

ICS 33.100.01

Ersatz für
VG 95375-3:2006-01
und
VG 95376-3:2006-02Supersedes
VG 95375-3:2006-01
and
VG 95376-3:2006-02

**Elektromagnetische Verträglichkeit —
Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion
von Systemen und Geräten —
Teil 30: Verkabelung;
Text Deutsch und Englisch**

Electromagnetic compatibility —
Fundamentals and measures for the development and design
of systems and equipment —
Part 30: Cabling;
Text in German and English

Compatibilité électromagnétique —
Principes et mesures pour le développement et la construction
de systèmes et appareils —
Partie 30: Câblage;
Texte en allemand et anglais

Gesamtumfang 49 Seiten
Total extent 49 pages

Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Normenstelle Schiffs- und Meerestechnik (NSMT) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

The English version is a translation. In case of dispute the German original will govern.

Inhalt	Seite	Inhalt	Seite
Vorwort	5	Foreword	5
1 Anwendungsbereich	6	1 Scope	6
2 Normative Verweisungen	7	2 Normative references	7
3 Begriffe	8	3 Terms and definitions	8
4 Grundlagen	9	4 Fundamentals	9
4.1 Allgemeines	9	4.1 General	9
4.2 Signalübertragungsarten und Auswahl von Kabeln/Leitungen	10	4.2 Types of signal transmission and selection of cables/wires	10
4.3 Kabelkopplungsimpedanz und Reduktionsfaktor	12	4.3 Cable transfer impedance and screening factor	12
5 Kabel-/Leitungskategorien	13	5 Cable/wire categories	13
6 Verlegungsplanung	14	6 Routing concept	14
6.1 Bestimmung der Verlegungsabstände nach dem Standardverfahren	14	6.1 Determination of separation using the standard method	14
6.2 Auswahl der Kabel-/Leitungsarten	17	6.2 Selection of cable/wire type	17
7 Verlegung von Kabeln/Leitungen	19	7 Routing of cables/wires	19
7.1 Allgemeines	19	7.1 General	19
7.2 Kabelanlagen in metallischen Geräteträgern	19	7.2 Cable systems in metallic equipment carriers	19
7.3 Kabelanlagen in nichtmetallischen Geräteträgern	22	7.3 Cable systems in non-metallic equipment carriers	22
8 Anschluss Technik für Kabel/Leitungen	23	8 Cable/wire connection techniques	23
8.1 Allgemeines	23	8.1 General	23
8.2 Steckverbindungen	23	8.2 Connectors	23
8.3 Feste Anschlüsse	28	8.3 Fixed connections	28
8.4 Durchführungen von Kabeln und Leitungen durch Schirmwände	30	8.4 Shield penetrating feedthroughs of cables/wires	30
8.5 Massung der Kabel- und Leitungsschirme	45	8.5 Bonding of cable/wire shields	45
Anhang A (informativ)	46	Annex A (informative)	46
Bestimmung der Verlegungsabstände nach dem analytischen Verfahren		Determination of separation using the analytic method	

Bilder		Figures	
Bild 1 — Beispiel für eine streufeldarme Aderbelegung bei einem vieradrigen Kabel für Gleichstromversorgung	17	Figure 1 — Example of a low stray field conductor assignment for a four-conductor DC power supply cable	17
Bild 2 — Beispiel für die Verlegung von Kabeln/Leitungen dicht über der Struktur (Masse des Systems)	20	Figure 2 — Example of a cable/wire routed close to system structure (ground)	20
Bild 3 — Beispiel für die Verlegung von Kabeln/Leitungen auf einem metallischen Kabelbahnprofil	21	Figure 3 — Example of a cable/wire routed on a metallic cable run profile	21
Bild 4 — Beispiel für Kontaktierung zwischen Kabel-/Leitungsschirm und Metallgehäuse bei einer zweipoligen Steckverbindung	24	Figure 4 — Example of a two-pin connector with shield-to-metal-case bonding	24
Bild 5 — Beispiel für Rundumkontaktierung eines Schirmgeflechtes an einer Rundsteckverbindung	25	Figure 5 — Example of a round connector circumferentially bonded to braided shield	25
Bild 6 — Beispiel für Rundumkontaktierung eines Schirmgeflechtes an einer koaxialen Steckverbindung (N-Steckverbindung) mit kleinen Kopplungsimpedanzen	26	Figure 6 — Example of a coaxial connector (N-connector) with low coupling impedances, circumferentially bonded to braided shield	26
Bild 7 — Vergleich der Reduktionsfaktoren $ k_r $ eines koaxialen Außenleiters aus Einfachgeflecht bei Kontaktierung des Schirmgeflechtes mit Zöpfen bzw. bei Rundumkontaktierung als Funktion der Frequenz	28	Figure 7 — Comparison of screening factors $ k_r $ of a single braid outer conductor bonded by means of straps resp. circumferentially as a function of frequency	28
Bild 8 — Beispiel für die Rundumkontaktierung des Kabel-/Leitungsschirmes mit der Schirmwand, Kabeleinführung nach VG 88773 und Erdungseinsätzen nach VG 88812	29	Figure 8 — Example of a cable/wire shield circumferentially bonded to a shielding wall, cable gland according to VG 88773 and grounding inserts according to VG 88812	29
Bild 9 — Beispiel für eine Kontaktierung des Kabel-/Leitungsschirmes mit der Schirmwand, die <u>nicht</u> den Anforderungen dieser Norm entspricht	30	Figure 9 — Bonding of a cable/wire shield to a shielding wall which does <u>not</u> correspond to the requirements of this standard (example)	30
Bild 10 — Beispiel für die Durchführung eines geschirmten Kabels/einer geschirmten Leitung durch eine Schirmwand unter Verwendung von Steckverbindern; prinzipielle Darstellung der erforderlichen Kontaktierungen	32	Figure 10 — Example of a feedthrough for shielded cables/wires penetrating shielding walls by means of connectors (simplified drawing of the required bonding)	32
Bild 11 — Beispiel für die Durchführung eines geschirmten Kabels durch eine Schirmwand unter Verwendung von Erdungseinsätzen nach VG 88812	33	Figure 11 — Example for a feedthrough of a shielded cable penetrating a shielding wall by means of earthing inserts according to VG 88812	33

