



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 mit der Infrastruktur im Geltungsbe- reich der EBO (TR-EMV)**

## **Teil 4 – Nachweis der Einhaltung der bahnseitigen Störstromgrenzwerte durch speisende Einheiten (z.B. Bahnstromumrichter)**

## Inhaltsverzeichnis

0	Ausgabenübersicht.....	3
1	Grundsätzliches .....	3
2	Zu schützende Systeme .....	3
2.1	Grundsätzliches.....	3
2.2	Gleisstromkreistypen .....	4
3	Relevante Beeinflussungsmechanismen .....	5
4	Störstromgrenzwerte für speisende Einheit (SE) .....	6
4.1	Grenzwerte im NF-Bereich .....	6
4.2	Grenzwerte im TF-Bereich.....	6
5	Nachweisverfahren.....	8
5.1	Grundlagen.....	8
5.2	Grundlegende Anforderungen an statische Bahnstromumrichter .....	8
5.3	Ermittlung der von der Umrichteranlage einzuhaltenden Spannungsgrenzwerte .....	9
5.3.1	Vorgehensweise.....	9
5.3.2	Berücksichtigung der umrichterspezifischen Parameter .....	10
5.3.3	Berücksichtigung der fahrzeugrelevanten Parameter .....	10
5.3.4	Berücksichtigung netzseitiger Resonanzüberhöhungen .....	11
5.3.5	Berücksichtigung der Überlagerung von Beeinflussungen mehrerer speisender Einheiten an einem Standort.....	11
5.4	Messung und Bewertung .....	12
	Quellen.....	13
	Anhänge.....	13

## 0 Ausgabenübersicht

Ausgabe	Datum	Änderungen
1.0	01.06.2021	Neuherausgabe Inkraftsetzung durch AK EMV (Sitzung 29.04.2021) und Information des LK Fahrzeuge (Sitzung 18.05.2021) des textgleichen Entwurfs Ausgabe 0.2 vom 14.04.2021

## 1 Grundsätzliches

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

Die Vorgaben der TR-EMV Teil 4 sind für Erzeugungsanlagen für die elektrische Bahnenergieversorgung (z.B. dezentrale Umrichter, Photovoltaikanlagen) mit Einspeisung in das 16,7 Hz Netz einzuhalten.

Für zentrale Umrichter mit Einspeisung auf 110 kV kann - sofern die THDu (Total Harmonic Distortion, voltage) weniger als 1,5% beträgt und die auf die Grundschiwingung bezogenen Oberschwingungsanteile einen Wert von 1% nicht überschreiten - der Nachweis der Einhaltung der in Kapitel 4.2 in den Tabellen 2 und 4 aufgeführten Grenzwerte für Gleisstromkreise vom Typ FTGS bzw. TCM100 entfallen (siehe Anhang A, Kapitel 2.2.6).

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

## 2 Zu schützende Systeme

### 2.1 Grundsätzliches

Zur Gleisfreimeldung eingesetzte Gleisstromkreise können durch unzulässig hohe Störstromanteile im Schienenstrom beeinflusst und gestört werden. Diese Störströme können zu unzulässigen Frei- oder Belegmeldungen der Gleisfreimeldeabschnitte führen.

Bei elektrifizierten Strecken setzt sich der beeinflussungsrelevante Störstrom aus den von Schienenfahrzeugen erzeugten Störstromanteilen sowie den aus den Oberschwingungen der speisenden Einheit (SE, z.B. statische Bahnstromumrichter) resultierenden Störstromanteilen zusammen.

Für die nachfolgenden Ausführungen gelten folgende Grundannahmen:

- stationärer Betrieb
- keine Transienten.

Der jeweils angegebene Störstromgrenzwert wird durch den Gleisstromkreistyp, dessen Einsatzbedingungen und die allgemein anerkannte Sicherheitsphilosophie bestimmt. Die Sicher-

heitsphilosophie schließt z.B. ein, dass eine speisende Einheit (SE) und mehrere beeinflussende Einheiten (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 Zug sammelschiene.

