

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Einführung und Grundlagen</b> .....	13
1.1 Warum PV und Speicher heute unverzichtbar sind .....	13
1.2 Marktentwicklung .....	14
1.3 Systemüberblick – PV-Anlage als Energiesystem .....	15
1.3.1 Beteiligte Rollen bei Planung und Errichtung .....	17
1.4 Einflussfaktoren für Planung und Errichtung von PV-Anlagen .....	19
1.4.1 Genehmigungsfragen (Kommunen, Denkmalschutz) .....	19
1.4.2 Verschattung (Vegetation, Gebäude, Kaminzüge) .....	21
1.4.3 Statische Anforderungen und Dacheigenschaften .....	23
1.4.4 Anforderungen an den Errichter (Qualifikation, Nachweise) .....	24
1.4.5 Anforderungen an den Betreiber (Pflichten, Risiken) .....	25
1.5 Von der Idee zur umsetzbaren Anlage .....	27
<b>2 Grundlagen der Photovoltaik</b> .....	29
2.1 Aufbau und Funktionsweise von PV-Modulen .....	29
2.2 PV-Anlagentypen: netzgekoppelt, Inselbetrieb und Hybridanlagen .....	32
2.3 Erzeugungsprofile, Einstrahlung und Verschattung .....	34
2.4 Wechselrichter, MPP-Tracking und Kopplungsvarianten von Speichern .....	36
2.5 Steckersolargeräte/Balkonkraftwerke .....	38
2.5.1 Normative Grundlagen .....	39
2.5.2 Anschluss und Schutzmaßnahmen .....	40
2.5.3 Technische Unterschiede zu klassischen PV-Anlagen .....	41
2.5.4 Meldepflichten und regulatorische Vorgaben .....	41
2.5.5 Typische Fehler, Empfehlungen und Best Practices .....	41
2.6 Zusammenfassung und Ausblick .....	42
<b>3 Grundlagen zur Speichertechnik</b> .....	45
3.1 Typen von Speichern: Lithium-Ionen, Redox-Flow, Salzwasser .....	45
3.2 Lade- und Entladezyklen, Wirkungsgrade und Lebensdauer .....	50
3.3 Notstrom- und Ersatzstromfähigkeit .....	52
3.4 Sicherheitstechnische Anforderungen .....	54
3.5 Zusammenfassung und Einordnung der Speichertechnik .....	57

<b>4</b>	<b>Normen, Vorschriften und Richtlinien</b> . . . . .	59
4.1	Überblick: Richtlinien und DIN-VDE-Normen . . . . .	59
4.2	DIN-VDE-Normen für PV-Anlagen . . . . .	60
4.2.1	DIN VDE 0100-712:2016-10 – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme . . . . .	60
4.2.2	DIN VDE 0100-551 Niederspannungsstromerzeugungseinrichtungen. . . . .	64
4.2.3	Vergleich DIN VDE 0100-712 und DIN VDE 0100-551 . . . . .	71
4.2.4	VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4105 – Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz. . . . .	73
4.2.5	VDE-AR-N 4100 – Technische Anschlussregeln Niederspannung. . . . .	76
4.3	Normen für die Speichertechnik . . . . .	80
4.3.1	VDE-AR-E 2510-2:2021-02 – Stationäre elektrische Energiespeichersysteme am Niederspannungsnetz . . . . .	81
4.3.2	DIN EN IEC 62485-1 (VDE 0510-485-1):2019-01 und DIN EN IEC 62485-2 (VDE 0510-485-2):2019-04 . . . . .	84
4.4	Steckersolargeräte nach DIN VDE V 0126-95 . . . . .	87
4.5	Zusammenfassung: Welche Norm gilt wann? . . . . .	91
<b>5</b>	<b>Begriffe aus der PV- und Speichertechnik.</b> . . . . .	95
5.1	Alphabetische Übersicht technischer Fachbegriffe . . . . .	95
5.2	Praxisnahe Erklärungen für Elektrofachkräfte . . . . .	103
5.2.1	Umgang mit PV-Strings und MPP-Trackern . . . . .	103
5.2.2	DC-Verkabelung im Alltag . . . . .	103
