

## Inhalt

Vorwort.....	5
<b>1 Einführung und Übersicht.....</b>	<b>17</b>
1.1 Vorbemerkungen zur Historie der EMV – Vom Bernstein zum Kraftwerk und von Lichtzeichen zu Blauzahn .....	17
1.1.1 Erste Entdeckungen und Erkenntnisse .....	17
1.1.1.1 Frühe Erkenntnisse .....	18
1.1.2 Erste Störsenken, Schwachstromtechnik.....	19
1.1.3 Erste Störquellen, Starkstromtechnik.....	20
1.1.4 Störquelle und Störsenke in einer Anwendung .....	24
1.1.5 Regulierung, Normung, Vereinbarungen, Maßnahmen .....	26
Literatur zu Abschnitt 1.1.....	34
1.2 Einführung und Übersicht zu Störphänomenen, Anforderungen, Maßnahmen, Produkten und Dienstleistungen.....	35
1.2.1 Definition und Wege zur EMV.....	35
1.2.2 Störphänomene und Anforderungen.....	37
1.2.3 Maßnahmen zur Sicherstellung der Elektromagnetischen Verträglichkeit .....	43
1.2.4 Produkte und Dienstleistungen zur Sicherstellung der Elektromagnetischen Verträglichkeit .....	44
1.2.5 EMV-Richtlinie und EMV-Gesetz sowie Normung .....	46
1.2.6 Herausforderung und Notwendigkeit.....	47
Literatur zu Abschnitt 1.2.....	47
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>49</b>
2.1 Definition und Grundbegriffe .....	49
2.2 EMV-Beeinflussungsmodell .....	50
2.2.1 Galvanische Kopplung.....	52
2.2.2 Kapazitive Kopplung .....	53
2.2.3 Induktive Kopplung .....	53
2.2.4 Strahlungskopplung .....	54
2.3 Darstellung elektromagnetischer Größen.....	55
2.3.1 Pegeldarstellung.....	55
2.3.2 Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich .....	56
2.4 EMV-Kenngrößen .....	58
2.4.1 Einfügungsdämpfung.....	58

2.4.2	Schirmdämpfung .....	61
2.4.3	Kopplungsimpedanz .....	61
	Literatur zu Kapitel 2 .....	62
<b>3</b>	<b>EMV-Grundmaßnahmen .....</b>	<b>63</b>
3.1	Maßnahmenübersicht .....	63
3.2	EMV-Grenzwerte .....	64
3.3	Einteilung in EMV-Bereiche .....	67
3.4	Massung, Erdung, Potentialausgleich .....	69
3.4.1	Massungskonzepte .....	71
3.4.2	Erdung .....	76
3.4.3	Potentialausgleich .....	77
3.4.4	Ausführung von Massung, Erdung und Potentialausgleich .....	78
3.5	Maßnahmen zur Filterung/Entstörmittel .....	79
3.5.1	Filteranordnung .....	82
3.5.2	Ableitstromarme Filter .....	85
3.5.3	Stromkompensierte Drosselspulen .....	85
3.5.4	Überspannungsschutz mit RC-Gliedern .....	86
3.6	Schirmung .....	88
3.7	Verkabelung .....	92
3.7.1	Das Kabel als Störquelle .....	92
3.7.2	Einkopplungen in Kabel .....	94
3.7.3	Der Kabelschirm .....	95
3.7.4	Kabelkategorien .....	103
3.7.5	Kabelträger .....	105
3.7.6	Zusammenstellung von Verkabelungsrichtlinien .....	105
	Literatur zu Kapitel 3 .....	106
<b>4</b>	<b>EMV-Systemplanung für Industrieanlagen und zivil genutzte Objekte .....</b>	<b>109</b>
4.1	Einleitung .....	109
4.2	Anlagen und CE-Kennzeichnung .....	109
4.2.1	Grundsätzliche Überlegungen zu den Anforderungen der EMV-Richtlinie .....	110
4.3	Ablauf einer EMV-Systemplanung .....	111
4.3.1	Vorgehensweise, Tätigkeiten einer EMV-Planung .....	113
4.3.2	Zeitlicher Ablauf einer EMV-Planung bei Baumaßnahmen .....	115
4.4	EMV-Plan .....	117
4.4.1	Beispiel für die grundlegenden Anforderungen an ein System ...	118
4.4.2	Beispiel für die Vorgehensweise zur EMV-Datensammlung .....	119
4.4.3	Beispiele zu den Analysen .....	121
4.4.4	Beispiele zu den Maßnahmen .....	124

