



Vorlage des FAK „Leit- und Elektrotechnik“

(von der Leitstelle Kerntechnik im Nachgang zur 114. Sitzung am 19.11.2010 gebilligte Fassung)

Inhalt

Vorwort	2
1. Einleitung	2
1.1 Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) und Atomgesetz (AtG)	2
1.2 EMV-Normen	3
2. Verfahren zum Nachweis der EMV	5
2.1 Vorgehensweise	5
2.2 Grundsätzliches zu EMV-Prüfungen	5
2.3 Betriebliche elektrische Einrichtungen	5
2.4 Elektrische Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung	6
2.5 Änderungsumfang	6
2.6 EMV-Analyse und Prüfung der EMV-Kennwerte	7
2.7 EMV-Nachweise über durchgeführte Prüfungen.....	8
2.8 Prüfung der EMV-gerechten Installation	9
Literaturverzeichnis	10
Anlage 1: Entscheidungs-Flussbild „Nachweis der EMV in atomrechtlichen Verfahren“	12
Anlage 2: Statistische Aussagekraft standardisierter EMV-Prüfungen	13
Anhang: Elektromagnetische Störaussendung in kerntechnischen Anlagen – Relevante Grenzwerte und Störsicherheitsabstand	14

Vorwort

Der vorliegende EMV-Leitfaden stellt eine Überarbeitung des 1998 in den TÜVIS Prüfgrundlagen Kerntechnik veröffentlichten Berichtes 45 [1] dar. Die Prüfung der EMV-Aspekte ist in den atomrechtlichen Verfahren mittlerweile zum festen Bestandteil geworden. Die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) hat im Jahre 2002 Beratungen zur „Nachweisführung der EMV der Leittechnik in kerntechnischen Anlagen“ durchgeführt und hierzu eine Empfehlung [2] abgegeben, in der es heißt:

Auf Basis der Beratungen im RSK-Ausschuss EE, bei denen der Umfang und die Vorgehensweise bei der Analyse und Nachweisführung (EMV-Lastenheft des VGB [3]) einerseits und zugrunde zu legende Anforderungen und Bewertungsmaßstäbe (EMV-Leitfaden der TÜVe [1]) andererseits dargestellt und beraten wurden, kommt die RSK zum Ergebnis, dass die sicherheitstechnischen Anforderungen bezüglich der EMV-Problematik mit diesen Unterlagen vollständig und nachvollziehbar dargestellt sind. Nach Ansicht der RSK beschreiben diese Unterlagen für die Behandlung der EMV-Problematik den Stand von Wissenschaft und Technik.

Die Überarbeitung dieses Leitfadens [1] beinhaltet die fortgesetzte Einbringung von Erfahrungen aus durchgeführten Nachweisverfahren, insbesondere die im Anhang „Elektromagnetische Störaussendung in kerntechnischen Anlagen – Relevante Grenzwerte und Störsicherheitsabstand“ (aufgenommen beim TÜVIS-Änderungsdienst April 2011) behandelte elektromagnetische Störaussendung. Geringfügige Änderungen ergaben sich auch an der Anlage 1. Weiterhin wurden redaktionelle Änderungen vorgenommen. Die Abstimmung dieser Überarbeitung mit den in der Kerntechnik tätigen TÜV'en erfolgte im Jahr 2010 durch schriftliche Umfrage im Facharbeitskreis „Leit- und Elektrotechnik“ des VdTÜV.

1 Einleitung

1.1 Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) und Atomgesetz (AtG)

Seit dem 1.1.1996 ist das EMVG [4] vollinhaltlich gültig. Das bedeutet, dass grundsätzlich jedes elektrotechnische Erzeugnis, das in Verkehr gebracht wird, die Schutzanforderungen (Begrenzung der Störaussendung, Aufweisen angemessener Störfestigkeit) erfüllen muss. EMV ist damit nach dem Stand der Technik eine geforderte Produkteigenschaft; jedem elektrotechnischen Erzeugnis wird eine Basis-EMV abverlangt. Vom Einhalten der Schutzanforderungen geht das EMVG aus, wenn die Betriebsmittel die einschlägigen harmonisierten europäischen Normen einhalten. Die im Rahmen des EMVG anzuwendenden europäischen Normen sind gelistet im Amtsblatt der Europäischen Union [5] und nach ihrer Umsetzung in DIN-/VDE-Normen im Amtsblatt der Bundesnetzagentur.

Ein Hauptziel des EMVG als nationale Umsetzung der entsprechenden europäischen EMV-Richtlinie besteht in der Beseitigung von Handelshemmnissen zwischen den EU-Mitgliedsstaaten. Bei der Bewertung der EMV elektrischer Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung in Kernkraftwerken (KKW) hat sich gezeigt, dass das EMVG, zum einen bedingt durch diese Zielsetzung, wenig Hilfestellung bietet. Zum anderen ist es nach EMVG nicht erforderlich, beispielsweise für einzelne sicherheitstechnisch wichtige leittechnische Funktionen und die dazugehörigen Systeme und Einrichtungen in einem KKW (entsprechend einer ortsfesten Anlage gemäß EMVG) einen expliziten EMV-Nachweis zu führen. Desgleichen bedarf es nach EMVG i. Allg. keines Nachweises bei elektronischen Baugruppen, die im KKW zum Einsatz kommen. Es ist daher festzustellen, dass die Erfüllung der Forderungen, die sich aus dem EMVG ergeben, hinsichtlich der Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit in kerntechnischen Anlagen nicht als ausreichende technische Basis angesehen werden kann.

Diese Feststellung deckt sich mit der Aussage im Leitfaden zur europäischen EMV-Richtlinie [19], die ausdrücklich den Ausschluss von Sicherheitsanforderungen aus dem Anwendungsbereich der EMV-Richtlinie anspricht und darauf hinweist, dass in sicherheitsrelevanten Richtlinien höhere Anforderungen für bestimmte elektromagnetische Phänomene gestellt werden können.

In atomrechtlichen Verfahren ist gemäß AtG immer die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch die Errichtung und den Betrieb einer kerntechnischen Anlage zu treffen. Dies impliziert, dass alle technischen und organisatorischen Maßnahmen hinsichtlich EMV vorzusehen sind, um die aus sicherheitstechnischer Sicht erforderliche Störfestigkeit und Begrenzung der Störaussendung für die elektrischen und leittechnischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung zu gewährleisten.

Dieser allgemeine und umfassende Ansatz bedingt, dass auch das umfangreiche Wissen, welches gerade mit der Einführung und Umsetzung des EMVG akkumuliert wurde, in den atomrechtlichen Verfahren (insbesondere in den Typ- und Eignungsprüfungen) durch die Anwendung des konventionellen EMV-Normenwerkes (IEC, CENELEC, CISPR, DKE)¹ genutzt werden muss.

Die in atomrechtlichen Verfahren zu formulierenden Forderungen sind in diesem Leitfaden, differenziert nach der sicherheitstechnischen Bedeutung der Einrichtungen, angegeben. Ein Abgleich mit den Betriebsmitteldefinitionen gemäß EMVG wird dabei bewusst nicht vorgenommen. Folgende Begriffe in Anlehnung an die KTA-Begriffe-Sammlung [6] werden verwendet:

Anlage:	Kernkraftwerk, kerntechnische Anlage (z. B. Forschungsreaktor).
Anlagenteil:	Bauliche oder maschinentechnische oder elektrotechnische Teile einer Anlage. Dies können beispielsweise Gebäude oder Zusammenschaltungen mehrerer elektrotechnischer und verfahrenstechnischer Teile (Notstandssystem, zusätzliches Nachkühlsystem) sein.
Baugruppe:	Ein aus Bauteilen bestehender Teil einer Komponente. Baugruppen werden hier als elektrische und elektronische Bestandteile von Systemen verstanden, die im Regelfall kein eigenes Gehäuse besitzen und allein nicht arbeitsfähig sind (z. B. Messumformer im Steckkartenformat, Trennverstärker, Vorrangbaugruppe, elektronische Komponenten der Schaltanlagensteuerungs- und -schutztechnik).
Gerät:	Elektrische und elektronische Komponenten mit eigenem Gehäuse und Stromversorgungsanschluss (z. B. Messumformer mit Gehäuse, SPS mit Gehäuse für Wandbefestigung).
System:	Zusammenfassung von Komponenten zu einer technischen Einrichtung, die als Teil der Anlage selbständige Funktionen ausführt. System wird hier verstanden als Verbindung aus Baugruppen und Geräten; Baugruppen sind eingebaut in Schränke, die miteinander verkabelt sind (z. B. Dieselsteuerung oder leittechnische Systeme, die aus Gerätefamilien wie ISKAMATIC, TELEPERM zusammengesetzt sein können).
Systemteile:	Abgrenzbare Teile eines Systems (z. B. Verarbeitungsschränke der Neutronenflussmessung).

1.2 EMV-Normen

Für die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung in kerntechnischen Einrichtungen stellen die Normen DIN IEC 60780 [7] und DIN IEC 61513 [8] System- und Qualifizierungsanforderungen, die die Auslegung und Qualifizierung der Einrichtungen auch unter dem Gesichtspunkt von außen einwirkender elektromagnetischer Beeinflussungen fordern, jedoch keine konkreten EMV-Anforderungen formulieren.

¹

IEC...Internationale Elektrotechnische Kommission
CENELEC...Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normen
CISPR... Internationaler Sonderausschuss für Funkstörungen der IEC
DKE...Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Nicht unerwähnt bleiben darf das Bemühen auf IEC-Ebene, einen Standard mit Anforderungen an EMV-Prüfungen für sicherheitstechnisch wichtige Leittechnik in Kernkraftwerken zu erstellen. Dieser Standard wurde auch als Entwurf DIN IEC 62003 [18] in Deutschland der Fachöffentlichkeit zur Information vorgelegt. Die zuständigen deutschen Normungsgremien haben sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene gegen diesen Normentwurf gestimmt, vgl. auch das nationale Vorwort in [18].

In Ermangelung kerntechnikspezifischer EMV-Standards ist es daher notwendig, auf die existierenden DIN-, VDE-, EN- und IEC-Normen zurückzugreifen. Die Anwendung des konventionellen EMV-Normenwerkes ist technisch zielführend und für viele Aufgabenstellungen im kerntechnischen Bereich abdeckend. Zu beachten ist, dass das konventionelle EMV-Normenwerk einer speziellen Strukturierung in Grundnormen, Fachgrund- bzw. Querschnittsnormen und Produkt- bzw. Produktfamiliennormen unterliegt, für die hinsichtlich der Anwendbarkeit Rangfolgen definiert sind.

Beispielsweise sind im Kraftwerksbereich in vielen Fällen die EMV-Fachgrundnormen für den Industriebereich DIN EN 61000-6-2 [9] und DIN EN 61000-6-4 [10] anwendbar. Für eine Vielzahl der elektrischen und elektronischen Einrichtungen liegen entsprechende EMV-Produkt- bzw. Produktfamiliennormen vor. Sobald eine Produktnorm (bzw. eine Produktfamiliennorm) für das zu prüfende Gerät oder System vorliegt, hat diese Vorrang vor der Fachgrundnorm. Produktnormen wiederum haben Vorrang vor Produktfamiliennormen. Die Einhaltung dieser Rangfolge muss für eine EMV-Bewertung im kerntechnischen Bereich nicht immer zielführend sein. Bei der Anwendung der konventionellen EMV-Normen auf die jeweilige elektromagnetische Umgebung muss darauf geachtet werden, dass die für diese Umgebung relevanten Störphänomene vollständig berücksichtigt werden. Zum Beispiel sind Stoßspannungen (engl.: surge voltages), die aus Blitzentladungen und Schalthandlungen generiert werden, in kerntechnischen Anlagen eines der wichtigsten elektromagnetischen Störphänomene überhaupt und deshalb unbedingt zu berücksichtigen.

An dieser Stelle seien noch einige Normen genannt, deren Berücksichtigung im Rahmen der EMV-Bewertung hilfreich sein kann oder sorgfältig abgewogen werden muss:

- Die Produktfamiliennorm DIN EN 61326-1 [11] legt Mindestanforderungen bzgl. der EMV (Störfestigkeit und Störaussendung) von elektrischen Betriebsmitteln, die unter anderem in der Prozessleittechnik sowie in der Mess- und Prüftechnik zum Einsatz kommen, fest. Weiterhin werden Vorgaben für die Inhalte von EMV-Prüfplänen und -Prüfberichten spezifiziert.

In der Normenreihe DIN EN 61326 gibt es ebenfalls die Norm DIN EN 61326-3-1 [12], welche sich explizit mit den EMV-Anforderungen an elektrische Betriebsmittel auseinandersetzt, die für die Ausführung von Sicherheitsfunktionen vorgesehen sind. Mit diesem Fokus werden bspw. Störfestigkeitsprüfungen mit erhöhten Prüfschärfen definiert. Ebenso wird, abweichend von den bekannten Bewertungskriterien für das erlaubte Verhalten von Prüflingen während und nach der Beaufschlagung mit elektromagnetischen Störgrößen, ein Bewertungskriterium definiert, das für Sicherheitsfunktionen anwendbar ist und auch die Zerstörung elektrischer Betriebsmittel durch Beaufschlagung mit elektromagnetischen Störgrößen zulässt, solange diese sicherheitsgerichtet ausfallen. Diese Sicherheitsphilosophie ist derjenigen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung von Kernkraftwerken gegenüberzustellen und die Anwendbarkeit der DIN EN 61326-3-1 [12] ist abzuwägen.

