

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage von Band 114 der VDE-Schriftenreihe	5
Ein besonderer Dank	7
Hinweise aus den bisherigen Vorworten der Vorläuferausgaben in Kurzform	9
1 Einleitung	21
2 Schutz gegen elektrischen Schlag – gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel nach DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2007-03	23
2.1 Anwendungsbereich	23
2.2 Grundsätzliche Anforderungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag	24
2.3 Schutzvorkehrungen	24
2.3.1 Vorkehrungen für den Basisschutz	25
2.3.2 Vorkehrungen für den Fehlerschutz	25
2.3.3 Verstärkte Schutzvorkehrungen	25
2.4 Schutzmaßnahmen	26
2.5 Koordinierung der elektrischen Betriebsmittel und der Schutzvorkehrungen in der elektrischen Anlage	26
2.6 Besondere Bedienungs- und Wartungsbedingungen	27
2.7 Anhang A: Übersicht der Schutzmaßnahmen und deren Erfüllung durch Schutzvorkehrungen	28
2.8 Anhang B: Maximal zulässige Werte für Schutzleiterströme von Betriebsmitteln bei Wechselspannung	29
3 Aufbau von Stromversorgungssystemen nach DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100)	31
3.1 Schutz zum Erreichen der Sicherheit	31
3.2 Schutz gegen elektrischen Schlag	32
3.2.1 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)	32
3.2.2 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)	32
3.3 Planung einer elektrischen Anlage	33
3.4 Zweck, Stromversorgung und Aufbau einer Anlage	34
3.4.1 Leiteranordnung	34
3.4.2 Systeme nach Art der Erdverbindung	35
3.4.2.1 TN-Systeme	37
3.4.2.2 TT-Systeme	38
3.4.2.3 IT-Systeme	38

4	Elektrische Anlagen und Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06.....	43
4.1	Automatische Abschaltung der Stromversorgung	45
4.1.1	Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCMs) in elektrischen Anlagen.....	45
4.1.2	Anforderungen an den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren).....	46
4.2	Anforderungen an den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren).....	46
4.2.1	Schutzerdung (Erdung über den Schutzleiter) und Schutzzpotentialausgleich	46
4.2.2	Schutzzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher „Hauptpotentialausgleich“ genannt).....	47
4.2.3	Automatische Abschaltung im Fehlerfall	47
4.2.3.1	Abschaltzeiten	48
4.2.4	Zusätzlicher Schutz für Endstromkreise für den Außenbereich und Steckdosen.....	50
4.2.4.1	Verlautbarung der DKE zum zusätzlichen Schutz	50
4.3	TN-Systeme	53
4.4	TT-Systeme	54
4.5	IT-Systeme	54
4.6	FELV	55
4.7	Schutzmaßnahme: doppelte oder verstärkte Isolierung	56
4.7.1	Anforderungen an den Basisschutz und an den Fehlerschutz	56
4.8	Schutzmaßnahme: Schutztrennung	58
4.8.1	Anforderungen an den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) nach 413.2	59
4.8.2	Anforderungen an den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) nach 413.3	59
4.9	Schutzmaßnahme: Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV	59
4.10	Zusätzlicher Schutz	60
4.11	Anhänge von DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06.....	61
4.11.1	Anhang A (normativ), Vorkehrungen für den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter normalen Bedingungen	61
4.11.2	Anhang B (normativ), Vorkehrungen für den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter besonderen Bedingungen – Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs	62
4.11.2.1	Handbereich	63
4.11.3	Anhang C (normativ), Schutzmaßnahmen zur ausschließlichen Anwendung, wenn die Anlage nur durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen betrieben wird	64
4.11.4	Anhang D (informativ), Vergleich der Strukturen	64

