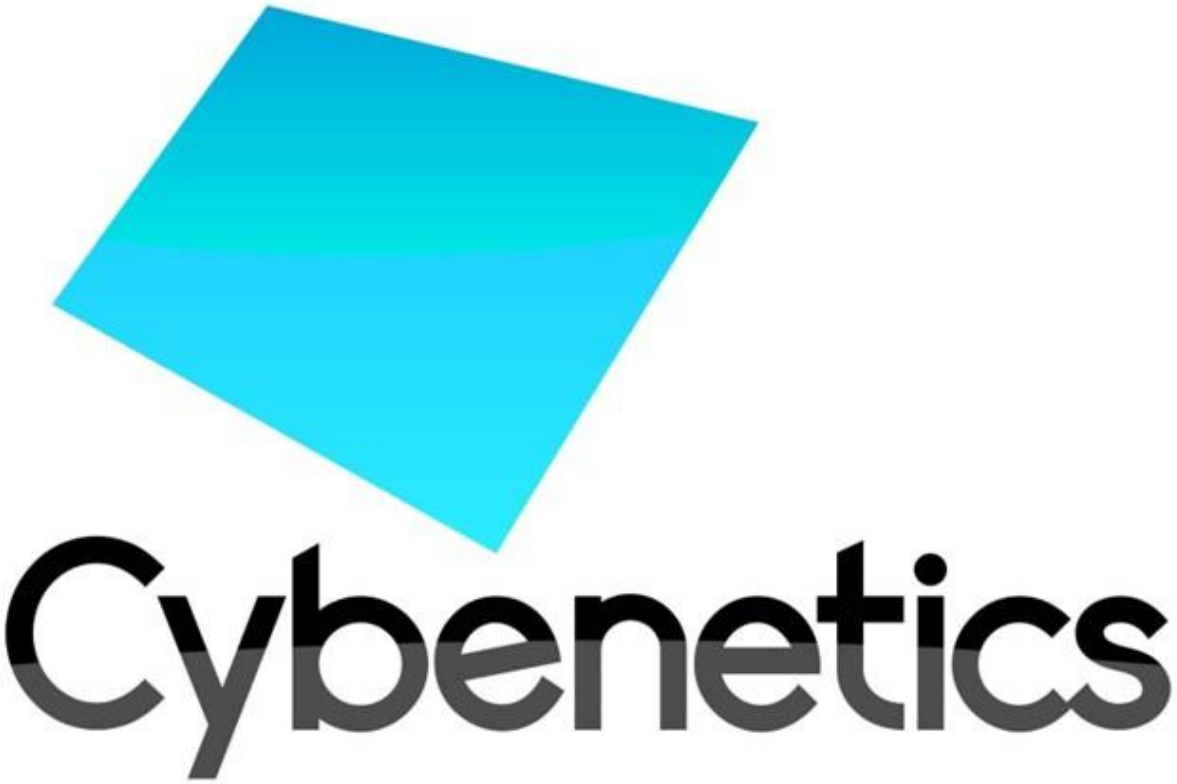
Prüfverfahren für leitungsgebundene Störaussendungen

Revision 1.5

Autor: Aristeidis Bitziopoulos



Nikosia, Zypern

Januar 2026

Revisionshistorie

Version	Freigabedatum	Anmerkungen
1.0	April 2025	Erster Entwurf
1.1	Januar 2026	• Revisionshistorie / Kopfzeile (Seite 1) – auf Rev 1.1 angehoben • Prüfmethodik (≈ Seiten 10–11) – Details auf Zertifizierungsniveau ergänzt • NEUE Abschnitte nach der Methodik eingefügt (≈ Seiten 11–12): • Prüfumgebung und Konfiguration • Begründung der Lastbedingung (50 W) • Messparameter (RBW, Sweep/QP) • Bestanden-/Nichtbestanden-Kriterien • Ergebnisse und Interpretation (≈ Seite 12) – Reserve und Konformitätslogik präzisiert
1.2	Februar 2026	• Geräteanforderungen gemäß den Normen ISO 16-2-1 und 16-1-x ergänzt.
1.3	August 2026	• Messunsicherheiten auf die aktuellen gelenkten Budgets (P19) aktualisiert.
1.4	August 2026	• Lastbedingung korrigiert: Die Last legt 4 A DC an (ca. 48 W bei 12 V); zuvor als DC-Last von 50 Watt angegeben.
1.5	August 2026	Titelseite bereinigt: Die Revisionshistorie beginnt jetzt auf Seite 2. Ein verwaistes, leeres Inhaltsverzeichnisfeld am Anfang des Dokuments wurde entfernt. Keine inhaltlichen Änderungen.

Inhaltsverzeichnis

Definitionen 4
Elektromagnetische Störung (EMI) 4
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) 4
Leitungsgebundene Störaussendungen 4
Gestrahlte Störaussendungen 4
Netznachbildung (LISN) 4
CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) 5
EN 55032 / CISPR 32 5
Dezibel-Mikrovolt (dBµV) 5
Schaltnetzteil (SMPS) 5
Spektrumanalysator / EMI-Messempfänger 5
Quasi-Spitzenwertdetektor 5
Prolog 6
Arten elektromagnetischer Störaussendungen 6
Bedeutung der Prüfung leitungsgebundener Störaussendungen 7
Prüfnormen 8

Detektortypen 8
Umgebungsbedingungen und Überwachung 9
Kompetenz des Personals 10
Prüfmittel 10
Prüfsoftware 12
Prüfmethodik 13
Methodenvalidierung und -verifizierung 14
Ergebnisse 15
Dokumentenlenkung 16
Epilog 16
Literaturverzeichnis 18
Anhang A – Prüfbedingungen auf Zertifizierungsniveau (normativ) 19
A.0 Messmittel und Instrumentierung 19
A.1 Prüfumgebung und Konfiguration 19
A.2 Messinstrumentierung 20
A.3 Begründung der Lastbedingung 21
A.4 Messparameter 21
A.5 Bestanden-/Nichtbestanden-Kriterien 21
A.6 Kalibrierung, Verifizierung und Rückführbarkeit 22
Anhang B – Messunsicherheit und Haftungsausschluss bei Nichtkonformität 22
B.1 Messunsicherheit 22
B.2 Nichtkonformität und Haftungsausschluss 23
Anhang C – Messunsicherheitsbudget (akkreditiert) 24

Definitionen

Um Klarheit bei der Analyse elektromagnetischer Störaussendungen zu gewährleisten, insbesondere im Zusammenhang mit Konformitätsprüfungen von PC-Netzteilen (PSUs), werden die folgenden zentralen Begriffe und Konzepte definiert:

Elektromagnetische Störung (EMI)

EMI bezeichnet unerwünschte elektromagnetische Energie, die den Betrieb elektronischer Geräte stört oder beeinträchtigt. EMI kann von internen Quellen innerhalb des Systems oder von externen Quellen wie benachbarten Geräten ausgehen und wird üblicherweise in gestrahlte und leitungsgebundene Störaussendungen unterteilt [1].