- Die Technische Spezifikation IEC TS 61000-6-5 [13] beschreibt Störfestigkeitsanforderungen im Sinne einer Fachgrundnorm für Kraftwerks- und Schaltanlagenumgebungen, die zwar keinen normativen Charakter besitzen, jedoch für ergänzende Festlegungen für elektrische Betriebsmittel, die in der gegenüber der Leittechnik rauerer elektromagnetischen Umgebung von Schaltanlagen zum Einsatz kommen, herangezogen werden kann.

Für die Bewertung der EMV komplexer elektrischer Anlagen gibt es bis heute keine Norm im zivilen Normungsbereich. Die prinzipielle Vorgehensweise bei EMV-Analysen ist in der Verteidigungsgerätenorm VG 95374-4 [14] des militärischen Bereichs beschrieben.

2 Verfahren zum Nachweis der EMV

2.1 Vorgehensweise

In der Anlage 1 ist ein Entscheidungs-Flussbild für die Vorgehensweise bei der Prüfung von EMV-Gesichtspunkten in atomrechtlichen Verfahren dargestellt. Darin werden Abstufungen hinsichtlich sicherheitstechnischer Bedeutung der Einrichtungen, Änderungsumfang und Störbeeinflussungspotential vorgenommen. Die Definitionen der in diesem Flussbild verwendeten Begriffe sind in den folgenden Abschnitten enthalten. Die Kategorisierung der Einrichtungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung erfolgt dabei nach den RSK-Leitlinien [15], deren Definitionen angelehnt an die der DIN IEC 61226 [16] sind.

2.2 Grundsätzliches zu EMV-Prüfungen

Der anlagenspezifischen EMV-Prüfung liegen in der Regel anlagenunabhängige Prüfungen zugrunde. Alle heute standardisierten EMV-Prüfungen beziehen sich grundsätzlich auf die „äußere EMV“, d. h. Einwirken und Aussenden äußerer elektromagnetischer Störgrößen auf ein bzw. durch ein Gerät / System. Dabei hat das Gerät / System definierte Schnittstellen mit seiner elektromagnetischen Umgebung (Gehäuse und Leitungsanschlüsse). Hier besteht ein wesentlicher Unterschied zur früheren baugruppenbezogenen Prüfung nach KTA-Regeln. Hinzu kommt, dass EMV-Tests an neuen leittechnischen Systemen im Regelfall an repräsentativen Konfigurationen durchgeführt werden, d. h. die bei der Typprüfung vorliegende Baugruppenbestückung wird nicht mit der Baugruppenbestückung für eine spezielle Anlagenanwendung übereinstimmen. Prüfungen für alle auftretenden Konfigurationen sind nicht möglich. In berechtigten Einzelfällen wird aufgrund der sicherheitstechnischen Bedeutung eine Prüfung mit der anwenderspezifischen Bestückung unter Berücksichtigung der elektromagnetischen Umgebung des Einsatzortes durchzuführen sein.

Erläuterungen zur statistischen Aussagekraft standardisierter EMV-Prüfungen sind in Anlage 2 enthalten.

Unter „innerer“ EMV (Eigenstörfestigkeit) wird der Aspekt verstanden, dass geräte- bzw. systeminterne Störquellen nicht zur Beeinflussung der Geräte- bzw. Systemfunktionen führen dürfen. Die Einhaltung dieser Forderung ist nicht Ziel standardisierter EMV-Prüfungen und wird normalerweise auch nicht gesondert geprüft, sondern obliegt dem Hersteller des Gerätes / Systems.

Es wird jedoch auch den Fall geben, dass Baugruppen mehrerer leittechnischer Systemfamilien in einem Schrank untergebracht werden² und der Hersteller über die Eigenstörfestigkeit dieses neu konfigurierten Systems keine Aussage treffen kann. Hier ist im Rahmen des anlagenspezifischen Systemtests der Nachweis der korrekten leittechnischen Funktion in der für die jeweilige Anlage projektierten Vollbestückung (Hardware und Software aller im Schrank befindlichen Systeme) zu führen. Damit wird die Eigenstörfestigkeit des neu konfigurierten Systems (Mischkonfiguration) nachgewiesen. Der Nachweis der korrekten leittechnischen Funktion erfolgt zunächst ohne äußere Beaufschlagung mit elektromagnetischen Störgrößen. In Abhängigkeit von der sicherheitstechnischen Bedeutung (insbesondere bei nicht eindeutig sicherheitsgerichteten Aktionen) ist abzuwägen, inwieweit noch Prüfungen mit äußerer Beaufschlagung mit elektromagnetischen Störgrößen notwendig sind.

2.3 Betriebliche elektrische Einrichtungen

In diese Gruppe fallen die Einrichtungen der betrieblichen Leit- und Informationstechnik sowie der betrieblichen elektrischen Energietechnik. Die Rückwirkungen dieser Einrichtungen auf die elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung sind zu betrachten, s. Anlage 1.

² Es wurden bereits Mischbestückungen aus TELEPERM XS und ISKAMATIC A/B sowie aus TELEPERM XS und TELEPERM C 8000 realisiert.

2.4 Elektrische Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung

In diese Gruppe fallen alle leittechnischen Einrichtungen, die Leittechnik-Funktionen der Kategorien 1, 2 und 3 gemäß RSK-Leitlinien [15] ausführen. Hinsichtlich der Qualifizierungsanforderungen gemäß RSK-Leitlinien sind die Einrichtungen, die Leittechnik-Funktionen der Kategorien 1 und 2 ausführen, in die Geräte-Kategorie E1 einzuordnen. Die Einrichtungen, die Leittechnik-Funktionen der Kategorie 3 ausführen, sind in die Geräte-Kategorie E2 einzuordnen.

Verbraucher und Versorgungseinrichtungen der elektrischen Energietechnik, die eingesetzt werden, um die Leittechnik-Funktionen der Kategorien 1, 2 und 3 zu realisieren, werden im Entscheidungs-Flussbild entsprechend diesen Kategorien behandelt.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Komponenten der „klassischen Starkstromtechnik“, die keine elektronischen Betriebsmittel (z. B. SPS, Bussysteme, elektronische Schutz- und Steuereinrichtungen) enthalten, eine sehr viel größere Stör- und Zerstörfestigkeit aufweisen als elektronische Komponenten und damit im Regelfall nicht als relevante Störsenken zu betrachten sind. Zum anderen ist bei diesen Komponenten, für die teilweise auch keine EMV-Prüfungen genormt sind, mit einer funktionsbedingten Störaussendung zu rechnen, die nur durch Maßnahmen an den Kopplungswegen beherrscht werden kann. Dies ist ein Punkt, dem in der EMV-Analyse Beachtung zu schenken ist.

Beispiel:

Zu Niederspannungs-Schaltgeräten ist in der zutreffenden Norm [17] Folgendes festgelegt: Betriebsmittel ohne elektronische Schaltkreise benötigen keine Störfestigkeits- und Störaussendungs-Nachweise. Für solche mit elektronischen Schaltkreisen sind EMV-Prüfungen genormt.

2.5 Änderungsumfang

Änderungen an elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung bestehender kerntechnischer Anlagen können sich zum einen auf das Einbringen von Geräten, Systemteilen oder Systemen beziehen. In diesem Fall sind die Schnittstellen zur elektromagnetischen Umgebung aufgrund der Abgegrenztheit des neuen Gerätes / Systems (Gehäuse, Verkabelung) offenkundig.

Andererseits ist es möglich, dass in bereits in der Anlage installierte Systeme und Geräte neue oder überarbeitete (Redesign) Baugruppen eingebaut werden sollen. EMV-Prüfungen an einzelnen Baugruppen ohne deren typische elektromagnetische Umgebung besitzen wenig Aussagekraft. Hier muss eine EMV-Prüfung durchgeführt werden, bei der die Baugruppe beispielsweise in den Systemschrank, der auch alle anderen Komponenten für die Funktion der Baugruppe enthält, eingebaut ist.

Das angestrebte Ziel von EMV-Prüfungen an Baugruppen kann unterschiedlich definiert werden. Eine mögliche Vorgabe ist, die Baugruppen EMV-Prüfungen mit Prüfschärfen, die den aktuellen EMV-Normen entnommen werden, zu unterziehen. Dabei besteht die Möglichkeit, dass das „Altsystem“ insgesamt die Prüfung nicht besteht, weil die heute genormten EMV-Prüfungen zum Zeitpunkt der Entwicklung der in den KKW installierten leittechnischen Systeme noch nicht bekannt waren.

Eine andere Vorgabe kann darin bestehen, die Baugruppe einer vergleichenden Betrachtung zu unterziehen, bei der die Vorgängerbaugruppe oder vergleichbare Baugruppen des „Altsystems“ mit getestet werden. Der Test an der neuen Baugruppe muss mindestens die Störschwelle des „Altsystems“ nachweisen. Damit kann der Nachweis geführt werden (relative Aussage), dass die EMV des „Altsystems“ durch die neue Baugruppe nicht schlechter und damit das Sicherheitsniveau gehalten wird.

Beispiele:

Für das System ISKAMATIC B wurden die Vorrangbaugruppe AV17 und die Antriebssteuerbaugruppe AS17 aus der Überarbeitung alter Baugruppen entwickelt. Bei den EMV-Prüfungen wurde für den Einsatz der Baugruppen im KKW Gundremmingen der Nachweis geführt, dass sich die EMV des Gesamtsystems nicht verschlechtert. Hierzu wurden die Vorgängerbaugruppen AV22 und AS12 mit in die Prüfungen einbezogen.

Eine Änderung der EMV-Eigenschaften liegt auch vor, wenn ein Leittechniksystem in einem anderen Schranktyp im KKW installiert wird, als das bei den EMV-Prüfungen der Fall war. Beim Einsatz des Systems SINUPERM N (rechnerbasierte Neutronenflussinstrumentierung) im KKW Grafenrheinfeld wurde statt des WKF-EMV-Industrieschranks der Standardschrank STS42/EMV verwendet. Zu diesem Sachverhalt wurde ein theoretischer Nachweis der Gleichwertigkeit der Schrankausführungen durch ein EMV-Labor geführt.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sogenannte Analogie-/Plausibilitätsschlüsse der Hersteller von alten auf neue Baugruppen oder von einem Schranksystem auf das andere einer detaillierten Bewertung zu unterziehen sind. In Zweifelsfällen sind ergänzende Prüfungen durchzuführen.

2.6 EMV-Analyse und Prüfung der EMV-Kennwerte

Entsprechend der im Abschnitt 2.1 erläuterten Abstufung gemäß der sicherheitstechnischen Bedeutung, s. auch Anlage 1, ist die Prüftiefe festgelegt. So werden für Einrichtungen der Qualifikationskategorie E1 vollständige bzw. dem Änderungsumfang angepasste EMV-Analysen durchgeführt. Hinsichtlich der Qualifikationskategorie E2 und bei der Prüfung potentieller Rückwirkungen betrieblicher Einrichtungen auf Einrichtungen des Sicherheitssystems und der anderen Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung ist dagegen die Prüfung der EMV-Kennwerte ausreichend.

Bei Neuanlagen und bei Änderungsmaßnahmen im Rahmen von atomrechtlichen Verfahren ist zur Sicherstellung der EMV der Geräte und Systeme, die als Bestandteile einer Anlage Leittechnik-Funktionen der Kategorien 1 und 2 gemäß RSK-Leitlinien [15] ausführen, nach dem Stand von Wissenschaft und Technik eine EMV-Analyse durchzuführen und zur Prüfung vorzulegen, die u. a.

- die Ermittlung der elektromagnetischen Umgebungsdaten
- die Analyse von Beeinflussungsfällen
- die Definition von Schutzmaßnahmen und Schnittstellen sowie
- die Definition von EMV-Prüfungen an Geräten und Systemen

einschließt. Die EMV-Prüfnachweise für die Geräte und Systeme sind in einem solchen Detaillierungsgrad vorzulegen, dass die Einhaltung der in der EMV-Analyse spezifizierten Werte geprüft werden kann.

Beispiele:

Vollständige EMV-Analysen lagen für Neubau-Projekte vor (Forschungsreaktor München II, zusätzliches Nachkühlsystem für KKW Gundremmingen). VGB Powertech führt für alle deutschen KKWe einen anlagenübergreifenden EMV-Nachweis für sogenannte Altsysteme der Leittechnik, der ebenfalls eine EMV-Analyse enthält, s. EMV-Lastenheft [3].