Bild 12 — Beispiel für die Durchführung eines geschirmten Kabels durch eine Schirmwand unter Verwendung von leitfähigen Packmodulen	35	Figure 12 — Example for a feedthrough of a shielded cable penetrating a shielding wall by means of conductive packing modules	35
Bild 13 — Beispiel für die Durchführung eines geschirmten Kabels durch eine Schirmwand unter Verwendung eines wärmeschrumpfenden Steckverbinderendgehäuses ohne Innenbeschichtung mit Innenschirm nach VG 95343-20	36	Figure 13 — Example for a feedthrough of a shielded cable penetrating a shielding wall by means of a heat-shrinkable connector endshell without inner coating with inner shield according to VG 95343-20	36
Bild 14 — Beispiel für die Durchführung geschirmter Kabel durch eine waagerechte Schirmwand unter Verwendung leitfähiger Vergussmasse	38	Figure 14 — Example for a feedthrough of a shielded cable penetrating a horizontal shielding wall by means of conductive potting compounds	38
Bild 15 — Beispiel für die Durchführung geschirmter Kabel unter Verwendung leitfähiger Vergussmasse (bei senkrechten und waagerechten Schirmwänden einsetzbar)	39	Figure 15 — Example for a feedthrough of a shielded cable by means of conductive potting compounds (usable for horizontal and vertical shielding walls)	39
Bild 16 — Beispiel für die Durchführung eines Kabels/einer Leitung durch eine Schirmwand unter Verwendung eines Zusatzschirmes	40	Figure 16 — Example for a feedthrough of a cable/wire penetrating a shielding wall by means of an additional shield	40
Bild 17 — Schirmkontaktierung mittels Metallgranulat	42	Figure 17 — Example of shield bonding by means of metal granulate	42
Tabellen		Tables	
Tabelle 1 — Beispiel für eine Kategorientabelle mit Kriterien	14	Table 1 — Example of a table for cable categories with criteria	15
Tabelle 2 — Verlegungsabstände für Parallelverlegung von Kabeln/Leitungen (lichte Abstände)	16	Table 2 — Separations in m for parallel cable/wire routing (clear spacing)	16

Vorwort

Diese Norm wurde von der Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN, Arbeitsausschuss NA 140-00-20-01 UA „Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV); Programm, Verfahren, Entwicklungs- und Konstruktionsrichtlinien“, erarbeitet.

Bei der vorliegenden Norm handelt es sich um eine Grundnorm für den Bereich "Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)".

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können, ohne dass diese vorstehend identifiziert wurden. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

VG 95375, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen*
und

VG 95376, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten* besteht aus:

siehe VG 95372, *Übersicht*

VG 95372 enthält weiterhin eine Übersicht über alle VG-Normen für EMV und zum Schutz gegen EMP und Blitz.

This standard has been prepared by the Normenstelle Elektrotechnik (NE) im DIN, committee NA 140-00-20-01 AA "Electromagnetic compatibility (EMC); program, procedures, development and design guidelines".

The presented standard is a basic standard for Electromagnetic compatibility (EMC).

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights other than those identified above. DIN shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

VG 95375, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development of systems*
and

VG 95376, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development and design of equipment* consists of:

see VG 95372, *Survey*

VG 95372 contains a survey of the VG-standards for EMC and EMP/lightning protection.

