



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur

Bundesnetzagentur

Eisenbahn-Bundesamt



**DIE BAHNINDUSTRIE.**

VDB VERBAND DER BAHNINDUSTRIE IN DEUTSCHLAND E.V.



VERBAND DER GÜTERWAGENHALTER IN DEUTSCHLAND E.V.



Die Verkehrs-  
unternehmen

# **Technische Regelung für den Nachweis der elektromagnetischen Verträglichkeit zwischen Schienenfahrzeugen und der Infrastruktur im Geltungsbereich der EBO (TR-EMV)**

## **Teil 2 – Nachweis der Einhaltung der Störstrom- grenzwerte**

## Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 0     | Ausgabenübersicht.....  | 3  |
| 1     | Grundsätzliches .....   | 3  |
| 2     | Zu schützende Systeme.....  | 3  |
| 2.1   | Grundsätzliches.....  | 3  |
| 2.2   | Gleisstromkreistypen .....  | 4  |
| 3     | Relevante Beeinflussungsmechanismen .....                                   | 4  |
| 4     | Schutzanforderungen / Störstromgrenzwerte (für Fahrzeuge) .....             | 6  |
| 4.1   | Grenzwerte im NF-Bereich .....  | 6  |
| 4.2   | Grenzwerte im TF-Bereich.....   | 6  |
| 5     | Nachweisverfahren.....  | 7  |
| 5.1   | Fernbeeinflussung .....   | 7  |
| 5.1.1 | Messverfahren .....   | 7  |
| 5.1.2 | Messorte / Referenzstrecken / Anzahl der Messungen.....                     | 8  |
| 5.1.3 | Zusätzliche Messgrößen .....  | 9  |
| 5.2   | Nahbeeinflussung durch einspeisende Einheiten (EE) auf Fahrzeugen.....      | 9  |
| 5.2.1 | Messverfahren .....   | 9  |
| 5.2.2 | Durchführung der Untersuchung .....   | 10 |
| 5.3   | Nahbeeinflussung durch Energieversorgungsanlagen auf (Reisezug-) Wagen..... | 11 |
| 5.3.1 | Messverfahren .....   | 11 |
| 5.3.2 | Durchführung der Untersuchung .....   | 12 |
| 5.4   | Messtechnik .....   | 13 |
| 5.4.1 | Anforderungen an die Messkette.....   | 13 |
| 5.4.2 | Analyse und Bewertung der Messgrößen.....                                   | 13 |
| 6     | Bewertung der ermittelten Störstrompegel .....                              | 13 |
| 6.1   | Grundsätzliches.....  | 13 |
| 6.2   | Fernbeeinflussung .....   | 14 |
| 6.2.1 | NF-Bereich.....   | 14 |
| 6.2.2 | TF-Bereich .....  | 14 |
| 6.2.3 | Inrush.....   | 14 |
| 6.3   | Nahbeeinflussung durch einspeisende Einheiten.....                          | 15 |
| 6.4   | Nahbeeinflussung durch Wagen.....   | 16 |

## 0 Ausgabenübersicht

| Ausgabe | Datum      | Änderungen                                 |
|---------|------------|--|
| 1.0     | 01.10.2015 | Freigabe LK Fahrzeuge (Sitzung 09.09.2015) |

## 1 Grundsätzliches

Die in diesem Teil verwendeten Begriffe und Definitionen sind dem Teil 1 - Allgemeines der Technische Regelung für den Nachweis der elektromagnetischen Verträglichkeit zwischen Schienenfahrzeugen und der Infrastruktur im Geltungsbereich der EBO (TR-EMV) zu entnehmen.

*Hinweis: Fahrzeuge/Anordnungen, die von den definierten Randbedingungen bzw. Parametern abweichen, sind bezüglich der Nachweisführung der Grenzwerteinhaltung gesondert zu betrachten (Einbeziehung EIU/EVU, Aufsichtsbehörde, bei grundsätzlichen Fragestellungen AK EMV).*

## 2 Zu schützende Systeme

### 2.1 Grundsätzliches

In diesem Teil der TR EMV geht es um den Schutz von Gleisstromkreisen vor unzulässig hohen Störstromanteilen, die von elektrischen Verbrauchern (Triebfahrzeuge, Wagen) in das Gleis eingebracht werden. Diese Störströme können zu unzulässigen Frei- oder Belegtmeldungen der Gleisfreimeldeabschnitte führen.

Der jeweils angegebene Störstromgrenzwert wird durch den Gleisstromkreistyp, dessen Einsatzbedingungen und die allgemein anerkannte Sicherheitsphilosophie bestimmt. Die Sicherheitsphilosophie schließt z.B. ein, dass mehrere BE gleichzeitig, den in der Praxis auftretenden betrieblichen Abläufen entsprechend, den einzelnen Gleisstromkreis beeinflussen können, ohne dass eine Betriebsgefährdung angenommen werden muss.

Ein Gleisstromkreis ist ein isolierter Gleisabschnitt, in den an einer Seite eine Signalspannung eingespeist wird, die am anderen Ende des Gleisabschnittes wieder abgegriffen und einer Auswerteeinrichtung zugeführt wird (Abbildung 1 linker Teil).

Der Gleisstromkreis ist galvanisch mit den Schienen verbunden. Diese sind Bestandteil des Gleisstromkreises und gleichzeitig Rückleiter für den Fahrstrom sowie den Rückstrom der Zugsammelschiene.