4.11.5	Anhang ZA (normativ), besondere nationale Bedingungen	64
4.11.6	Anhang ZB (informativ), A-Abweichungen	65
4.12	Schutzarten für Abdeckungen und Umhüllungen	65
4.12.1	Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1)	65
4.12.1.1	Bedeutung der ersten Kennziffer – Schutzgrade gegen Zugang zu gefährlichen Teilen und gegen feste Fremdkörper	67
4.12.1.2	Bedeutung der zweiten Kennziffer – Schutzgrade gegen Wasser	69
4.12.1.3	Bedeutung der zusätzlichen Buchstaben nach den Kennziffern	70
4.12.1.4	Bedeutung der ergänzenden Buchstaben nach den Kennziffern	70
4.12.2	Bezeichnungsbeispiele mit dem IP-Code	71
4.13	Geräte zum Prüfen der Schutzmaßnahmen	73
4.14	Erläuterungen der Schutzmaßnahme IT-System nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06	75
5	Aufbau und Wirkweise von Schutzmaßnahmen in ungeerdeten IT-Systemen	85
5.1	Terminologie und Begriffe	85
5.1.1	Aus DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410)	85
5.1.2	Aus DIN VDE 0100-200 (VDE 0100-200):2006-06	86
5.1.3	Sonstige	86
5.2	Grundsätzlicher Aufbau von IT-Systemen	87
5.2.1	Abschaltbedingungen in IT-Systemen	88
5.2.2	Auftreten eines ersten Fehlers in IT-Systemen	89
5.2.3	Auftreten eines zweiten Fehlers in IT-Systemen	89
5.2.4	Berechnungsbeispiel für ein einphasiges IT-System und zwei Fehlern	90
5.2.4.1	Beispielrechnung	91
5.3	Bedeutung des zusätzlichen Schutzzentialausgleichs (ZPA) in IT-Systemen	92
5.3.1	Bedeutung des zusätzlichen Schutzzentialausgleichs (ZPA)	93
5.3.1.1	Schutzzentialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher Hauptpotentialausgleich genannt)	94
5.3.1.2	Zusätzlicher Schutzzentialausgleich (ZPA)	94
5.3.2	Wirkung des zusätzlichen Schutzzentialausgleichs (ZPA)	96
5.3.3	Abschaltung beim zweiten Fehler	98
5.3.4	Berechnungsbeispiel für Berührungsspannungen mit ZPA	99
5.4	Erdungswiderstand und Netzebleitkapazitäten	103
5.4.1	Fehlerstrom beim ersten Fehler in IT-Systemen	103
5.4.2	Natürliche Netzebleitkapazitäten (C_n)	104
5.4.3	Zusätzliche, in den Betriebsmitteln eingebaute Entstörfilter (EMV-Filter)	106
5.4.4	Die Berührungsspannungen	107

5.4.5	Messung an einem aktivem IT-System	108
5.4.6	Messergebnisse	110
5.4.7	Messung des Fehlerstroms I_d	111
5.4.8	Ausblick	111
5.5	Berührungsspannungen in ungeerdeten IT-Systemen	112
5.5.1	Kabel- und Leitungskapazitäten	113
5.5.2	Natürliche Netzableitkapazitäten (C_n)	113
5.5.3	Berechnungsgrundlagen für Fehlerstrom und Berührungsspannung	115
5.5.4	Parameter zur Berührungsspannung	119
5.5.5	Ermittlung der Berührungsspannung und der natürlichen Netzableitkapazitäten C_n	120
5.5.6	Zusammenfassung und Ausblick	122
6	Ungeerdete IT-Systeme	125
6.1	Beispiel für IT-System mit zusätzlichem Schutzzpotentialausgleich und Isolationsüberwachung	126
6.2	Zusätzlicher Schutzzpotentialausgleich in IT-Systemen	129
6.2.1	Anforderungen an den zusätzlichen Schutzzpotentialausgleich	130
6.3	Prüfungen von IT-Systemen nach DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2008-06	130
6.3.1	Begriffe	131
6.3.2	Erstprüfung	132
6.3.3	Besichtigen	133
6.3.4	Erproben und Messen	134
6.3.5	Isolationswiderstand der elektrischen Anlage	136
6.3.6	Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung	137
6.4	Schutzmaßnahmen zum Schutz bei Überstrom nach DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430):2010-10	139
6.4.1	Schutz der Außenleiter	139
6.4.2	Schutz des Neutralleiters	139
6.4.2.1	TT- oder TN-System	139
6.4.2.2	IT-System	140
6.4.3	Schutz bei Überlastströmen	140
6.4.3.1	Koordinierung zwischen Leitern und Einrichtungen zum Schutz bei Überlast	140
6.4.3.2	Anordnung oder Verzicht auf Einrichtungen zum Schutz bei Überlast in IT-Systemen	141
6.5	Anschluss von Isolationsüberwachungsgeräten nach DIN EN 61010-1 (VDE 0411-1):2002-08	141
6.5.1	Ankopplung und Absicherung	142
6.5.2	Hilfsspannungsversorgung und Absicherung	143

