

Inhalt

Vorwort.....	5	
1	Einführung und Übersicht.....	17
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 Störseken, Schwachstromtechnik.....	19
1.1.3	Erste Störquellen, Starkstromtechnik.....	20
1.1.4	Störquelle und Störseke 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
2	Grundlagen.....	49
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
3	EMV-Grundmaßnahmen	63
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
4	EMV-Systemplanung für Industrieanlagen und zivil genutzte Objekte	109
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	EMV-Maßnahmen in Gebäuden und Anlagen	131
5.1	EMV-gerechter Aufbau von Niederspannungsversorgungs- systemen	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 _A /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
6	Gesetzgebung und Normung	227
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
7	Anforderungen an Geräte und deren praktische Umsetzung ...	275
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, Kurzzeitunterbrechungen 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, Kurzzeitunterbrechungen 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	Funkstörspannung.....	323
7.2.2.3.2	Funkstörfeldstärke im Frequenzbereich 30 MHz bis 1 GHz	325
7.2.2.3.3	Funkstörfeldstärke 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
9	EMV und Funktionale Sicherheit.....	491
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 Geräteebe	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 Prüfmethode n 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
Autoren	529
Stichwortverzeichnis	535