Durch das Befahren dieses Gleisabschnittes wird durch die Radsätze des Fahrzeuges ein Achsnebenschluss erzeugt. Damit liegt an der Auswerteeinrichtung nur noch eine Restspannung an, welche durch die Auswerteeinrichtung bewertet und als Belegtmeldung an die

übergeordnete Sicherungsanlage, z.B. Stellwerk, ausgegeben wird (Abbildung 1 rechter Teil).

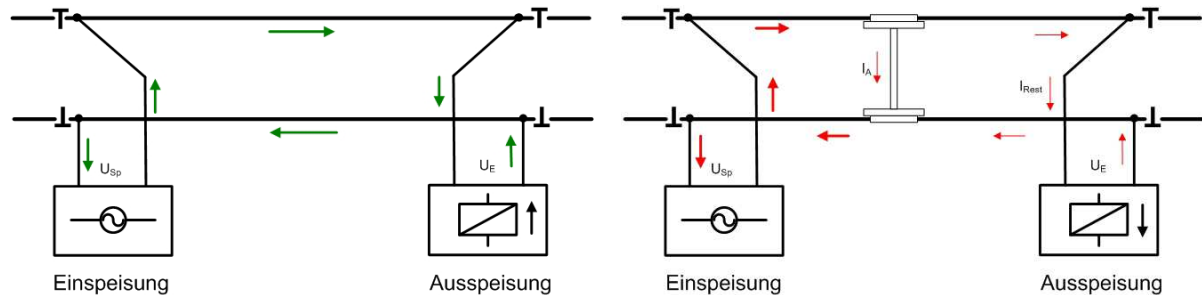


Abbildung 1: Gleisstromkreis – grundsätzliche Funktionsweise

## 2.2 Gleisstromkreistypen

Gleisstromkreise werden nach ihren Nutzfrequenzbereichen unterteilt. Es wird zwischen niederfrequenten Gleisstromkreisen (bis 150 Hz) und höherfrequenten (Tonfrequenz-) Gleisstromkreisen (4 – 20 kHz) unterschieden.

- **Niederfrequente Gleisstromkreise** (NF-GSK) arbeiten bei Nennfrequenzen von 42, 50 und 100 Hz. Diese Gleisstromkreise existieren in der Ausführung mit einschieniger (42, 50 und 100 Hz) und zweischieniger (42 und 100 Hz) Isolierung.

42-Hz-Gleisstromkreise werden in Bereichen von 16,7-Hz- und DC-elektrifizierten Strecken bzw. in deren Beeinflussungsbereichen eingesetzt.

50-Hz-Gleisstromkreise kommen nur auf nichtelektrifizierten und DC-elektrifizierten Strecken zum Einsatz.

100-Hz-Gleisstromkreise werden auf 16,7-Hz elektrifizierten und nicht elektrifizierten Strecken bzw. in deren Beeinflussungsbereichen eingesetzt.

- Bei den **Tonfrequenzgleisstromkreisen** (TF-GSK) wird zwischen uncodierten und codierten Bauformen unterschieden. Die Abgrenzung der Gleisfreimeldeabschnitte erfolgt entweder – wie bei den niederfrequenten Gleisstromkreisen – durch Isolierstöße oder – wie in den meisten Anwendungsfällen – durch elektrische Trennstöße.

## 3 Relevante Beeinflussungsmechanismen

Es gibt zwei verschiedene Beeinflussungsmechanismen, Fernbeeinflussung (FB) und Nahbeeinflussung (NB). Für welche Fahrzeugtypen welche Beeinflussungsmechanismen anzuwenden sind, ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

| Gleisstromkreis                    | Fahrzeuge<br>15 kV AC<br>16,7 Hz | Fahrzeuge<br>DC | Fahrzeuge<br>mit EE zur<br>ZS-Speisung<br>mit 1 kV AC | Wagen an<br>ZS E-Lok<br>1kV AC<br>16,7 Hz | Wagen an<br>ZS V-Lok<br>1 kV AC<br>22 Hz, 60 Hz |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------|---|---|---|
| NF-GSK, 42 Hz                      | FB                               | FB              | NB  | NB  | NB  |
| NF-GSK, 50 Hz                      | -                                | FB              | NB  | -   | NB  |
| NF-GSK, 100 Hz                     | FB                               | -               | NB  | NB  | NB  |
| TF-GSK, EON7                       | -                                | -               | NB  | -   | NB  |
| TF-GSK, GLS 9/15                   | FB                               | FB              | NB  | NB  | NB  |
| TF-GSK, FTG S 46 /<br>917 / TCM100 | FB                               | FB              | NB  | NB  | NB  |

Tabelle 1: Bei messtechnischen Nachweisen zu berücksichtigende Beeinflussungsmechanismen der relevanten Gleisstromkreise

Beeinflussungen von Gleisstromkreisen durch die von aktiven Magnetschienenbremsen bzw. Wirbelstrombremsen erzeugten elektromagnetischen Felder sind derzeit nicht bekannt. Aus diesem Grund sind bei Fahrzeugen mit diesen Bremsen in diesem Zusammenhang keine gesonderten weiteren Untersuchungen zur Verträglichkeit mit Gleisstromkreisen erforderlich.

