

Inhalt

Vorwort zur 4. 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)	23
2.1 Anwendungsbereich	23
2.2 Grundsätzliche Anforderungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag	24
2.3 Schutzvorkehrungen (Bestandteile der Schutzmaßnahmen)	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 Koordinieren der elektrischen Betriebsmittel mit den Schutzvorkehrungen in der elektrischen Anlage	26
2.6 Grenzen von Wechselstromanteilen der Schutzleiterströme von elektrischen Verbrauchsmitteln.	28
2.7 Anhang A: Übersicht der Schutzmaßnahmen und deren Erfüllung durch Schutzvorkehrungen.	28
3 Aufbau von Stromversorgungssystemen nach DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100)	33
3.1 Schutz zum Erreichen der Sicherheit	33
3.2 Schutz gegen elektrischen Schlag	34
3.2.1 Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren).	34
3.2.2 Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren).	34
3.3 Planung einer elektrischen Anlage	35
3.4 Zweck, Stromversorgung und Aufbau einer Anlage.	36
3.4.1 Leiteranordnung	36
3.4.2 Systeme nach Art der Erdverbindung.	37
3.4.2.1 TN-Systeme	39
3.4.2.2 TT-Systeme.	40
3.4.2.3 IT-Systeme	40

4	Elektrische Anlagen und Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06	45
4.1	Automatische Abschaltung der Stromversorgung	47
4.1.1	Differenzstromüberwachungsgeräte (RCMs) in elektrischen Anlagen	47
4.1.2	Anforderungen an den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren)	48
4.2	Anforderungen an den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)	48
4.2.1	Schutzerdung (Erdung über den Schutzleiter) und Schutzpotentialausgleich	48
4.2.2	Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher „Hauptpotentialausgleich“ genannt)	48
4.2.3	Automatische Abschaltung im Fehlerfall	49
4.2.3.1	Abschaltzeiten für TN- und TT-Systeme	49
4.2.3.2	Abschaltzeiten für IT-Systeme im Fall von zwei Fehlern	50
4.2.4	Zusätzlicher Schutz für Endstromkreise für den Außenbereich und Steckdosen	51
4.2.4.1	Verloutbarung der DKE zum zusätzlichen Schutz	52
4.3	TN-Systeme	54
4.4	TT-Systeme	55
4.5	IT-Systeme	56
4.6	FELV	58
4.7	Schutzmaßnahme: doppelte oder verstärkte Isolierung	59
4.7.1	Anforderungen an den Basisschutz und an den Fehlerschutz	60
4.8	Schutzmaßnahme: Schutztrennung	62
4.8.1	Anforderungen an den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) nach 413.2	62
4.8.2	Anforderungen an den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) nach 413.3	62
4.9	Schutzmaßnahme: Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV	63
4.10	Zusätzlicher Schutz	63
4.11	Anhänge von DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06	65
4.11.1	Anhang A (normativ), Vorkehrungen für den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter normalen Bedingungen	65
4.11.2	Anhang B (normativ), Vorkehrungen für den Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren) unter besonderen Bedingungen – Hindernisse und Anordnung außerhalb des Handbereichs	65
4.11.2.1	Handbereich	67
4.11.3	Anhang C (normativ), Schutzmaßnahmen zur ausschließlichen Anwendung, wenn die Anlage nur durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen betrieben wird	67

