

GSM-R

ein digitales Funknetz für die europäischen Eisenbahnen¹

P. H. Fischer²

Für die Interoperabilität der europäischen Bahnnetze ist auch ein für Europa einheitliches Funk-Kommunikationssystem erforderlich. Die europäischen Bahnen haben sich für GSM als Basis für ein solches System entschieden, der entsprechende Standard ist GSM-R. Für diesen Standard wurden, zusätzlich zu den bekannten GSM-Diensten, neue Funktionalitäten spezifiziert. Der Standard wurde in Testnetzen erprobt. Die ersten kommerziellen Netze werden 2000 in Betrieb gehen.

Schlüsselwörter: GSM; GSM-R; Bahnkommunikation; Zugfunk; Verschubfunk; Hochgeschwindigkeitszüge

GSM-R - a digital radio network for the European railways. For the interoperability of the European high speed railway networks a common radio communication platform is necessary. The European railway operators decided to use GSM as a platform for this new radio system. The newly defined standard is called GSM-R. In addition to the well known GSM features new functionalities had to be specified. Trial networks were built and the standard was tested in these networks. The first commercial Operation of GSM-R is expected in 2000.

Keywords: GSM; GSM-R; railway communication; train radio; shunting radio; high speed railway networks

1. Einleitung

Die Beschleunigung des internationalen Zugverkehrs ist ein vordringliches Anliegen der europäischen Eisenbahnbetreiber. Entscheidende technische Voraussetzung zum Realisieren dieses zukunftsweisenden Schritts ist allerdings ein einheitliches Funk-Kommunikationsnetz. Die europäischen Bahnen haben sich für GSM als jenes Funksystem entschieden, das einheitliche mobile Kommunikation im grenzübergreifenden Bahnverkehr in naher Zukunft garantiert.

Auf GSM basierend, wurde der GSM-R-Standard realisiert (R für Railway). Erste Versuchnetze sind bereits in Deutschland, Frankreich und Italien im Einsatz. Die ersten kommerziellen Netze werden noch im Jahr 1999 in Betrieb gehen.

Bis zum Jahr 2005 soll der gesamte Funkverkehr der europäischen Bahnen über GSM-R abgewickelt werden.

¹ Nach einem Hauptvortrag, gehalten anlässlich der Informationstagung Mikroelektronik ME 99 am 29. September 1999 im Rahmen der viert 99.

² Dipl.-Ing. Peter H. Fischer, Kapsch AG, ECCN, Pottendorfer Straße 19, A-1120 Wien.

2. Derzeitige Situation

Derzeit herrscht noch babylonische Verwirrung im europäischen Bahnfunkverkehr. Zwar basieren die meisten der eingesetzten Funksysteme auf der UIC-Empfehlung 751 für Zugfunk, allerdings läßt diese Empfehlung drei verschiedene Varianten zu, die untereinander nicht kompatibel sind. Nationale Zusätze wie etwa Frequenzumschaltung zwischen den einzelnen Basisstationen über Bakensender erschweren den harmonischen Funkverkehr untereinander.

Nur einige wenige Länder betreiben kompatible Funknetze, so z.B. Deutschland, Österreich, die Slowakei, Slowenien und Ungarn.

Demgegenüber benötigen die sogenannten Thalys-Züge, die zwischen Frankreich, Belgien, Holland und Deutschland verkehren, spezielle Zugfunkgeräte. Diese PBKA-Funkanlagen (Paris-Brüssel-Köln-Amsterdam) beherrschen insgesamt vier verschiedene Funksysteme und führen darüber hinaus auch noch neun (!) unterschiedliche Sicherheitssysteme an Bord. Die derzeit eingesetzte Zugfunksysteme werden für die Verbindung vom Dispatcher, dem für einen bestimmten Streckenabschnitt zuständigen Disponenten, und dem Lokführer verwendet. Zwar sind eingeschränkt auch Verbindungen zum Schaffner oder in das Festnetz der Bahnen möglich, meist müssen diese Verbindungen aber vom Lokführer und/oder vom Disponenten handvermittelt werden.

Dem nicht genug: Die Eisenbahnen setzen noch weitere Funksysteme wie Vershub- oder Rangierfunk, aber auch Bündelnetzsysteme ein. Auch diese Systeme sind untereinander nicht kompatibel. Verbindungen zwischen den einzelnen Netzen sind nur eingeschränkt, wenn überhaupt, möglich. Ein internationaler Zugverkehr durch ganz Europa und der freie Zugang zu den Bahnnetzen für neue Zugbetreiber ist vor diesem Hintergrund nur schwer realisierbar.

