

# Neue Anforderungen zur Störspannung 9 kHz – 150 kHz inclusive neuer „integraler Grenzwerte“ aus CIS/H/JWG-6

Frank Deter, Miele & Cie. KG, OE/LA, Oelde, Deutschland  
Leiter der Arbeitsgruppe CIS/H/JWG-6

Cédric Lavenu, EDF – R&D, Frankreich  
Stellvertretender Leiter der Arbeitsgruppe CIS/H/JWG-6

Thilo Kootz, Bundesnetzagentur, Deutschland  
Vorsitzender von CISPR SC/H

## 1 Einleitung

Bereits seit einiger Zeit wird in der internationalen EMV-Normung über Anforderungen zur Verträglichkeit von ungewollten Störaussendungen und der Signalübertragung auf dem Stromversorgungsnetz im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz diskutiert. Eine derartige Signalübertragung wird zum Beispiel von Betreibern öffentlichen Stromversorgungsnetze für die Kommunikation mit neuen, intelligenten Stromzählern eingesetzt.

Zunächst hatte IEC SC77A/WG8 die Aufgabe bekommen, unter direkter Aufsicht durch ACEC (das Beratungsgremium für EMV-Fragen innerhalb der IEC) neue Verträglichkeitspegel für diesen Frequenzbereich zu entwickeln.

Nach Abschluss der Arbeit in 77A/WG8 [1] hatte 2018 CISPR SC/H (Grenzwerte zum Schutz der Funkdienste) auf Anfrage von SC77A und im Ergebnis der CISPR Plenartagung 2017 in Vladivostok eine neue gemeinsame Arbeitsgruppe mit IEC SC77A eingerichtet, die CIS/H/JWG-6.

Der JWG-6 wurde folgende Aufgabenstellung („Terms of Reference“) zugewiesen:

- Entwicklung von Störaussendungsgrenzwerten im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz zur Umsetzung der letzten Ergänzungen zu IEC 61000-2-2 „Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Stromversorgungsnetzen“ [1]
- Entwicklung von Methoden für Störaussendungsmessungen nach den neu entwickelten Grenzwerten, nach Möglichkeit unter Nutzung bestehender Messgeräte und Messmethoden in der CISPR 16 Serie [3] für Gleichtakt- und Gegentaktstörungen. Die Brauchbarkeit der Messmethoden muss nachgewiesen werden.
- Vorbereitung einer entsprechenden Einarbeitung in die Normen, das heißt die Erarbeitung eines Vorschlags zur Ergänzung der Fachgrundnormen – welche eine Pilotfunktion für die Produktnormen haben – und die Vorbereitung der Einarbeitung in Produktnormen.

Derzeit arbeitet die JWG-6 intensiv an einer Ergänzung zur Fachgrundnorm Störaussendung im Wohnbereich, IEC 61000-6-3 [2]. Die nächste Aufgabe der JWG-6 wird sein, auch für das Projekt der neuen Fachgrundnorm „Störaussendung kommerzieller und Leichtindustrie-Bereich“, IEC 61000-6-8, eine Ergänzung mit Grenzwerten unterhalb von 150 kHz auf den Weg zu bringen. Parallel dazu sollen die Produktkomitees CISPR SC/B, SC/F und SC/I aufgefordert werden, ebenfalls nach Vorbild der IEC 61000-6-3 Grenzwerte für diesen Frequenzbereich einzuführen.