Solange für die bestehenden kerntechnischen Anlagen keine anlagenspezifischen Beschreibungen der elektromagnetischen Umgebung am Einsatzort und keine Aussagen zur Störfestigkeit der bestehenden Leittechniksysteme vorliegen, kann bei Nachrüstung von Systemen und Geräten auf die Fachgrundnormen für den Industriebereich [9, 10] zurückgegriffen werden, die in den wesentlichen Punkten abdeckend sind, siehe auch Abschnitt 1.2. In Einzelfällen können auch durch Messungen elektromagnetische Umgebungsbedingungen definiert und hieraus Störfestigkeitsanforderungen für neue Einrichtungen abgeleitet werden. Die theoretisch bzw. messtechnisch ermittelten Werte fließen in eine dem Änderungsumfang angepasste EMV-Analyse ein.

Beispiel:

Beim Austausch der Verarbeitungsschränke des Neutronenfluss-Messsystems (SINUPERM N, Leistungsbereichs- und LVD-Messkanäle) im KKW Grafenrheinfeld wurden die EMV-Prüfungen weitgehend nach den Anforderungen der Fachgrundnormen durchgeführt. Die Störfestigkeitsanforderungen gegen Stoßspannungen wurden unter Berücksichtigung des Zustandes des Blitzschutzsystems abgeleitet. Zur Festlegung der Störfestigkeitsanforderungen gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder, wurde das Störklima an den Einsatzorten der Schränke in der Anlage gemessen.

Die Prüfung der EMV-Kennwerte kann sowohl die Störaussendung als auch die Störfestigkeit umfassen, wobei mit einer gegenüber der EMV-Analyse stark verringerten Prüftiefe vorgegangen wird. Bei der Prüfung der EMV-Kennwerte der Störaussendung werden vorzugsweise die elektromagnetischen Rückwirkungen, die von den neuen Einrichtungen auf sicherheitstechnisch bedeutsame Systeme ausgehen können, betrachtet. Damit wird die EMV-Betrachtung auf eine Wirkungsrichtung fokussiert. Rückwirkungen können beispielsweise durch hohes Störpotential und/oder räumliche Nähe entstehen.

Zur Bewertung der Störaussendung, die im Rahmen der EMV-Analyse oder bei der Prüfung der EMV-Kennwerte im EMV-Labor, beim Hersteller oder in der kerntechnischen Anlage gemessen werden kann, sind Grenzwerte oder Störsicherheitsabstände festzulegen. Hierzu gibt der Anhang eine Hilfestellung.

2.7 EMV-Nachweise über durchgeführte Prüfungen

Zur Prüfung von EMV-Kennwerten sind Nachweise³ der Hersteller über EMV-Prüfungen vorzulegen. Für die geprüfte Einrichtung müssen (unter Angabe der Identifikation) die normative Grundlage (Produkt-, Produktfamilien- bzw. Fachgrundnorm) sowie Datum, Ort und Ergebnis der EMV-Prüfung ersichtlich sein. Hier können auch Ergebnisse aus Prüfungen zur Erlangung der EG-Konformität akzeptiert werden, wenn sie die vorstehend genannten Inhalte aufweisen. Nicht akzeptiert werden kann dagegen der alleinige Verweis auf eine CE-Kennzeichnung, da daraus keine Informationen über durchgeführte Prüfungen abzuleiten sind⁴. Ebenfalls nicht akzeptiert werden können Herstellererklärungen zur Konformität, die nicht auf tatsächlich durchgeführten Prüfungen beruhen⁵.

Im Rahmen einer EMV-Analyse sind detaillierte EMV-Prüfberichte, die von akkreditierten EMV-Testzentren erstellt wurden, vorzulegen. Diese gehen über den Umfang der o. a. Herstellernachweise hinaus. Aus ihnen müssen alle Prüfbedingungen erkennbar sein, wie:

- Identifikation des Prüflings
- Betriebsbedingungen des Prüflings beim Test
- Betriebsarten des Prüflings beim Test
- Prüfaufbau (Prüfling als Teil eines Systems)
- beaufschlagte Anschlüsse des Prüflings
- Bewertungskriterien für das Verhalten des Prüflings selbst und des übergeordneten Systems während und nach der Beaufschlagung.

³ Bei der Festlegung der Nachweistiefe ist die sicherheitstechnische Bedeutung der potentiell beeinflussten Einrichtungen zu beachten.

⁴ Außerdem ist zu beachten, dass sich eine CE-Kennzeichnung nicht nur auf die EMV-Richtlinie, sondern auch auf andere europäische Richtlinien (z. B. Maschinen-Richtlinie) beziehen kann.

⁵ Der Hersteller kann gemäß EMVG auch eine EMV-Bewertung seines Produktes durchführen und hieraus folgend die Konformität erklären, ohne die einschlägigen harmonisierten Normen anzuwenden!

2.8 Prüfung der EMV-gerechten Installation

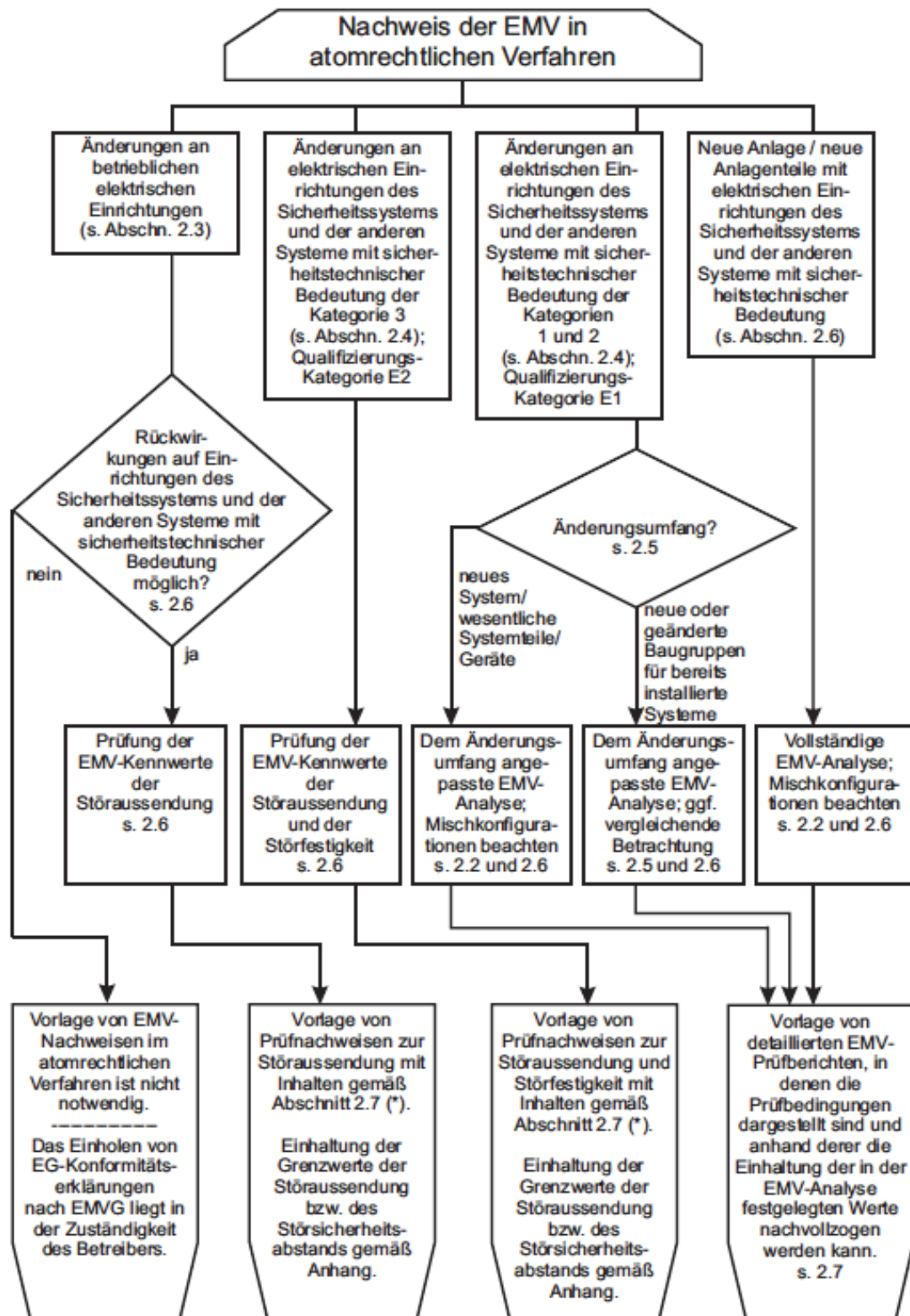
Die EMV einer großflächigen Anlage kann bekanntermaßen nur sichergestellt werden, wenn entsprechende EMV-Aufbau Richtlinien (Schirmung, Erdung, Leitungsführung, Überspannungsschutz, Filterung usw.) konsequent umgesetzt und geprüft werden. Diese Prüftätigkeit muss auch den EMV-gerechten Aufbau von Schaltschränken umfassen. Der Hintergrund für diese Forderung ergibt sich aus den höheren Verarbeitungsfrequenzen und den niedrigeren Signalpegeln/-energien moderner Elektroniksysteme, bei denen elektromagnetisch bedingte Störungen auch innerhalb eines Schrankes möglich sind.

Literaturverzeichnis

- [1] Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Nachweis der EMV in atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsverfahren; TÜVIS Prüfgrundlagen Kerntechnik; Bericht Nr. 45 der Facharbeitskreise der TÜV-Leitstelle Kerntechnik beim VdTÜV:
R1 vom 09.11.1998;
R2 vom 04.05.2005.
- [2] BAnz Nr. 30 vom 13.02.2004, S. 2532: 352. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission am 13.06.2002; RSK-Empfehlung: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Nachweisführung der EMV der Leittechnik in kerntechnischen Anlagen.
- [3] Siemens-Arbeitsbericht Nr. KWU NLL1/95/0201e vom 06.08.2001: Projekt VGB; Lastenheft „Nachweisführung Elektromagnetische Verträglichkeit für Altsysteme der Leittechnik – Vorgehensweise und Darstellung der Tätigkeiten“.
Anmerkung:
Zu diesem Lastenheft wird derzeit eine Ergänzung, die durch AREVA NP erstellt wurde (SDZ NLEO-G/2008/de/0123B von 2010), im VdTÜV LKT abgestimmt.
- [4] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) vom 26. Februar 2008 (BGBl. I S. 220).
- [5] Amtsblatt der Europäischen Union; C 102/19 vom 21.04.2010: Veröffentlichung der Titel und der Bezugsdaten der harmonisierten Normen (unterliegt der Aktualisierung).
- [6] KTA-Begriffe-Sammlung; Kerntechnischer Ausschuss, Salzgitter; KTA-GS-12 vom Januar 2010.
- [7] DIN IEC 60780 (Dez. 2000): Kernkraftwerke; Elektrisches Gerät des Sicherheitssystems – Qualifizierung.
- [8] DIN IEC 61513 * VDE 0491 Teil 2 (Okt. 2002): Kernkraftwerke; Leittechnik für Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Allgemeine Systemanforderungen.
- [9] DIN EN 61000-6-2 * VDE 0839 Teil 6-2 (März 2006): Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 6-2: Fachgrundnormen – Störfestigkeit für Industriebereich.
- [10] DIN EN 61000-6-4 * VDE 0839 Teil 6-4 (Sep. 2007): Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Teil 6-4: Fachgrundnormen – Störaussendung für Industriebereich.
- [11] DIN EN 61326-1 * VDE 0843-20-1 (Okt. 2006): Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61326-1:2005); Deutsche Fassung EN 61326-1:2006.
- [12] DIN EN 61326-3-1 * VDE 0843-20-3-1 (Nov. 2008): Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte – EMV-Anforderungen – Teil 3-1: Störfestigkeitsanforderungen für sicherheitsbezogene Systeme und für Geräte, die für sicherheitsbezogene Funktionen vorgesehen sind (Funktionale Sicherheit) – Allgemeine industrielle Anwendungen (IEC 61326-3-1:2008); Deutsche Fassung EN 61326-3-1:2008.
- [13] IEC TS 61000-6-5 (Juli 2001): Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-5: Generic standards – Immunity for power station and substation environments.
- [14] VG 95374-4 (Sep. 2006): Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz; Programme und Verfahren; Verfahren für Systeme und Geräte.

-
- [15] RSK: Leitlinien für Druckwasserreaktoren; BAnz Nr. 69 vom 14.04.1982, Beilage Nr. 19/82.
1. Änderung: Neufassung des Abschnitts 21.2 der Leitlinie (Empfehlung aus der 181. RSK-Sitzung am 15.12.1982); BAnz Nr. 106 vom 10.06.1983;
 2. Änderung: Neufassung des Abschnitts 21.1 der Leitlinie (Empfehlung aus der 194. RSK-Sitzung am 21.03.1984); BAnz Nr. 104 vom 05.06.1984;
 3. Änderung: Neufassung des Abschnitts 7 der Leitlinie (Empfehlung aus der 298. RSK-Sitzung am 20.03.1996); BAnz Nr. 158a vom 23.08.1996;
 4. Änderung: Berichtigung (BMU-Bekanntmachung vom 29.10.1996); BAnz Nr. 214 vom 15.11.1996.
- [16] DIN IEC 61226 * VDE 0491-1 (Sep. 2005): Kernkraftwerke – Leittechnische Systeme mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Kategorisierung leittechnischer Funktionen (IEC 61226:2005).
- [17] DIN EN 60947-1 * VDE 0660-100 (Apr. 2008): Niederspannungsschaltgeräte – Teil 1: Allgemeine Festlegungen (IEC 60947-1:2007); Deutsche Fassung EN 60947-1:2007.
- [18] Entwurf DIN IEC 62003 * VDE 0491-8 (März 2009): Kernkraftwerke - Leittechnik mit sicherheitstechnischer Bedeutung – Anforderungen zur Prüfung elektromagnetischer Verträglichkeit (IEC 45A1725/FDIS:2008).
- [19] Guide for the EMC Directive 2004/108/EC (8th February 2010).