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

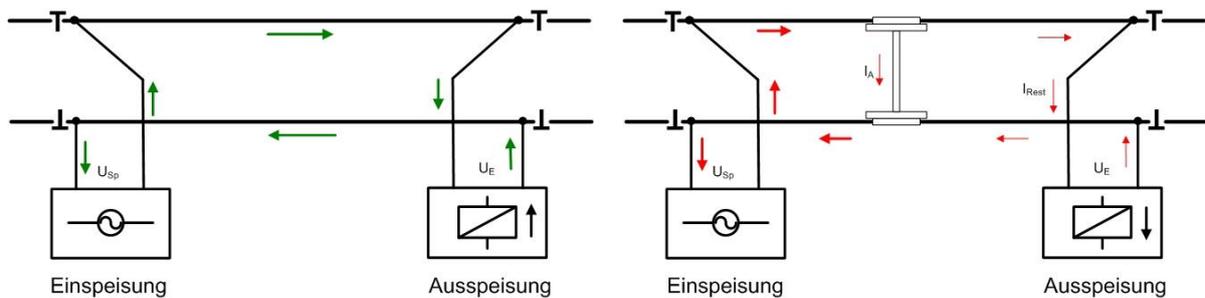


Abbildung 1: Gleisstromkreis – grundsätzliche Funktionsweise

## 2.2 Gleisstromkreistypen

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

- **Niederfrequente Gleisstromkreise (NF-GSK)** arbeiten bei Nennfrequenzen von 42, 50, 100 und 106,7 Hz. Diese Gleisstromkreise existieren in der Ausführung mit einschieniger (42, 50, 100 und 106,7 Hz) und zweischieniger (42, 100 und 106,7 Hz) Isolierung. 42-Hz- und 106,7-Hz-Gleisstromkreise werden in Bereichen von 15 kV / 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. Für den hier betrachteten Beeinflussungsfall nicht relevant.

100-Hz- und 106,7-Hz-Gleisstromkreise werden auf 15 kV / 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 den Beeinflussungsfall durch Umrichter wird grundsätzlich das Beeinflussungsmodell Fernbeeinflussung (FB) zu Grunde gelegt.

Die SE stellt keine separate beeinflussende Einheit (BE) im Sinn der TR-EMV Teil 2 dar. Quelle (SE) und Senke (Fahrzeuge) werden voneinander getrennt betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass Quelle und Senke sowohl in Amplitude und Phasenlage der Störströme nicht mit einander korrelieren (siehe Abbildung 2). Bei den Untersuchungen der Fahrzeuge (z.B. nach TR-EMV Teil 2) werden zudem die Einflüsse der Bahnstromversorgung mitbewertet. Bei der fahrzeugseitigen Messung ist keine Trennung der Einflüsse von speisender Einheit und Fahrzeug möglich.

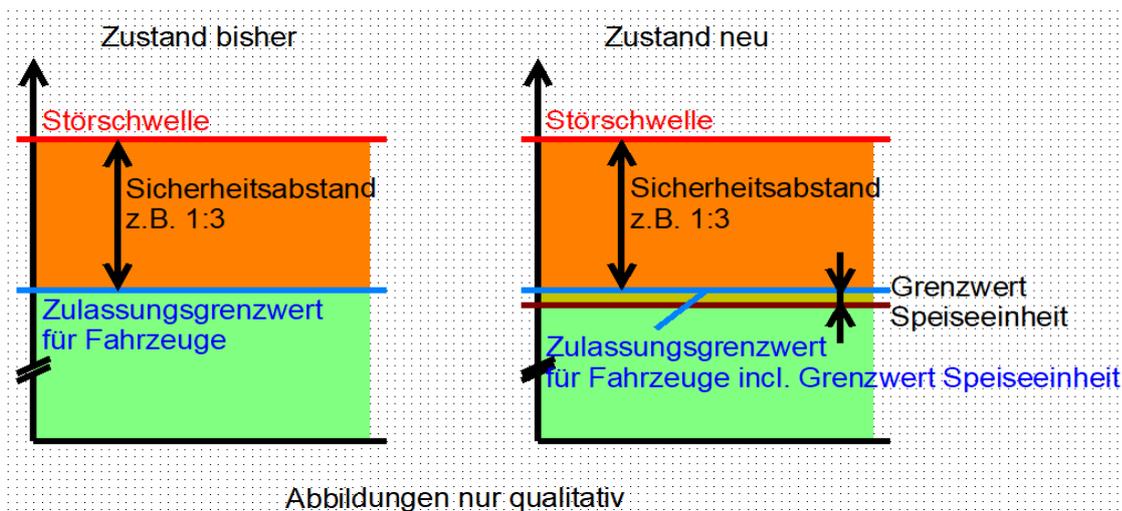


Abbildung 2 - Grenzwertaufteilung (qualitativ)