Da nationale Märkte nur eine begrenzte Stückzahl benötigen, sind die Kosten für Funkausrüstungen relativ hoch.

3. Forderungen an ein zukünftiges System

Um den uneingeschränkten transeuropäischen Zugverkehr zu forcieren, wurde von der EU-Kommission durch die Directive 96/48 On Interoperability of High Speed Railway Networks die Einführung eines interoperablen Funksystems zumindest indirekt gefordert. Dieses System setzt nicht generell digitalen Bahnfunk voraus, soll aber alle bekannten Funksysteme der Bahnen ersetzen und in die bestehende Kommunikationsinfrastruktur der Betreiber voll integrierbar sein.

Alle von modernen Kommunikationsnetzen angebotenen Dienste müssen vom neuen Funknetz der Bahnen unterstützt werden. Weitere wichtige Leistungsmerkmale, wie etwa die Personal Mobile Radio-(PMR-) Funktionalitäten Sammelruf, Gruppenruf und Prioritätensteuerung für Rufe, sind vom Netz zur Verfügung zu stellen. Dazu kommen noch notwendige eisenbahnspezifische Funktionen wie z.B. funktionale und ortsabhängige Adressierung.

Zu berücksichtigen sind auch die - verglichen mit einem normalen Kommunikationsnetz - extrem hohen Forderungen an die Verfügbarkeit des Netzes (bis zu 99,9985 % für automatische Funk-Zug-Steuerung). Die Verbindungsaufbauzeiten für Rufe mit hoher Priorität müs-

sen, unabhängig von der geographischen Position der Teilnehmer, unter einer Sekunde liegen.

Absicherungen des Netzes gegen Fremdzugriff und Abhören gehören zu den wesentlichen Netzstandards, ebenso wie internationales Roaming der Teilnehmer.

Keines der bekannten Mobiltelefon- und PMR-Netze bietet a priori alle diese Möglichkeiten. Eines war von vornherein klar: Welcher Standard auch immer als Basis für das zukünftige Funknetz der Bahnen den Vorzug bekäme, zusätzliche funktionelle Einrichtungen und Adaptierungen würden unentbehrlich sein.

In einer von 1992 bis 1993 durchgeführten Studie hat die UIC, der Verband der internationalen Eisenbahnen, die beiden Systeme GSM und TETRA miteinander verglichen. Die Entscheidung für GSM-R als Basissystem fiel 1993. Ausschlaggebend war vor allem der höhere Entwicklungsreifeegrad von GSM.

4. Frequenzzuweisung

Voraussetzung für ein international geschlossenes Funkssystem ist ein einheitliches Frequenzband für ganz Europa. Für die UIC und damit für GSM-R wurde das Frequenzband 876 MHz bis 880 MHz und 921 MHz bis 925 MHz für den EU-Raum reserviert.

Damit stehen 20 Kanäle für GSM-R zur Verfügung. Unter der Annahme, das im Durchschnitt eine Frequenz bei jeder zehnten Basisstation wiederholt werden kann und jeder Kanal acht Zeitschlitz hat, stehen pro Station 15 Zeitschlitz für Benutzerdaten und ein Zeitschlitz für den Signalisierungskanal, den sogenannten BCCH, zur Verfügung.

Diese Kapazität ist für normalen Bahnbetrieb in jedem Fall ausreichend. Bei Bedarf kann dieses Angebot an Verkehrskanälen auf 30 Channels erweitert werden. Sogenannte Half Rate Channels, die nur jeden zweiten Zeitschlitz verwenden, gewährleisten diese Kapazitätserweiterung.

Vorteil für Gebiete mit geringem Verkehrsaufkommen Alle Endgeräte für GSM-R müssen das gesamte Frequenzband für GSM-R 900 abdecken. D.h., diese Geräte können auch in den öffentlichen GSM-Netzen - entsprechende Roamingabkommen vorausgesetzt - betrieben werden. Damit steht den Bahnen bei Netzausfall das öffentliche Netz als Rückfallebene zur Verfügung. Ein Vorteil für Bahnlinien in Gebieten mit geringem Verkehrsaufkommen besteht darin, das für sie auf die Errichtung eines eigenen Netzes verzichtet und statt dessen ein öffentliches GSM-Netz verwendet werden kann.

