



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur
Bundesnetzagentur
Eisenbahn-Bundesamt



Regelung Nr. EMV 06

Technische Regeln zur Elektromagnetischen Verträglichkeit

Nachweis der Funkverträglichkeit von
Schienenfahrzeugen mit Bahnfunkdiensten

Inhaltsverzeichnis

1	Änderungshistorie	5
2	Abkürzungen	6
3	Allgemeines.....	7
3.1	Anwendungsbereich	7
3.2	Zweck.....	7
3.3	Bahnfunkdienste und Betriebsfunkfrequenzen.....	7
3.4	Funkverträglichkeitsprüfung an Schienenfahrzeugen	8
4	Funkverträglichkeitsprüfung außerhalb von Schienenfahrzeugen.....	9
4.1	Allgemeines.....	9
4.1.1	Schutzziel Szenario 1.....	9
4.1.2	Schutzziel Szenario 2.....	9
4.1.3	Prüfschritte.....	10
4.2	10-m-Messung (Übersicht für Szenario 1 und Bewertung für Szenario 2).....	10
4.2.1	Messtechnik	10
4.2.2	Messumgebung.....	10
4.2.3	Betriebszustand	11
4.2.4	Nachweisverfahren für das Szenario 1	11
4.2.5	Nachweisverfahren für das Szenario 2.....	11
4.2.6	Dokumentation.....	12
4.3	1-m-Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt	12
4.3.1	Messtechnik	12
4.3.2	Messumgebung.....	12
4.3.3	Betriebszustand	12
4.3.4	Feldstärke-Weg-Profil E(s)	12
4.3.5	Dokumentation.....	13
4.3.6	Statistische Auswertung	13
4.3.6.1	0,7-m-Band.....	13
4.3.6.2	0,3-m-Band.....	13
4.3.6.3	Dokumentation	14
4.4	Festlegungen für Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb	14
4.4.1	Betriebszustand	14
4.4.2	10-m-Messung	14
4.4.3	1-m-Detailmessung	14
5	Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen.....	15
5.1	Messtechnik	15
5.2	Messumgebung.....	15
5.3	Betriebszustand.....	15

5.4	Bewertung	15
5.5	Dokumentation	16
6	Funkverträglichkeitsprüfung an Geräten.....	16
6.1	Nachweisverfahren.....	16
6.2	Einzelprüfung von Geräten (Gerätenachweisverfahren 1)	17
6.2.1	Messtechnik	17
6.2.2	Messumgebung.....	17
6.2.3	Betriebszustand	17
6.2.4	Grenzwerte und Schutzklassen.....	17
6.3	Dokumentation	17
7	Anforderungen an den Fahrzeugzustand	18
8	Messunsicherheit	18
9	Normative Verweise	19
Anhang A (normativ): Betriebsfunkfrequenzen		21
Anhang B (normativ): 10-m-Messung (im Stand).....		22
Anhang C (normativ): 1-m-Detailmessung (Vorbeifahrt)		24
Anhang D (normativ): Messung an Fahrzeugantennen.....		26
Anhang E (normativ): Messung an Geräten.....		28
Anhang F (informativ): Herleitung der Grenzwerte.....		30
Anhang G (informativ): Hoher Umgebungspegel		38
Anhang H (informativ): Ermittlung eines Feldstärke-Weg-Profiles E(s) (Beispiel)		41
Anhang I (informativ): Ablaufdiagramme zur Nachweisführung		44
Anhang J (informativ): Wesentliche Änderungen zur Regelung EMV 06 V1.0		48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Szenarien für Funkstörungen außerhalb von Schienenfahrzeugen.....	9
Abbildung B.1:	Messaufbau für die 10-m-Messung	23
Abbildung B.2:	Ermittlung kritischer Frequenzen aus der 10-m-Messung (Beispiel).....	23
Abbildung C.1:	Messaufbau für die 1-m-Detailmessung	25
Abbildung D.1:	Messaufbau für die Messung an Fahrzeugantennen (Prinzipskizze)	27
Abbildung F.1:	Entfernungsverhältnis: Bezugspunkt Szenario 1 und 10-m-Messung.....	32
Abbildung F.2:	Entfernungsverhältnis: Bezugspunkt Szenario 2 und 10-m-Messung.....	33

Abbildung G.1:	Umgebungsfeldstärke im GSM-R-Downlink-Band (Beispiel)	38
Abbildung H.1:	Zeitlicher Ablauf einer 1-m-Detailmessung (schematisches Beispiel)	41
Abbildung I.1:	Ablaufdiagramm: Messtechnische Nachweisführung (Übersicht)	44
Abbildung I.2:	Ablaufdiagramm: Prüfung außerhalb von Fahrzeugen	45
Abbildung I.3:	Ablaufdiagramm: Prüfung an Fahrzeugantennen	46
Abbildung I.4:	Ablaufdiagramm: Prüfung an Geräten	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abkürzungen	6
Tabelle 2:	Normative Verweise	20
Tabelle A.1:	0,7-m-Band	21
Tabelle A.2:	0,3-m-Band	21
Tabelle A.3:	Betriebsfunkfrequenzen DB AG	21
Tabelle A.4:	Betriebsfunkfrequenzen VDV	21
Tabelle B.1:	10-m-Messung	22
Tabelle C.1:	1-m-Detailmessung	24
Tabelle D.1:	Messung an Fahrzeugantennen	26
Tabelle E.1:	Messung an Geräten	28
Tabelle E.2:	Geräteschutzklassen	29
Tabelle F.1:	Herleitung: Grenzwert für Störfeldstärke im 0,7-m-Band	30
Tabelle F.2:	Herleitung: Grenzwerte für Störfeldstärke im 0,3-m-Band	31
Tabelle F.3:	Pegelverhältnis: Bezugspunkt Szenario 1 und 10-m-Messung	32
Tabelle F.4:	Herleitung: Orientierungswerte für Szenario 1	33
Tabelle F.5:	Pegelverhältnis: Bezugspunkt Szenario 2 und 10-m-Messung	34
Tabelle F.6:	Herleitung: Grenzwerte Szenario 2 aus 1-m-Detailmessung	34
Tabelle F.7:	Pegelverhältnis: Bezugspunkt Szenario 1 und Geräteprüfung	36
Tabelle F.8:	Herleitung: Grenzwerte für Geräte (10 m Abstand)	36
Tabelle F.9:	Herleitung: Grenzwerte für Geräte (3 m Abstand im Freiraum)	36
Tabelle H.1:	Beispielparameter bei einer 1-m-Detailmessung	42

1 Änderungshistorie

Ausgabe	Datum	Status
1.0	29.07.2014	Freigabe AK EMV
2.0	09.05.2019	Freigabe durch AK EMV / LK Fahrzeuge

Anmerkung:

Wesentliche Änderungen gegenüber Regelung Nr. EMV 06 Rev. 1.0 vom 29.07.2014 sind in Anhang J aufgeführt.

2 Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AFZ	Automatische Fahrgastzählung
AV	Average (Mittelwert)
DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
DL	Downlink
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EBuLa	Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen
EIGV	Eisenbahn Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung
EN	Europäische Norm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ETCS	European Train Control System
FFT	Fast Fourier Transformation
FIS	Fahrgast Informationssystem
FM	Frequenzmodulation
FFST	Funkfernsteuerung
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Rail
LTE	Long Term Evolution
OW	Orientierungswert
P-GSM	Public Global System for Mobile Communication
RF	Rangierfunk
RIS	Reisenden Informationssystem
SO	Schienenoberkante
TEMA	Technische Energiemanagement Analyse (Energiedatenübertragung)
TEIV	Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung
UHF	Ultra High Frequency
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WLAN	Wireless Local Area Network
WS	Warnsysteme
ZF	Zugfunk

Tabelle 1: Abkürzungen

3 Allgemeines

3.1 Anwendungsbereich

Die in der vorliegenden Technischen Regelung gestellten Anforderungen betreffen Fahrzeuge des Eisenbahnverkehrs, die einer Inbetriebnahmegenehmigung nach EIGV, TEIV, einer Abnahme nach §32 Abs. 1 EBO oder einer Genehmigung für das Inverkehrbringen von Fahrzeugen nach Artikel 21 RL (EU) 2016/797 bedürfen. Die Regeln finden Anwendung bei Lokomotiven, Triebfahrzeugen, Triebzügen und Wagen sowie bei Nebenfahrzeugen.

Die Anforderungen dieser Technischen Regelung sind zur Sicherstellung eines störungs- und fehlerfreien Einsatzes von neuen oder umgebauten Fahrzeugen mit relevanten Änderungen (EMV-Plan) einzuhalten. Nach Einbau eines neuen Gerätes in Altfahrzeuge muss das Gerät bzw. das Fahrzeug diese Technische Regelung erfüllen.

Bei Geräten bzw. Systemen mit Funkeinrichtungen ist der geräteeigene Sendebetrieb aller Anwendungen von dieser Regelung ausgenommen.

3.2 Zweck

Dieses Dokument beschreibt die Anforderungen an die Funkverträglichkeit von Schienenfahrzeugen gegenüber Bahnfunkdiensten.

Unter Funkverträglichkeit wird in diesem Dokument der Schutz von Bahnfunkdiensten vor Störaussendungen von Schienenfahrzeugen verstanden. Ziel ist es, solche Aussendungen (in Amplitude und Frequenz) zu begrenzen, so dass möglichst keine Beeinflussung der Bahnfunkdienste auftritt.

3.3 Bahnfunkdienste und Betriebsfunkfrequenzen

Es werden die folgenden *bahnbetriebsrelevanten* Funkdienste betrachtet:

- ETCS-Datenfunk
- Zugfunk
- Rangierfunk
- Funkfernsteuerung Rangierlokomotiven
- Elektronische-Fahrplandaten (z.B. EBUa)

Diese Funkdienste arbeiten in den in Anhang A genannten Frequenzbereichen, die zu schützen sind.

Von dieser Regelung ausgenommen sind *nicht bahnbetriebsrelevante* Funkdienste, z.B.:

- Diagnose- und SchADVormeldung
- Energiedatenübertragung (z.B. TEMA)
- Reisenden-/ Fahrgastinformation (RIS / FIS)
- Automatische Fahrgastzählung (AFZ)

- Repeater für Mobilfunkdienste (P-GSM, UMTS, LTE, ...)
- Internet / Multi Media Dienste
- WLAN
- Videodienste
- Ortung

Applikationen in anderen als den in Anhang A genannten Frequenzbereichen, sind von dieser Regelung ausgenommen.

3.4 Funkverträglichkeitsprüfung an Schienenfahrzeugen

Schienenfahrzeuge müssen auf Verträglichkeit mit Bahnfunkdiensten geprüft werden.

Die Nachweisführung umfasst die in Anhang A aufgeführten Frequenzen und erfolgt vorzugsweise durch Prüfungen am Fahrzeug gemäß Abschnitt 4 und Abschnitt 5.

Für Geräte kann auch ein Einzelnachweis gemäß Abschnitt 6.2 erbracht werden

Der Ablauf der Nachweisführung ist in Form eines Flussdiagramms in Abbildung I.1 in Anhang I dargestellt.

Innerhalb dieses Dokumentes gilt eine Störgröße als schmalbandig, wenn deren Bandbreite geringer als die Messbandbreite ist.

4 Funkverträglichkeitsprüfung außerhalb von Schienenfahrzeugen

4.1 Allgemeines

Zwei prinzipielle Szenarien sind relevant:

Szenario 1: Beeinträchtigung der Bahnfunkdienste im Nahbereich des zu bewertenden Schienenfahrzeuges, wenn z.B. Rangierer den Rangierfunk neben dem Fahrzeug nutzen möchten.

Szenario 2: Beeinträchtigung der Bahnfunkdienste im benachbarten Gleisbereich, wenn Störaussendungen z.B. von Dachaufbauten (Wechselrichter, Klimaanlage etc.) die Bahnfunkdienste von benachbarten Fahrzeugen oder mobile Funkgeräte des Rangierfunks stören.

Die nachfolgende Abbildung 1 verdeutlicht beispielhaft die Situation.

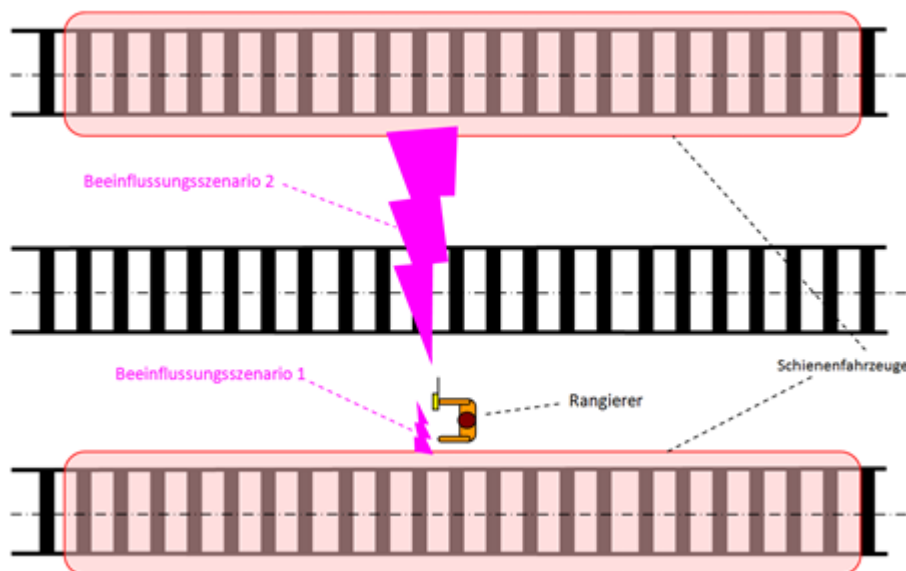


Abbildung 1: Szenarien für Funkstörungen außerhalb von Schienenfahrzeugen

Diese Regelung deckt beide genannten Szenarien ab.