## 2 Geplante normative Anforderungen im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

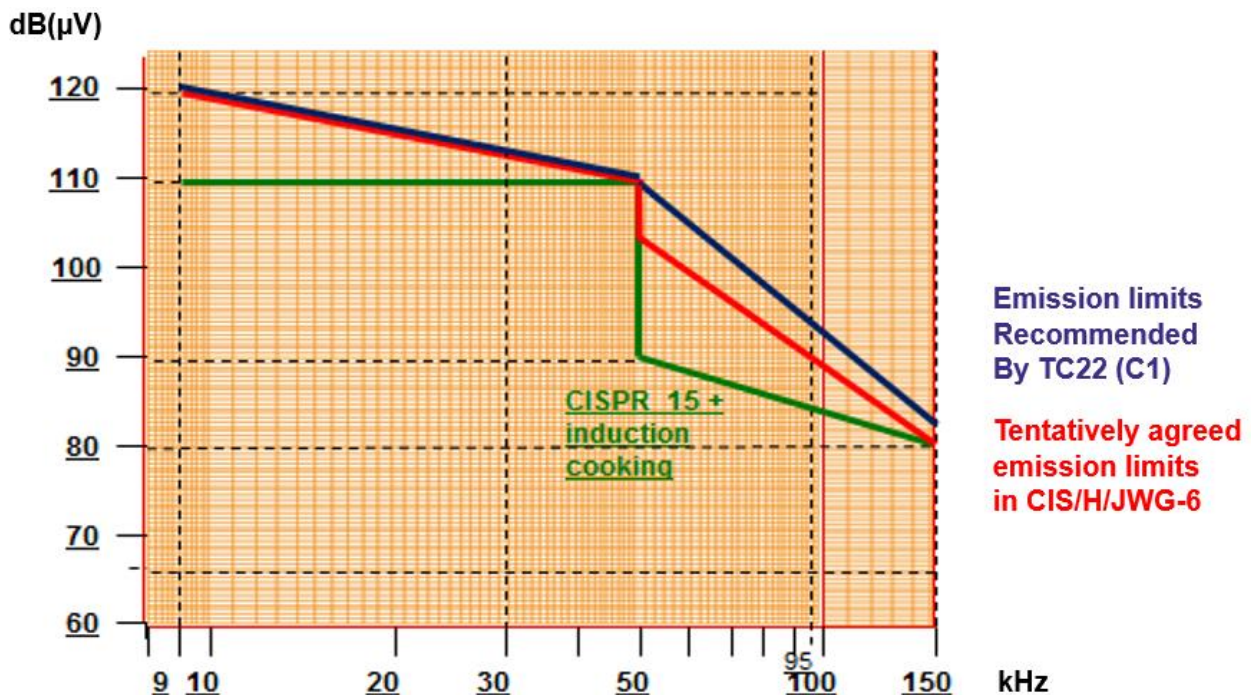
Mit IEC 61000-2-2:2002+AMD1:2017+AMD2:2018 (Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen) [1] wurden Verträglichkeitspegel für den Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz eingeführt, die nur für Gegentakt-Spannungen gelten.

AMD2:2018 erläutert außerdem in Abschnitt 4.12.1, dass individuelle Grenzwerte mindestens einen Abstand von 3 dB zu den Verträglichkeitspegeln haben sollten. Da CIS/H/JWG-6 beschlossen hat, Grenzwerte so festzulegen, dass die bestehenden Messgeräte und Messmethoden nach der CISPR-16-Serie benutzt werden können, müssen diese Grenzwerte für die unsymmetrische Spannung zwischen Phase oder Neutraleiter und Schutz-erde (PE) festgelegt werden. Dadurch ergeben sich aus der Konstruktion der Netznachbildung nach CISPR 16-1-2 [3] weitere 6 dB Abstand zu den Verträglichkeitspegeln, also insgesamt 9 dB.

Daher hat sich CIS/H/JWG-6 vorläufig auf die Einführung folgender normativer Grenzwerte geeinigt:

- 9 kHz - 50 kHz: 120,5 dB( $\mu$ V) bis 110 dB( $\mu$ V)  
Linear fallend mit dem Logarithmus der Frequenz
- 50 kHz - 150 kHz: 104 dB( $\mu$ V) bis 80 dB( $\mu$ V)  
Linear fallend mit dem Logarithmus der Frequenz

Dabei sollen alle Messungen mit dem Quasispitzenwertdetektor (QP) erfolgen.



**Bild 1:** Geplante neue Grenzwerte (rote Kurve) im Vergleich zu CISPR 15 (grüne Kurve) und den empfohlenen C1 Grenzwerten von IEC TC 22 (blaue Kurve)

Diese Grenzwerte sind aus Sicht einiger Anwender von leitungsgebundener Signalübertragung noch nicht ausreichend zum Schutz ihrer Systeme. Zusätzlich sollen zumindest in einem informativen Anhang weitere, sogenannte „integrale Grenzwerte“ empfohlen werden, welche die Spektraldichte von ungewollten Störaussendungen begrenzen. Das wird in den Abschnitten 5 – 7 näher erläutert.

