

SBB-I-NAT-TC

Generischer Bahnfunkbericht
FRMCS & GSM-R
Version 3.0

Dokumenten-Nr.:

DMS-ID 131817619

Dokumenten-Nr.:

DMS-ID 159232493 (französische Übersetzung)

Dokumenten-Nr.:

DMS-ID 159231597 (italienische Übersetzung)

	Erstellt	Geprüft	Freigegeben
Datum	2026-05-27	2026-05-27	2026-05-28
Name	Peter Reber	Fabian Rohrbach	Martin Jaggi
Rolle / Funktion	Rollout-Entwicklung FRMCS	Rollout Manager	Programm Manager FRMCS

Q-Prüfung	Senad Tairovski
	2026-05-27

Dokumenten-Kontrollblatt

Inhalt	Generischer Bahnfunkbericht, welcher die geplanten Mobilfunkkonzepte inklusive der nichtionisierenden Strahlung und der Radionetzplanung beschreibt
Ersteller	Peter Reber (Fachlead Rollout) / Fabian Rohrbach (PGV Superuser)
Prozessor	Microsoft Word
Vorlage	Vorlage gelenkte Dokumente SA, DMS-ID 33972190
Dateiname	Bahnfunkbericht_generisch_FRMCS_&_GSM-R_3.0
Status des Dokuments	☐ in Bearbeitung / ☐ in Review / ☒ Freigegeben
Verteiler	BAV (öffentlich, Plangenehmigungsverfahren)
Gelenktes Dokument	Ja
Phase nach SN EN 50126-1	Phase 5 (zum Zeitpunkt der Freigabe des vorliegenden Dokumentes)
Dokumenteneigner	Programm Manager FRMCS
Reviewer	gem. Dokumentenplan Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.
Sicherheit	Dieses Dokument muss nicht durch eine unabhängige Stelle begutachtet werden.
Gültigkeitsdauer	Bis zur Veröffentlichung einer aktualisierten Version oder Programmende.
Periodische Überwachung	Prüfung des Dokuments auf Aktualität vor Eingabe eines Plangenehmigungsdossiers.
Aufbewahrung/Archivierung	Elektronische Ablage und Aufbewahrung. Bei Ablösung oder Ausserkraftsetzung des Dokuments erfolgt Aufbewahrung für mindestens 5 Jahre, anschliessend Archivierung bei Erfordernis.
Hinweis	Das Originaldokument wird elektronisch aufbewahrt. Falls das Dokument in ausgedruckter Form zur Verwendung kommt, muss es zuvor vom Benutzer auf aktuelle Gültigkeit der Version geprüft werden.

Urheberrecht gemäss Schutzvermerk ISO 16016 (Auszug)

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen können zu rechtlichen Folgen führen. Alle Rechte für den Fall der Patent- und/oder Gebrauchsmuster vorbehalten.

Änderungsnachweis

Version	Datum	Ersteller	Änderungshinweise
0.1	2022-11-01	Peter Reber	Erstellung Draft, Reviewversion
0.2	2022-12-01	Peter Reber	Version mit Reviewkommentaren
0.3	2022-12-21	Peter Reber Fabian Rohrbach	Einarbeitung des Reviews, Einarbeitung formale Prüfung, release candidate
1.0	2022-12-21	Alex Brand	Freigabe
1.1	2023-04-23	Samuel Hess	Neuer Abschnitt: Entwicklung des Systems FRMCS mit Bezug zum RAMS-Plan. Referenz ergänzt.
1.2	2024-11-27	Sara Junker	Übernahme der neusten Word Programm-Vorlage
2.0	2025-01-10	Martin Jaggi	Freigabe
2.2	2025-11-13	Peter Reber Fabian Rohrbach	Überarbeitung / Aktualisierung
2.3	2025-11-13	Peter Reber	Version für Review bei Fabian R. und Andi B.
2.3	2025-12-08	Peter Reber	Draft Version, welche sowohl für FRMCS wie auch für GSM-R gültig ist.
2.4	2026-02-16	Peter Reber	Einarbeitung der BLS-Rückmeldungen zur Draft Version, welche sowohl für FRMCS wie auch für GSM-R gültig ist.
2.5	2026-02-16	Peter Reber	Review-Version, für gemeinsamen Generischer Bahn-funkbericht FRMCS & GSM-R
2.51	2026-03-04	Peter Reber	Arbeitsversion für BLS gültig bis zur Freigabe 3.0
2.6	2026-03-18	Peter Reber	Version für Freigabeprozess 3.0
2.7	2026-05-18	Peter Reber	Version für Freigabeprozess 3.0 ohne Referenzen
3.0	2026-05-27	Peter Reber	Version 3.0 erstellt

Inhaltsverzeichnis

Dokumenten-Kontrollblatt	2
Änderungsnachweis	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
Referenzen	7
Abkürzungen	8
1. Einleitung	9
1.1. Zweck des Dokumentes	9
1.2. Ausgangslage	9
1.3. Einführung von FRMCS	9
1.4. Koordinierte Mobilfunkversorgung	11
2. Mobilkommunikations-Konzept	12
2.1. Systemübersicht GSM-R	12
2.2. Systemübersicht FRMCS	13
2.3. Entwicklung des Systems FRMCS	16
2.4. Plangenehmigungsverfahren (PGV)	16
2.4.1. Rechtskonforme Planung	16
2.4.2. NISV-Konformität und Qualitätssicherung	17
2.4.3. Umweltschutz und Eingriffsbewertung	17
2.4.4. Erschliessung und Zugänglichkeit	17
2.5. Gemeinsame PGV Eingabe für koordinierte Bahnkorridorversorgung (Bahn- und Mobilfunk)	17
3. Rollout-Konzept	19
3.1. GSM-R	19
3.2. FRMCS	19
4. FSS-Konzept	19
5. Nichtionisierende Strahlung	20
5.1. OMEN, die den AGW der NISV zu 80% oder mehr ausschöpfen	20
5.2. Qualitätssicherungs-System (QS-System) zur Einhaltung der NISV bei Mobilfunkanlagen	20
5.3. Nutzungsreserven	20
6. OT Cybersecurity	21
6.1. GSM-R Cybersecurity	21

6.2.	FRMCS Cybersecurity	21
7.	Nachweis der normgerechten Bahnfunkversorgung	21
8.	Vorgaben Funknetzplanung	22
8.1.	Funknetzplanung GSM-R	22
8.2.	Funknetzplanung FRMCS	22
8.2.1.	Planungsprinzipien	22
8.2.2.	Technische Rahmenbedingungen	22
8.2.3.	Umsetzung und Infrastruktur	22
8.2.4.	Betriebs- und Umweltaanforderungen	22
9.	Tunnelversorgung	23
9.1.	GSM-R	23
9.2.	FRMCS	23
10.	Technischer Nachweis der FRMCS-Systemkonformität	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kommunikationssysteme für die Eisenbahn	10
Abbildung 2: Generische Systemtechnik-Architektur GSM-R	13
Abbildung 3: Generische Systemtechnik-Architektur von FRMCS-Strecken resp. -Knoten	14
Abbildung 4: Generische Basisinfrastruktur und Systemtechnik von FRMCS-Strecken resp. -Knoten	15

Tabellenverzeichnis

Es konnten keine Einträge für ein Abbildungsverzeichnis gefunden werden.

Referenzen

Referenz	Dok-ID (SBB:DMS) ¹	Titel	Herausgeber	Version
[Abk. FRMCS]	134717327	Abkürzungen FRMCS	I-NAT-TC-GST	Aktuelle Version gem. DMS
[TSI CCS]	-	Technical Specification for Interoperability – Command and Control Signalling	ERA	EU 2023/1695 (+ Amendment EU 2026/693)
[EIRENE SRS]	-	European Integrated Railway Radio Enhanced Network – System Requirements Specification	UIC	Version 16.x
[3GPP]	-	3rd Generation Partnership Project	3GPP	Release 18
[Subset-093]	-	FFFIS for Euro Radio	ERA	Baseline 3 Release 2.x

¹ Falls die angegebene Dokumentennummer nicht die ID des Dokumentenmanagementsystems SBB:DMS ist, wird dies zusammen mit der Dokumentennummer angegeben.