## 4 Schutzerfordernngen / Störstromgrenzwerte (für Fahrzeuge)

### 4.1 Grenzwerte im NF-Bereich

| Gleisstromkreisfrequenz [Hz] | Beeinflussungsfrequenzbereich (3-dB Bandbreite) [Hz] | max. zul. Störstrom (Grenzwert) für eine AE für $t \geq 0,5$ s [A] | max. zul. Störstrom (Grenzwert) für eine BE für $t \geq 0,5$ s [A] |
|------------------------------|--|--|--|
| 42                           | 37 ... 46  | 2  | 2,8  |
| 50                           | 46 ... 54  | 2  | 2,8  |
| 100                          | 93 ... 107   | 2  | 2,8  |

Tabelle 2: Grenzwertvorgaben für NF Gleisstromkreise

### 4.2 Grenzwerte im TF-Bereich

| Kanalmittenfrequenz [Hz] | 3-dB-Bandbreite [Hz] | max. zulässiger Störstrom (Grenzwert) für $t \geq 40$ ms [mA] |
|--------------------------|----------------------|---|
| 4750                     | 200                  | 1000  |
| 5250                     | 206                  | 1000  |
| 5750                     | 214                  | 1000  |
| 6250                     | 220                  | 1000  |

Tabelle 3: Grenzwertvorgaben für Gleisstromkreis FTG S 46 / TCM100

| Kanalmittenfrequenz [Hz] | 3-dB-Bandbreite [Hz] | max. zulässiger Störstrom (Grenzwert) für $t \geq 40$ ms [mA] |
|--------------------------|----------------------|---|
| 9500                     | 410                  | 113   |
| 10500                    | 500                  | 104   |
| 11500                    | 535                  | 91  |
| 12500                    | 635                  | 86  |
| 13500                    | 565                  | 71  |
| 14500                    | 660                  | 67  |

Tabelle 4: Grenzwertvorgaben für Gleisstromkreis GLS 9/15

| Kanalmittenfrequenz [Hz] | 3-dB-Bandbreite [Hz] | max. zulässiger Störstrom (Grenzwert) für $t \geq 40$ ms [mA] |
|--------------------------|----------------------|---|
| 7000                     | 195                  | 106   |
| 12150                    | 330                  | 59  |
| 14600                    | 375                  | 48  |

Tabelle 5: Grenzwertvorgaben für Gleisstromkreis EON7

| Kanalmittenfrequenz [Hz] | 3-dB-Bandbreite [Hz] | max. zulässiger Störstrom (Grenzwert) für $t \geq 40$ ms [mA] |
|--------------------------|----------------------|---|
| 9500                     | 360                  | 330   |
| 10500                    | 380                  | 330   |
| 11500                    | 400                  | 330   |
| 12500                    | 425                  | 330   |
| 13500                    | 445                  | 330   |
| 14500                    | 470                  | 330   |
| 15500                    | 490                  | 330   |
| 16500                    | 510                  | 330   |

Tabelle 6: Grenzwertvorgaben für Gleisstromkreis FTG S 917 / TCM100

## 5 Nachweisverfahren

### 5.1 Fernbeeinflussung

#### 5.1.1 Messverfahren

Zu messen ist stets der Gesamtstrom zwischen Fahrleitung und Messobjekt, möglichst dicht an der Fahrleitung (Stromabnehmer). Folgende Vorgehensweisen sind zum Nachweis der Nichtüberschreitung der Störstrom-Grenzwerte erlaubt:

- a) Erfassung des Gesamtstromes einer Antriebseinheit (AE) und Bewertung nach Kapitel 6.2.
- b) Erfassung des Gesamtstromes einer Beeinflussenden Einheit (BE) und Bewertung nach Kapitel 6.2. Es ist sicherzustellen, dass innerhalb einer BE keine einzelne AE den reduzierten Grenzwert für eine AE überschreitet.

Bei den Messungen sind mindestens folgende Fahrspiele durchzuführen:

- Beschleunigen mit mind. 80 % der maximalen Zugkraft gemäß Z-v-Diagramm vom Stillstand bis zur fahrzeugseitigen Höchstgeschwindigkeit,
- Beschleunigen mit etwa 50 % der maximalen Zugkraft (gilt nur für Normalbetrieb) gemäß Z-v-Diagramm vom Stillstand bis zur fahrzeugseitigen Höchstgeschwindigkeit,
- Geschwindigkeit halten,
- Leerlauf (Rollen),
- Bremsen mit maximaler elektrischer Bremskraft gemäß B-v-Diagramm ausgehend von der fahrzeugseitigen Höchstgeschwindigkeit bis zum Stillstand,
- Bremsen mit etwa 50 % der maximalen elektrischen Bremskraft (gilt nur für Normalbetrieb) gemäß B-v-Diagramm ausgehend von der fahrzeugseitigen Höchstgeschwindigkeit bis zum Stillstand.

Neben dem Normalbetrieb sind auch alle vom Hersteller betrieblich vorgesehenen Ausfallkonfigurationen zu untersuchen.

Der Störstrom für die in Tabelle 2 bis Tabelle 6 genannten Frequenzbereiche ist mittels Bandpassbewertung des Fahrzeugnetzstroms zu messen und als zeitlicher Verlauf aufzuzeichnen.

Die Einhaltung der Grenzwerte nach Tabelle 2 ist über den angegebenen Beeinflussungsfrequenzbereich nachzuweisen. Bei auftretenden Grenzwertüberschreitungen kann die Bewertung auch mit Bandpassfiltern mit einer 3-dB Bandbreite von jeweils 4 Hz mit folgenden Mittelfrequenzen erfolgen:

- Gleisstromkreisfrequenz 42 Hz: 39, 40, 42, 44 Hz
- Gleisstromkreisfrequenz 50 Hz: 48, 50, 52 Hz
- Gleisstromkreisfrequenz 100 Hz: 95, 96, 98, 100, 102, 104, 105 Hz .

