

<b>1</b>	<b>Anforderungen der Netzbetreiber .....</b>	<b>17</b>
1.1	Was ist was? – Begriffe .....	20
1.2	Definition „wesentliche Änderung“ und Anpassungspflicht .....	23
1.3	Anmeldeverfahren .....	24
<b>2</b>	<b>Ausführung des Hauptstromversorgungssystems.....</b>	<b>27</b>
2.1	Allgemeine Anforderungen an das Hauptstromversorgungssystem .....	27
2.2	Überspannungsschutz .....	28
2.3	Anschluss und symmetrischer Betrieb .....	32
2.3.1	Blockheizkraftwerke.....	33
2.3.2	Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge .....	34
2.3.3	Speicher .....	34
2.4	Anforderungen an den Anschlussraum .....	34
2.5	Schutz der Anschlussnutzeranlage .....	36
2.6	Betrieb der Kundenanlage .....	37
2.7	Fundamenterder .....	39
2.8	Netzurückwirkungen .....	40
2.9	Eingangsstrom bis 75 A .....	41
2.10	Eingangsstrom über 75 A.....	41
<b>3</b>	<b>NA-Schutz .....</b>	<b>43</b>
3.1	Zentraler NA-Schutz .....	45
3.2	Integrierter NA-Schutz .....	48
<b>4</b>	<b>Netzsicherheitsmanagement .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>Erzeugungsanlagen .....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>Errichtung von Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge .....</b>	<b>55</b>
6.1	Was ist was? – Begriffe.....	56
6.2	Inverkehrbringen von Ladesäulen .....	57
6.3	Anschlussarten .....	59
6.3.1	Leitungsgebundene Anschlussarten .....	60
6.3.2	Leitungsgebundene Anschlussarten mit automatischem Verbindungsaufbau .....	61

6.4	Kontaktlose Energieübertragung .....	62
6.5	Ladebetriebsarten .....	64
6.5.1	Ladebetriebsarten 1 und 2 .....	64
6.5.2	Ladebetriebsarten 3 und 4 .....	66
6.6	Stromversorgung und allgemeine Merkmale .....	67
6.6.1	Anschlussleistung .....	68
6.6.2	Überlastschutz und Spannungsfall .....	69
6.6.3	Spannungsfall .....	72
6.6.4	Unsymmetrie .....	72
6.6.5	Netzurückwirkungen .....	73
6.6.6	Lastmanagement .....	73
6.6.7	Blindleistung .....	74
6.6.8	Wirkleistungssteuerung .....	74
6.7	Leiteranordnung und System der Erdverbindung .....	74
6.7.1	Rechtsdrehfeld .....	74
6.7.2	Netzform .....	75
6.7.3	Verwendung von herkömmlichen Steckvorrichtungen für Notladekabel .....	75
6.7.4	Ausstattung in Wohngebäuden .....	77
6.8	Überwachungs- und Schutzfunktionen (PE, PP, CP) .....	78
6.8.1	Funktionen in der Ladebetriebsart 4 .....	79
6.8.2	Überwachung der Durchgängigkeit des Schutzleiters bei DC-Ladesystemen .....	81
6.8.3	Ausschalten des Systems .....	81
6.8.4	Verriegeln, Sperren und Freigeben der Steckvorrichtung .....	81
6.8.5	Notabschaltung .....	82
6.8.6	Isolationsprüfung vor dem Laden von DC-Ladesystemen .....	82
6.8.7	Schutz vor zeitweiliger Überspannung bei DC-Ladesystemen .....	83
6.9	Schutzmaßnahmen .....	83
6.9.1	Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs bei ACD-Systemen bis 1 kV AC/1,5 kV DC .....	84
6.9.2	Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs bei ACD-Systemen über 1 kV AC/1,5 kV DC .....	86
6.10	Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung .....	87
6.11	Gleichfehlerstromüberwachungseinrichtungen .....	89
6.12	Schutz durch Schutztrennung .....	92
6.13	Einrichtungen zur Überwachung (IT-System) .....	95
6.14	Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störungen ..	96
6.14.1	Schutz bei Störspannungen .....	96
6.14.2	Induktive Ladeeinrichtungen .....	97