Der Zusatz «lokale Ablage» gibt an, dass der angegebene Ort nicht dem des Dokumenteneigners entspricht.

Abkürzungen

Die gängigen Abkürzungen der Themenbereiche GSM-R und FRMCS werden in den Dokumenten Abkürzungen geführt. Abkürzungen, die dort nicht enthalten sind, werden im folgenden Abkürzungsverzeichnis geführt.

Das Abkürzungsverzeichnis ist dem PGV beizulegen.

Abkürzung	Bedeutung
	Es werden im vorliegenden Dokument keine weiteren Abkürzungen verwendet.

1. Einleitung

1.1. Zweck des Dokumentes

Der vorliegende generische Teil des Bahnfunkberichts gibt einen Überblick über die generischen Aspekte des vorgesehenen Mobilkommunikationskonzepts und den Grundlagen der Radionetzplanung des geplanten GSM-R (GSM-Railways) und FRMCS (Future Rail Mobile Communication System) Rollout.

Die strecken- resp. knotenspezifischen Versorgungskonzepte der GSM-R und FRMCS Projekte werden im jeweiligen spezifischen Bahnfunkbericht des PGVs dokumentiert.

Abhängig vom Inbetriebnahmezeitpunkt geplanter Stellwerk Erneuerungen mit Führerstand Signalisierung (FSS) und weiteren Anforderungen an die Bahnfunkversorgung (GSM-R Optimierung, Lückenschluss, etc.) werden Projekte mit nur GSM-R, GSM-R parallel mit FRMCS oder nur FRMCS geplant und realisiert.

Disclaimer: Die vorliegende Dokumentenvorlage wurde von der SBB als Systemführerin erstellt und steht allen Infrastrukturbetreibern (ISB) zur Verfügung.

1.2. Ausgangslage

Damit die Klimaziele in der Schweiz, sowie die steigenden Mobilitätsbedürfnisse der Bevölkerung und Wirtschaft erfüllt werden können, muss eine Verkehrswende hin zum Schienenverkehr gelingen. Die Verkehrsperspektive des Bundes für 2040 prognostiziert eine Zunahme im Schienenpersonenverkehr von ca. 50%. Als Rückgrat des Schweizer ÖV-Systems stellen sich die ISBs dieser Herausforderung und wollen dazu die Chancen neuer Technologien nutzen.

Im Rahmen des Landverkehrsabkommens vom 21. Juni 1999 verpflichtete sich die Schweiz unter anderem, die Interoperabilität ihres Eisenbahnnetzes mit demjenigen der Länder der Europäischen Union zu entwickeln.

ETCS wird als Zugsteuerungs-, Zugsicherungs- und Signalgebung-System eingesetzt. Die bahnrelevante Mobilkommunikation vom und zum Zug erfolgt heute über das Bahnfunksystem GSM-R.

Die Bahnfunktechnologie GSM-R, welche heute im 900 MHz Frequenzbereich betrieben wird, soll bis im Jahr 2035 durch das Nachfolgesystem FRMCS abgelöst werden. Für GSM-R, dessen Technologie auf der 2. Mobilfunkgeneration (2G) basiert, wurden bis heute rund 1400 Standorte gebaut, bis zur vollständigen Verfügbarkeit der FRMCS-Versorgung werden situativ weitere GSM-R Streckenversorgungen parallel zur neuen FRMCS-Versorgung geplant, realisiert und betrieben

FRMCS basiert auf der 5. Mobilfunkgeneration (5G), dafür wurde auf europäischer Ebene, neu zusätzlich zum bereits genutzten und weiterhin verfügbaren Frequenz-Band im 900 MHz Bereich, ein Frequenz-Band im 1900 MHz Bereich zugewiesen. Die Nutzung des zusätzlichen Frequenz-Bandes sowie die steigenden Anforderungen an die bahnrelevante Mobilkommunikation erfordern eine höhere Dichte an Bahnfunkstandorten.

1.3. Einführung von FRMCS

Gemäss Vorgaben des BAV (Bundesamtes für Verkehr) ist zur Betriebsführung der Bahnen die europäische Spezifikation «Technical Specification for Interoperability – Command and Control Signalling» anzuwenden. Dies bedingt eine lückenlose und streckenabdeckende Funkversorgung mit dem europäischen Standard für das GSM-R (Global System for Mobile Communication - Railway).

Die zugrundeliegende GSM-Technologie wurde in den 1980er Jahren entwickelt, ab 1991 eingeführt und wird voraussichtlich 2035 das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben. Bereits heute kommt

GSM-R an seine Grenzen, weswegen in der Schweiz schon heute Funkkapazitätsprobleme bestehen. Der Funkkapazitätsbedarf für ETCS-Führerstandssignalisierung in grossen Knoten kann über GSM-R nicht bereitgestellt werden und wird erst nach der Inbetriebnahme von FRMCS möglich sein.

Die fortschreitende Digitalisierung der Bahnproduktion stellt hinsichtlich der Telekommunikationsbedürfnisse höhere Anforderungen an die benötigten Netze. Für die kritischen bahnrelevanten Anwendungen, die eine hochverfügbare und störungsfreie Kommunikation benötigen, werden grössere Bandbreiten und minimale Latenzen vorausgesetzt.

Die ISB sind durch die ERTMS Strategie des BAV vom 15.04.2021 verpflichtet FRMCS rechtzeitig als Nachfolgesystem von GSM-R einzuführen. FRMCS bildet langfristig die Grundlage für die mobile, betriebsrelevante Daten- und Sprachkommunikation.

Die Kommunikationssysteme der Eisenbahn entlang des Bahnkorridors, werden unterschieden in Critical, Performance und Business Communication. Dabei bilden sich die folgenden Kommunikationsdienste/-applikationen:



Abbildung 1: Kommunikationssysteme für die Eisenbahn

Dabei bilden sich folgende Kommunikationsdienste:

- **Critical Communication Applikationen**, sind für den Bahnbetrieb unverzichtbare Funktionen („ohne Bahnfunk fährt die Bahn nicht“) und müssen deshalb hochverfügbar sein – inklusive redundanter Systeme. Sie stellen sicherheits- und betriebskritische Funktionen wie Stellwerkssteuerung, Not- und Betriebsfunk sowie Zugsicherung bereit; ihr Ausfall würde einen Systemstillstand bis hin zum Fahrstopp verursachen. Die Critical Communication muss durch das bahneigene GSM-R-/FRMCS-Netz betrieben werden.
- **Performance Communication Applikationen** stellen die Kommunikation des Zug- und Rangierpersonals für betriebsrelevante Anwendungen (bspw. Zugsabfertigung, Zugpersonal Not-halt oder Rangierkommunikation RACO) sicher, verbessern Pünktlichkeit, Auslastung und wirtschaftliche Effizienz und ermöglichen schnellere, datenbasierte Entscheidungen bei Störungen oder Nachfrageschwankungen. Ein Ausfall beeinträchtigt den Bahn-betrieb, führt ihn aber nicht unmittelbar zum Erliegen. Für die der Eisenbahn dienende Performance Communication sind die Bahnen auch auf den öffentlichen Mobilfunk angewiesen, da weder für GSM-R noch FRMCS genügend Frequenzen für die dazu erforderlichen Bandbreiten vorhanden sind.
- **Business Communication Applikationen** liefern kundennahe Dienste wie Fahrgastinformation (SBB App, Inclusive App, Informationsbildschirme), Ticketing (Kauf und Kontrolle) und

mobiles Internet, die direkt das Reiseerlebnis und damit die Kundenzufriedenheit beeinflussen. Sie müssen verlässlich und skalierbar sein, damit Reisende auch bei Verspätungen, Zugausfällen oder Störungen zuverlässig informiert bleiben und die Kommunikation mit Angehörigen möglich ist. Für die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), besonders für deren Zugbegleitpersonal genauso wie für die Fahrgäste sind diese Dienste von zentraler Bedeutung. Die Business Communications Applikationen werden über den öffentlichen Mobilfunk erbracht.