Änderungen

Gegenüber VG 95375-3:2006-01 und VG 95376-3:2006-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anforderungen für Systeme und Geräte zusammengefasst;
- b) technische Anforderungen aktualisiert;
- c) Schirmkontaktierung mittels zusätzlichem Metallgeflecht gestrichen;
- d) Schirmkontaktierung mit Hilfe von leitfähigen Packmodulen aufgenommen;
- e) englische Sprachfassung aufgenommen;
- f) Norm redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

VG 95375-3: 1986-12, 1994-12, 2006-01
VG 95376-3: 1988-12, 1999-02, 2006-02

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für neu zu entwickelnde, neu zu beschaffende sowie beizustellende Systeme und Geräte für die Bundeswehr.

Die in dieser Norm angegebenen Grundlagen und Hinweise sollen dem Entwickler helfen, bei vorgegebenen Nutz- und Störgrößen oder bei gegebener elektromagnetischer Umgebung und der erforderlichen Kopplungsdämpfung, eine zweckmäßige Verlegung von Kabeln und Leitungen zu erreichen.

Für die Erstellung von EMV-Unterlagen gelten die Schaltzeichen nach VG 95371-1 und die Einheiten nach VG 95371-3.

Änderungen

Compared with VG 95375-3:2006-01 and VG 95376-3:2006-02 the following amendments have been adopted:

- a) requirements for systems and equipment combined;
- b) technical requirements updated;
- c) shield bonding by means of additional metal braid omitted;
- d) shield bonding by means of conductive packing modules included;
- e) English version added;
- f) standard revised editorially.

Superseded editions

1 Scope

This standard shall apply for systems and equipment to be newly developed or to be newly procured for the Bundeswehr.

The fundamentals and advice given in this standard shall assist the developers with assessing appropriate routing of cables/wires on the basis of given wanted and disturbance levels or a specified electromagnetic environment and required coupling attenuation levels.

If EMC data are to be established, the symbols according to VG 95371-1 and the units according to VG 95371-3 shall apply.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 89280 (alle Teile), *Einführungen für Kabel und Leitungen*

DIN 89345, *Erdungseinsätze für Einführungen für Kabel und Leitungen*

VG 88773, *Einführungen für Kabel — Zusammenstellung und Anwendung bei Kabeln mit Schirm*

VG 88812, *Erdungseinsätze für Einführungen für Kabel mit Schirm*

VG 95218-2, *Kabel und Leitungen — Teil 2: Fachgrundnorm*

VG 95218-1009, *Elektrische Kabel und Leitungen — Teil 1009: Koaxialleitungen, Auswahl aus Spezifikationen der Reihe MIL-C-17*

VG 95343 (alle Teile), *Wärmeschrumpfende Bauelemente*

VG 95371-1, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Allgemeine Grundlagen — Schaltzeichen, Auswahl*

VG 95371-2, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Allgemeine Grundlagen — Begriffe*

VG 95371-3, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Allgemeine Grundlagen — Einheiten*

VG 95372, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektromagnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Übersicht*

VG 95373-15, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten — Teil 15: Messverfahren für Kopplungen und Schirmungen*

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

DIN 89280 (all parts), *Glands for electrical cables and wire*

DIN 89345, *Earthing inserts for glands for electrical cables and insulated wires*

VG 88773, *Glands for cables — Assembly and application for cables with screen*

VG 88812, *Earthing inserts for glands for cables with screen*

VG 95218-2, *Cables and insulated wires — Part 2: Generic specification*

VG 95218-1009, *Electrical cables and insulated wires — Part 1009: Coaxial wires; Selection of specifications of the series MIL-C-17*

VG 95343 (all parts), *Heat shrinkable component*

VG 95371-1, *Electromagnetic compatibility including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Fundamentals — Part 1. Circuit symbols, selection*

VG 95371-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection - Fundamentals — Part 2: Terms*

VG 95371-3, *Electromagnetic compatibility including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Fundamental — Units*

VG 95372, *Electromagnetic compatibility (EMC) including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Survey*

VG 95373-15, *Electromagnetic compatibility — Electromagnetic compatibility of equipment — Part 15: Test methods for coupling and shielding*

VG 95373-60, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten — Teil 60: Grenzwerte für geschirmte Steckverbinder*

VG 95374-4 Bbl 1, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektro-magnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Programm und Verfahren — Teil 4: Verfahren für Systeme und Geräte, Rechenverfahren für die EMV-Analyse*

VG 95374-4 Bbl 2, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) einschließlich Schutz gegen den Elektro-magnetischen Impuls (EMP) und Blitz — Programm und Verfahren — Teil 4: Verfahren für Systeme und Geräte, EMV-Analyse von Kabelkopplungen*

VG 95375-6, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen — Teil 6: Massung*

VG 95375-30 Bbl 1, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Systemen und Geräten — Teil 30: Verkabelung, Kopplungsimpedanzen von Einführungen und Durchführungen für Kabel und Leitungen mit der Möglichkeit zur Schirmauflegung*

VG 95375-40, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen und Geräten — Teil 40: Schirmung*