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

EMV ist die Fähigkeit eines elektronischen Geräts oder Systems, in seiner elektromagnetischen Umgebung ordnungsgemäß zu funktionieren, ohne unzulässige elektromagnetische Störungen in andere Geräte in der Umgebung einzubringen [2]. Die Einhaltung der EMV-Normen stellt sicher, dass sich Geräte nicht gegenseitig stören.

Leitungsgebundene Störaussendungen

Leitungsgebundene Störaussendungen sind hochfrequente elektrische Störsignale, die sich entlang von Strom- oder Signalleitungen ausbreiten. Diese Störaussendungen entstehen innerhalb des elektronischen Geräts (z. B. eines Netzteils) und breiten sich über die Netzleitungen aus. Sie werden üblicherweise im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz gemessen.

Gleichtakt-Störaussendungen (CM): Störströme, die in gleicher Richtung auf Außenleiter und Neutralleiter fließen und über die Erde zurückkehren. Häufig verursacht durch parasitäre Kopplung zwischen Schaltungen und Erde.
Gegentakt-Störaussendungen (DM): Störströme, die in entgegengesetzter Richtung im Außenleiter und im Neutralleiter fließen. Sie werden im Allgemeinen durch Unsymmetrien in den Schaltkreisen des Netzteils erzeugt.

Gestrahlte Störaussendungen

Gestrahlte Störaussendungen sind elektromagnetische Wellen, die von einem Gerät direkt in die Luft abgestrahlt werden, üblicherweise aufgrund von hochfrequenten Schaltvorgängen und Layout-Eigenschaften. Diese Störaussendungen können über die Luft in benachbarte Geräte einkoppeln und Störungen verursachen.

Netznachbildung (LISN)

Eine LISN ist eine standardisierte Prüfvorrichtung zur Messung leitungsgebundener Störaussendungen. Sie stellt eine gleichbleibende Impedanz (üblicherweise 50 Ω) für die Netzleitungen bereit und entkoppelt die Prüfmittel von der Stromquelle. Sie ermöglicht außerdem, dass die auf den Netzleitungen vorhandenen Störaussendungen mit einem EMI-Messempfänger oder einem Spektrumanalysator genau gemessen werden können.

CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques)

CISPR ist ein technisches Komitee innerhalb der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC), das für die Festlegung von Normen zur Begrenzung elektromagnetischer Störungen zuständig ist. CISPR 32 ist eine ihrer Normen, die für Multimediageräte gilt.

EN 55032 / CISPR 32

Dies sind harmonisierte EMV-Normen, die Grenzwerte und Messverfahren für Funkstörungen von Multimediageräten, einschließlich PCs und deren Netzteilen, festlegen. EN 55032 [3] ist die europäische Übernahme der internationalen Norm CISPR 32. Sie enthält Anforderungen sowohl für leitungsgebundene als auch für gestrahlte Störaussendungen.

Dezibel-Mikrovolt (dBµV)

Dies ist die Einheit zur Angabe des Pegels leitungsgebundener und gestrahlter Störaussendungen bei EMV-Messungen. Es handelt sich um eine logarithmische Spannungseinheit, bezogen auf 1 µV.

Schaltnetzteil (SMPS)

Ein SMPS ist ein Netzteiltyp, der elektrische Leistung mithilfe hochfrequenter Schalttechniken umwandelt, üblicherweise unter Verwendung eines Leistungstransistors oder MOSFETs. Obwohl effizient, erzeugt der Schaltvorgang hochfrequente Störungen, wodurch SMPS-Einheiten bedeutende EMI-Quellen darstellen.

Spektrumanalysator / EMI-Messempfänger

Messgeräte zur Messung und Analyse von Frequenz und Amplitude der Störaussendungen. EMI-Messempfänger sind speziell dafür ausgelegt, EMV-Prüfnormen zu erfüllen, und enthalten häufig Quasi-Spitzenwert- und Mittelwertdetektoren gemäß CISPR.

Quasi-Spitzenwertdetektor

Ein bei EMI-Prüfungen verwendeter Detektortyp, der sowohl die Amplitude als auch die Wiederholrate des Signals gewichtet. Er ist in den CISPR-Normen definiert und bildet nach, wie Störungen von analogen Rundfunkempfängern wahrgenommen werden.

Prolog

Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist ein entscheidender Aspekt bei der Entwicklung und Prüfung elektronischer Geräte [4]. Im Zusammenhang mit Netzteilen (PSUs) für Personal Computer (PC) ist es unerlässlich, sicherzustellen, dass die Störaussendungen innerhalb der regulatorischen Grenzwerte liegen, um Störungen anderer elektronischer Geräte und Systeme zu vermeiden [5]. PC-Netzteile können aufgrund ihrer hochfrequenten Schaltkreise und weiten Eingangsspannungsbereiche bedeutende Quellen elektromagnetischer Störungen (EMI) sein. Dieses White Paper befasst sich speziell mit leitungsgebundenen Störaussendungen von PC-Netzteilen unter einer repräsentativen DC-Last von 4 A und verwendet dabei die Prüfverfahren und Konformitätskriterien gemäß den Normen EN 55032 und CISPR 32 Klasse B.

EN 55032, harmonisiert mit CISPR 32, regelt die EMV-Anforderungen an Multimediageräte, zu denen auch PC-Netzteile zählen. Diese Normen definieren sowohl die Prüfmethodik als auch die zulässigen Grenzwerte für gestrahlte und leitungsgebundene Störaussendungen. Während sich gestrahlte Störaussendungen auf elektromagnetische Felder beziehen, die in die umgebende Umwelt abgestrahlt werden, bezeichnen leitungsgebundene Störaussendungen unerwünschte elektromagnetische Störungen, die sich über die Netzleitungen ausbreiten und andere am selben Stromnetz angeschlossene Geräte beeinträchtigen können [6].

ATX-Netzteile werden in der Unterhaltungs- und Industrieelektronik weit verbreitet eingesetzt und müssen daher die Normen für elektromagnetische Störungen (EMI) einhalten, um sicherzustellen, dass sie keine schädlichen Störungen anderer Geräte in der Nähe verursachen. Für die Konformität mit Klasse B nach EN 55032, die auf Wohnumgebungen abzielt, müssen die vom ATX-Netzteil erzeugten leitungsgebundenen Störaussendungen im gesamten Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz innerhalb strenger Grenzwerte liegen. Diese Störaussendungen werden mithilfe einer Netznachbildung (LISN) gemessen und über verschiedene Detektorbetriebsarten bewertet – konkret Mittelwert-, Spitzenwert- und Quasi-Spitzenwertdetektion.

Arten elektromagnetischer Störaussendungen

Elektromagnetische Störaussendungen elektronischer Geräte werden im Allgemeinen in zwei Hauptkategorien eingeteilt [7]:

1. Gestrahlte Störaussendungen

Gestrahlte Störaussendungen sind elektromagnetische Wellen, die vom Gerät direkt in den freien Raum abgestrahlt werden. Bei PC-Netzteilen zählen zu den typischen Quellen gestrahlter Störaussendungen:

- Schaltbauelemente und Transformatoren (aufgrund schneller Spannungs- und Stromänderungen).

- Leiterbahnen der Leiterplatte (PCB), die als unbeabsichtigte Antennen wirken.
- An das Netzteil angeschlossene Kabel (z. B. AC-Netzkabel, DC-Ausgänge).