Für die Entwicklung eines GSM-R-Geräts stellt dieser erweiterte Frequenzbereich allerdings ein Problem dar. Durch den geringen Abstand von nur 6 MHz zwischen Empfangs- und Sendeband sind die Anforderungen an die Filter des Geräts sehr hoch. Eine Störung des Empfängers durch den eigenen Sender ist zwar ausgeschlossen, da die Endgeräte zu verschiedenen Zeitpunkten empfangen und senden, es ist aber ein Schutz vor den Trägern benachbarter Mobilstationen nötig.

5. Neue Funktionalitäten für GSM-R

Für den Bahnfunkbetrieb ist eine Reihe neuer Funktionalitäten erforderlich. Diese Funktionalitäten wurden völlig neu für den Bahnbetrieb spezifiziert. Prototypen, die diesen Spezifikationen entsprechen, wurden im Projekt MORANE entwickelt und erfolgreich getestet.

Es kann dabei zwischen folgenden Typen neuer Funktionalitäten unterschieden werden:

1. Funktionalitäten, die von ETSI (European Telecommunication Standards Institute) für GSM-R spezifiziert wurden. Diese Funktionen sind in die normalen GSM-Standards integriert worden und können bei Bedarf einfach in öffentliche Netze eingebaut werden.
2. Funktionalitäten, die innerhalb des Projektes MORANE spezifiziert wurden. Diese verwenden GSM-Trägerdienste als Übertragungsmedium. Sie stellen aus der Sicht des GSM-Netzes reine Datenanwendungen dar. Diese Dienste waren zwar ursprünglich nicht für den Einsatz in öffentlichen GSM-Netzen vorgesehen, geplant ist aber, diese Dienste nachträglich in die GSM-Standards einzubauen und somit auch für öffentliche Netze verfügbar zu machen.

5.1 Neue Funktionalitäten im ETSI-GSM-Standard

Die bei ETSI für GSM-R spezifizierten Dienste sind unter dem Namen Advanced Speech Call Items (ASCI) bekannt. Dies umfaßt vier neue Funktionalitäten, die nachfolgend genauer erläutert werden. Obwohl die technischen Voraussetzungen dafür gegeben wären, sind derzeit keine Pläne bekannt, ASCI in öffentlichen Netzen einzuführen.

Einen weiteren wichtigen Dienst für die Eisenbahnen bietet GPRS - General Packet Radio Service. Dieser Dienst wird ab dem Jahr 2000 auch in öffentliche Netze eingebaut werden. Möglich wird dadurch eine gemeinsame Nutzung eines Datenkanals durch mehrere Benutzer im Zeitmultiplex.

5.1.1 Sammelruf— Voice Broadcast Service -VBS

Funktionalität

Ein Teilnehmer baut eine Verbindung zu allen Mitgliedern einer vordefinierten Gruppe auf. Alle Mitglieder der Gruppe hören die Durchsage, es besteht für die gerufenen Gruppenmitglieder keine Möglichkeit, direkt auf den Ruf zu antworten.

Anwendung

VBS wird für Notrufe verwendet, bei denen es darauf ankommt, so schnell wie möglich eine Durchsage an einen vordefinierten Benutzerkreis zu machen. Diese Rufe besitzen höchste Priorität, deshalb wird der Empfang eines solchen Rufs automatisch bestätigt. (Siehe Confirmation of High Priority Calls.)

5.1.2 Gruppenruf— Voice Group Call Service, VGCS

Funktionalität

Genau wie beim VBS wird von einem Teilnehmer ein Ruf zu einer vorbestimmten Gruppe aufgebaut. Beendet dieser seine Durchsage, kann jeder andere Gruppenteilnehmer eine Meldung durchgeben. Es besteht immer nur für einen Teilnehmer die Möglichkeit zu spre-

chen. Ausgenommen davon sind Dispatcher, die zu jedem Zeitpunkt eine Durchsage tätigen können.

Anwendung

VGCS wird hauptsächlich für Vershubfunk verwendet.

5.1.3 Priority Calls - enhanced Multi Level Precedence and Preemption - eMLPP

In den öffentlichen GSM-Netzen besteht eine Prioritätssteuerung nur soweit, als der Teilnehmer mit der höchsten Priorität den nächsten freien Funkkanal zugewiesen erhält. Ein Abbruch bestehender Verbindungen zugunsten einer Verbindung höherer Priorität ist nicht vorgesehen.

