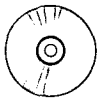


# Inhalt

	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	5
<b>1</b>	<b>Vorworte</b> .....	1 - 1
<b>1</b>	<b>Geschichte der Photovoltaik und Einführung</b> .....	1 - 5
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	2 - 1
2.1	PV-Anlagensysteme und PV-Anwendungen .....	2 - 3
2.2	Sonnenstrahlung .....	2 - 10
2.3	Photovoltaischer Effekt und Funktion von Solarzellen .....	2 - 28
2.4	Zellarten .....	2 - 31
2.5	Elektrische Eigenschaften von Solarzellen .....	2 - 63
<b>3</b>	<b>Bestandteile von PV-Anlagen</b> .....	3 - 1
3.1	PV-Module .....	3 - 5
3.2	Generatoranschlusskasten, Strangdioden und Strangsicherungen .....	3 - 52
3.3	Wechselrichter .....	3 - 54
3.4	Kabel, Leitungen und Anschluss technik .....	3 - 82
3.5	Installationsmaterial .....	3 - 86
3.6	Gleichstromlastschalter (DC-Hauptschalter) .....	3 - 86
3.7	AC-seitige Schutzeinrichtungen und Zähleinrichtungen .....	3 - 87
3.8	Akkumulatoren und Speichertechnologien .....	3 - 91
3.9	Laderegler .....	3 - 108
3.10	Inselwechselrichter .....	3 - 114
<b>4</b>	<b>Vororttermin, Standortaufnahme und Verschattungsanalyse</b> .....	4 - 1
4.1	Vororttermin und Standortaufnahme .....	4 - 3
4.2	Kundenberatung und -gespräch .....	4 - 4
4.3	Verschattung .....	4 - 5
4.4	Verschattungsanalyse .....	4 - 11
4.5	Digitale Aufnahme der Horizontlinie und Verschattungsanalyse mittels Software .....	4 - 13
4.6	Berücksichtigung der Verschattung bei Generatorverschaltung und Anlagenkonzept .....	4 - 17
4.7	Verschattung bei aufgeständerten Solaranlagen .....	4 - 21
4.8	Checklisten zur Gebäudeaufnahme .....	4 - 25
<b>5</b>	<b>Planung und Auslegung von netzgekoppelten Anlagen</b> .....	5 - 1
5.1	Anlagengröße und Modulauswahl .....	5 - 5
5.2	Anlagenkonzepte .....	5 - 6
5.3	Installationsort des Wechselrichters .....	5 - 21
5.4	Wechselrichterdimensionierung .....	5 - 22
5.5	Auslegung der Leitungen und der Schutzelemente gegen Überlast .....	5 - 38
5.6	Auswahl und Dimensionierung des Generatoranschlusskastens und des DC-Hauptschalters .....	5 - 48
5.7	Blitzschutz, Erdung und Überspannungsschutz .....	5 - 50
5.8	Brandschutz .....	5 - 66
5.9	AC-Schutztechnik und Netzanschluss .....	5 - 71
5.10	Angebotserstellung und Kalkulation .....	5 - 82
5.11	Ertragsprognose .....	5 - 86
5.12	Vorschriften und Richtlinien .....	5 - 89
<b>6</b>	<b>Planung und Auslegung von Inselanlagen</b> .....	6 - 1
6.1	Einführung .....	6 - 3
6.2	Erfassung des Stromverbrauchs .....	6 - 6
6.3	Dimensionierung des PV-Generators.....	6 - 7
6.4	Dimensionierung der Leitungsquerschnitte .....	6 - 15
6.5	Auslegung des Akkus .....	6 - 17
6.6	Einsatz eines Wechselrichters.....	6 - 19
6.7	Auslegung von Inselanlagen mit Hilfe von DGS-Inselkalkulation .....	6 - 21
6.8	Hybridsysteme .....	6 - 26
6.9	Photovoltaik in dezentralen Stromnetzen .....	6 - 27
6.10	Photovoltaisch betriebene Wasserpumpensysteme .....	6 - 31