VG 95376-6, *Elektromagnetische Verträglichkeit — Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung und Konstruktion von Geräten — Teil 6: Massung*

VG 95373-60, *Electromagnetic compatibility — Electromagnetic compatibility of equipment — Part 60: Limiting values for screened connectors*

VG 95374-4 Bbl 1, *Electromagnetic compatibility (EMC) including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Programme and procedures — Part 4: Procedures for systems and equipment; Methods of analysis for EMC*

VG 95374-4 Bbl 2, *Electromagnetic compatibility (EMC) including electromagnetic pulse (EMP) and lightning protection — Programme and procedures — Part 4: Procedures for systems and equipment; EMC-analysis of cable couplings*

VG 95375-6, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and Measures for the Development of Systems — Part 6: Bonding*

VG 95375-30 Bbl 1, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development and design of systems and equipment — Part 30: Cabling, transfer impedance of devices for cable shield bonding*

VG 95375-40, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and measures for the development of systems and equipment — Part 40: Shielding*

VG 95376-6, *Electromagnetic compatibility — Fundamentals and Measures for Development and Design of Equipment — Part 6: Bonding*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach VG 95371-2 und VG 95218-2.

3 Terms and definitions

For the purposes of this standard, the terms and definitions according to VG 95371-2 and VG 95218-2 apply.

4 Grundlagen

4.1 Allgemeines

Kabel und Leitungen treten in Wechselbeziehung zu ihrer Umgebung, d.h. sie erzeugen aufgrund der übertragenen Nutz- und Störleistungen elektrische und magnetische Felder und sie entnehmen Nutz- und Störfeldern Leistungen, die sich in den Übertragungskreisen störend auswirken können. Diese Wechselbeziehungen werden umso intensiver, je länger Kabel und Leitungen nebeneinander, z.B. in Bündeln, verlegt sind und je kleiner die Abstände zwischen Kabeln/Leitungen und Antennen sowie zwischen Kabeln/Leitungen untereinander sind.

Mit der Wahl zweckmäßiger Kabel-/Leistungsarten und durch entsprechende Verlegung kann diese Beeinflussung reduziert werden. Damit kann unter Umständen auf zusätzliche Schirmungs- und Filterungsmaßnahmen verzichtet werden.

Grundsätzlich gilt, dass alle Kabel/Leitungen in möglichst geringem Abstand von der Masse zu verlegen sind; damit wird eine geringe "wirksame Länge l_w " erreicht. Die Grundlagen zur Ermittlung von "wirksamen Längen l_w " verlegter Kabel/Leitungen sowie von Kopplungsdämpfungswerten zwischen zwei verlegten Kabeln/Leitungen enthält VG 95374-4 Bbl 1. Um die Vorteile dieser Verlegung voll ausnutzen zu können, muss eine möglichst flächenhaft ausgebildete, niederohmige Masse oder ein entsprechender Bezugsleiter vorhanden sein (siehe VG 95376-6).

Die EMV-Analyse von Kopplungen zwischen Kabeln/Leitungen wird in VG 95374-4 Bbl 2 behandelt.

Bei der Verlegung von Kabeln/Leitungen sind folgende Hinweise zu beachten:

- Kabel/Leitungen sind so kurz wie möglich zu halten;
- Signalleiter für digitale und für analoge Signale sind durch den größtmöglichen räumlichen Abstand zu entkoppeln;
- Stromversorgungs- und Signalleitungen sollen nicht eng beieinander geführt werden;
- Parallelführung von beeinflussbaren und störaussendenden Kabeln/Leitungen in einem Bündel sind zu vermeiden oder auf die kleinstmögliche Länge zu beschränken, um eine geringe Kopplung zu erreichen;
- Bei einadrigen Leitungen sind Hin- und Rückleiter eng beieinander und möglichst verseilt zu verlegen.

4 Fundamentals

4.1 General

Cables and wires interact with their environment; i.e. they generate electric and magnetic fields from the transferred wanted and unwanted electrical power, and power is induced by radiated wanted and unwanted fields which may adversely affect electrical circuits. This interaction increases with number and length of combined cables/wires (e.g. bundles) and with decreasing separation between individual cables/wires or between cables/wires and antennas.

These effects can be reduced by selecting suitable cable types and by appropriate routing. This may obviate the need for additional shielding and filtering measures under certain circumstances.

Principally, all cables/wires should be routed as close to ground as possible, thus, a short "effective length l_w " can be obtained. The fundamentals for determining "the effective length l_w " of routed cables/wires and the coupling attenuation values between two actual cables/wires are contained in VG 95374-4 supplement 1. In order to fully exploit the advantages of this type of cable routing, all points of the equipment which are intended for cable routing should be provided with a low-impedance grounding area or an appropriate reference conductor (see VG 95376-6).

EMC analysis of coupling between cables/wires is described in VG 95374-4 supplement 2.