Es wird folgendes festgelegt:

1. Die tatsächliche physikalisch wirkende Störschwelle des Gleisstromkreises bleibt bestehen.
2. Der angegebene Störstromgrenzwert für die Zulassung von Fahrzeugen (nach TR-EMV Teil 2) gilt unverändert und bleibt ebenfalls bestehen (bei gleichartigem Messverfahren).
3. Der zu berücksichtigende Störstromanteil der SE wird derzeit bei den Störstrommessungen der Fahrzeuge implizit miterfasst.

Die Störstromgrenzwerte für SE werden für uncodierte Gleisstromkreise auf 10% und für codierte Gleisstromkreise auf 30% des Grenzwertes einer Antriebseinheit (AE) nach TR-EMV Teil 2 festgelegt. Die Beeinflussungsfrequenzbereiche, Filterbandbreiten sowie zeitlichen Bewertungsvorgaben gelten unverändert.

## 4 Störstromgrenzwerte für speisende Einheit (SE)

### 4.1 Grenzwerte im NF-Bereich

Gleisstromkreisfrequenz [Hz]	Beeinflussungsfrequenzbereich (3-dB Bandbreite) [Hz]	max. zul. Störstrom (Grenzwert) für eine SE für $t \geq 0,5$ s [A]
42	37 ... 46	0,2
50 <sup>1)</sup>	46 ... 54	0,2
100	93 ... 107	0,2
106,7	104,7 ... 108,7	0,2

Tabelle 1: Grenzwertvorgaben für NF Gleisstromkreise (10% des Fahrzeuggrenzwertes)

<sup>1)</sup> **Nur** in Verbindung mit Ladeumrichtern von Akkufahrzeugen relevant

### 4.2 Grenzwerte im TF-Bereich

Kanalmittenfrequenz [Hz]	3-dB-Bandbreite [Hz]	max. zul. Störstrom (Grenzwert) für eine SE für $t \geq 40$ ms [mA]
4750	200	300
5250	206	300
5750	214	300
6250	220	300

Tabelle 2: Grenzwerte für Gleisstromkreis FTG S 46 / TCM100 (30% des Fahrzeuggrenzwertes)

Kanalmittenfrequenz [Hz]	3-dB-Bandbreite [Hz]	max. zul. Störstrom (Grenzwert) für eine SE für $t \geq 40$ ms [mA]
9500	410	11,3
10500	500	10,4
11500	535	9,1
12500	635	8,6
13500	565	7,1
14500	660	6,7

Tabelle 3: Grenzwertvorgaben für Gleisstromkreis GLS 9/15 (10% des Fahrzeuggrenzwertes)

Kanalmittenfrequenz [Hz]	3-dB-Bandbreite [Hz]	max. zul. Störstrom (Grenzwert) für eine SE für $t \geq 40$ ms [mA]
9500	360	99
10500	380	99
11500	400	99
12500	425	99
13500	445	99
14500	470	99
15500	490	99
16500	510	99
17500 <sup>*)</sup>	530	99
18500 <sup>*)</sup>	550	99
19500 <sup>*)</sup>	570	99
<sup>*)</sup> informative Grenzwerte für die weiteren Kanalmittenfrequenzen des TCM100, nur bei Anwendung dieser Frequenzen im TCM100 zu berücksichtigen.		

Tabelle 4: Grenzwerte für Gleisstromkreis FTG S 917 / TCM100 (30% des Fahrzeuggrenzwertes)

## 5 Nachweisverfahren

### 5.1 Grundlagen

Das Nachweisverfahren beruht auf der Messung der Oberschwingungsanteile der bahnseitigen Sammelschienenspannung des vom 15kV / 16,7-Hz-Netz getrennten Umrichters. Die gemessenen Spannungswerte werden im Bereich der Arbeitsfrequenzen der Gleisstromkreise gemäß den Vorgaben der TR EMV-Teil 2 gefiltert. Über ein frequenzabhängiges Berechnungsverfahren werden - auf Basis der in der TR-EMV – Teil 2 festgelegten Störstromgrenzwerte (siehe Kapitel 4 dieser TR) - die maximal zulässigen Sammelschienenspannungswerte (Umrichter vom Netz getrennt) abgeleitet. In die Berechnung gehen neben den Impedanzen der Umrichteranlage selbst u.a. auch - in Form von Worst-Case-Abschätzungen - die Eigenschaften der Oberleitungsinfrastruktur sowie die Fahrzeugimpedanz mit ein.