4.1.1 Schutzziel Szenario 1

Die von Fahrzeugen verursachten elektromagnetischen Felder dürfen bahnbetriebsrelevante Funkdienste, die in der direkten Nähe des Fahrzeugs betrieben werden, nicht unzulässig beeinflussen.

4.1.2 Schutzziel Szenario 2

Die von Fahrzeugen verursachten elektromagnetischen Felder dürfen bahnbetriebsrelevante Funkdienste, die im benachbarten Gleisbereich betrieben werden, nicht unzulässig beeinflussen.

ANMERKUNG:

Dieser Aspekt betrifft hauptsächlich von Dachaufbauten ausgehende Störemissionen.

4.1.3 Prüfschritte

Die Verträglichkeit mit bahnbetriebsrelevanten Funkgeräten außerhalb des Fahrzeugs wird in einem oder ggf. zwei Schritten geprüft:

- a) 10-m-Messung zur Identifikation kritischer Störfrequenzen für das Szenario 1 und Nachweis der Grenzwerteinhaltung für das Szenario 2 (s. Abschnitt 4.2)
- b) fallweise 1-m-Detailmessung für das Szenario 1 (s. Abschnitte 4.3 und 4.3.6).

Der Ablauf einer Funkverträglichkeitsprüfung außerhalb von Schienenfahrzeugen ist in Form eines Flussdiagramms in Abbildung I.2 in Anhang I dargestellt.

4.2 10-m-Messung (Übersicht für Szenario 1 und Bewertung für Szenario 2)

Bei der 10-m-Messung werden alle vom Fahrzeug erzeugten Spektralanteile ermittelt, die aufgrund ihrer Feldstärke Betriebsfunkgeräte in den in Anhang A aufgeführten Frequenzbändern stören können. Die 10-m-Messung dient der Bewertung in Bezug auf Szenario 2 sowie der Ermittlung kritischer Störfrequenzen für die Bewertung bezüglich Szenario 1.

4.2.1 Messtechnik

Die Messausrüstung unterliegt den Anforderungen, wie sie in der Norm DIN EN 50121-2 [1] für die Messung der gestrahlten Störaussendung von Fahrzeugen und Bahnsystemen beschrieben sind.

Die Messanordnung muss in der Lage sein, Feldstärken kleiner als die im Anhang B genannten Orientierungswerte zu messen (Empfindlichkeitsgrenze des Messaufbaus mindestens 6 dB unterhalb der Orientierungswerte).

Der Messaufbau und die Einstellparameter der Messgeräte sind im Anhang B spezifiziert.

4.2.2 Messumgebung

Vor der Fahrzeugmessung ist eine Umgebungsmessung durchzuführen. Dazu ist das Fahrzeug vollständig abzurüsten. Frequenzbereiche, in denen der Umgebungspegel den Orientierungswert überschreitet, müssen im Prüfbericht vermerkt werden. Diese stellen den nicht bewertbaren Anteil des Spektrums dar.

Der bewertbare Anteil des GSM-R-Downlink Frequenzbandes muss mindestens 80 % betragen. Die in Anhang G beschriebenen Methoden können genutzt werden, um den bewertbaren Anteil zu erhöhen und eventuelle Nachweislücken zu reduzieren oder zu schließen.

Auch in Frequenzbereichen, welche im Rahmen der Messung als nicht bewertbar eingestuft wurden, darf das Fahrzeug die Bahnfunkdienste nicht unzulässig beeinflussen.

ANMERKUNG: Umgebungspegel im 0,7-m-Band sind in der Regel schmalbandig und beeinflussen somit kaum den bewertbaren Anteil des Spektrums. Bei deren Vorhandensein sind keine ergänzenden Maßnahmen nötig.

4.2.3 Betriebszustand

Die elektrische Feldstärke wird im Stillstand des Fahrzeugs gemessen. Alle elektrischen Systeme müssen in Betrieb sein.

Fahrzeuge mit elektrischer Antriebsausrüstung müssen im anfahrbereiten Zustand sein, eine Zugkraft wird jedoch nicht vorgegeben (siehe Stillstandsmessung gemäß DIN EN 50121-3-1 [2]).

4.2.4 Nachweisverfahren für das Szenario 1

Vom Fahrzeug erzeugte Störgrößen werden im Rahmen einer Voruntersuchung als *kritisch* (potenziell beeinträchtigend) für den Betriebsfunk eingestuft, wenn deren Pegel innerhalb der Betriebsfunkbänder den in Anhang B genannten Orientierungswert überschreiten. Die Bewertung der Verträglichkeit des Fahrzeugs in Bezug auf das Szenario 1 erfordert für alle *kritischen* Störgrößen eine Vermessung und fallweise eine statistische Auswertung gemäß Abschnitt 4.3 in einem Abstand von 1 m entlang des Fahrzeugs.

Zu diesem Zweck werden für jede *kritische* Störgröße die Frequenz (kiloherz-genau) und die Antennenpolarisation bei der Messung ermittelt.

Im Falle von zusammenhängenden Frequenzbereichen, bei denen die Messwerte den Orientierungswert überschreiten, wird jeweils diejenige Frequenz ermittelt, bei der der Höchstwert des Störpegels auftritt (siehe Beispiel im Anhang B, Abbildung B.2).

Werden bei der 10-m-Messung keine *kritischen* Störgrößen ermittelt, dann gilt der Nachweis der Funkverträglichkeit außerhalb von Schienenfahrzeugen gemäß Abschnitt 4 als erbracht.

4.2.5 Nachweisverfahren für das Szenario 2

Die Verträglichkeit in Bezug auf das Szenario 2 ist sichergestellt, wenn die bei der 10-m-Messung erfasste Störaussendung des Fahrzeugs den Grenzwert gemäß Anhang B in den Betriebsfunkbändern nicht überschreitet.

ANMERKUNG: Die Anforderung an den bewertbaren Anteil gemäß Abschnitt 4.2.2 ist dabei zu beachten.

4.2.6 Dokumentation

Für jedes Betriebsfunkband sind die bei der 10-m-Messung ermittelten Störspektren gemeinsam mit dem Umgebungspegel und dem zugeordneten Grenzwert für das Szenario 2 und dem Orientierungswert für das Szenario 1 im Prüfbericht grafisch darzustellen.

4.3 1-m-Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt

Für alle bei der 10-m-Messung als *kritisch* identifizierten Störgrößen (siehe Abschnitt 4.2.4) wird der Verlauf der elektrischen Feldstärke entlang des Fahrzeugs in seitlichem Abstand von 1 m aufgenommen, siehe Anhang C.

4.3.1 Messtechnik

Die Messung erfordert den Einsatz eines Messgerätes, mit dem das Störsignal im Frequenzbereich bewertet und diese Bewertung im Zeitbereich abgetastet und gespeichert werden kann. Ein solches Messgerät ist z.B. ein Messempfänger / Spektrumanalysator, der im Zero-Span-Modus arbeitet.

Zur Nachbildung der Empfangsverhältnisse mobiler Betriebsfunkgeräte ist eine kleine bikonische Antenne zu verwenden. Die Apertur der Antenne sollte 0,4 m nicht überschreiten.

Die Messanordnung muss in der Lage sein, Feldstärken kleiner als die im Anhang C genannten Grenzwerte zu messen (Empfindlichkeitsgrenze des Messaufbaus mindestens 6 dB unterhalb der Grenzwerte).

4.3.2 Messumgebung

Es gelten die Anforderungen aus Abschnitt 4.2.2.

4.3.3 Betriebszustand

Alle elektrischen Systeme müssen in Betrieb sein. Der Zustand soll demjenigen bei der 10-m-Messung entsprechen (siehe Abschnitt 4.2.3), jedoch wird die elektrische Feldstärke entlang des Fahrzeugs während der Vorbeifahrt gemessen. Verfügt das Fahrzeug über eine elektrische Antriebsausrüstung, muss diese elektrisch aktiv sein, eine Zugkraft muss aber nicht vorgegeben werden (sowohl Vorbeifahren aus eigener Traktion als auch Vorbeirollen oder Vorbeischieben oder –ziehen mit einem anderen Fahrzeug sind zulässig).

4.3.4 Feldstärke-Weg-Profil E(s)

Das Ziel der 1-m-Detailmessung ist die Gewinnung eines Feldstärke-Weg-Profiles E(s) als Vorbereitungsmaßnahme für die statistische Auswertung der Messergebnisse (siehe Abschnitt 4.3.6). Darüber hinaus ermöglicht das Feldstärke-Weg-Profil die räumliche Zuordnung

lokaler Maxima an konstruktive Gegebenheiten des Fahrzeugs (z. B. Kupplung, Lüftungsgitter, Position von Störquellen, Verkabelung etc.).

Das Profil der elektrischen Feldstärke wird bei vertikaler und / oder horizontaler Polarisation (gemäß den Ergebnissen der 10-m-Messung) gemessen.

Der Abstand der einzelnen Messpunkte des Feldstärke-Weg-Profiles E(s) darf 10 cm nicht überschreiten.

Das gemäß Abschnitt 4.3.6 zu bewertende Feldstärke-Weg-Profil E(s) beginnt 10 m vor dem Fahrzeug und endet 10 m hinter dem Fahrzeug (s. auch Anhang H, Abbildung H.1).

Wird bei mehrteiligen Fahrzeugen der Orientierungswert während der 10-m-Messung an einzelnen Wagen überschritten, so kann das Feldstärke-Weg-Profil E(s) der 1-m-Messung auf diese Wagen (incl. der Bereiche 10 m vor und hinter diesen Wagen) beschränkt werden.

4.3.5 Dokumentation

Das Feldstärke-Weg-Profil E(s) ist für

- jede den Orientierungswert überschreitende Frequenz (siehe Abschnitt 4.2.4)
- vertikale und / oder horizontale Polarisation der Messantenne (gemäß den Ergebnissen der 10-m-Messung)

gemeinsam mit dem Grenzwert und vorzugsweise mit der Seitenansicht des Fahrzeugs grafisch in einem Diagramm darzustellen.

4.3.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt auf der Basis der in Anhang C genannten, frequenzbandabhängigen Grenzwerte.

4.3.6.1 0,7-m-Band

Die Messwerte des Feldstärke-Weg-Profiles E(s) gemäß Abschnitt 4.3 werden in räumlichen Bereichen von 12 m analysiert (im Folgenden „12-m-Fenster“).

Das 12-m-Fenster wird über das gesamte Feldstärke-Weg-Profil messwerteweise (sampleweise) entlang des Fahrzeuges verschoben. Für jedes einzelne 12-m-Fenster darf die aufsummierte Samplebreite (der Weg) derjenigen Messwerte, die den Grenzwert überschreiten, eine Länge von 1,2 m nicht überschreiten.

4.3.6.2 0,3-m-Band

Kein einziger Messwert im Feldstärke-Weg-Profil E(s) gemäß Abschnitt 4.3 darf den in Anhang C genannten Grenzwert überschreiten.

4.3.6.3 Dokumentation

Das Ergebnis der statistischen Auswertung ist für jedes Feldstärke-Weg-Profil (jede kritische Frequenz) im Prüfbericht zu dokumentieren.

4.4 Festlegungen für Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb

Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb (z.B. Reisezugwagen, Mittelwagen, Steuerwagen) werden während der Messung über die Zugsammelschiene oder vergleichbare Einrichtungen mit Energie versorgt. Die Einspeisung kann hierbei wahlweise über eine Lokomotive oder über eine ortsfeste Elektroinspeisung (Elektrant) erfolgen.

4.4.1 Betriebszustand

Bei der Messung müssen alle elektrischen Betriebsmittel, die hochfrequente Störgrößen erzeugen können, in Betrieb sein.

Sofern diese Voraussetzung bei allen für das Fahrzeug zulässigen Zugsammelschienenversorgungen erfüllt ist, ist es ausreichend, die Prüfung bei nur einer Zugsammelschienenversorgung (bzgl. Spannung, Frequenz und Kurvenform) durchzuführen.

4.4.2 10-m-Messung

Bei diesen Fahrzeugen wird die 10-m-Messung gemäß Abschnitt 4.2 unverändert durchgeführt.

4.4.3 1-m-Detailmessung

Überschreiten die Messwerte die in Anhang B genannten Orientierungswerte, wird bei Speisung der Zugsammelschiene über eine Lokomotive eine 1-m-Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt gemäß Abschnitt 4.3 durchgeführt.