---

4.4.4.1	Massung, Erdung und Potentialausgleich .....	125
4.4.4.2	Verkabelung .....	127
4.5	Zusammenfassung. ....	129
	Literatur zu Kapitel 4 .....	129
5	<b>EMV-Maßnahmen in Gebäuden und Anlagen</b> .....	131
5.1	EMV-gerechter Aufbau von Niederspannungsversorgungssystemen .....	131
5.1.1	Einleitung .....	131
5.1.2	TN-S-System.....	135
5.1.3	Netzfrequente Magnetfelder im TN-System.....	140
5.1.4	Alternative Versorgung eines Verbrauchers aus zwei Richtungen	141
5.1.5	Konzentrischer Schutzleiter .....	142
5.1.6	Ableitströme von Filtern .....	142
5.1.7	Fehlerstromschutzschalter.....	143
5.1.8	Zusammenfassung. ....	143
	Literatur zu Abschnitt 5.1.....	143
5.2	Überspannungsschutz von elektrischen Anlagen mit elektronischen Geräten, auch bei direkten Blitzeinschlägen.....	144
5.2.1	Schadensstatistiken der Sachversicherer.....	144
5.2.2	Gefährdung von Niederspannungsanlagen mit elektronischen Geräten durch Überspannungen .....	145
5.2.2.1	Ursachen für Gewitter-Überspannungsschäden .....	146
5.2.2.1.1	Direkt-/Naheinschlag .....	147
5.2.2.1.1.1	Spannungsfall am Stoßerdungswiderstand .....	147
5.2.2.1.1.2	Induktionsspannungen in metallenen Installationsschleifen .....	148
5.2.2.1.2	Ferneinschläge .....	150
5.2.3	Stand der internationalen und nationalen Blitzschutznormung ..	153
5.2.4	Bewertung des Blitzrisikos .....	155
5.2.5	Blitzparameter und Blitzentladungen .....	160
5.2.6	EMV-Blitzschutzzonen-Konzept .....	162
5.2.6.1	Einteilung in Schutzzonen .....	164
5.2.7	Äußerer Blitzschutz.....	166
5.2.7.1	Fangeinrichtung.....	167
5.2.7.2	Getrennte Fangeinrichtungen .....	167
5.2.7.3	Ableitungen.....	168
5.2.7.4	Isolierte Ableitungen .....	169
5.2.7.5	Elektrische Isolierung des äußeren Blitzschutzes – Trennungsabstand.....	171
5.2.8	Gebäude-/Raumschirmung .....	172
5.2.9	Schirmung von Leitungen.....	175
5.2.10	Potentialausgleich .....	177