6.15	Auswahl und Anordnung der Betriebsmittel .....	101
6.15.1	Auswahl der Betriebsmittel – Äußere Einflüsse .....	101
6.15.2	Verkehrswege und Kollisionsschutz .....	106
6.16	Zählerplätze .....	108
6.17	Elektrofahrzeug als EZE am Niederspannungsnetz .....	109
6.18	Prüfungen .....	110
6.18.1	Besichtigen .....	112
6.18.2	Dokumentation .....	115
6.19	Erproben und Messen .....	115
6.19.1	Erproben .....	116
6.19.2	Messen .....	121
6.19.3	Durchgängigkeit der Leiter .....	122
6.19.4	Prüfung der Spannungspolarität und Phasenfolge der Außenleiter .....	124
6.19.5	Prüfung der Wirksamkeit der automatischen Abschaltung im Fehlerfall .....	125
6.19.6	Prüfung der Wirksamkeit des zusätzlichen Schutzes .....	128
6.19.7	Isolationswiderstand .....	128
6.19.8	Einrichtungen zur Überwachung (IT-System) .....	129
6.20	Ladesäulenverordnung (LSV) .....	129
6.20.1	Anforderungen an Interoperabilität und Sicherheit .....	130
6.20.2	Anmeldeprotokoll .....	132
6.21	Ergonomische Gestaltung von Ladesystemen .....	133
6.21.1	Barrierefreiheit von Stellplätzen .....	134
6.21.2	Anforderungen an Beleuchtung von Stellplätzen .....	135
6.22	Batteriewechselsysteme .....	138
6.22.1	Das Batteriewechselsystem .....	139
6.22.2	Benutzerrollen und Zugänge .....	140
6.22.3	Klassifikation von Batteriewechselsystemen .....	141
6.22.4	Gefahrenstellen und Gefährdungen .....	142
6.22.5	Batteriewechselstationen für Nutzfahrzeuge .....	143
6.22.6	Batteriewechselstationen für Personenkraftfahrzeuge .....	144
6.22.7	Elektrische Ausrüstung von Batteriewechselsystemen .....	147
6.22.8	Sicherheitsanforderungen an das Fahrspursystem .....	148
6.22.9	Sicherheitsanforderungen an das Batteriehandhabungssystem ...	149
6.22.10	Sicherheitsanforderungen an das Lagerungssystem .....	150
6.22.11	Sicherheitsanforderungen an das Ladesystem .....	153
6.22.12	Anforderungen an Überwachungs- und Steuerungssysteme .....	154
6.22.13	Anforderungen an das Stromversorgungssystem .....	154

6.22.14	Schutz gegen elektrischen Schlag .....	155
6.22.14.1	Schutz gegen direktes Berühren.....	156
6.22.14.2	Gespeicherte Energie – Entladung von Kondensatoren.....	157
6.22.14.3	Schutzleiter.....	157
6.22.15	Auswahl und Aufbau von Betriebsmitteln .....	157
6.22.16	Aufschriften, Kennzeichnungen und Warneinrichtungen.....	158
6.23	Quellen zum Kapitel „Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge“ ..	159
<b>7</b>	<b>Errichtung von Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssystemen</b>	<b>163</b>
7.1	PV-Module .....	165
7.1.1	Normbedingungen .....	167
7.1.2	Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom .....	168
7.1.2.1	Nenngrößen bei MPP.....	169
7.1.2.2	Serien- und Parallelwiderstand.....	169
7.1.2.3	Kennzeichnung von PV-Modulen .....	170
7.2	PV-Wechselrichter .....	170
7.3	Schutz gegen elektrischen Schlag des PV-Generatorfelds .....	173
7.4	Schutz gegen elektrischen Schlag der Wechselrichter .....	174
7.5	Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel .....	175
7.5.1	Wechselrichter und Anschlussgehäuse.....	176
7.5.2	Sperrdioden .....	177
7.5.3	Steckverbinder.....	178
7.5.4	Überstrom-Schutzeinrichtungen auf der Gleichspannungsseite ...	180
7.6	Schutz gegen thermische Einflüsse und Brände .....	182
7.6.1	Feuergefährdete Betriebsstätten .....	182
7.6.2	Feuergefährdete Betriebsstätten – Allgemeine Anforderungen...	184
7.6.2.1	Kabel- und Leitungsverlegung .....	184
7.6.2.2	Fehlerschutz.....	184
7.6.2.3	Schaltgeräte und Betriebsmittel .....	185
7.6.3	PV-Anlagen/Varianten in feuergefährdeten Betriebsstätten .....	185
7.6.3.1	Variante 1 .....	185
7.6.3.2	Variante 2 .....	187
7.6.3.3	Variante 3 .....	189
7.7	Schutz gegen Brände, verursacht durch elektrische Betriebsmittel von PV-Anlagen.....	191
7.8	Schutz vor Überstrom der DC-Seite.....	193
7.8.1	Eine Schutzeinrichtung je Strang.....	194
7.8.2	Mehrere parallele Stränge je Schutzeinrichtung .....	195
7.8.3	Schutz bei Überlastströmen der PV-Strangleitung und des Teilgeneratorfeldkabels.....	196

