

Regelung Nr. EMV 06

Technische Regeln zur Elektromagnetischen Verträglichkeit

Nachweis der Funkverträglichkeit von Schienenfahrzeugen mit Bahnfunkdiensten

Rev.-Nr.	Datum	Verantwortung	Bemerkungen
0.99	02.06.2014	AG Funkverträglichkeit	Ersterstellung
1.0	29.07.2014	AK EMV	Freigabe durch AK EMV / LK Fahrzeuge

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe „Funkverträglichkeit von Schienenfahrzeugen“ zum Stand der Regelung Nr. EMV 06, Rev.-Nr. 1.0, sind im Anhang I gelistet.

Inhalt

	Seite
1. Abkürzungen	3
2. Allgemeines	4
3. Funkverträglichkeitsprüfung an Schienenfahrzeugen	5
4. Funkverträglichkeitsprüfung außerhalb von Schienenfahrzeugen	5
5. Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen	11
6. Funkverträglichkeitsprüfung an Geräten.....	11
7. Prüfnachweise	13
8. Anforderungen an den Fahrzeugzustand	13
9. Messunsicherheit.....	13
10. Normative Verweise	14
Anhang A (normativ): Betriebsfunkfrequenzen	16
Anhang B (normativ): Übersichtsmessung (im Stand)	17
Anhang C (normativ): Detailmessung (Vorbeifahrt)	20
Anhang D (normativ): Messung an Fahrzeugantennen	25
Anhang E (normativ): Messung an Geräten.....	27
Anhang F (informativ): Beeinflussungsszenarien.....	29
Anhang G (informativ): Ableitung der Grenzwerte	30
Anhang H (informativ): Hoher Umgebungsstörspegel	35
Anhang I (informativ): Arbeitsgruppe Funkverträglichkeit	38

1. Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
AV	Average (Durchschnitt)
DB AG	Deutsche Bahn Aktiengesellschaft
DL	Downlink
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EBuLa	Elektronischer Buchfahrplan und Langsamfahrstellen
EN	Europäische Norm
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
ETCS	European Train Control System
FFT	Fast Fourier Transformation
FM	Frequenzmodulation
FFST	Funkfernsteuerung Loks
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM-R	Global System for Mobile Communication – Rail
QPSK	Quadratur Phase Shift Keying (Quadraturphasenumtastung)
RF	Rangierfunk
SO	Schienenoberkante
TEIV	Transeuropäische-Eisenbahn-Interoperabilitätsverordnung
UHF	Ultra High Frequency
UL	Uplink
WS	Warnsysteme
ZF	Zugfunk

2. Allgemeines

- Anwendungsbereich** (1) Die in den vorliegenden Technischen Regeln gestellten Anforderungen betreffen Fahrzeuge des Eisenbahnverkehrs, die einer Inbetriebnahmegenehmigung nach TEIV oder einer Abnahme nach §32 Abs. 1 EBO bedürfen. Die Regeln finden Anwendung bei Lokomotiven, Triebfahrzeugen, Triebzügen und Wagen sowie Nebenzugfahrzeugen.
- Die Anforderungen dieser Technischen Regeln 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 Regel erfüllen.
- Zweck** (2) 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 bestimmen. Störaussendungen sind an der Quelle zu minimieren bzw. zu beseitigen, so dass möglichst keine Beeinflussung der Bahnfunkdienste auftritt.
- Gesetzliche Bestimmungen** (3) Gemäß den gesetzlichen Bestimmungen müssen Schienenfahrzeuge und deren Betriebsmittel so beschaffen sein, dass die Erzeugung elektromagnetischer Störungen soweit begrenzt bleibt, dass ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten und sonstigen Betriebsmitteln möglich ist.
- Normbezug** (4) Die Norm DIN EN 50121-3-1 [2] definiert die Anforderungen an Störaussendung und Störfestigkeit für alle Arten von Schienenfahrzeugen.
- Betriebsfunkfrequenzen** (5) Damit sowohl in Schienenfahrzeugen als auch im Nahbereich von Schienenfahrzeugen betriebsnotwendige Bahnfunkdienste betrieben werden können, sind insbesondere in den Bereichen der Betriebsfunkfrequenzen Grenzwerte einzuhalten. Im **Anhang A** sind die relevanten Funkfrequenzen aufgelistet.
- Bahnfunkdienste** (6) Im Bereich der Betriebsfunkfrequenzen werden derzeit folgende betriebsrelevante Bahnfunkdienste betrieben, die der besonderen Schutzbedürftigkeit im Sinne der o. g. Funkverträglichkeit unterliegen, z.B.:
- Zugfunk (einschließlich Zugfunk-Notruf)
 - Rangierfunk (einschließlich Rangiernotruf)
 - Betriebs- und Instandhaltungsfunk (Sprechfunk)
 - Datenfunk (ETCS, EBU-La, ...)
 - Funkfernsteuerung Lokomotiven

- Warnsysteme
- Diagnosefunk

3. Funkverträglichkeitsprüfung an Schienenfahrzeugen

- (1) Schienenfahrzeuge müssen auf Funkverträglichkeit gegenüber Bahnfunkdiensten geprüft werden. **Funkverträglichkeitsprüfung**
- Der Nachweis umfasst die in **Anhang A** aufgeführten Betriebsfunkfrequenzen. Die Prüfung ist durchzuführen: **Nachweisumfang**
- außerhalb von Fahrzeugen (s. Kapitel 4)
 - an im Fahrzeug eingebauten Empfangsantennen (s. Kapitel 5)
 - an Geräten (s. Kapitel 6).

4. Funkverträglichkeitsprüfung außerhalb von Schienenfahrzeugen

- (1) Zwei prinzipielle Beeinflussungsszenarien sind relevant: **Beeinflussungsszenarien**
1. Beeinträchtigung der Bahnfunkdienste im Nahbereich des zu bewertenden Schienenfahrzeuges, wenn z.B. Rangierer den Rangierfunk neben dem Fahrzeug nutzen möchten.
 2. Beeinträchtigung der Bahnfunkdienste im benachbarten Gleisbereich, wenn Störaussendungen z.B. von Dachaufbauten (Wechselrichter, Klimaanlage etc.) die Bahnfunkdienste von benachbarten Fahrzeugen bzw. mobile Funkgeräte des Rangierfunks stören.
- Beide Szenarien sind im **Anhang F** dargestellt.
- Diese Regelung deckt das Beeinflussungsszenario 1 ab.
- Beeinflussungsszenario 2 ist derzeit nicht zu betrachten. Mit der Weiterentwicklung dieser EMV-Regelung sollen hierzu Regelungen erarbeitet werden.
- (2) Die von Fahrzeugen verursachten elektromagnetischen Felder dürfen Betriebsfunkgeräte, die in der Nähe des Fahrzeugs betrieben werden, in den Bändern des im **Anhang A** genannten Betriebsfunks nicht unzulässig beeinflussen. **Schutzziel**
- (3) Die Funkverträglichkeit des Fahrzeugs mit diesen Funkgeräten wird in drei Teilschritten geprüft: **Prüfszenarien**
- a) Übersichtsmessung zur Identifikation kritischer Störfrequenzen (s. Kapitel 4.1)
 - b) Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt zur Ermittlung des Störpotenzials im Nahbereich (s. Kapitel 4.2)

c) Statistische Auswertung (s. Kapitel 4.3).

4.1 Übersichtsmessung zur Identifikation kritischer Störfrequenzen

- | | |
|----------------------------|--|
| Übersichtsmessung | (1) Bei der Übersichtsmessung werden alle vom Fahrzeug in den einzelnen Frequenzbändern des Betriebsfunks erzeugten Spektralanteile ermittelt, die aufgrund ihrer Feldstärke Betriebsfunkgeräte in den in Anhang A aufgeführten Frequenzbändern stören können. |
| Messanforderungen | (2) Messgeräte und E-Feld-Antennen unterliegen den Anforderungen, wie sie in der Norm DIN EN 50121-2 [1] für die Messung der gestrahlten Störaussendung von Fahrzeugen und Bahnsystemen beschrieben sind. |
| Messaufbau | (3) Der Messaufbau und die Einstellparameter der Messgeräte sind im Anhang B spezifiziert. |
| Messempfindlichkeit | (4) 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). |
| Umgebungsmessung | (5) Vor der Fahrzeugmessung ist eine Umgebungsmessung durchzuführen. Dazu ist das Fahrzeug vollständig abzurüsten.
Frequenzbereiche, in denen der Umgebungstörpegel 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.
Um bestehende Nachweislücken zu reduzieren bzw. zu schließen, können die im Anhang H beschriebenen Methoden genutzt werden.
Auch in verbleibenden Frequenzbereichen, in denen keine messtechnischen Nachweise erbracht werden konnten, darf das Fahrzeug die Betriebsfunkdienste nicht unzulässig beeinflussen.
Anmerkung: Umgebungstörpegel im 70-cm-Band sind in der Regel schmalbandig und beeinflussen somit kaum den bewertbaren Anteil des Spektrums. Bei deren Vorhandensein sind keine ergänzenden Maßnahmen nötig. |
| Standmessung | (6) Die elektrische Feldstärke wird im Stand des Fahrzeugs gemessen. Alle elektrischen Systeme müssen in Betrieb sein (s. Kapitel 8, Anforderungen an den Fahrzeugzustand). |
| Fahrzeugzustand | (7) Verfügt das Fahrzeug über eine elektrische Antriebsausrüstung, muss das Fahrzeug im anfahrbereiten Zustand sein. Es wird keine Zugkraft vorgegeben (siehe Stillstandsmessung gemäß DIN EN 50121-3-1 [2]). |
| Voruntersuchung | (8) Ein vom Fahrzeug erzeugtes Störspektrum wird im Rahmen dieser Voruntersuchungen als beeinträchtigend für |