Gestrahlte Störaussendungen sind in komplexen Systemen schwieriger zu beherrschen und werden in spezialisierten Umgebungen wie Semi-Absorberhallen geprüft.

2. Leitungsgebundene Störaussendungen

Leitungsgebundene Störaussendungen sind hochfrequente Störsignale, die sich entlang der Netzleitungen ausbreiten, typischerweise im Bereich von 150 kHz bis 30 MHz. Diese Störaussendungen entstehen durch die Schaltvorgänge des Netzteils und können den Betrieb anderer Geräte beeinträchtigen, die dieselbe Netzversorgung nutzen [8]. Sie werden unterteilt in:

- Gegentakt-Störaussendungen (DM): Störströme, die in entgegengesetzter Richtung im Außenleiter und im Neutralleiter fließen. Sie werden typischerweise durch Unsymmetrien oder Nichtlinearitäten in den Leistungswandlerschaltungen erzeugt.
- Gleichtakt-Störaussendungen (CM): Störströme, die in gleicher Richtung durch den Außenleiter und den Neutralleiter fließen und über die Erde zurückkehren. CM-Störaussendungen resultieren häufig aus parasitären Kapazitäten zwischen hochfrequenten Knoten und Erde, einschließlich parasitärer Pfade auf der Leiterplatte und der Wicklungskapazität des Transformators.

Beide Arten leitungsgebundener Störaussendungen können Störungen anderer elektronischer Geräte verursachen, weshalb Minderungsmaßnahmen entscheidend sind [9].

Bedeutung der Prüfung leitungsgebundener Störaussendungen

Bei PC-Netzteilen, die Massenmarktkomponenten sind, ist die Einhaltung niedriger leitungsgebundener Störaussendungen unerlässlich, um die Verträglichkeit in Umgebungen mit zahlreichen vernetzten Geräten sicherzustellen. Zu den wichtigsten Gründen zählen:

- Einhaltung von Vorschriften: Regulierungsbehörden verlangen, dass Geräte bestimmte Grenzwerte für leitungsgebundene Störaussendungen einhalten, um Störungsrisiken zu minimieren.
- Systemzuverlässigkeit: Übermäßige EMI kann Fehlfunktionen oder Leistungseinbußen in benachbarten Systemen verursachen, insbesondere in empfindlichen Umgebungen wie medizinischen oder industriellen Bereichen.
- Marktzugang: Produkte müssen die EMV-Prüfung bestehen, um in vielen Märkten legal verkauft werden zu dürfen (z. B. EU, Nordamerika, Asien).
- Markenreputation: Verstöße gegen die EMV-Konformität können zu Produktrückrufen oder zu Kundenunzufriedenheit führen.

Prüfnormen

EN 55032 ist die europäische Übernahme von CISPR 32, einer internationalen Norm des Internationalen Sonderkomitees für Funkstörungen (CISPR). Sie legt Grenzwerte und Messverfahren für die Funkstöreigenschaften von Multimediageräten mit einer Netznennspannung von höchstens 600 V fest.

- Geräte der Klasse A: Für den Einsatz in allen Einrichtungen außer Wohnbereichen vorgesehen. Klasse A weist im Vergleich zu Klasse B weniger strenge Grenzwerte auf.
- Geräte der Klasse B: Für den Einsatz in Wohnumgebungen, einschließlich Wohngebäuden, vorgesehen. Klasse B weist im Vergleich zu Klasse A strengere Grenzwerte für Störaussendungen auf, um minimale Störungen empfindlicher Haushaltsgeräte wie Radios, Fernseher und Kommunikationsgeräte sicherzustellen.
- Frequenzbereich für leitungsgebundene Störaussendungen: 150 kHz bis 30 MHz.
- Messaufbau: Leitungsgebundene Störaussendungen werden mithilfe einer Netznachbildung (LISN) gemessen, die die Impedanz der Netzleitung standardisiert und genaue Messungen leitungsgebundener Störungen ermöglicht.
- Prüfkonfiguration: Der Prüfling (EUT) wird über die LISN mit Spannung versorgt, und die Störspannung auf den Netzleitungen wird mit einem Spektrumanalysator oder einem EMI-Messempfänger gemessen.

Die geltenden Grenzwerte für leitungsgebundene Störaussendungen (in dBµV) hängen von der Frequenz ab und sind für Geräte der Klasse B, die für Wohnumgebungen vorgesehen sind, niedriger. Geräte der Klasse B unterliegen strengeren Grenzwerten für leitungsgebundene Störaussendungen (gemessen in dBµV), insbesondere bei niedrigeren Frequenzen, um die Verträglichkeit mit HF-Umgebungen im Wohnbereich sicherzustellen. Die Einhaltung dieser engeren Grenzwerte ist für Geräte, die für Verbrauchermärkte bestimmt sind, unerlässlich.

Gemäß dem Intel ATX Design Guide [10] muss ein Netzteil „FCC Part 15, EN55023 und CISPR 32, 5th ed., erfüllen und Klasse B für leitungsgebundene und gestrahlte Störaussendungen mit einer Reserve von 4 dB einhalten“. Da diese Normen aktualisiert wurden, verwendet Cybenetics die neueren Normen EN 55032 und CISPR 32, wie zuvor erläutert.

Detektortypen

Bei der Prüfung leitungsgebundener EMI, insbesondere zur Konformität mit Normen wie EN 55032, werden mehrere Detektortypen eingesetzt, um die elektromagnetischen Störaussendungen eines Prüflings zu bewerten. Die am häufigsten verwendeten Detektoren sind Mittelwert (AVG), Spitzenwert (PK) und Quasi-Spitzenwert (QP). Jeder erfüllt einen bestimmten Zweck und wendet einen unterschiedlichen Messansatz an, um zu beurteilen, wie sich die Störaussendungen eines Geräts auf andere Elektronik in der Umgebung auswirken könnten [11].

Der Spitzenwertdetektor (PK) erfasst die höchste Amplitude des Signals innerhalb eines gegebenen Frequenzbands. Er reagiert unmittelbar auf transiente Vorgänge, was ihn zu einer sehr empfindlichen und schnellen Messmethode macht. Ziel der Spitzenwertmessung ist es,

die ungünstigsten Störaussendungspegel während eines Durchlaufs schnell zu identifizieren. Sie wird häufig als erster Schritt verwendet, um festzustellen, ob weitere, detailliertere Messungen (wie die Quasi-Spitzenwertmessung) erforderlich sind. Da Spitzenwertmessungen weniger streng sind, bestehen Geräte diese Prüfung häufig auch dann, wenn einige Störaussendungen nahe am Grenzwert liegen.

Der Mittelwertdetektor (AVG) glättet hingegen kurzzeitige Schwankungen, indem er den mittleren Leistungspegel der Störaussendungen über ein bestimmtes Zeitfenster berechnet. Dies bildet besser ab, wie dauerhaft die Störaussendungen sind, insbesondere hinsichtlich ihres Potenzials, andere elektronische Geräte in einem typischen Anwendungsfall zu stören. Der Mittelwertdetektor reagiert weniger stark auf kurze Spitzen und erfasst vorrangig kontinuierliche oder anhaltende Störungen.

