Inhaltsverzeichnis

1	**Anforderungen der Netzbetreiber**	**17**
1.1	Was ist was? – Begriffe	20
1.2	Definition „wesentliche Änderung“ und Anpassungspflicht	23
1.3	Anmeldeverfahren	23
2	**Ausführung des Hauptstromversorgungssystems**	**25**
2.1	Allgemeine Anforderungen an das Hauptstromversorgungssystem	25
2.2	Überspannungsschutz	26
2.3	Anschluss und symmetrischer Betrieb	30
2.3.1	Blockheizkraftwerke	31
2.3.2	Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge	32
2.3.3	Speicher	32
2.4	Anforderungen an den Anschlussraum	32
2.5	Schutz der Anschlussnutzeranlage	34
2.6	Betrieb der Kundenanlage	35
2.7	Fundamenterder	37
2.8	Netzrückwirkungen	38
3	**NA-Schutz**	**41**
3.1	Zentraler NA-Schutz	43
3.2	Integrierter NA-Schutz	46
4	**Netzsicherheitsmanagement**	**47**
5	**Erzeugungsanlagen**	**49**
6	**Errichtung von Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge**	**53**
6.1	Was ist was? – Begriffe	54
6.2	Inverkehrbringen von Ladesäulen	55
6.3	Anschlussarten	57
6.3.1	Leitungsgebundene Anschlussarten	58
6.3.2	Leitungsgebundene Anschlussarten mit automatischem Verbindungsaufbau	59
6.4	Kontaktlose Energieübertragung	60

6.5 Ladebetriebsarten ... 62
6.5.1 Ladebetriebsarten 1 und 2 ... 62
6.5.2 Ladebetriebsarten 3 und 4 ... 64
6.6 Stromversorgung und allgemeine Merkmale ... 65
6.6.1 Anschlussleistung ... 66
6.6.2 Gleichzeitigkeitsfaktor und Spannungsfall ... 67
6.6.3 Spannungsfall ... 70
6.6.4 Unsymmetrie ... 70
6.6.5 Netzrückwirkungen ... 71
6.6.6 Lastmanagement ... 71
6.6.7 Blindleistung ... 71
6.6.8 Wirkleistungssteuerung ... 72
6.7 Leiteranordnung und System der Erdverbindung ... 72
6.7.1 Rechtsdrehfeld ... 72
6.7.2 Netzform ... 73
6.8 Überwachungs- und Schutzfunktionen (PE, PP, CP) ... 73
6.8.1 Funktionen in der Ladebetriebsart 4 ... 74
6.8.2 Überwachung der Durchgängigkeit des Schutzleiters bei DC-Ladesystemen ... 75
6.8.3 Ausschalten des Systems ... 76
6.8.4 Verriegeln, Sperren und Freigeben der Steckvorrichtung ... 76
6.8.5 Notabschaltung ... 76
6.8.6 Isolationsprüfung vor dem Laden von DC-Ladesystemen ... 77
6.8.7 Schutz vor zeitweiliger Überspannung bei DC-Ladesystemen ... 77
6.9 Schutzmaßnahmen ... 78
6.9.1 Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs bei ACD-Systemen bis 1 kV AC/1,5 kV DC ... 78
6.9.2 Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs bei ACD-Systemen über 1 kV AC/1,5 kV DC ... 81
6.10 Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung ... 82
6.11 Schutz durch Schutztrennung ... 83
6.12 Einrichtungen zur Überwachung (IT-System) ... 86
6.13 Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störungen ... 87
6.13.1 Schutz bei Störspannungen ... 87
6.13.2 Induktive Ladeeinrichtungen ... 88
6.14 Auswahl und Anordnung der Betriebsmittel ... 92
6.14.1 Auswahl der Betriebsmittel – Äußere Einflüsse ... 92
6.14.2 Verkehrswege und Kollisionsschutz ... 94
6.15 Zählerplätze ... 96
6.16 Elektrofahrzeug als EZE am Niederspannungsnetz ... 97