5.2.3	Überspannungsschutz – typische Fehlerquellen . . . . .	104
5.2.4	Speicher richtig dimensionieren . . . . .	104
5.2.5	Ersatzstrom und Notstrom – im Einsatzfall. . . . .	104
5.2.6	Kommunikation, Monitoring und EMS. . . . .	105
5.2.7	Typische Installationsfehler und ihre Folgen. . . . .	105
5.2.8	Ertragsorientierte Auslegung aus der Praxis . . . . .	105
5.2.9	Messkonzepte und Netzbetreiberanforderungen . . . . .	106
5.2.10	Wartung und Inspektion – was wirklich zählt . . . . .	106
5.3	Abgrenzungen, Definitionen und typische Missverständnisse . . . . .	106
5.3.1	AC-Speicher und DC-Speicher – technische Unterschiede richtig einordnen . . . . .	107
5.3.2	Inselbetrieb, Ersatzstrom und Notstrom – was technisch wirklich dahintersteckt . . . . .	107
5.3.3	Laden und Entladen – Leistungsgrenzen richtig verstehen . . . . .	109
5.3.4	Blindleistung und Wirkleistung – zwei unterschiedliche Aufgaben im Netz . . . . .	109

5.3.5	Überspannungsschutz und Blitzschutz – zwei unterschiedliche Schutzkonzepte . . . . .	109
5.3.6	Batteriekapazität und nutzbare Kapazität – was tatsächlich zur Verfügung steht. . . . .	110
5.3.7	Leistungsoptimierer und MPP-Tracker – wann welches Konzept sinnvoll ist . . . . .	110
5.3.8	PV-Leistung und PV-Ertrag – Momentanwert und Energiemenge . . . .	111
5.3.9	Wärmepumpe, PV und Speicher – technisch sinnvoll kombinieren . . .	111
5.3.10	Parallele Strings und Sicherungspflicht – Rückströme richtig bewerten. . . . .	111
<b>6</b>	<b>Planung von PV- und Speicheranlagen . . . . .</b>	<b>113</b>
6.1	Lastgänge, Energiebedarf und Eigenverbrauchsoptimierung . . . . .	113
6.2	Standortanalyse, Modulneigung und -ausrichtung . . . . .	119
6.3	Anlagengröße, Speicherbemessung und Wirtschaftlichkeit . . . . .	122
6.4	Softwaretools und Planungsbeispiele . . . . .	125
<b>7</b>	<b>Elektroinstallation: Bausteine aus der Praxis . . . . .</b>	<b>129</b>
7.1	Standorte von PV- und Speicheranlagen . . . . .	129
7.2	Anmeldung und Abstimmung mit dem Netzbetreiber. . . . .	131
7.3	Anschlussleistung und Netzanschlusspunkt . . . . .	134
7.4	Hauptstromversorgungssystem . . . . .	136
7.5	Stromkreise für PV- und Speicheranlagen. . . . .	139
7.6	Gleichzeitigkeitsfaktor und Dauerbetrieb . . . . .	141
7.7	Spannungsfall . . . . .	144
7.8	Symmetrie und Phasenbelastung. . . . .	146
7.9	Erdungssystem und Schutzmaßnahmen . . . . .	148
7.10	Schutzmaßnahmen (RCD, automatische Abschaltung). . . . .	150
7.11	Eigene Stromkreise und Überstromschutz. . . . .	152
7.12	Auswahl der Betriebsmittel . . . . .	154
7.13	Netzurückwirkungen . . . . .	156
7.14	Zählerplätze und Messkonzepte . . . . .	158
7.15	Äußere Einflüsse . . . . .	160
7.16	Schutz gegen Überspannungen . . . . .	162
7.17	Schutz gegen thermische Auswirkungen. . . . .	164
7.18	Schutz gegen elektromagnetische Einflüsse (EMV) . . . . .	166
7.19	Prüfungen. . . . .	167
7.20	Vorbereitungen für Neuanlagen. . . . .	169
7.21	Vorbereitungen für Bestandsanlagen . . . . .	171

<b>8</b>	<b>Energiemanagement, Monitoring und Steuerung</b> . . . . .	175
8.1	Energiemanagementsysteme (EMS) – Herzstück moderner PV- und Speicheranlagen . . . . .	175