4.11.4	Anhang D (informativ), Vergleich der Strukturen	67
4.11.5	Anhang ZA (normativ), besondere nationale Bedingungen	68
4.11.6	Anhang ZB (informativ), A-Abweichungen.	68
4.12	Schutzarten für Abdeckungen und Umhüllungen.	68
4.12.1	Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1)	68
4.12.1.1	Bedeutung der ersten Kennziffer – Schutzgrade gegen Zugang zu gefährlichen Teilen und gegen feste Fremdkörper.	70
4.12.1.2	Bedeutung der zweiten Kennziffer – Schutzgrade gegen Wasser	72
4.12.1.3	Bedeutung der zusätzlichen Buchstaben nach den Kennziffern.	73
4.12.1.4	Bedeutung der ergänzenden Buchstaben nach den Kennziffern	73
4.12.2	Bezeichnungsbeispiele mit dem IP-Code	74
4.13	Geräte zum Prüfen der Schutzmaßnahmen	76
4.14	Erläuterungen der Schutzmaßnahme IT-System nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06	79
4.15	Literatur	86
5	Aufbau und Wirkweise von Schutzmaßnahmen in ungeerdeten IT-Systemen.	87
5.1	Terminologie und Begriffe	87
5.1.1	Aus DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410)	87
5.1.2	Aus DIN VDE 0100-200 (VDE 0100-200):2006-06	88
5.1.3	Sonstige	88
5.2	Grundsätzlicher Aufbau von IT-Systemen	89
5.2.1	Abschaltbedingungen in IT-Systemen	90
5.2.2	Auftreten eines ersten Fehlers in IT-Systemen.	91
5.2.3	Auftreten eines zweiten Fehlers in IT-Systemen	91
5.2.4	Berechnungsbeispiel für ein einphasiges IT-System und zwei Fehlern	92
5.2.4.1	Beispielrechnung	93
5.3	Bedeutung des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichs (ZPA) in IT-Systemen	94
5.3.1	Bedeutung des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichs (ZPA)	95
5.3.1.1	Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene (früher Hauptpotentialausgleich genannt)	96
5.3.1.2	Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich (ZPA).	96
5.3.2	Wirkung des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichs (ZPA)	98
5.3.3	Abschaltung beim zweiten Fehler	100
5.3.4	Berechnungsbeispiel für Berührungsspannungen mit ZPA	101
5.4	Erdungswiderstand und Netzableitkapazitäten.	105
5.4.1	Fehlerstrom beim ersten Fehler in IT-Systemen.	105
5.4.2	Natürliche Netzableitkapazitäten (C_n)	106
5.4.3	Zusätzliche, in den Betriebsmitteln eingebaute Entstörfilter (EMV-Filter)	108

5.4.4	Die Berührungsspannungen	109
5.4.5	Messung an einem aktivem IT-System.	110
5.4.6	Messergebnisse.	112
5.4.7	Messung des Fehlerstroms I_d	113
5.4.8	Ausblick	113
5.5	Berührungsspannungen in ungeerdeten IT-Systemen.	114
5.5.1	Kabel- und Leitungskapazitäten	115
5.5.2	Natürliche Netzableitkapazitäten (C_n)	115
5.5.3	Berechnungsgrundlagen für Fehlerstrom und Berührungsspannung ..	117
5.5.4	Parameter zur Berührungsspannung	121
5.5.5	Ermittlung der Berührungsspannung und der natürlichen Netzableitkapazitäten C_n	122
5.5.6	Zusammenfassung und Ausblick	124
5.6	Literatur	125
6	Ungeerdete IT-Systeme.	127
6.1	Beispiel für IT-System mit zusätzlichem Schutzpotentialausgleich und Isolationsüberwachung	128
6.2	Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich in IT-Systemen	131
6.2.1	Anforderungen an den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich	132
6.3	Prüfungen von IT-Systemen nach DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600):2017-06	132
6.3.1	Begriffe.	133
6.3.2	Erstprüfung	134
6.3.3	Besichtigen	135
6.3.4	Erproben und Messen	137
6.3.5	Isolationswiderstand der elektrischen Anlage	140
6.3.6	Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung	141
6.4	Schutzmaßnahmen zum Schutz bei Überstrom nach DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430):2010-10	142
6.4.1	Schutz der Außenleiter	143
6.4.2	Schutz des Neutralleiters	143
6.4.2.1	TT- oder TN-Systeme	143
6.4.2.2	IT-System	143
6.4.3	Schutz bei Überlastströmen	144
6.4.3.1	Koordinierung zwischen Leitern und Einrichtungen zum Schutz bei Überlast.	144
6.4.3.2	Anordnung oder Verzicht auf Einrichtungen zum Schutz bei Überlast in IT-Systemen	144
6.5	Anschluss von Isolationsüberwachungsgeräten	145
6.5.1	Ankopplung und Absicherung	145
6.5.2	Hilfsspannungsversorgung und Absicherung	146