7	Besonderheiten und Vorteile von IT-Systemen	145
7.1	Höhere Betriebssicherheit	146
7.2	Höherer Brandschutz	147
7.3	Größerer Unfallschutz infolge begrenzter Berührungsströme	149
7.4	Höherer zulässiger Erdungswiderstand	150
7.5	Informationsvorsprung durch IT-Systeme	151
7.5.1	Wartung und Instandhaltung von elektrischen Versorgungssystemen	154
7.5.2	Begriffe der Instandhaltung	155
7.5.3	Instandhaltungsstrategien in IT-Systemen	156
8	Anwendungen von IT-Systemen	157
8.1	IT-Systeme im Bergbau	157
8.1.1	Schutztechnik im Bergbau nach DIN VDE 0118-1 (VDE 0118-1) und DIN VDE 0118-2 (VDE 0118-2):2010-06	158
8.1.1.1	DIN VDE 0118-1 (VDE 0118-1):2010-02	159
8.1.1.2	DIN VDE 0118-2 (VDE 0118-2):2010-02	162
8.1.3	Schutz gegen gefährliche Körperströme im Untertagebereich	164
8.2	IT-Systeme und die Isolationsüberwachung auf Schiffen	165
8.2.1	Vorschriften und Bestimmungen	165
8.2.2	Zulässige Netzformen auf Schiffen	166
8.2.3	TN- und IT-Systeme auf Schiffen	166
8.2.4	IT-Systeme auf Schiffen der Bundeswehr nach BV 30	169
8.2.5	Anwendungsbeispiel	171
8.2.5.1	IT-System mit Isolationsüberwachung auf einem Kreuzfahrtschiff	171
8.2.5.2	IT-System mit Isolationsüberwachung auf einem Flugzeugträger	173
8.3	IT-Systeme mit Isolationsüberwachung auf Schienenfahrzeugen	174
8.3.1	Anwendungsbeispiele für IT-Systeme mit Isolationsüberwachung	175
8.3.2	Einsatzorte von IT-Systemen mit Isolationsüberwachung	175
8.3.3	Anforderungen an Isolationsüberwachungseinrichtungen	176
8.3.4	Batteriegepuffertes sicherheitsgerichtetes Gleichspannungsnetz	177
8.3.5	Umrichter in Hauptstromkreisen	177
8.4	IT-Systeme mit Isolationsüberwachung in Elektrofahrzeugen	178
8.4.1	Bordnetze von Elektro-Straßenfahrzeugen	179
8.4.2	Ladestationen von Elektrofahrzeugen	180
8.4.3	Internationale Normen für Ladestationen von Elektrofahrzeugen	182
8.4.3.1	Isolationsüberwachungsgeräte nach UL 2231	183
8.4.3.1.1	UL 2231-1 General Requirements	183
8.4.3.1.2	UL 2231-2 Supply Circuits	184
8.4.4	Isolationsüberwachung von Hochvoltsystemen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen	185
8.4.4.1	Laden des E-Fahrzeugs	187
8.4.4.2	Arbeit am E-Fahrzeug	190