5.2.10.1	Sternförmiger Potentialausgleich .....	177
5.2.10.2	Vermaschter Potentialausgleich.....	178
5.2.11	Erdungsanlage .....	179
5.2.12	Innerer Blitzschutz – Überspannungsschutz .....	180
5.2.12.1	Schutzgeräte an der Schnittstelle LPZ 0 <sub>A</sub> /LPZ 1 .....	182
5.2.12.2	Schutzgeräte an der Schnittstelle LPZ 1/LPZ 2 und höher .....	185
5.2.13	EMV-gerechte Blitzschutzplanung .....	187
5.2.14	Zusammenfassung.....	188
	Literatur zu Abschnitt 5.2.....	188
5.3	Beispiele für EMV-Maßnahmen in großflächigen Anlagen.....	190
5.3.1	Problemstellung.....	190
5.3.2	Allgemeines.....	191
5.3.3	EMV-Konzept für Gebäude.....	191
5.3.3.1	Gebäudeschirmung .....	192
5.3.3.2	Potentialausgleich.....	198
5.3.3.3	Verbindungen außerhalb der Gebäude .....	201
5.3.4	EMV-gerechter Anlagenaufbau.....	202
5.3.4.1	Grundsätzliches .....	202
5.3.4.2	Kabelverbindungen zwischen Gebäuden .....	203
5.3.4.3	Kabelschirmbehandlung .....	208
5.3.4.4	Erdung von Niederspannungsnetzen.....	212
5.3.4.5	Funktionspotentialausgleich der Elektronikanlagen.....	212
5.3.4.6	Aufbau von Elektronik- und Schaltschränken .....	215
5.3.4.7	Überspannungsschutzgeräte.....	218
5.3.5	Grundsätzliche Bewertungsverfahren zum Nachweis des ausreichenden Schutzes .....	220
5.3.6	Zusammenfassung.....	223
	Literatur zu Abschnitt 5.3.....	224
<b>6</b>	<b>Gesetzgebung und Normung .....</b>	<b>227</b>
6.1	EMV-Richtlinie und deutsches EMV-Gesetz .....	227
6.1.1	Grundsätzliches zur Regulierung in der Europäischen Union ....	227
6.1.2	EMV-Richtlinie.....	234
6.1.2.1	Grundlegende Anforderungen.....	237
6.1.2.2	Konformitätsbewertungsverfahren für Geräte.....	238
6.1.2.3	CE-Kennzeichnung, EG-Konformitätserklärung und sonstige Informationen.....	240
6.1.2.4	Technische Unterlagen.....	242
6.1.2.5	Ortsfeste Anlagen .....	243
6.1.2.6	Bewegliche Anlagen.....	245
6.1.3	Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (EMVG) [9] .....	247

---

6.1.4	Harmonisierte Normen.....	249
6.1.5	Leitfaden zur Anwendung der EMV-Richtlinie [6] .....	251
	Literatur zu Abschnitt 6.1.....	253
6.2	Die EMV-Normung .....	255
6.2.1	Internationale, regionale und nationale EMV-Normung.....	255
6.2.1.1	EMV-Normung in der IEC und CISPR.....	255
6.2.1.2	EMV-Normung in CENELEC.....	256
6.2.1.3	Wechselwirkungen zwischen IEC und CENELEC/ETSI .....	256
6.2.1.4	Die Rolle der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik .....	257
6.2.1.5	Militärische EMV-Normung (MIL STD und VG).....	258
6.2.1.6	EMV-Normen für Telekommunikationstechnik (ETSI) .....	259
6.2.2	EMV-Normen .....	259
6.2.2.1	Grundnormen .....	259
6.2.2.2	Fachgrundnormen.....	259
6.2.2.3	Produktfamiliennormen.....	260
6.2.2.4	EMV-Normen für spezielle Produkte .....	261
6.2.3	Wie findet man die zutreffende EMV-Norm für ein Produkt .....	262
6.2.4	Zugang und Auskunft zu EMV-Normen.....	262
6.2.4.1	IEC .....	263
6.2.4.2	ISO .....	263
6.2.4.3	CENELEC .....	263
6.2.4.4	CEN .....	264
6.2.4.5	ETSI .....	264
6.2.4.6	DKE .....	264
6.3	Revision der „Neuen Konzeption“; „New Legal Framework“ (NLF) .....	265
6.3.1	Einführung .....	265
6.3.2	Veröffentlichung im Amtsblatt .....	265
6.3.2.1	Verordnung (EG) Nr. 764/2008 .....	266
6.3.2.2	Verordnung (EG) Nr. 765/2008 .....	266
6.3.2.2.1	Akkreditierung .....	267
6.3.2.2.2	Rechtsrahmen für eine gemeinschaftliche Marktüberwachung ..	269
6.3.2.2.3	CE-Kennzeichnung .....	271
6.3.2.3	Beschluss Nr. 768/2008/EG.....	272
6.3.3	Zusammenfassung.....	273
	Literatur zu Abschnitt 6.3.....	273
<b>7</b>	<b>Anforderungen an Geräte und deren praktische Umsetzung ...</b>	<b>275</b>
7.1	Niederfrequente Phänomene .....	275
7.1.1	Übersicht .....	275
7.1.2	Begrenzung von Stromüberschwingungen .....	277