- den Betriebsfunk eingestuft, wenn dessen Störpegel innerhalb der Betriebsfunkbänder den in **Anhang B** genannten Orientierungswert überschreitet.
- (9) Für jedes Betriebsfunkband gemäß **Anhang A** sind die bei der Übersichtsmessung ermittelten Störspektren gemeinsam mit dem Umgebungsstörpegel und dem zugeordneten Orientierungswert im Prüfbericht grafisch darzustellen. **Darstellung**
- (10) Bei Störspektren, die den Orientierungswert in **Anhang B** überschreiten, wird die Frequenz und der gemessene Maximalpegel kiloherzgenau für die im zweiten Schritt durchzuführende Detailmessung (s. Kapitel 4.2) für vertikale und horizontale Polarisierung notiert. Im Fall breitbandiger Störspektren wird die Frequenz notiert, bei der der Höchstwert des Störpegels auftritt. **Überschreitung Orientierungswert**
- (11) Werden bei der Übersichtsmessung keine kritischen Frequenzen ermittelt, die den Orientierungswert überschreiten, gilt der Nachweis der Funkverträglichkeit außerhalb von Schienenfahrzeugen gemäß Kapitel 4 als erbracht. Das Messergebnis ist gemäß Kapitel 7 a) zu dokumentieren. **Ende Übersichtsmessung**
- (12) Werden bei der Übersichtsmessung eine oder mehrere den Orientierungswert überschreitende Frequenzen ermittelt, müssen diese Frequenzen bei der Messung der Vorbeifahrt berücksichtigt werden (siehe Kapitel 4.2). Das bedeutet, dass in jedem über die Frequenz zusammenhängenden Bereich, in dem die Messwerte den Orientierungswert überschreiten, jeweils die Frequenz mit dem höchsten Störpegel berücksichtigt werden muss, siehe Beispiel im **Anhang B**, Abbildung B-2. **Umgang mit Störfrequenzen**

4.2 Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt

- (1) Bei der Detailmessung wird untersucht, welche elektrische Feldstärke bei den zuvor in der Übersichtsmessung ermittelten Frequenzen, die über dem Orientierungswert liegen (siehe Kapitel 4.1 (12)), im Abstand von 1 m neben dem Fahrzeug auftritt. **Detailmessung Vorbeifahrt**
- (2) Der Messaufbau und die Messparameter sind im **Anhang C** spezifiziert. **Messaufbau**
- (3) Die Messung erfordert den Einsatz eines Messgerätes, mit dem das Störsignal im Frequenzbereich bewertet, diese Bewertung im Zeitbereich abgetastet und gespeichert werden kann. Ein solches Messgerät ist z.B. ein Messempfänger / Spektrumanalysator der im Zero-Span-Modus arbeitet. **Eignung Messgerät**
- (4) 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). **Messempfindlichkeit**

- | | |
|---------------------------------|---|
| Anforderung an Antenne | (5) Zur Nachbildung der Empfangsverhältnisse für mobile Betriebsfunkgeräte ist eine kleine bikonische Antenne zu verwenden. Die Größe der Antenne soll 0,4 m nicht überschreiten. |
| Polarisations-ebene | (6) Das Profil der elektrischen Feldstärke wird bei vertikaler und/ oder horizontaler Polarisation, gemäß den Ergebnissen der Übersichtsmessungen, gemessen. |
| Messdarstellung | (7) Das Feldstärke-Weg-Profil E(s) muss eine Auflösung von kleiner / gleich 5 cm zwischen den Messpunkten (Sweep-Points) aufweisen.
Im Anhang C ist erläutert, wie die Aufzeichnungsdauer und die Anzahl der Datenpunkte (Sweep-Points) bei einer Zero-Span-Messung aus diesen beiden Anforderungen abgeleitet werden. |
| Fahrzeug-geschwindigkeit | (8) Die langsame Vorbeifahrt wird mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 bis 15 km/h vorzugsweise ohne Traktion durchgeführt (siehe Anhang C). |
| Start – Stop Messung | (9) Die Aufzeichnung des Feldstärke-Profiles beginnt, wenn das Bahnfahrzeug in Fahrtrichtung einen Abstand von $10\text{ m} \pm 5\text{ cm}$ vor der Messantenne (Bake 1) erreicht hat und endet, nachdem das Bahnfahrzeug einen Bereich von $10\text{ m} \pm 5\text{ cm}$ hinter der Messantenne (Bake 2) verlassen hat (siehe Anhang C , Abbildung C-2).
Sofern die verwendete Messeinrichtung über keine ausreichende Aufzeichnungstiefe verfügt oder der zu prüfende Zug sehr lang ist, kann das gesamte Feldstärke-Profil des Fahrzeugs auch aus mehreren Teilmessungen gewonnen werden. |
| Messzeitpunkte | (10) Zu jedem gemessenen Feldstärke-Zeit-Profil E(t) sind folgende Größen festzuhalten (siehe Anhang C): <ul style="list-style-type: none"> - Zeitpunkt t=0, Messbeginn mit Fahrzeugspitze 10 m vor der Messantenne (Bake 1) - Zeitpunkt T1, bei dem die Fahrzeugspitze die Messantenne passiert - Zeitpunkt T2, bei dem das Fahrzeugende die Messantenne passiert - Zeitpunkt T3, bei dem das Fahrzeugende die Markierung (Bake 2) 10 m hinter der Messantenne passiert. |
| Feldstärke-Weg-Profil | (11) Auf der Basis der ermittelten Zeitwerte T1, T2 und T3 ist das gemessene Feldstärke-Zeit-Profil E(t) in ein Feldstärke-Weg-Profil E(s) umzuwandeln.
Diese Darstellung ermöglicht die räumliche Zuordnung lokaler Maxima im Feldstärke-Profil an konstruktive Gegebenheiten des Fahrzeugs (z. B. Kupplung, Lüftungsgitter, Position von Störquellen, Verkabelung etc.) und ist eine Vorbereitungsmaßnahme für die Auswertung der Messergebnisse (siehe Kapitel 4.3). |

- (12) Bei einer Unterteilung der Messung in Teilscans (siehe (9)) wird für jeden Zugteil (z.B. Zughälfte oder Wagen) analog zu (10) verfahren.

Das aus der Messung abgeleitete Feldstärke Weg-Profil E(s) ist für

- jede den Orientierungswert überschreitende Frequenz (siehe Kapitel 4.1(10))
- vertikale und/ oder horizontale Polarisation der Messantenne (gemäß den Ergebnissen der Übersichtsmessung)

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

Darstellung

4.3 Statistische Auswertung

0,7-m-Band:

- (1) Die Auswertung erfolgt auf der Basis der in **Anhang C** genannten frequenzbandabhängigen Grenzwerte. Die Ableitung der Grenzwerte kann dem **Anhang G** entnommen werden.

Grenzwerte

- (2) Die Messwerte des Feldstärke-Weg-Profiles E(s) werden in räumlichen Bereichen, sogenannte Fahrzeug-Fensterlängen, von 12 m analysiert.

**Fensterlänge
Fahrzeug**

- (3) Innerhalb einer zu untersuchenden 12-m-Fensterlänge darf die aufsummierte Länge der Messwerte, die den Grenzwert überschreiten, 1,2 m Länge nicht überschreiten.

Auswertekriterium

- (4) Die zu untersuchende 12-m-Fensterlänge wird messwerteweise entlang des Fahrzeuges verschoben.