Bei Speisung des Fahrzeugs über eine ortsfeste Energieversorgung kann die Messung alternativ im Stand durchgeführt werden. Dabei gelten die folgenden Anforderungen:

- Die 1-m-Detailmessung gemäß Anhang C, Abbildung C.1, wird im Stand durchgeführt. Der Höchstwert des Störpegels entlang des Fahrzeugs ist zu ermitteln.
- Der Höchstwert muss den relevanten Grenzwert gemäß Anhang C einhalten. Die statistische Auswertung gemäß Abschnitt 4.3.6 entfällt. Sowohl der genaue Ort als auch die Höhe des maximalen Pegels (Höchstwert) entlang des Fahrzeugs sind im Prüfbericht anzugeben.
- Die 1-m-Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt ist der 1-m-Detailmessung im Stand vorzuziehen. Die Messung im Stand ist im Prüfbericht zu begründen.

5 Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen

Die Messung wird am Stecker des Antennenkabels zum Funkgeräteeingang in den Empfangsbändern des Funkgerätes durchgeführt (siehe Anhang D). Jedes Fahrzeug (z.B. Triebzug, Lokomotive, Steuerwagen) wird bei der Messung für sich alleine betrachtet. Messungen im Zugverband sind erlaubt.

Der Ablauf einer Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen ist in Form eines Flussdiagramms in Abbildung I.3 in Anhang I dargestellt.

5.1 Messtechnik

Der Messaufbau und die Einstellung des Messgerätes sind im Anhang D spezifiziert.

5.2 Messumgebung

Vor der Messung ist eine Umgebungsmessung in den Nutzbändern durchzuführen. Das Fahrzeug ist hierbei vollständig abgerüstet.

Frequenzbereiche, in denen der Umgebungspegel den Grenzwert überschreitet, müssen im Prüfbericht vermerkt werden. Diese stellen den nicht bewertbaren Anteil des Spektrums dar. Der bewertbare Anteil des GSM-R-Downlink Frequenzbandes sollte 100 % betragen, wobei mindestens 95 % des Spektrums messtechnisch nachzuweisen sind. Die in Anhang G beschriebenen Methoden können genutzt werden, um den bewertbaren Anteil zu erhöhen und eventuelle Nachweislücken zu schließen oder zu reduzieren.

Auch in Frequenzbereichen, welche im Rahmen der Messung als nicht bewertbar eingestuft wurden, darf das Fahrzeug die Bahnfunkdienste nicht unzulässig beeinflussen.

ANMERKUNG: Umgebungspegel im 70 cm-Band sind in der Regel schmalbandig und beeinflussen somit kaum den bewertbaren Anteil des Spektrums. Bei deren Vorhandensein sind keine weiteren Detailbewertungen nötig.

5.3 Betriebszustand

Die Störspannung wird vorzugsweise im Stand des Fahrzeugs gemessen. Alle elektrischen Systeme müssen bei der Prüfung in Betrieb sein (siehe Abschnitt 7).

5.4 Bewertung

Die am Eingang der im Fahrzeug eingesetzten, bahnbetriebsrelevanten Funkempfänger anliegende Störspannung im jeweiligen Empfangsband darf die in Anhang D genannten Grenzwerte nicht überschreiten.

Eine einzelne, schmalbandige Überschreitung um maximal + 3 dB innerhalb eines Kanals in den Bändern H und I kann jedoch akzeptiert werden. Die Bänder L und GSM-R sind hiervon explizit ausgenommen.

5.5 Dokumentation

Für jedes Funkempfangsband sind die Messergebnisse gemeinsam mit dem zugeordneten Umgebungspegel grafisch darzustellen.

6 Funkverträglichkeitsprüfung an Geräten

Es liegt in der Entscheidung des Fahrzeugherstellers bzw. -halters, vom Gerätehersteller einen Nachweis für Geräte zu fordern, die in Fahrzeuge eingebaut werden sollen.

Sofern elektrische oder elektronische Geräte nachträglich in Schienenfahrzeuge integriert werden sollen, ist ein Nachweis zu führen, dass diese Geräte im eingebauten Zustand die in den Abschnitten 4 und 5 spezifizierten Anforderungen einhalten.

Beinhaltet die Umrüstung das Hinzufügen von bahnbetriebsrelevanten Fahrzeugantennen, dann ist dafür nach Einbau im Fahrzeug ein Nachweis gemäß Abschnitt 5 zu erbringen.

6.1 Nachweisverfahren

Der Nachweis über die Verträglichkeit von Geräten mit bahnbetriebsrelevanten Funkdiensten kann durch eine der folgenden drei Varianten erbracht werden:

Gerätenachweisverfahren 1:

Das betreffende Gerät wird vor Einbau einer Einzelprüfung unterzogen (siehe Abschnitt 6.2). Dieser Nachweis kann unter Beachtung der Schutzklasse gemäß Anhang E für alle Nachrüstungen herangezogen werden.

Gerätenachweisverfahren 2:

Das Fahrzeug ist nach Einbau des Gerätes gemäß den Abschnitten 4 und 5 zu prüfen. Hierbei sind nur die Störaussendungen dieses Gerätes zu bewerten. Dieser Nachweis gilt nur für die geprüfte Einbausituation und ist nicht auf andere Nachrüstungen (z.B. Einbau des Gerätes an anderer Stelle oder in andere Fahrzeugtypen) übertragbar.

Gerätenachweisverfahren 3:

Unter Beachtung der Einbaubedingungen und der technischen Daten des Gerätes wird eine schlüssige Bewertung bezüglich der Einhaltung der Schutzziele im eingebauten Zustand durchgeführt. Dieser Nachweis gilt im Allgemeinen nur für die betrachtete Einbausituation und ist bei anderen Nachrüstungen (z.B. Einbau des Gerätes an anderer Stelle oder in andere Fahrzeugtypen) erneut zu führen.

6.2 Einzelprüfung von Geräten (Gerätenachweisverfahren 1)

Der Ablauf einer Funkverträglichkeitsprüfung an Geräten ist in Form eines Flussdiagramms in Abbildung I.4 in Anhang I dargestellt.

6.2.1 Messtechnik

Die Messungen erfolgen alternativ entweder in einem Abstand von 10 m unter Freifeldbedingungen (Freifeldmessplatz oder Teilabsorberkammer) oder in 3 m Messentfernung in einer Vollabsorberkammer.

Die Messausrüstung unterliegt den Anforderungen, wie sie in der Norm DIN EN 61000-6-4 [7] für die Messung der gestrahlten Störaussendung auf den oben genannten Messplätzen vorgesehen sind.

Die Messanordnung muss in der Lage sein, Feldstärken kleiner als die im Anhang E genannten Grenzwerte zu messen (Empfindlichkeitsgrenze des Messaufbaus mindestens 6 dB unterhalb der Grenzwerte).

Anforderungen an die Messparameter sind im Anhang E spezifiziert.

6.2.2 Messumgebung

Es gelten die Anforderungen an den bewertbaren Bandanteil aus Abschnitt 4.2.2.

ANMERKUNG: Bei Messungen auf einem Freifeldmessplatz ist diese Anforderung nicht trivial.

6.2.3 Betriebszustand

Es gelten die Anforderungen gemäß Abschnitt 4 der DIN EN 61000-6-4 [7].

6.2.4 Grenzwerte und Schutzklassen

Bei der Einzelprüfung von Geräten gelten die in Anhang E spezifizierten Grenzwerte unter Berücksichtigung der Einstufung der Geräte in die Schutzklassen S0 bis S3.

6.3 Dokumentation

Die Ergebnisse der Geräteprüfung sind in Abhängigkeit vom gewählten Nachweisverfahren (siehe Abschnitt 6.1) wie folgt zu dokumentieren:

- Gerätenachweisverfahren 1:
Für jedes in Anhang A genannte Betriebsfunkband und für jede Polarisationssebene werden die Messergebnisse grafisch dargestellt.

- Gerätenachweisverfahren 2:
Hinsichtlich der Dokumentation gelten jeweils die in den Abschnitten 4 bzw. 5 beschriebenen Hinweise.
- Gerätenachweisverfahren 3:
Es ist eine technische Dokumentation zu erstellen, in der schlüssig die Einhaltung der Funkverträglichkeit nachgewiesen wird (z.B. EMV-Plan).

7 Anforderungen an den Fahrzeugzustand

Das Fahrzeug muss sich zum Zeitpunkt der Untersuchung im endgültigen zuzulassenden Zustand befinden.

8 Messunsicherheit

Die Unsicherheit der Messausrüstung ist entsprechend den Festlegungen der DIN EN 55016-4-2 [4] zu behandeln. Im Falle von Messungen am Fahrzeug (Abschnitte 4 und 5) ist jedoch der Beitrag des Messplatzes von der Unsicherheitsberechnung ausgenommen.

Anmerkung:

Bei Messungen nach Abschnitt 5 ist der Empfangspfad bestehend aus fahrzeugeigener Antenne und zugehöriger Anschlussleitung von der Unsicherheitsbetrachtung ausgenommen.

9 Normative Verweise

Diese Technischen Regeln gelten im Zusammenhang und in Ergänzung mit:

Referenz	Spezifikation	Titel
[1]	DIN EN 50121-2:2017	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
[2]	DIN EN 50121-3-1:2017	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 3-1, Bahnfahrzeuge – Zug und gesamtes Fahrzeug
[3]	DIN EN 50121-3-2:2017	Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit - Teil 3-2, Bahnfahrzeuge – Geräte
[4]	DIN EN 55016-4-2:2014	Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit Teil 4-2: Unsicherheiten, Statistik und Modelle zur Ableitung von Grenzwerten (Störmodell)
[5]	DIN EN 55016-1-1:2015	Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit –Messgeräte;
[6]	DIN EN 55016-1-4: 2013	Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit Teil 1-4: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit –Antennen und Messplätze für Messungen der gestrahlten Störaussendung;
[7]	DIN EN 61000-6-4:2011	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Teil 6-4: Fachgrundnormen – Störaussendung für Industriebereiche;
[8]	UIC Merkblatt 751-3:2005	Technische Vorschriften für Analog-Zugfunksysteme im internationalen Dienst; 4. Ausgabe
[9]	ETSI TS 100 910:1998	Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); Radio Transmission and Reception; TS 05.05 Version 7.5.0
[10]	EIRENE Spezifikationen SRS (Version 16.0.0) und FRS (Version 8.0.0)	EUROPEAN INTEGRATED RAILWAY RADIO ENHANCED NETWORK; System Requirements Specification Functional Requirements Specification
[11]	ETSI EN 300 910 (V8.5.1 vom 11/2000)	Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (GSM 05.05 version 8.5.1 Release 1999)
[12]	ETSI TS 102 933-1 (V2.1.1 vom 06/2015)	Railway Telecommunications (RT); GSM-R improved receiver parameters; Part 1: Requirements for radio reception
[13]	ETSI TR 145 050 (V14.0.0 vom 04/2017)	Digital cellular telecommunication system (Phase 2+) (GSM); GSM/EDGE Background for Radio Frequency (RF) requirements (§GPP TR 45.050 version 14.0.0 Release 14)

Referenz	Spezifikation	Titel
[14]	3GPP TR 03.30 (V8,4,0 vom 08/2005)	3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group GSM/EDGE; Radio Access Network; Radio network planning aspects (Release 1999)

Tabelle 2: Normative Verweise

Anhang A (normativ): Betriebsfunkfrequenzen**A.1 Bahn-Betriebsfunkfrequenzen****0,7-m-Band**

Band	Frequenzbereich (MHz)	Modulationsart	Kanalabstand	Kanalnummer	Applikation
Band H	457,425 - 458,300	FM	25 kHz	H 10 – 45	ZF, RF
Band I	467,425 - 468,300	FM	25 kHz	I 10 – 45	ZF, WS

Tabelle A.1: 0,7-m-Band

0,3-m-Band

Band	Frequenzbereich (MHz)	Modulationsart	Kanalabstand	Applikation
GSM-R UL	873 – 880	GMSK	200 kHz	Alle
GSM-R DL	918 - 925	GMSK	200 kHz	Alle

Tabelle A.2: 0,3-m-Band

A.2 Zusätzliche Betriebsfunkfrequenzen DB AG (0,7-m-Band)

Band	Frequenzen (MHz)	Modulationsart	Kanalabstand	Kanalnummer	Applikation
Band L	419,730 419,770 419,790	FM	20 kHz	L 1- 3	FFST

Tabelle A.3: Betriebsfunkfrequenzen DB AG

A.3 Zusätzliche Betriebsfunkfrequenzen VDV (0,7-m-Band)

Band	Frequenzen (MHz)	Modulationsart	Kanalabstand	Kanalnummer	Applikation
Band L	429,730 429,770 429,790	FM	20 kHz	---	FFST

Tabelle A.4: Betriebsfunkfrequenzen VDV

Anhang B (normativ): 10-m-Messung (im Stand)

Messaufbau	gemäß DIN EN 50121-2 [1] (siehe auch Abbildung B.1)	
Messpunkte	Bei einem einzelnen Fahrzeug (Lokomotive, Reisezugwagen) in der Mitte des Fahrzeugs (in Längsrichtung) Bei einem mehrgliedrigen Fahrzeug (Triebzug, „Married Pairs“) jeweils in der Mitte jedes Wagens (in Längsrichtung)	
Frequenzbereiche	siehe Anhang A	
Antennenpolarisation	vertikal und horizontal	
Orientierungswerte für das Szenario 1	0,7-m-Band:	9 dBμV/m
	0,3-m-Band (GSM-R): ○ im Downlink: ○ im Uplink:	12 dBμV/m 28 dBμV/m
Grenzwerte für das Szenario 2	0,7-m-Band:	19 dBμV/m
	0,3-m-Band (GSM-R): ○ im Downlink: ○ im Uplink:	22 dBμV/m 38 dBμV/m
Einstellungen Messempfänger (Vorzugseinstellung)	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	9 kHz oder 10 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 \times$ Messbandbreite
	Messzeit:	≥ 10 ms
Alternativeinstellungen Messempfänger (1)	Bewertung:	Mittelwert (AV) oder MinPeak mit MinHold
	Messbandbreite (6 dB):	≥ 100 Hz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 \times$ Messbandbreite
	Messzeit:	≥ 20 ms

Tabelle B.1: 10-m-Messung

ANMERKUNG (1): Die Alternativeinstellungen können genutzt werden, um bei hohen Umgebungspiegeln den bewertbaren Anteil gemäß Abschnitt 4.2.2 im GSM-R-Downlink Band zu erhöhen (siehe zu dieser und weiteren Methoden auch Anhang G).