8.4.5	Schutz gegen elektrischen Schlag in Formel-1-Fahrzeugen	191
8.4.5.1	Entwicklung der aktiven Messtechnik	193
8.4.5.2	Ausblick	194
8.5	Elektrische Sicherheit in Photovoltaik-Großanlagen	194
8.5.1	Aufbau einer Photovoltaik-Großanlage	195
8.5.2	Erfolgsfaktor IT-System	195
8.5.3	Ständige Isolationsüberwachung	196
8.5.4	Schnelle Suche, geringe Kosten	196
8.5.5	Zusammenfassung	197
9	Isolationswiderstand	199
9.1	Erste Sicherheitsvorschriften 1883 in Deutschland	200
9.2	Komplexes Gebilde	200
9.3	Begriff: Isolationswiderstand	201
9.4	Einflussgrößen	201
9.5	Isolationsmessung und Überwachung	202
9.5.1	Die Messung im spannungsfreien Netz	203
9.5.2	Differenzstrommessungen in TN- und TT-Systemen	203
9.5.3	Die ständige Überwachung des Absolutwerts in IT-Systemen	204
9.6	Komplettüberwachung in IT-Systemen	205
10	Gefährdung des Menschen durch Körperströme	207
10.1	Wirkung des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere nach DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1):2007	208
10.1.1	Anwendungsbereich	209
10.1.2	Begriffe	210
10.1.3	Elektrische Impedanz des menschlichen Körpers	211
10.1.4	Sinusförmiger Wechselstrom mit 50 Hz/60 Hz bei großen Berührungsflächen	211
10.1.5	Wirkungen von sinusförmigen Wechselströmen im Bereich von 15 Hz bis 100 Hz	212
10.1.6	Wirkungen von Gleichstrom	216
10.2	Grundsätzliche Erkenntnisse der Elektropathologie	219
10.3	Konsequenzen für Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme	220
10.4	Unfälle durch elektrischen Strom	220
11	Gerätenormen für Einrichtungen zur Isolationsüberwachung und Isolationsfehlersuche	223
11.1	Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme nach DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2007-12	223
11.2	Isolationsüberwachungsgeräte nach DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2011-06	227

11.3	Isolationsüberwachungsgeräte nach US-amerikanischen ASTM-Normen	229
11.3.1	ASTM F 1207M-96:2007, Standard Specification for Electrical Insulation – Monitors for Monitoring Ground Resistance in Active Electrical Systems	229
11.3.2	ASTM F 1134-94:2007, Standard Specifications for Insulation Resistance – Monitor for Shipboard Electrical Motors and Generators	230
11.3.3	ASTM F 1669M-96:2007, Standard Specification for Insulation – Monitors for Shipboard Electrical Systems [Metric]	231
11.4	Unterscheidung zwischen Isolationsüberwachungsgeräten und Differenzstromüberwachungsgeräten	232
11.5	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen nach DIN EN 61557-9 (VDE 0413-9)	232
12	Messtechnische Realisierung von Isolationsüberwachungsgeräten und Erdschlusswächtern	237
12.1	Isolationsüberwachung von Wechsel- und Drehstrom-IT-Systemen	237
12.1.1	Messung ohmscher Isolationsfehler	237
12.1.2	Messung der Ableitimpedanz	240
12.2	Wechselspannungsnetze mit direkt angeschlossenen Gleichrichtern oder Thyristoren	241
12.2.1	Messverfahren mit Umkehrstufe	241
12.2.2	Messverfahren durch Impulsüberlagerung	243
12.3	Gleichspannungsnetze	244
12.3.1	Unsymmetrie-Messverfahren	244
12.3.2	Messverfahren durch Impulsüberlagerung	246
12.4	Messverfahren zur universellen Anwendung in Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systemen	246
12.4.1	Mikrocontroller-gesteuertes AMP-Messverfahren zum universellen Einsatz in Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systemen	247
12.4.2	Mikroprozessor-gesteuertes Frequenzcode-Messverfahren für IT-Systeme mit extremer Störbeeinflussung	248
12.5	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systemen	250
12.5.1	Stationäre Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche für Gleichspannungs-IT-Systeme	251
12.5.2	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche für Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systeme	251
12.5.3	Tragbare Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche für Wechselstrom-, Drehstrom- und Gleichspannungs-IT-Systeme	254
12.6	Zusammenfassung und Ausblick	255