### 5.2 Grundlegende Anforderungen an statische Bahnstromumrichter

- a) Die Umrichteranlage ist so zu dimensionieren (Hardware, Pulsweitenmodulation, Regelung), dass die Störstromanforderungen auch bei Betrieb mit einer definierten kleinsten Fahrzeugimpedanz (siehe Kapitel 5.3.3) eingehalten werden.
- b) Der Beitrag des Umrichters am Ort der Triebfahrzeuge darf die in Kapitel 4 festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten, da die Triebfahrzeuge selbst ebenfalls einen Störstromanteil beitragen.  
*Anmerkung: Unter Anwendung der etablierten Summationsregel für Signale mit komplett unkorrelierten Amplituden und Phasen ist sichergestellt, dass am Ort der Triebfahrzeuge auch bei einer Überlagerung der einzelnen Störstromkomponenten keine Grenzwertüberschreitungen auftreten.*
- c) Die Werte sind bei allen stationären Zuständen einzuhalten.
- d) Die Werte sind bei allen Zuständen einzuhalten, die in Folge von Regelvorgängen des Umrichters im störungsfreien Umrichter- und Phasenschieberbetrieb auftreten können.
- e) Transiente der SE oder von „Außen“, d.h. die von den angeschlossenen Netzen (z.B. 50-Hz-Übertragungsnetze oder 110kV/16,7-Hz-Netz) bzw. der Last (Fahrzeug) kommen, dürfen von der Bewertung ausgeschlossen werden.
- f) Es sind nur die im Speisebereich des Umrichters tatsächlich heute und zukünftig vorhandenen Gleisstromkreise maßgebend. Hierzu ist nachweislich eine Festlegung/Abstimmung mit dem EIU zu treffen. Bei Speisung von Verbundnetzen erstreckt sich der maßgebende Bereich bis zu den nächsten Erzeugungsanlagen (Frequenzumformer oder -umrichter, Kraftwerke).

## 5.3 Ermittlung der von der Umrichteranlage einzuhaltenden Spannungsgrenzwerte

### 5.3.1 Vorgehensweise

Die einzuhaltenden Spannungsgrenzwerte der Sammelschienen-Spannung (Umrichter vom Netz getrennt) werden aus:

- der Schaltung und den Impedanzwerten der passiven Komponenten auf der Bahnseite des Umrichters (5.3.2),
- den kleinsten anzunehmenden Impedanzen für Triebfahrzeuge (5.3.3),
- einer vereinfachten Abbildung des Oberleitungsnetzes unter Berücksichtigung netzseitiger Resonanzverstärkungen (5.3.4),
- sofern gegeben, der Überlagerung der Beeinflussungen von mehreren speisenden Einheiten an einem Standort (5.3.5) und
- den relevanten Störstromgrenzwerten gemäß Kapitel 4

ermittelt.

Zur Berechnung der einzuhaltenden Spannungsgrenzwerte wird aus den herstellerseitigen Angaben (elektrische Schaltung und Impedanzwerte der passiven Komponenten des Umrichters auf der Bahnseite) die zugehörige Admittanzmatrix des Umrichters abgeleitet (Anhang A, Kapitel 1.2).

Mit Hilfe der Admittanzmatrix wird zunächst - im Frequenzbereich bis 20 kHz - berechnet, wieviel Störstrom der Umrichter unter Berücksichtigung der nachfolgend zugrunde gelegten Worst-case Bedingungen:

- Speisung auf eine ideale, verlustlose Fahrleitung,
- maximale Fahrzeugadmittanzen,
- maximale Überhöhungsfaktoren der Streckenresonanzen

bezogen auf 1 V innere Umrichterspannung im relevanten Frequenzbereich erzeugt.

Das Verhältnis von erzeugtem Störstrom zu innerer Umrichterspannung ist für den zu bewertenden Umrichter in Form einer Frequenzgangkurve darzustellen (siehe Anhang A, Kapitel 2).