### 3 Schutz von Funkdiensten durch die geplanten neuen Grenzwerte im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

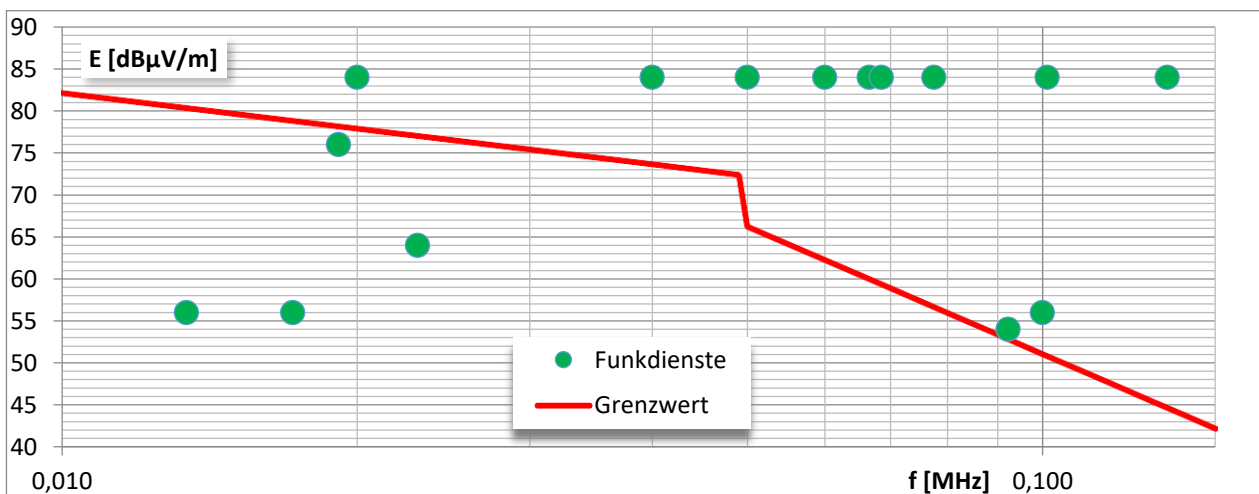
Neben dem Schutz der leitungsgebundenen Kommunikation (PLC) auf dem Niederspannungsnetz, hatte die CISPR Plenarsitzung in Vladivostok die JWG-6 auch mit der Prüfung der Eignung der festzulegenden Grenzwerte für den Schutz der Funkdienste im Frequenzbereich unter 150 kHz in Wohnumgebungen beauftragt. Dabei sollen die Auswirkungen von Gleich- und Gegentakt-Einkopplung mittels des Stör- und Kopplungsmodells nach CISPR TR 16-4-4 untersucht werden. Hier kann nur sehr kurz auf diese Arbeit eingegangen werden. Ausführlichere Darstellungen finden sich in [7] und [8], die auf Nachfrage beim Autor erhältlich sind. Eine ausführliche Betrachtung soll auch zusammen mit den neuen Grenzwerten als informativer Anhang zur Fachgrundnorm IEC 61000-6-3 veröffentlicht werden.

#### 3.1 Betrachtung der Gleichtakt-Einkopplung

Als repräsentatives Abstrahlungsmodell für die Wohnumgebung wurde eine vertikal geführte Leitung mit 30 Metern Länge angenommen, wobei im Nahfeld die elektrische Komponente dominiert.

Ausgehend vom Stör- und Kopplungsmodell aus dem CISPR TR 16-4-4 [4] und den eingetragenen Funkdiensten aus der IEC Datenbank [6] wurden nun geeignete Grenzwerte zum Schutz jedes einzelnen Funkdienstes hergeleitet.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse für die einzelnen Funkdienste als grüne Punkte dem vorgeschlagenen Grenzwertverlauf gegenübergestellt. Liegt der aus dem Stör- und Kopplungsmodell ermittelte Grenzwert für einen Funkdienst oberhalb der Grenzwertlinie, bedeutet dies, dass der vorgeschlagene Grenzwert im Rahmen der getroffenen statistischen Annahmen für den Schutz dieses Funkdienstes ausreicht.