7.1.2.1	IEC/EN 61000-3-2 (VDE 0838-2) .....	277
7.1.2.1.1	Technische Anforderungen in DIN EN 61000-3-2 (VDE 0838-2), Grenzwerte und Messverfahren.....	278
7.1.2.1.2	Maßnahmen .....	282
7.1.2.1.3	Messtechnik.....	287
7.1.2.2	DIN EN 61000-3-12 (VDE 0838-12).....	288
7.1.2.2.1	Technische Anforderungen, Grenzwerte und Messverfahren .....	289
7.1.3	Begrenzung von Spannungsschwankungen und Flicker .....	294
7.1.3.1	DIN EN 61000-3-3 (VDE 0838-3).....	294
7.1.3.1.1	Technische Anforderungen in DIN EN 61000-3-3 (VDE 0838-3), Grenzwerte und Messverfahren.....	294
7.1.3.2	DIN EN 61000-3-11 (VDE 838-11) .....	298
7.1.3.2.1	Technische Anforderungen, Grenzwerte und Messverfahren .....	299
7.1.4	Prüfung der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen nach DIN EN 61000-4-11 (VDE 0847-4-11) .....	302
7.1.4.1	Anwendungsbereich von DIN EN 61000-4-11 (VDE 0847-4-11)..	303
7.1.4.2	Technische Anforderungen, Grenzwerte und Messverfahren .....	303
7.1.5	Störfestigkeit gegen Harmonische, Interharmonische und „Mains Signalling“ .....	307
7.1.6	Störfestigkeit gegen Spannungsschwankungen .....	307
7.1.7	Prüfung der Störfestigkeit gegen leitungsgeführte, asymmetrische Störgrößen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 150 kHz .....	310
7.1.8	Prüfung der Störfestigkeit gegen Unsymmetrie der Versorgungsspannung.....	312
7.1.9	Prüfung der Störfestigkeit gegen Schwankungen der Netzfrequenz .....	313
7.1.10	Prüfung der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen an Gleichstrom-Netzeingängen.....	313
7.1.11	Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen.....	315
7.1.12	EN 50160, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen .....	316
	Literatur zu Abschnitt 7.1.....	316
7.2	Funk-Entstörung und Störfestigkeit gegen hochfrequente Störquellen .....	319
7.2.1	Allgemeines, Einführung.....	319
7.2.2	Funk-Entstörung.....	319
7.2.2.1	Normenübersicht.....	319
7.2.2.2	Grenzwerte .....	320
7.2.2.2.1	Mittelwert und Quasispitzenwert (QP).....	321