Der Quasi-Spitzenwertdetektor (QP) stellt möglicherweise die anspruchsvollste Messung bei der Prüfung leitungsgebundener EMI dar [12]. Er ist so ausgelegt, dass er Störaussendungen nicht nur nach der Amplitude, sondern auch nach der Wiederholrate gewichtet. Das bedeutet, dass häufiger auftretende Signale stärker gewichtet werden als gelegentliche Bursts. Der dahinterstehende Gedanke ist psychologischer und praktischer Natur: Häufige Störungen mit niedrigem Pegel werden eher wahrgenommen und verursachen eher Beeinträchtigungen als seltene Spitzen mit hohem Pegel. Die Quasi-Spitzenwertdetektion verwendet eine langsamere Lade- und Entladekennlinie, die das Verhalten herkömmlicher Rundfunkempfänger gegenüber Störungen nachbildet.

Beim Vergleich, welche Prüfung schwerer zu bestehen ist, gilt die Quasi-Spitzenwertmessung im Allgemeinen als die schwierigste. Grund dafür ist, dass sie selektiver ist und sowohl hohe Amplituden als auch hohe Wiederholraten stärker gewichtet. Ein Gerät, das die Spitzenwertprüfung besteht, kann die Quasi-Spitzenwertprüfung dennoch nicht bestehen, wenn es viele sich wiederholende Störbursts aussendet, selbst wenn diese Bursts einzeln betrachtet nicht sehr stark sind. Daher wird die Quasi-Spitzenwertprüfung in Grenzfällen häufig als endgültige Konformitätsentscheidung herangezogen.

Umgebungsbedingungen und Überwachung

Messungen leitungsgebundener Störaussendungen werden in einer kontrollierten Laborumgebung durchgeführt.

Umgebungsbedingungen, die für die Gültigkeit der Messungen relevant sind, einschließlich des elektromagnetischen Umgebungsstörpegels, werden vor der Prüfung überwacht und verifiziert. Die Umgebungsstörpegel müssen im gesamten Messfrequenzbereich mindestens 6 dB unterhalb der geltenden Grenzwerte der EN 55032 Klasse B liegen.

Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit im Labor werden innerhalb der im Qualitätssystem des Labors festgelegten Bereiche gehalten, um den einwandfreien Betrieb der Messgeräte sicherzustellen.

Die Umgebungsbedingungen werden für jede Prüfsitzung aufgezeichnet. Liegen die Umgebungsbedingungen außerhalb der festgelegten Grenzen oder wird festgestellt, dass sie die Gültigkeit der Messung beeinflussen, ist die Prüfung auszusetzen und es sind Korrekturmaßnahmen gemäß den Qualitätsverfahren des Labors umzusetzen.

Kompetenz des Personals

Messungen leitungsgebundener Störaussendungen nach diesem Verfahren dürfen nur von Personal durchgeführt werden, dessen Kompetenz bewertet wurde und das vom Labor förmlich autorisiert ist.

Das messdurchführende Personal muss:

- über eine dokumentierte Schulung in EMV-Grundlagen und in der Prüfung leitungsgebundener Störaussendungen verfügen.
- in der Bedienung der jeweils verwendeten Messgeräte und Software geschult sein.
- mit den anzuwendenden Normen (EN 55032, IEC/CISPR 16-1-x) vertraut sein.
- gemäß der Kompetenz- und Autorisierungsmatrix des Labors autorisiert sein.

Aufzeichnungen über Schulungen, Kompetenzbewertungen und Autorisierungen werden im Qualitätsmanagementsystem des Labors geführt.

Prüfmittel

In einem typischen Prüfaufbau für leitungsgebundene Störaussendungen bei Geräten der Klasse B werden die folgenden Komponenten in einer bestimmten Konfiguration verbunden, um genaue und wiederholbare Messungen sicherzustellen:

DC-Last: TekBox TBOH02 Self Powered Active Load [13]: Die TBOH02 ist eine präzise, eigengespeiste aktive Last. Sie benötigt keine separate Versorgungsspannung und arbeitet bereits ab 2V. Zu ihren Funktionen zählen Konstantwiderstands- und Konstantstrombetrieb.

Abbildung 1: TekBox TBOH02

EMI-Messempfänger: TekBox TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz [14]: Ein vielseitiger Spektrumanalysator zur Messung von Frequenz und Amplitude leitungsgebundener Störaussendungen. Er liefert hochauflösende Spektraldaten, die für die EMI-Diagnose und die Konformitätsverifizierung unerlässlich sind.

Abbildung 2: TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz

Netznachbildung (LISN): TekBox TBL5008-2C [15]: Die LISN wird direkt zwischen die AC-Netzstromquelle und den Prüfling geschaltet. Sie erfüllt zwei wesentliche Funktionen: Sie entkoppelt den Prüfaufbau von externen Netzstörungen und stellt eine standardisierte

Impedanz für genaue Störaussendungsmessungen bereit. Die LISN leitet zudem die leitungsgebundenen Störungen vom EUT zum Messgerät weiter.

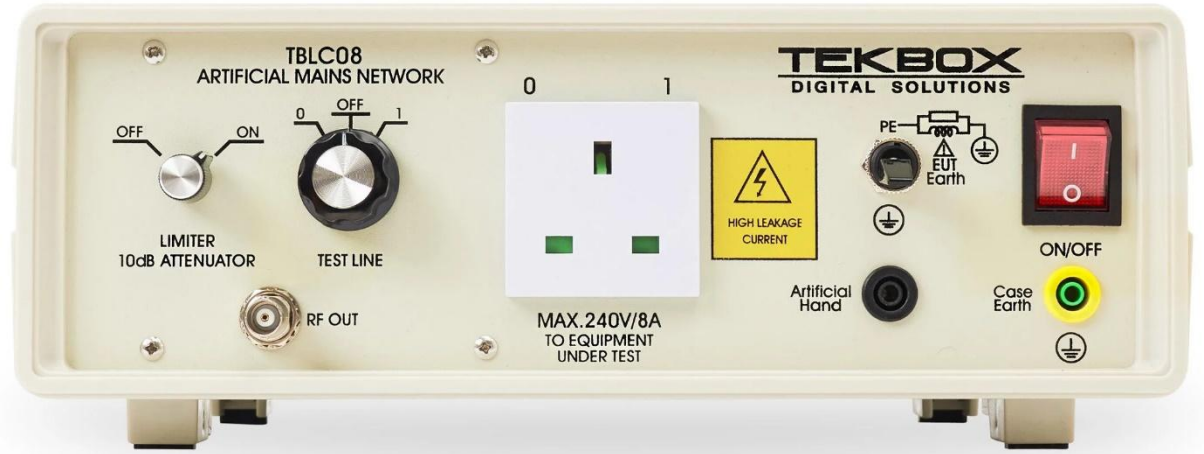


Abbildung 3: TEKBOX TBL5008-2C

Prüfsoftware

EMC View [16] ist ein benutzerfreundliches Softwarewerkzeug zur Visualisierung, Analyse und Protokollierung von EMI- und EMV-Prüfdaten. Häufig in Verbindung mit Spektrumanalysatoren und EMI-Messempfängern eingesetzt, ermöglicht es die Anzeige leitungsgebundener und gestrahlter Störaussendungen in Echtzeit, den Vergleich der Ergebnisse mit regulatorischen Grenzwerten (wie EN 55032 Klasse B) sowie die Erstellung von Prüfberichten. Die intuitive Benutzeroberfläche macht es sowohl für Vorprüfungen (Pre-Compliance) als auch für vollständige Konformitätsbewertungen ideal.

