge kommen könnte, wird zur Zeit besonders kontrovers diskutiert.

Kritiker führen an, dass man im internationalen Umfeld eine Insellösung schaffen würde. Die zu nutzende Infrastruktur eines öffentlichen Mobilfunknetzes würde ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen zudem nicht den BOS-Sicherheitsanforderungen (Schutz vor Anschlügen und Manipulation, Stromversorgung) entsprechen. Eine Vielzahl von notwendigen Features wie kurzer Verbindungsaufbau, Direktmodus, Funkverkehrskreise mit großen Teilnehmerzahlen und Abwehr von Abhörversuchen seien noch nicht oder bisher nur unzureichend realisiert. Außerdem sei es unter sicherheitsstrategischen Aspekten fragwürdig, ob man sich in eine Abhängigkeit von einem kommerziell orientierten Netzbetreiber begeben sollte.

Befürworter – auch aus Kreisen der zukünftigen Nutzer – halten dagegen. Ein erster Feldversuch im Raum Würzburg sei – zumindest für die Belange von Feuerwehr und Rettungsdienst – vielversprechend verlaufen. Es gäbe ausreichende technische Lösungsvorschläge, um die o.a. Features realisieren zu können. Die Fragestellungen hinsichtlich der kommerziellen und sicherheitsrelevanten Abhängigkeit seien durch die Gründung eines eigenständigen Tochterunternehmens lösbar. Zudem würde sich eine ähnliche Situation zumindest in kommerzieller Hinsicht auch im Falle von Tetrapol ergeben, da EADS hier eine Quasi-Monopolstellung als Lieferant hätte.

Egal welches System zum Zuge kommt, bei grenzüberschreitenden Einsätzen – oder Alleingängen einzelner Bundesländer bei der Systemauswahl – kann es vorkommen, dass die Einsatzkräfte vor Ort unterschiedliche Systeme benutzen. Für solche Fälle müssten auf jeden Fall Endgeräte mit Dual-Mode-Funktionalitäten (z. B. „Tetrapol und GSM-BOS“) zur Verfügung stehen, denn eine zentrale Gateway-Funktion zur Umsetzung reicht nicht aus. In Notfällen (Netzausfall, Einsatz in Gebäuden) muss ein direkter Kontakt zwischen den Funkgeräten möglich sein. Tetra zu Tetrapol, Tetrapol zu GSM-BOS, GSM-BOS zu Tetra und natürlich vice versa. Und für eine Übergangszeit wird man auch Verbindungen ins analoge BOS-Funknetz benötigen.

Vielleicht wird es ja Funkgeräte geben, in die alle Systeme implementiert wurden – High-Tech macht's möglich. Aber hoffentlich werden sie nicht zu groß.

Infos und Quellen:

- www.bakom.ch/de/telekommunikation/forschung/
- www.funkschau.de/heftarchiv/index.htm
- www.net-im-web.de/archiv/index.html
- www.tetrapol.com(Tetrapol)
- www.siemens.ch/ (Tetrapol)
- www.eads.net(Tetrapol)
- www.tetramou.com(Tetra)
- www.motorola.com (Tetra)
- www.nokia.de (Tetra)
- www.vodafone.de (GSM-BOS)
- www.ssk.de
- www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/index.htm
- www.iwi.uni-hannover.de/lv/seminar_ss04/www/Martin_Bretschneider/xhtml/index.html

Glossar:

- ASCI Advanced Speech Call Items, weitergehende/verbesserte Zusatzdienste für die Sprachkommunikation im Mobilfunkbereich
- AVL Automatic vehicle location – automatisierte Fahrzeugortung
- BOS **B**ehörden und **O**rganisationen mit **S**icherheitsaufgaben, Polizei, BGS, Feuerwehr, Zoll etc. und Hilfsorganisationen wie ASB, DRK, JUH, MHD, THW
- Bündelfunk
Funkbetriebsverfahren, bei dem Übertragungskanäle dynamisch nach Bedarf zugeordnet werden und geschlossene Benutzergruppen definiert werden können.
- FDMA Frequency division multiple access-Frequenzvielfachzugriffsverfahren, mehrere Sprachkanäle werden auf mehreren Frequenzen übertragen.
- GPS **G**lobal **P**ositioning **S**ystem, satellitengestütztes Verfahren zur Positionsbestimmung
- GSM **G**lobal **S**ystem for **M**obile Communication – Funksystem speziell für öffentliche Mobilfunknetze
- PTT **P**ush **t**o **t**alk – “(Sprechtaste) drücken um zu sprechen”, Funkbetriebsverfahren, bei dem ein, zwei oder mehrere Funkgeräte immer nur einen voreingestellten Übertragungskanal benutzen. Jeder kann jeden hören, ein Wahlvorgang findet nicht statt.
- TDMA Time division multiple access- Zeitvielfachzugriffsverfahren, mehrere Sprachkanäle werden auf einer Frequenz zeitlich hintereinander übertragen.
- Tetra, Tetrapol
Terrestrial **t**runked **r**adio- terrestrischer (digitaler) Bündelfunk

Dipl.-Ing. Klaus Bäumer, Deutsche Telekom AG