Anlage 1

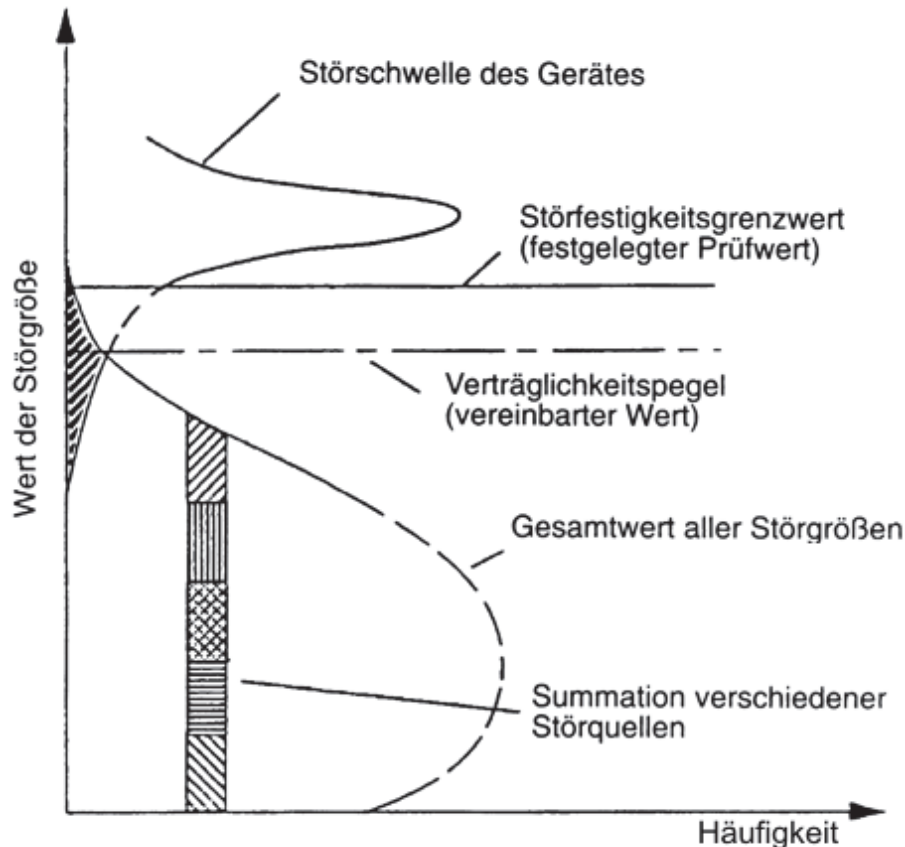


(*) ... Die Bewertung der Störaussendung kann auch durch Vor-Ort-Messungen in der Anlage erfolgen, wenn der Aufwand für die Bewertung der Einzelnachweise der Geräte den Aufwand integraler Vor-Ort-Messungen übersteigt. Der Vor-Ort-Messung sollte unbedingt der Vorzug gegeben werden, wenn die elektromagnetische Störaussendung erst nach Applikation der neuen Geräte in der Anlage bewertbar ist, bspw. nach dem Einbau neuer Umrichter für bestehende, drehzahlveränderbare elektrische Antriebe.

Anlage 2

Statistische Aussagekraft standardisierter EMV-Prüfungen

Die Nachweisführung zur elektromagnetischen Verträglichkeit der elektrischen Einrichtungen im Rahmen einer EMV-Analyse orientiert sich an den Anforderungen, die aus der elektromagnetischen Umgebung zu erwarten sind. Bei der Bewertung der Ergebnisse der EMV-Prüfungen ist zu berücksichtigen, dass sowohl die elektromagnetischen Störgrößen wie auch die Störschwellen der Systemkomponenten einer statistischen Verteilung unterliegen, s. nachfolgendes Bild:



Elektromagnetische Störbeeinflussungen können daher, trotz nachgewiesener Störfestigkeit des Prüflings, unter realen Einsatzbedingungen Zufallsausfälle von Komponenten bewirken.

Ein alternatives Ziel zum „Nachweis der Störfestigkeit“ ist die „Feststellung der Störschwelle“. Bei der Feststellung der Störschwelle wird die Beanspruchung des Prüflings solange gesteigert, bis eine Störung des Systems auftritt. Das Ergebnis der Prüfung ist eine Störbeanspruchung, die die Grenze zwischen „ungestört“ und „gestört“ kennzeichnet. Diese Prüfung ist ein Mittel zur Optimierung von Systemen bzw. zur Ermittlung des Störsicherheitsabstandes.

Dem Problem von Zufallsausfällen kann bei sicherheitskritischen Einrichtungen aber auch mit Hilfe fehlerbeherrschender Maßnahmen, die über Funktion, Auslegung und spezielle Gestaltung der Schnittstellen (Redundanz, Diversität, Lichtwellenleiter-Einsatz usw.) eingebracht werden, begegnet werden.

Anhang

Elektromagnetische Störaussendung in kerntechnischen Anlagen – Relevante Grenzwerte und Störsicherheitsabstand

Inhalt

Vorwort	15
1 Grenzwerte in EMV-Normen.....	15
1.1 Einführung	15
1.2 Eigenschaften der Detektoren.....	15
1.3 Vergleich der Anzeigen von Spitzenwert- und von Quasispitzenwert- Messempfängern	16
1.4 Gerätegruppen und Einsatzumgebungen	17
1.5 Grenzwerte der Störfeldstärke	17
1.6 Grenzwerte der Störspannung	18
1.7 Grenzwerte des Störstroms.....	18
1.8 Grenzwerte leitungsgeführter Störaussendung für Telekommunikationsanschlüsse	18
1.9 Bei leitungsgeführter Störaussendung zu prüfende Anschlüsse	18
2 Anwendung der Grenzwerte auf neue Geräte und Systeme.....	18
2.1 Hauptsächlich praktizierte Vorgehensweise	18
2.2 Neuartige Schnittstellen.....	19
2.3 Leistungsstarke Komponenten der elektrischen Energietechnik	19
3 Störsicherheitsabstand für Geräte und Systeme im Bestand.....	19
Abkürzungsverzeichnis.....	21
Schreibweise und Umrechnung in dB	21
Literaturverzeichnis.....	22
Bilder	
1 Störfeldstärke-Grenzwerte in 10 m Messentfernung (Quasipeak-Detektor)	
2 Störspannungs-Grenzwerte (Quasipeak-Detektor)	
3 Störspannungs-Grenzwerte (Average-Detektor)	
4 Störstrom-Grenzwerte (Quasipeak-Detektor; ISN: 50 Ω entspr. 34 dB(Ω))	
5 Störstrom-Grenzwerte (Average-Detektor; ISN: 50 Ω entspr. 34 dB(Ω))	
6 Grenzwerte Telekommunikation leitungsgeführt (QP-Detektor; ISN: 150 Ω entspr. 44 dB(Ω))	
7 Grenzwerte Telekommunikation leitungsgeführt (AV-Detektor; ISN: 150 Ω entspr. 44 dB(Ω))	
8 Störspannungs-Grenzwerte und Störfestigkeit (Spitzenwertbetrachtung)	

Vorwort

Das Ziel dieses Anhangs ist es, zum einen die relevanten Grenzwerte aufzuzeigen, die auf neue Geräte und Systeme in den Kernkraftwerken anzuwenden sind, und zum anderen für Emissionsmessungen im Altbestand die EMV-Koordination mittels Störsicherheitsabstand darzulegen.

1 Grenzwerte in EMV-Normen

1.1 Einführung

In den EMV-Normen ist eine (z. T. verwirrende) Vielzahl von Grenzwertfestlegungen zu finden. Hierbei wird unterschieden nach:

- Frequenzbereichen
- Art der Störaussendung (leitungs- oder feldgebunden)
- Einsatzbereichen (Industrie-, Wohnbereich, ...) und Einsatzumgebungen
- Produktfamilien (ISM-, ITE-Geräte)
- Bewertungsverfahren, die in der Störaussendungs-Messtechnik implementiert sind (Signaldetektoren)
- usw.

Ein wichtiger Aspekt ist, dass die Grenzwerte in den meisten Fällen für bewertete Störsignale festgelegt sind, wobei die Bewertung mit Signaldetektoren durchzuführen ist. Bevor also auf die Grenzwerte im Detail eingegangen wird, sind zunächst einige Erläuterungen zu den Signaldetektoren erforderlich.

1.2 Eigenschaften der Detektoren

In der EMV-Messtechnik werden unterschiedliche Signaldetektoren zur Störsignalbewertung verwendet. Im Einzelnen sind in der Normenreihe EN 55016 [A1] der Quasispitzenwert-, der Mittelwert-, der Spitzenwert- und der Effektivwertdetektor beschrieben. Letzterer hat in der EMV bis heute allerdings keine Bedeutung, wohl aber in der Messtechnik für die elektromagnetische Verträglichkeit zur Umwelt (EMVU). In praktisch allen EMV-Normen mit wenigen Ausnahmen sind die Grenzwerte für Quasispitzenwert- und Mittelwertdetektion festgelegt, so dass diese beiden Detektoren gemäß derzeitiger Normung die wichtigsten sind. Tatsächlich kommt dem Spitzenwertdetektor eine ebenso bedeutsame Rolle zu, da mit ihm zeitlich gesehen die schnellsten Messungen durchgeführt werden können. Allen Detektoren ist gemeinsam, dass sie die empfangenen Störsignale gleichrichten. Die sich hinter dem Gleichrichter ergebende, sogenannte Richtspannung wird allerdings unterschiedlich durch Bewertungsfilter bzw. -funktionen bewertet.

Der **Spitzenwertdetektor** zeigt die maximale Amplitude der Richtspannung an. Dabei ist er so kalibriert, dass dieser Wert dem Effektivwert der Störsignalspannung entspricht, wenn diese rein sinusförmig ist. Sein Vorteil ist das extrem schnelle Ansprechverhalten. Er ermöglicht vergleichsweise kurze Messzeiten und wird deshalb auch bei allen EMV-Messungen zur Vormessung eingesetzt. Ferner zeigt er von allen eingesetzten Detektoren den höchsten Messwert an, so dass auf eine Messung mit anderen Detektoren verzichtet werden kann, wenn das Ergebnis mit ihm bereits unterhalb der Grenzwertlinien für Quasispitzenwert- bzw. Mittelwertdetektion liegt.

Der **Quasispitzenwertdetektor** ist der in der EMV am längsten eingesetzte Detektor. Seine Anfänge reichen bis in die dreißiger Jahre des 20. Jahrhunderts zurück, als auf internationaler Ebene erkannt wurde, dass Rundfunkdienste vor der Beeinflussung durch elektromagnetische Störgrößen geschützt werden müssen, um den Zuhörern einen ungestörten Genuss des neuen Mediums bereiten zu können. Dementsprechend bediente man sich bei der Festlegung eines Störgrößendetektors an dem Wissen aus der Psychoakustik (Radioempfang) und der Psychooptik (Fernsehempfang). Der Quasispitzenwertdetektor wandelt nämlich den elektrischen Wert der Störspannung in eine Anzeige um, die dem physiologischen Störeindruck des menschlichen Gehörs entspricht. Dieses empfindet z. B. beim Rundfunkempfang selten auftretende Knackstörungen großer Amplitude ebenso störend wie häufig auftretende Störungen kleinerer Amplitude. Die Anzeige des Quasispitzenwertdetektors hängt somit von der Amplitude und der Wiederholfrequenz der Störgröße ab. Die festgelegten Eigenschaften des Quasispitzenwertdetektors führen in Verbindung mit dem Schaltungsaufbau zu dem gewünschten Verhalten, das sich letztendlich in Pulsbewertungskurven niederschlägt. Der Quasispitzenwertdetektor zeigt demnach bei sinusförmigem Störsignal den gleichen Wert wie der Spitzenwertdetektor, also gerade den Effektivwert der Sinusspannung an. Der Quasispitzenwertdetektor hat den großen Nachteil langer Einschwingzeiten und somit sehr großer Gesamtmessdauern.

Der dritte in der EMV-Messtechnik genutzte Detektor ist der **Mittelwertdetektor**. Er zeigt den linearen Mittelwert der Richtspannung an. Seit 1985 sind für die Störspannungs- und die Störleistungsmessung auch Grenzwerte für den Mittelwertdetektor festgelegt. Er ist somit ebenso wichtig wie der Quasispitzenwertdetektor. Der Grund für seine Einführung war, dass mit dem Quasispitzenwertdetektor kaum zwischen schmalbandigen und breitbandigen Signalen unterschieden werden kann. Überlagert sich einem Breitbandsignal ein sinusförmiges Signal, wird es vom Quasispitzenwertdetektor entsprechend der Filterkurve unterbewertet, während es der Mittelwertdetektor berücksichtigt. Deshalb wird in der Literatur auch hin und wieder der Mittelwertdetektor als Schmalbanddetektor und der Quasispitzenwertdetektor als Breitbanddetektor bezeichnet. Bei breitbandigen Signalen ist der Mittelwertdetektor allerdings nicht sinnvoll [A2].