**Schiebe-
Fenster**

- (5) Bei Fahrzeugen mit einer Länge kleiner als 12 m darf die aufsummierte Länge der Messpunktabstände der Messpunkte, die den Grenzwert überschreiten, maximal 1,2 m Länge betragen.

**Messpunkt-
länge**

- (6) In keinem der so untersuchten 12-m-Bereiche darf die Summe der Messwerte, die den Grenzwert überschreiten, das Kriterium gemäß (3) übersteigen.

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

Dokumentation

0,3-m-Band:

- | | |
|---------------------------|--|
| Auswertung | (8) Die Auswertung erfolgt auf der Basis der in Anhang C genannten frequenzbandabhängigen Grenzwerte. Die Ableitung der Grenzwerte kann dem Anhang G entnommen werden. |
| Grenzwertkriterium | (9) Kein einziger Messwert der Zugvorbeifahrt darf den in Anhang C genannten Grenzwert überschreiten. |

4.4 Festlegungen für Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb

- | | |
|------------------------------------|---|
| Fahrzeuge ohne Antrieb | (1) Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb (Reisezugwagen, Mittelwagen, Steuerwagen) werden während der Messung über die Zugsammelschiene oder vergleichbare Einrichtungen mit Energie versorgt. Die Einspeisung kann hierbei entweder über eine Lokomotive oder über eine ortsfeste Elektroinspeisung (Elektrant) erfolgen. |
| Messbedingungen | (2) Bei der Messung müssen alle elektrischen Betriebsmittel, die hochfrequente Störgrößen erzeugen können, in Betrieb sein.
Hierbei reicht es, die Prüfung bei nur einer Zugsammelschienenfrequenz durchzuführen. Die Kurvenform der Spannung ist hierbei nicht relevant. |
| Übersichtsmessung | (3) Bei diesen Fahrzeugen wird die Übersichtsmessung gemäß Kapitel 4.1 in gleicher Weise wie bei allen anderen Fahrzeugen durchgeführt. |
| Detailmessung | (4) Überschreiten die Messwerte die in Anhang B genannten Orientierungswerte, wird bei Speisung der Zugsammelschiene über eine Lokomotive eine Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt durchgeführt. |
| Ortsfeste Energieversorgung | (5) Bei Speisung des Fahrzeugs über eine ortsfeste Energieversorgung gelten alternativ zu Satz (4) folgende Anforderungen a) bis c): |
| Höchstwert | <ul style="list-style-type: none"> a) Die Detailmessung gemäß Anhang C, Abb. C-1, wird im Stand durchgeführt. Der Höchstwert des Störpegels entlang des Fahrzeugs ist zu ermitteln. b) Der Höchstwert muss den relevanten Grenzwert gemäß Anhang C einhalten. Die statistische Auswertung gemäß Kapitel 4.3 entfällt. Sowohl der genaue Ort als auch die Höhe des maximalen Pegels (Höchstwert) entlang des Fahrzeugs sind im Prüfbericht anzugeben. c) Die Detailmessung bei langsamer Vorbeifahrt ist der Detailmessung im Stand vorzuziehen. Die Messung im Stand ist im Prüfbericht zu begründen. |

5. Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen

- | | | |
|-----|--|-------------------------|
| (1) | Die Messung wird am Stecker des Antennenkabels zum Funkgeräteeingang in den Empfangsbändern des Funkgerätes durchgeführt (siehe Anhang D). | Messpunkt |
| (2) | <p>Vor der Messung ist eine Umgebungsmessung in den Nutzbändern durchzuführen. Das Fahrzeug ist hierbei vollständig abgerüstet.</p> <p>Frequenzbereiche, in denen der Umgebungsstörpegel den Grenzwert überschreitet, müssen im Prüfbericht vermerkt werden. Diese stellen den nicht bewertbaren Anteil des Spektrums dar.</p> <p>Der bewertbare Anteil des GSM-R-Downlink Frequenzbandes sollte 100% betragen, wobei mindestens 95 % des Spektrums messtechnisch nachzuweisen sind.</p> <p>Um bestehende Nachweislücken zu schließen, können die im Anhang H beschriebenen Methoden angewendet werden.</p> <p>Auch in verbleibenden Frequenzbereichen, in denen keine messtechnischen Nachweise erbracht werden konnten, darf das Fahrzeug die Betriebsfunkdienste nicht unzulässig beeinflussen.</p> <p>Anmerkung: Umgebungsstörpegel 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.</p> | Umgebungsmessung |
| (3) | Der Messaufbau und die Einstellung des Messgerätes sind im Anhang D spezifiziert. Die Ableitung der Grenzwerte kann dem Anhang G entnommen werden. | Messaufbau |
| (4) | Die Störspannung wird vorzugsweise im Stand des Fahrzeugs gemessen. Alle elektrischen Systeme müssen bei der Prüfung in Betrieb sein (siehe Kapitel 8). | Fahrzeugzustand |
| (5) | Eine schmalbandige Überschreitung des in Anhang D genannten Grenzwertes um einen Toleranzbereich von + 3 dB kann innerhalb eines Kanals pro Band (H, I, GSM-R Downlink) akzeptiert werden. | Toleranz |
| (6) | Für jedes Funkband sind die Messergebnisse gemeinsam mit dem zugeordneten Umgebungspegel grafisch in einem Diagramm darzustellen. | Darstellung |

6. Funkverträglichkeitsprüfung an Geräten

- | | | |
|-----|---|---------------------------------|
| (1) | Es liegt in der Entscheidung des Fahrzeugherstellers bzw. -halters, vom Gerätehersteller einen Nachweis gemäß Abschnitt (3a) für Geräte zu fordern, die in Fahrzeuge eingebaut werden sollen. | Geräteprüfung |
| (2) | Sofern elektrische oder elektronische Geräte nachträglich in Schienenfahrzeuge integriert werden sollen, ist ein | Nachträgliche Änderungen |

- Nachweis zu führen, dass diese Geräte im eingebauten Zustand die in den Kapiteln 4 und 5 spezifizierten Grenzwerte einhalten.
- Prüfvarianten** (3) Dieser Nachweis kann durch eine der folgenden drei Prüfvarianten erbracht werden:
- a) Das betreffende Gerät ist vor Einbau einer Einzelprüfung zu unterziehen, siehe (4) bis (7).
 - b) Das Fahrzeug ist nach Einbau des Gerätes gemäß Kapitel 4 und 5 zu prüfen. Hierbei sind nur die Störaussendungen dieses Gerätes zu bewerten.
 - c) Unter Beachtung der Einbaubedingungen und der technischen Daten des Gerätes wird eine schlüssige Bewertung bezüglich der Einhaltung der Schutzziele im eingebauten Zustand durchgeführt.
- Absorberkabine** (4) Im Fall einer Einzelprüfung des Gerätes (Prüfvariante (3a)) ist die Prüfvorschrift gemäß **Anhang E** anzuwenden. Die Messung findet in einer Absorberkabine statt. Der Messaufbau entspricht hierbei im Wesentlichen den Vorgaben der DIN EN 50121-3-2 [3].
- Polarisations-ebene** (5) Die Einzelmessung wird bei vertikaler und horizontaler Polarisation der Antenne durchgeführt.
- Geräte-Schutzklassen** (6) Bei der Einzelprüfung von Geräten gelten die in **Anhang E** spezifizierten Grenzwerte unter Berücksichtigung der Einstufung der Geräte in die Schutzklassen S0 bis S3.
- Die Ableitung der Grenzwerte kann dem **Anhang G** entnommen werden.
- Dokumentation** (7) Die Ergebnisse der Geräteprüfung sind in Abhängigkeit vom gewählten Nachweisverfahren gemäß 0 wie folgt zu dokumentieren:
- Prüfvariante (3a):**
Für jedes in **Anhang A** genannte Betriebsfunkband und für jede Polarisations-ebene werden die Messergebnisse jeweils grafisch in einem Diagramm dargestellt.
- Prüfvariante (3b):**
Hinsichtlich der Dokumentation gelten die in Kapitel 4 bzw. Kapitel 5 beschriebenen Hinweise.
- Prüfvariante (3c):**
Es ist eine technische Dokumentation zu erstellen, in der schlüssig die Einhaltung der Funkverträglichkeit nachgewiesen wird (z.B. EMV-Plan).

7. Prüfnachweise

- (1) Die Anwendung der in diesem Dokument festgelegten Prüfverfahren und die gemessenen Werte sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren. **Prüfbericht**
Bedarfsspezifisch muss dieser Prüfbericht Angaben zur:
- a) Prüfung außerhalb von Fahrzeugen
 - b) Prüfung an Fahrzeugantennen
 - c) Prüfung an Geräten
- enthalten.