**Bild 2:** Vorgeschlagene Grenzwertlinie im Vergleich zum nach CISPR TR 16-4-4 ermittelten Schutzbedarf der einzelnen Funkdienste (Gleichtaktbetrachtung)

Nur drei Funkdienste liegen deutlich unterhalb der Linie und wären somit potentiell nicht hinreichend geschützt. Allerdings handelt es sich dabei um VLF-Navigationsdienste, die mittlerweile kaum noch verwendet und darüber hinaus ausschließlich auf Seeschiffen betrieben werden, die räumlich weit von potentiellen Störquellen entfernt sind. Dasselbe gilt für VLF-Marine-Funk, der hauptsächlich von Unterseebooten unter Wasser verwendet

wird. Der historische schwedische Sender „Alexanderson“ wird zwar von einer Fangemeinde auch heute noch in Wohngebieten empfangen, sendet aber lediglich an zwei Tagen im Jahr, sodass eine genaue Betrachtung des Wahrscheinlichkeitsfaktors zur Zeitkorrelation eine deutliche Anhebung des Grenzwerts zur Folge hätte.

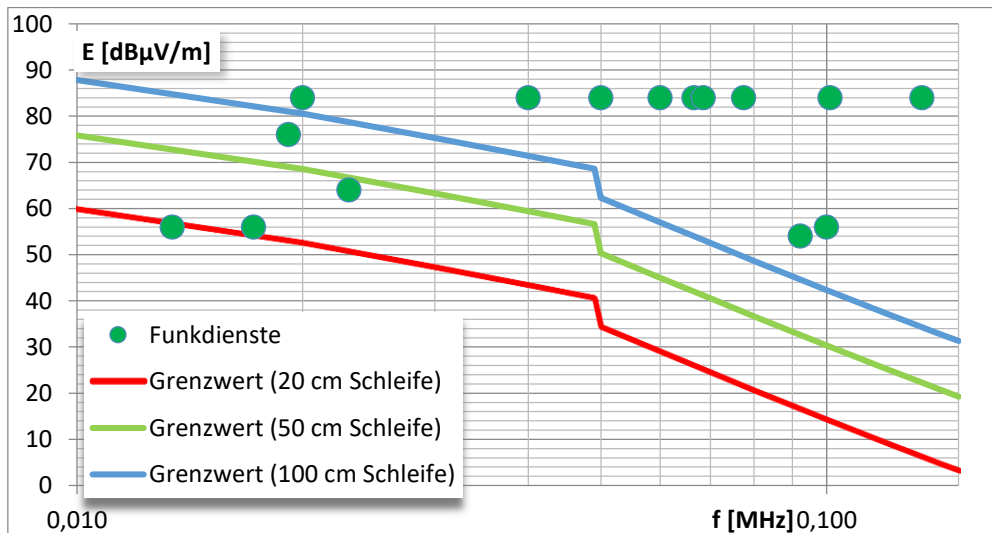
### 3.2 Betrachtung der Gegentakt-Einkopplung

In diesem Frequenzbereich kann eine Modenkopplung, also ein Übergang von Gegentaktstörströmen zu Gleichtaktstörströmen, etwa durch unterschiedliche lange Leitungen in Hin- und Rückrichtung oder andere Störungen der Leitungssymmetrie ausgeschlossen werden. Zwar sind diese im Wohnumfeld durchaus vorhanden, aber die Leitungslängen in diesen Bereichen sind insgesamt zu klein gegenüber der in dieser Betrachtung relevanten Wellenlängen (min. 2 km).

Als abstrahlungsfähige Strukturen verbleiben allerdings Leiterschleifen, die als magnetische Dipolstrahler wirken. Für diese wurde ebenfalls mittels Simulation ein Kopplungsfaktor bestimmt. Dazu wurden drei verschiedene quadratische Leiterschleifen (20 cm, 50 cm und 100 cm Kantenlänge) in einer Höhe von 1,3 m über ideal leitendem Boden mit einem Strom von 1 A gespeist und der maximale Feldstärkewert in 10 m Schutzabstand berechnet. Dies ergibt, analog zum gezeigten Gleichtaktfall, verschiedene Koppelfaktoren, die zwischen Strom und magnetischem Störfeld vermitteln.

Da der Grenzwert als Spannungswert gemessen an einer Netznachbildung nach Basisnorm festgelegt ist, muss zunächst eine Umrechnung auf den Speisestrom erfolgen, bevor die gewonnenen Koppelfaktoren angewendet werden können. Dazu wurde auch die signifikante Frequenzabhängigkeit der CISPR-Netznachbildung berücksichtigt.

Entsprechend der Vorgehensweise bei der Ermittlung der Gleichtakt-Einkopplung in Abschnitt 4.1 ist in Abbildung 3 der Vergleich der maximal erzeugten Störfeldstärkewerte mit den gemäß CISPR TR 16-4-4 statistisch tolerierbaren Störfeldstärken der Funkdienste dargestellt.