6.17 Prüfungen ... 98
6.17.1 Besichtigen ... 100
6.17.2 Dokumentation ... 103
6.17.3 Erproben ... 103
6.17.4 Messen ... 105
6.17.5 Durchgängigkeit der Leiter ... 106
6.17.6 Prüfung der Spannungspolarität und Phasenfolge der Außenleiter 106
6.17.7 Prüfung der Wirksamkeit der automatischen Abschaltung im Fehlerfall ... 107
6.17.8 Prüfung der Wirksamkeit des zusätzlichen Schutzes ... 107
6.17.9 Isolationswiderstand ... 107
6.17.10 Einrichtungen zur Überwachung (IT-System) ... 108
6.18 Ladesäulenverordnung (LSV) ... 109
6.18.1 Anforderungen an Interoperabilität und Sicherheit ... 109
6.18.2 Anmeldeprotokoll ... 112
6.19 Ergonomische Gestaltung von Ladesystemen ... 113
6.19.1 Barrierefreiheit von Stellplätzen ... 113
6.19.2 Anforderungen an Beleuchtung von Stellplätzen ... 115
6.20 Batteriewechselsysteme ... 117
6.20.1 Das Batteriewechselsystem ... 118
6.20.2 Benutzerrollen und Zugänge ... 119
6.20.3 Klassifikation von Batteriewechselsystemen ... 120
6.20.4 Gefahrenstellen und Gefährdungen ... 121
6.20.5 Batteriewechselstationen für Nutzfahrzeuge ... 122
6.20.6 Batteriewechselstationen für Personenkraftfahrzeuge ... 123
6.20.7 Elektrische Ausrüstung von Batteriewechselsystemen ... 126
6.20.8 Sicherheitsanforderungen an das Fahrspursystem ... 127
6.20.9 Sicherheitsanforderungen an das Batteriehandhabungssystem ... 128
6.20.10 Sicherheitsanforderungen an das Lagerungssystem ... 129
6.20.11 Sicherheitsanforderungen an das Ladesystem ... 132
6.20.12 Anforderungen an Überwachungs- und Steuerungssysteme ... 133
6.20.13 Anforderungen an das Stromversorgungssystem ... 133
6.20.14 Schutz gegen elektrischen Schlag ... 134
6.20.14.1 Schutz gegen direktes Berühren ... 135
6.20.14.2 Gespeicherte Energie – Entladung von Kondensatoren ... 136
6.20.14.3 Schutzleiter ... 136
6.20.15 Auswahl und Aufbau von Betriebsmitteln ... 136
6.20.16 Aufschriften, Kennzeichnungen und Warneinrichtungen ... 137
6.21 Quellen zum Kapitel „Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge“ ... 138

7 Errichtung von Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssystemen 141
7.1 PV-Module ... 143
7.1.1 Normbedingungen ... 145
7.1.2 Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom ... 146
7.1.2.1 Nenngrößen bei MPP ... 147
7.1.2.2 Serien- und Parallelwiderstand ... 147
7.1.2.3 Kennzeichnung von PV-Modulen ... 148
7.2 PV-Wechselrichter ... 148
7.3 Schutz gegen elektrischen Schlag des PV-Generatorsfelds ... 151
7.4 Schutz gegen elektrischen Schlag der Wechselrichter ... 152
7.5 Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel ... 153
7.5.1 Wechselrichter und Anschlussgehäuse ... 153
7.5.2 Sperrdioden ... 154
7.5.3 Steckverbinder ... 155
7.5.4 Überstrom-Schutzeinrichtungen auf der Gleichspannungsseite ... 156
7.6 Schutz gegen thermische Einflüsse und Brände ... 157
7.6.1 Feuergefährdete Betriebsstätten ... 158
7.6.2 Feuergefährdete Betriebsstätten – Allgemeine Anforderungen ... 159
7.6.2.1 Kabel- und Leitungsverlegung ... 159
7.6.2.2 Fehlerschutz ... 160
7.6.2.3 Schaltgeräte und Betriebsmittel ... 160
7.6.3 PV-Anlagen/Varianten in feuergefährdeten Betriebsstätten ... 160
7.6.3.1 Variante 1 ... 161
7.6.3.2 Variante 2 ... 162
7.6.3.3 Variante 3 ... 164
7.7 Schutz gegen Brände, verursacht durch elektrische Betriebsmittel von PV-Anlagen ... 166
7.8 Schutz vor Überstrom der DC-Seite ... 168
7.8.1 Eine Schutzeinrichtung je Strang ... 169
7.8.2 Mehrere parallele Stränge je Schutzeinrichtung ... 170
7.8.3 Schutz bei Überlastströmen der PV-Strangleitung und des Teilgeneratorfeldkabels ... 170
7.8.4 Schutz des/der Teilgeneratorfeldkabels/-leitung ... 171
7.8.5 Schutz vor Überstrom des PV-Versorgungskabels ... 171
7.8.6 Schutz vor Kurzschluss der Wechselrichter ... 171
7.9 Erdungsanlagen ... 172
7.10 Trennen und Schalten ... 173
7.10.1 Trennen des Funktionspotentialausgleichsleiters ... 173
7.10.2 Trennen ... 174