Für die Bereitstellung des zukünftigen Kommunikationssystems für den Betrieb der Eisenbahn, sind Applikationen aller drei Arten relevant. Da bestimmte Performance-Funktionen je nach Kritikalität sowohl auf bahnspezifische als auch auf öffentliche Mobilfunkfrequenzen angewiesen sind, ist eine koordinierte Planung der Funkversorgung (Bahnkorridorversorgung) entlang der Trassen erforderlich. Die Critical- und Performance Communications werden im Auftrag des BAV umgesetzt.

Die Performance Communication wird in kritischen Situationen wie bei Notfällen, beispielsweise bei in der Tür eingeklemmten Passagieren oder Gegenständen, sowie bei der generellen Zugabfertigung mittels Überwachung des Ein- und Aussteigens der Reisenden und Einhalten der Abfahrzeiten benötigt.

Die Business Communication ist relevant, um Informationen zu Anschlussverbindungen im Zug am Bildschirm (Kunden Informationssystem - KIS) und Kundeninformationen am Mobilgerät der Reisenden zu synchronisieren und zeigen, ob beispielsweise die Anschlussverbindung gewährleistet ist. Dieselbe Anwendung nutzt das Zugpersonal für ihre Durchsagen im Zug.

Da bestimmte Performance-Funktionen je nach Kritikalität sowohl auf bahnspezifische als auch auf öffentliche Mobilfunkfrequenzen angewiesen sein können, ist eine koordinierte Planung der Funkversorgung (Korridorversorgung) entlang der Eisenbahntrassen sinnvoll. Antennenstandorte können (und sollen gemäss RPG) dabei gemeinsam für Critical Communication, sowie für Performance- und Business Communication genutzt werden. Die Critical Communication mit ihrer vollumfänglich bahnbetrieblichen Anforderung gilt als Infrastrukturanlage gemäss Art 62 Abs. 1 Bst. c EBG und ist zwingend in einem Plangenehmigungsverfahren nach Art. 18 EBG zu bewilligen. Die gleichzeitig geplante und gebaute Performance- und Business Communication, wie oben dargelegt, dient funktionell ebenfalls ganz bzw. überwiegend dem Bahnbetrieb. Diese geplanten Anlagen sind sogenannte gemischte Anlagen mit ganz bzw. überwiegendem Bahnanteil und unterstehen der eisenbahnrechtlichen Plangenehmigung.

1.4. Koordinierte Mobilfunkversorgung

Für die künftige FRMCS (Critical – und Performance Communication) Versorgung mit den neuen 1900 MHz und fortlebenden 900 MHz Frequenzen werden bestehende Funkstandorte umgebaut und neue Funkstandorte benötigt. Zusätzliche Sendeantennen, Sendeleistung (W_{erp}) oder gänzlich neue Funkstandorte bedürfen einer Plangenehmigung. Um gleichzeitig dem Bedarf von höheren Kapazitäten der Performance- und Business Communication nachzukommen, können auch öffentliche Mobilfunkfrequenzen parallel mit FRMCS entlang der Strecken geplant werden.

Im Rahmen einer Analysephase haben die SBB gemeinsam mit den öffentlichen Mobilfunkanbietern in der Schweiz ein Konzept für eine koordinierte Bahnkorridorversorgung erarbeitet. Eine gemeinsame koordinierte Versorgung für den Bahnkorridor verspricht sowohl wirtschaftliche (Synergien bei Standortinfrastruktur) wie auch technische Vorteile. Insbesondere soll der Bahnfunk damit weniger Störungen ausgesetzt sein und eine gezielte gleichmässige und robustere Funkversorgung erreicht werden.

Die Funkversorgung aller Beteiligten fokussiert mittels selektiver Ausrichtung mit zwei, oder bei Abzweigungen und Knoten mit drei Senderichtungen auf die Bahntrassen, um eine optimierte Versorgung in baulicher und funktioneller Hinsicht vom und zum Zug sicherzustellen.

Durch die reine Korridor-Versorgung (in den zwei Senderichtungen) wird keine gezielte Mobilfunkversorgung von Wohngebieten realisiert. Rein physikalisch kann jedoch nicht ausgeschlossen werden,

dass sich ein Kunde eines öffentlichen Mobilfunkanbieters mit der Anlage der koordinierten Bahnkorridorversorgung verbindet (Thematik des „Best-Server“: die Anlage, welche den besten „Empfang“ bietet, ist diejenige, über welche sich der Datenverkehr abwickelt).

Die koordinierte Mobilfunkversorgung wird streckenspezifisch geprüft geplant.

2. Mobilkommunikations-Konzept

2.1. Systemübersicht GSM-R

Die 2G basierte GSM-R Systemnetzwerkarchitektur besteht, wie in Abbildung 2 dargestellt, aus den System-Elementen Radio Access Networks RAN (BTS, BSC) und Core Network (MSC, NMS):

- **BTS:** Die BTS (Base Transceiver Station) ist die Funkbasisstation im Feld, welche die Funksignale sendet und empfängt und damit die direkte Verbindung zu den Mobilfunk-Endgeräten (z. B. Fahrzeugfunk, Handhelds) herstellt. Sie bildet die kleinste Funkeinheit und deckt eine definierte Funkzelle ab.
- **BSC:** Der BSC (Base Station Controller) steuert und verwaltet mehrere BTS-Standorte, regelt Handover-Prozesse, Lastverteilung und Funkressourcen. Er ist für die korrekte Zellenkoordination zuständig und verbindet die BTS-Ebene mit dem Kernnetz.
- **MSC:** Das MSC (Mobile Switching Centre) ist das zentrale Vermittlungs- und Steuerungselement im GSM-R-Kernnetz. Es verarbeitet Anrufe, Datenverbindungen, Teilnehmerregistrierung und Authentifizierung und ermöglicht sichere Zug-zu-Betriebsleitstelle-Kommunikation.
- **NMS:** Das NMS (Network Management System) überwacht, konfiguriert und administriert das gesamte GSM-R-Netz, inklusive Infrastruktur, Alarmer, Performance-Daten und Betriebszustände. Es unterstützt Betrieb, Fehlerdiagnose und Planung auf Netzebene.

Angewendetes Architektur Konzept Beispiel-Strecke

Die Basisstationen (BTS) mit Funkmasten und Antennen werden entlang des Eisenbahn-Streckennetzes installiert und über ein Übertragungsnetzwerk mit einem Basisstationscontroller (BSC) verbunden. Die Basisstationscontroller dienen hauptsächlich als regional verteilte Konzentratoren, an die Strecken mit zugehörigen Basisstationen einer Region angeschlossen werden. Die Basisstationscontroller werden wiederum über ein Übertragungsnetzwerk mit der Mobilfunkvermittlungsanlage verbunden.

Die Mobilfunkvermittlungsanlage (MSC) stellt die Teilnehmerverbindungen innerhalb des GSM-R Netzes oder anderen (GSM-R) Netzwerken her.

Das Netzwerkmanagementsystem (NMS) beinhaltet im Wesentlichen die Systemüberwachung und das Konfigurationsmanagement für das GSM-R Netz.