7.8.4	Schutz des/der Teilgeneratorfeldkabels/-leitung .....	196
7.8.5	Schutz vor Überstrom des PV-Versorgungskabels .....	197
7.8.6	Schutz vor Kurzschluss der Wechselrichter .....	197
7.9	Erdungsanlagen .....	197
7.10	Trennen und Schalten .....	198
7.10.1	Trennen des Funktionspotentialausgleichsleiters .....	198
7.10.2	Trennen .....	203
7.11	Kabel- und Leitungssysteme .....	204
7.11.1	Verlegung .....	204
7.11.2	Dimensionierung .....	205
7.12	Blitz- und Überspannungsschutz von PV-Stromversorgungs- systemen .....	207
7.12.1	Äußerer Blitzschutz an PV-Anlagen .....	208
7.12.2	Überspannungsschutz .....	209
7.12.3	Einflüsse von Störspannungen .....	211
7.13	Zugang und Kennzeichnung .....	212
7.14	Trenneinrichtung auf der DC Seite .....	213
<b>8</b>	<b>Prüfungen an Photovoltaikanlagen .....</b>	<b>215</b>
8.1	Prüfvorschrift der Kategorie 1 – alle Systeme .....	216
8.2	Prüfung der Gleichstromseite .....	216
8.3	Prüfung der Anforderungen an die Systemdokumentation .....	220
8.4	Erhalt des ordnungsgemäßen Zustands .....	224
<b>9</b>	<b>Ertrags- und Leistungskennzahlen von PV-Stromversorgungssystemen .....</b>	<b>227</b>
9.1	Ertragskenngrößen von PV-Stromversorgungssystemen ohne Speicher .....	228
9.2	Wirkungsgrade .....	231
9.3	Leistungs- und Ertragsverhältnisse .....	232
9.4	Beurteilung der Erträge .....	232
9.5	PV-Modulgruppe .....	236
9.5.1	<i>U/I</i> -Kennlinie .....	236
9.5.2	Interpretation der Ergebnisse .....	239
9.6	Vermeidung von Schlagschatten an PV-Generatoren .....	241
<b>10</b>	<b>Zusätzliche Maßnahmen zur Brandbekämpfung an Photovoltaikanlagen .....</b>	<b>243</b>
10.1	Information durch Kennzeichnungen .....	244
10.2	Bauliche und organisatorische Installationsmaßnahmen .....	245

10.3	Feuergeschützte Verlegung im Gebäude .....	245
10.4	Gegen Berührung geschützte und feuerwiderstandsfähige Verlegung von PV-DC-Leitungen im Gebäude.....	246
10.5	Verlegung außerhalb des Gebäudes.....	247
10.6	Technische Installationsmaßnahmen .....	248
10.7	Gemeinsame Voraussetzungen zum Schalten, Trennen und Kurzschließen.....	249
10.7.1	Trennen und Abschalten eines Strangs oder eines PV-Moduls....	250
10.7.2	Einrichtungen zum Kurzschließen des Strangs oder des PV- Generators.....	251
10.8	Zusammenfassung .....	252
<b>11</b>	<b>Einspeisung in Endstromkreise .....</b>	<b>253</b>
11.1	Beschaffenheit elektrischer Anschlussnutzeranlagen im Bestand .	253
11.2	Gefahren bei bestehenden Anschlussnutzeranlagen.....	255
11.2.1	Schutz gegen elektrischen Schlag .....	255
11.2.2	Schukostecker und Steckdose .....	255
11.2.3	Die elektrische Anschlussnutzeranlage.....	256
11.2.4	Schutz vor Überströmen und thermischen Auswirkungen.....	257
11.3	Anforderungen nach DIN VDE V 0100-551-1 .....	258
11.4	Zusammenfassung .....	262
11.5	Quellen zum Kapitel „Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungs- systeme“ .....	264
<b>12</b>	<b>Energiespeichersysteme am Niederspannungsnetz .....</b>	<b>269</b>
12.1	Elektrische Energiespeichersysteme – Begriffe, Terminologie und Klassifizierung (EES-Systeme).....	270
12.2	Architektur von EES-Systemen (Steuerungssysteme).....	272
12.2.1	Standardprüf- und Bezugsumgebungsbedingungen.....	274
12.2.2	Einheitsparameter.....	274
<b>13</b>	<b>Stationäre Batterieanlagen (DC-Seite).....</b>	<b>279</b>
13.1	Schutz gegen direktes Berühren.....	280
13.2	Schutz bei indirektem Berühren (Fehlerschutz).....	281
13.3	Schutz durch automatische Abschaltung.....	282
13.4	Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse 2)	284
13.5	Schutz durch elektrische Trennung.....	285