7.11	Kabel- und Leitungssysteme	174
7.11.1	Verlegung	174
7.11.2	Dimensionierung	176
7.12	Blitz- und Überspannungsschutz von PV-Stromversorgungssystemen	177
7.12.1	Äußerer Blitzschutz an PV-Anlagen	178
7.12.2	Überspannungsschutz	179
7.12.3	Einflüsse von Störspannungen	181
7.13	Zugang und Kennzeichnung	182
7.14	Trenneinrichtung auf der DC Seite	183
8	**Prüfungen an Photovoltaikanlagen**	**185**
8.1	Prüfvorschrift der Kategorie 1 – alle Systeme	186
8.2	Prüfung der Gleichstromseite	186
8.3	Prüfung der Anforderungen an die Systemdokumentation	190
8.4	Erhalt des ordnungsgemäßen Zustands	194
9	**Ertrags- und Leistungskennzahlen von PV-Stromversorgungssystemen**	**197**
9.1	Ertragskenngrößen von PV-Stromversorgungssystemen ohne Speicher	198
9.2	Wirkungsgrade	201
9.3	Leistungs- und Ertragsverhältnisse	202
9.4	Beurteilung der Erträge	202
9.5	PV-Modulgruppe	206
9.5.1	*U*/*I*-Kennlinie	206
9.5.2	Interpretation der Ergebnisse	209
9.6	Vermeidung von Schlagschatten an PV-Generatoren	211
10	**Zusätzliche Maßnahmen zur Brandbekämpfung an Photovoltaikanlagen**	**213**
10.1	Information durch Kennzeichnungen	214
10.2	Bauliche und organisatorische Installationsmaßnahmen	215
10.3	Feuergeschützte Verlegung im Gebäude	215
10.4	Gegen Berührung geschützte und feuerwiderstandsfähige Verlegung von PV-DC-Leitungen im Gebäude	216
10.5	Verlegung außerhalb des Gebäudes	217
10.6	Technische Installationsmaßnahmen	218

10.7 Gemeinsame Voraussetzungen zum Schalten, Trennen und Kurzschließen ... 219
10.7.1 Trennen und Abschalten eines Strangs oder eines PV-Moduls ... 220
10.7.2 Einrichtungen zum Kurzschließen des Strangs oder des PV-Generators ... 221
10.8 Zusammenfassung ... 222

11 Einspeisung in Endstromkreise ... 223
11.1 Beschaffenheit elektrischer Anschlussnutzeranlagen im Bestand ... 223
11.2 Gefahren bei bestehenden Anschlussnutzeranlagen ... 225
11.2.1 Schutz gegen elektrischen Schlag ... 225
11.2.2 Schukostecker und Steckdose ... 225
11.2.3 Die elektrische Anschlussnutzeranlage ... 226
11.2.4 Schutz vor Überströmen und thermischen Auswirkungen ... 227
11.3 Anforderungen nach DIN VDE V 0100-551-1 ... 228
11.4 Zusammenfassung ... 232
11.5 Quellen zum Kapitel „Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme“ ... 234