**Bild 3:** Vorgeschlagene Grenzwertlinie im Vergleich zum nach CISPR TR 16-4-4 ermittelten Schutzbedürfnis der einzelnen Funkdienste (Gegentaktbetrachtung)

Bis auf die drei schon in Abschnitt 4.1 diskutierten Ausnahmen ergibt sich auch im Fall der Gegentaktabstrahlung von Leiterschleifen mit Kantenlängen bis zu 100 cm im Rahmen der getroffenen Annahmen ausreichender Schutz der Funkdienste durch den vorgeschlagenen Grenzwertverlauf.

#### 4 Schutz von netzgebundenen Kommunikationssystemen durch die geplanten neuen Grenzwerte im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

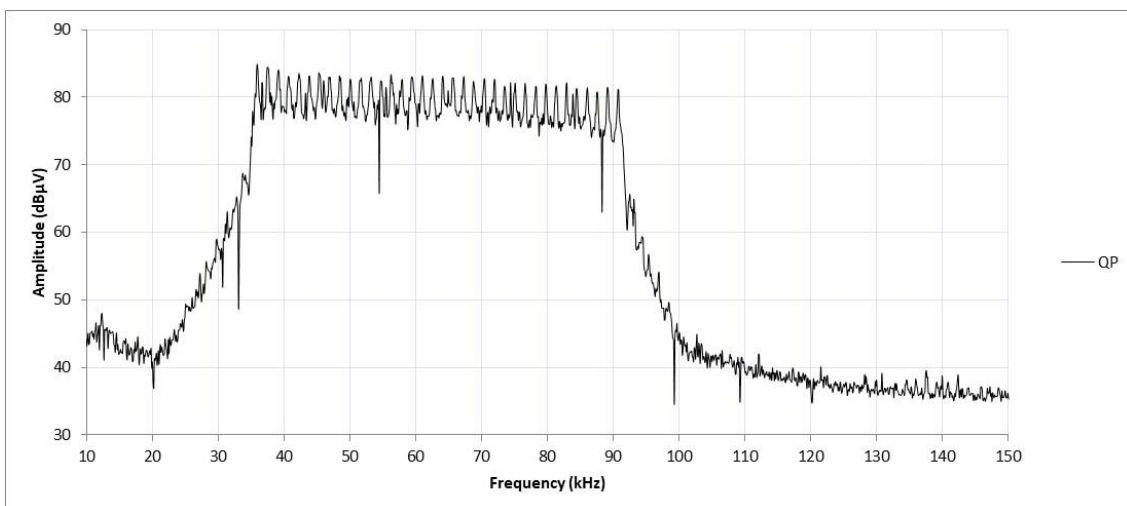
Die Verträglichkeitspegel in IEC 61000-2-2 [1] sind nach Jahren intensiver Diskussion innerhalb von IEC SC 77A WG8 entstanden. Wichtige Grundlagen dazu waren u.a. die Arbeit in IEC TC 22 mit der Publikation von IEC TS 62578:2015 [4] und die Arbeiten in CENELEC SC205A mit der Veröffentlichung der technischen Reports CLC/TR 50627:2015 und CLC/TR 50669:2017 [5].

Die in [1] veröffentlichten Verträglichkeitspegel stellen einen Kompromiss dar, den alle beteiligten Parteien unterstützen konnten. Dieser Kompromiss ist nicht nur aus technischen, sondern auch aus ökonomischen Erwägungen entstanden.

Die in Abschnitt 2 vorgestellten, neu vorgeschlagenen normativen Grenzwerte wurden direkt aus diesen Verträglichkeitspegeln abgeleitet und stellen daher auch den zur gegenwärtigen Zeit bestmöglichen Kompromiss dar. Dieser Kompromiss bietet allerdings keinen vollständigen Schutz für die netzgebundene Kommunikation. Er soll aber für die Zukunft sicherstellen, dass mögliche Störfälle auf ein vertretbares Maß reduziert werden.

In IEC 61000-2-2 [1] gibt der informative Anhang D weitere Hinweise dazu.