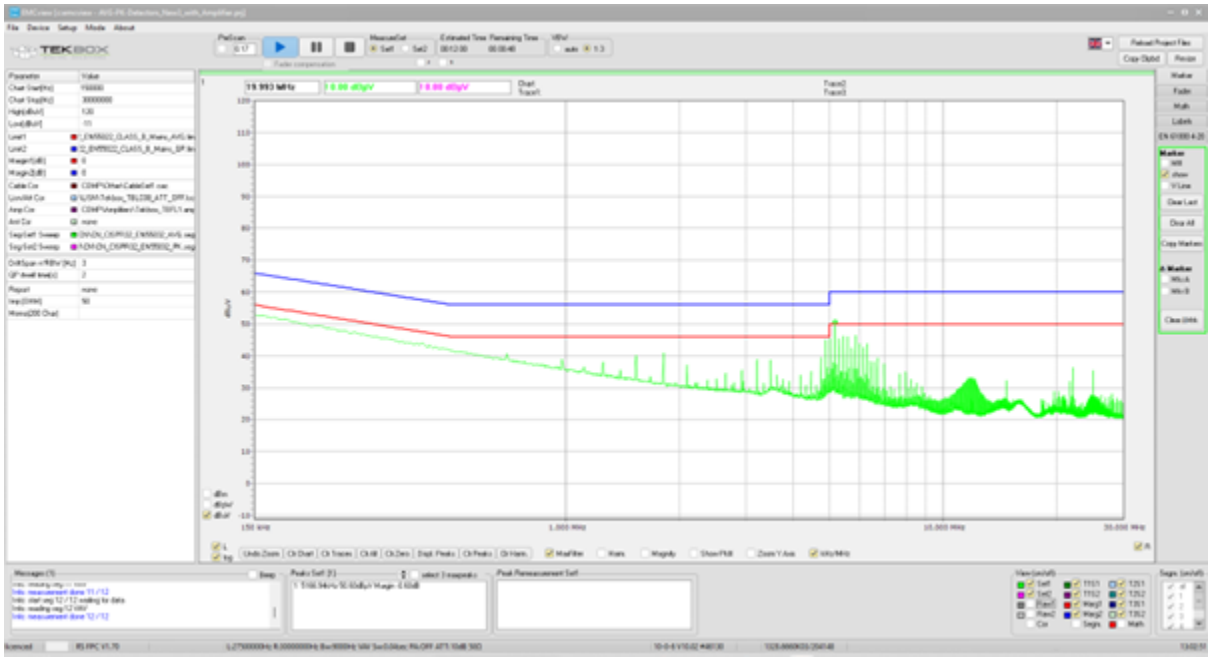


Abbildung 4: EMCView

Prüfmethodik

Der EMI-Prüfprozess beginnt mit der sorgfältigen Vorbereitung der Geräte und des Aufbaus, da die verwendeten Instrumente empfindlich sind und durch falsche Handhabung beschädigt werden können. Der Bediener muss zunächst sicherstellen, dass alle Geräte ausgeschaltet sind und sich der Drehknopf der LISN-Prüfleitung (Test Line) in der Aus-Stellung befindet. Diese Vorsichtsmaßnahme ist unerlässlich, um einen unbeabsichtigten Signalfluss zu verhindern, der die Messgeräte beschädigen könnte. Nach der Überprüfung wird das ATX-Stromkabel vom Prüfling zur elektronischen DC-Last (FA-828 ATE) angeschlossen, mit der später eine gleichbleibende und kontrollierte Last auf das Netzteil während der Prüfung aufgebracht wird. Gleichzeitig wird ein AC-Netzkabel von der LISN zum Netzteil angeschlossen, wobei besonders darauf zu achten ist, dass die Ausrichtung von Außenleiter und Neutralleiter korrekt übereinstimmt, um elektrische Fehler zu vermeiden.

Nachdem alle Verbindungen bestätigt sind, schaltet der Bediener die Geräte in einer bestimmten Reihenfolge ein. Zuerst wird die DC-Last eingeschaltet, dann die LISN und anschließend der Spektrumanalysator (Rohde & Schwarz FPC 1500). Letzterer sollte mindestens 30 Minuten aufwärmen, um ein stabiles Verhalten sicherzustellen. Nach Abschluss der Aufwärmphase wird der Prüfling eingeschaltet. Der Bediener legt dann mit der Last eine DC-Last von 4 A an das Netzteil (ca. 48 W bei 12 V) an und startet damit eine 10-minütige Aufwärmphase des Netzteils unter Last, was zur Nachbildung realistischer Betriebsbedingungen beiträgt.

Bei stabilem System wird die Software EMC View auf einem angeschlossenen PC gestartet. Die Software dient zur Steuerung des Spektrumanalysators und zur Anzeige der Messdaten in Echtzeit. In EMC View verbindet sich der Bediener mit dem Analysator, indem er zum Gerätemenü navigiert und die passende Verbindung auswählt. Nach dem Verbindungsaufbau wird die entsprechende Prüfdatei geladen. Diese Datei enthält vorkonfigurierte

Messeinstellungen und die regulatorischen Grenzwerte, die für die Konformität mit EN 55032 Klasse B erforderlich sind.

Zum Beginn der Prüfung leitungsgebundener Störaussendungen wird der Drehknopf der LISN-Prüfleitung von der Aus-Stellung auf „0“ gedreht, wodurch der Signalpfad für die Messung aktiviert wird. Zuerst wird die Mittelwertmessung durchgeführt, indem „Set 1“ ausgewählt und die Prüfung gestartet wird. Die Ergebnisse werden in einem Diagramm dargestellt, in dem eine rote Linie den Konformitätsgrenzwert für Mittelwert-Störaussendungen darstellt. Anschließend wird die Spitzenwertmessung durchgeführt, indem „Set 2“ ausgewählt und auf Start geklickt wird. Die blaue Linie in diesem Diagramm kennzeichnet den Grenzwert für Spitzenwert-Störaussendungen. Besteht das Netzteil die Spitzenwertprüfung, kann der Prüfprozess an dieser Stelle abgeschlossen werden. Fällt es jedoch durch, muss der Bediener die Quasi-Spitzenwertmessung durchführen, indem er die entsprechende Prüfdatei lädt und den Vorgang wiederholt.

Während des gesamten Prüfprozesses liefert die Software EMC View visuelle Konformitätsanzeigen, und etwaige Überschreitungen werden unterhalb des Diagramms deutlich gekennzeichnet. Der Anwender kann die Anzeige der Grenzwertlinien zur besseren Übersicht ein- und ausblenden und außerdem die Attribute des Prüfberichts über das Gerätemenü bearbeiten. Nach Abschluss werden die Ergebnisse gespeichert, indem die Diagramme und Messkurven in einen dafür vorgesehenen Ordner exportiert und zu Dokumentationszwecken gedruckt oder als Bilddateien gespeichert werden.