8.2	Visualisierung und Fernzugriff – Transparenz für Betreiber und Fachkräfte . . . . .	176
8.3	Smart Meter, Schnittstellen, Anbindung an externe Systeme . . . . .	177
8.3.1	Vom passiven Verbraucher zum aktiven Systemteilnehmer . . . . .	177
8.3.2	Gesetzlicher Rahmen: § 14a EnWG – Zielsetzung und Grundprinzip . . . . .	178
8.3.3	Welche Anlagen gelten als steuerbare Verbrauchseinrichtungen? . . . . .	180
8.3.4	Bestandsanlagen und Neuanlagen – wer ist betroffen? . . . . .	181
8.3.5	Rollenverteilung im steuerbaren Energiesystem . . . . .	182
8.3.6	Technische Komponenten der Steuerung . . . . .	182
8.3.7	Wie erfolgt die Steuerung in der Praxis? . . . . .	183
8.3.8	Grenzen der Steuerung und Schutz des Anlagenbetriebs . . . . .	184
8.3.9	Auswirkungen auf Planung und Elektroinstallation . . . . .	184
8.3.10	Häufige Missverständnisse aus der Praxis. . . . .	184
8.3.11	Einordnung im Gesamtzusammenhang dieser VDE-Schriftenreihe . . . . .	185
8.4	Dynamische Steuerung von Verbrauchern. . . . .	185
8.4.1	KI-basierte Optimierung – Einordnung. . . . .	186
8.4.2	Elektromobilität als flexibler Verbraucher im Energiesystem. . . . .	186
<b>9</b>	<b>Sicherheit und Schutzmaßnahmen</b> . . . . .	191
9.1	Gefahren von Photovoltaik- und Speicheranlagen . . . . .	191
9.1.1	Elektrische Gefahren . . . . .	192
9.1.2	Nicht elektrische Gefahren . . . . .	193
9.2	Blitz- und Überspannungsschutz bei PV- und Speicheranlagen . . . . .	194
9.3	Schutz gegen elektrischen Schlag . . . . .	198
9.4	Brandschutzanforderungen und -konzepte bei PV- und Speicheranlagen. . . . .	200
9.4.1	Typische Brandursachen bei PV- und Speicheranlagen. . . . .	201
9.4.2	Grundprinzipien eines wirksamen Brandschutzkonzepts . . . . .	201
9.4.3	Batteriespeicher – besondere brandschutztechnische Anforderungen. . . . .	202
9.4.4	Betrieb, Prüfung und Gefährdungsbeurteilung (BetrSichV) . . . . .	202
9.4.5	Baurechtliche und brandschutztechnische Rahmenbedingungen (EltBauV). . . . .	203
9.5	Feuerwehrschalter, sichere Abschaltung und Schutz bei Einspeisung . . . . .	204
9.5.1	Besonderheiten von PV-Anlagen im Einsatzfall . . . . .	204
9.5.2	Grundstruktur sicherer Abschaltkonzepte . . . . .	204
9.5.3	Feuerwehrschalter – Funktion und Grenzen . . . . .	205
9.5.4	Kennzeichnung und Information für Einsatzkräfte . . . . .	205

9.5.5	Schutz bei Einspeisung und Netzzrückwirkungen . . . . .	205
9.5.6	Zusammenhang zu Kapitel 3.4 – Interdependenzen . . . . .	207
<b>10</b>	<b>Netzanschluss und Auswirkungen auf das Verteilnetz.</b> . . . . .	<b>211</b>
10.1	Netzverträglichkeitsprüfung und Einspeisemanagement. . . . .	211
10.2	NA-Schutz und dynamische Wirkleistungsregelung . . . . .	214
10.3	Kommunikation mit den Netzbetreibern . . . . .	215
10.4	Regelenergie und Beitrag zur Netzstabilität . . . . .	217
10.5	Beispiele aus Netzbetreiber-Vorgaben . . . . .	218
10.6	Abgrenzung zu großen Freiflächen-Photovoltaikanlagen . . . . .	220
<b>11</b>	<b>Betrieb und Instandhaltung</b> . . . . .	<b>225</b>
11.1	Betrieb, Instandhaltung und Prüfung – Begriffe sicher einordnen . . .	225
11.2	Organisation des Betriebs von PV- und Speichieranlagen . . . . .	228