7	Besonderheiten und Vorteile von IT-Systemen	149
7.1	Höhere Betriebssicherheit	150
7.2	Höherer Brandschutz	151
7.3	Größerer Unfallschutz infolge begrenzter Berührungsströme	153
7.4	Höherer zulässiger Erdungswiderstand	154
7.5	Informationsvorsprung durch IT-Systeme	155
7.5.1	Wartung und Instandhaltung von elektrischen Versorgungssystemen	158
7.5.2	Begriffe der Instandhaltung	159
7.5.3	Instandhaltungsstrategien in IT-Systemen	160
8	Anwendungen von IT-Systemen	161
8.1	IT-Systeme im Bergbau	161
8.1.1	Schutztechnik im Bergbau	162
8.1.2	Schutztechnik im Bergbau nach DIN EN 50628 (VDE 0118-10)	164
8.1.2.1	Schutz im IT-System	165
8.1.2.1.1	Erdschlusserkennung	165
8.1.2.1.2	Design eines IT-Systems	165
8.1.2.1.3	Isolationsüberwachung	166
8.2	IT-Systeme und die Isolationsüberwachung auf Schiffen	167
8.2.1	Vorschriften und Bestimmungen	168
8.2.2	Zulässige Netzformen auf Schiffen	169
8.2.3	TN- und IT-Systeme auf Schiffen	169
8.2.4	IT-Systeme auf Schiffen der Bundeswehr nach BV 30	171
8.2.5	Anwendungsbeispiel	173
8.2.5.1	IT-System mit Isolationsüberwachung auf einem Kreuzfahrtschiff	173
8.2.5.2	IT-System mit Isolationsüberwachung auf einem Flugzeugträger	176
8.3	IT-Systeme mit Isolationsüberwachung auf Schienenfahrzeugen	176
8.3.1	Anwendungsbeispiele für IT-Systeme mit Isolationsüberwachung	177
8.3.2	Einsatzorte von IT-Systemen mit Isolationsüberwachung	178
8.3.3	Anforderungen an Isolationsüberwachungseinrichtungen	178
8.3.4	Batteriegepuffertes sicherheitsgerichtetes Gleichspannungsnetz	179
8.3.5	Umrichter in Hauptstromkreisen	179
8.4	IT-Systeme mit Isolationsüberwachung in Elektrofahrzeugen	180
8.4.1	Bordnetze von Elektro-Straßenfahrzeugen	182
8.4.2	Ladestationen von Elektrofahrzeugen	183
8.4.3	Internationale Normen für Ladestationen von Elektrofahrzeugen	185
8.4.3.1	Isolationsüberwachungsgeräte nach UL 2231	185
8.4.3.1.1	UL 2231-1 Standard for Safety for Personnel Protection Systems for Electric Vehicles (EV) Supply Circuits – General Requirements	186
8.4.3.1.2	UL 2231-2 Standard for Safety for Personnel Protection Systems for Electric Vehicle (EV) Supply Circuits – Particular Requirements for Protection Devices for Use in Charging Systems	187

8.4.4	Isolationsüberwachung von Hochvoltssystemen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen.	188
8.4.4.1	Laden des E-Fahrzeugs.	189
8.4.4.2	Arbeit am E-Fahrzeug	192
8.4.5	Schutz gegen elektrischen Schlag in Formel-1-Fahrzeugen.	193
8.4.5.1	Entwicklung der aktiven Messtechnik	195
8.4.5.2	Ausblick	196
8.5	Elektrische Sicherheit in Photovoltaik-Großanlagen	196
8.5.1	Aufbau einer Photovoltaik-Großanlage	197
8.5.2	Erfolgsfaktor IT-System	197
8.5.3	Ständige Isolationsüberwachung	198
8.5.4	Schnelle Suche, geringe Kosten	198
8.5.5	Zusammenfassung	199
8.6	Literatur	199
9	Isolationswiderstand.	201
9.1	Erste Sicherheitsvorschriften 1883 in Deutschland	202
9.2	Komplexes Gebilde	202
9.3	Begriff: Isolationswiderstand	203
9.4	Einflussgrößen	203
9.5	Isolationsmessung und Überwachung	204
9.5.1	Die Messung im spannungsfreien Netz	205
9.5.2	Differenzstrommessungen in TN- und TT-Systemen	205
9.5.3	Die ständige Überwachung des Absolutwerts in IT-Systemen.	206
9.6	Komplettüberwachung in IT-Systemen	207
10	Gefährdung des Menschen durch Körperströme	209
10.1	Wirkung des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere nach DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1):2007-05.	210
10.1.1	Anwendungsbereich	211
10.1.2	Begriffe.	212
10.1.3	Elektrische Impedanz des menschlichen Körpers	213
10.1.4	Sinusförmiger Wechselstrom mit 50 Hz/60 Hz bei großen Berührungsflächen	213
10.1.5	Wirkungen von sinusförmigen Wechselströmen im Bereich von 15 Hz bis 100 Hz.	214
10.1.6	Wirkungen von Gleichstrom.	218
10.2	Grundsätzliche Erkenntnisse der Elektropathologie.	221
10.3	Konsequenzen für Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme	222
10.4	Unfälle durch elektrischen Strom.	222
10.5	Literatur	223