Aus dieser Berechnung/Darstellung ist die obere Einhüllende (Envelope), welche von der jeweils ungünstigsten (höchsten) Fahrzeugadmittanzen (siehe 5.3.3) und einer frequenzabhängigen, maximal zu erwartenden streckenseitigen Resonanzverstärkung (siehe 5.3.4) ausgeht, gemäß Anhang A, zu bestimmen.

Über das so ermittelte Übertragungsverhältnis (Envelope) ist aus den zugehörigen Matrixgleichungen zurückzurechnen, wie groß die zulässige harmonische innere Umrichterspannung  $U_i$  bei einem gegebenen Fahrzeugstrom  $I_f$  ist. Da diese Spannung bei gegebener Grundschwingungsamplitude unabhängig vom Laststrom ist, wird hieraus für die jeweils maximalen Störstromwerte (siehe Kapitel 4) die maximale Spannung  $U_{s0}$  (Spannungsgrenzwert) bestimmt, die in den jeweiligen Arbeitsfrequenzbereichen der zu berücksichtigenden Gleisstromkreise an der vom Netz getrennten Sammelschiene anliegen darf.

*Anmerkung: Die Berechnung der Spannungsgrenzwerte ist – sofern nicht anders angeführt - komplex durchzuführen, ebenso sind die Umrichterimpedanzen komplex einzusetzen, insbesondere, um den Effekt möglicher Filter abzubilden (siehe Anhang A 2.2.4).*

### 5.3.2 Berücksichtigung der umrichterspezifischen Parameter

Der Hersteller des Umrichters gibt folgende Daten bekannt:

- Schaltung und Impedanzwerte der passiven Komponenten des Umrichters auf der Bahnseite des Umrichters (Transformator, Filter falls vorhanden, Sammelschienenkapazität falls vorhanden) entsprechend der Anforderungen in Anhang A.
- Die berechneten maximalen Sammelschienen-Spannungen (Umrichter vom Netz getrennt) in den Beeinflussungsfrequenzbereichen der im gesamten Speisebereich des Umrichters relevanten Gleisstromkreise (siehe oben).

### 5.3.3 Berücksichtigung der fahrzeugrelevanten Parameter

Für die Triebfahrzeugmodellierung (eine BE) sind folgende Parameter einzusetzen:

- Minimale primärseitige gesamte Streuinduktivität ( $L_{\text{Fahrzeug}}$ ): 20 mH
- Maximale Kapazität ( $C_{\text{Fahrzeug}}$ ): 80 nF

Das EIU kann zum Zeitpunkt der Ausschreibung - für nicht interoperable Netze - abweichende Daten vorgeben.

Die oben aufgeführten Parameter gelten für die Nennspannung 15 kV / 16,7 Hz. Wird der Umrichter an ein Hochspannungsnetz angeschlossen, so ist in Reihe zu diesen Triebfahrzeugimpedanzen die Impedanz des Unterwerks und sein Übersetzungsverhältnis zu berücksichtigen (siehe Anhang A, Kapitel 2).

*Anmerkung: **Bei den oben aufgeführten Parametern handelt es sich nicht um Anforderungen an Fahrzeuge**, sondern um Parameter, die in den Simulationsrechnungen so anzusetzen sind. Heute sind Fahrzeuge (BE) mit einer Eingangskapazität bis 160 nF bekannt (Kabel + Transformatoren); Fahrzeuge (BE) mit einer Streuinduktivität von weniger als 20 mH könnten in naher Zukunft auf den Markt kommen. Diese abweichenden Werte werden gegenwärtig als unkritisch für die Auslegung einer SE angesehen.*

Die Fahrzeugimpedanzen sind - ausgehend von den nachfolgenden Fallunterscheidungen - reell oder komplex in die Berechnung der Spannungsgrenzwerte einzubeziehen.

- Minimale Streuinduktivität:
  - a. Wenn  $f < f_{\text{resonanz,Filter}} \rightarrow Z_{\text{Fahrzeug}} = j\omega L_{\text{Fahrzeug}}$
  - b. Wenn  $f > f_{\text{resonanz,Filter}} \rightarrow Z_{\text{Fahrzeug}} = |j\omega L_{\text{Fahrzeug}}|$
  - c. Umrichter ohne ausgangsseitigem Filter:  $\rightarrow Z_{\text{Fahrzeug}} = j\omega L_{\text{Fahrzeug}}$
- Maximale Kapazität:
 
$$Z_{\text{Fahrzeug}} = |1/(j\omega C_{\text{Fahrzeug}})| \text{ für alle Fälle}$$

Die Filterresonanz ( $f_{\text{resonanz,Filter}}$ ) berechnet sich aus den umrichterinternen Induktivitäten und Filterkapazitäten.