Der Prüfbericht muss die Messwertdarstellungen mit den Vorzugseinstellungen und den Alternativeinstellungen enthalten.

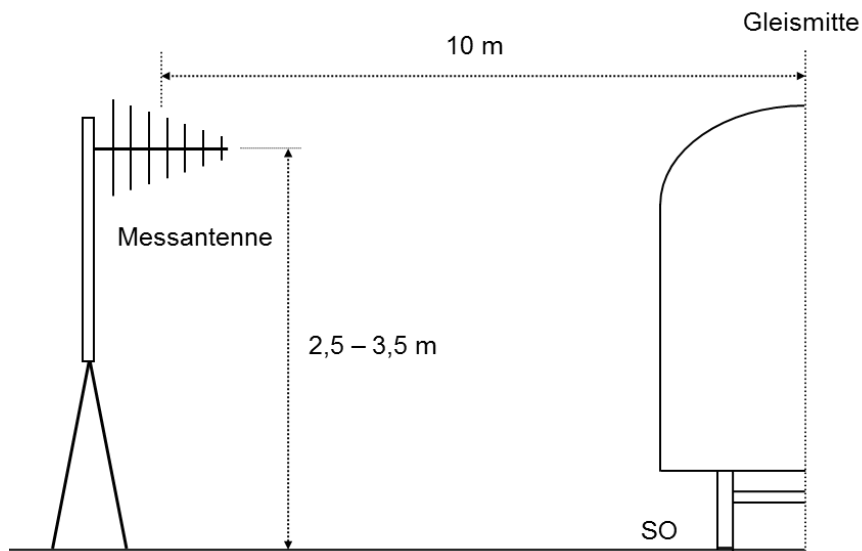
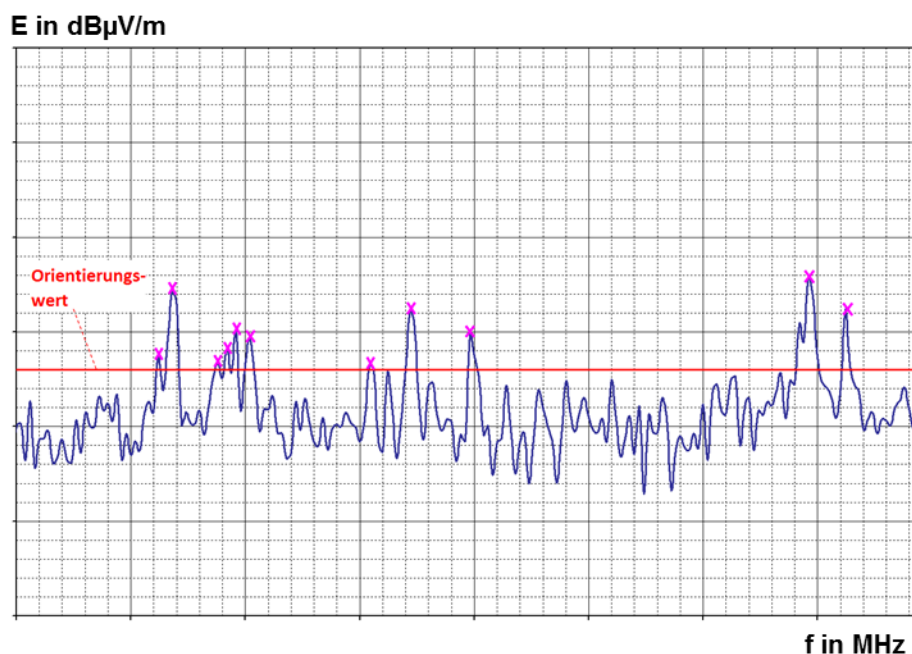


Abbildung B.1: Messaufbau für die 10-m-Messung

Die nachfolgende Abbildung B.2 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer 10-m-Messung. Die gemessenen Maxima in zusammenhängenden Frequenzbereichen, in denen die Messwerte den Orientierungswert für das Szenario 1 überschreiten, sind für die Durchführung der 1-m-Detailmessung zu verwenden. In der Abbildung B.2 sind diese Frequenzpunkte durch Kreuze gekennzeichnet.



x: Maxima in zusammenhängenden Überschreibungsbereichen. Die zugehörigen Frequenzen sind für die Durchführung der 1-m-Detailmessung heranzuziehen

Abbildung B.2: Ermittlung kritischer Frequenzen aus der 10-m-Messung (Beispiel)

Anhang C (normativ): 1-m-Detailmessung (Vorbeifahrt)

Messaufbau	siehe Abbildung C.1	
Messpunkte	Kontinuierlicher Scan entlang des Fahrzeugs in einem Abstand von 1 m zur Fahrzeugwand	
Frequenzbereiche	gemäß Frequenzliste aus der 10-m-Messung (siehe Abschnitt 4.2.4)	
Antennenpolarisation	gemäß den Ergebnissen der 10-m-Messung	
Grenzwerte	0,7-m-Band:	22 dBμV/m
	0,3-m-Band (GSM-R):	
	○ im Downlink:	25 dBμV/m
	○ im Uplink:	41 dBμV/m
Einstellungen Messempfänger (Vorzugseinstellung) (1)	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	Auflöse-Bandbreite (RBW) 9 kHz oder 10 kHz Video-Bandbreite (VBW) bei Spektrumanalysatoren „automatische Einstellung“
	Modus:	Abtastung und Aufzeichnung des zeitlichen Störpegelverlaufs zur Ermittlung eines Feldstärke-Weg- Profils E(s) (z.B.: Spektrumanaly- sator im Zero-Span-Modus)
	Messzeit:	≥ 10 ms
Alternativeinstellungen Messempfänger (2)	Bewertung:	Mittelwert (AV) oder MinPeak mit MinHold
	Messbandbreite (6 dB):	≥ 100 Hz
	Modus:	siehe Vorzugseinstellungen
	Messzeit:	≥ 20 ms

Tabelle C.1: 1-m-Detailmessung

ANMERKUNG (1): Die Anzahl der aufgezeichneten Datenpunkte im Feldstärke-Zeit-Profil E(t) muss ausreichen, um eine Auflösung des daraus zu ermittelnden Feldstärke-Weg-Profiles E(s) von $\Delta l \leq 10 \text{ cm}$ zu erreichen (siehe auch Abschnitt 4.3.4).

ANMERKUNG (2): Die Alternativeinstellungen können genutzt werden, um bei hohen Umgebungspiegeln den bewertbaren Anteil gemäß Abschnitt 4.2.2 im GSM-R-Downlink Band zu erhöhen (siehe zu dieser und weiteren Methoden auch Anhang G).

Der Prüfbericht muss die Messwertdarstellungen mit den Vorzugseinstellungen und den Alternativeinstellungen enthalten.

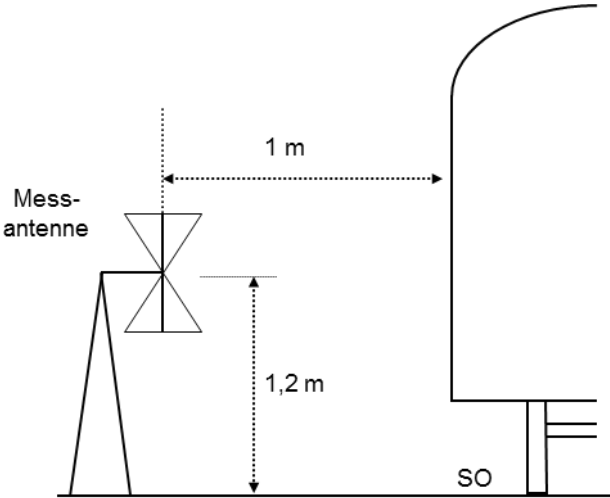


Abbildung C.1: Messaufbau für die 1-m-Detailmessung

Anhang D (normativ): Messung an Fahrzeugantennen

Messaufbau	siehe Abbildung D.1	
Messpunkte	am jeweiligen Antennenstecker zum Empfangsgerät bahnbetriebsrelevanter Funkdienste (nicht am Antennenfußpunkt)	
Frequenzbereiche	siehe Anhang A	
Grenzwerte	0,7-m-Band:	-10 dBμV
	0,3-m-Band (GSM-R): <ul style="list-style-type: none"> ○ im Downlink: ○ im Uplink: 	-6 dBμV <i>keine Messung erforderlich</i>
Einstellungen Messempfänger (Vorzugseinstellung)	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	9 kHz oder 10 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 \times$ Messbandbreite
	Messzeit:	≥ 10 ms
Alternativeinstellungen Messempfänger (1)	Bewertung:	Mittelwert (AV) oder MinPeak mit MinHold
	Messbandbreite (6 dB):	≥ 100 Hz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 \times$ Messbandbreite
	Messzeit:	≥ 20 ms

Tabelle D.1: Messung an Fahrzeugantennen

ANMERKUNG (1): Bei hohem Grundstörpegel im GSM-R Downlink-Band kann zusätzlich an Stelle des Mittelwertdetektors auch der Min-Peak-Detektor oder / und die Min-Hold-Darstellung gewählt werden. Dies ist im Bericht zu dokumentieren. Der Bericht muss die Messwertdarstellungen mit den Vorzugseinstellungen und ggf. Alternativeinstellungen enthalten.

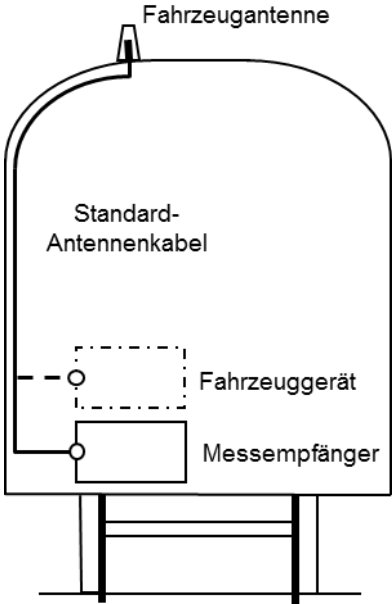


Abbildung D.1: Messaufbau für die Messung an Fahrzeugantennen (Prinzipskizze)

Anhang E (normativ): Messung an Geräten

Messaufbau	gemäß DIN EN 61000-6-4 [7]	
Frequenzbereiche	siehe Anhang A	
Antennenpolarisation	vertikal und horizontal	
Grenzwerte für Schutzklasse S0 10 m Messabstand ¹⁾ auf Freifeldmessplatz oder in Teilabsorberkammer	0,7-m-Band:	6 dBμV/m
	0,3-m-Band (GSM-R): ○ im Downlink: ○ im Uplink:	9 dBμV/m 25 dBμV/m
Grenzwerte für Schutzklasse S0 3 m Messabstand in Vollabsorberkammer	0,7-m-Band:	11 dBμV/m
	0,3-m-Band (GSM-R): ○ im Downlink: ○ im Uplink:	14 dBμV/m 30 dBμV/m
Einstellungen Messempfänger	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	9 kHz oder 10 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 \times$ Messbandbreite
	Messzeit:	≥ 10 ms

Tabelle E.1: Messung an Geräten

- 1) Eine Messentfernung von 3 m darf benutzt werden, wobei die Grenzwerte um 10 dB erhöht werden.

Einstufung der Geräte in Schutzklassen

Die in dieser Regelung verwendeten Schutzklassen S0 bis S3 für Geräte werden in nachfolgender Tabelle E.2 definiert.

Die Eingruppierung eines Gerätes richtet sich nach den Einbaubedingungen im Fahrzeug gemäß Einbauplanung und EMV-Plan.

Bei Geräten der Schutzklassen S1 bis S3 kann der anzuwendende Grenzwert um den in der Tabelle E.2 genannten Wert gegenüber dem in Tabelle E.1 (oben) angegebenen Basisgrenzwert der Schutzklasse S0 angehoben werden.