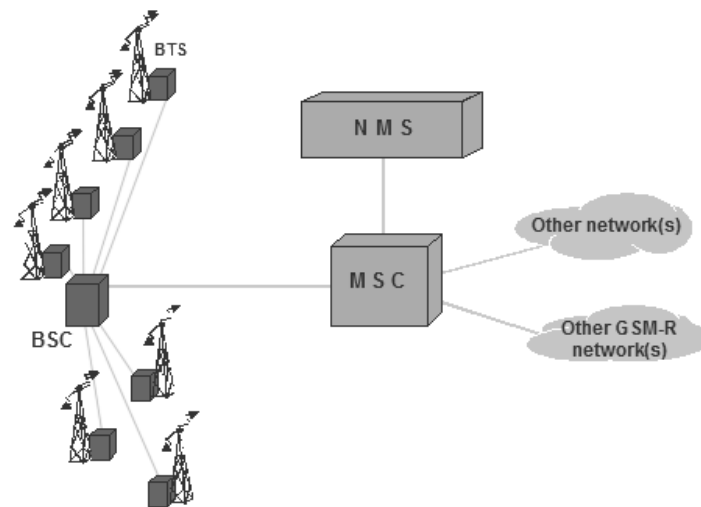
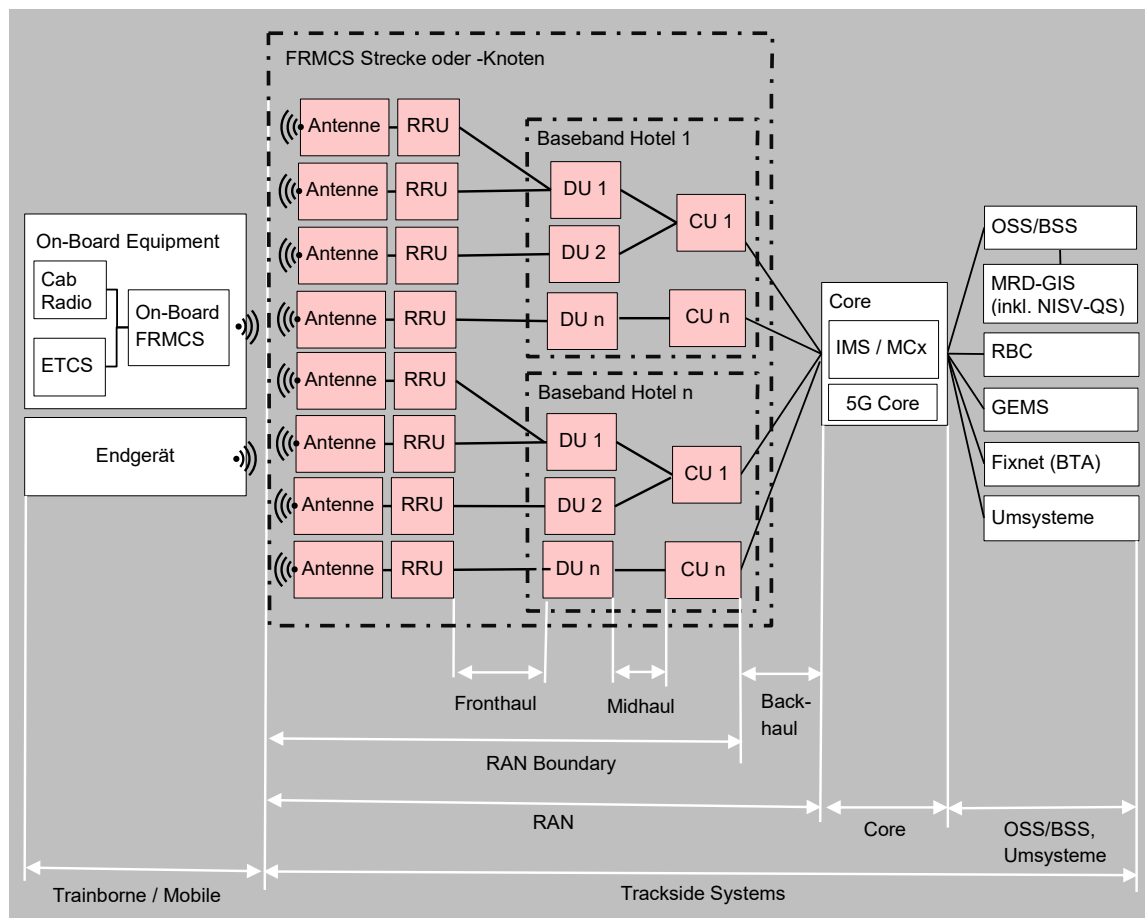


Abbildung 2: Generische Systemtechnik-Architektur GSM-R

2.2. Systemübersicht FRMCS

Die 5G basierte FRMCS Systemnetzwerkarchitektur besteht, wie in Abbildung 3 dargestellt, aus den System-Elementen Radio Access Networks RAN (in der Abbildung rot gefärbte Elemente) und Core Network (Core):

- **Radio Remote Unit RRU:** Setzt das digitale Signal in ein physikalisches um und strahlt das Signal über die Antenne aus. Die Anbindung an die DU erfolgt über den Fronthaul (CPRI, eCPRI oder IEEE 1914.3 Interface). Die Latenz-Anforderungen an den Fronthaul sind sehr hoch und liegen bei <100micro Sekunden (entspricht einer maximalen LWL-Distanz von 15km).
- **Distribution Unit DU:** Diese ist verantwortlich für die Scheduler-Funktionalität und die Sicherstellung der QoS im RAN. Kann virtuell in einer Edge-Cloud (Base Band Hotel) installiert werden, abhängig von der Entfernung zu den RRU's. Die Anbindung an die CU erfolgt über den Midhaul (F Interface).
- **Central Unit CU:** Diese steuert die angeschlossenen DUs und kann gegebenenfalls colocated zum 5G-Core installiert werden oder gemeinsam mit der Distribution Unit DU in einer Edge-Cloud (Base Band Hotel) abhängig von den Latenzen. Die Anbindung der CU (und damit des RAN) an den 5G Core erfolgt über den Backhaul (NG Interface).
- **Core:** Das Core-System aggregiert den Datenverkehr von Endgeräten. Das Core-System authentifiziert auch Teilnehmer und Geräte, wendet personalisierte Richtlinien an und verwaltet die Mobilität der Geräte, bevor der Datenverkehr an Betreiberdienste oder das Internet weitergeleitet wird.



Legende betreffend Abgrenzung Systemtechnik RAN:

- Systemtechnik für FRMCS Strecken- oder Knotenversorgung im RAN
- FRMCS Systemtechnik ausserhalb von RAN

Abbildung 3: Generische Systemtechnik-Architektur von FRMCS-Strecken resp. -Knoten

Angewandetes Architektur Konzept Beispiel-Strecke

Bestehend aus:

- Antennenstandorte (Abschnitt a: Sa 1 bis Sa n + Abschnitt b: Sb 1 bis Sb n, Abschnitt c: Sc 1 bis Sc n) mit den RRUs und Antennen für FRMCS.
- BB-Hotels 1 bis n
Die BB-Hotels werden in geeigneten Technikräumen realisiert. Darin befinden sich die DU/CUs für FRMCS, sowie die erforderlichen Komponenten des IP-Transportnetzes.
- 5G Core in den Betriebszentralen Olten und Zürich
- Der Fronthaul wird für jeden RRU mit LWL-Single-Fiber erschlossen
- Der Backhaul wird mit über das IP-Transportnetzen bereitgestellt und endet im BB-Hotel auf dem entsprechenden Site-Router.
(siehe Abbildung 4)