Die Einhaltung der Grenzwerte im TF-Bereich ist mit den angegebenen Bandbreiten gemäß Tabelle 3 bis Tabelle 6 nachzuweisen.

### 5.1.2 Messorte / Referenzstrecken / Anzahl der Messungen

Bei den Messungen für Wechselstrombahnen (15 kV / 16,7 Hz) sind die nachfolgend genannten Referenzstrecken zu nutzen. Referenzstrecke 1 ist grundsätzlich mit allen Fahrzeugen zu befahren. Fahrzeuge mit  $v_{\max} > 160$  km/h müssen zusätzlich eine der beiden Referenzstrecken 2 oder 3 befahren. Fahrzeuge mit  $v_{\max} > 280$  km/h müssen zusätzlich die Referenzstrecke 3 befahren.

#### - Referenzstrecke 1

Strecke Plattling – Straubing (Str.-Nr. 5830).

Ab km 53,4 Bahnhof Plattling bis km 75,6 Bahnhof Straubing.

Unterwerksbereich:

- Plattling: Streckeneinspeisung in km 53,49

#### - Referenzstrecke 2

Strecke Würzburg - Fulda (Str.-Nr. 1733).

Ab km 239,4 Bahnhof Fulda bis km 326,0 Hauptbahnhof Würzburg.

Unterwerksbereiche:

- Fulda: Streckeneinspeisungen km 239,22 / km 246,30
- Mottgers: Streckeneinspeisungen km 251,40 / km 265,01 / km 267,63 / km 273,12
- Burgsinn: Streckeneinspeisung km 282,59



- Gemünden: Streckeneinspeisungen km 285,55 / km 290,72 / km 290,94
- Rohrbach: Streckeneinspeisungen km 299,96 / km 301,38 / km 309,63
- Würzburg: Streckeneinspeisung km 317,06.

- Referenzstrecke 3

Strecke Nürnberg – Ingolstadt (Str.-Nr. 5850 und 5934).

Ab Nürnberg-Abzw Reichswald auf der Str. 5850 von km 91,84 / Übergang auf Str. 5934 mit Streckenanfang in km 9,5 und weiter bis Bahnhof Ingolstadt Nord km 86,0.

Unterwerksbereiche:

- Schaltposten Feucht: Streckeneinspeisungen km 11,48 / km 11,43 / km 9,04
- Mörlach: Streckeneinspeisungen km 26,38 / km 42,2
- Denkendorf: Streckeneinspeisungen km 57,61 / km 75,48
- Ingolstadt: Streckeneinspeisung km 83,35.

Je Betriebsfall sollen mindestens drei Messungen zu unterschiedlichen Tageszeiten (ein möglicher Einfluss anderer Störer soll bewertet werden können) durchgeführt werden.

Bei der Prüfung von Lokomotiven sind die Messungen bei unbelasteter Zugsammelschiene durchzuführen.

Bei Gleichstrombahnen sind die Messungen sowohl unterwerksfern als auch unterwerksnah im Netz des künftigen Betreibers durchzuführen.

### **5.1.3 Zusätzliche Messgrößen**

Neben dem zeitlichen Verlauf der jeweiligen Störstrompegel sind zugleich noch zusätzlich folgende, den Betriebszustand und das Fahrspiel charakterisierende Größen zu erfassen:

- a) Fahrleitungsspannung (Oberleitungsspannung an der zu messenden Einheit),
- b) Netzstrom (Oberstrom) durch die zu messende Einheit,
- c) Fahrzeuggeschwindigkeit oder eine hierzu äquivalente Größe,
- d) optional die Zugkraft.

## **5.2 Nahbeeinflussung durch einspeisende Einheiten (EE) auf Fahrzeugen**

### **5.2.1 Messverfahren**

Das zu bewertende Fahrzeug ist bei den erforderlichen Messungen unter üblichen Einsatzbedingungen, d. h. im Verband mit anderen Fahrzeugen, insbesondere Wagen, zu bewerten. Bei den Nachweismessungen können diese Einsatzbedingungen (nachvollziehbar) nachgebildet werden.

Die Einhaltung der Grenzwerte nach Tabelle 2 ist über den angegebenen Beeinflussungsfrequenzbereich nachzuweisen. Bei auftretenden Grenzwertüberschreitungen kann die Bewertung auch mit Bandpassfiltern mit einer 3-dB Bandbreite von jeweils 4 Hz mit folgenden Mittelfrequenzen erfolgen:

- Gleisstromkreisfrequenz 42 Hz: 39, 40, 42, 44 Hz
- Gleisstromkreisfrequenz 50 Hz: 48, 50, 52 Hz
- Gleisstromkreisfrequenz 100 Hz: 95, 96, 98, 100, 102, 104, 105 Hz .

Die Einhaltung der Grenzwerte im tonfrequenten Bereich ist mit den angegebenen Bandbreiten gemäß Tabelle 3 bis Tabelle 6 nachzuweisen.

### 5.2.2 Durchführung der Untersuchung

Der Strom ist an der Zugsammelschiene (Ausgang EE) zu messen. Die Verbraucher an der Zugsammelschiene (Wagen) können durch Modelllasten nachgebildet werden.

Die Untersuchungen sind im Stand bei unterschiedlichen Zwischenkreisspannungen, die sich bei den einzelnen Belastungszuständen der Zugsammelschiene ergeben, durchzuführen. Es ist sicherzustellen, dass hierbei auch die maximal betrieblich mögliche Zwischenkreisspannung abgedeckt wird.