8. Anforderungen an den Fahrzeugzustand

- (1) Das Fahrzeug muss sich zum Zeitpunkt der Untersuchung im endgültigen zuzulassenden Zustand befinden. **Fahrzeugzustand**
Sollten nachträglich Hard- oder Softwareänderungen durchgeführt worden sein, ist eine Bewertung durchzuführen.

9. Messunsicherheit

- (1) Die Messunsicherheit von in DIN EN 55016-1-4 [6] spezifizierten Messplätzen zur Bestimmung der Störspannung und der Feldstärke ist in DIN EN 55016-4-2 [4] festgelegt. **Messunsicherheit**
- (2) In Anlehnung an die Erläuterungen in DIN EN 50121-2 [1], Abschnitt 5.1.3, darf die gesamte Messkette bei der Bestimmung der Feldstärke auf einem Freifeldmessplatz gegenüber DIN EN 55016-1-1 [5] eine zusätzliche Messunsicherheit von $\pm 4,0$ dB (Übersichtsmessung) aufweisen.
- (3) Die Messunsicherheit der Messkette bei der Bestimmung der Feldstärke und Störspannung darf die in DIN EN 55016-4-2 [4] für den Frequenzbereich 30 bis 1000 MHz genannten Werte für gestrahlte Störgrößen nicht überschreiten.
- (4) Ist die Messunsicherheit der Messkette innerhalb des im Abschnitt (2) bzw. (3) genannten Messunsicherheitsbudgets, sind keine weiteren Betrachtungen zur Messunsicherheit erforderlich.
- (5) Ist die Messunsicherheit der Messkette höher als der in Abschnitt (2) bzw. (3) genannte Wert, muss dieser zusätzliche Unsicherheitsbeitrag zu den Messwerten addiert werden.
- (6) Sofern die Messunsicherheit gemäß DIN EN 55016-4-2 [4] nicht eingehalten werden kann, muss der Prüfbericht eine Aussage hierzu enthalten.

10. Normative Verweise

Diese Technischen Regeln gelten in Zusammenhang und Ergänzung mit:

- [1] DIN EN 50121-2:2007
Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit
Teil 2: Störaussendungen des gesamten Bahnsystems in die Außenwelt
- [2] DIN EN 50121-3-1:2007
Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit -
Teil 3-1, Bahnfahrzeuge – Zug und gesamtes Fahrzeug
- [3] DIN EN 50121-3-2:2007;
Bahnanwendungen - Elektromagnetische Verträglichkeit -
Teil 3-2, Bahnfahrzeuge - Geräte
- [4] DIN EN 55016-4-2: 2012
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: 2010
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; (IEC/CISPR 16-1-1: 2010 + A1: 2010)
- [6] DIN EN 55016-1-4: 2011
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 –Antennen und Messplätze für Messungen der gestrahlten Störaussendung; (IEC/CISPR 16-1-4: 2010 + Cor.:2010)
- [7] UIC Merkblatt 751-3: 2005
Technische Vorschriften für Analog-Zugfunksysteme im internationalen Dienst; 4. Ausgabe

- [8] ETSI TS 100 910: 1998
Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+);
Radio Transmission and Reception; TS 05.05 Version 7.5.0
- [9] EIRENE Spezifikationen SRS (Version 15.3.0) und FRS
(Version 7.3.0)

Anhang A (normativ): Betriebsfunkfrequenzen

Europaweite Bahn-Betriebsfunkfrequenzen

0,7-m-Bereich

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

0,3-m-Bereich

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

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

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

Anhang B (normativ): Übersichtsmessung (im Stand)

Messaufbau	gemäß DIN EN 50121-2, siehe Abbildung B-1	
Messpunkte	<ul style="list-style-type: none"> - im Abstand von 10 m von der Gleismitte - bei einem einzelnen Fahrzeug (Lokomotive, Reisezugwagen) in der Mitte des Fahrzeugs (in Längsrichtung) - bei mehrgliedrigen Fahrzeugen (Triebzüge, „Married Pairs“) jeweils in der Mitte jedes Wagens (in Längsrichtung) 	
Frequenzbereiche	siehe Anhang A	
Antennenpolarisation	vertikal und horizontal	
Orientierungswert	0,7-m-Band: 9 dBμV/m 0,3-m-Band (GSM-R): - im Downlink: 12 dBμV/m - im Uplink: 28 dBμV/m Ableitung der Grenzwerte siehe Anhang G	
Einstellung Messempfänger (Vorzugseinstellung)	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	9 kHz / 10 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 * \text{Messbandbreite}$
	Messzeit:	$\geq 10 \text{ ms}$
Einstellung Messempfänger (Alternativeinstellung) (1)	Bewertung:	Mittelwert (AV); (2)
	Messbandbreite (6 dB):	200 Hz bis 1 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 * \text{Messbandbreite}$
	Messzeit:	$\geq 20 \text{ ms}$
Rauscharmer Vorverstärker (falls erforderlich), (1)	Rauschzahl	$\leq 2 \text{ dB}$

Anmerkung (1): Bei hohem Grundstörpegel im GSM-R Downlink-Band (s. Kapitel 4.1) kann die Messbandbreite reduziert werden (s. Anhang H). Das Signal-Rausch-Verhältnis kann auch durch einen rauscharmen Vorverstärker an der Antenne verbessert werden.

Anmerkung (2): 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.

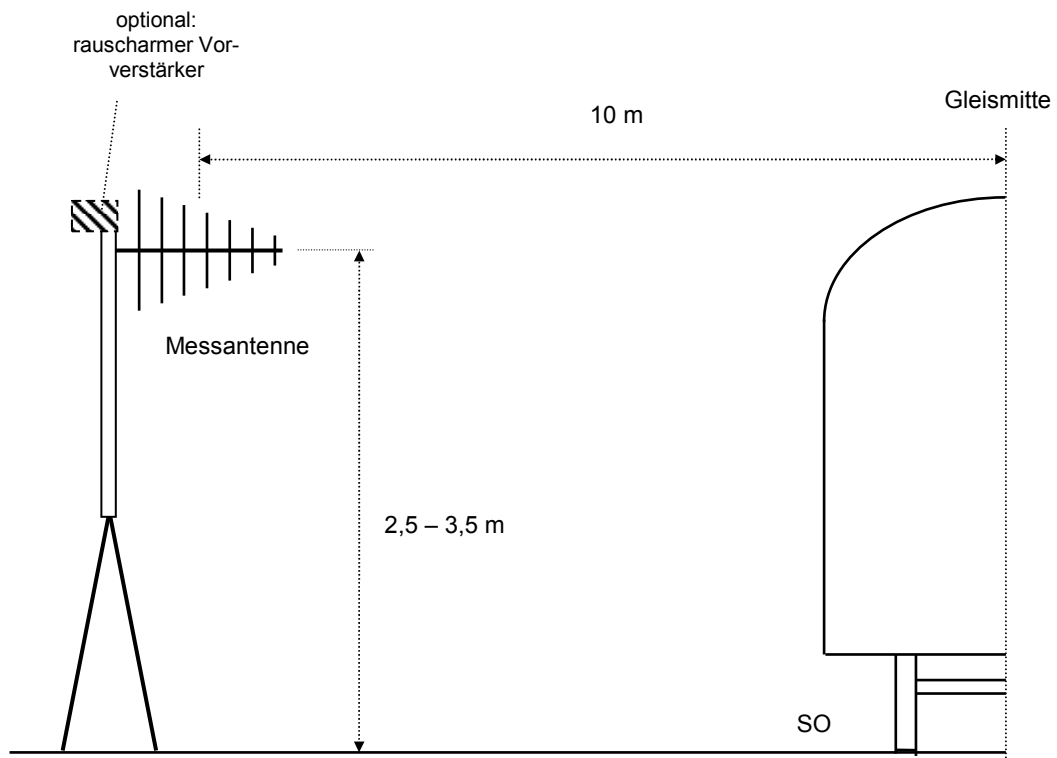


Abbildung B-1: Messaufbau für Übersichtsmessung

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis einer Übersichtsmessung. Die gemessenen Maxima in zusammenhängenden Frequenzbereichen, in denen die Messwerte den Orientierungswert überschreiten, sind für die Durchführung der Vorbeifahrtmessung zu verwenden. In der Abbildung sind diese Frequenzpunkte durch Kreuze gekennzeichnet.