12 Energiespeichersysteme am Niederspannungsnetz ... 239
12.1 Elektrische Energiespeichersysteme – Begriffe, Terminologie und Klassifizierung (EES-Systeme) ... 240
12.2 Architektur von EES-Systemen (Steuerungssysteme) ... 242
12.2.1 Standardprüf- und Bezugsumgebungsbedingungen ... 244
12.2.2 Einheitsparameter ... 244

13 Stationäre Batterieanlagen (DC-Seite) ... 249
13.1 Schutz gegen direktes Berühren ... 250
13.2 Schutz bei indirektem Berühren (Fehlerschutz) ... 251
13.3 Schutz durch automatische Abschaltung ... 252
13.4 Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung (Schutzklasse 2) 254
13.5 Schutz durch elektrische Trennung ... 255

14 Anforderungen an den Aufstellort von Speichern ... 257
14.1 Auswahl und Installation elektrischer Betriebsmittel im Batterieraum ... 257
14.2 Allgemeine Anforderungen zur Aufstellung von Batterien ... 258
14.3 Fenster, Türen und Fluchtwege in Batterieräumen ... 259
14.4 Ausführung und Beschaffenheit von Batterieräumen ... 259

14.5 Zusätzliche Anforderungen an Schränke oder Behälter innerhalb oder außerhalb von Gebäuden ... 261
14.5.1 Kennzeichnungen und Ausstattungen von Räumen oder Schränken bzw. Behältern mit Batterien ... 265
14.5.2 Kennzeichnungen von Speichern ... 266
14.6 Arbeitsschutz in Batterieräumen ... 267

15 Lüftung von Batterieräumen ... 269
15.1 Luftdurchflussmenge ... 270
15.2 Berechnung des erforderlichen Sicherheitsabstands ... 272

16 Risikobeurteilung und funktionale Sicherheit ... 275
16.1 Risikobeurteilung ... 275
16.1.1 Spezifikationen und Festlegung der Grenzen ... 275
16.1.2 Risikoanalyse und -bewertung ... 276
16.2 Verfahren zur Risikominderung ... 277
16.3 Funktionale Sicherheit ... 277

17 Anschluss von Speichern am Niederspannungsnetz ... 281
17.1 Anforderungen an den Anschluss am Niederspannungsnetz ... 281
17.2 Energieflussrichtungssensor (EnFluRi-Sensor) ... 283
17.3 Symmetrieanforderungen und Spannungsqualität ... 284
17.4 Umschaltung auf Inselbetrieb ... 285
17.5 Betriebsarten von Speichern ... 286

18 Schutz gegen elektrischen Schlag und Überstrom im Inselbetrieb ... 287
18.1 Schutz bei Überstrom ... 300
18.2 Die Sternpunktnachbildung unter dem Aspekt der funktionalen Sicherheit ... 300
18.3 Inselbetrieb im IT-System ... 302
18.4 TT-System als TN-S-System im Inselbetrieb ... 304
18.5 Inselbetrieb im TN-System mit Phasenkuppler ... 306
18.6 Inselbetrieb im TN-System mit DC-gekoppelter Erzeugungsanlage und Speicher ... 308
18.7 TN-System mit Separierung notstromberechtigter Verbrauchsgeräte ... 310

19 Prüfung von Speichern ... 313
19.1 Dokumentation ... 314
19.2 Besichtigen ... 315
19.3 Erproben ... 316
19.4 Messen ... 316
19.5 Nachweis der Wirksamkeit der Schutzmaßnahme im IT-Inselbetrieb ... 317
19.6 Nachweis der Wirksamkeit der Schutzmaßnahme im TN-Inselbetrieb ... 317

Quellen und Referenzen ... 321

Stichwortverzeichnis ... 323