

# Inhalt

<b>Vorwort zur 3. Auflage von Band 114 der VDE-Schriftenreihe. ....</b>	<b>5</b>
<b>Ein besonderer Dank .....</b>	<b>7</b>
<b>Hinweise aus den bisherigen Vorworten der Vorläuferausgaben in Kurzform .....</b>	<b>9</b>
<b>1      Einleitung .....</b>	<b>21</b>
<b>2      Schutz gegen elektrischen Schlag – gemeinsame Anforderungen         für Anlagen und Betriebsmittel nach DIN EN 61140         (VDE 0140-1):2007-03 .....</b>	<b>23</b>
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
<b>3      Aufbau von Stromversorgungssystemen nach DIN VDE 0100-100         (VDE 0100-100) .....</b>	<b>31</b>
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

<b>4</b>	<b>Elektrische Anlagen und Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06</b>	<b>43</b>
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 Schutzpotentialausgleich	46
4.2.2	Schutzpotentialausgleich 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
<b>5</b>	<b>Aufbau und Wirkweise von Schutzmaßnahmen in ungeerdeten IT-Systemen .....</b>	<b>85</b>
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 Schutzpotentialausgleichs (ZPA) in IT-Systemen .....	92
5.3.1	Bedeutung des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichs (ZPA) .....	93
5.3.1.1	Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher Hauptpotentialausgleich genannt) .....	94
5.3.1.2	Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich (ZPA) .....	94
5.3.2	Wirkung des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichs (ZPA) .....	96
5.3.3	Abschaltung beim zweiten Fehler .....	98
5.3.4	Berechnungsbeispiel für Berührungsspannungen mit ZPA .....	99
5.4	Erdungswiderstand und Netzableitkapazitäten .....	103
5.4.1	Fehlerstrom beim ersten Fehler in IT-Systemen .....	103
5.4.2	Natürliche Netzableitkapazitäten ( $C_n$ ) .....	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
<b>6</b>	<b>Ungeerdete IT-Systeme. ....</b>	<b>125</b>
6.1	Beispiel für IT-System mit zusätzlichem Schutzpotentialausgleich und Isolationsüberwachung ....	126
6.2	Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich in IT-Systemen ....	129
6.2.1	Anforderungen an den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich ....	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

<b>7</b>	<b>Besonderheiten und Vorteile von IT-Systemen</b>	<b>145</b>
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
<b>8</b>	<b>Anwendungen von IT-Systemen</b>	<b>157</b>
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 Hochvoltssystemen 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
<b>9</b>	<b>Isolationswiderstand. ....</b>	<b>199</b>
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
<b>10</b>	<b>Gefährdung des Menschen durch Körperströme .....</b>	<b>207</b>
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
<b>11</b>	<b>Gerätenormen für Einrichtungen zur Isolationsüberwachung und Isolationsfehlersuche. ....</b>	<b>223</b>
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
<b>12</b>	<b>Messtechnische Realisierung von Isolationsüberwachungs- geräten und Erdschlusswächtern</b> ....	<b>237</b>
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

<b>13</b>	<b>Auswahl der Ansprechwerte von Isolationsüberwachungsgeräten (IMDs)</b>	<b>257</b>
13.1	Ansprechwerteinstellung für ohmsche Isolationswerte	257
13.2	Ansprechwerteinstellung in Hilfsstromkreisen	260
13.3	Ansprechzeiten von Isolationsüberwachungsgeräten	260
<b>14</b>	<b>Physik der IT-Systeme</b>	<b>263</b>
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
<b>15</b>	<b>Bestimmungen und Normentexte zu IT-Systemen</b>	<b>281</b>
<b>16</b>	<b>Wissenswertes zu IT-Systemen</b>	<b>299</b>
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
<b>Anhang A Begriffe zur Isolationsüberwachung .....</b>		<b>325</b>
A.1	Begriffe aus DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8) .....	325
A.2	Begriffe der Isolationsüberwachung – andere Quellen .....	328
<b>Anhang B Normenreferenzliste.....</b>		<b>329</b>
<b>Anhang C Verwendete Abkürzungen .....</b>		<b>345</b>
<b>Anhang D Normungsarbeit und Normenrecht .....</b>		<b>347</b>
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
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>365</b>