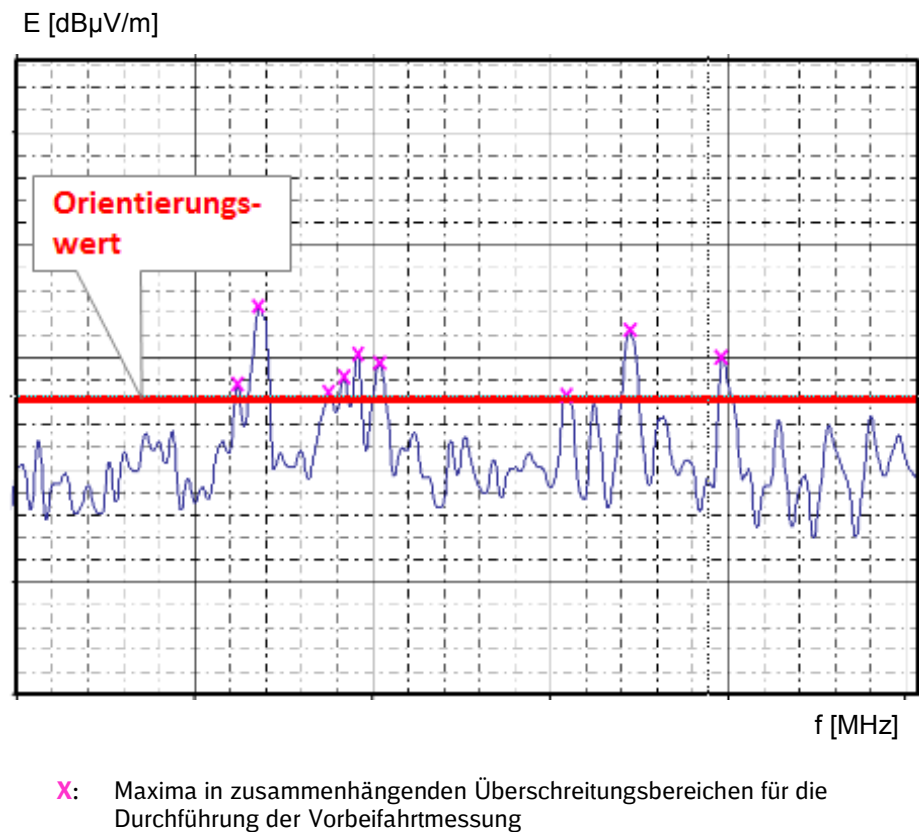


Abbildung B-2: Beispiel einer Übersichtsmessung

Anhang C (normativ): Detailmessung (Vorbeifahrt)

Messaufbau	siehe Abbildung C-1	
Messpunkte	kontinuierlicher Scan entlang des Fahrzeugs in 1 m Abstand von der Fahrzeugwand	
Frequenzbereiche	gemäß Frequenzliste aus der Übersichtsmessung (siehe Kapitel 4.1)	
Antennenpolarisation	vertikal und horizontal	
Grenzwerte:	0,7-m-Band:	22 dBμV/m
	0,3-m-Band (GSM-R):	
	- im Downlink:	25 dBμV/m
	- im Uplink:	41 dBμV/m
	Ableitung der Grenzwerte siehe Anhang G	
Einstellung Messempfänger (Vorzugseinstellung) (1)	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Bandbreite (6 dB):	Auflöse-Bandbreite 9 kHz oder 10 kHz Video-Bandbreite bei Spektrumanalysatoren: ≥ 100 kHz
	Modus:	Spektrumanalysator im Zero-Span-Modus Aufzeichnung des zeitlichen Störpegelverlaufs zur Ermittlung eines Feldstärke-Weg-Profiles E(s)
	Messzeit:	≥ 10 ms
Einstellung Messempfänger (Alternativeinstellung) (1), (2)	Bewertung:	Mittelwert (AV) (3)
	Bandbreite (6 dB):	200 Hz bis 1 kHz
	Modus:	Spektrumanalysator im Zero-Span-Modus
	Messzeit:	≥ 20 ms

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 $\Delta l \leq 5$ cm zu erreichen.

Anmerkung (2): Bei hohem Grundstörpegel im GSM-R Downlink-Band (s. Kapitel 4.1) kann die Messbandbreite reduziert werden (s. Anhang H).

Anmerkung (3): Bei hohem Grundstörpegel im GSM-R Downlink-Band kann zusätzlich an Stelle des Mittelwertdetektors auch der Min-Peak-Detektor gewählt werden. Dies ist im Bericht zu dokumentieren. Der Bericht muss die Messwertdarstellungen mit den Vorzugseinstellungen und ggf. Alternativeinstellungen enthalten.

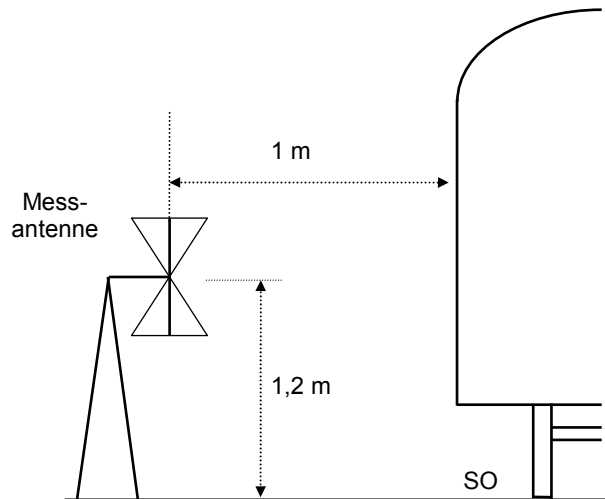


Abbildung C-1: Messaufbau für Detailmessung

Umwandlung des Feldstärke-Zeit-Profiles E(t) in ein Feldstärke-Weg-Profil E(s)

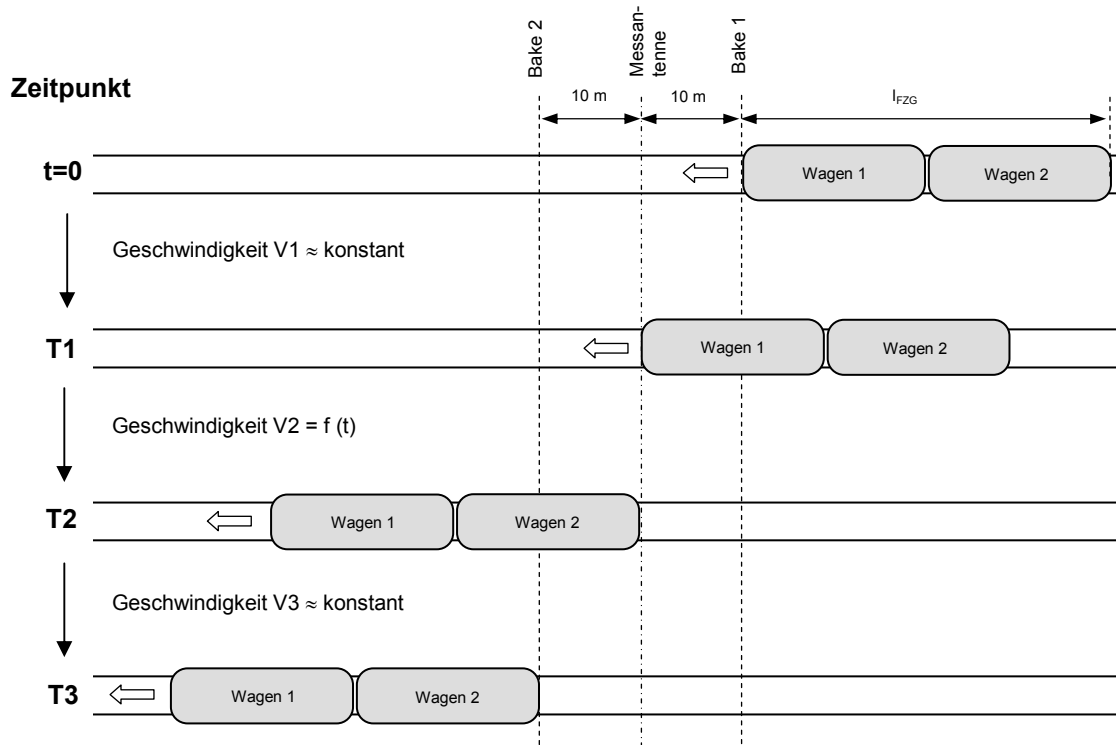


Abbildung C-2: Vorbeifahrt eines Fahrzeugs vor der Messantenne

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

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

Hieraus 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 bei Messungen im Zero-Span-Modus (Beispiel)

Es wird empfohlen, durch eine erste Probefahrt zu ermitteln, welche Zeit das vorbeifliegende 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 Messempfängers 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 Messempfängern 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 Beispiele in nachfolgender Tabelle).