For cable/wire routing the following should be observed:

- Cables/wires should be as short as possible;
- Maximum spacing will provide optimum isolation for digital and analogue signal conductors;
- Power supply cables/wires should not be routed close to signal cables/wires;
- Parallel routing of susceptible and radiating cables/wires in one harness should be avoided or limited to the shortest possible length to minimize coupling;
- High and low conductor of single-core wires should be routed closely together and, if possible, twisted.

4.2 Signalübertragungsarten und Auswahl von Kabeln/Leitungen

4.2.1 Allgemeines

In einem ersten Schritt sind die Kabel-/Leitungsarten aufgrund der zu übertragenden Signalarten auszuwählen.

4.2.2 Ungeschirmte verseilte Kabel und Leitungen

Unsymmetrisch und potentialgebunden betriebene Kabel/Leitungen haben nur geringe Störfestigkeit gegen kapazitive und induktive Beeinflussungen.

Analoge Signale mit niedrigen Signalpegeln sollten im Regelfall über diese Kabel/Leitungen nicht übertragen werden.

4.2.3 Geschirmte verseilte Kabel/Leitungen

Besondere Eigenschaften:

- a) Im betrachteten Signalstromkreis sind höhere Sendepiegel, niedrigere Empfangspegel oder geringere Störfestigkeiten der angeschlossenen Geräte zulässig;
- b) Es sind größere Übertragungsbereichweiten (Kabel-/Leitungslängen) erreichbar.

Die genannten Vorteile werden nur bei beidseitig ausgeführter Schirmkontaktierung wirksam.

4.2.4 Koaxiale Kabel/Leitungen

Koaxiale Kabel/Leitungen werden im Regelfall zur Übertragung hochfrequenter Signale verwendet. Sie sind je nach Ausführung und Leitungslänge für Frequenzen bis ca. 50 GHz geeignet. Bei der Auswahl der Bauform sind außer den Übertragungseigenschaften auch die EMV-Eigenschaften, die durch die Kopplungsimpedanz beschrieben werden, zu berücksichtigen. Eine Auswahl von Koaxialkabeln nach den Normen der Reihe MIL-C-17 ist in VG 95218-1009 enthalten, wobei in dieser Norm jedoch nur Kabel für den Frequenzbereich bis 12,4 GHz spezifiziert sind.

4.2 Types of signal transmission and selection of cables/wires

4.2.1 General

The first step is the selection of cable/wire types on the basis of the signals to be transmitted.

4.2.2 Unshielded twisted cables/wires

Cables/wires with unbalanced, non-isolated signal transmission are hardly immune to capacitive and inductive interference.

Generally, they should not be used for the transmission of analogue signals having low signal amplitudes.

4.2.3 Shielded twisted cables/wires

Specific properties:

- a) In the signal circuit to be considered, higher signal amplitudes, lower reception amplitudes or reduced immunity requirements for the connected equipment are permitted;
- b) Greater transmission ranges (cables/wire lengths) are achievable.

The above advantages have an effect only if cable/wire shields are bonded at both ends.

4.2.4 Coaxial cables/wires

As a rule, coaxial cables/wires are used for the transmission of RF signals. Depending on design and wire length, they can be used for frequencies up to approximately 50 GHz. Besides the transmission characteristics, the EMC characteristics, as expressed by the transfer impedance, should also be considered for wire type selection. A selection of coaxial cables according to the standards of the series MIL-C-17 is included in VG 95218-1009. However, cables only for the frequency range up to 12,4 GHz are specified in this standard.

4.2.5 Geschirmte koaxiale Kabel/Leitungen

Geschirmte koaxiale Kabel/Leitungen werden für Signalstromkreise eingesetzt, wenn diese geringe Störfestigkeit oder hohe Störaussendungen haben oder durch Bereiche mit stark unterschiedlichen Störsignalpegeln führen.

Der Kabel-/Leitungsschirm wird auf der gesamten Länge und bei allen zugehörigen Steckverbindern vom koaxialen Außenleiter isoliert geführt und an beiden Seiten des Stromkreises sowie an allen Durchtrittsstellen durch Schirmwände rundum mit der Gerätemasse verbunden. Der koaxiale Außenleiter dient nur noch als Signalerückleiter. Hierdurch werden sehr hohe Kopplungsdämpfungswerte zu anderen Signalstromkreisen erzielt. Wird dagegen der Kabel-/Leitungsschirm vom koaxialen Außenleiter nicht isoliert, so wird insgesamt nur die Schirmwirkung einer ungeschirmten koaxialen Leitung mit einem Außenleiter aus Doppelgeflecht erreicht.

Soll der Schirm koaxialer Kabel/Leitungen eine Schirmwirkung gegen niederfrequente magnetische Felder aufweisen, sind Kabel/Leitungen mit hochpermeablem Schirm einzusetzen oder andere Maßnahmen (z.B. Entkopplung durch räumlichen Abstand) anzuwenden.