Die Zugsammelschiene ist ohmsch zu belasten. Die ohmsche Belastung umfasst die Stufen ca. 10 %, ca. 50 % und ca. 90 % der Nennlast (oder Nennleistung) der EE. Sofern eine Überlast von mehr als 105 % möglich ist, ist auch der Bereich der Überlast kurz vor dem Abschalten zu untersuchen.

Abweichungen von maximal 10 % der Nennlast (100 %) sind zulässig. Diese Abweichung muss bei der Bewertung rechnerisch berücksichtigt werden.

Je Belastungsstufe ist ein Testzyklus - bestehend aus einer konstanten Phase, einer Lasterhöhung (+50 kW bei 1000 V) sowie einer Lastabsenkung (-50 kW bei 1000 V) - gemäß nachfolgender Darstellung durchzuführen.

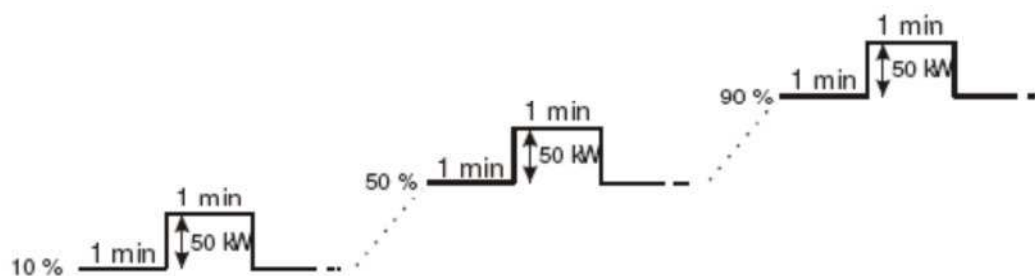


Abbildung 2: Testzyklus

Die einzelnen Phasen eines Testzyklus betragen ca. eine Minute. Die Messdatenaufzeichnung kann beendet werden, sobald sich nach dem Lastrücksprung stationäre Verhältnisse eingestellt haben.

*Erläuterung: Als Lastsprunghöhe wird ein typischer Wert von ca. 50 kW angesetzt (bei 1000 V; entspricht etwa der Last eines Reisezugwagens). Das gleichzeitige Schalten aller Wagen wird nicht angenommen.*

Die Spannung der Zugsammelschiene ist während der Untersuchungen aufzuzeichnen. Die Einhaltung der Spannungsgrenzen nach Anlage B, UIC-Kodex 626 für die Nennspannung 1000 V (Tabelle 7) ist zu dokumentieren.

Zum Nachweis der Reproduzierbarkeit sind die Messungen jeweils dreimal durchzuführen.

| Minimale Spannung der ZS   |                                     | Nennspannung | Maximale Spannung der ZS            |   |
|--|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|---|
| Bis zu 30 s Dauer<br>$U_{\min 2}$ (V)  | Ständig möglich<br>$U_{\min 1}$ (V) |              | Ständig möglich<br>$U_{\max 1}$ (V) | Bis zu 5 min<br>Dauer<br>$U_{\max 2}$ (V) <sup>1)</sup> |
| 700  | 800                                 | 1000         | 1150                                | 1200  |
| <sup>1)</sup> Die angegebene Spannung entspricht dem UIC-Merkblatt 550, Tafel 1. |                                     |              |                                     |   |

Tabelle 7: Spannungen Zugsammelschiene gemäß UIC-Kodex 626 Anlage B

### 5.3 Nahbeeinflussung durch Energieversorgungsanlagen auf (Reisezug-) Wagen

#### 5.3.1 Messverfahren

Das Messverfahren ist für die Summe aller Verbraucher (Lasten) auf Wagen mit einpoliger Zugsammelschiene (ZS) und Rückleitung über die Fahrschiene anzuwenden.

Die Einhaltung der Störstrom-Grenzwerte ist für die vorgesehenen Einsatzbedingungen, für welche die aktiven elektrischen Verbraucher an der Zugsammelschiene (z.B. Umrichter) konzipiert worden sind, messtechnisch nachzuweisen. Als Einsatzbedingungen sind z.B. die Auswirkung der Batterieladung, Heizung (sofern über Umrichter gespeist), Klimaanlage und der Kombinationen - soweit technisch möglich - in den unterschiedlichen Belastungsstufen des Normal- und Ausfallbetriebs anzusehen.

Der Strom ist an der Zugsammelschiene zu messen.

### 5.3.2 Durchführung der Untersuchung

Für das Spannungssystem 1 kV AC 16,7 Hz kann die Messung über die Zugsammelschiene einer E-Lok bzw. mit einer Speiseanordnung mit einer Induktivität von kleiner 1 mH bei der Grundfrequenz durchgeführt werden. Für andere Frequenzen kann die Messung über die Zugsammelschiene einer V-Lok bzw. mit einer Speiseanordnung mit einer Induktivität von kleiner 1 mH bei der jeweiligen Grundfrequenz durchgeführt werden. Wenn die Speisequelle am Ausgang über ein passives Filter verfügt, ist sicherzustellen, dass die Resonanzfrequenz, bei welcher die Bedingung niedriger Quellenimpedanz nicht erfüllt werden kann, nicht in die Bereiche der zu untersuchenden (Gleisstromkreis-) Frequenzen fällt.

*Empfehlung: Die Speisung sollte mit einer Sinusquelle mit möglichst geringen Störspannungsanteilen erfolgen. Bei Abschluss mit ohmscher Ersatzlast des Wagens bei Nominalleistung sollte der Störstromanteil der Quelle in den Frequenzbereichen der einzelnen Gleisstromkreise 50 % des jeweiligen Grenzwertes nicht überschreiten.*

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Qualität der Speisequelle kann auch eine Filterung (ausreichend niedrige Impedanz, siehe Forderung für E-Lok) der Quellenspannung durchgeführt werden.