Der Abstand benachbarter Stützstellen (Δl) des Profilschans darf 5 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 Detailprüfung auf zwei Halbzüge erforderlich werden.

Parameter	Größe / Beziehung	Beispiel
Fahrzeuglänge	l_{FZG}	73 m
Effektive Länge des Profils	$l_{Pr\ ofil} = l_{FZG} + 2 \cdot 10m$	93 m
Fahrzeug-Geschwindigkeit	v_{FZG}	9 km/h
Mindestaufzeichnungsdauer für Profilschan	$T3 = \frac{l_{Pr\ ofil}}{v_{FZG}}$	37.2 s
Gewählte <u>Aufzeichnungsdauer</u>	$T_{Mess} > T3$	45 s
Höchstzulässige Anzahl an Datenpunkten für Zero-Span (1)	$DP_{\Sigma} = \frac{T_{Mess}}{10ms}$	4500
Anzahl der Messempfänger-spezifischen <u>Datenpunkte</u>	$DP_{\Sigma ME} \leq DP_{\Sigma}$	4001
Abstand benachbarter Stützstellen des Profilschans (Auflösung)	$\Delta l = \frac{T_{Mess}}{T3} \cdot \frac{l_{Pr\ ofil}}{DP_{\Sigma ME}} \leq 5cm$	2.8 cm

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 nicht höher als 18 km/h sein.

Anmerkung (1): 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 $\Delta l \leq 5$ cm nicht erreicht werden, wird eine Unterteilung in zwei Detailscans empfohlen.

Anhang D (normativ): Messung an Fahrzeugantennen

Messaufbau	siehe Abbildung D-1	
Messpunkte	am jeweiligen Antennenstecker zum Fahrzeugfunkgerät der Bahnfunkdienste Zugfunk, Rangierfunk, ETCS etc., (nicht am Antennenfußpunkt)	
Frequenzbereiche	siehe Anhang A	
Antennenpolarisation	Entfällt	
Grenzwerte:	0,7-m-Band: -10 dBμV 0,3-m-Band: -10 dBμV (Messung nur im GSM-R DL erforderlich) Ableitung der Grenzwerte siehe Anhang G	
Einstellung Messempfänger (Vorzugseinstellung)	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	9 kHz oder 10 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 * \text{Messbandbreite}$
	Messzeit:	$\geq 10 \text{ ms}$
Einstellung Messempfänger (Alternativ-einstellung) (1)	Bewertung:	Mittelwert (AV) (2)
	Messbandbreite (6 dB):	200 Hz bis 1 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 * \text{Messbandbreite}$
	Messzeit:	$\geq 20 \text{ ms}$

Anmerkung (1): Bei hohem Grundstörpegel im GSM-R Downlink-Band (s. Kapitel 5) kann die Messbandbreite reduziert werden (s. Anhang H).

Anmerkung (2): 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.

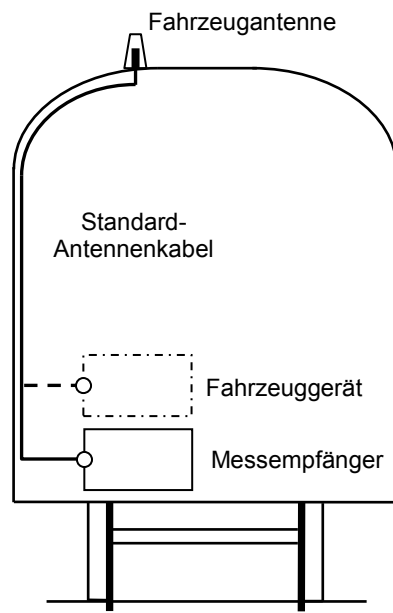


Abbildung D-1: Messaufbau für Messung an Fahrzeugantennen

Anhang E (normativ): Messung an Geräten

Messaufbau	siehe Abbildung E-1; in 3 m Abstand ab Mitte des Prüflings	
Messpunkte	vier Seiten des Gerätes	
Frequenzbereiche	siehe Anhang A	
Antennenpolarisation	vertikal und horizontal	
Grenzwerte für Geräte der Schutzklasse S0 3 m Messabstand, vgl. 1)	0,7-m-Band: 16 dBμV/m 0,3-m-Band (GSM-R): - im Downlink: 19 dBμV/m - im Uplink: 35 dBμV/m	Ableitung der Grenzwerte siehe Anhang G
Einstellung Messem Empfänger	Bewertung:	Mittelwert (AV)
	Messbandbreite (6 dB):	9 kHz oder 10 kHz
	Frequenzschrittweite:	$\leq 0,5 \cdot$ Messbandbreite
	Messzeit:	≥ 10 ms

- 1) Alternativ kann in **10 m Abstand** gemessen werden. In diesem Fall sind die Grenzwerte um 10 dB zu reduzieren.

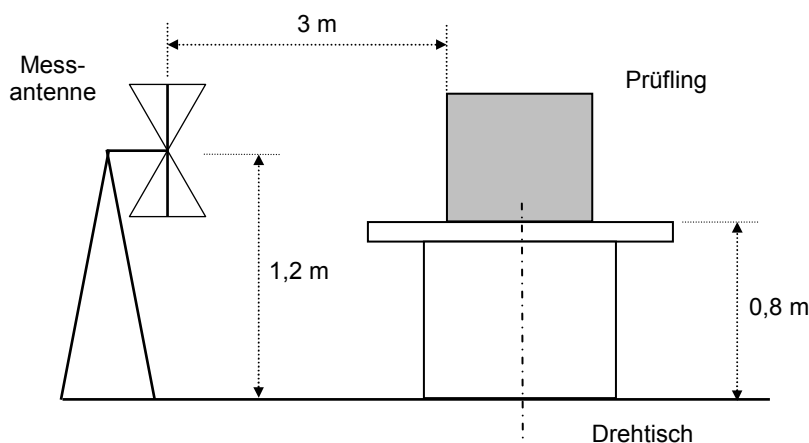


Abbildung E-1: Messaufbau für Messung an Geräten

Einstufung der Geräte in Schutzklassen

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

Bei Geräten der Schutzklasse S1 bis S3 kann der Geräte-Grenzwert (siehe **Anhang G**) um den in der Tabelle genannten Wert angehoben werden.

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

Anhang F (informativ): Beeinflussungsszenarien

Zwei prinzipielle Beeinflussungsszenarien sind relevant:

1. Beeinträchtigung der Bahnfunkdienste im Nahbereich des zu bewertenden Schienenfahrzeuges (wenn Störaussendungen über die Außenantennen zu den Funkanlagen im Schienenfahrzeug gelangen sowie im Nahbereich des Schienenfahrzeuges, wenn z.B. Rangierer den Rangierfunk neben dem Schienenfahrzeug nutzen möchten).
2. Beeinträchtigung der Bahnfunkdienste im benachbarten Gleisbereich (wenn Störaussendungen z.B. von Dachaufbauten (Wechselrichter, Klimaanlage etc.) die Bahnfunkdienste in benachbarten Schienenfahrzeugen bzw. mobile Funkgeräte des Rangierfunks stören).

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht beispielhaft die Situation.

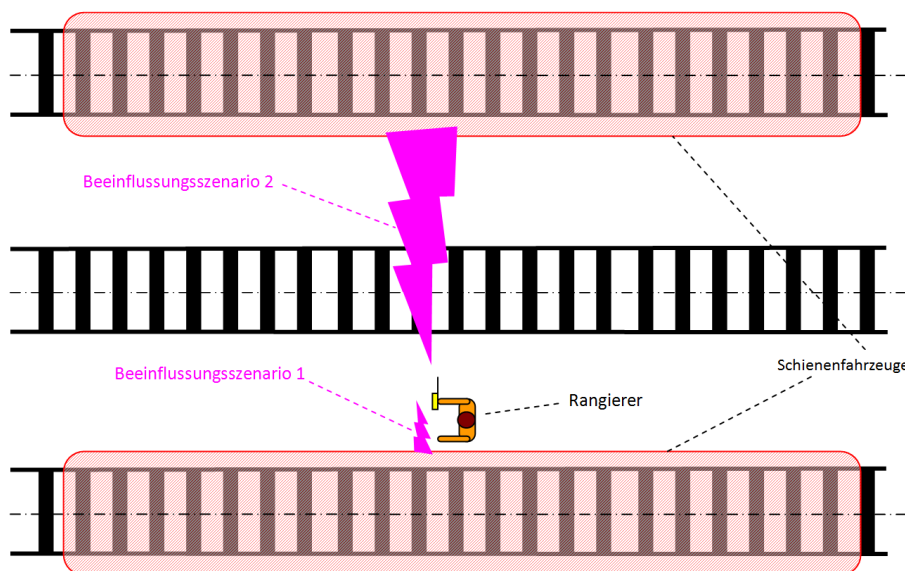


Abbildung F-1: Mögliche Beeinflussungsszenarien

Anhang G (informativ): Ableitung der Grenzwerte

Zu Anhang B: Übersichtsmessung (im Stand)

Ableitung der Grenzwerte für das 0,7-m-Band und das 0,3-m-Band:

Die im **Anhang C** abgeleiteten Grenzwerte für das 0,7-m- und das 0,3-m-Band werden zugrunde gelegt. Es wird eine Umrechnung der Grenzwerte vorgenommen, welche die veränderten Abstandsverhältnisse dieser Messung widerspiegelt. Der Berechnung wird Freiraumausbreitung im Fernfeld zugrunde gelegt.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Entfernungsverhältnisse schematisch für beide Messarten, sowie deren Einfluss auf den Grenzwert.