Ein Grundproblem für die bestehenden MCS („Mains Communicating Systems“) besteht darin, dass mögliche Störungen nicht nur von der Amplitude der Störsignale abhängen, sondern auch von deren spektraler Verteilung. MCS arbeiten breitbandiger als die Funkdienste, für deren Schutz die Messgeräte und Messmethoden nach der CISPR 16 Serie [3] geschaffen wurden. Die CISPR Messbandbreite von 200 Hz im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz ist zur Beurteilung der Verträglichkeit mit MCS nicht optimal. „Single-carrier“ MCS arbeiten mindestens mit einer Bandbreite von einigen kHz, „multi-carrier“ MCS noch wesentlich breiter. Abbildung 2 zeigt ein typisches Signalspektrum für einen OFDM („Orthogonal Frequency-Division Multiplexing“) Sender.



**Bild 4:** Beispiel für das Spektrum eines OFDM multi-carrier Sender

Breitbandige Störsignale mit wenig Abstand zu den vorgeschlagenen normativen Grenzwerten können von den vorhandenen MCS nur sehr viel schwerer toleriert werden, als Störspitzen, wo nur einzelne Spitzen nahe am Grenzwert sind.

CIS/H/JWG-6 hat daher auch die Absicht, in einem informativen Anhang zusätzliche Empfehlungen zu geben, wie durch eine Begrenzung der Spektraldichte ungewollter Störaussendungen die Verträglichkeit mit MCS verbessert werden kann.

## 5 Geplante zusätzliche Begrenzung der Spektraldichte im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

Eine Grundlage der Arbeit in CIS/H/JWG-6 ist es, die Verwendung existierender Messmittel zu ermöglichen. Wenn alle EMV-Laboratorien erst noch neue Messgeräte anschaffen müssten, würde das eine Verzögerung von mehreren Jahren bedeuten und wäre auch international nicht konsensfähig.

Daher soll eine zusätzliche Beurteilung der Spektraldichte von ungewollten Störaussendungen anhand der vorhandenen normativen Messergebnisse vorgenommen werden. Das könnte mittels sogenannter „integraler Grenzwerte“ nach folgenden Formeln erfolgen:

$$QP_{total1} = \sqrt{\sum_{9000 \text{ Hz}}^{50000 \text{ Hz}} U_{QP,200\text{Hz}}^2 (f)}$$

$$QP_{total2} = \sqrt{\sum_{50000 \text{ Hz}}^{150000 \text{ Hz}} U_{QP,200\text{Hz}}^2 (f)}$$

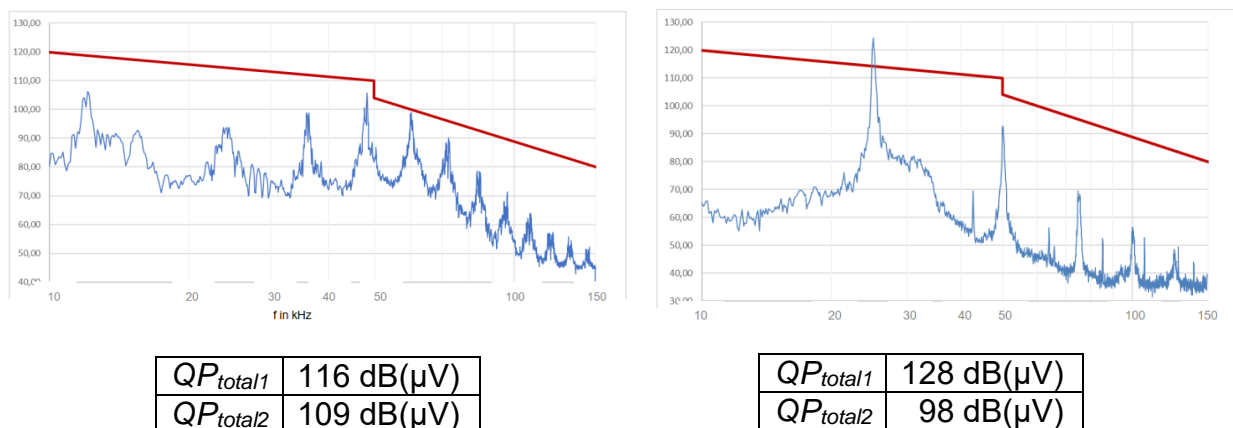
Vorstellungen über die Höhe dieser Grenzwerte liegen derzeit in folgenden Bereichen:

- 124 dB(μV) – 134 dB(μV) for  $QP_{total1}$
- 100 dB(μV) – 120 dB(μV) for  $QP_{total2}$

## 6 Typische Messergebnisse im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz

Im Folgenden werden ein paar typische Messergebnisse vorgestellt. Die Beispiele wurden anonymisiert.