<b>7</b>	<b>Computerprogramme und Simulation</b> .....	<b>7 - 1</b>
7.1	Einsatz von Auslegungs- und Simulationsprogrammen .....	7 - 3
7.2	Überprüfung der Simulationsergebnisse .....	7 - 4
7.3	Modellierung der Verschattungen und 3D-Darstellungen .....	7 - 5
7.4	Ertragsberechnungen und Ertragsgutachten .....	7 - 7
7.5	Marktüberblick und Einteilung von Datenträgern und Programmen für PV-Anlagen .....	7 - 8
<b>8</b>	<b>Montagesysteme und Gebäudeintegration</b> .....	<b>8 - 1</b>
8.1	Einführung .....	8 - 5
8.2	Kleine Dachkunde .....	8 - 6
8.3	Standicherheit und Statik .....	8 - 15
8.4	Montagesysteme für Schräge Dächer .....	8 - 27
8.5	Montagesysteme für flache Dächer .....	8 - 46
8.6	Kleine Fassadenkunde .....	8 - 56
8.7	Fassaden .....	8 - 66
8.8	Glasdächer .....	8 - 80
8.9	Sonnenschutzeinrichtungen .....	8 - 86
8.10	Montagesysteme für Freiflächenanlagen .....	8 - 93
8.11	Nachführsysteme .....	8 - 97
<b>9</b>	<b>Installation, Inbetriebnahme und Betrieb von PV-Anlagen</b> .....	<b>9 - 1</b>
9.1	Einleitung .....	9 - 3
9.2	Allgemeine Installationshinweise .....	9 - 4
9.3	Sicherheitsbestimmungen bei Arbeiten auf dem Dach .....	9 - 8
9.4	Beispielinstallation einer netzgekoppelten PV-Anlage .....	9 - 14
9.5	Einspeisevertrag und Meldung bei der Bundesnetzagentur .....	9 - 22
9.6	Inbetriebnahme und Abnahme .....	9 - 22
9.7	Inbetriebsetzung (Netzinbetriebnahme) .....	9 - 26
9.8	Gewährleistung .....	9 - 27
9.9	Störungen, typische Fehler und Wartung bei PV-Anlagen .....	9 - 28
9.10	Fehlersuche .....	9 - 35
9.11	Brandschutzkennzeichnung und -dokumentation .....	9 - 44
9.12	Betriebsdatenüberwachung und Präsentation .....	9 - 45
9.13	Betriebsergebnisse von netzgekoppelten PV-Anlagen .....	9 - 52
9.14	Langzeiterfahrungen und Qualität .....	9 - 55
9.15	Steuerrechtliche Fragen in Zusammenhang mit netzgekoppelten PV-Anlagen .....	9 - 60
9.16	Versicherungen für Solarstromanlagen .....	9 - 68
<b>10</b>	<b>Markt, Wirtschaftlichkeit und Ökologie</b> .....	<b>10 - 1</b>
10.1	Der Markt .....	10 - 3
10.2	Kosten- und Preisentwicklung .....	10 - 9
10.3	Technische Tendenzen .....	10 - 11
10.4	Die energiewirtschaftliche Situation und PV-Ausbauszenarien für Deutschland .....	10 - 13
10.5	Finanzierung .....	10 - 16
10.6	Betriebswirtschaftliche Bewertung .....	10 - 23
10.7	Ökologische Bewertung .....	10 - 28
<b>11</b>	<b>Marketing</b> .....	<b>11 - 1</b>
11.1	Grundlagen des solaren Marketings .....	11 - 3
11.2	Mehr Erfolg durch systematisches Marketing .....	11 - 5
11.3	Ein gutes Verkaufsgespräch macht Spaß .....	11 - 29
11.4	Hilfreiche Internetportale .....	11 - 37
<b>12</b>	<b>Anhang und Firmenpräsentationen</b>	
	Quellenverzeichnis .....	A - 1
	Literatur zur Photovoltaik .....	A - 7
	Firmenpräsentationen	