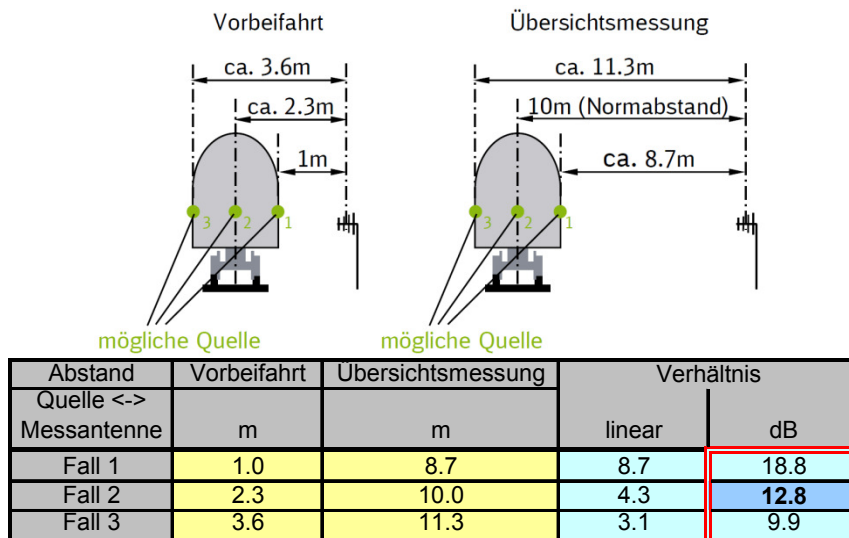


Abbildung G-1: Entfernungsverhältnisse der Messungen

Der Fall 1 stellt den schlechtesten Fall dar. Der Fall 3 den günstigsten. Bei der Durchführung von Messungen stellte sich Fall 2 überwiegend ein, somit wurde Fall 2 für die Grenzwertfestlegung verwendet, wobei noch 3 dB Sicherheitszuschlag vorgenommen wurden:

Frequenzbereich	450	900	900	MHz
	downlink:		uplink:	
Grenzwert	22,0	25,0	41,0	dBµV/m
resultierender Orientierungswert in 10 Meter Abstand	9,2	12,2	28,2	dBµV/m

Zu Anhang C: Detailmessung (Vorbeifahrt)

Ableitung der Grenzwerte für das 0,7-m-Band und das 0,3-m-Band:

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

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
Empfindlichkeits- verringering 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

Der Grenzwert wird zu 22.0 dBμV/m festgelegt.

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

Downlink:

k-Faktor (0 dBi, 50 Ω)	29.3	dB/m
Kanalbandbreite	200.0	kHz
Rauschzahl	7.0	dB
Gesamtrauschleistung	-114.0	dBm
	-7.0	dBμV
	22.3	dBμV/m
C/I (Handover-Fall)	10.0	dB
Geräteempfindlichkeit	-104.0	dBm
	3.0	dBμV
	32.3	dBμV/m
Empfindlichkeitsverringerung um	3.0	dB
Erlaubte Störung	-111.6	dBm
	-4.6	dBμV
	24.7	dBμV/m
resultierende Empfindlichkeit	-101.0	dBm
	6.0	dBμV
	35.3	dBμV/m

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
C/I (Handover-Fall)	10.0	dB
Geräteempfindlichkeit (BTS)	-106.0	dBm
	1.0	dBμV
	13.3	dBμV/m
Antennengewinn-BTS	17.0	dB
Feederverluste-BTS	-3.0	dB
Entfernung BTS-Fz	10.0	m
Freiraumdämpfung (900MHz)	-51.5	dB
Dämpfung BTS-Empfänger->Fahrzeug	37.5	dB
Erlaubte Störung	-78.5	dBm
	28.5	dBμV
	40.8	dBμV/m
resultierende Empfindlichkeit	-104.5	dBm
	2.5	dBμV
	-6.5	dBμV/m

Der Grenzwert wird zu 25,0 dBμV/m, bzw. 41,0 dBμV/m festgelegt.

Zu Anhang D: Ableitung der Grenzwerte für Messungen an Fahrzeugantennen

1. Ableitung des Grenzwertes für das 0,7-m-Band

Vorgabe aus dem UIC Merkblatt 751-3 [7]:

Im Abschnitt 2.2 wird bei einer Eingangsspannung von $\geq 1 \mu\text{V}$ am Empfängereingang ein Geräuschabstand von $\geq 20 \text{ dB}$ am Empfängerausgang gefordert.

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 $\geq 1 \mu\text{V}$.

Mindestens $2 \mu\text{V}$ am Empfängereingang entspricht $6 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Mindestens 20 dB Störabstand am Empfängereingang für gute Sprachübertragung entspricht $-14 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Reduzierung des Störabstands auf 16 dB , um akzeptable Sprachübertragung bei Mindesteingangsspannung zu ermöglichen

=> Zulässige Störspannung: $6 \text{ dB}\mu\text{V} - 16 \text{ dB} = -10 \text{ dB}\mu\text{V}$

2. Ableitung des Grenzwertes für das 0,3-m-Band

Vorgaben aus dem ETSI-Standard TS 05.05 [8] und den EIRENE-Spezifikationen FRS und SRS [9]:

Absatz 6.2 legt für GSM 900 Mobilstationen -104 dBm Referenz Empfindlichkeit fest.

Im Absatz 6.3 ist die Gleichkanalstörung C/I auf 9 dB festgelegt.

Empfängerempfindlichkeit: $-104 \text{ dBm} = 3 \text{ dB}\mu\text{V}$ an 50 Ohm
Gleichkanal - Störabstand: 9 dB

Erhöhte Anforderung an den Gleichkanal - Störabstand wegen Handover - Fall (sehr hohe Geschwindigkeit bei Handover): 12 dB

=> Zulässige Störspannung: $3 \text{ dB}\mu\text{V} - 12 \text{ dB} = -9 \text{ dB}\mu\text{V}$

Aufgrund der negativen Auswirkungen von Störungen an der eigenen Zugfunkantenne, im Einklang mit den bisherigen Regelungen, einer einheitlichen Vorgehensweise und praktischer Erwägungen wird für das 0,7-m- und 0,3-m-Band ein einheitlicher Grenzwert für zulässige Störspannungen von **$-10 \text{ dB}\mu\text{V}$** spezifiziert.

**Zu Anhang E:
Ableitung der Grenzwerte für Messungen an Geräten**

Ableitung der Grenzwerte für das 0,7-m-Band und das 0,3-m-Band

Die Herleitung erfolgt anhand der Grenzwerte für die Zugvorbeifahrt in 1 m Abstand.

- 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**

Da die Empfindlichkeit in 3 m Abstand von der Außenwand des Gerätes zu messen ist, ergibt sich bei einem dreifachen Abstand verglichen zur Deteilmessung der Zugvorbeifahrt ein um 9 bis 10 dB niedrigerer Grenzwert. Da die Geräte in der Regel nicht auf einer Einbauhöhe von 1,20 m über SO am Fahrzeug angebracht sind sondern auf abweichenden Höhen, vergrößert sich der Abstand des Rangierers zum Gerät in der Praxis. Es wird im Mittel von einem Abstand Gerät – Rangierer von 1,5 Metern ausgegangen, wodurch der Grenzwert um 3 bis 4 dB angehoben werden kann, um das gleiche Schutzziel zu erreichen.

Die Ableitung führt damit zu folgenden Grenzwerten:

- 0,7-m-Band: **16 dB μ V/m**
- 0,3-m-Band (GSM-R downlink): **19 dB μ V/m**
- 0,3-m-Band (GSM-R uplink): **35 dB μ V/m**

Um sowohl der Abschirmwirkung des Einbauorts der Geräte als auch dem größeren Abstand zum Gerät Rechnung zu tragen, wurden zusätzlich Schutzklassen für die Geräte definiert. Durch die Schutzklassen werden die Anforderungen an die Störaussendung der Geräte reduziert.