Funktionalität

Acht Prioritätsklassen wurden definiert. Rufe mit einer höheren Prioritätsklasse können Rufe mit niedrigerer Priorität beenden. Dies geschieht bei Kapazitätsengpässen im GSM-R-Netz. Rufe höherer Priorität haben absoluten Vorrang vor jenen mit geringerer Priorität, die gegebenenfalls abgebrochen werden. Die genaue Prioritätssteuerung, d. h. welche Prioritätsklasse welche Rufe beendet, kann vom Netzbetreiber definiert werden.

Anwendung

Diese Funktionalität stellt sicher, dass z.B. Notrufe den Teilnehmer immer erreichen.

5.1.4 Paket Datendienst - General Packet Radio Service - GPRS

Funktionalität

Mehrere Teilnehmer teilen sich einen Funkkanal. Bei Bedarf kann jeder Teilnehmer auf diesen Datenkanal zugreifen und Daten übertragen. Der Vorteil liegt darin, dass zu Beginn einer GPRS-Verbindung die entsprechenden Verbindungsdaten nur einmal übertragen werden müssen. Die damit aufgebaute virtuelle Verbindung bleibt danach bestehen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mehr als einen Zeitschlitz der GSM-Luftschnittstelle für GPRS zu verwenden. Ein entsprechendes Mobilgerät vorausgesetzt, kann damit die Übertragungsrate bis zum Achtfachen von 9,6 kbit/s bzw. 14,4 kbit/s gesteigert werden. Bei idealen Übertragungsbedingungen und stationärem Teilnehmer lässt sich die Datenrate noch weiter anheben. In diesem Fall wird die Kanalkodierung reduziert und damit der Netto-Datendurchsatz erhöht.

Anwendung

GPRS wird für Datenübertragungen eingesetzt, die den Datenkanal nicht permanent benötigen. Bei solchen Datenübertragungen, z. B. periodisch anfallenden kleinen Datenmengen, wird entweder der Datenkanal dauernd belegt - was eine schlechte Ausnutzung der Kapazitäten nach sich zieht, oder der Teilnehmer nimmt für jede Datenübertragung eine Verzögerung durch den neuen Verbindungsaufbau und den damit verbundenen Signalisierungsaufwand in Kauf.

Eine typische Anwendung der Eisenbahnen ist Funk-Zug-Beeinflussung (FZB), d. h. Steuerung des Zugs über GSM. Für FZB werden etwa alle 0,5 s 500 bit übertragen. Um ein automatisches Stoppen des Zuges durch die FZB-Steuerung bei einem 3-s-langen Übertragungsausfall auszuschließen, muß allerdings absolute Zuverlässigkeit der Verbindung gewährleistet sein.

5.2 Neue Funktionalitäten durch MORANE-Spezifizierung

Diese Funktionen verwenden GSM-Trägerdienste; im Speziellen sind dies:

- User User Signalling 1 (UUS1) - Ermöglicht die Übertragung einer beschränkten Datenmenge, die direkt mit der Signalisierung übertragen wird, an den gerufenen Teilnehmer.
- Unstructured Supplementary Service Data (USSD)
 - ❖ Wird für die Datenübertragung zu Einrichtungen im GSM-R-Netz verwendet.

5.2.1 Funktionelle Adressierung - Functional Addressing, Follow Me

Funktionalität

Ein Teilnehmer wird nicht mit seiner Rufnummer, sondern über eine seiner derzeitigen Funktion zugeordneten Rufnummer erreicht. Die Teilnehmer können, entsprechende Berechtigungen vorausgesetzt, die Zuordnung selbst vornehmen und wieder auflösen. Doppelbelegungen einer Funktionsnummer werden dabei nicht zugelassen, wohl kann aber ein Teilnehmer mehreren Funktionen zugeordnet sein.

Der Dienst verwendet USSD.

Anwendung

Funktionelle Adressierung wird im Bahnbetrieb häufig eingesetzt, z.B. für:

- Ruf zum Lokführer mit der Zugnummer + Funktion Lokführer,
- Ruf zum Schaffner mit der Zugnummer + Funktion Schaffner,
- Ruf zum Bahnhofsvorstand mit Bahnhofnummer + Funktion Vorstand.

5.2.2 Anzeige der funktionellen Nummer Presentation of Functional Numbers

Funktion

Bei einem einlangenden Ruf wird nicht die Telefonnummer des Rufenden, sondern die zugeordnete funktionale Rufnummer angezeigt. Sind mehrere funktionale Rufnummern zugeordnet, muß der Anwender eine dieser Nummern auswählen. Eine Anzeige im Klartext ist möglich.