## 2 Grundlagen

<b>2.1</b>	<b>PV-Anlagensysteme und PV-Anwendungen</b> .....	<b>2 - 3</b>
2.1.1	Überblick .....	2 - 3
2.1.2	Inselsysteme .....	2 - 4
2.1.3	Netzgekoppelte Systeme .....	2 - 7
<b>2.2</b>	<b>Sonnenstrahlung</b> .....	<b>2 - 10</b>
2.2.1	Die Sonne als Energiequelle .....	2 - 10
2.2.2	Verteilung der Sonneneinstrahlung .....	2 - 11
	Österreich, Schweiz .....	2 - 15
2.2.3	Direkte und diffuse Strahlung .....	2 - 16
2.2.4	Winkeldefinition .....	2 - 17
2.2.5	Sonnenstand und Sonnenspektrum .....	2 - 17
2.2.6	Einstrahlung auf geneigte Flächen .....	2 - 21
2.2.7	Bodenreflexion .....	2 - 25
2.2.8	Messverfahren für solare Strahlung .....	2 - 25
2.2.9	Nachführung .....	2 - 27
<b>2.3</b>	<b>Photovoltaischer Effekt und Funktion von Solarzellen</b> .....	<b>2 - 28</b>
2.3.1	Funktionsprinzip einer Solarzelle .....	2 - 28
2.3.2	Aufbau und Funktionsweise einer kristallinen Silizium-Solarzelle .....	2 - 30
<b>2.4</b>	<b>Zellarten</b> .....	<b>2 - 31</b>
2.4.1	Kristallines Silizium .....	2 - 31
2.4.2	Monokristalline (einkristalline) Siliziumzellen .....	2 - 33
2.4.3	Polykristalline Siliziumzellen .....	2 - 34
2.4.4	Polykristalline UMG-Siliziumzellen .....	2 - 35
2.4.5	Bandgezogene Siliziumzellen .....	2 - 36
	Polykristalline String-Ribbon-Siliziumzellen .....	2 - 36
2.4.6	Texturierung und Antireflexbeschichtung .....	2 - 37
2.4.7	Frontkontakte .....	2 - 38
2.4.8	Rückkontakte .....	2 - 39
2.4.9	Alternativen bei der Waferherstellung .....	2 - 39
2.4.10	Hochleistungszellen .....	2 - 40
	Floatzone-Verfahren .....	2 - 40
	Optimierte Zellstrukturen .....	2 - 41
	Rückseitenkontaktierungen .....	2 - 42
	Hybrid-Zellen – HIT-Solarzellen .....	2 - 46
	Exkurs: Transparente kristalline Solarzellen .....	2 - 47
	Exkurs: Kugelsolarzellen .....	2 - 48
2.4.11	Dünnschicht-Zelltechnologie .....	2 - 48
2.4.12	Amorphe Siliziumzellen .....	2 - 50
2.4.13	Mikromorphe Solarzellen .....	2 - 52
2.4.14	Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS) .....	2 - 53
2.4.15	Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe) .....	2 - 56
2.4.16	Nanostrukturierte anorganische und organische Solarzellen .....	2 - 57
	Nanostrukturierte CIS-Zellen .....	2 - 57
	Farbstoffzellen .....	2 - 58
	Kunststoffsolarzellen .....	2 - 59
2.4.17	Konzentrator-Solarzellen und konzentrierende Systeme .....	2 - 61
2.4.18	Vergleich der Solarzellenarten und Trends .....	2 - 62
<b>2.5</b>	<b>Elektrische Eigenschaften von Solarzellen</b> .....	<b>2 - 63</b>
2.5.1	Ersatzschaltbilder der Solarzelle .....	2 - 63
	Exkurs: Weitere Solarzellen-Modelle .....	2 - 65
2.5.2	Zellkenngrößen und Solarzellenkennlinien .....	2 - 68
	STC-Bedingungen .....	2 - 68
2.5.3	Spektrale Empfindlichkeit .....	2 - 70
2.5.4	Wirkungsgrad von Solarzellen bzw. PV-Modulen .....	2 - 72

## 3 Bestandteile von PV-Anlagen

<b>3.1</b>	<b>PV-Module</b> .....	<b>3 - 5</b>
3.1.1	Zellversträngung .....	3 - 5
	Integrierte Serienschaltung bei Dünnschichtzellen .....	3 - 6
3.1.2	Glas und Zellverkapselung .....	3 - 7
	Verkapselung in Ethylen-Vinyl-Acetat (EVA) .....	3 - 9
	Verkapselung in Polyvinylbutyral (PVB) .....	3 - 11
	Verkapselung in Polytetrafluorethylen (PTFE) .....	3 - 12
	Verkapselung in Ionomere .....	3 - 12
	Verkapselung in Gießharz (TPU, Acrylate) oder in Silikon (TPSE) .....	3 - 12
	Exkurs: Neue Modulkonzepte .....	3 - 13
3.1.3	Modulanschlussdose und Modulanschlusskabel .....	3 - 14
3.1.4	Modulrahmen .....	3 - 16
3.1.5	Modularten .....	3 - 17
	Standardmodule .....	3 - 18
	Spezialmodule .....	3 - 19
	Sondermodule .....	3 - 20
3.1.6	Gestaltungsmöglichkeiten von PV-Modulen .....	3 - 21
	Zelltyp und Zellform .....	3 - 22
	Zellanordnung und Transparenz .....	3 - 22
	Rückseitenfolie und Frontkontakte .....	3 - 24
	Glasgröße und -format .....	3 - 24
	Glasart: Multifunktionale Module für die Gebäudehülle .....	3 - 25
	Sondermodule aus Acrylglas oder Makrolon .....	3 - 26
3.1.7	Schaltzeichen .....	3 - 27
3.1.8	Modulkennlinien .....	3 - 27
3.1.9	Modulkenngrößen .....	3 - 28
3.1.10	Einstrahlungsabhängigkeit und Temperaturverhalten .....	3 - 29
3.1.11	Hot Spot, Bypassdioden und Verschattung .....	3 - 32
3.1.12	Elektrische Eigenschaften von Dünnschichtmodulen .....	3 - 37
3.1.13	Qualitätsnachweise für Module .....	3 - 45
	Zertifizierung und Qualifikationstest .....	3 - 45
	Weitere Modulprüfungen .....	3 - 48
	Sicherheitsnormen und CE-Kennzeichnung .....	3 - 49
	Leistungstoleranz und Garantiefristen der Hersteller .....	3 - 50
3.1.14	Zusammenschaltung von PV-Modulen .....	3 - 51
<b>3.2</b>	<b>Generatoranschlusskasten, Strangdioden und Strangsicherungen</b> .....	<b>3 - 52</b>
<b>3.3</b>	<b>Wechselrichter</b> .....	<b>3 - 54</b>
3.3.1	Schaltzeichen und Funktionsweise .....	3 - 54
	Netzgeführter Wechselrichter .....	3 - 56
3.3.2	Selbstgeführter Wechselrichter .....	3 - 56
	Wechselrichter mit NF-Transformator .....	3 - 57
	Selbstgeführte Wechselrichter mit HF-Transformator .....	3 - 58
	Trafoloser Wechselrichter .....	3 - 59
3.3.3	Kenndaten, Kennlinien und Eigenschaften von Wechselrichtern	3 - 61
	Umwandlungswirkungsgrad $\eta_{UM}$ .....	3 - 61
	Anpassungswirkungsgrad $\eta_{AN}$ .....	3 - 61
	Statischer Wirkungsgrad $\eta_{WR}$ .....	3 - 62
	Eurowirkungsgrad $\eta_{EURO}$ .....	3 - 63
	Kalifornischer Wirkungsgrad $\eta_{CEC}$ .....	3 - 65
	Gesamtwirkungsgrad $\eta_{tot}$ .....	3 - 66
	Überlastverhalten .....	3 - 67
	Betriebsdatenerfassung .....	3 - 68
	Weitere Kenndaten und Eigenschaften .....	3 - 68