<b>14</b>	<b>Anforderungen an den Aufstellort von Speichern</b> . . . . .	<b>287</b>
14.1	Auswahl und Installation elektrischer Betriebsmittel im Batterieraum. . . . .	287
14.2	Allgemeine Anforderungen zur Aufstellung von Batterien . . . . .	288
14.3	Fenster, Türen und Fluchtwege in Batterieräumen . . . . .	289
14.4	Ausführung und Beschaffenheit von Batterieräumen . . . . .	289
14.5	Zusätzliche Anforderungen an Schränke oder Behälter innerhalb oder außerhalb von Gebäuden . . . . .	291
14.5.1	Kennzeichnungen und Ausstattungen von Räumen oder Schränken bzw. Behältern mit Batterien . . . . .	295
14.5.2	Kennzeichnungen von Speichern. . . . .	296
14.6	Arbeitsschutz in Batterieräumen . . . . .	297
<b>15</b>	<b>Lüftung von Batterieräumen</b> . . . . .	<b>299</b>
15.1	Luftdurchflussmenge . . . . .	300
15.2	Berechnung des erforderlichen Sicherheitsabstands. . . . .	302
<b>16</b>	<b>Risikobeurteilung und funktionale Sicherheit</b> . . . . .	<b>305</b>
16.1	Risikobeurteilung . . . . .	305
16.1.1	Spezifikationen und Festlegung der Grenzen. . . . .	305
16.1.2	Risikoanalyse und -bewertung . . . . .	306
16.2	Verfahren zur Risikominderung . . . . .	307
16.3	Funktionale Sicherheit . . . . .	307
<b>17</b>	<b>Anschluss von Speichern am Niederspannungsnetz</b> . . . . .	<b>311</b>
17.1	Anforderungen an den Anschluss am Niederspannungsnetz . . . . .	311
17.2	Energieflussrichtungssensor (EnFluRi-Sensor). . . . .	313
17.3	Symmetrieanforderungen und Spannungsqualität . . . . .	314
17.4	Umschaltung auf Inselbetrieb . . . . .	315
17.5	Betriebsarten von Speichern . . . . .	316
<b>18</b>	<b>Schutz gegen elektrischen Schlag und Überstrom im Inselbetrieb</b> . . . . .	<b>317</b>
18.1	Schutzvorkehrungen . . . . .	317
18.2	Anforderungen an die Auswahl und Selektivität . . . . .	318
18.3	Netzparallelbetrieb . . . . .	319
18.4	Koordinierung der Schutzeinrichtungen . . . . .	320
18.5	Inselbetrieb mit TN-System . . . . .	321
18.5.1	Schutz durch automatische Abschaltung im Inselbetrieb. . . . .	321
18.5.2	Sternpunktnachbildung. . . . .	322

18.5.3	Fehlerschutzvorkehrung mit mehreren Verbrauchern .....	327
18.5.4	Koordinierung der Schutzvorkehrungen im Inselbetrieb .....	329
18.6	Schutz bei Überstrom .....	331
18.7	Die Sternpunktnachbildung unter dem Aspekt der funktionalen Sicherheit .....	331
18.8	Inselbetrieb im IT-System.....	333
18.9	TT-System als TN-S-System im Inselbetrieb.....	335
18.10	Inselbetrieb im TN-System mit Phasenkuppler .....	337
18.10.1	Ausführung des Phasenkupplers .....	337
18.10.2	Redundanz bei Versagen eines Schaltgeräts.....	339
18.11	Inselbetrieb im TN-System mit DC-gekoppelter Erzeugungsanlage und Speicher .....	341
18.12	TN-System mit Separierung notstromberechtigter Verbrauchsgeräte.....	343
<b>19</b>	<b>Prüfung von Speichern .....</b>	<b>345</b>
19.1	Dokumentation .....	346
19.2	Besichtigen .....	347
19.3	Erproben .....	348
19.4	Messen.....	348
19.5	Nachweis der Wirksamkeit der Schutzmaßnahme im IT-Inselbetrieb .....	349
19.6	Nachweis der Wirksamkeit der Schutzmaßnahme im TN-Inselbetrieb .....	349
<b>Quellen und Referenzen .....</b>		<b>353</b>
<b>Stichwortverzeichnis.....</b>		<b>355</b>