7.2.2.2.2	Grenzwertklassen A und B .....	321
7.2.2.3	Messverfahren und Anforderungen an Messeinrichtungen .....	323
7.2.2.3.1	Funktörspannung .....	323
7.2.2.3.2	Funktörfeldstärke im Frequenzbereich 30 MHz bis 1 GHz .....	325
7.2.2.3.3	Funktörfeldstärke im Frequenzbereich 1 GHz bis 6 GHz .....	330
7.2.2.4	Beispiele für Maßnahmen .....	331
7.2.2.5	CISPR 32/DIN EN 55032 (VDE 0878-32):2012-05 .....	337
7.2.3	Störfestigkeit gegen hochfrequente Felder .....	338
7.2.3.1	Normenübersicht .....	338
7.2.3.2	Grenzwerte .....	338
7.2.3.3	Messverfahren und Anforderungen an Messeinrichtungen .....	339
7.2.3.4	Beispiele für Maßnahmen .....	340
7.2.4	Störfestigkeit gegen hochfrequente leitungsgeführte Störgrößen .....	340
7.2.4.1	Messverfahren und Anforderungen an die Messeinrichtung .....	340
7.2.4.2	Grundsätzliche Maßnahmen zur Realisierung der Störfestigkeit .....	341
	Literatur zu Abschnitt 7.2 .....	345
7.3	Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen .....	347
7.3.1	Schnelle transiente Störgrößen .....	347
7.3.2	Die Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen als grundlegende Anforderung an Betriebsmittel .....	350
7.3.3	Störfestigkeit gegen Entladungen statischer Elektrizität (ESD) ...	353
7.3.3.1	Das Störphänomen ESD .....	353
7.3.3.2	Die ESD-Störfestigkeitsprüfung nach DIN EN 61000-4-2 .....	356
7.3.3.3	Beispiele für Maßnahmen zur Verbesserung der Störfestigkeit ...	366
7.3.4	Störfestigkeit gegen EFT/Burst .....	367
7.3.4.1	Das Störphänomen EFT/Burst .....	367
7.3.4.2	Die Burst-Störfestigkeitsprüfung nach DIN EN 61000-4-4 .....	373
7.3.4.3	Beispiele für Maßnahmen zur Verbesserung der Störfestigkeit ...	381
7.3.5	Störfestigkeit gegen Stoßspannungen („Surge“) .....	383
7.3.5.1	Das Störphänomen „Surge“ .....	383
7.3.5.2	Die „Surge“-Störfestigkeitsprüfung nach DIN EN 61000-4-5 .....	388
7.3.5.3	Beispiele für Maßnahmen zur Verbesserung der Störfestigkeit ...	396
7.3.6	Störfestigkeitsanforderungen für besondere Fälle .....	397
7.3.6.1	Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder .....	398
7.3.6.2	Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder .....	399
7.3.6.3	Störfestigkeit gegen gedämpfte Sinusschwingungen („Ring wave“) .....	400
7.3.6.4	Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Wellen .....	401
	Literatur zu Abschnitt 7.3 .....	402
8	Anwendungsbeispiele .....	405
8.1	EMV-Aspekte beim Einsatz drehzahlveränderbarer Antriebe .....	405

8.1.1	Drehzahlveränderbare Antriebe unter EMV-Gesichtspunkten . . . .	405
8.1.2	Drehzahlveränderbare Antriebe als Störquelle . . . . .	406
8.1.3	EMV-Anforderungen . . . . .	412
8.1.4	Maßnahmen zum EMV-gerechten Aufbau von drehzahlveränderbaren Antrieben . . . . .	413
8.1.4.1	Das Zonenkonzept im Schaltschrank . . . . .	413
8.1.4.2	Filtertechniken . . . . .	417
8.1.4.3	Schaltschrankaufbau . . . . .	421
8.1.5	Vorgehen bei der Störungsbehebung . . . . .	428
8.1.6	EMV-Aspekte in Zusammenhang mit Funktionaler Sicherheit . . .	431
	Literatur zu Abschnitt 8.1 . . . . .	438
8.2	EMV auf Bahnfahrzeugen . . . . .	439
8.2.1	Einleitung . . . . .	439
8.2.2	Grundlegendes zur EMV . . . . .	440
8.2.2.1	Grundlagen . . . . .	440
8.2.2.2	Übertragungswege . . . . .	441
8.2.2.3	Störphänomene . . . . .	442
8.2.2.3.1	Störfestigkeit . . . . .	443
8.2.2.3.2	Störaussendung . . . . .	443
8.2.3	EMV auf Bahnfahrzeugen . . . . .	444
8.2.3.1	Besonderheiten auf Bahnfahrzeugen . . . . .	445
8.2.3.2	EMV-Konzept für Bahnfahrzeuge . . . . .	446
8.2.4	Maßnahmen . . . . .	450
8.2.4.1	Kabelkategorien . . . . .	450
8.2.4.2	Schirmung . . . . .	454
8.2.4.3	Maßnahmen an Geräten (Steuerteil, Leistungsteil) . . . . .	456
8.2.5	Gesetzliche Bestimmungen und Normen . . . . .	457
8.2.5.1	EMV-Richtlinie und EMV-Gesetz . . . . .	457
8.2.5.2	Interoperabilitäts-Richtlinien . . . . .	458
8.2.5.3	Nationale und regionale bahnspezifische Anforderungen . . . . .	459
8.2.5.4	Personenschutz . . . . .	459
8.2.6	Messungen . . . . .	460
8.2.6.1	Komponenten . . . . .	460
8.2.6.2	Gesamtfahrzeug . . . . .	462
8.2.7	Zusammenfassung, Ausblick . . . . .	464
	Literatur zu Abschnitt 8.2 . . . . .	465
8.3	EMV in anwendungsneutralen Kommunikationskabelanlagen . . .	467
8.3.1	Anforderungen an anwendungsneutrale Verkabelungssysteme . .	467
8.3.2	Symmetrische Übertragungssysteme . . . . .	472
8.3.3	Spezielle Abschlusstechniken für ungeschirmte Verkabelung . . .	474
8.3.4	Geschirmte Verkabelung . . . . .	475
8.3.5	Anforderungen an die EMV von Verkabelungssystemen . . . . .	478