Schutz- klasse	Einbaubedingungen	Beispiel	Grenzwert- Anhebung
S0	Geräte, die an der Außenseite des Fahrzeugs oder hinter den Seitenfenstern installiert werden	Seitendisplays, Zugzielanzeigen, Zug- / Wagennummern-Anzeigen	0 dB
S1	alle Geräte oder Systeme, die nicht zu den Klassen S0, S2 oder S3 gehören	Fahrgastraum- u. Führerstands-Displays, Fahrgastinformation, Fahrkartenautomaten, Türsteuerung, Geräteboxen, Container	3 dB
S2	Geräte, die in einem allseitig metallisch geschlossen Schrank oder Container eingebaut werden	Steuerelektronik in einem Schaltschrank (z.B. Klimaregler, Video-Recorder)	10 dB
S3	Geräte, die in einem HF-dichten Schrank oder Container eingebaut werden	Zugsicherungsanlage in einem HF-dichten Schrank	30 dB

Tabelle E.2: Geräteschutzklassen

Anhang F (informativ): Herleitung der Grenzwerte**F.1 Herleitung der Grenzwerte für die Störfeldstärke am Ort der Empfänger**

Die folgende Tabelle F.1 skizziert die Herleitung des Grenzwertes für die Störfeldstärke im **0,7-m-Band** auf Basis der Eigenschaften der Störsenken (Funkempfänger).

k-Faktor (0 dBi, 50 Ω)	23,3	dB/m
Kanalbandbreite	25,0	kHz
Rauschzahl	4,0	dB
Gesamtrauschleistung	-126,0	dBm
	-19,0	dBμV
	4,3	dBμV/m
S/N	12,0	dB
Geräteempfindlichkeit	-114,0	dBm
	-7,0	dBμV
	16,3	dBμV/m
Empfindlichkeitsverringerng um	18,0	dB
Erlaubte Störung	-108,0	dBm
	-1,0	dBμV
	22,3	dBμV/m
resultierende Empfindlichkeit	-96,0	dBm
	11,0	dBμV
	34,3	dBμV/m

Tabelle F.1: Herleitung: Grenzwert für Störfeldstärke im 0,7-m-Band

Der Grenzwert für die Störfeldstärke im 0,7-m-Band wird zu **22,0 dBμV/m** festgelegt.

Dieser Grenzwert ist am Ort der zu schützenden Funkempfänger einzuhalten.

Die folgende Tabelle F.2 skizziert die Herleitung der Grenzwerte für die Störfeldstärke im **0,3-m-Band** auf Basis der Eigenschaften der Störsenken (Funkempfänger).

Downlink			Uplink		
			k-Faktor (17 dBi, 50 Ω)	12.3	dB/m
			Kanalbandbreite	200.0	kHz
			Rauschzahl	5.0	dB
			Gesamtrauschleistung	-116.0	dBm
				-9.0	dBμV
				3.3	dBμV/m
k-Faktor (0 dBi, 50 Ω)	29.3	dB/m	C/I (Handover-Fall)	10.0	dB
Kanalbandbreite	200.0	kHz			
Rauschzahl	7.0	dB	Geräteempfindlichkeit	-106.0	dBm
				1.0	dBμV
				13.3	dBμV/m
Gesamtrauschleistung	-114.0	dBm	Antennengewinn-BTS	17.0	dB
	-7.0	dBμV	Feederverluste-BTS	-3.0	dB
	22.3	dBμV/m	Entfernung BTS-Fz	10.0	m
C/I (Handover-Fall)	10.0	dB	Freiraumdämpfung (900MHz)	-51.5	dB
			Dämpfung BTS-Empfänger<->Fahrzeug	37.5	dB
Geräteempfindlichkeit	-104.0	dBm			
	3.0	dBμV	Erlaubte Störung	-78.5	dBm
	32.3	dBμV/m		28.5	dBμV
Empfindlichkeitsverringerung um	3.0	dB		40.8	dBμV/m
			resultierende Empfindlichkeit	-104.5	dBm
Erlaubte Störung	-111.6	dBm		2.5	dBμV
	-4.6	dBμV		14.8	dBμV/m
	24.7	dBμV/m			
resultierende Empfindlichkeit	-101.0	dBm			
	6.0	dBμV			
	35.3	dBμV/m			

Tabelle F.2: Herleitung: Grenzwerte für Störfeldstärke im 0,3-m-Band

Die Grenzwerte für die Störfeldstärke im 0,3-m-Band werden zu **25,0 dBμV/m** im Downlink- und **41,0 dBμV/m** im Uplink-Bereich festgelegt.

Diese Grenzwerte sind am Ort der zu schützenden Funkempfänger einzuhalten.

F.2 Herleitung der Grenzwerte für das Szenario 1

Als Bezugslinie für das Szenario 1 wird ein seitlicher Abstand von 1 m in einer Höhe von 1,2 m über der Schienenoberkante entlang des Fahrzeugs gewählt. Entlang dieser Linie werden somit die Störfeldstärke-Grenzwerte gemäß Abschnitt F.1 zum Schutz von mobilen Funkempfängern angesetzt.

Das Messverfahren zur Bewertung der Verträglichkeit für das Szenario 1 sieht eine Messung an eben dieser Bezugslinie vor, so dass die Grenzwerte für die Störfeldstärke unverändert als Grenzwerte für die Detailmessung in 1 m Messabstand herangezogen werden.

F.3 Herleitung der Orientierungswerte für das Szenario 1

Die gemäß Abschnitt F.1 hergeleiteten Grenzwerte für das 0,7-m- und das 0,3-m-Band werden zugrunde gelegt. Es wird eine Umrechnung der Grenzwerte über das Abstandsverhältnis zwischen dem Bezugsabstand für das Szenario 1 von 1 m und der Messentfernung für die Voruntersuchung von 10 m vorgenommen. Der Berechnung wird eine Freiraumausbreitung der elektromagnetischen Störgrößen unter Fernfeldbedingungen zugrunde gelegt.

Die nachfolgende Abbildung F.1 zeigt die Entfernungsverhältnisse für die Bezugslinie in 1 m und einer Messung in 10 m Abstand. Der Einfluss der Messentfernung auf den Feldstärkepegel wird in Tabelle F.3 aufgeführt.

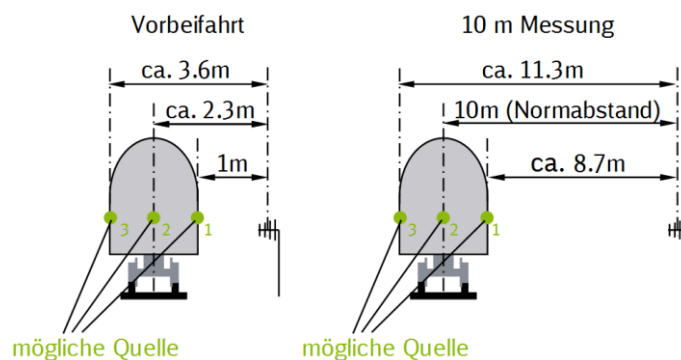


Abbildung F.1: Entfernungsverhältnis: Bezugspunkt Szenario 1 und 10-m-Messung

	Abstand Quelle <-> Bezugspunkt in m		Abstands- und Pegelverhältnis	
	Szenario 1	10-m-Messung	linear	dB
Fall 1	1,0	8,7	8,7	18,8
Fall 2	2,3	10,0	4,3	12,8
Fall 3	3,6	11,3	3,1	9,9

Tabelle F.3: Pegelverhältnis: Bezugspunkt Szenario 1 und 10-m-Messung

Bei der Durchführung von Messungen stellte sich überwiegend eine Pegeldifferenz von ca. 13 dB zwischen den Messentfernungen von 1 m und 10 m ein (entsprechend Fall 2). Dieser

Fall wird daher mit einem gerundeten Wert von 13 dB für die Festlegung des Orientierungswertes für das Szenario 1 festgelegt.

	Bezugs- Abstand	0,7-m-Band	0,3-m-Band	
			Downlink	Uplink
Grenzwert Szenario 1	1 m	22 dB μ V/m	25 dB μ V/m	41 dB μ V/m
Orientierungswert	10 m	9 dBμV/m	12 dBμV/m	28 dBμV/m

Tabelle F.4: Herleitung: Orientierungswerte für Szenario 1

F.4 Herleitung der Grenzwerte für das Szenario 2

Im Sinne des Szenarios 2 wird unter Annahme eines Gleisabstandes von 4,5 m ein Bezugsabstand für zu schützenden Funkempfänger von 6,8 m zur Mitte des Gleises mit dem zu bewertenden Fahrzeug angesetzt (s. hierzu auch Abb. F.2).

In diesem Abstand sind somit die Störfeldstärke-Grenzwerte gemäß Abschnitt F.1 zum Schutz von mobilen Funkempfängern einzuhalten.

Das Messverfahren zur Bewertung der Verträglichkeit für das Szenario 2 sieht einen Messabstand von 10 m vor, so dass zur Ermittlung der Grenzwerte für dieses Verfahren eine Umrechnung über die Abstandsverhältnisse vorzunehmen ist. Der Berechnung wird eine Freiraumausbreitung der elektromagnetischen Störgrößen unter Fernfeldbedingungen zugrunde gelegt.

Die nachfolgende Abbildung F.2 zeigt die Entfernungsverhältnisse für eine Störquelle in der Mitte des Fahrzeugs (Fall 2 aus Abschnitt F.3). Der Einfluss der Messentfernung auf den Feldstärkepegel wird in Tabelle F.5 aufgeführt.

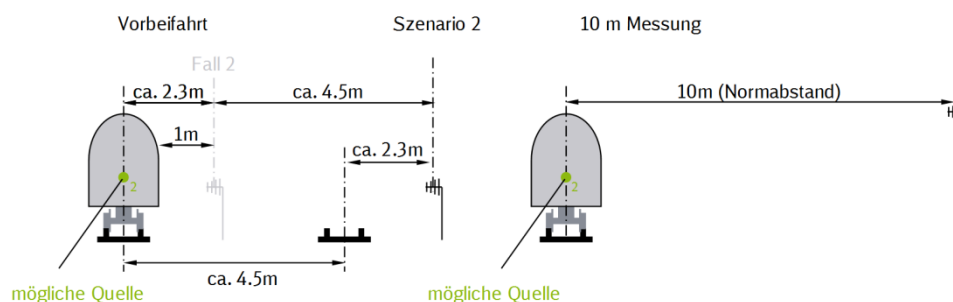


Abbildung F.2: Entfernungsverhältnis: Bezugspunkt Szenario 2 und 10-m-Messung

	Abstand Quelle <-> Bezugspunkt in m		Abstands- und Pegelverhältnis	
	Szenario 2	10-m-Messung	linear	dB
Fall 2	6,8	10,0	1,5	3,3

Tabelle F.5: Pegelverhältnis: Bezugspunkt Szenario 2 und 10-m-Messung

Der Grenzwert für das Szenario 2 bei Messung in einer Entfernung von 10 m wird aus dem auf 3 dB gerundeten Verhältnis aus Tabelle F.5 festgelegt.

	Bezugs- Abstand	0,7-m-Band	0,3-m-Band	
			Downlink	Uplink
Grenzwert Szenario 2	6,8 m	22 dB μ V/m	25 dB μ V/m	41 dB μ V/m
Grenzwert 10-m-Messung	10 m	19 dBμV/m	22 dBμV/m	38 dBμV/m

Tabelle F.6: Herleitung: Grenzwerte Szenario 2 aus 1-m-Detailmessung

F.5 Herleitung der Grenzwerte für die Störspannung am Empfängeranschluss

Herleitung des Grenzwerts für das 0,7-m-Band:

Vorgaben aus dem UIC Merkblatt 751-3 [8]:

- Abschnitt 2.2 fordert bei einer Eingangsspannung von $\geq 1 \mu\text{V}$ am Empfängereingang einen Geräuschabstand von $\geq 20 \text{ dB}$ am Empfängerausgang
- Abschnitt 2.4.1 fordert bei im Eisenbahngelände herrschenden Störungen im UHF-Frequenzbereich das Erreichen von mindestens 20 dB Signal-Störabstand bei einer Eingangsspannung von $\geq 1 \mu\text{V}$.

Es wird eine Mindestspannung von $2 \mu\text{V}$ (entsprechend einem Pegel von 6 dB μ V) am Empfängereingang angenommen. Bei einem Störabstand von 20 dB beträgt somit der maximal zulässige Störpegel am Empfängereingang -14 dB μ V für eine gute Sprachübertragung. Für das Erreichen einer noch akzeptablen Sprachqualität wird ein um 4 dB reduzierter Störabstand von 16 dB angesetzt.

Die maximal zulässige Störspannung ergibt sich aus der Differenz des Mindestnutzpegels am Empfängereingang (6 dB μ V) und dem minimalen Störabstand (16 dB) zu einem Wert von -10 dB.

Als Grenzwert für die Störspannung am Eingang von Empfängern im 0,7-m-Band wird daher ein Wert von **-10 dB μ V** festgelegt.

Herleitung des Grenzwerts für das 0,3-m-Band:

Die Mindestempfindlichkeit (reference sensitivity) von GSM-R Geräten ist gemäß der Standards ETSI EN 300 910 [11], ETSI TR 145 050 [13] und 3GPP TR 03.30 [14] auf -104 dBm festgelegt. Dieser Wert gilt lediglich für einen statischen Kanal. Für in der Praxis auftretende Kanäle ist ein Wert von -101 dBm anzusetzen, siehe Standard ETSI TS 102 933-1 [12] Abschnitte 6.1 und 6.2.