Der Abschaltvorgang muss sorgfältig durchgeführt werden, um die Geräte zu schützen. Zuerst wird der Drehknopf der LISN-Prüfleitung in die Aus-Stellung zurückgestellt. Anschließend wird die DC-Last gestoppt und danach der Prüfling ausgeschaltet. Sobald diese Komponenten ausgeschaltet sind, können die übrigen Geräte – LISN, Spektrumanalysator und DC-Last – in beliebiger Reihenfolge ausgeschaltet werden. Dieses strukturierte Verfahren gewährleistet eine genaue EMI-Messung und erhält zugleich die Sicherheit und Lebensdauer der Prüfmittel.

Methodenvalidierung und -verifizierung

Dieses Messverfahren für leitungsgebundene Störaussendungen wurde verifiziert und validiert, um seine Eignung für die vorgesehene Anwendung gemäß ISO/IEC 17025:2017, Abschnitt 7.2.2, zu bestätigen.

Zu den Verifizierungstätigkeiten der Methode gehören:

- Bestätigung, dass Messkonfiguration, Instrumentierung, Detektoreigenschaften, Auflösebandbreite und Frequenzbereich den Anforderungen der EN 55032 und der IEC/CISPR 16-1-x entsprechen.
- Verifizierung der korrekten Detektorimplementierung (Spitzenwert, Mittelwert, Quasi-Spitzenwert) anhand bekannter Referenzsignale und der Selbsttestfunktionen der Geräte.

- Beurteilung der Wiederholpräzision durch mehrfache Messungen repräsentativer Netzteile unter identischen Prüfbedingungen, wobei die Stabilität der Ergebnisse innerhalb der vom Labor angegebenen Messunsicherheit nachgewiesen wird.

Zu den Validierungstätigkeiten der Methode gehören:

- Bewertung der Wiederholpräzision und der Vergleichpräzision der Messungen innerhalb des Labors.
- Vergleich historischer Messdaten repräsentativer Geräte zur Bestätigung der Konsistenz der Ergebnisse.
- Technische Überprüfung, die bestätigt, dass die gewählte Lastbedingung und die Messparameter eine konservative Worst-Case-Bedingung für leitungsgebundene Störaussendungen darstellen.

Aufzeichnungen über die Verifizierung und Validierung der Methode werden im Qualitätssystem des Labors geführt. Die Methode gilt als zweckdienlich für Messungen leitungsgebundener Störaussendungen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz.

Ergebnisse

Ein konformes ATX-Netzteil muss in allen relevanten Frequenzbändern Störaussendungspegel unterhalb der festgelegten Grenzwerte aufweisen. Diese Grenzwerte sind frequenzabhängig und nehmen typischerweise mit steigender Frequenz ab. Die Ergebnisse werden in der Software EMC View grafisch dargestellt, wobei die Störaussendungswerte (gemessen in dBµV) über dem Frequenzspektrum aufgetragen werden. Horizontale Linien im Diagramm stellen die regulatorischen Grenzwerte dar: die rote Linie die Mittelwertgrenzwerte und die blaue Linie die Spitzenwertgrenzwerte. Bleibt die Messkurve vollständig unterhalb dieser Linien, gilt das Gerät für diese Prüfbetriebsart als konform.

Während der Bewertungsphase wird gemäß dem Intel Design Guide üblicherweise eine Reserve von 4 dBµV angewendet, um einen Puffer zwischen den gemessenen Störaussendungspegeln und dem regulatorischen Grenzwert zu schaffen. Diese Reserve berücksichtigt mögliche Messunsicherheiten, Umgebungsschwankungen und Unterschiede in der Wiederholpräzision, die bei formalen Konformitätsprüfungen in zertifizierten Laboren auftreten können. Wird beispielsweise eine bestimmte Störaussendung mit 44 dBµV gemessen und beträgt der Grenzwert bei dieser Frequenz 48 dBµV, so wird das Ergebnis als "bestanden mit einer Reserve von 4 dBµV" ausgelegt. Dieser Puffer gibt die Sicherheit, dass das Produkt auch bei geringfügigen Schwankungen der Prüfbedingungen unter strengeren Zertifizierungsumgebungen wahrscheinlich weiterhin konform ist.

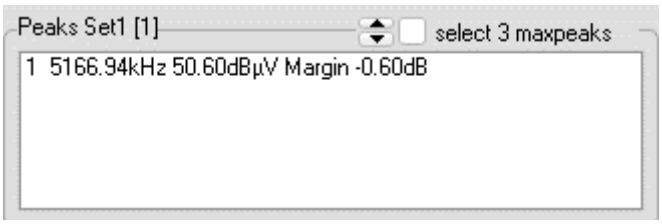


Abbildung 5: Beispiel für ein Bestehen mit der Reserve von 4 dBµV

Überschreitet eine Störaussendungsspitze den um die Reserve von 4 dBµV verringerten Grenzwert, wird sie zur weiteren Analyse gekennzeichnet. Auch wenn das Gerät die Prüfung technisch noch bestehen kann, ist es oft ratsam, das Design zu optimieren oder die Schirmung zu verbessern, um die Störaussendungen zu reduzieren, insbesondere wenn das Produkt kurz vor der Serienfertigung steht.

Spitzenwertmessungen sind schnell und erfassen die höchsten Störaussendungspegel, Mittelwertmessungen bewerten kontinuierliche Störpegel, und Quasi-Spitzenwertmessungen bieten einen realistischen Mittelweg, indem sie sowohl die Stärke als auch die Häufigkeit der Störaussendungen bewerten. Die Quasi-Spitzenwertmessung wird üblicherweise durchgeführt, nachdem ein Prüfling die Prüfung nicht bestanden hat. Sie ist die anspruchsvollste Messung, da sie am ehesten der Art entspricht, wie Störungen reale Funk- und Elektroniksysteme beeinflussen, und ist häufig ausschlaggebend für das Bestehen oder Nichtbestehen der Konformität.

Tabelle 1 zeigt die offiziellen Grenzwerte für leitungsgebundene Störaussendungen [17]:

EN55032 / CISPR 32	Grenzwert dB(µV)	
Frequenzbereich (MHz)	**Quasi-Spitzenwert**	**Mittelwert**
0.15 - 0.50	66 bis 56	56 bis 46
0.50 - 5	56	46
5 - 30	60	50

Tabelle 1: Grenzwerte für leitungsgebundene Störaussendungen

Dokumentenlenkung

Dieses Dokument ist ein gelenktes Verfahren innerhalb des Qualitätsmanagementsystems der Cybenetics Ltd.

- Der aktuelle Revisionsstand dieses Dokuments ist auf dem Deckblatt und in der Tabelle der Revisionshistorie angegeben.
- Für Prüftätigkeiten darf ausschließlich die jeweils neueste freigegebene Revision verwendet werden.
- Ungelenkte oder überholte Kopien dürfen nicht für akkreditierte Prüfungen verwendet werden.
- Ausgedruckte Kopien gelten als ungelenkt, sofern nicht anders angegeben.