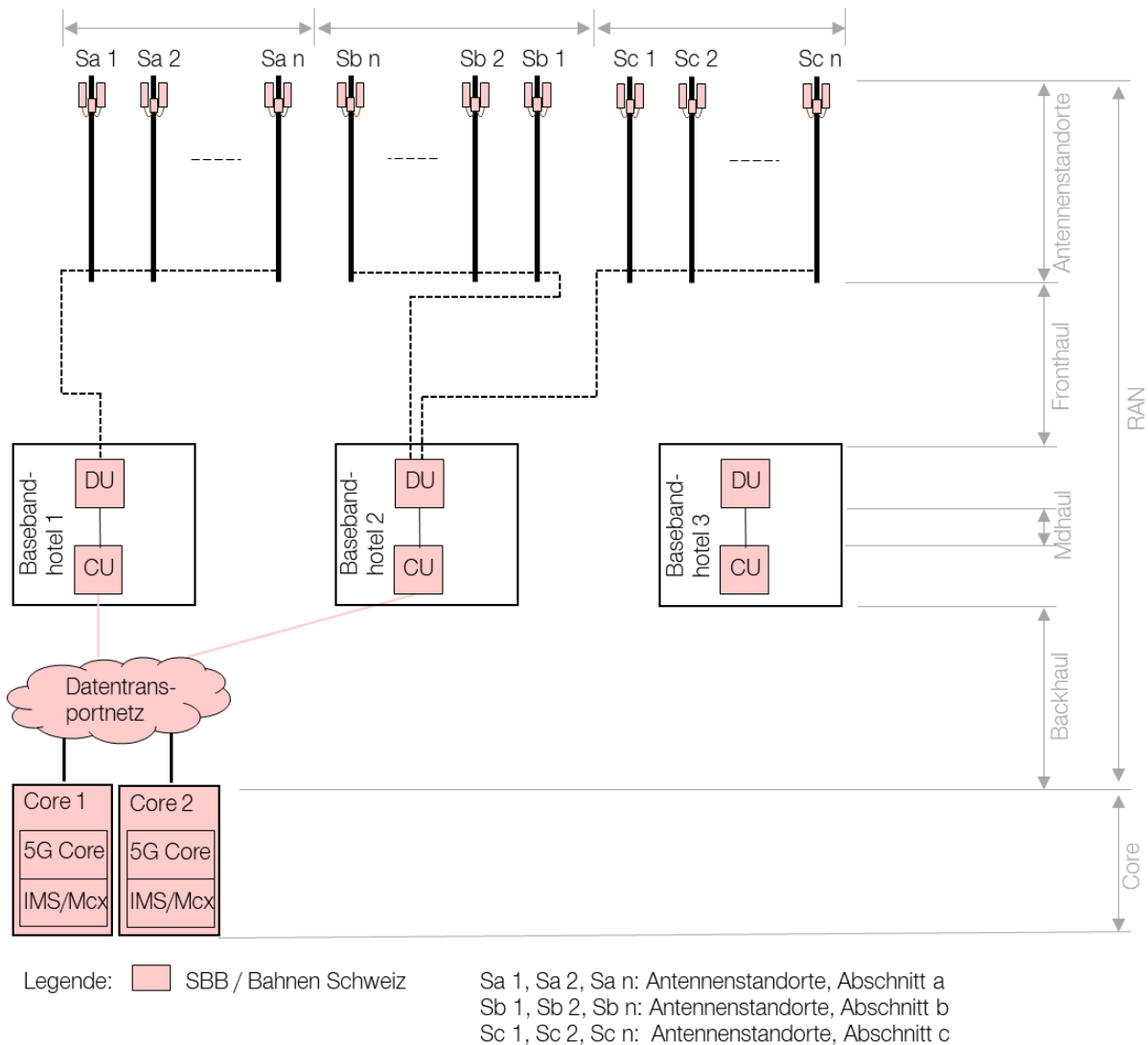


Abbildung 4: Generische Basisinfrastruktur und Systemtechnik von FRMCS-Strecken resp. -Knoten

2.3. Entwicklung des Systems FRMCS

Das System FRMCS ist das interoperable Mobilkommunikationssystem der europäischen Bahnen. Um die erforderliche europaweite Kompatibilität des Systems zu gewährleisten, muss die Entwicklung gemäss den TSI (Technische Spezifikation Interoperabilität) und unter Berücksichtigung der relevanten bahnspezifischen CENELEC-Normen in den Bereichen RAMS, funktionale Sicherheit, Software, sichere Kommunikation und Cybersecurity (insbesondere EN 50126, EN 50128, EN 50129, EN 50159 sowie EN 50701) erfolgen.

Die Entwicklung des Systems FRMCS wird im Rahmen des Programms FRMCS umgesetzt, welches sich mit den internen Stakeholdern und über die Systemführerschaft Zugkommunikation auch mit weiteren externen Stakeholdern (Infrastrukturunternehmen und -betreibern, wie auch EVU) abstimmt. Das Vorgehen zu Entwicklung und Zulassung des Gesamtsystems FRMCS erfolgen dabei nach den Vorgaben und Prozessen der relevanten CENELEC-Normen.

Die Bahn unterscheidet sich vom mobilen Individualverkehr (MIV) durch die nutzbare Reisezeit. Fahrgäste erwarten nicht nur gute Zugverbindungen, sondern auch Internetzugang während der Fahrt. Eine bedarfsgerechte Internetversorgung während der Reise ist für viele ein entscheidender Grund, die Bahn zu wählen.

Eine zuverlässige Internetverbindung entlang des Bahnkorridors bringt auch den Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) Vorteile. Die Fahrausweiskontrolle und Digitale Kundenservices funktionieren über die Fahrgastkommunikation und sind entscheidend für den Erfolg der Bahn.

Die meisten Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) in der Schweiz setzen in Ihrer Kunden-Connectivity-Strategie, auf öffentlichen Mobilfunk in nationalen Zügen, ergänzt durch WLAN in internationalen Zügen. Die Internetversorgung der Fahrgäste erfordert eine gute Mobilfunkabdeckung entlang der Bahntrasse, einschliesslich Tunnel, und spezielle Massnahmen, um das Mobilfunksignal ins Innere der Züge zu bringen. Damit die Kundenbedürfnisse auch nachhaltig und langfristig gedeckt werden können, arbeiten die ISB eng mit den öffentlichen Mobilfunkbetreibern zusammen.

Eine projektspezifische Berücksichtigung öffentlicher Mobilfunkfrequenzen (Konzepte wie koordinierte Bahnkorridorversorgung (KBK) oder Neutral Host) zeitgleich mit der Projektierung von FRMCS Bahnfunkstandorten, mit zusätzlichen Antennen für den öffentlichen Mobilfunk wird situativ geplant. Die Senderichtung der Funkfrequenzen wird selektiv entlang den Bahntrassen ausgerichtet.

2.4. Plangenehmigungsverfahren (PGV)

Bauten und Anlagen, die ganz oder überwiegend dem Bau und Betrieb einer Eisenbahn dienen (Eisenbahnanlagen) dürfen nur mit einer Plangenehmigung erstellt oder geändert werden (EBG Art. 18 Abs. 1 Grundsatz).

Dazu gehören auch Bahnfunkanlagen. Sie sind ein fixer Bestandteil der Zugsicherung und dienen unter anderem dazu, dass die Züge von Betriebszentralen aus überwacht und gesteuert werden können. Die Funkversorgung ist selektiv auf die Gleise ausgerichtet. Bei offenen Strecken meistens mit 2 Sektor Versorgung, bei Abzweigungen oder Knoten auch mit einer 3 Sektor Versorgung.

Die Standortwahl für GSM-R/FRMCS erfolgt mithilfe einer Funknetzplanung, das auf topografischen Geländemodellen basiert. Dabei sollen bestehende Bahnfunkstandorte soweit möglich wiederverwendet werden. Wenn zusätzlich neue Standorte notwendig sind, wird eine sorgfältige Standortevaluation durchgeführt, wobei die untenstehenden Aspekte im Vordergrund liegen.

2.4.1. Rechtskonforme Planung

Bereits in der Planungsphase wird auf die Einhaltung aller relevanten Bundesgesetze geachtet – insbesondere aus den Bereichen Eisenbahnrecht, Umwelt- und Naturschutzrecht sowie Fernmelderecht. Geringfügige Eingriffe bspw., wenn Bahnfunkstandorte in schützenswerten Zonen oder ausserhalb der

Bauzone notwendig sind, werden mit den internen Fachstellen vorgängig abgeklärt und mittels Massnahmen zur Reduzierung des Eingriffs versehen.