*Hinweis: Bezüglich der Bewertung der Messergebnisse aufgrund unterschiedlicher Impedanzverhältnisse kann bei der Messung mit Reisezugwagen ein niedrigerer Wert der Störstromanteile der Quelle als bei Abschluss mit ohmscher Ersatzlast ermittelt werden.*

Treten Grenzwertüberschreitungen auf, welche auf die Speisequelle zurückzuführen sind, dann bestehen folgende Möglichkeiten:

- Wiederholungsmessung mit verbesserter Speisequelle,
- durch Quantifizierung des Einflusses der von der Speisequelle erzeugten Oberschwingungen kann eine erneute Bewertung der Messergebnisse vorgenommen werden.

Die von der Speisequelle verursachten Oberschwingungen werden nicht bewertet.

Die Untersuchungen können im Stand durchgeführt werden und sind in den technisch möglichen stationären Lastzuständen durchzuführen.

Die Nachweisführung muss für alle für den Wagen vorgesehenen ZS-Speisefrequenzen im Geltungsbereich der EBO durchgeführt werden.

## 5.4 Messtechnik

### 5.4.1 Anforderungen an die Messkette

Die Messgröße ist durch geeignete Wandler bzw. Sensoren aus dem Messkreis auszukoppeln. Die Messkette muss dabei folgenden Anforderungen genügen:

- a) Die Übertragungsfunktion der gesamten Messkette ist mit einem Prüfstrom, ermittelt mit einer Messunsicherheit  $< 1\%$ , zu überprüfen.
- b) Das Eigenrauschen der Messkette darf den größeren der beiden folgenden Werte nicht überschreiten:
  - 10% vom zulässigen Grenzwert bei der verwendeten Messbandbreite
  - 5 mA.
- c) Standardmessunsicherheit der gesamten Messkette  $\leq 5\%$ .

### 5.4.2 Analyse und Bewertung der Messgrößen

Für die Analyse und Bewertung der Messgrößen sind ausschließlich die im Zeitbereich durch Bandpassfilterung des Oberstromes ermittelten Störstrompegel zulässig.

Es sind Bandpässe 6. Ordnung vom Typ Butterworth zu verwenden.

Der frequenzabhängige Übertragungsfaktor im NF-Bereich wird durch die Gleisstromkreisfrequenz und den Beeinflussungsbereich als 3-dB-Bandbreite bzw. durch die gemäß Kapitel 5.1.1 gewählte Mittenfrequenz und 4 Hz als 3-dB-Bandbreite bestimmt.

Der frequenzabhängige Übertragungsfaktor im TF-Bereich wird durch die Kanalmittenfrequenz und die 3-dB-Bandbreite bestimmt.

Der bandpassgefilterte Störstrom ist als gleitender Effektivwert darzustellen. Für die Integrationszeit (Länge des Zeitfensters) der gleitenden Effektivwertbildung gelten die in Abschnitt 0 angegebenen Zeiten. Die aufeinanderfolgenden Zeitfenster müssen mindestens 50% Überlappung aufweisen.

## 6 Bewertung der ermittelten Störstrompegel

### 6.1 Grundsätzliches

Besteht das Risiko, dass Fehlerzustände zu erhöhten Störstromemissionen führen können, dann ist – z.B. im EMV-Plan – darzulegen, dass sich nicht offenbarende störstromrelevante Fehlerzustände zu keiner Grenzwertüberschreitung führen können.

## 6.2 Fernbeeinflussung

### 6.2.1 NF-Bereich

Die Grenzwerte sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Rückrechnungsformel zur Ermittlung des reduzierten AE-Grenzwertes in einer BE für jede Gleisstromkreisfrequenz gemäß der Tabelle in Abschnitt 4.1:

$$I_{n_{AE}} = \frac{2,8 \text{ A}}{\sqrt{n_{AE}}} \leq I_{AE} \quad \text{mit } 2 \leq n_{AE} \leq 6$$

Fälle für  $n_{AE} > 6$  sind gesondert zu betrachten.

### 6.2.2 TF-Bereich

Die Grenzwerte sind Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 6 zu entnehmen. Diese Werte sind Effektivwerte, die in der Filterbandbreite des entsprechenden Kanals nicht überschritten werden dürfen.

Für den Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte aus Tabelle 6 von 9500 bis 14500 Hz ist der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte aus Tabelle 4 ausreichend.

Die angegebenen Grenzwerte für die Fernbeeinflussung gelten sowohl für eine einzelne AE, als auch für BE ( $I_{\max AE} \leq I_{\max BE}$ ).

Rückrechnungsformel zur Ermittlung des reduzierten AE-Grenzwertes in einer BE für jede Kanalmittefrequenz gemäß der Tabellen in Abschnitt 4.2:

$$I_{n_{AE}} = \frac{\text{Grenzwert}}{\sqrt{n_{AE}}} \quad \text{mit } 1 \leq n_{AE} \leq 6$$

Fälle für  $n_{AE} > 6$  sind gesondert zu betrachten.

### 6.2.3 Inrush

Schaltvorgänge mit einer Wirksamkeitsdauer  $t > 0,5$  s durch die BE – z.B. Einschalten des Haupttransformators, Stromschienenwechsel bei Gleichstrombahnen – dürfen nicht zu einer gefährdenden Beeinflussung von Gleisfreimeldeeinrichtungen führen.