4.2.5 Shielded coaxial cables/wires

Shielded coaxial cables/wires are used for signal circuits having low immunity and high emission levels or if they are routed in zones with highly varying disturbing signal levels.

The cable/wire shield is isolated from the coaxial outer conductor both along the whole cable/wire length and in all associated connectors, and circumferentially connected to equipment structure at both sides of the signal circuit as well as at all points where shielding walls are penetrated. The coaxial outer conductor serves only as signal return conductor. This will result in very high coupling attenuation values with regard to other signal circuits. However, if the cable/wire shield is not isolated from the coaxial outer conductor, only the shielding effectiveness of an unshielded coaxial cable/wire with double-braided outer conductor can be achieved.

If the shield of coaxial cables/wires shall provide a shielding effect towards low-frequent magnetic fields, cables/wires with high-permeable shield shall be used or other measures shall be taken (e.g. decoupling resulting from separation).

4.3 Kabelkopplungsimpedanz und Reduktionsfaktor

Die Kabelkopplungsimpedanz ist eine kabelspezifische Größe und beschreibt das Verhältnis zwischen dem Summenstrom auf dem Kabel und der Spannung zwischen Mantel und Innenleiter. Diese komplexe Größe wird längenbezogen und im allgemeinen nur als Betrag angegeben. Sie ist definiert als

$$Z_K' = \frac{dU_i}{dz} \times \frac{1}{I_a} \quad (1)$$

Dabei ist

z Längenkoordinate;
 I_a Summenstrom auf dem Kabel;
 U_i Spannung zwischen Mantel und Innenleiter.

Als Reduktionsfaktor k_r elektrisch kurzer Kabel ($l \leq \lambda/10$) wird der Quotient aus der Spannung U_i und der äußeren, für den Strom über dem Kabelschirm verantwortlichen Spannung U_a bezeichnet. Für k_r gilt:

$$k_r = \frac{|U_i|}{|U_a|} = \frac{|Z_K' \times l \times I_a|}{|Z_a' \times l \times I_a|} = \frac{|Z_K' \times l|}{|(R_a' + j\omega L_a') \times l|} \quad (2)$$

Dabei ist

U_i Spannung zwischen Mantel und Innenleiter;
 U_a äußere Spannung;
 Z_K' Kopplungsimpedanz;
 I_a Summenstrom auf dem Kabel;
 l Länge des Kabels;
 R_a' Wirkwiderstand des Kabelschirmes (frequenzabhängig aufgrund des Skin-Effektes);
 L_a' Selbstinduktivität des äußeren Stromkreises;
 Z_a' Impedanz des äußeren Stromkreises ($Z_a' = R_a' + j\omega L_a'$).

Bei gegebener Verlegeart und Rundumkontaktierung an beiden Enden des Kabels ist der Reduktionsfaktor k_r proportional zur Kopplungsimpedanz Z_K' . Auch der Reduktionsfaktor sollte möglichst kleine Werte annehmen. Bei nicht idealer Kabelschirmauflegung treten an beiden Enden des Kabels zusätzliche Kopplungsvorgänge auf, die im allgemeinen zu einem steigenden Reduktionsfaktor führen. Nähere Einzelheiten zur Ermittlung der Kabelkopplungsimpedanz und des Reduktionsfaktors siehe VG 95374-4 Bbl 2.

4.3 Cable transfer impedance and screening factor

The transfer impedance is a characteristic quantity of cables/wires describing the ratio of the voltage between shield and inner conductor to the current flowing along the shield. This complex quantity is given per unit length and generally in absolute values. It is defined as

where

z length coordinate;
 I_a current along the shield;
 U_i voltage between shield and inner conductor.

For electrically short cables/wires ($l \leq \lambda/10$), the screening factor k_r is defined as the ratio of the voltage U_i and the outer voltage U_a responsible for the current flow along the cable shield.

where

U_i voltage between shield and inner conductor;
 U_a outer voltage;
 Z_K' transfer impedance;
 I_a current along the shield;
 l length of cable;
 R_a' ohmic resistance of cable shield (frequency – dependent due to skin effect);
 L_a' inductance of outer circuit;
 Z_a' impedance of outer circuit ($Z_a' = R_a' + j\omega L_a'$).

For a given routing type and circumferential bonding at both ends of the cable, the screening factor k_r is proportional to the transfer impedance Z_K' . The screening factor should be as low as possible. In the case of cable shields which are not correctly bonded additional coupling effects occur at both ends of the cable, resulting, in general, in a higher screening factor. Details on the determination of the cable transfer impedance and the screening factor are given in VG 95374-4 supplement 2.