Änderungen an diesem Dokument werden vor der Freigabe von autorisiertem Personal gemäß den Verfahren zur Dokumentenlenkung des Labors geprüft und genehmigt.

Epilog

Leitungsgebundene Störaussendungen stellen einen bedeutenden Aspekt der Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit dar, insbesondere bei Schaltnetzteilen, wie sie in PCs eingesetzt werden. Durch die Einhaltung von Normen wie EN 55032 und CISPR 32 können

Entwickler und Hersteller sicherstellen, dass ihre Produkte in typischen Einsatzumgebungen keine übermäßigen Störungen verursachen.

Literaturverzeichnis

[1] Electromagnetic Interference
https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electromagnetic-interference

[2] Scott, J., & Van Zyl, C. (1997). Introduction to EMC. Butterworth-Heinemann.

[3] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0030&rid=4

[4] Jie, H., Zhao, Z., Zeng, Y., Chang, Y., Fan, F., Wang, C., & See, K. Y. (2024). A review of intentional electromagnetic interference in power electronics: Conducted and radiated susceptibility. IET Power Electronics, 17(12), 1487-1506.

[5] Hesener, A. (2011, August). Electromagnetic interference (EMI) in power supplies. In Fairchild Semiconductor Power Seminar (pp. 1-16).

[6] Zare, Firuz. (2011). Electromagnetic Interference Issues in Power Electronics and Power Systems. 10.2174/97816080524001110101

[7] https://www.compeng.com.au/quick-guide-electromagnetic-interference-power-supplies/

[8] https://www.belfuse.com/resource-library/tech-paper/emi-considerations-for-switching-power-supplies#lawRegCoop

[9] Narayanasamy, B. (2020). Conducted EMI Mitigation in Power Converters using Active EMI Filters. University of Arkansas.

[10] https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development-platforms/client/platforms/alder-lake-desktop/atx-version-3-0-multi-rail-desktop-platform-power-supply-design-guide/2.1a/

[11] Williams, T. (2003). EMC. In Instrumentation Reference Book (pp. 861-949). Butterworth-Heinemann.

[12] Schaefer, W. (1998, August). Signal detection with EMI receivers. In 1998 IEEE EMC Symposium. International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No. 98CH36253) (Vol. 2, pp. 761-765). IEEE.

[13] TekBox TBOH02 Self Powered Active Load https://www.tekbox.com/product/tboh02-self-powered-active-load/

[14] TekBox TBMR-110M EMI-ANALYZER 1 Hz-110 MHz
https://www.tekbox.com/product/tbmr-110m-emi-analyzer-dc-110-mhz/

[15] TekBox TBL5008-2C https://www.tekbox.com/product/tekbox-tbl5008-2c-50uh-lisn-cispr-16/

[16] EMC View
https://www.batronix.com/shop/software/tekbox/emcview.html?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIu9zS17jejAMV6YBQBh17pBjmEAAYASAAEgLasPD_BwE

[17] https://www.advancedenergy.com/getmedia/13c82758-cf58-45bc-988f-7740ed8357c8/an_emi_standards.pdf
[18] EN 55032:2015/AC:2016/A1:2020/A11:2020 – Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements (CISPR 32).
[19] CISPR 16-1-1 – Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Measuring apparatus.
[20] CISPR 16-1-2 – Part 1-2: Coupling devices for conducted disturbance measurements.
[21] CISPR 16-4-2 – Part 4-2: Measurement instrumentation uncertainty.
[22] ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
[23] JCGM 100:2008 (GUM) – Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement.

Anhang A – Prüfbedingungen auf Zertifizierungsniveau (normativ)

A.0 Messmittel und Instrumentierung

Alle für Messungen leitungsgebundener Störaussendungen nach diesem Verfahren verwendeten Geräte müssen die geltenden Anforderungen der Normenreihe IEC/CISPR 16-1 erfüllen, insbesondere IEC/CISPR 16-1-1, IEC/CISPR 16-1-2 und die relevanten Teile IEC/CISPR 16-1-x. Die Geräte müssen für Messungen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz geeignet sein und gemäß dem Qualitätssystem des Labors betrieben werden.

A.1 Prüfumgebung und Konfiguration

Alle Messungen leitungsgebundener Störaussendungen werden in einer kontrollierten Laborumgebung unter Verwendung einer einphasigen 50 µH / 50 Ω LISN gemäß IEC/CISPR 16-1-2 durchgeführt.
Die LISN ist mit der Bezugsmasseebene des Labors verbunden. Die Messungen werden getrennt am Außenleiter und am Neutralleiter durchgeführt.

Die Umgebungsstörpegel werden vor der Prüfung verifiziert und müssen im gesamten Frequenzbereich mindestens 6 dB unterhalb der geltenden Grenzwerte der EN 55032 Klasse B liegen.

A.2 Messinstrumentierung

A.2.1 Messempfänger / Spektrumanalysator

(IEC/CISPR 16-1-1)

Leitungsgebundene Störaussendungen sind mit einem EMI-Messempfänger oder einem Spektrumanalysator gemäß IEC/CISPR 16-1-1 zu messen.

Das Messgerät muss Folgendes bereitstellen:

- Frequenzbereich von 150 kHz bis mindestens 30 MHz
- 9 kHz Auflösebandbreite (RBW) gemäß den CISPR-Anforderungen
- Spitzenwert- (PK), Mittelwert- (AVG) und Quasi-Spitzenwertdetektoren (QP), implementiert gemäß den CISPR-Zeitkonstanten
- 50 Ω Eingangsimpedanz
- Ausreichender Dynamikbereich, um Übersteuerung oder Kompression während der Messung zu vermeiden

Wird anstelle eines dedizierten EMI-Messempfängers ein Spektrumanalysator verwendet, ist die Gleichwertigkeit mit den funktionalen Anforderungen der IEC/CISPR 16-1-1 nachzuweisen und zu dokumentieren.

A.2.2 Netznachbildung (LISN)

(IEC/CISPR 16-1-2)

Für alle Messungen leitungsgebundener Störaussendungen ist eine Netznachbildung (LISN) gemäß IEC/CISPR 16-1-2 zu verwenden.

Die LISN muss:

- eine standardisierte Impedanz von 50 µH / 50 Ω bereitstellen
- den Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz abdecken
- einen 50 Ω Messanschluss enthalten
- eine Trennung zwischen dem Prüfling (EUT) und der Netzversorgung bereitstellen
- mit der Bezugsmasseebene des Labors verbunden sein

Die Messungen sind getrennt am Außenleiter und am Neutralleiter durchzuführen, sofern nicht anders begründet und dokumentiert.

A.2.3 HF-Kabel und Zusatzkomponenten

(IEC/CISPR 16-1-x)

Alle in der Messkette verwendeten HF-Kabel, Dämpfungsglieder, Adapter und Hilfskomponenten müssen den geltenden Teilen der IEC/CISPR 16-1-x entsprechen.

HF-Zusatzkomponenten müssen:

- einen Wellenwiderstand von 50 Ω aufweisen
- eine stabile und bekannte Einfügedämpfung über den Messfrequenzbereich aufweisen
- für Messungen leitungsgebundener Störaussendungen geeignet sein
- in ihrer Anzahl minimiert werden, um die Messunsicherheit zu verringern

Soweit zutreffend, sind frequenzabhängige Verluste in die Unsicherheitsbewertung des Labors einzubeziehen.