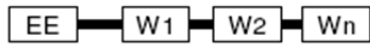
Inrushs stellen keine Störung dar. Sie können bei Fahrzeugen technisch nicht ausgeschlossen werden.

Sie wurden im praktischen Betrieb bisher nicht als gefährdende Beeinflussung wahrgenommen und werden daher nicht berücksichtigt.

### 6.3 Nahbeeinflussung durch einspeisende Einheiten

Die Bewertung aus Sicht der Störstromemission erfolgt nach der Größe einer BE. Die BE besteht aus mindestens einer EE, welche im

- a) Normalbetrieb die Zugsammelschiene speist,



Die Grenzwerte werden zwischen EE und Wagenzug quadratisch aufgeteilt

$$I_{zulEE(a)} = 5 \cdot I_{zulBE} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

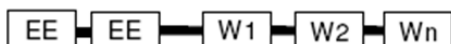
- b) Flügelzugbetrieb jeweils eine Zugsammelschiene speist,



Bei Flügelzugbetrieb mit zwei elektrisch (hinsichtlich der Zugsammelschiene) autark arbeitenden Zugeinheiten ergibt sich bei der dann anzuwendenden geometrischen Addition der beiden EE-Störstromanteile folgender Grenzwert für eine EE:

$$I_{zulEE(b)} = 5 \cdot I_{zulBE} \cdot \frac{1}{2}$$

- c) Tandembetrieb eine gemeinsame Zugsammelschiene bedient.



Die Einhaltung des Grenzwertes in Tandembetrieb ist gesondert zu untersuchen. Auf eine separate Nachweismessung kann verzichtet werden, wenn je EE bei der dann anzuwendenden arithmetischen Addition der folgende Grenzwert eingehalten wird:

$$I_{zulEE(c)} = 5 \cdot I_{zulBE} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2}}$$

Wenn mit der zu untersuchenden EE der Grenzwert einer EE für Tandembetrieb nicht eingehalten wird, dann ist eine ergänzende Untersuchung auch in dieser Speisekonstellation durchzuführen.

Legende:

W = Wagen 1 bis n

■ = Zugsammelschiene

Der Grenzwert für die Störströme bei Nahbeeinflussung einer BE (gemessen an der ZS) entspricht dem 5-fachen des Grenzwertes gemäß Abschnitt 0.

Die Einhaltung der Störstrom-Grenzwerte ist für die vorgesehenen Einsatzbedingungen, wie z.B. unterschiedliche Belastungen der Zugsammelschiene, messtechnisch nachzuweisen.

Für eine EE sind die Grenzwerte für verschiedene Zugkonstellationen beispielhaft in Tabelle 8 dargestellt.

Die Emissionsgrenzwerte für EE gelten unter folgender Bedingung:

Die passive Impedanz der EE zwischen Zugsammelschiene und Schiene muss im Frequenzbereich zwischen 4 – 17 kHz induktiv sein (Phase der passiven Impedanz zwischen 0 Grad und 90 Grad). Hierzu muss ein Nachweis in schriftlicher Form erbracht werden.

*Hinweis: Dieser Nachweis kann rechnerisch mit den Nennwerten der passiven Filterelementen oder messtechnisch erfolgen. Der speisende Umrichter kann hierbei idealisiert betrachtet werden (z.B. U-Umrichter als ideale Spannungsquelle).*

*Auf das Nachweisdokument muss im EMV-Plan des Fahrzeugs verwiesen werden.*

*In diesem Fall können die Emissionen von Wagen unabhängig von Emissionen von EE betrachtet werden. Beim Abweichen von diesem Grundsatz sind EE und Wagenzug als Einheit zu betrachten und zu qualifizieren.*

#### 6.4 Nahbeeinflussung durch Wagen

Der Wagenzug ist bezüglich Störstromemission wie eine AE innerhalb einer BE zu betrachten. Dabei ist in der Regel davon auszugehen, dass die BE aus mehreren AE besteht.

Der Wagenzug darf die hier festgelegten Emissionsgrenzwerte für Nahbeeinflussung nicht überschreiten.

Der Grenzwert für die Störströme bei Nahbeeinflussung einer BE (gemessen an der Zugsammelschiene) entspricht dem 5-fachen des Grenzwertes einer BE gemäß Abschnitt 0.

Die Grenzwerte werden zwischen E-Lok(s) bzw. V-Lok(s) und Wagenzug quadratisch aufgeteilt:

$$I_{zulWagenzug} = 5 \cdot I_{zulBE} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$



Die Einhaltung der Grenzwerte für die Nahbeeinflussung stellt hinreichend sicher, dass die Grenzwerte für die Fernbeeinflussung ebenfalls eingehalten werden. Deshalb ist es ausreichend, die Einhaltung der Grenzwerte für die Nahbeeinflussung nachzuweisen.

Die Störstromemissionen mehrerer Wagen sind arithmetisch zu addieren. Jeder Wagen wird innerhalb des Wagenzuges hinsichtlich der zulässigen Störstromemission als gleichwertig angenommen.

Der Grenzwert für einen einzelnen Wagen entspricht in der Regel dem 15-ten Teil des Grenzwertes eines Wagenzuges (arithmetische Addition).

Wenn sichergestellt ist, dass der Wagen später nie in einem Wagenzug mit mehr als  $n$  Wagen zum Einsatz kommt, dann entspricht der Grenzwert für einen einzelnen Wagen dem  $n$ -ten Teil des Grenzwertes des Wagenzuges. In diesem Fall ist die eingeschränkte Zahl der max. kuppelbaren Wagen in der Fahrzeugdokumentation festzuhalten.