2.4.2. NISV-Konformität und Qualitätssicherung

Alle Anlagen erfüllen die Vorgaben der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) vollständig. Sie unterliegen einem Qualitätssicherungssystem gemäss BAFU-Rundschreiben vom 16. Januar 2006. Grenzwerte werden kontinuierlich überprüft.

Qualifikation von Orten in den Zügen – OKA oder OMEN: In seiner Veröffentlichung vom 26. Mai 2025 hat das Bundesamt für Umwelt – BAFU dahingehend geklärt, dass der Fahrgastbereich in Transportmitteln des öffentlichen Verkehrs nicht als OMEN gelten. Weiter hat sich das BAFU auch in einem anderen Verfahren bereits dazu geäußert, dass auch der Führerstand eines Zugs nicht als OMEN qualifiziert wird, weil als OMEN-Räume in Gebäuden gelten, wobei die Führerstände offensichtlich nicht Räume in Gebäuden in Sinne des Gesetzes seien.

2.4.3. Umweltschutz und Eingriffsbewertung

Naturschutzrechtliche Anforderungen – wie der Schutz der Mauereidechsen oder die Behandlung invasiver Neophyten – wurden im Plangenehmigungsdossier berücksichtigt. Geringfügige Eingriffe wurden ökologisch abgeklärt, in Umweltberichten dokumentiert und z. T. mit Schutz- und Wiederherstellungsmassnahmen versehen.

2.4.4. Erschliessung und Zugänglichkeit

Die Funkstandorte benötigen eine Erschliessung mit 50-Hz-Strom sowie eine Glasfaseranbindung (LWL). Für Wartung und Entstörung muss jederzeit ein sicherer Zugang gewährleistet sein – dies wird durch die bevorzugte Standortwahl auf ISB-eigenem Grundstück und mittels Dienstbarkeiten mit betroffenen Dritten vor der PGV-Eingabe sichergestellt.

2.5. Gemeinsame PGV Eingabe für koordinierte Bahnkorridorversorgung (Bahn- und Mobilfunk)

Der Bahn- als auch der Mobilfunk sind bahnbetriebsrelevante Kommunikationssysteme für die Eisenbahn. Die Kommunikationsdienste werden als Critical, Performance und Business Communication unterschieden; allein die Critical Communication stellt eine primär bahnbetriebliche Eisenbahnanlage dar, die der Plangenehmigung gemäss Art. 18 EBG unterliegt.

Performance und Business Dienste nutzen überwiegend öffentliche Mobilfunkfrequenzen, sind aber teils funktionsbedingt bahnbetriebsrelevant und deshalb in die Infrastrukturplanung einzubeziehen. Geplanten Antennenstandorte der koordinierten Bahnkorridorversorgung sind daher als gemischte Anlagen mit überwiegendem Bahnanteil zu qualifizieren und bedürfen einer gemeinsamen Plangenehmigung im PGV.

Das Bundesgericht hat wiederholt festgehalten, dass nicht nur baulich, sondern auch bei funktionell und betrieblich zusammenhängenden Bauten und Anlagen, deren Gesamtbauwerk überwiegend dem Bahnbetrieb dient, in einem Plangenehmigungsverfahren vereint beurteilt werden (so z.B. BGE 122 II 265, BGE 116 Ib 400; Einbau von Ladenzentren im Zürcher Hauptbahnhof und im Bahnhof Zürich-Stadelhofen). Eine Aufteilung des Bewilligungsverfahrens in einen bundesrechtlichen und einen kantonrechtlichen Teil ist bei Vorhaben, die in baulicher und funktioneller Hinsicht eine Einheit bilden, weder praktikabel noch sachlich erforderlich.

Das bundesrechtliche Plangenehmigungsverfahren bietet zudem den Kantonen und Gemeinden die Möglichkeit, ihre Anliegen einzubringen. Dabei ist das kantonale Recht zu berücksichtigen, soweit dessen Anwendung die Bahnunternehmung bei der Erfüllung ihrer gesetzlichen Aufgaben nicht unverhältnismässig einschränkt (Art. 18 Abs. 4 EBG).

Aufgrund des kausalen Zusammenhangs zwischen den einzelnen Standorten, d.h. die Position eines einzelnen Standortes hat einen direkten Einfluss auf die Position aller Standorte in der „Kette“, ist eine koordinierte Plangenehmigung das einzig taugliche Verfahren.

Bei zwei Verfahren bestünde das Risiko, dass in einem kantonalen Verfahren einzelne Antennenstandorte, nicht rechtzeitig oder gar nicht bewilligt würden, was sich auf die gesamte Kette auswirken würde. Die Funkversorgung müsste zudem durch die Planung von vor- oder nachgelagerten Ersatzstandorten oder zusätzlichen Antennenstandorten gesichert werden (Domino-Effekt).

Das Bundesrecht (Art. 18 EBG i.V.m. Art. 25a RPG) verlangt für Bauten die ganz oder überwiegend dem Bahnbetrieb dienen ein konzentriertes Verfahren, mit dem alle bundesrechtlich relevanten Bewilligungen im Rahmen eines einzigen Verfahrens erteilt werden. Damit entfallen parallele kantonale Verfahren, sofern kantonale Baubewilligungen für dieselbe baulich-funktionale Einheit erforderlich wären. Die Konzentration bezweckt eine einheitliche Abwägung von Bahninteresse, Raumplanung, Umweltrecht und Immissionsschutz (NISV). Widersprüchliche Entscheide werden verhindert (z.B. BAV genehmigt Mast, Kanton verweigert Mobilfunk auf demselben Mast) und eine effiziente Koordination aller Fachstellen (BAFU, ESTI, kantonale Fachbehörden, etc.) in einem Verfahren ist sichergestellt. In formeller Hinsicht wird dadurch die gemeinsame öffentliche Auflage aller Gesuchsunterlagen und der Erlass gemeinsamer bzw. gleichzeitiger Verfügungen gesichert.

Das Koordinationsgebot führt dazu, dass bei «gemischten Anlagen» die Gesamtanlage im PGV behandelt wird und kantonale Bewilligungsverfahren verdrängt sowie kantonales Recht nur so weit berücksichtigt wird, als dass es die Bahnaufgaben nicht unverhältnismässig einschränkt (Art. 18 Abs. 3 und 4 EBG). Die Baugesuchsunterlagen werden nach Bedarf von den unabhängigen Bundesämtern sowie durch den Kanton im Vernehmlassungsverfahren geprüft und deren Auflagen in der Plangenehmigung berücksichtigt. Auch den betroffenen Gemeinden wird das rechtliche Gehör gewährt und damit u.a. raumplanerische öffentliche Interessen Rechnung getragen.

3. Rollout-Konzept

3.1. GSM-R

Das heutige GSM-R-Netz der ISB gilt als nahezu vollständig realisiert und bildet weiterhin das zentrale Kommunikationssystem für den Bahnbetrieb. Es stellt die Sprach- und Datenkommunikation für den operativen Betrieb sicher und erfüllt weiterhin alle gesetzlichen und betrieblichen Anforderungen.

Ein genereller Ausbau von GSM-R findet heute nicht mehr statt. Neue GSM-R-Versorgungen werden ausschliesslich in wenigen klar definierten Ausnahmefällen realisiert:

- **Temporäre Versorgung für zukünftige FSS-Strecken**
Wenn eine Strecke mittelfristig mit einem Führerstandsignalisierungssystem (FSS) ausgerüstet werden soll, die FRMCS-Versorgung jedoch zeitlich noch nicht verfügbar ist, wird GSM-R als zeitlich begrenzte Übergangstechnologie eingesetzt, um die betriebliche Kommunikation bis zur FRMCS-Migration sicherzustellen.
- **Schliessung bestehender Funkversorgungslücken**
Neue GSM-R-Anlagen werden dort realisiert, wo:
 - bestehende GSM-R-Roaming-Versorgungen infolge 2G-Abschaltungen (z. B. Swisscom) wegfallen,
 - oder wo sich im Betrieb unzulässige Versorgungslücken ergeben.