5 Kabel-/Leitungskategorien

Grundsätzlich lassen sich alle Kabel und Leitungen bestimmten Kategorien und die Kategorien untereinander wiederum bestimmten Verlegungsabständen zuordnen. Kabel/Leitungen gleicher Kategorien können aus Sicht der EMV in einem gemeinsamen Bündel verlegt werden. Die Zuordnung der Verlegungsabstände erfolgt je nach Kenntnis über die Einflussgrößen entweder nach dem Standardverfahren (siehe Abschnitt 6) oder nach dem analytischen Verfahren (siehe Anhang A).

Das Standardverfahren beruht auf der Erkenntnis, dass bei zu übertragenden typischen Nutz- oder Störsignalen bzw. typischen Kabel- bzw. Leitungsarten und bestimmten festen Verlegungsabständen die Systemverträglichkeit einschließlich der erforderlichen Störsicherheitsabstände gegeben ist. Dieses Verfahren hat sich in der Praxis bewährt.

Können die Verlegungsabstände nach dem Standardverfahren nicht eingehalten werden, so ist in kritischen Fällen nach dem analytischen Verfahren oder messtechnisch (z.B. nach VG 95373-15) festzustellen, ob eine ausreichende Kopplungsdämpfung vorliegt. Diese Vorgehensweise ist auch anzuwenden für die Verlegung der Sonderkabel und -leitungen.

Kryptokabel sind nach besonderen Vorschriften zu verlegen.

Lichtwellenleiter können jeder Kategorie zugeordnet werden.

In Tabelle 1 sind Systemkabel/-leitungen in Abhängigkeit von der Art der mit dem Kabel/der Leitung übertragenen Nutz- bzw. Störsignale der Geräte den folgenden Kategorien zugeordnet. Die Aufzählung der Beispiele ist unvollständig und enthebt den Planer nicht von der Verpflichtung, die Zuordnung im Einzelfall zu überprüfen und festzulegen. Ebenso enthebt sie den Planer nicht von der Verpflichtung, eine projektbezogene Kategorientabelle zu erstellen.

Einzelheiten der Verlegungsplanung und der Verlegungsabstände sind dem Abschnitt 6 zu entnehmen.

5 Cable/wire categories

Fundamentally, all cables and wires may be assigned to specific categories, which again can be assigned to defined routing separations. From EMC standpoint, cables/wires of the same category can be routed in a common bundle. The assignment to defined routing separations depends on the available information on the respective influence parameters and is performed using the standard method (refer to Clause 6) or the analytic method (refer to Annex A).

The standard method is based on the fact that system compatibility and the required immunity margins are ensured, if typical wanted or disturbance signals are transferred by typical types of cables/wires which are routed at given separations. This procedure has proved successful in general practice.

If separations determined by the standard method can not be realized, in critical cases, either the analytical method or suitable testing methods (e.g. according to VG 95373-15) shall be used to verify whether decoupling is sufficient. This approach shall also be applied to the routing of special-purpose cables and wires.

Cryptographic cables shall be routed according to particular specifications.

Fibre optics may be assigned to any category.

Table 1 assigns system cables/wires to different categories according to the type of signal (wanted or disturbance) transferred via the cable/wire. The examples listed are incomplete; it is therefore indispensable for planners to verify and specify assignments in each case. Furthermore, it is also essential for planners to establish a table for categories which is related to the particular application.

For more details on routing concept and routing separations see Clause 6.

Tabelle 1 — Beispiel für eine Kategorientabelle mit Kriterien

Kategorie	Störkriterien	Einsatzbereiche, typische Geräte und Systeme, Schnittstellen	Betriebsspannungen und Nutzsignale der Geräte/Systeme, Schnittstellen	angeschlossene Geräte stören durch	angeschlossene Geräte sind störbar durch	Merkmale typischer Systemkabel	Verlegehinweise
1	unempfindlich, störend	allgemeine Stromversorgung, Leistungselektronik, G/A mit Netzurückwirkungen, Beleuchtungsanlagen	DC 12 V bis 1000 V, AC 115 V bis 440 V 50 Hz, 60 Hz, 400 Hz	Oberschwingungen, Schaltvorgänge, Flicker, Impulsförmige Störgrößen(Bursts)	---	paarig bzw. mehrdrig geschirmt, Gesamtschirm	Schirme beidseitig an Masse
2	unempfindlich, nicht störend	drahtgebundene Fernmelde-, Signal-, Alarm- und Steuerungsanlagen	0,1 V bis 120 V NF, schmalbandig	---	---	paarig bzw. mehrdrig geschirmt,	Schirme beidseitig an Masse
		digitale Signalübertragung (RS 232 [V.24], RS 422, RS 485), Stromschleife, CAT-5-Bus CAT-6-Bus CAT-7-Bus	seriell bis ± 15 V 0 mA bis 20 mA Ethernet CCITT X.25			Ethernet-Steckverbinder Adern paarweise verdreht, ungeschirmt oder geschirmt, Gesamtschirm	Schirme beidseitig an Endgerätemasse
3	empfindlich, nicht störend	Kabel für Videosignale, Synchronisations- und Impulskabel kleiner Leistung	0,1 V bis 15 V HF, breitbandig	---	impulsförmige Störgrößen (Bursts)	---	Schirme beidseitig an Masse
4	sehr empfindlich, nicht störend	Empfangsanlagen, Lautsprecher- und Bordsprechanlagen, analoge Übertragung	ca. 0,1 μ V bis ca. 500 mV an 50 Ω bis 2000 Ω , HF, NF schmalbandig	---	HF-Störgrößen auf und in der Nähe der Trägerfrequenz (schmalbandig), NF-Ausgleichsströme auf Schirmen und Bezugsmassen	---	NF-Schirme einseitig an Masse Gesamtschirm beidseitig an Masse
5	unempfindlich, stark störend	Sendeendstufen, Sendeantennen	HF 10 V bis 1000 V	Abstrahlung über Kabel/Leitung	---	koaxial, Spezialkabel	spezielle Vorschriften für den Mastbereich beachten Kabel/Leitungen für Sonar- und Lotanlagen in Schutzrohren
6	Sonderkabel ^a und -leitungen	Sendeempfänger	---	Abstrahlung über Kabel/Leitung	---	koaxial	---
		Fahranlagen	DC 200 V bis 1000 V	Schaltvorgänge, Impulsförmige Störgrößen (Bursts)	Schaltvorgänge, Impulsförmige Störgrößen (Bursts)	geschirmt	Schirme beidseitig an Masse ^b