8.3.6	Messobjekte. ....	482
8.3.7	Messung der Störaussendung . ....	482
8.3.8	Messung der Störfestigkeit . ....	486
8.3.9	Fremdnebensprechen und Abhörsicherheit . ....	488
8.3.10	Zusammenfassung. ....	489
	Literatur zu Abschnitt 8.3. ....	489
	Abkürzungen zu Abschnitt 8.3 . ....	490
<b>9</b>	<b>EMV und Funktionale Sicherheit . ....</b>	<b>491</b>
9.1	Einleitung . ....	491
9.2	Gesetzliche Anforderungen im Zusammenhang mit Sicherheitsaspekten. ....	493
9.2.1	Allgemeines. ....	493
9.2.2	Anforderungen an Hersteller . ....	494
9.2.3	Anforderungen an Betreiber (Benutzer) von Maschinen und Anlagen . ....	495
9.3	Grundprinzip der Funktionalen Sicherheit. ....	496
9.3.1	Was ist Funktionale Sicherheit? . ....	496
9.3.2	Wodurch wird Funktionale Sicherheit erreicht? . ....	497
9.3.3	Vermeiden von Fehlern und Beherrschen von Ausfällen. ....	499
9.3.4	Sicherheitsintegrität . ....	501
9.4	Der Sicherheitslebenszyklus . ....	503
9.4.1	Der Sicherheitslebenszyklus nach DIN EN 61508 (VDE 0803) . ....	503
9.4.2	Bewertung des Risikos . ....	505
9.4.3	Spezifikation der Sicherheitsanforderungen . ....	505
9.4.3	Entwurf und Realisierung. ....	506
9.4.4	Verifikation und Validierung . ....	506
9.4.5	Betrieb. ....	507
9.5	EMV-spezifische Schritte zum Erreichen von Funktionaler Sicherheit. ....	507
9.6	Elektromagnetische Umgebung . ....	508
9.7	EMV-Aspekte für Entwurf und Integration . ....	508
9.7.1	Allgemeines. ....	508
9.7.2	EMV-Aspekte auf Systemebene. ....	509
9.7.3	EMV-Aspekte auf Geräteebene . ....	512
9.8	Nachweis der Funktionalen Sicherheit bezüglich der Einwirkung elektromagnetischer Phänomene . ....	513
9.8.1	Bewertungskriterien für Sicherheitsanwendungen . ....	513
9.8.2	Tests auf Geräte- und Systemebene . ....	514
9.8.3	Aspekte von Störfestigkeitsprüfungen. ....	515
9.8.4	Bestimmung von Prüfmethoden bezüglich Funktionaler Sicherheit . ....	516

---

9.8.5	Prüfmethoden und Anforderungen durch Sicherheits-Integritätslevel.....	518
9.8.6	Unsicherheit bei Prüfungen .....	522
9.9	Normen zur EMV und Funktionalen Sicherheit.....	522
	Literatur zu Kapitel 9.....	528
<b>Autoren</b>	.....	529
<b>Stichwortverzeichnis</b>	.....	535