Anhang H (informativ): Hoher Umgebungsstörpegel

In Frequenzbereichen, in denen der Umgebungsstörpegel höher als der Orientierungswert ist, kann bei der Übersichtsmessung (siehe Kapitel 4.1) nur eine eingeschränkte Aussage getroffen werden, ob der gemessene Fahrzeug-Störpegel den Orientierungswert einhält.

Diese Einschränkung gilt in gleicher Weise bei der Funkverträglichkeitsprüfung an Fahrzeugantennen (siehe Kapitel 5) für die Störspannung in Bezug zum Grenzwert.

Dieser Sachverhalt ist nachfolgend am Beispiel von Messergebnissen im GSM-R-Downlink-Band gezeigt.

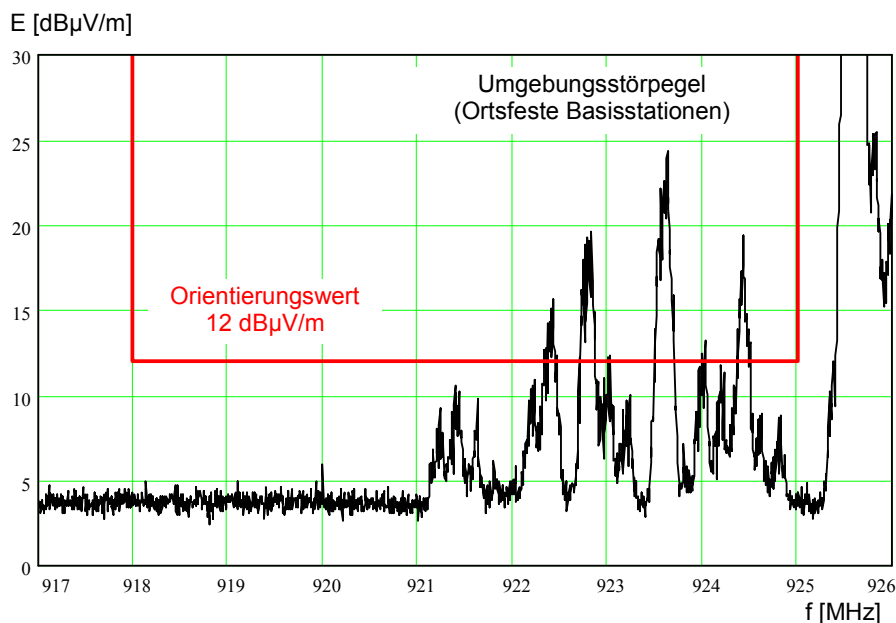


Abbildung H-1: Umgebungsstörpegel im GSM-R-Downlink-Band

Zur Bewertung bzw. Reduzierung des Risikos von Beeinflussungen in diesen Frequenzbereichen können die folgenden Methoden angewendet werden (Empfehlung):

- Wechsel des Messortes
- Selektive Prüfung mit reduzierter Messbandbreite
- Nachweis auf Basis von Geräteprüfungen
- Kohärenzbetrachtung zu bestehenden Lösungen.

a) Wechsel des Messortes

Durch den Wechsel des Messortes ist es möglich, den störenden Beitrag von ortfesten Sendern, z.B. GSM-R-Basisstation, am Umgebungsstörpegel zu reduzieren bzw. zu beseitigen.

In diesem Fall werden in den betroffenen Frequenzbereichen die Einzelmessungen des Umgebungsstörpegels selektiv überlagert.

Unter Ausnutzung der Gebäudedämpfung kann diese Teilprüfung auch in Werkhallen durchgeführt werden.

b) Selektive Prüfung mit reduzierter Messbandbreite

Diese Detailprüfung wird empfohlen, wenn der Umgebungsstörpegel im betroffenen Downlink-Band den Grenzwert um nicht mehr als ca. 20 dB überschreitet.

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

Durch Reduzierung der Messbandbreite verringert sich der Anzeigepegel des GMSK-modulierten GSM-R-Signals der Basisstation (Umgebungspegel). Empfohlen wird eine Bandbreite zwischen 1 kHz und 200 Hz.

Auf diese Weise kann geprüft werden, ob sich hinter dem Umgebungspegel ein vom Fahrzeug verursachter schmalbandiger Störer verbirgt, da dessen Anzeigepegel nicht von der Messbandbreite bestimmt wird.

Die Analyse muss nur für die Frequenzbereiche durchgeführt werden, in denen der Umgebungsstörpegel über dem Grenz- bzw. Orientierungswert liegt.

Dennoch können sich hier bei lückenloser Abtastung des Frequenzbereichs im Messempfänger-Modus hohe Gesamtmesszeiten ergeben.

Empfohlen wird deshalb eine Analyse im Spektrumanalysator-Modus des Messempfängers oder die Verwendung von HF-Spektrumanalysatoren mit FFT-basiertem Zeitbereichsscan.

Da es sich bei einem schmalbandigen Störer meistens um eine amplituden- und frequenzstabile Harmonische einer Prozessorfrequenz handelt, kann darüber hinaus durch den Anzeige-Modus: Continuous Sweep / Min-Hold der GMSK-modulierte Umgebungspegel weiter abgesenkt werden.

Alternativ zum Mittelwertdetektor kann auch der Min Peak Detektor verwendet werden.

Die Spektrallinie eines möglichen Störers, die sich hinter dem Umgebungspegel verbirgt, wird auf diese Weise deutlich identifiziert.

c) Nachweis auf Basis von Geräteprüfungen

Wurden gemäß Kapitel 6 Funkverträglichkeitsprüfungen an Geräten durchgeführt, können diese Prüfergebnisse für die Analyse des Beeinflussungsrisikos in den Frequenzbereichen mit hohem Umgebungsstörpegel genutzt werden.

Zum Nachweis der Funkverträglichkeit an Fahrzeugantennen wird in diesem Fall geprüft, ob die Geräte auf dem Fahrzeugdach Störgrößen in diesen Frequenzbereichen erzeugen.

Liegen für alle elektronischen Einrichtungen eines Fahrzeugs Prüfergebnisse auf der Basis von Geräteeinzelprüfungen vor, z.B. im Rahmen vorbeugender Maßnahmen nach Kapitel 6, Satz (3), kann die Methode auch zum Schließen bestehender Nachweislücken bei Außenmessungen genutzt werden (siehe Satz (2)),

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 I (informativ): Arbeitsgruppe Funkverträglichkeit

Mitglieder der Arbeitsgruppe „Funkverträglichkeit von Schienenfahrzeugen“ zum Stand der EMV Bekanntgabe 06

Graupner, Winfried, Dr.-Ing. Bombardier Transportation Electrical Systems Engineering Am Rathenaupark D 16761 Hennigsdorf	Hemmer, Bernhard Siemens AG, Bereich Bahnfahrzeuge Werner von Siemensstr. 61 D 91050 Erlangen
Hirte, Harald Eisenbahn-Bundesamt, Zentrale Büro Berlin, Referat 22 Steglitzer Damm 117 D 12169 Berlin	Höfl, Markus DB Systemtechnik, I.TVI 34 Völckerstr. 5 D 80939 München
Jung, Lorenz, Dr.-Ing. Siemens, EMC Günter-Scharowsky Str. 21 D 91050 Erlangen	Kobus, Gerald DB Fernverkehr AG, P.FBF 36(3) Im Galluspark 19, D 60326 Frankfurt am Main
Lautenschlager, Werner DB Netz AG, I.NVT24(G) Völckerstr. 5 D 80939 München	Lengemann, Lothar DB AG; Holding, TSS Völckerstr. 5 D 80939 München
Meeh, Matthias Siemens, EMC Günter-Scharowsky Str. 21 D 91050 Erlangen	Mertens, Christian Ing.- Büro Rörden Europaplatz 2 D 44269 Dortmund
Rörden, Uwe Ingenieurbüro Rörden Europaplatz 2 D 44269 Dortmund	Schürmann, André Alpha Trains Europa Neusser Straße 93 D 50670 Köln
Struß, Thorsten ALSTOM Transport Deutschland RES - Product Engineering Linke-Hofmann-Busch-Straße 1 D-38239 Salzgitter	Zimmer, Gerhard, Dr. -Ing. Siemens, EMC Günter-Scharowsky Str. 21 D 91050 Erlangen
Zinow, Martin DB Systemtechnik, I.TVI 34 Völckerstr. 5 D 80939 München	