Aus den bisherigen Erfahrungen in CIS/H/JWG-6 zeigt sich, dass Probleme mit der Einhaltung der neu vorgeschlagenen normativen und empfohlenen Grenzwerte vor allem dann zu erwarten sind, wenn Leistungselektronik mit Taktfrequenzen in diesem Frequenzbereich (oder knapp darunter) verwendet wird.



**Bild 5:** Typische Messergebnisse von Leistungselektronik-Geräten mit „integralen Werten“

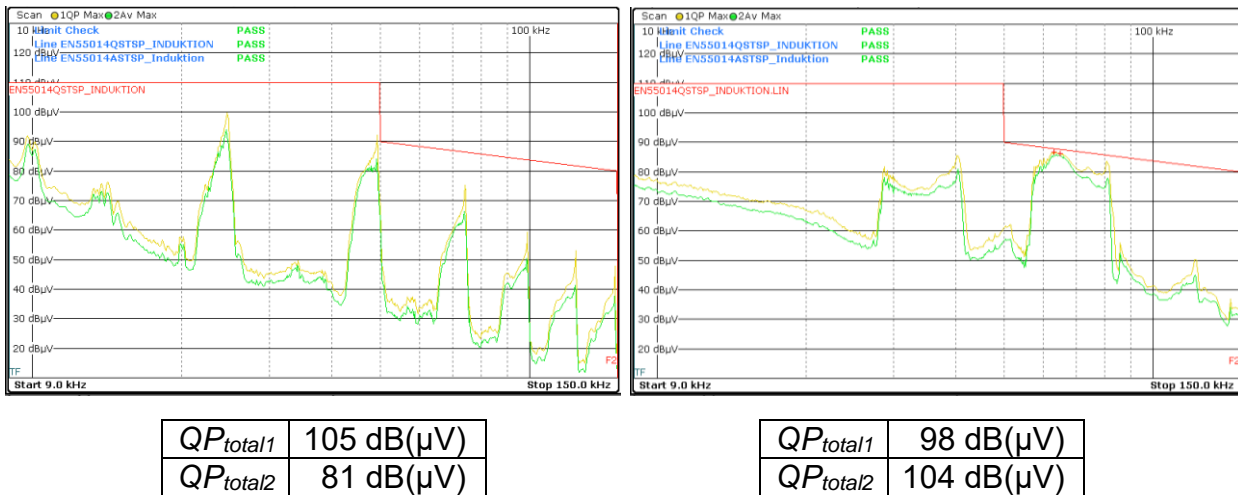


Bild 6: Typische Messergebnisse von Haushaltgeräten mit „integralen Werten“

## 7 Probleme mit den zusätzlichen „integralen Grenzwerten“

Diese Art von Grenzwert ist bisher bei Funkstörmessungen nach der CISPR 16 Serie [3] nicht bekannt. Eine Akzeptanz durch die Nationalen Komitees würde sie aber zum Stand der Technik machen, der in Konfliktfällen zu berücksichtigen ist und Gerichtsentscheidungen beeinflussen kann. Eine der schwierigsten Aufgaben für CIS/H/JWG-6 ist es daher, Konsens zur Höhe dieser „integralen Grenzwerte“ herzustellen.

Es werden auch noch folgende Punkte diskutiert:

- Anstelle des QP könnte man den Mittelwert-Detektor (AV) benutzen, das erscheint für die Begrenzung der Spektraldichte physikalisch sinnvoller. „Integrale AV-Werte“ sind nach bisherigen Erfahrungen etwa 3 dB niedriger als „integrale QP-Werte“.
- Das Frequenzband könnte weiter unterteilt werden, mit mehr als zwei „integralen Grenzwerten“.