Der minimale Störabstand im Nutzkanal (reference interference level) von GSM-R Geräten ist gemäß des Standards ETSI EN 300 910 [11] auf 9 dB festgelegt.

Hinweis:

Dies gilt für Nutzsignalfeldstärken von 20 dB über der Mindestempfindlichkeit.

Für Systeme, die am Rauschlimit betrieben werden, ist weder die GSM Mindestempfindlichkeit (reference sensitivity level) maßgeblich, wenn der Empfänger gleichzeitig Störungen ausgesetzt ist, noch der minimale Störabstand (reference interference level) von 9 dB C/I (Signalrauschverhältnis) bei Eingangssignalen an der Mindestempfindlichkeit (reference sensitivity level). Daher wird ein 3 dB Zuschlag als Störungsverschlechterung hinzugefügt. Somit ergeben sich gemäß der Standards ETSI TR 145 050 [13] und 3GPP TR 03.30 [14] 12 dB als minimaler Störabstand an der Mindestempfindlichkeit bei gleichzeitig vorhandenen Störungen am Empfängereingang. Eine Empfängerempfindlichkeit von -101 dBm entspricht in einem 50- Ω -System einem Spannungspegel von 6 dB μ V.

Die maximal zulässige Störspannung ergibt sich aus der Differenz des Mindestnutzpegels am Empfängereingang (6 dB μ V) und dem minimalen Störabstand (12 dB) zu einem Wert von -6 dB μ V.

Als Grenzwert für die Störspannung am Eingang von Empfängern im 0,3-m-Band wird daher ein Wert von **-6 dB μ V** festgelegt.

F.6 Herleitung der Grenzwerte für die Prüfung von Geräten

Die gemäß Abschnitt F.1 hergeleiteten Grenzwerte für die Störfeldstärke für das 0,7-m- und das 0,3-m-Band werden zugrunde gelegt.

0,7-m-Band:	22 dB μ V/m
0,3-m-Band (GSM-R downlink):	25 dB μ V/m
0,3-m-Band (GSM-R uplink):	41 dB μ V/m

Für die Festlegung der Grenzwerte werden das Schutzziel des Szenarios 1 und das Messverfahren mit einem Messabstand von 10 m herangezogen.

Die typische Einbauhöhe von Geräten in Schienenfahrzeugen liegt oberhalb der Bezugslinie für das Szenario 1 (1,2 m über der Schienenoberkante). Es wird daher von einer tatsächlichen Wegstrecke zwischen den Geräten und der Bezugslinie von etwa 1,5 m ausgegangen.

In Analogie zu den Abschnitten F.3 und F.4 erfolgt eine Umrechnung der Grenzwerte über das Abstandsverhältnis zwischen dem Schutzabstand von 1,5 m und dem Messabstand von 10 m.

Abstand Quelle <-> Bezugspunkt in m		Abstands- und Pegelverhältnis	
Szenario 1	Geräteprüfung	linear	dB
1,5	10,0	6,7	16,5

Tabelle F.7: Pegelverhältnis: Bezugspunkt Szenario 1 und Geräteprüfung

Der Grenzwert für Geräte bei Messung in einer Entfernung von 10 m wird aus dem auf 16 dB abgerundeten Verhältnis aus Tabelle F.7 festgelegt.

	Bezugs- Abstand	0,7-m-Band	0,3-m-Band	
			Downlink	Uplink
Störfeldstärke Grenzwert für Funkempfänger	1,5 m	22 dB μ V/m	25 dB μ V/m	41 dB μ V/m
Grenzwert Geräteprüfung in 10 m Messabstand	10 m	6 dBμV/m	9 dBμV/m	25 dBμV/m

Tabelle F.8: Herleitung: Grenzwerte für Geräte (10 m Abstand)

Die Herleitung der Grenzwerte für eine Geräteprüfung in einer Vollabsorberkammer mit 3 m Messabstand erfolgt in Analogie zu Tabelle 1 in DIN EN 61000-6-4 [7], in der die Grenzwerte im Bereich 230 MHz bis 1000 MHz für eine Messung in 10 m Abstand unter Freifeldbedingungen auf eine Messung in 3 m Abstand unter Freiraumbedingungen durch eine Anhebung um 5 dB umgerechnet werden.

	Bezugs- Abstand	0,7-m-Band	0,3-m-Band	
			Downlink	Uplink
Grenzwert Geräteprüfung im Freifeld in 10 m Messabstand	10 m	6 dB μ V/m	9 dB μ V/m	25 dB μ V/m
Grenzwert Geräteprüfung im Freiraum in 3 m Messabstand	3 m	11 dBμV/m	14 dBμV/m	30 dBμV/m

Tabelle F.9: Herleitung: Grenzwerte für Geräte (3 m Abstand im Freiraum)

Um sowohl der Abschirmwirkung des Einbauortes der Geräte als auch dem größeren Abstand zum Gerät Rechnung zu tragen, werden zusätzlich Schutzklassen für die Geräte definiert (siehe Tabelle E.2 in Anhang E).

Für Geräte der Schutzklassen S1 bis S3 gelten erleichterte Anforderungen an die Störaussendung.

Anhang G (informativ): Hoher Umgebungspegel

In Frequenzbereichen, in denen die Umgebungspegel am gewählten Messort die Grenz- bzw. Orientierungswerte überschreiten, ist die Bewertbarkeit der Funkverträglichkeit eingeschränkt. Störgrößen des Prüfobjektes (Fahrzeug bzw. Gerät) in diesen Bereichen können, sofern deren Pegel die Umgebungspegel nicht deutlich (≥ 6 dB) überschreiten, entweder nicht erkannt (Störpegel \leq Umgebungspegel) oder nicht pegelrichtig vermessen werden (Pegel ≤ 6 dB über dem Umgebungspegel).

Auf diese Weise wird der bewertbare Anteil eines Bandes durch hohe Umgebungspegel herabgesetzt. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Sachverhalt am Beispiel von Feldstärke-Messergebnissen im GSM-R-Downlink-Band.

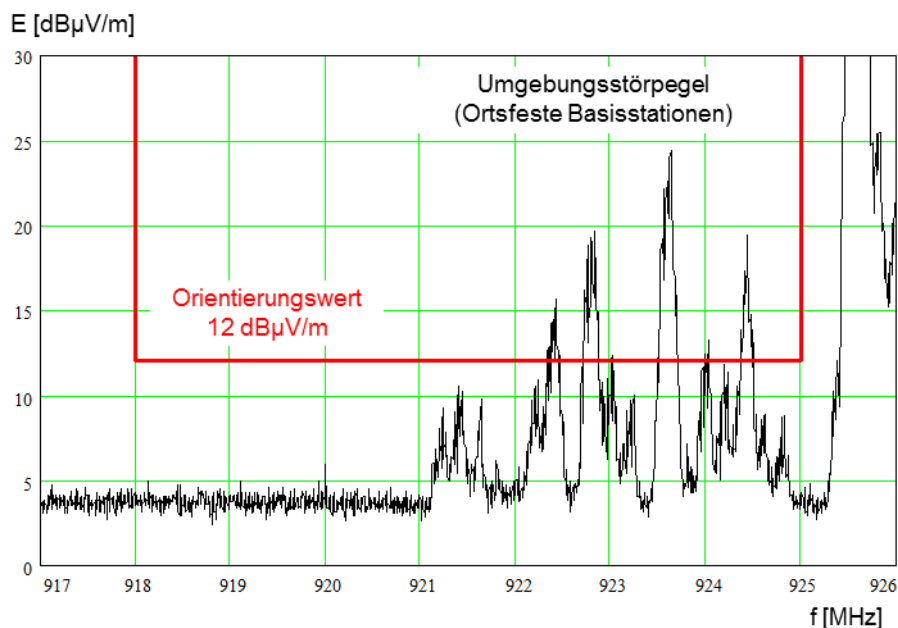


Abbildung G.1: Umgebungsfeldstärke im GSM-R-Downlink-Band (Beispiel)

Zur Erreichung der Schutzziele dieser Regelung wird für das GSM-R-Downlink Band ein bewertbarer Anteil von 80 % bei Störfeldstärke-Messungen sowie von 95 % bei Störspannungsmessungen an den Eingängen fahrzeugeigener GSM-R-Empfangsgeräte gefordert.

In diesem Anhang werden verschiedene Methoden vorgestellt, mit denen der bewertbare Anteil bei Vorhandensein grenzwertüberschreitender Umgebungspegel am gewählten Messort erhöht werden kann:

- a) Messung an unterschiedlichen Orten
- b) Selektive Prüfung mit alternativen Messeinstellungen
- c) Nachweis auf Basis von Geräteprüfungen
- d) Kohärenzbetrachtung zu bestehenden Lösungen

a) Messung an unterschiedlichen Orten

Da sich die Umgebungspegel durch Abschattungs- und Überlagerungseffekte (Fading, Schwund) und insbesondere im GSM-R Downlink Band aufgrund der Nutzung unterschiedlicher Kanäle der Basisstationen in Bezug auf Frequenz und Pegel zum Teil deutlich unterscheiden, können einige der an einem Messort nicht bewertbaren Anteile an einem anderen Messort bewertbar sein.

Durch eine Überlagerung aller bewertbaren Anteile aus Messungen an verschiedenen Orten kann so insgesamt die Anforderung dieser Regelung erfüllt werden, selbst wenn an keinem der Messorte die dort erzielte Bewertbarkeit für sich ausreichend ist.

Messungen der Störspannung an den Eingängen von fahrzeugeigenen Funkempfängern können auch in Werkshallen unter Ausnutzung der Gebäudedämpfung durchgeführt werden.

b) Selektive Prüfung mit alternativen Messeinstellungen

Eine Analyse mit alternativen Messeinstellungen wird empfohlen, wenn der Umgebungspegel im GSM-R-Downlink-Band den anzuwendenden Grenz- bzw. Orientierungswert um nicht mehr als ca. 20 dB überschreitet.

Es kann davon ausgegangen werden, dass im GSM-R-Downlink-Band nur noch Störgrößen mit Schmalband-Charakteristik auftreten (z.B. Harmonische von Prozessor-Frequenzen).

Durch eine *Reduktion der Messbandbreite* verringert sich der Anzeigepegel des GMSK-modulierten GSM-R-Signals der Basisstation (Umgebungspegel), während der Anzeigepegel der zu bewertenden schmalbandigen Störgrößen nicht verändert wird. Empfohlen wird eine Messbandbreite zwischen 1 kHz und 100 Hz.

Es ist ausreichend, diese Analyse nur für diejenigen Frequenzbereiche durchzuführen, in denen der Umgebungspegel über dem Grenz- bzw. Orientierungswert liegt. Dennoch können sich dabei im klassischen Messempfänger-Modus („stepped frequency scan“) hohe Gesamtmesszeiten ergeben. Empfohlen wird die Messung mit einem Spektrumanalysator oder einem Zeitbereichs-Messempfänger.

Da es sich bei den zu erwartenden, schmalbandigen Störgrößen zumeist um unmodulierte und damit amplituden- und frequenzstabile Oberschwingungen einer Taktfrequenz handelt, kann darüber hinaus durch Anwendung des Mittelungsverfahrens „*MinHold*“ der angezeigte GMSK-modulierte Umgebungspegel ohne massive Beeinflussung des zu bewertenden Störpegels weiter abgesenkt werden. Auch die Verwendung eines *MinPeak-Detektors* anstelle des Mittelwertdetektors ist zulässig.

Durch die Anwendung der hier vorgestellten, alternativen Messeinstellungen kann geprüft werden, ob sich hinter den Umgebungspegeln vom Fahrzeug verursachte, schmalbandige Störgrößen verbergen.

c) Nachweis auf Basis von Geräteprüfungen

Ergebnisse von Funkverträglichkeitsprüfungen an Geräten gemäß Abschnitt 6 können für die Analyse des Beeinflussungsrisikos in den Frequenzbereichen mit hohen Umgebungspegeln genutzt werden.

Für einen Nachweis der Funkverträglichkeit an Fahrzeugantennen wird in diesem Fall geprüft, ob die Geräte auf dem Fahrzeugdach Störgrößen in den betreffenden Frequenzbereichen erzeugen.

Liegen für alle elektronischen Einrichtungen eines Fahrzeugs Prüfergebnisse auf der Basis von Geräteprüfungen vor, kann die Methode auch zum Schließen bestehender Nachweislücken bei den Störfeldstärke-Messungen zur Bewertung für die Szenarien 1 und 2 genutzt werden.

d) Kohärenzbetrachtung zu bestehenden Lösungen

Es können Kohärenzbetrachtungen zu Fahrzeugen durchgeführt werden, bei denen im Hinblick auf Betriebsfunkdienste bereits positive Betriebserfahrungen gewonnen wurden.

Verfügt das zu bewertende Fahrzeug über einen ähnlichen Dachaufbau (gleiche Geräte- und Antennenanordnung), kann davon ausgegangen werden, dass die Geräte in den betroffenen Frequenzbereichen ebenfalls keine unzulässig hohen Störgrößen in die Fahrzeugantennen einkoppeln. Die vergleichende Analyse der Dachaufbauten sollte durch Konstruktionszeichnungen, Bilder, Schaltungsunterlagen, Gerätebeschreibungen etc. ausführlich dokumentiert werden.