^a muss von Fall zu Fall untersucht werden, ob für diese Kabel bzw. Leitungen Sondermaßnahmen (z.B. Einzelverlegung oder zusätzliche Schirmung) erforderlich sind oder ob sie im Bündel mit anderen Kabeln und Leitungen verlegt werden können.

^b muss von Fall zu Fall untersucht werden, ob der Kabel- bzw. Leitungsschirm beidseitig an Masse gelegt werden darf. Dies gilt insbesondere für geschirmte Einleiterkabel und beim Auftreten von hohen Strömen auf Grund von Potentialunterschieden (insbesondere bei Landanlagen).

Table 1 — Example of a table for cable categories with criteria

Category	Disturbance criterion	Field of application, typical equipment, interfaces	Operating voltages and wanted signals of equipment/systems, interfaces	Connected devices may disturb by	Connected devices may be disturbed by	Characteristics of typical system cables/wires	Routing advice
1	unsusceptible, disturbing	power supply, power electronics, G/A with conducted interference, lightning systems	DC 12 V to 1000 V, AC 115 V to 440 V 50 Hz, 60 Hz, 400 Hz	harmonics, switching operation, flicker, pulse-shaped disturbances (bursts)	---	pairs or multi-wire, shielded, overall shield	Shields bonded at both ends
2	unsusceptible, non-disturbing	wire-band communication, signal alarm and control systems	0,1 V to 120 V low-frequency, narrow-band	---	---	pairs or multi-wire, shielded	Shields bonded at both ends
		digital data transmission (RS 232 [V.24], RS 422, RS 485), current loop, CAT-5-Bus, CAT-6-Bus, CAT-7-Bus	serial up to ± 15 V 0 mA to 20 mA Ethernet CCITT X.25			Ethernet-connectors twisted pairs, unshielded or shielded, overall shield	Shields bonded at both ends to equipment ground
3	susceptible, non-disturbing	cables for video signal transmission, low-power synchronization and pulse cables	0,1 V to 15 V radio-frequency, broad-band	---	pulse-shaped disturbances (bursts)	---	Shields bonded at both ends
4	very susceptible, non-disturbing	Receiving antenna systems, loudspeaker units and on-board intercommunication systems, transmission of analogue signals	≈ 0,1 µV to ≈ 500 mV at 50 Ω to 2000 Ω, radio-frequency, low-frequency, narrow-band	---	RF disturbances at or near the carrier frequency (narrow-band), low-frequent equalising currents on shields and reference ground	---	Shields against low-frequency disturbances bonded at one end, overall shield bonded at both ends
5	insusceptible, highly disturbing	Transmitter output stages, transmitting antennas	RF 10 V to 1000 V	radiated disturbances from cables/wires	---	coaxial, special cables	Special instructions for the antenna mast area shall be observed cables/wires for sonar and sounding systems shall be routed in shielding tubes
	Special ^a cables/wires	transceiver	---	radiated disturbances from cables/wires	---	coaxial	---
propulsion plants		DC 200 V to 1000 V	switching, pulse-shaped disturbances (bursts)	switching, pulse-shaped disturbances (bursts)	shielded	Shields bonded at both ends ^b	
In any case it shall be analyzed whether special measures are required for these cables/wires (separate routing or additional shielding), or whether they can be routed together with other cables/wires in a bundle.							
In any case it shall be analysed whether the cable/wire shield may be bonded at both ends. This applies especially for shielded single conductors or if high currents occur resulting from potential differences (especially for systems ashore).							