Weitere Probleme bei der praktischen Umsetzung dieser neuen Grenzwerte sind folgende:

- Die Auswertung ist derzeit noch sehr zeitaufwendig, vor allem mit herkömmlichen Messempfängern mit Frequenzdurchlauf. Aber auch bei Verwendung von neuen, schnelleren Messempfängern, die im Zeitbereich messen, müssen die Messwerte für die einzelnen 200-Hz-Fenster erst in einen Computer exportiert werden und dort mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel) weiter bearbeitet werden.
- Eine Messunsicherheit für die „integralen Werte“ ist noch nicht definiert. Dieses Problem ist kurzfristig nicht zu lösen und erfordert die Zusammenarbeit mit CISPR SC/A. Solange die „integralen Grenzwerte“ nur in einem informativen Anhang empfohlen werden, erscheint dieses Problem tolerierbar. Zunächst müssen auch erst einmal praktische Erfahrungen mit diesen Messungen gesammelt werden.
- Nach der CISPR 16 Serie [3] wird mit Frequenzfenstern gemessen, die sich mindestens zu 50% überlappen sollen, um jede Schmalbandstörung richtig zu erfassen. Die Beurteilung der Spektraldichte nach den Formeln in Abschnitt 6 erfolgt aber für nicht überlappende Fenster. Dieses Problem scheint lösbar zu sein. Untersuchungen in CIS/H/JWG-6 ergaben, daß für eine 50% Überlappung der Frequenzfenster eine Korrektur der Grenzwerte von +3 dB adäquat wäre.

- Wie geht man mit fluktuierenden Störungen um?  
 In der bisherigen CISPR-Messpraxis kann man durch wiederholte Messungen und Aufzeichnung der Maximalwerte („max hold“) gut beurteilen, wie das Verhältnis zum Grenzwert in den einzelnen Frequenzfenstern ist. Ein solches „max hold“ Ergebnis ergibt aber keine korrekte Beurteilung der Spektraldichte. Derzeit kann man nur Einzelmessungen auswerten und den „worst case“ suchen.  
 Falls das ganze Konzept international akzeptiert wird, ist es denkbar, dass in Zukunft moderne FFT-Messempfänger die „integralen Werte“ sofort mit berechnen und einen „integralen max hold Wert“ liefern können oder den „integralen Wert“ über der Zeit darstellen können.

Wegen all dieser Probleme wird es in absehbarer Zeit nicht möglich sein, solche „integralen Grenzwerte“ als normative Forderung einzuführen. Für die Zukunft ist das aber nicht auszuschließen.

## 8 Zusammenfassung

Der Kongressbeitrag beschreibt den Stand der Arbeit in CIS/H/JWG-6 zur Einführung neuer allgemeiner Grenzwerte im Frequenzbereich 9 kHz – 150 kHz. Dabei sollen normative Grenzwerte vorgeschlagen werden, die von den neuen Verträglichkeitspegeln in IEC 61000-2-2 abgeleitet wurden. Zusätzlich soll in einem informativen Anhang die Einhaltung von neuen, sogenannten „integralen Grenzwerten“ empfohlen werden, welche die Spektraldichte der Störspannung beurteilen. Dadurch soll eine verbesserte Verträglichkeit von ungewollten Störgrößen mit Signalübertragungssystemen im öffentlichen Niederspannungsnetz erreicht werden. Aus dieser Arbeit können sich weitreichende neue Anforderungen an alle Produktgruppen ergeben. Falls die vorgeschlagenen Änderungen in der Fachgrundnorm IEC 61000-6-3 akzeptiert werden, kann das auch als „Stand der Technik“ gewertet werden. Somit sollte diese Arbeit von allen Produktherstellern von Anfang an genügend Aufmerksamkeit erhalten, auch wenn sie die Funkentstörung ihrer Produkte nicht nach der Fachgrundnorm, sondern nach speziellen Produktnormen beurteilen.

## Literatur

- [1] IEC 61000-2-2:2002+AMD1:2017+AMD2:2018 CSV, Edition 2.2 (2018-05-09)  
 Electromagnetic compatibility (EMC) - Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems
- [2] CIS/H/383/CD - IEC 61000-6-3 ED3: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for equipment in residential locations
- [3] CISPR 16 Serie
- [4] IEC TS 62578:2015
- [5] CENELEC CLC/TR 50627:2015 und CLC/TR 50669:2017
- [6] CISPR/H, Radio Services Database, <https://www.iec.ch/emc/database/>
- [7] CIS-H-JWG-6\_2019-06-05\_Kootz, Radio Protection Analysis for CM disturbance injections in the frequency range 9 kHz – 150 kHz, Thilo Kootz, [thilo.kootz@bnetza.de](mailto:thilo.kootz@bnetza.de)
- [8] CIS-H-JWG-6\_2019-06-06\_Kootz, Radio Protection Analysis for DM disturbance injections in the frequency range 9 kHz – 150 kHz, Thilo Kootz, [thilo.kootz@bnetza.de](mailto:thilo.kootz@bnetza.de)