11.3	Regelmäßige Sicht- und Funktionskontrollen . . . . .	230
11.4	Wartungsintervalle für PV-Anlagen. . . . .	232
11.4.1	Wartungstabelle nach Anlagenteilen . . . . .	233
11.4.2	Fachlicher Hinweis zur Verantwortung . . . . .	234
11.5	Wartungsintervalle für Speichertechnik. . . . .	234
11.5.1	Wartungstabelle für Batteriespeichersysteme . . . . .	235
11.5.2	Fachlicher Hinweis zur Wartung von Speichersystemen. . . . .	236
11.6	Monitoring-gestützte Fehlererkennung . . . . .	236
11.7	Dokumentation, Prüf- und Wartungsnachweise . . . . .	239
11.7.1	Zweck und Bedeutung der Dokumentation . . . . .	239
11.7.2	Inhalte der Betriebs- und Wartungsdokumentation . . . . .	239
11.7.3	Verantwortlichkeiten . . . . .	240
11.7.4	Aufbewahrungsdauer. . . . .	240
11.8	Häufige Betriebsstörungen und Störungsbehebung. . . . .	240
11.8.1	Typische Störungen bei PV-Anlagen. . . . .	241
11.8.2	Typische Störungen bei Speichersystemen . . . . .	242
11.8.3	Abgrenzung Betreiber – Elektrofachkraft . . . . .	242
11.8.4	Bedeutung einer systematischen Störungsbehandlung . . . . .	242
11.9	Inspektion aus der Luft: Drohneneinsatz für effiziente Prüfung von PV-Anlagen . . . . .	243
<b>12</b>	<b>Zentrale Registerpflicht ab 2025</b> . . . . .	<b>245</b>
12.1	ZEREZ – Zentrales Register für PV-Zertifikate: Pflicht ab 2025 . . . .	246
12.2	Hintergründe und gesetzliche Grundlagen . . . . .	248
12.3	Anforderungen an Installationsbetriebe und Betreiber . . . . .	248
12.4	Meldeverfahren, Fristen, Dokumentationspflichten . . . . .	249
12.5	Praxis-Tipps für die Umsetzung . . . . .	249

<b>13</b>	<b>Zukunftstrends und Ausblick</b> . . . . .	251
13.1	Sektorenkopplung: Photovoltaik, Speicher, Wärmepumpe und Elektromobilität . . . . .	251
13.1.1	Technische Integration und normative Rahmenbedingungen . . . . .	252
13.1.2	Technisches Zusammenspiel der Systemkomponenten . . . . .	253
13.1.3	Anforderungen an Planung und Auslegung . . . . .	253
13.1.4	Normative Einordnung . . . . .	254
13.1.5	Energiemanagement als verbindendes Element . . . . .	254
13.1.6	Einordnung für die Praxis . . . . .	254
13.2	Vehicle-to-Home (V2H) und Vehicle-to-Grid (V2G) . . . . .	255
13.3	Langzeitspeicher und alternative Speichertechnologien . . . . .	256
13.4	Politische und regulatorische Rahmenbedingungen . . . . .	256
13.5	Prognosebasierte Speicherladung und KI-gestütztes Energiemanagement . . . . .	256
13.6	Industrie- und Quartierspeicher . . . . .	257
13.7	Rolle stationärer Speicher als Netzdienstleister . . . . .	257
13.8	Mobile Photovoltaik und neue Erzeugungskonzepte . . . . .	257
13.9	Mobile Photovoltaik am Fahrzeug – Solarlack als neuer Erzeugungsbaustein . . . . .	258
<b>14</b>	<b>Zusammenfassung dieser VDE-Schriftenreihe</b> . . . . .	263
<b>15</b>	<b>Anhang</b> . . . . .	265
15.1	Kompakte Tabellenübersichten und Orientierungshilfen . . . . .	265
15.2	Einordnung von Planungstools für PV- und Speicheranlagen . . . . .	266
15.3	Hinweis zu Förderprogrammen und externen Informationsquellen . . . . .	268
15.4	Literatur- und Normenverzeichnis . . . . .	268
15.5	Bilderliste . . . . .	276
15.6	Tabellenliste . . . . .	279
15.7	Infoboxen-Liste . . . . .	283