*Anmerkung: Die Berücksichtigung der reellen oder komplexen Fahrzeugimpedanz begegnet der Tatsache, dass die Spannungsgrenzwerte bei komplett komplexer Rechnung durch die Resonanz zwischen Umrichter und Fahrzeug verfälscht werden würden, da diese bereits durch den Resonanzfaktor abgedeckt ist (siehe Anhang A 2.2.4).*

### 5.3.4 Berücksichtigung netzseitiger Resonanzüberhöhungen

Die aus 5.3.2 sowie 5.3.3 ermittelten Spannungsgrenzwerte sind durch die in Abbildung 4 aufgeführten Faktoren der streckenseitigen Resonanzüberhöhungen zu dividieren:

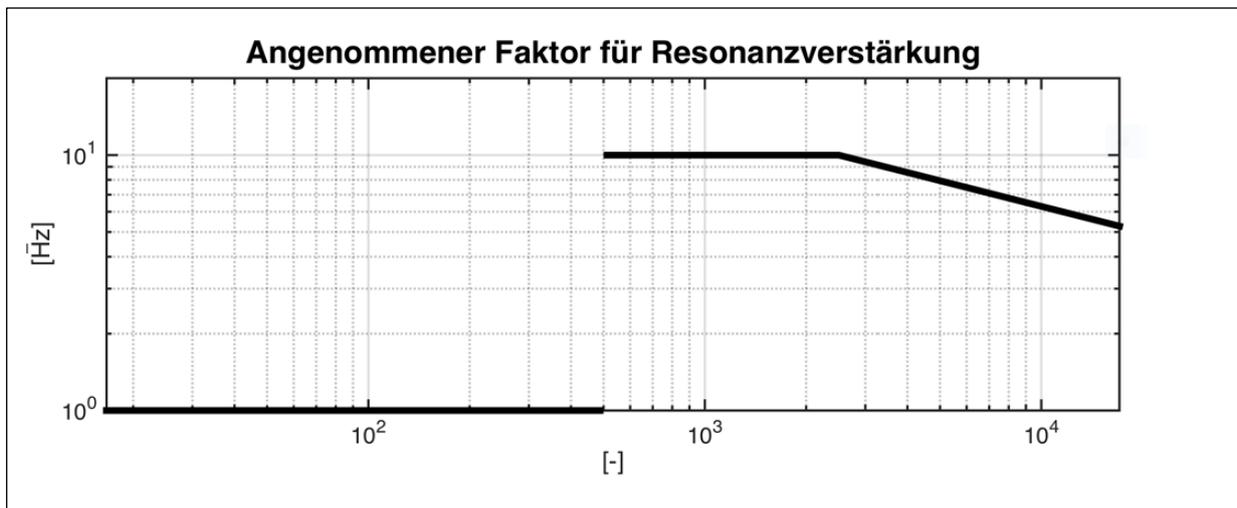


Abbildung 3 – Zu berücksichtigende Faktoren der Resonanzverstärkung

0 – 500 Hz:	1	(bei niederfrequenten Gleisstromkreisen sind keine streckenseitigen Resonanzüberhöhungen zu berücksichtigen)
500 Hz - 2,5 kHz:	10	(konstant)
2,5 – 20 kHz:	10 – 5	(linear abfallend, doppelt-logarithmischer Maßstab)

*Hinweis: Auf eine Berücksichtigung der Resonanzverstärkung kann verzichtet werden, sofern der Umrichter immer in ein Hochspannungsnetz einspeist und beim Betrieb von Triebfahrzeugen immer mindestens eine Hochspannungsleitung bis zu einem nächsten Unter- oder Einspeisewerk zugschaltet ist.*

### 5.3.5 Berücksichtigung der Überlagerung von Beeinflussungen mehrerer speisender Einheiten an einem Standort

Sofern mehrere Umrichter an einem Standort gleichzeitig einspeisen, überlagern sich deren Störstrombeiträge. Die Überlagerung ist abhängig von den Impedanzverhältnissen (Umrichter bzw. Fahrzeug) und von der Art der Taktung.