13	Auswahl der Ansprechwerte von Isolationsüberwachungsgeräten (IMDs)	257
13.1	Ansprechwerteinstellung für ohmsche Isolationswerte	257
13.2	Ansprechwerteinstellung in Hilfsstromkreisen	260
13.3	Ansprechzeiten von Isolationsüberwachungsgeräten	260
14	Physik der IT-Systeme	263
14.1	Ableitströme in IT-Systemen	263
14.1.1	Berechnung der Ableitströme in IT-Systemen	264
14.1.2	Ermittlung der Ableitkapazitäten im abgeschalteten Netz	265
14.1.3	Ermittlung der Ableitkapazitäten im Betrieb	265
14.2	Spannungsverhältnisse in Wechselspannungs-IT-Systemen.	267
14.3	Überspannungen in Wechselstrom- und Drehstrom-IT-Systemen	269
14.3.1	Quellen der Überspannungen	270
14.3.2	Ausgleichsvorgänge bei einpoligem Isolationsfehler.	271
14.3.3	Stationäre Spannungsüberhöhungen.	271
14.3.4	Intermittierender Erdschluss.	272
14.3.5	Isolationsfehler im speisenden System.	273
14.3.6	Schalten von Induktivitäten	273
14.3.7	Schalten von Leitungen und Kondensatoren	274
14.3.8	Resonanzen und Oberschwingungen	274
14.3.9	Spannungsüberhöhungen bei Kurzschlussabschaltung	275
14.4	Das IT-System und der zweite Fehler.	275
14.4.1	Der „erste Fehler“	275
14.4.2	Der „zweite Fehler“	276
14.4.3	Der „erste Isolationsfehler“	277
14.4.4	Fehlermöglichkeiten in einem Wechselspannungs-IT-System	278
15	Bestimmungen und Normentexte zu IT-Systemen	281
16	Wissenswertes zu IT-Systemen	299
16.1	Zur Geschichte des ungeerdeten Stromversorgungsnetzes.	299
16.2	Zur Geschichte des Schutzleitungssystems und der Isolationsüberwachung	306
16.3	Kleine Wechselstromnetze nach Walther Bender.	315
16.4	Erste Gerätenormen zur Isolationsüberwachung	319
16.4.1	Isolationsüberwachungsgeräte zur Überwachung von Wechselspannungsnetzen nach DIN VDE 0413-2	319
16.4.2	Isolationsüberwachungsgeräte für Wechselspannungsnetze mit galvanisch verbundenen Gleichstromkreisen oder Gleichspannungsnetze nach DIN VDE 0413-8	319
16.4.3	Isolationsüberwachungsgeräte nach französischer Norm UTE C 63-080/10.90	320

16.5	IT-Systeme und die Isolationsüberwachung in medizinisch genutzten Räumen nach DIN VDE 0107 – geschichtlicher Überblick	320
Anhang A	Begriffe zur Isolationsüberwachung	325
A.1	Begriffe aus DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8)	325
A.2	Begriffe der Isolationsüberwachung – andere Quellen	328
Anhang B	Normenreferenzliste	329
Anhang C	Verwendete Abkürzungen	345
Anhang D	Normungsarbeit und Normenrecht	347
D.1	Allgemeines	347
D.2	Normenorganisationen	347
D.2.1	CENELEC – die europäische Normenorganisation	348
D.2.2	Begriffe und Bezeichnungen im CENELEC	350
D.2.3	Gewichtete Abstimmung	352
D.2.4	Nutzen der europäischen Normung	353
D.2.5	Harmonisierungsdokumente	354
D.2.6	Besondere nationale Bedingungen	354
D.2.7	A-Abweichungen	356
D.3	Normung und Recht	357
D.3.1	Normen in der Rechtsordnung	357
D.3.2	Deregulierung	357
D.3.3	Neues Konzept – new Approach	358
D.3.3.1	Stand der Technik	359
D.3.3.2	Allgemein anerkannte Regeln der Technik	359
D.3.3.3	Vermutungswirkung	359
D.3.3.4	Urheberrecht	360
D.3.3.5	Normen und Patente	360
D.3.3.6	Haftungsrelevanz der Normung	361
D.3.3.7	CE-Kennzeichnung	361
D.3.3.7.1	Konformitätsbewertungsverfahren	362
D.3.3.7.2	Bedeutung der CE-Kennzeichnung	362
D.3.3.8	Inverkehrbringen	362
D.3.3.9	Produkthaftung/Produzentenhaftung	363
Stichwortverzeichnis		365