A.3 Begründung der Lastbedingung

Während der Prüfung leitungsgebundener Störaussendungen wird eine konstante DC-Last von 4 A an das Netzteil angelegt.
Es ist bekannt, dass Betriebszustände bei geringer Last in modernen Schaltnetzteilen aufgrund des lückenden Betriebs (DCM), des Burst-Mode-Betriebs und der Übergangsbereiche der Leistungsfaktorkorrektur das ungünstigste EMI-Verhalten hervorrufen.

Die Prüfung bei 4 A stellt daher eine konservative und reproduzierbare Worst-Case-Bedingung für die Bewertung leitungsgebundener Störaussendungen dar.

A.4 Messparameter

Die Messungen werden über den Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz mit einer RBW von 9 kHz gemäß IEC/CISPR 16 durchgeführt.

Spitzenwert- und Mittelwertmessungen dürfen im kontinuierlichen Sweep-Modus durchgeführt werden.
Quasi-Spitzenwertmessungen werden mit schrittweisen Frequenzabtastungen und mit ausreichender Verweilzeit durchgeführt, damit sich der Detektor stabilisieren kann.

A.5 Bestanden-/Nichtbestanden-Kriterien

Gemäß der Intel-Spezifikation ATX v3.x gilt ein Prüfling (DUT) als konform, wenn alle gemessenen Störaussendungspegel nach Anwendung einer technischen Reserve von 4 dBµV unterhalb der geltenden Grenzwerte der EN 55032 Klasse B bleiben. Dies gilt AUSSCHLIESSLICH für Prüfungen nach ATX v3.x.

Überschreiten die Spitzenwert- oder Mittelwertmessungen den Grenzwert abzüglich der Reserve, sind Quasi-Spitzenwertmessungen durchzuführen. Die Nichteinhaltung der Quasi-Spitzenwertgrenzwerte stellt ein nicht konformes Ergebnis dar.

Werden Messungen leitungsgebundener Störaussendungen innerhalb des akkreditierten Geltungsbereichs des Labors durchgeführt, wird die Konformität mit den Grenzwerten der EN

55032 Klasse B anhand der genehmigten Entscheidungsregel des Labors auf Grundlage der angegebenen erweiterten Messunsicherheit bewertet.

Die in diesem Verfahren genannte technische Reserve dient der internen Bewertung und der Vorprüfung (Pre-Compliance). Formale Konformitätsaussagen im Rahmen der Akkreditierung werden ausschließlich gemäß der Entscheidungsregel des Labors und dem geltenden Messunsicherheitsbudget ausgestellt.

A.6 Kalibrierung, Verifizierung und Rückführbarkeit

Alle kritischen Messmittel, einschließlich EMI-Messempfänger, LISN und der zutreffenden HF-Komponenten, sind in festgelegten Intervallen und mit Rückführbarkeit auf nationale oder internationale Normale zu kalibrieren.

Vor der Prüfung ist eine Funktionsverifizierung durchzuführen, einschließlich:

- Geräte-Selbsttests
- Prüfung der Masseanbindung und der Durchgängigkeit der LISN
- Verifizierung des Umgebungsstörpegels

Geräte, die außerhalb der festgelegten Toleranzen liegen, dürfen nicht für Konformitäts- oder Vorkonformitätsmessungen verwendet werden.

Die in diesem Anhang festgelegten Geräte und Konfigurationen gewährleisten die Konformität mit den Geräteanforderungen der IEC/CISPR 16-1-1, IEC/CISPR 16-1-2 und der zutreffenden Teile IEC/CISPR 16-1-x und sind für die Prüfung leitungsgebundener Störaussendungen gemäß EN 55032 / CISPR 32 geeignet.

Anhang B – Messunsicherheit und Haftungsausschluss bei Nichtkonformität

B.1 Messunsicherheit

Messungen leitungsgebundener Störaussendungen unterliegen einer inhärenten Messunsicherheit, die sich aus Gerätetoleranzen, Schwankungen der LISN-Impedanz, der Kabelverlegung, der Erdung, dem Umgebungsstörpegel und Effekten der Wiederholpräzision ergibt. Obwohl dieses Verfahren den empfohlenen Praktiken von CISPR 16 und EN 55032 folgt, stellen die während der Prüfung ermittelten Zahlenwerte die besten Schätzwerte der tatsächlichen Störaussendungspegel unter den festgelegten Prüfbedingungen dar.

Für Messungen, die innerhalb des nach ISO/IEC 17025 akkreditierten Geltungsbereichs des Labors durchgeführt werden, gilt die in Anhang C angegebene erweiterte Messunsicherheit; sie wird gemäß der Entscheidungsregel des Labors angewendet. Die an anderer Stelle in diesem Verfahren genannte technische Reserve von 4 dBµV ist lediglich ein Hilfsmittel für die Vorprüfung (Pre-Compliance); sie ersetzt nicht das Messunsicherheitsbudget und wird nicht auf akkreditierte Ergebnisse angewendet.

B.2 Nichtkonformität und Haftungsausschluss

Mit diesem Verfahren erzielte Ergebnisse dürfen für interne technische Bewertungen, für Vorprüfungen (Pre-Compliance) und für akkreditierte Prüftätigkeiten verwendet werden, sofern sie innerhalb des Geltungsbereichs der ISO/IEC 17025-Akkreditierung der Cybenetics Ltd. durchgeführt werden. Formale Konformitätsaussagen dürfen nur ausgestellt werden, wenn alle Messungen innerhalb des akkreditierten Geltungsbereichs des Labors, unter Anwendung der genehmigten Messunsicherheitsbudgets und des gelenkten Qualitätssystems durchgeführt werden.

Werden Messungen außerhalb des akkreditierten Geltungsbereichs durchgeführt, sind die Ergebnisse ausschließlich als technische Daten zu betrachten. Die Cybenetics Ltd. übernimmt keine Haftung für regulatorische Entscheidungen, die auf der Grundlage nicht akkreditierter Prüfergebnisse getroffen werden.

Anhang C – Messunsicherheitsbudget (akkreditiert)

Die von Cybenetics Ltd. angewendete Messunsicherheit für leitungsgebundene Störaussendungen ist aus dem internen Arbeitsblatt zum Messunsicherheitsbudget P19-F03 EMI (22-04-2026) und dem zugehörigen Schätzbericht P19-F01 (10-05-2026) abgeleitet, die gemäß ISO/IEC 17025 und den Grundsätzen von CISPR 16 erstellt wurden. Die kombinierte Standardmessunsicherheit beträgt uc = 1.18 dB.

Für Messungen leitungsgebundener Störaussendungen, ausgedrückt in dBµV, im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz wurde die erweiterte Messunsicherheit wie folgt ermittelt:

Erweiterte Messunsicherheit (U, k=2): ±2.35 dB

Diese erweiterte Messunsicherheit entspricht einem Vertrauensniveau von etwa 95%. Werden Prüfungen innerhalb des akkreditierten Geltungsbereichs des Labors durchgeführt, ist dieser Unsicherheitswert gemäß der Entscheidungsregel des Labors anzuwenden.