3.2. FRMCS

Die Einführung von FRMCS ist nach aktuellem Stand über das Zeitfenster von 2023 bis 2035 geplant. Operativ ist der Rollout in klar abgegrenzte Prozessblöcke gegliedert (PLAN → BUILD-1 → BUILD-2 → RUN). BUILD-1 realisiert die Basisinfrastruktur (Maststandorte und Technikschränke/Kabinen mit Strom und LWL-Erschliessung) und wird vor BUILD-2 umgesetzt. BUILD-2 umfasst die Systeminfrastruktur (Funksystemkomponenten wie Antennen und Radio Remote Units und der AC/DC Wandler inkl. USV-Anlagen), Tests und Inbetriebnahme. Die zeitliche Entkopplung reduziert Terminrisiken und erlaubt einen minimalen Vorlauf für bauliche Arbeiten und Genehmigungsverfahren (PGV).

Bis Ende 2028 steht vorwiegend die Projektierung (PLAN) an. Der effektive Bau von Antennenmasten erfolgt ab ca. 2029 (BUILD 1). Ab ca. 2032 werden die Antennenmasten mit den entsprechenden Funksystemen ausgerüstet und in Betrieb genommen (BUILD 2).

Der Abschluss eines sogenannten Streckenprojekts wird durch Abnahmemessungen und die Service-Übergabe an den Betrieb markiert; anschliessend folgt eine Optimierungsphase zur Sicherstellung der langfristigen Verfügbarkeit und Leistung der bahnrelevanten und kritischen Dienste.

4. FSS-Konzept

Für Strecken, die kurz- und mittelfristig mit Führerstand-Signalisierung (FSS) ausgerüstet werden müssen, entsteht eine zeitliche Übergangsphase, in der die betriebliche Funkversorgung bereits die erhöhten Anforderungen der FSS berücksichtigen muss, FRMCS jedoch noch nicht oder nicht flächendeckend verfügbar ist. In diesen Fällen kann eine temporäre oder ergänzende GSM-R-Versorgung erforderlich sein, um die sichere und regelkonforme Betriebsabwicklung bis zur vollständigen FRMCS-Migration sicherzustellen. Diese Übergangslösungen dienen der Risikominimierung im Betrieb, der Terminalsicherung im FSS-Rollout sowie der Vermeidung von technologischen Bruchstellen zwischen Strecken- und Fahrzeugausrüstung.

Die Priorisierung des FRMCS-Rollouts berücksichtigt die FSS-Szenarien aus dem FSS Umsetzungskonzept ISB, damit Termin- und Risikoauswirkungen transparent und steuerbar sind. Die zeitliche Abstimmung zwischen Fahrzeug- und Streckenausrüstung ist zwingend: Fahrzeugumrüstungen

(Dual-Mode-Fähigkeit) und die Inbetriebnahme von FRMCS-Standorten müssen so koordiniert werden, dass keine Streckenabschnitte ohne passende Fahrzeugausrüstung in FRMCS-only Betrieb gehen — ein zentrales Thema im FSS Umsetzungskonzept der Bahnbranche.

5. Nichtionisierende Strahlung

Die Installation der neuen Sendeanlagen erfordert die Einreichung eines «NIS Standortdatenblattes» gemäss Art.11 (SR 814.710) der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV). Die NIS Standortdatenblätter liegen jedem PGV Dossier bei.

Bei der Festlegung der OMEN werden unbebaute, eingezonte Grundstücke, auf denen empfindliche Nutzungen gemäss Art. 3 Abs. 3 lit. a und b NISV zulässig sind, im Rahmen der möglichen Überbaubarkeit berücksichtigt. Bei ganz oder teilweise überbauten Grundstücken ist für die Ermittlung der OMEN die im Zeitpunkt der Beurteilung vorliegende Nutzung massgeblich.

5.1. OMEN, die den AGW der NISV zu 80% oder mehr ausschöpfen

An denjenigen OMEN, die den AGW der NISV zu 80 % oder mehr ausschöpfen, muss die Systemführerin (SBB) innert dreier Monate nach Inbetriebnahme der Bahnfunkanlagen Abnahmemessungen vornehmen lassen. Die Abnahmemessungen sind durch eine unabhängige Messfachunternehmung durchzuführen, die über eine Akkreditierung der schweizerischen Akkreditierungsstelle SAS für NIS-Messungen verfügt. Die Messergebnisse sind dem BAV, den kantonalen NIS-Fachstellen bzw. Städtischen NIS-Fachstellen zur Kenntnis zu bringen.

Im Falle von unbebauten Parzellen erfolgen die Abnahmemessungen erst nach Realisierung des Bauprojektes. Die Erneuerung des Standortdatenblatt muss nach Vorliegen einer Baubewilligung auf Antrag der zuständigen Behörde durch die ISB mit den neu entstehenden OMEN ergänzt werden.

5.2. Qualitätssicherungs-System (QS-System) zur Einhaltung der NISV bei Mobilfunkanlagen

Aufgrund des Bundesgerichtsentscheides 1A.160/2004 zur Kontrolle der Sendeleistung von Mobilfunk-sendeanlagen sind die Betreiber dazu verpflichtet, ein entsprechendes QS-System zu führen.

Um dies sicherzustellen, werden die Betriebsdaten der aktiven Sendeanlagen bei Inbetriebnahme zur Kontrolle durch die Vollzugsbehörden erhoben und aufgezeichnet.

Im Rahmen des QS-Systems werden Abweichungen des Betriebs zu den bewilligten Antennenparametern wie Sendeleistungen und Senderichtungen festgestellt.

Die Betriebsdaten werden täglich mit den bewilligten Parametern verglichen. Eine allfällige Abweichung muss umgehend behoben und der Vollzugsbehörde gemeldet werden. Die Betriebsdaten der Betreiber werden regelmässig an die NIS-Datenbank des BAKOM geliefert.

5.3. Nutzungsreserven

Sofern durch die Realisierung von Nutzungsreserven in der Umgebung der Bahnfunkanlagen neue OMEN oder OKA entstehen, sind die ISB bundesrechtlich verpflichtet, die betroffenen Anlagen gegebenenfalls so anzupassen, dass die Anlage- und Immissionsgrenzwerte der NISV auch an diesen neuen Orten eingehalten werden.

6. OT Cybersecurity

6.1. GSM-R Cybersecurity

Die ISB werden den Schutzbedarf der im Projekt eingesetzten Schutzobjekte dokumentieren, allfällige, tragbare und nicht tragbare Risiken ausweisen und daraus entstehende Massnahmen definieren. Dabei wird ein Bezug zum bestehenden ISMS und zu den angewendeten ICT-Security Normen hergestellt. Die entsprechende Dokumentation wird dem BAV bis 30 Tage vor der Inbetriebsetzung zur Kenntnis eingereicht.

6.2. FRMCS Cybersecurity

Durch das Programm FRMCS wird im Rahmen der Systementwicklung des FRMCS die hoheitlich geforderten Cybersecurity Vorgaben berücksichtigt und eingehalten. Das Cybersecurity Management erfolgt dabei nach etablierten Methoden und Prozessen zur Informationssicherheit und stellt sicher, dass die Anforderungen an Schutz, Verfügbarkeit und Integrität des Systems über den gesamten Lebenszyklus von FRMCS erfüllt werden.

7. Nachweis der normgerechten Bahnfunkversorgung

Die ISB stellen sicher, dass die genehmigten Bahnfunkanlagen die jeweils gültigen normativen Anforderungen erfüllen. Für GSM-R-Anlagen gelten die Anforderungen gemäss EIRENE-Standard (FRS und SRS), für FRMCS-Anlagen diejenigen gemäss den jeweils gültigen FRMCS-FRS- und FRMCS-SRS-Spezifikationen. Die Einhaltung dieser Anforderungen ist im Rahmen von Abnahme- sowie periodischen Funkversorgungsmessungen auf den betroffenen Strecken nachzuweisen. Auf Basis der Messergebnisse sind bei Bedarf die notwendigen technischen und betrieblichen Massnahmen zur Sicherstellung der normgerechten Bahnfunkversorgung zu treffen. Die Messprotokolle der Funkversorgungsmessungen sowie die Berichte über die Auswertung der Messergebnisse sind dem BAV innert drei Monaten nach Inbetriebnahme der Anlagen zur Kenntnis einzureichen.