1.3 Vergleich der Anzeigen von Spitzenwert- und von Quasispitzenwert-Messempfängern

Bei der EMV-Bewertung sind Messergebnisse und relevante Grenzwerte, die auf Spitzenwertdetektoren und auf Quasispitzenwertdetektoren bezogen sind, miteinander zu vergleichen. Weiterhin ist teilweise ein Vergleich gemessener Werte mit den Störfestigkeitwerten von Komponenten erforderlich.

Die Berechnung der Ausgangsspannung am Quasispitzenwertdetektor ist aufwändig und erfordert die numerische Lösung eines analytisch nicht mehr lösbaren Integrals. Die Lösung ist dabei abhängig von Gerätekonstanten sowie der Pulswiederholfrequenz des zu messenden Signals, die im Allgemeinen bei Emissionsmessungen nicht bekannt ist. Wie jedoch bereits oben ausgeführt, zeigt der Quasispitzenwertdetektor bei sinusförmiger Störsignalbeaufschlagung den gleichen Wert wie der Spitzenwertdetektor. Sein Anzeigeverhalten bei Impulsen ist für definierte Pulsfrequenzen und bei Verwendung bevorzugter Messbandbreiten des Empfängers vorgegeben [A1]:

Frequenzbereich	Bevorzugte Messbandbreite	Verhältnis Spitze/Quasispitze (dB) bei Pulsfrequenz	
		25 Hz	100 Hz
Band A: 9 kHz bis 150 kHz	200 Hz	6,1	-
Band B: 0,15 MHz bis 30 MHz	9 kHz	-	6,6
Bänder C und D: 30 MHz bis 1000 MHz	120 kHz	-	12,0

Die voran stehende Tabelle zeigt, dass bei einer festgelegten Pulsfrequenz des Störsignals und weiteren konstant zu haltenden Parametern die Anzeige des Spitzenwertdetektors um bis zu 12 dB höher ist als die des Quasispitzenwertdetektors. Dieses Anzeigeverhalten bei Impulsen ist beim Vergleich von Mess- und Grenzwerten zu berücksichtigen. Bei der Fragestellung, ob ein als Quasispitzenwert angegebener Grenzwert eingehalten ist, ist zu berücksichtigen, dass der Spitzenwertdetektor den höchsten Messwert beider Detektoren anzeigt. So kann der als Quasispitzenwert angegebene Grenzwert als eingehalten betrachtet werden, wenn das Messergebnis mit dem Spitzenwertdetektor bereits unterhalb der Grenzwertlinien für Quasispitzenwertdetektion liegt.

1.4 Gerätegruppen und Einsatzumgebungen

Die Geräte und Systeme, deren Störaussendung zu bewerten ist, werden in der EMV-Normung in Gerätegruppen eingeteilt und nach Klassen unterteilt [A3]¹.

Die **Gruppe 1** umfasst alle Geräte, die nicht als Geräte der Gruppe 2 eingestuft sind. Die **Gruppe 2** umfasst alle ISM-HF-Anwendungen, in denen HF-Energie im Funkfrequenzbereich von 9 kHz bis 400 GHz für die Behandlung von Material oder zu Zwecken der Prüfung bzw. Analyse absichtlich als elektromagnetische Strahlung erzeugt und/oder genutzt oder nur genutzt wird.

Geräte der **Klasse A** sind Geräte, die sich für den Gebrauch in allen anderen Bereichen außer dem Wohnbereich und solchen Bereichen eignen, die direkt an ein Niederspannungs-Versorgungsnetz angeschlossen sind, das (auch) Wohngebäude versorgt. Geräte der **Klasse B** sind Geräte, die sich für den Betrieb im Wohnbereich sowie solchen Bereichen eignen, die direkt an ein Niederspannungs-Versorgungsnetz angeschlossen sind, das (auch) Wohngebäude versorgt.

Wie bereits aus den Definitionen ersichtlich, werden Geräte der Klasse A im Industriebereich eingesetzt. Tendenziell müssen Geräte der Klasse B (bspw. für den Wohnbereich) die schärfsten Grenzwertanforderungen erfüllen. Höhere Störaussendungen sind bei Klasse-A-Geräten zugelassen. Die Einteilung in die Gruppen 1 und 2 erfolgt für die Geräte der Klassen A und B. Geräte der Gruppe 2 finden jedoch nur in Ausnahmefällen in den Kernkraftwerken Anwendung, so dass im Folgenden nur auf die Grenzwertfestlegungen für die Gruppe-1-Geräte der Klassen A und B eingegangen wird.

1.5 Grenzwerte der Störfeldstärke

Die Grenzwertlinien zur Bewertung der bei einem Gerät / System maximal zulässigen feldgebundenen Störaussendung sind in **Bild 1** eingetragen. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 30 MHz bis 1 GHz². Bei der Störfeldstärkemessung kommen der Spitzenwertdetektor zur Vormessung und der Quasispitzenwertdetektor zur Bewertung zum Einsatz. Zu berücksichtigen ist, dass die Grenzwerte auf genormte Messentfernungen zwischen Prüfling und Messantenne bezogen sind.

¹ Die Einteilung in Gruppen wurde in der Fassung der Norm [A3] von 2010 gegenüber der Fassung von 2007 wesentlich verändert. Es ist zu beachten, dass dieser Anhang auf die Gruppeneinteilung der Fassung von 2010 Bezug nimmt, die in anderen EMV-Normen teilweise anders gegliedert ist.

² Der Wert von 1 GHz als Maximalfrequenz bei der feldgebundenen Störaussendungsmessung entspricht dem derzeitigen Stand der europäischen (und damit auch der deutschen) EMV-Normung für den Industriebereich. Bei diesem Wert mit der Messung aufzuhören, kann in speziellen Fällen physikalisch unlogisch sein. Bspw. sollte bei schnellen Prozessoren nach Möglichkeit bis etwa zur fünften Harmonischen der Taktfrequenz gemessen werden, da erfahrungsgemäß bis zu diesem Wert Störaussendungsrelevanz besteht, vgl. hierzu auch die Festlegungen in [A7]. Grenzwertfestlegungen oberhalb von 1 GHz finden sich mittlerweile in den EMV-Grundnormen, bspw. in [A3] und [A5].

1.6 Grenzwerte der Störspannung

Die Grenzwertlinien zur Bewertung der bei einem Gerät / System maximal zulässigen leitungsgebundenen Störaussendung sind in **Bild 2** eingetragen. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 150 kHz bis 30 MHz. Bei der Störspannungsmessung kommen der Spitzenwertdetektor zur Vormessung und der Quasispitzenwertdetektor zur Bewertung zum Einsatz. Darüber hinaus müssen auch die für den Mittelwertdetektor genormten Grenzwerte nach **Bild 3** eingehalten werden.

Aus den **Bildern 2 und 3** ist ersichtlich, dass die Geräte der Klasse A, Gruppe 1 nochmals unterteilt sind. Dies wird hier explizit erwähnt, da die EMV-Norm für drehzahlveränderbare elektrische Antriebe [A4] vier Kategorien von Antriebssystemen definiert und hierfür die drei gezeigten Grenzwertlinien der **Bilder 2 und 3** sowie eine weitere Grenzwertlinie verwendet.

1.7 Grenzwerte des Störstroms

Einige EMV-Normen lassen alternativ oder ergänzend zur Störspannungsmessung auch die Störstrommessung zu. Die Störstrom-Grenzwerte leiten sich direkt aus den Störspannungsgrenzwerten unter Berücksichtigung der genormten Nachbildung der Leitungsimpedanz (ISN) ab, siehe die **Bilder 4 und 5**. Bezüglich des Frequenzbereichs, des Einsatzes der Detektoren und der weiteren Unterteilung der Geräte der Klasse A, Gruppe 1 gilt das unter 1.6 Gesagte.

1.8 Grenzwerte leitungsgeführter Störaussendung für Telekommunikationsanschlüsse

Die **Bilder 6 und 7** zeigen Grenzwertlinien für eine Gruppe sehr spezifischer Anschlüsse [A5]: Anschlüsse für Sprach-, Daten- und Signalübertragungen, die zur Verbindung mit weit verzweigten Netzen (z. B. öffentlichen Telekommunikationsnetzen PSTN, ISDN, xDSL usw.), mit lokalen Netzen (z. B. Ethernet, Token Ring usw.) und mit ähnlichen Netzen vorgesehen sind.

Diese Grenzwerte wurden hier der Vollständigkeit halber aufgenommen. Ansonsten gelten die Ausführungen der Abschnitte 1.5 bis 1.7.

1.9 Bei leitungsgeführter Störaussendung zu prüfende Anschlüsse

In einer Vielzahl von EMV-Normen sind Grenzwerte der Störaussendung für Signal- und Steueranschlüsse nicht festgelegt bzw. als „in Beratung“ vermerkt. In Ergänzung zu den Festlegungen der Normen ist daher die Einhaltung der Grenzwerte für leitungsgeführte Störgrößen auch für Signal- und Steueranschlüsse nachzuweisen. Hierbei sind Grenzwerte gemäß Kapitel 2 heranzuziehen. Keinesfalls sollten ersatzweise die Grenzwerte für Telekommunikationsanschlüsse nach Abschnitt 1.8 verwendet werden. Da bezüglich der Messtechnik für Signal- und Steueranschlüsse üblicherweise keine Netznachbildungen wie für Niederspannungs-Netzanschlüsse verfügbar sind, sind hochfrequenztaugliche Tastköpfe oder Stromwandlerzangen gemäß [A9] zu verwenden.

2 Anwendung der Grenzwerte auf neue Geräte und Systeme

2.1 Hauptsächlich praktizierte Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zum Nachweis der EMV bei der Einbringung neuer Geräte und Systeme in eine kerntechnische Anlage ist im Hauptdokument beschrieben. Die Störaussendungsmessungen erfolgen hauptsächlich in akkreditierten EMV-Prüflaboren, können aber in speziellen Fällen auch im Herstellerwerk oder am Aufstellungsort in der kerntechnischen Anlage durchgeführt werden. Es wird für die Fälle, in denen keine projektspezifischen Grenzwerte der Störaussendung definiert sind, auf die Festlegungen der EMV-Fachgrundnorm zur Störaussendung im Industriebereich [A6] verwiesen. Dies entspricht der Anwendung der Grenzwerte für Klasse A, Gruppe 1 entsprechend den **Bildern 1 bis 3** und deckt die weitaus meisten Anwendungsfälle ab. Nachfolgend werden jedoch zwei Anwendungsfälle beschrieben, bei denen die Anwendung niedrigerer bzw. höherer Grenzwerte angemessen ist.

2.2 Neuartige Schnittstellen

Jedes Gerät oder System, bspw. ein Schaltschrank der Sicherheitsleittechnik, hat definierte Schnittstellen zu seiner elektromagnetischen Umgebung. So wirken äußere Störfelder über das metallene Schrankgehäuse ein und leitungsgebundene Störgrößen werden auf die Leitungen des Schrankes eingekoppelt, die explizit aus dem Schrank zur Verbindung mit anderen Geräten bzw. mit dem Energieversorgungsnetz herausgeführt sind. Diese definierten Schnittstellen werden auch bei der Standard-EMV-Prüfung des Leittechnikschrankes beaufschlagt, um dessen Störfestigkeit zu ermitteln.

Nun besteht die Möglichkeit, dass während der Einsatzdauer des Leittechnikschrankes ein neuartiges Prüf- oder Diagnosegerät bspw. während des Leistungsbetriebes des Kernkraftwerkes zum Einsatz kommen soll. Der Einsatz des Prüfgerätes soll vor dem geöffneten Schrank erfolgen und die Prüflitungen sollen an schrankinternen Punkten angeschlossen werden. Dann ist es offensichtlich, dass die Schutzwirkungen des Schrankgehäuses gegen äußere Störfelder und der Schutzeinrichtungen an Leitungen gegen äußere leitungsgebundene Störgrößen nicht mehr vorhanden sind. In einem solchen (sicherheitskritischen) Fall ist dem Prüfgerät eine schärfere Begrenzung der Störaussendung abzuverlangen, bspw. durch die Forderung nach Einhaltung der Klasse-B-Gruppe-1-Grenzwerte.

2.3 Leistungsstarke Komponenten der elektrischen Energietechnik

Bei einigen leistungsstarken Komponenten der elektrischen Energietechnik kann es notwendig sein, höhere Störaussendungs-Grenzwerte als Klasse A, Gruppe 1 zu akzeptieren. Insbesondere sind hier Umrichter für drehzahlveränderbare elektrische Antriebe in Hebezeugen und Handhabungseinrichtungen zu nennen. Diese Umrichter erzeugen funktionsbedingt an ihren Lastausgängen hohe Spannungssteilheiten, die über die angeschlossenen Betriebsmittel (Kabel, Antriebe) signifikante leitungs- und feldgebundene Störaussendungen generieren. Die Einhaltung der Störaussendungs-Grenzwerte kann daher erst am kompletten System (Steuerung, Umrichter, Kabel, Motor) mit eingebrachten Entstörmaßnahmen (Filterung, Kabelschirmung, Hochfrequenz-Potentialausgleich) durch Messungen überprüft werden.