Für einen Wagenzug mit 15 Wagen sind die Grenzwerte für einen Wagen für verschiedene Zugkonstellationen beispielhaft in Tabelle 8 dargestellt.

Die Emissionsgrenzwerte für Wagen gelten unter folgenden Bedingungen:

1. Die passive Impedanz des Wagens zwischen Zugsammelschienenkupplung und Schiene muss im Frequenzbereich 4 kHz – 17 kHz induktiv sein (Phase der passiven Impedanz zwischen 0 Grad und 90 Grad). Der Betrag der Eingangsimpedanz des Wagens muss im Frequenzbereich 4 kHz – 17 kHz größer dem Betrag der ohmschen Ersatzlast sein, die sich bei 1 kV (Nennspannung) der Zugsammelschienen-Spannung aus der Umrichtermaximaleistung des Wagens ergibt. Hierzu muss ein Nachweis in schriftlicher Form erbracht werden.  
Dieser Nachweis kann rechnerisch mit den Nennwerten der passiven Filterelemente oder messtechnisch erfolgen. Umrichter können idealisiert angenommen werden.  
Auf das Nachweisdokument muss im EMV-Plan des Fahrzeugs referenziert werden.  
In diesem Fall können die Emissionen von Wagen unabhängig von Emissionen der E-Lok bzw. V-Lok betrachtet werden. Bei Abweichen von diesem Grundsatz sind E-Lok bzw. V-Lok und Wagenzug als Einheit zu betrachten und zu qualifizieren.
2. Der Wagen ist für den Einsatz in einem Wagenzug, bestehend aus maximal 15 Wagen vorgesehen.
3. Der bei Nahbeeinflussung (V- und E-Traktion) relevante Rückstromanteil eines Wagenzuges im Nachbargleis beträgt max. 20 % des Zugsammelschienenstromes.

4. Bei Fernbeeinflussung (nur relevant bei E-Traktion) wird vorausgesetzt, dass der Störstrom des Wagenzuges von der ZS mit dem Übersetzungsverhältnis 1/15 der ZS-Wicklung auf die (15 kV-) Primärseite übertragen wird.

| Gleisstromkreis     |      | Nahbeeinflussung |       |                  |         |               |       |          |         |
|---------------------|------|------------------|-------|------------------|---------|---------------|-------|----------|---------|
|                     |      | Normalbetrieb    |       | Flügelzugbetrieb |         | Tandembetrieb |       |          |         |
| Mittelfrequenz [Hz] |      | BE               | EE    | Wagenzug         | 1 Wagen | BE            | EE    | Wagenzug | 1 Wagen |
|                     |      |                  |       |                  |         |               |       |          |         |
| NF Motorrelais      |      | Grenzwert [A]    |       |                  |         |               |       |          |         |
| 42                  | 2,8  | 9,899            | 9,899 | 0,660            | 0,660   | 2,8           | 4,950 | 9,899    | 0,660   |
| 50                  | 2,8  | 9,899            | 9,899 | 0,660            | 0,660   | 2,8           | 4,950 | 9,899    | 0,660   |
| 100                 | 2,8  | 9,899            | 9,899 | 0,660            | 0,660   | 2,8           | 4,950 | 9,899    | 0,660   |
| EON 7               |      | Grenzwert [mA]   |       |                  |         |               |       |          |         |
| 7000                | 106  | 375              | 375   | 25               | 25      | 106           | 187   | 375      | 25      |
| 12150               | 59   | 209              | 209   | 14               | 14      | 59            | 104   | 209      | 14      |
| 14600               | 48   | 170              | 170   | 11               | 11      | 48            | 85    | 170      | 11      |
| GLS 9/15            |      | Grenzwert [mA]   |       |                  |         |               |       |          |         |
| 9500                | 113  | 400              | 400   | 27               | 27      | 113           | 200   | 400      | 27      |
| 10500               | 104  | 368              | 368   | 25               | 25      | 104           | 184   | 368      | 25      |
| 11500               | 91   | 322              | 322   | 21               | 21      | 91            | 161   | 322      | 21      |
| 12500               | 86   | 304              | 304   | 20               | 20      | 86            | 152   | 304      | 20      |
| 13500               | 71   | 251              | 251   | 17               | 17      | 71            | 126   | 251      | 17      |
| 14500               | 67   | 237              | 237   | 16               | 16      | 67            | 118   | 237      | 16      |
| FTG S 46            |      | Grenzwert [mA]   |       |                  |         |               |       |          |         |
| 4750                | 1000 | 3536             | 3536  | 236              | 236     | 1000          | 1768  | 3536     | 236     |
| 5250                | 1000 | 3536             | 3536  | 236              | 236     | 1000          | 1768  | 3536     | 236     |
| 5750                | 1000 | 3536             | 3536  | 236              | 236     | 1000          | 1768  | 3536     | 236     |
| 6250                | 1000 | 3536             | 3536  | 236              | 236     | 1000          | 1768  | 3536     | 236     |
| FTG S 917           |      | Grenzwert [mA]   |       |                  |         |               |       |          |         |
| 9500                | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 10500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 11500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 12500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 13500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 14500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 15500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |
| 16500               | 330  | 1167             | 1167  | 78               | 78      | 330           | 583   | 1167     | 78      |

Tabelle 8: Störstromgrenzwerte für EE, Wagenzug und Wagen bei verschiedenen (beispielhaften) Zugkonstellationen (informativ)