Anhang H (informativ): Ermittlung eines Feldstärke-Weg-Profiles E(s) (Beispiel)

Im Folgenden wird beispielhaft die Umwandlung eines Feldstärke-Zeit-Profiles E(t) in ein Feldstärke-Weg-Profil E(s) aufgezeigt. Das Beispiel geht von der Messung eines traktionslos vorbeierollenden Fahrzeugs aus, dessen Geschwindigkeit sich durch Reibungsverluste mit näherungsweise konstanter Verzögerung reduziert.

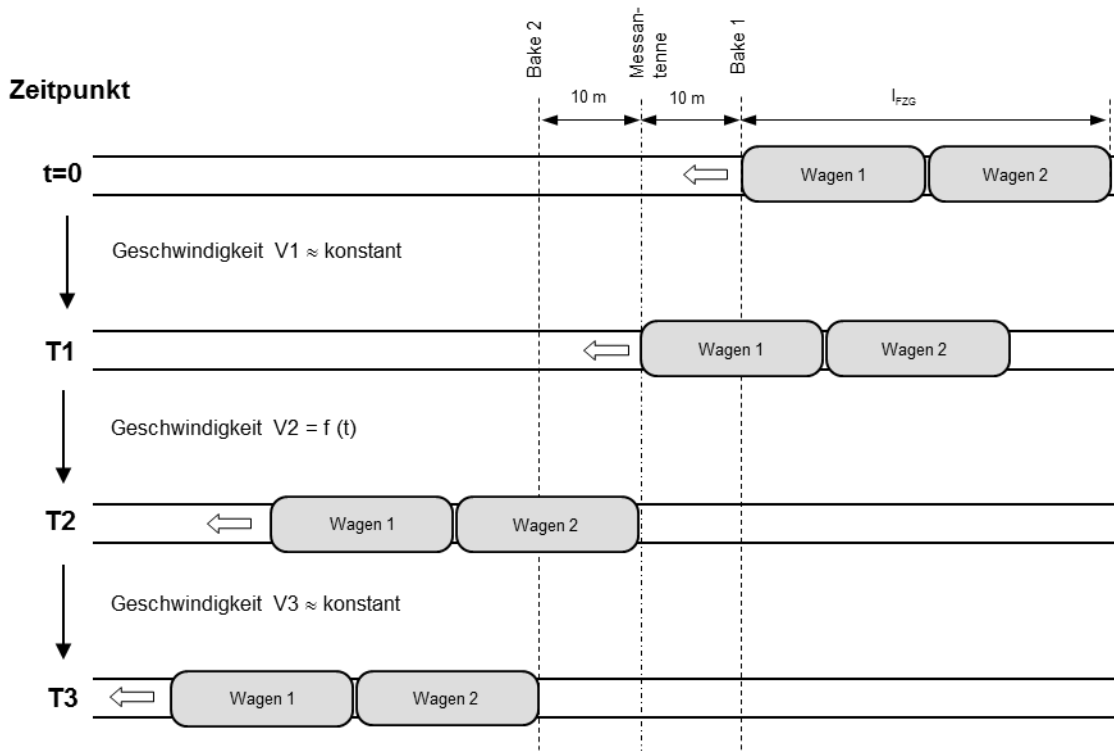


Abbildung H.1: Zeitlicher Ablauf einer 1-m-Detailmessung (schematisches Beispiel)

Anhand der gemessenen Zeitpunkte $T1$, $T2$ und $T3$ werden die Einfahrtgeschwindigkeit $V1$ und die Ausfahrtgeschwindigkeit $V3$ des Fahrzeugs ermittelt.

$$V1 = \frac{10m}{T1} \quad V3 = \frac{10m}{T3 - T2}$$

Aus diesen Werten kann die fahrzeugbezogene Wegstrecke im Zeitraum zwischen $T1$ und $T2$ wie folgt bestimmt werden:

$$s(t) = V1 \cdot (t - T1) + 0.5 \cdot \frac{V3 - V1}{T2 - T1} \cdot (t - T1)^2 \quad T1 \leq t \leq T2 \quad s(t) = \int_{T1}^{T2} V2(t) \cdot dt = L_{FZG}$$

Kontrolle: Die Gleichung $s(t)$ muss für $t = T2$ die Fahrzeuglänge l_{FZG} ergeben.

$$s(T2) = l_{FZG}$$

Ermittlung der Aufzeichnungsdauer und der Anzahl der Datenpunkte am Beispiel einer Messung im Zero-Span-Modus

Es wird empfohlen, durch eine erste Probefahrt zu ermitteln, welche Zeit das vorbeifolende Fahrzeug bei der gewählten Geschwindigkeit vom Beginn ($t = 0$, Bake 1) bis zum Ende der Messung ($t = T3$, Bake 2) benötigt. Die zu wählende Aufzeichnungsdauer T_{Mess} muss größer als diese Mindestzeit $T3$ sein.

Unter Berücksichtigung der Messzeit pro Datenpunkt des Messempefängers im Zero-Span-Modus von mindestens 10 ms resultiert hieraus die höchstzulässige Anzahl der Datenpunkte des Scans (DP_{Σ}).

Da die Anzahl der Datenpunkte bei vielen Messempefängern nur in einem festen Raster, z.B. 1001, 2001, 4001 ... 8001, eingestellt werden kann, ist für die Messung die nächst niedrigere Anzahl ($DP_{\Sigma ME}$) zu wählen (siehe Beispiel in nachfolgender Tabelle H.1).

Der Abstand benachbarter Stützstellen (Δl) des Profilsfans darf 10 cm nicht überschreiten, um eine ausreichend gute Auflösung zu erhalten.

Sofern dies nicht möglich ist, kann beispielsweise die Geschwindigkeit reduziert werden.

Bei sehr langen Triebfahrzeugen kann auch eine Unterteilung der 1-m-Detailprüfung auf z.B. zwei Halbzüge erforderlich werden.

Parameter	Größe / Beziehung	Beispiel
Fahrzeuglänge	l_{FZG}	73 m
Effektive Länge des Profils	$l_{\text{Profil}} = l_{FZG} + 2 \cdot 10m$	93 m
Fahrzeug-Geschwindigkeit	v_{FZG}	9 km/h
Mindestaufzeichnungsdauer für Profilsfan	$T3 = \frac{l_{\text{Profil}}}{v_{FZG}}$	37.2 s
Gewählte Aufzeichnungsdauer	$T_{\text{Mess}} > T3$	45 s
Höchstzulässige Anzahl an Datenpunkten für Zero-Span	$DP_{\Sigma} = \frac{T_{\text{Mess}}}{10ms}$	4500
Anzahl der Messempefänger-spezifischen Datenpunkte	$DP_{\Sigma ME} \leq DP_{\Sigma}$	4001
Abstand benachbarter Stützstellen des Profilsfans (Auflösung)	$\Delta l = \frac{T_{\text{Mess}}}{T3} \cdot \frac{l_{\text{Profil}}}{DP_{\Sigma ME}} \leq 10cm$	2.8 cm

Tabelle H.1: Beispielparameter bei einer 1-m-Detailmessung

Falls die Messung mit einer vorgegebenen Fahrzeuggeschwindigkeit v_{FZG} durchgeführt wird, kann mittels der folgenden zwei zugeschnittenen Größengleichungen

$$T_{Mess} |s > 3,6 \cdot \frac{20 + l_{FZG} |m}{v_{FZG} |km/h}$$

$$20 \cdot (20 + l_{FZG} |m) < DP_{\Sigma} < 100 \cdot T_{Mess} |s$$

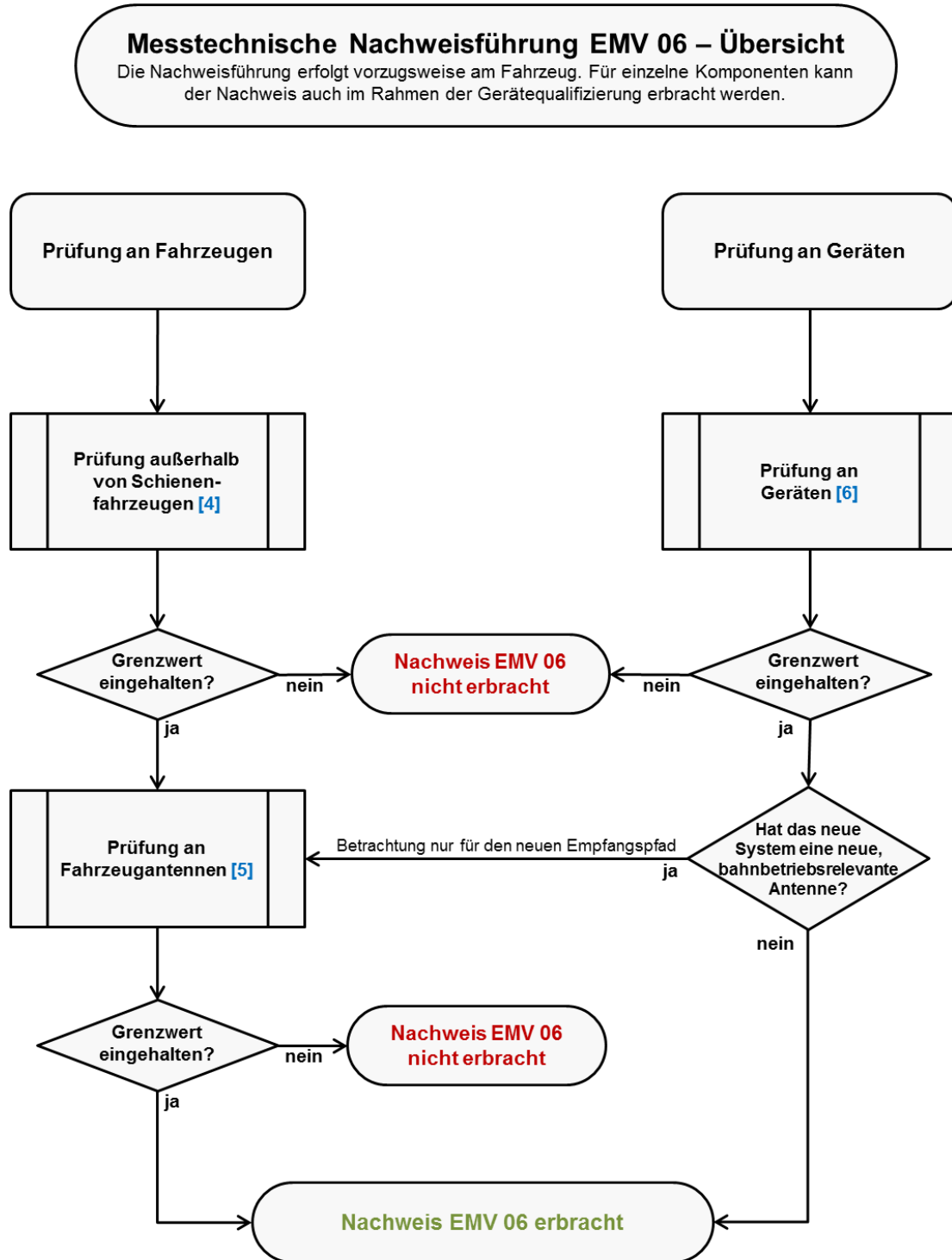
die Aufzeichnungsdauer T_{Mess} sowie die Anzahl der Datenpunkte DP_{Σ} bestimmt werden.

Aufgrund der oben genannten Zusammenhänge darf die Fahrzeuggeschwindigkeit bei einer Messzeit von 10 ms pro Datenpunkt nicht höher als 36 km/h sein.

ANMERKUNG: Die Beispielwerte in der Tabelle sowie die zugeschnittene Größengleichung gelten für eine Messzeit pro Datenpunkt von 10 ms. Bei reduzierter Messbandbreite (Alternativeinstellung bei hohem Grundstörspegel im GSM-R Downlink-Band) können höhere Messzeiten entstehen. Sollte in diesem Fall die geforderte Auflösung des Feldstärke-Weg-Profiles $E(s)$ von $\Delta l \leq 10$ cm nicht erreicht werden, wird eine Unterteilung in zwei Detailscans empfohlen.