8. Vorgaben Funknetzplanung

8.1. Funknetzplanung GSM-R

Die Vorgaben zur Funknetzplanung (FNP) GSM-R definieren die technischen sowie planerischen Grundlagen für den Aufbau des GSM-R Funkzugangsnetzes. Dabei werden die einheitliche Integration von BSC, BTS und HF-Komponenten sowie standardisierte Konfigurationsvorlagen für Freiraum, Tunnel und Knoten definiert.

Zudem werden die Vorgaben für Funknetzplanung sowie für Control- und User-Plane beschrieben. Die Trassenarchitektur basiert auf EIRENE-SRS, 3GPP und Subset-093. Detailkonzepte für Antennenstandorte und Abnahmen leiten sich daraus ab. Die ausgewiesene Systemverfügbarkeit stützt sich auf diese Architekturen und die zugehörigen Produktkataloge.

8.2. Funknetzplanung FRMCS

Die Funknetzplanung FRMCS basiert auf einer gezielten, bahnkorridororientierten Strategie, die technische Exzellenz, Umweltverträglichkeit und betriebliche Effizienz kombiniert.

Die Vorgaben zur Funknetzplanung (FNP) FRMCS definieren die technischen sowie planerischen Grundlagen für den Aufbau eines zukunftsfähigen Bahnkommunikationsnetzes und Sie bilden die Basis für die Migration vom bestehenden GSM-R-Netz hin zum neuen Standard FRMCS, mit Fokus auf Sicherheit, Zuverlässigkeit und Interoperabilität im Bahnbetrieb. Für die Projekte mit koordinierter Mobilfunkversorgung werden die Grundlagen gemeinsam mit den drei öffentlichen Mobilfunkbetreibern Swisscom, Sunrise und Salt koordiniert.

8.2.1. Planungsprinzipien

Die Netzplanung erfolgt kartenbasiert unter Berücksichtigung der Topografie. Die Versorgung orientiert sich strikt am Bahnkorridor (keine Flächenversorgung). Eine lückenlose, überreichweitenfreie Versorgung entlang des Gleises wird angestrebt. Der Einsatz von Richtantennen zur gezielten Abdeckung des Fahrwegs wird bevorzugt.

8.2.2. Technische Rahmenbedingungen

Die Netzplanung berücksichtigt die Einhaltung der Versorgungsqualität gemäss EIRENE und 3GPP. Standorte, Antennenhöhen und Ausrichtungen werden simulationsgestützt definiert. Es gilt die Minimierung von Störungen (z. B. Interferenzen, Überreichweiten).

8.2.3. Umsetzung und Infrastruktur

Die Funkstandorte werden so gewählt, dass sie effizient entlang der Strecke platziert sind. Eine Glasfaser- und Stromerschliessung (50 Hz) jedes Standorts ist Voraussetzung. Die Infrastruktur ist eigentumsrechtlich und betrieblich der ISB zugeordnet.

8.2.4. Betriebs- und Umweltaanforderungen

Das Netz dient ausschliesslich dem Bahnbetrieb und ist für sicherheitsrelevante Kommunikation vorgesehen. Umwelt- und Strahlenschutzvorgaben (insb. NISV) werden eingehalten. Eine nachhaltige, wartungsarme Infrastrukturplanung wird angestrebt.

9. Tunnelversorgung

9.1. GSM-R

Für die Tunnel- und Portalversorgung mit GSM-R werden drei standardisierte Versorgungsvarianten empfohlen, je nach Lage des Signalübergabepunkts und des Handover-Orts:

- Direkte Einspeisung ab BTS mit Handover im Tunnel,
- Versorgung über aktive Tunnelfunkanlage mit Handover im Freiraum,
- Versorgung über aktive Tunnelfunkanlage mit Handover am gegenüberliegenden Portal im Freien. Pro Tunnelportal wird jeweils eine dieser Varianten unter Berücksichtigung der Signallaufzeiten und örtlichen Gegebenheiten gewählt.

9.2. FRMCS

Die 5G-Versorgung direkt in oder vor Tunnelportalen ist technisch anspruchsvoller als auf freier Strecke. Beim Übergang vom Außenbereich in den Tunnel verändern sich die Funkbedingungen schlagartig. Dadurch können ohne geeignete Maßnahmen schnell Verbindungsabbrüche entstehen.

Damit es nicht zu Unterbrechungen kommt, werden Tunnelportale so ausgelegt, dass kein klassisches Handover erforderlich ist. Statt einzelne Funkzellen nacheinander zu übergeben, entsteht ein überlappender Versorgungsbereich, der für das Endgerät wie eine einzige logische Zelle wirkt. Für einen stabilen Uplink vom Zug zum Netz braucht es dabei eine ausreichend hohe Signalqualität, möglichst geringe Störeinflüsse und eine präzise leistungsseitige Auslegung. Dadurch bleibt der Uplink stabil, da das Endgerät weder unnötig hochregeln muss noch in eine Unterversorgung gerät.

Im Tunnel kommen zusätzlich Kabel- und Repeater-Lösungen zum Einsatz, die systembedingt Laufzeitverzögerungen erzeugen. Diese Verzögerungen müssen präzise aufeinander abgestimmt werden, damit die 5G-Signale zeitlich sauber ankommen und nicht ineinander übergehen. Dafür existieren definierte Grenzwerte: Wird die Laufzeitdifferenz zwischen Außen- und Innenversorgung überschritten, führt das zu Synchronisationsfehlern und beeinträchtigt die Übertragungsqualität.

Varianten:

- **Klassisches DAS:** robuste und einfache Lösung, jedoch nur begrenzt skalierbar und schwierig hinsichtlich präziser Zeitsynchronisation zu halten.
- **Modernes 5G-DAS:** modular aufgebaut, virtualisierbar, FRMCS-fähig, mit sehr niedriger Latenz und identischer Netzwerkarchitektur wie außerhalb des Tunnels – dadurch entstehen keine Systembrüche an den Tunnelportalen.

10. Technischer Nachweis der FRMCS-Systemkonformität

Die Einführung von FRMCS erfordert umfangreiche technische Nachweise, um die Anforderungen an Betriebssicherheit, Verfügbarkeit und Interoperabilität zu erfüllen. Diese Nachweise sind insbesondere gegenüber dem Bundesamt für Verkehr (BAV) zu erbringen und orientieren sich an internationalen Standards wie den Technical Specifications for Interoperability (TSI – CCS) sowie den einschlägigen 3GPP-Spezifikationen.

Im Rahmen der geplanten Tests der Systeminfrastruktur FRMCS für die Bahnkommunikation werden regelmässig Messfahrten mittels der ISB-Funkmesswagen durchgeführt. Dabei wird kontrolliert, ob die spezifizierten technischen Werte, insbesondere in Bezug auf Funkversorgungsgrad, Zellenauswahl, Handover-Stabilität und Datendurchsatz (Throughput), gemäss den internationalen Vorgaben erfüllt werden. Diese Messungen stellen sicher, dass FRMCS-basierte Systeme die Anforderungen der TSI für "Control-Command and Signalling" erfüllen.

Die entsprechenden Messprotokolle und Auswertungsberichte werden innerhalb von drei Monaten nach Inbetriebnahme der Anlagen dem BAV zur Kenntnis eingereicht. Wo erforderlich, werden auf Basis der Messergebnisse technische Nachbesserungen oder Optimierungen vorgenommen – etwa durch Anpassung der Netzarchitektur, Parameteroptimierung oder Verbesserung der Übergabebereiche.