11	Gerätenormen für Einrichtungen zur Isolationsüberwachung und Isolationsfehlersuche.	225
11.1	Isolationsüberwachungsgeräte für IT-Systeme nach DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8):2015-12.	225
11.2	Typen von IMD.	229
11.3	Vorgeschriebene Funktionen von IMD.	229
11.4	Anforderungen an das Betriebsverhalten	229
11.4.1	Sollansprechwert R_{an}	229
11.4.2	Netzableitkapazität C_e	230
11.4.3	Prozentuale Ansprechunsicherheit A des Sollansprechwerts R_{an}	230
11.4.4	Ansprechzeit t_{an}	230
11.4.5	Messspannung und Messstrom.	230
11.5	Isolationsüberwachungsgeräte nach DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):2011-06	231
11.6	Isolationsüberwachungsgeräte nach US-amerikanischen ASTM-Normen.	233
11.6.1	ASTM F1207M-12 Standard Specification for Electrical Insulation Monitors for Monitoring Ground Resistance in Active Electrical Systems.	233
11.6.2	ASTM F1134-15e1 Standard Specification for Insulation Resistance Monitor for Shipboard Electrical Motors and Generators	234
11.6.3	ASTM F1669M-12 Standard Specification for Insulation Monitors for Shipboard Electrical Systems	235
11.7	Unterscheidung zwischen Isolationsüberwachungsgeräten und Differenzstromüberwachungsgeräten.	236
11.8	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen nach DIN EN 61557-9 (VDE 0413-9):2015-10	236
11.9	Anforderungen zur Funktionalen Sicherheit von Isolationsüberwachungsgeräten in IT-Systemen und von Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in IT-Systemen nach DIN EN 61557-15 (VDE 0413-15):2014-10	240
11.10	Literatur	240
12	Messtechnische Realisierung von Isolationsüberwachungsgeräten und Erdschlusswächtern	241
12.1	Isolationsüberwachung von Wechsel- und Drehstrom-IT-Systemen	241
12.1.1	Messung ohmscher Isolationsfehler	241
12.1.2	Messung der Ableitimpedanz	244
12.2	Wechselspannungsnetze mit direkt angeschlossenen Gleichrichtern oder Thyristoren	245
12.2.1	Messverfahren mit Umkehrstufe	245
12.2.2	Messverfahren durch Impulsüberlagerung	247
12.3	Gleichspannungsnetze	248