Die entsprechende EMV-Norm [A4] gestattet in besonderen Fällen die Anwendung der Grenzwerte nach Klasse A, Gruppe 1, > 20 kVA gemäß [A3] (**Bilder 1 bis 3**). Hierzu ist anzumerken, dass bei kerntechnischen Projekten an den Schnittstellen, die keine direkte Verbindung zur Sicherheitsleittechnik besitzen, durchaus die Grenzwertfestlegung für Klasse A, Gruppe 1, > 20 kVA herangezogen werden kann. Demgegenüber ist die Festlegung noch höherer Grenzwerte nicht tolerabel, da in diesem Fall teilweise kein ausreichender Störsicherheitsabstand mehr besteht, vgl. die Ausführungen in Kap. 3 und **Bild 8**.

3 Störsicherheitsabstand für Geräte und Systeme im Bestand

Die Vorgehensweise bei der Messung der Störaussendung im Bestand kerntechnischer Anlagen unterscheidet sich von der im Kapitel 2 beschriebenen Vorgehensweise. Unter „Messung der Störaussendung im Bestand“ ist nicht die Störaussendungsmessung für ein neues Gerät oder System am Aufstellungsort zu verstehen, bei der zur Bewertung die in Kapitel 2 angeführten Grenzwerte zur Anwendung kommen. Vielmehr wird hierunter die Erfassung des Pegels der Störaussendung an verschiedenen Aufpunkten in der kerntechnischen Anlage verstanden. Dabei sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Es arbeitet eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme gleichzeitig und die gemessenen Störaussendungswerte sind insofern nicht einem einzelnen Gerät bzw. System zuzuordnen.
- Insbesondere für elektro- und leittechnische Altsysteme, deren Entwicklung und erster Einsatz in den Kernkraftwerken bis etwa 1990 erfolgte, existieren keine Angaben zu deren Störaussendung und -festigkeit in der heute üblichen Qualität.

Unter den genannten Randbedingungen kann die standardmäßige Vorgehensweise bei der EMV-Nachweisführung keine Anwendung finden.

Die standardmäßige Vorgehensweise bei der EMV-Nachweisführung besteht darin, gemäß den relevanten Normen für alle Geräte und Systeme, die später in einer Anlage verbaut werden, die Einhaltung der Grenzwerte der Störaussendung und der Prüfschärfegrade der Störfestigkeit nachzuweisen. Darauf wird die Erwartung begründet, dass die Gesamtheit der Geräte und Systeme nach dem Einbau in die Anlage miteinander elektromagnetisch verträglich ist. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass auch bei Einhaltung der normativen Vorgaben die erwartete Verträglichkeit nicht zwangsläufig in allen Fällen gegeben ist.

Da die standardmäßige Vorgehensweise keine Anwendung finden kann, wird eine EMV-Koordination zwischen den Störquellen und den sicherheitsrelevanten Systemen unter Berücksichtigung eines angemessenen Störsicherheitsabstandes angestrebt. Diese Vorgehensweise ist im militärischen Bereich genormt, vgl. die Verteidigungsgeräte-Normenreihe VG 95370 [A8] und wird auch bei anderen sicherheitskritischen Systemen angewendet. Dies geht über die standardmäßige Vorgehensweise bei der EMV-Nachweisführung hinaus, stellt jedoch die bilaterale EMV zwischen den Störquellen und Störsenken am Einbauort sicher. Der dabei mindestens zu erreichende Störsicherheitsabstand für sicherheitstechnisch wichtige Systeme wird mit 17 dB (entsprechend dem Faktor 7) festgelegt³, dem höchsten Wert gemäß [A8].

Die voran stehend beschriebene Vorgehensweise, bei der die Störfestigkeit mit den Maximalwerten der Störaussendung zu vergleichen ist, ist im **Bild 8** für die hochfrequente Störspannung beispielhaft dargestellt. Hier ist angenommen, dass die Störfestigkeit von Altsystemen mindestens 120 dB(μ V) entsprechend 1 V beträgt und damit um den Faktor 10 unter der heute im Industriebereich geforderten Störfestigkeit liegt. Für die ebenfalls im **Bild 8** eingetragenen Grenzwertlinien ist erkennbar, dass bei Einhaltung der Grenzwerte der Klasse A, Gruppe 1 und der Klasse A, Gruppe 1, > 20 kVA hinreichende Störsicherheitsabstände gegeben sind. Demgegenüber ist das bei höheren Grenzwerten, z. B. nach [A4] nicht der Fall.

Bei der Ermittlung des Störsicherheitsabstandes wird von den Effektivwerten ausgegangen. Die Werte der Störaussendung werden hierbei mit dem Spitzenwertdetektor ermittelt. Der aufgeführte Störfestigkeitswert entspricht dem Effektivwert des unmodulierten Trägers der Prüffeldstärke in der Störfestigkeitsprüfung. Bei Berücksichtigung der Spitzenwerte der Prüfstörgröße ergibt sich eine um 8 dB (entsprechend dem Faktor 2,5) höhere Festigkeit, welche den Störsicherheitsabstand weiter erhöht.

Bei einer Störsicherheitsabstands-Betrachtung für feldgebundene Störgrößen ist zusätzlich zu den voranstehenden Darlegungen des Kapitels 3 zu berücksichtigen, dass ggf. nicht nur Störsicherheitsabstände zur Störfestigkeit anderer Systeme in der kerntechnischen Anlage, sondern auch Störsicherheitsabstände zu Sicherheitsfunkdiensten und anderen empfindlichen Funkdiensten außerhalb der Anlage einzuhalten sind, vgl. die in [A3] aufgelisteten Frequenzbereiche.

³ Diese Festlegung gilt für die Bewertung von Dauerstörgrößen. Sollte es erforderlich sein, Kurzzeitstörgrößen im Nano- bzw. Mikrosekundenbereich zu bewerten, müssen hierfür im Zeitbereich arbeitende Messgeräte mit hinreichender Auflösung (Speicheroszilloskop, Transientenrekorder) verwendet werden. Die gemessenen Störampplituden dürfen nicht größer sein als 80% der geforderten Störfestigkeitswerte.

Abkürzungsverzeichnis

average detector (AV)	Mittelwertdetektor des Spektrumanalysators bzw. Messempfängers
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
HF	Hochfrequenz
ISM-Geräte	Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Hochfrequenzgeräte (aus dem Engl.: industrial, scientific and medical)
ISN	Impedanzstabilisierungs-Netzwerk (auch: Netznachbildung)
ITE-Geräte	Einrichtungen der Informationstechnik (aus dem Engl.: information technology equipment)
n. a.	Nicht anwendbar
peak detector (PK)	Spitzenwertdetektor des Spektrumanalysators bzw. Messempfängers
quasipeak detector (QP)	Quasispitzenwertdetektor des Spektrumanalysators bzw. Messempfängers

Schreibweise und Umrechnung in dB

Da bei EMV-Messungen sehr große Zahlenbereiche überstrichen werden, wird üblicherweise mit dem Logarithmus (zur Basis 10) der Zahlen gerechnet. So werden die elektrische Spannung, der elektrische Strom, die elektrische Feldstärke und die magnetische Feldstärke jeweils bezogen auf ein Mikro ihrer Einheit umgerechnet. Am Beispiel des Pegels der Spannung mit dem Bezugswert 1 μV bedeutet das:

$$L_U (\text{re } 1 \mu\text{V}) = 20 * \lg (|U| / 1 \mu\text{V}), \text{ angegeben in dB}(\mu\text{V}).$$

Damit entsprechen bspw. 1 V \rightarrow 1.000.000 $\mu\text{V} \rightarrow$ 120 dB(μV) oder 10 V \rightarrow 140 dB(μV). Der Faktor 10 entspricht damit 20 dB (der Faktor 100 sind 40 dB; der Faktor 1.000 sind 60 dB usw.).

Zu beachten ist, dass Leistungsgrößen mit dem Faktor 10 umgerechnet werden müssen und hier oft auch andere Bezugsgrößen gebräuchlich sind, bspw.:

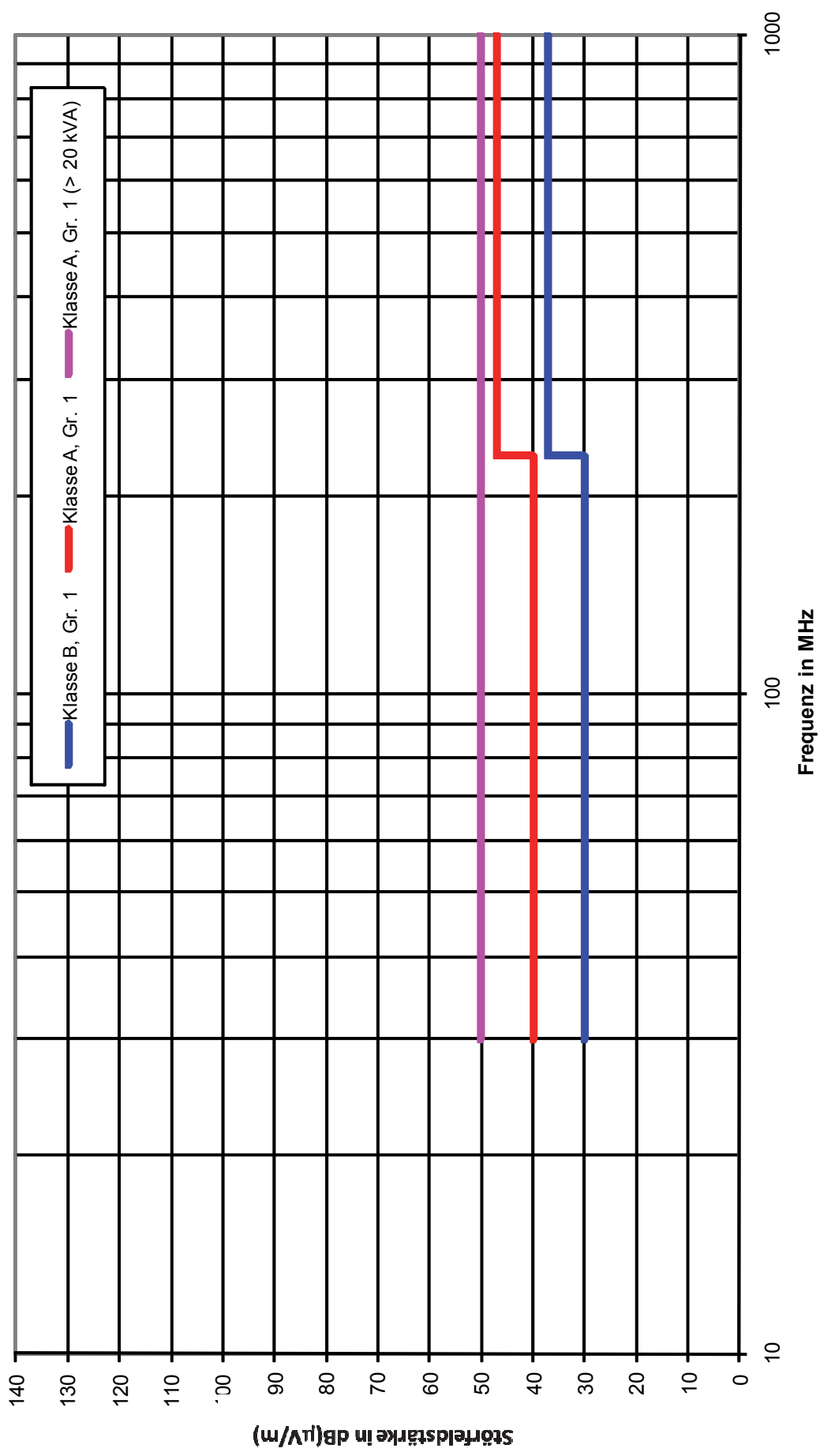
$$L_P (\text{re } 1 \text{ mW}) = 10 * \lg (P / 1 \text{ mW}), \text{ angegeben in dBm oder in dB(mW)}. \text{ Bspw. entspricht die Angabe von } 13 \text{ dBm einer Leistung von } 20 \text{ mW}.$$