Bei den hier zu Grunde gelegten typischen Anlagenparametern (Umrichter) und Fahrzeugparametern aus 5.3.3 lässt sich ableiten, dass in den meisten Fällen der Störstrom eines einzeln einspeisenden Umrichters höher ist als die Überlagerung mehrerer Umrichter des identischen Typs. Daher genügt es, den oben genannten Nachweis für einen Umrichter durchzuführen.

Für Umrichter ohne ausgangsseitigem (bahnseitigem) Filter, ist dieser Zusammenhang bei der Berücksichtigung der maximalen Fahrzeugkapazität (siehe Kapitel 5.3.3.) nicht gültig. Die Grenzwerte der leerlaufenden Sammelschienen-Spannung (Umrichter vom Netz getrennt) sind in diesem Fall – abhängig von der Korrelation der Taktung der zu berücksichtigenden Umrichter - um folgende Faktoren zu reduzieren:

- bei unkorrelierter Taktung: Faktor  $\sqrt{n_{\text{umr}}}$
- bei korrelierter Taktung: Faktor  $n_{\text{umr}}$

mit  $n_{\text{umr}}$ : Anzahl der maximal gleichzeitig betriebenen Umrichter.

Unkorrelierte Taktung ist anzusetzen, wenn nach TS 50238-2:2020 /1/, Kap. B.8.2, „Summation Rules“ die Amplituden und Phasenlagen der Harmonischen Spannungen der gleichzeitig betriebenen Umrichter zufällig verteilt sind.

Für Umrichter mit unterschiedlichen Taktverfahren bzw. von verschiedenen Herstellern an einem Standort ist die Überlagerung projektspezifisch zu analysieren und durchzuführen.

Der Nachweis (siehe oben) ist für jede Anzahl an baugleichen speisenden Einheiten zu führen.

#### 5.4 Messung und Bewertung

- a) Die Sammelschienen-Spannung des vom zu speisenden Netz getrennten Umrichters wird für verschiedene Betriebszustände des Umrichters im Frequenzbereich bis 20 kHz gemessen und im Bereich der Gleisstromkreis-Frequenzen gemäß den in Kapitel 4 definierten Parametern (Bandpassfilterung, Zeitkriterium) gefiltert. Die Messung soll unmittelbar an den bahnseitigen Ausgangsklemmen des Umrichters erfolgen (nach Möglichkeiten sogar getrennt von der Sammelschiene).
- b) Die Grundswingungskomponente der Spannung (16,7 Hz) ist im Rahmen der Auswertung der Messdaten durch Filterung zu eliminieren, damit diese die Bandpassbewertung für die tieffrequenten Gleisstromkreise nicht verfälscht.
- c) Während der Messungen ist der Arbeitspunkt des Umrichters durch geänderte Sollwertvorgaben zu verändern. Dies betrifft die Variation der Grundswingungsamplitude sowie der Grundfrequenz. Folgende Parameter sind zu untersuchen:
  - Betrieb bei Nennspannung (15 kV) und Nennfrequenz (16,7 Hz)
  - Betrieb im Bereich zwischen minimal und maximal möglicher Spannung bei Nennfrequenz (Rampe)
  - Betrieb im Bereich zwischen minimaler (16,5 Hz) und maximaler (16,9 Hz) Grundfrequenz bei Nennspannung (Rampe).

- d) Der Nachweis ist für jede an einem Standort mögliche Anzahl von Umrichterblöcken gleicher Bauart zu führen.
- e) Die gemessenen und gefilterten Werte der Sammelschienen-Spannung dürfen die zuvor berechneten Spannungsgrenzwerte nach Kapitel 5.3 nicht überschreiten. Die grundsätzlichen Anforderungen nach Kapitel 5.2 sind zu beachten.

### **Quellen**

/1/ TS 50238-2: 2020, Bahnanwendungen – Kompatibilität zwischen Fahrzeugen und Gleisfreimeldesystemen - Teil 2: Kompatibilität mit Gleisstromkreisen; Europäische Technische Spezifikation, Juli 2020.

### **Anhänge**

Anhang A Statische Bahnstromumrichter: Definition von Störstromanforderungen  
Begleitdokument zur TR-EMV Teil 4; Ausgabe vom 16.02.2021