Der Dienst verwendet UUS1.

Anwendung

Für alle Rufe von Teilnehmern, denen funktionale Nummern zugeordnet sind.

5.2.3 Ortsabhängige Rufweiterleitung Location Dependent Addressing

Funktion

Abhängig von Standort des rufenden Teilnehmers wird ein Ruf an einen vorher bestimmten Teilnehmer weitergeleitet. Derzeit hängt die Rufnummer, zu der umgeleitet wird, davon ab, welche Basisstation den Ruf empfangen hat. Die Funktionalität ist daher mit der des Notrufs in öffentlichen Netzen vergleichbar.

Bei zukünftigen Implementierungen ist geplant, durch zusätzliche Applikationen wie Baken-sender die aktuelle Rufnummer direkt dem GSM-R-Gerät zur Verfügung zu stellen oder durch Positionsbestimmung mit GPS die Koordinaten an das Netz zu übertragen. In letzterem Fall nimmt das GSM-R-Netz die entsprechende Rufumleitung vor.

Anwendung

Ruf vom Lokführer zum zuständigen Disponenten/ Dispatcher.

5.2.4 Bestätigung von Rufen hoher Priorität Confirmation of High Priority Calls

Funktion

Wird von einer Mobilstation ein Ruf höchster Priorität als Sammelruf oder Gruppenruf empfangen, z B. ein Notruf, sendet diese automatisch nach Abbau des Rufs eine Bestätigung über den Empfang dieses Rufs an ein sogenanntes Confirmation Center.

Um Überlastungen auf der Luftschnittstelle durch gleichzeitiges Absenden der Bestätigung von mehreren Mobilstationen zu vermeiden, wird die Bestätigung nach einer variierenden Wartezeit abgesandt.

Anwendung

Nach einem Unfall kann nachvollzogen werden, wer den Notruf empfangen hat.

5.2.5 Verbindungsüberwachung - Link Supervision

Funktion

Eine bestehende Verbindung wird laufend von den beiden Endgeräten überwacht. Da diese Überwachung sicherheitsrelevant ist, scheiden die vom GSM-R-Netz gelieferten Daten wie Feldstärke usw. aus. Das Risiko, das durch eine Fehlfunktion eine bestehende Verbindung nur vorgetäuscht wird, läßt sich dadurch weitestgehend ausschließen.

Die Überwachung findet durch die periodische Aussendung eines niederfrequenten Tons in den Sendepausen statt. Dieser Ton wird, je nach Bahnverwaltung, entweder durch einen NF-Auswerter kontrolliert oder akustisch direkt vom Teilnehmer überwacht.

Anwendung

wird beim Verschubbetrieb dann verwendet, wenn der Zug rückwärts fährt und der Verschieber über Funk Kommandos an den Lokführer am Ende des Zugs gibt.

5.2.6 Funkverkehr ohne GSM-R –Netz - Direct Mode

Bei Ausfall des GSM-Netzes oder in Gebieten, in denen kein GSM-R Netz vorhanden ist, wird eine Rückfallsebene von den Bahnverwaltungen gefordert.

Funktion

Es bestehen zwei Möglichkeiten, diese Forderungen zu erfüllen:

1. Da GSM-R-Geräte auch in den öffentlichen GSM-Netzen verwendet werden können, kann - entsprechende Vereinbarungen mit dem Netzbetreiber vorausgesetzt - ein öffentliches Netz als Rückfallsebene verwendet werden.
2. Für die direkte Verbindung zwischen zwei Geräten ist Schmalband FM vorgesehen.

6. Zusammenfassung

GSM-R ist das Funksystem der Bahnen für das nächste Jahrtausend. Umfangreiche Feldversuche wurden im Rahmen des europäischen Projekts MORANE durchgeführt. In den drei Ländern Deutschland, Schweden und der Schweiz werden derzeit GSM-R-Netze aufgebaut. In den meisten Projekten ist die Kapsch AG als Partner bei der Systemvalidierung beteiligt. Projekte in weiteren Ländern - Holland, Italien und für die West Coast Mainline in England - werden in nächster Zukunft umgesetzt. Das von den Betreibern angestrebte Ziel eines interoperablen europäischen Bahnnetzes steht somit kurz vor der Realisierung.