Literaturverzeichnis

- [A1] DIN EN 55016-1-1 (VDE 0876-16-1-1); Oktober 2008: Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-1: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Messgeräte (IEC/CISPR 16-1-1:2006 + A1:2006 + A2:2007); Deutsche Fassung EN 55016-1-1:2007 + A1:2007 + A2:2008.
- [A2] Krattenmacher, H.: Zur Messung leitungsgeführter Störgrößen in der EMV, Dissertation, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Universität Fridericiana Karlsruhe, Juli 2000.
- [A3] DIN EN 55011 (VDE 0875-11); Mai 2010: Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte – Funkstörungen – Grenzwerte und Messverfahren (IEC/CISPR 11:2009, modifiziert); Deutsche Fassung EN 55011:2009.
- [A4] DIN EN 61800-3 (VDE 0160-103); Juli 2005: Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe – Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren (IEC 61800-3:2004); Deutsche Fassung EN 61800-3:2004.
- [A5] DIN EN 55022 (VDE 0878-22); Mai 2008: Einrichtungen der Informationstechnik – Funkstöreigenschaften – Grenzwerte und Messverfahren (IEC/CISPR 22:2005, modifiziert + A1:2005); Deutsche Fassung EN 55022:2006 + A1:2007.
- [A6] DIN EN 61000-6-4 (VDE 0839-6-4); September 2007: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 6-4: Fachgrundnormen – Störaussendung für Industriebereiche (IEC 61000-6-4:2006); Deutsche Fassung EN 61000-6-4:2007.
- [A7] US Code of Federal Regulations; Title 47 – Telecommunication; CHAPTER I – FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION; PART 15 – RADIO FREQUENCY DEVICES; § 15.33 Frequency range of radiated measurements.
- [A8] Verteidigungsgeräte-Norm VG 95370: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - EMV von und in Systemen:
- Teil 1 – Grundlagen (2005)
 - Teil 10 – Messverfahren für Störströme (2003)
 - Teil 11 – Messverfahren für Störspannungen (2003)
 - Teil 12 – Messverfahren für Störfeldstärken (2003)
 - Teil 13 – Messverfahren für Störsicherheitsabstände gegenüber systemeigenen Feldstärken (2003)
 - Teil 14 – Messverfahren für Störsicherheitsabstände gegenüber leitungsgeführten Störgrößen (2003)
 - Teil 23 – Grenzwerte für Störsicherheitsabstände gegenüber Feldern (2003)
 - Teil 24 – Grenzwerte für Störsicherheitsabstände gegenüber leitungsgeführten Störgrößen (2003).
- [A9] DIN EN 55016-1-2 (VDE 0876-16-1-2); August 2007: Anforderungen an Geräte und Einrichtungen sowie Festlegung der Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Teil 1-2: Geräte und Einrichtungen zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit – Zusatz-/Hilfseinrichtungen – Leitungsgeführte Störaussendung (IEC/CISPR 16-1-2:2003 + A1:2004 + A2:2006); Deutsche Fassung EN 55016-1-2:2004 + A1:2005 + A2:2006.

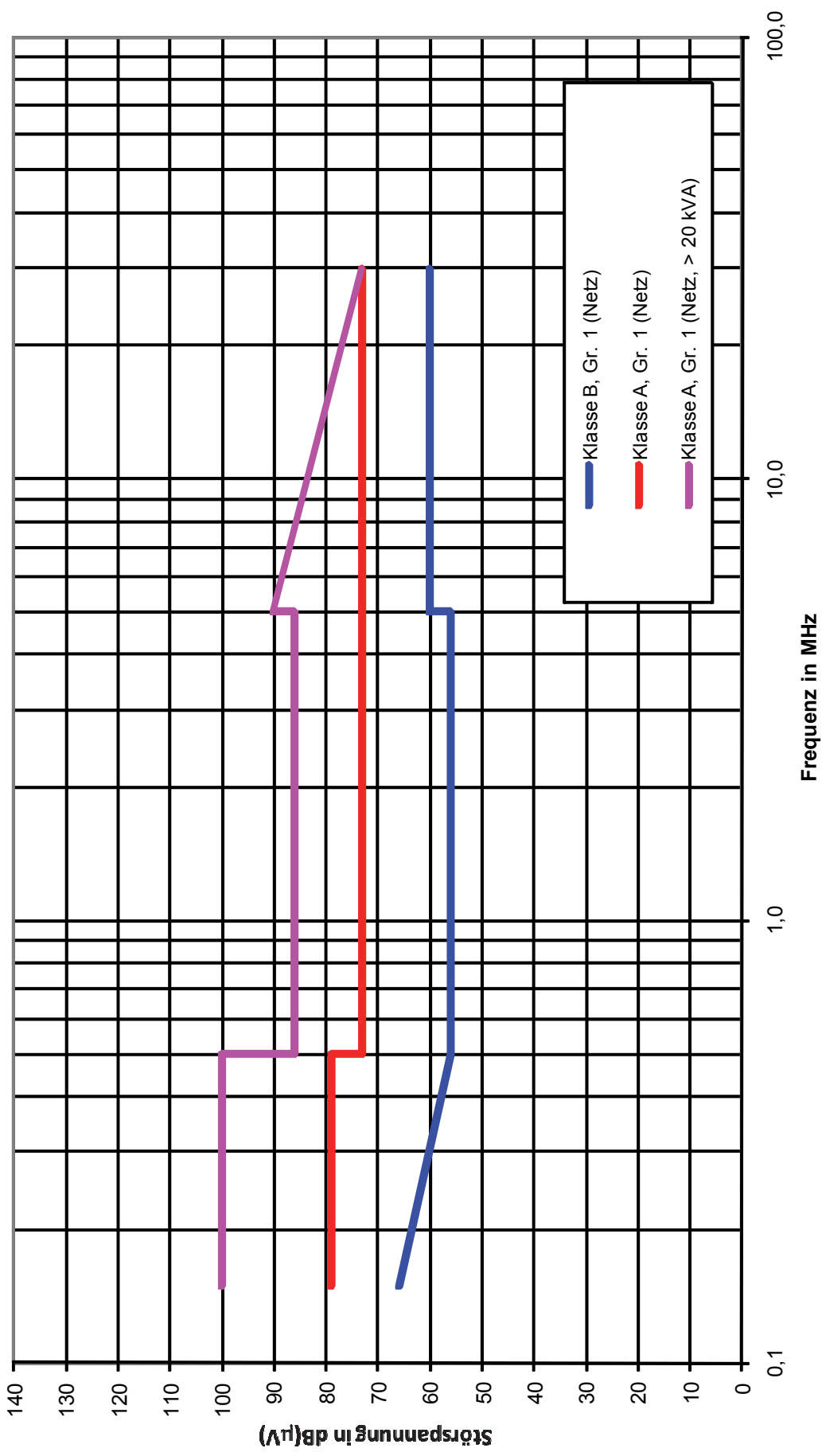
Feldgebunden:

Störfeldstärke-Grenzwerte in 10 m Messentfernung (Quasipeak-Detektor)



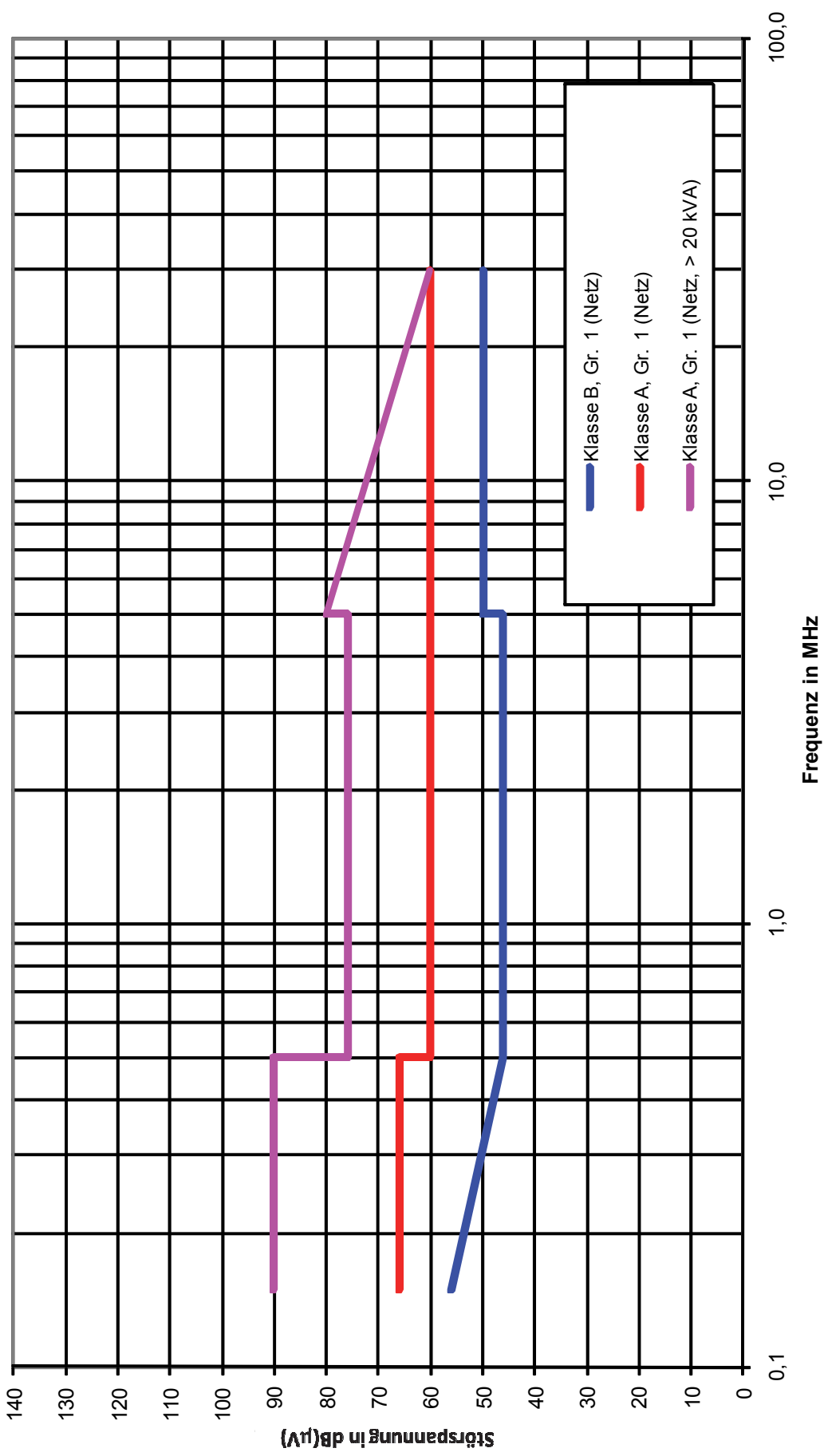
Leitungsgeführt:

Störspannungs-Grenzwerte (Quasipeak-Detektor)



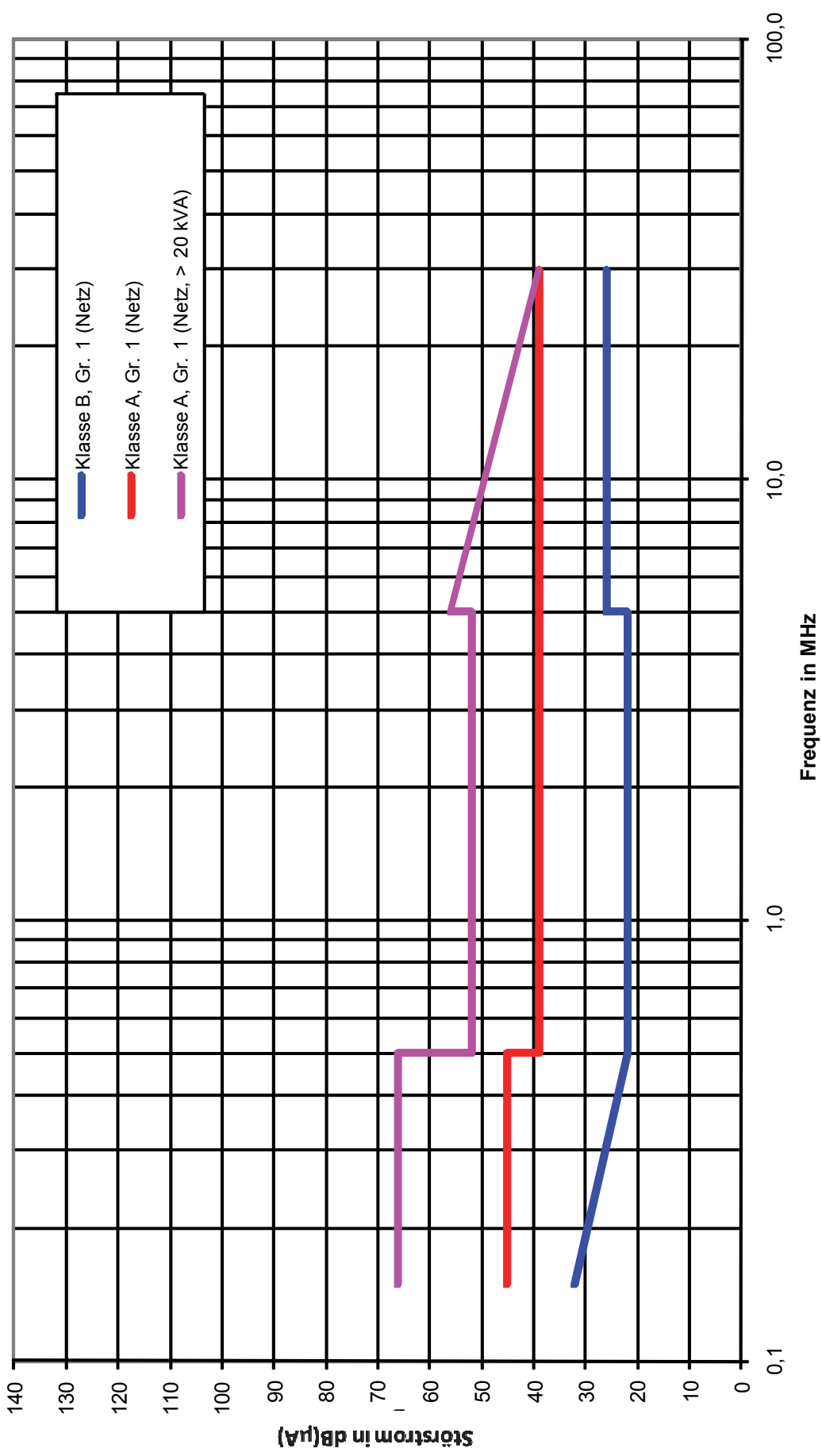
Leitungsgeführt:

Störspannungs-Grenzwerte (Average-Detektor)



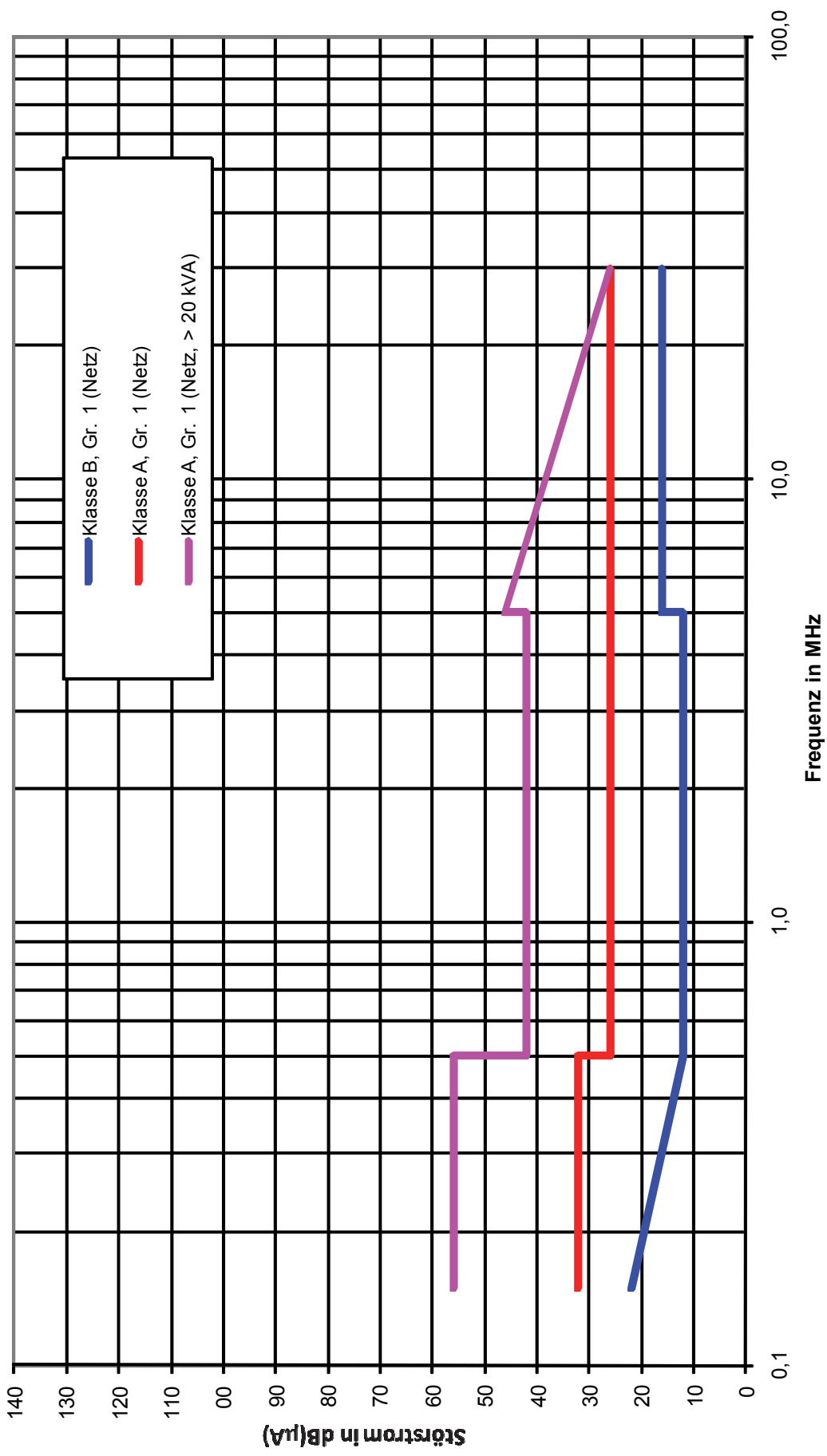
Leitungsgeführt:

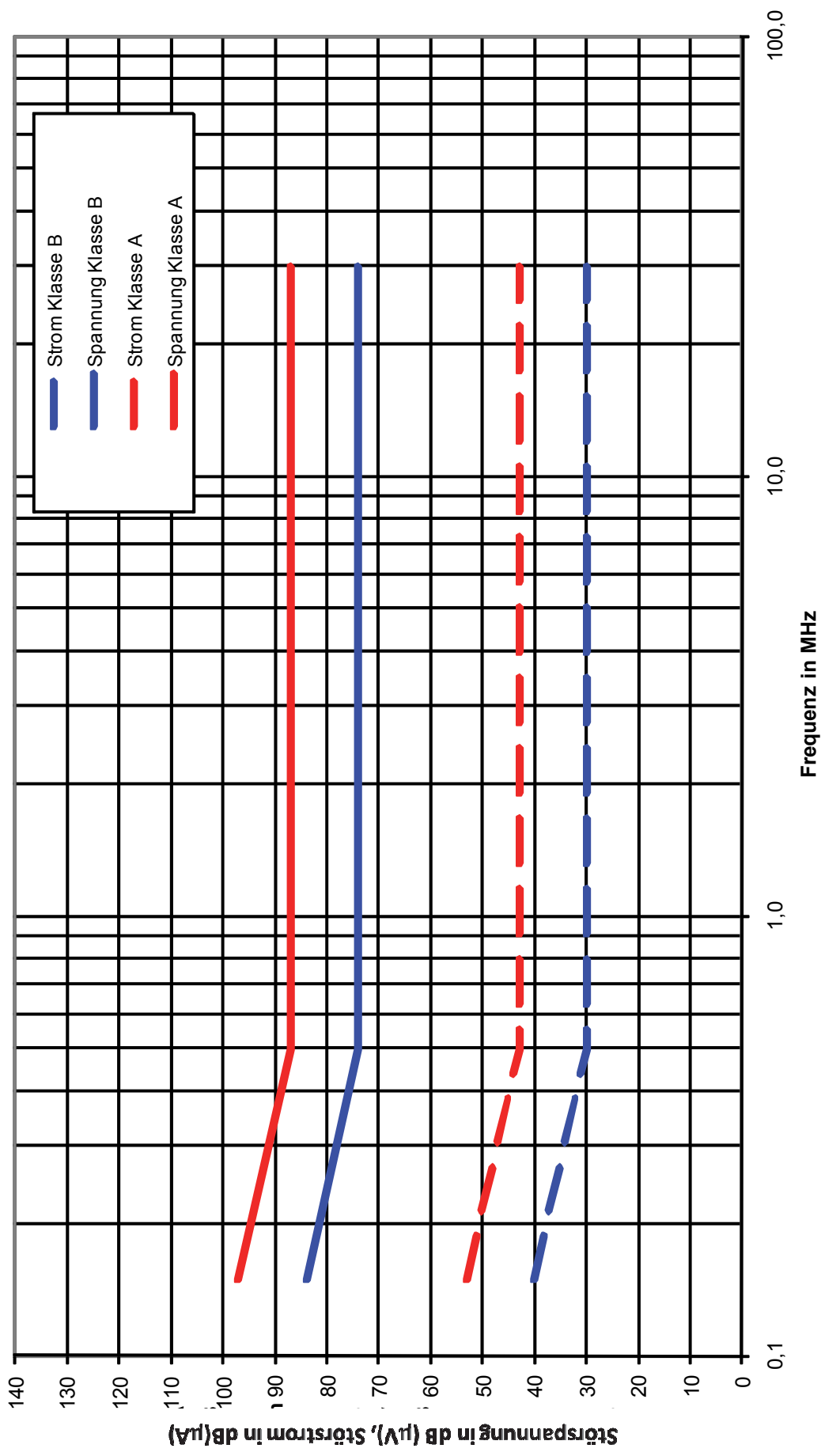
Störstrom-Grenzwerte (Quasipeak-Detektor; ISN: 50 Ω entspr. 34 dB(Ω))



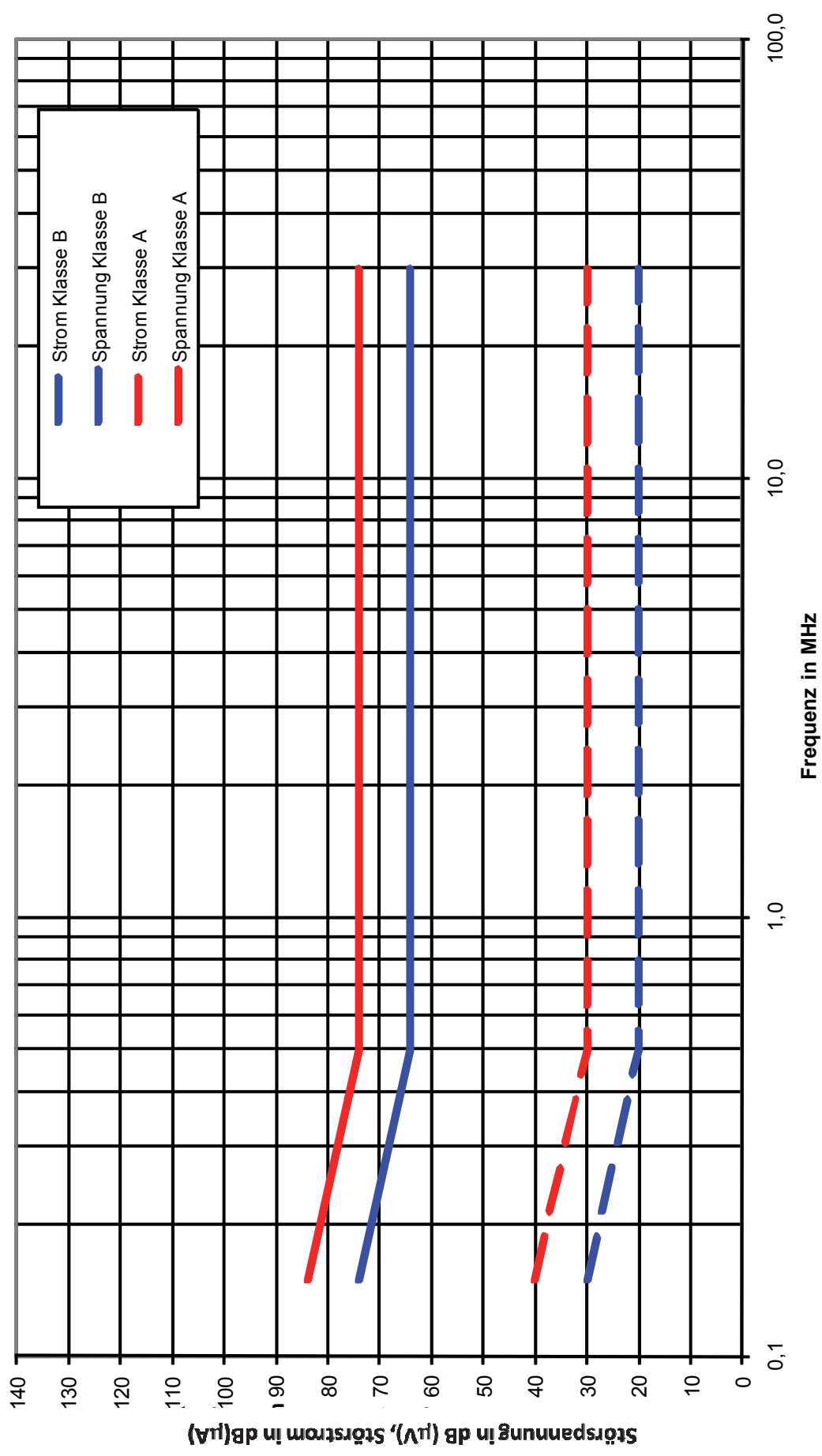
Leitungsgeführt:

Störstrom-Grenzwerte (Average-Detektor; ISN: 50 Ξ entspr. 34 dB(Ξ))



Grenzwerte Telekommunikation leitungsgeführt (QP-Detektor; ISN: 150 Ω entspr. 44 dB(Ω)), n.a.

Grenzwerte Telekommunikation leitungsgeführt (AV-Detektor; ISN: 150 Ω entspr. 44 dB(Ω)), n.a.



Leitungsgeführt:

Störspannungs-Grenzwerte und Störfestigkeit (Spitzenwertbetrachtung)