Anhang I (informativ): Ablaufdiagramme zur Nachweisführung

I.1 Übersicht



[]: Abschnittsverweis

Abbildung I.1: Ablaufdiagramm: Messtechnische Nachweisführung (Übersicht)

I.2 Funkverträglichkeitsprüfung außerhalb von Schienenfahrzeugen

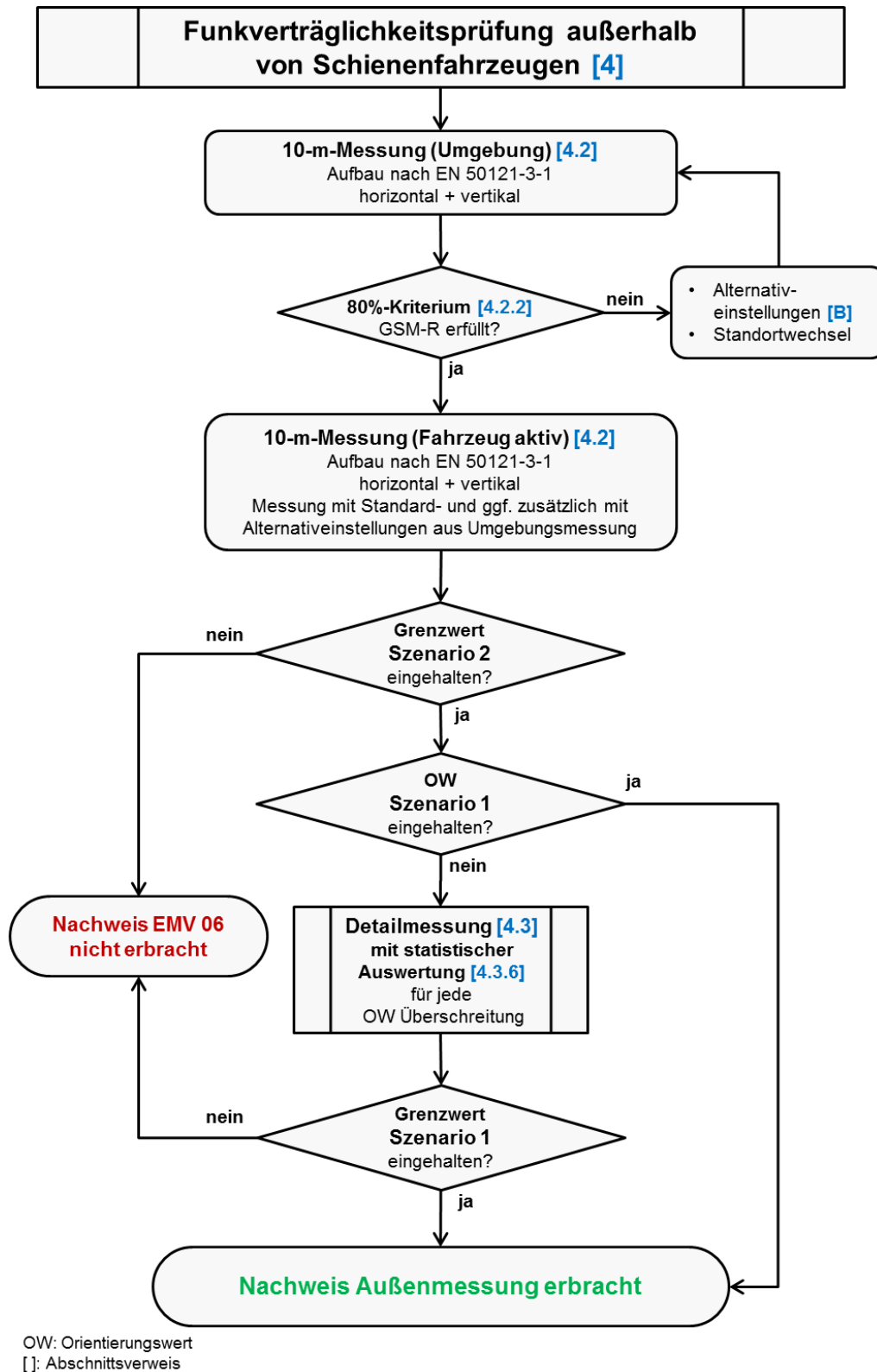
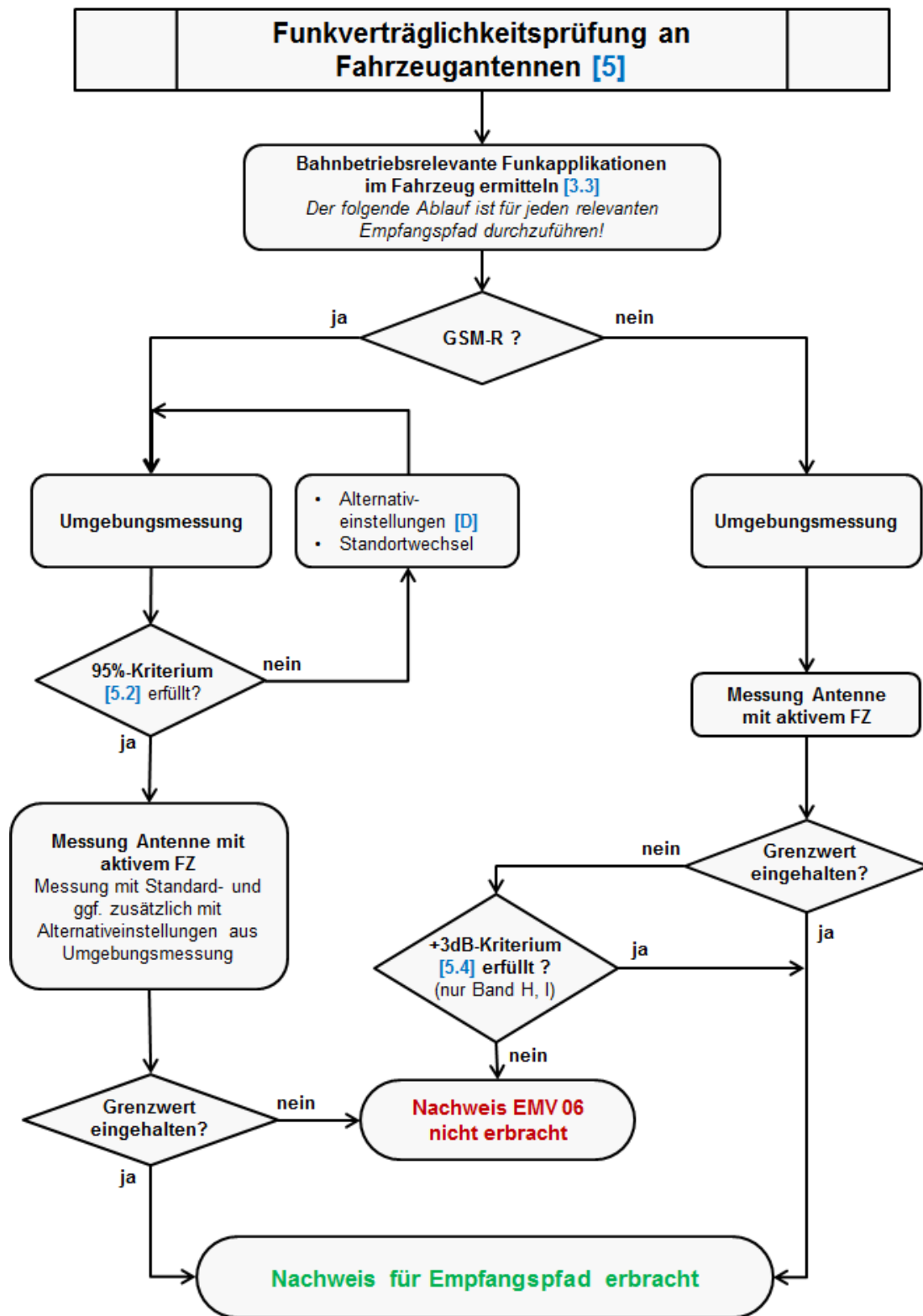


Abbildung I.2: Ablaufdiagramm: Prüfung außerhalb von Fahrzeugen

I.3 Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen



FZ: Fahrzeug
 []: Abschnittsverweis

Abbildung I.3: Ablaufdiagramm: Prüfung an Fahrzeugantennen

I.4 Funkverträglichkeitsprüfung an Geräten

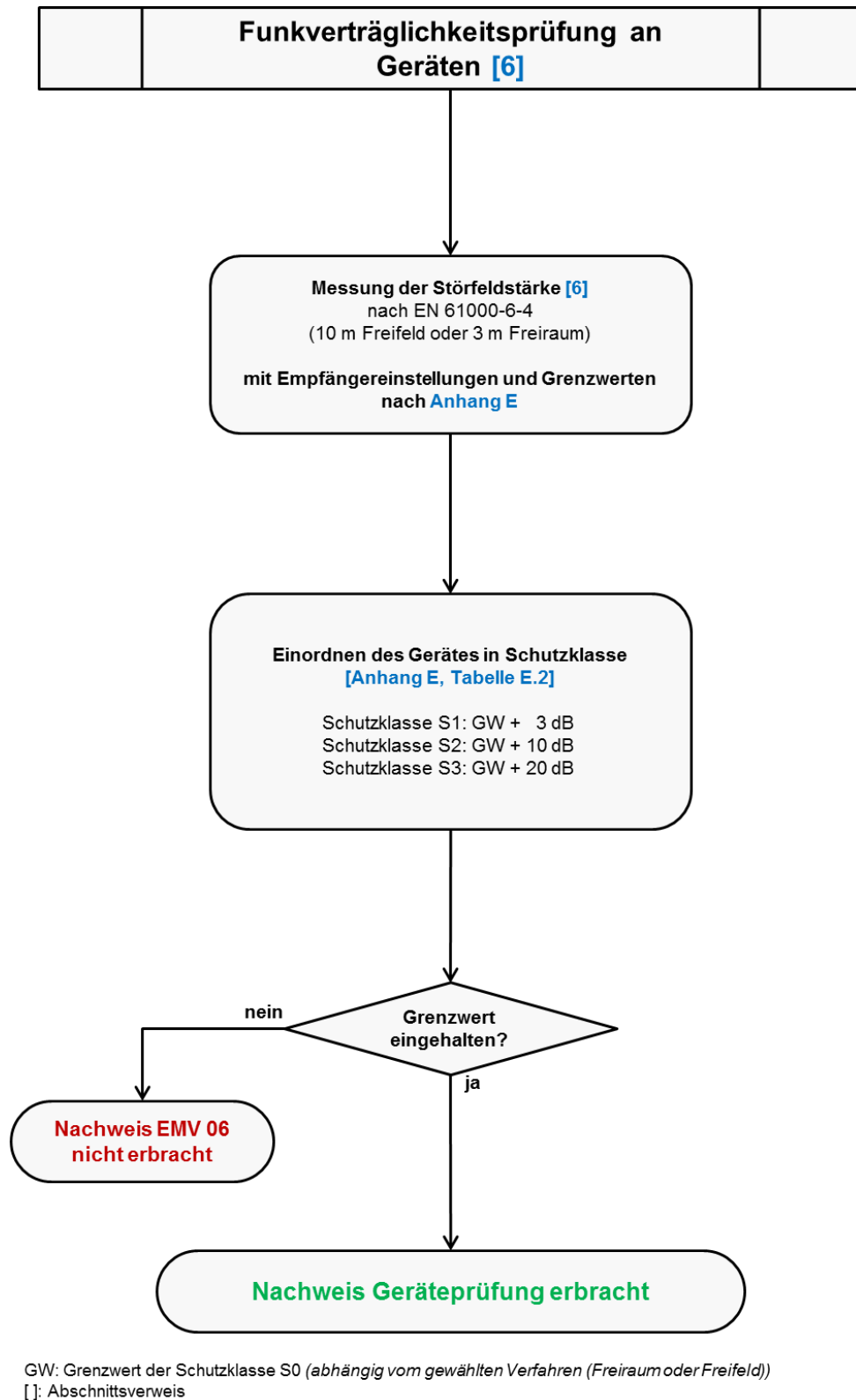


Abbildung I.4: Ablaufdiagramm: Prüfung an Geräten

Anhang J (informativ): Wesentliche Änderungen zur Regelung EMV 06 V1.0

Die vorliegende Version beinhaltet - neben redaktioneller Überarbeitung - folgende wesentliche technische Änderungen gegenüber Regelung Nr. EMV 06 Rev. 1.0 vom 29.07.2014:

- a) Klarstellung des Anwendungsbereichs (Definition der bahnbetriebsrelevanten Funkdienste)
- b) Implementierung des Szenarios 2
- c) Änderung der geforderten Wegauflösung bei der Detailmessung von 5 cm auf 10 cm
- d) Methode zur Gewinnung des Feldstärke-Weg-Profiles E(s) ist nicht mehr obligatorisch
- e) Klarstellung bzgl. der Zuordnung der 10-m-Bereiche (vor und hinter dem Fahrzeug) zum auszuwertenden Feldstärke-Weg-Profil E(s)
- f) Entfall der speziellen Regelung für Fahrzeuge mit Längen < 12 m
- g) Verwendung eines Analysers im Zero-Span Modus für die Detailmessung ist nicht mehr obligatorisch
- h) Angleichung des Messverfahrens für Geräte an EN 61000-6-4 mit dem Ziel, die Geräteprüfungen nach EN 50121-3-2 und EMV 06 kombinieren zu können
- i) Aufnahme einer Regelung für die Bewertung von Steuerwagen
- j) Aufnahme einer Regelung für mehrteilige Fahrzeuge mit Überschreitung des Orientierungswertes an einem einzelnen Wagen
- k) Aufnahme eines informativen Anhangs mit Ablaufdiagrammen für die Prüfungen
- l) Änderung des Grenzwertes für die Störspannung an der Fahrzeugantenne im Band GSM-R Downlink
- m) Entfall der 3 dB Grenzwert erleichterung bei Bewertung an der Fahrzeugantenne für das Band GSM-R.