12.3.1	Unsymmetriemessverfahren	248
12.3.2	Messverfahren durch Impulsüberlagerung	250
12.4	Messverfahren zur universellen Anwendung in Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systemen	250
12.4.1	Mikrocontroller-gesteuertes AMP-Messverfahren zum universellen Einsatz in Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systemen	251
12.4.2	Mikroprozessor-gesteuertes Frequenzcodemessverfahren für IT-Systeme mit extremer Störbeeinflussung.	252
12.5	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche in Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systemen	254
12.5.1	Stationäre Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche für Gleichspannungs-IT-Systeme	255
12.5.2	Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche für Wechsel- und Gleichspannungs-IT-Systeme	255
12.5.3	Tragbare Einrichtungen zur Isolationsfehlersuche für Wechselstrom-, Drehstrom- und Gleichspannungs-IT-Systeme.	258
12.6	Zusammenfassung und Ausblick	259
13	Auswahl der Ansprechwerte von Isolationsüberwachungsgeräten (IMDs)	261
13.1	Ansprechwerteinstellung für ohmsche Isolationswerte	261
13.2	Ansprechwerteinstellung in Hilfsstromkreisen	264
13.3	Ansprechzeiten von Isolationsüberwachungsgeräten	264
14	Physik der IT-Systeme	267
14.1	Ableitströme in IT-Systemen	267
14.1.1	Berechnung der Ableitströme in IT-Systemen	268
14.1.2	Ermittlung der Ableitkapazitäten im abgeschalteten Netz	269
14.1.3	Ermittlung der Ableitkapazitäten im Betrieb	269
14.2	Spannungsverhältnisse in Wechselspannungs-IT-Systemen.	271
14.3	Überspannungen in Wechselstrom- und Drehstrom-IT-Systemen	273
14.3.1	Quellen der Überspannungen	274
14.3.2	Ausgleichsvorgänge bei einpoligem Isolationsfehler	275
14.3.3	Stationäre Spannungsüberhöhungen.	275
14.3.4	Intermittierender Erdschluss.	276
14.3.5	Isolationsfehler im speisenden System.	277
14.3.6	Schalten von Induktivitäten	277
14.3.7	Schalten von Leitungen und Kondensatoren	278
14.3.8	Resonanzen und Oberschwingungen	278
14.3.9	Spannungsüberhöhungen bei Kurzschlussabschaltung	279
14.4	Das IT-System und der zweite Fehler.	279
14.4.1	Der „erste Fehler“	279
14.4.2	Der „zweite Fehler“	280

14.4.3	Der „erste Isolationsfehler“	281
14.4.4	Fehlermöglichkeiten in einem Wechselspannungs-IT-System	282
14.5	Literatur	283
15	Bestimmungen und Normentexte zu IT-Systemen	285
16	Wissenswertes zu IT-Systemen	297
16.1	Zur Geschichte des ungeerdeten Stromversorgungsnetzes.	297
16.2	Zur Geschichte des Schutzleitungssystems und der Isolationsüberwachung	304
16.3	Kleine Wechselstromnetze nach <i>Walther Bender</i>	313
16.4	Erste Gerätenormen zur Isolationsüberwachung	317
16.4.1	Isolationsüberwachungsgeräte zur Überwachung von Wechselspannungsnetzen nach DIN VDE 0413-2:1973-01	317
16.4.2	Isolationsüberwachungsgeräte für Wechselspannungsnetze mit galvanisch verbundenen Gleichstromkreisen oder Gleichspannungsnetze nach DIN VDE 0413-8:1994-02	317
16.5	IT-Systeme und die Isolationsüberwachung in medizinisch genutzten Räumen nach DIN VDE 0107 – geschichtlicher Überblick	318
16.6	Literatur	321
Anhang A	Begriffe zur Isolationsüberwachung	323
A.1	Begriffe aus DIN EN 61557-8 (VDE 0413-8)	323
A.2	Begriffe der Isolationsüberwachung – andere Quellen	331
Anhang B	Normenreferenzliste	332
Anhang C	Verwendete Abkürzungen	349
Anhang D	Normungsarbeit und Normenrecht	351
D.1	Allgemeines	351
D.2	Normenorganisationen	351
D.2.1	CENELEC – die europäische Normenorganisation	352
D.2.2	Begriffe und Bezeichnungen im CENELEC	354
D.2.3	Gewichtete Abstimmung	356
D.2.4	Nutzen der europäischen Normung	358
D.2.5	Harmonisierungsdokumente	358
D.2.6	Besondere nationale Bedingungen	359
D.2.7	A-Abweichungen	360
D.3	Normung und Recht	361
D.3.1	Normen in der Rechtsordnung	361
D.3.2	Deregulierung	361
D.3.3	Neues Konzept – new Approach	362

D.3.3.1	Stand der Technik	363
D.3.3.2	Allgemein anerkannte Regeln der Technik.	363
D.3.3.3	Vermutungswirkung	363
D.3.3.4	Urheberrecht	364
D.3.3.5	Normen und Patente	364
D.3.3.6	Haftungsrelevanz der Normung	365
D.3.3.7	CE-Kennzeichnung.	365
D.3.3.7.1	Konformitätsbewertungsverfahren	366
D.3.3.7.2	Bedeutung der CE-Kennzeichnung	366
D.3.3.8	Inverkehrbringen	367
D.3.3.9	Produkthaftung/Produzentenhaftung	367
D.3.3.10	Literatur	368
Stichwortverzeichnis		371