3.3.4	Anforderungen zur Netzintegration an Wechselrichter .....	3 - 70
	Spannungshaltung .....	3 - 70
	Exkurs: Scheinleistung, Blindleistung und Wirkleistung .....	3 - 72
	Blindleistungsregelung .....	3 - 73
	Frequenzregelung .....	3 - 74
3.3.5	Wechselrichterarten und Baugrößen in verschiedenen Leistungsklassen .....	3 - 75
	Wechselrichter mit mehreren MPP-Reglern (Multistring-Konzept) .....	3 - 76
	Modulwechselrichter (Mikroinverter) .....	3 - 77
	Dreiphasen-Konzept im kleinen Leistungsbereich .....	3 - 78
	Dünnschichtmoduloptimierter Wechselrichter .....	3 - 78
	Mittelspannungswechselrichter .....	3 - 78
	Weitere Entwicklungen .....	3 - 78
3.3.6	Speichersysteme für netzgekoppelte Anlagen .....	3 - 80
<b>3.4</b>	<b>Kabel, Leitungen und Anschlussstechnik</b> .....	<b>3 - 82</b>
3.4.1	Modulleitungen bzw. Strangleitungen .....	3 - 82
3.4.2	Anschlussstechnik .....	3 - 83
3.4.3	Gleichstromhauptleitung (DC) .....	3 - 85
3.4.4	Wechselstromanschlussleitung (AC) .....	3 - 85
<b>3.5</b>	<b>Installationsmaterial</b> .....	<b>3 - 86</b>
<b>3.6</b>	<b>Gleichstromlastschalter (DC-Hauptschalter)</b> .....	<b>3 - 86</b>
<b>3.7</b>	<b>AC-seitige Schutzeinrichtungen und Zähleinrichtungen</b> .....	<b>3 - 87</b>
3.7.1	Leitungsschutzschalter (MCB) .....	3 - 87
	Fehlerstromschutzschalter (RCD) .....	3 - 87
3.7.2	Netz- und Anlagenschutz (NA-Schutz) und Kuppelschalter .....	3 - 88
3.7.3	Ferngesteuerte Einrichtung zur Leistungsreduzierung .....	3 - 89
	Zähleinrichtung .....	3 - 90
<b>3.8</b>	<b>Akkumulatoren und Speichertechnologien</b> .....	<b>3 - 91</b>
3.8.1	Aufbau und Funktionsweise von Bleiakkumulatoren .....	3 - 93
3.8.2	Typen und Bauformen von Bleiakkumulatoren .....	3 - 94
3.8.3	Betriebsverhalten und Kenngrößen von Bleiakkumulatoren .....	3 - 97
	Laden und Entladen .....	3 - 99
	Ladefaktor, Ladewirkungsgrad und Energiewirkungsgrad .....	3 - 101
3.8.4	Alterungseffekte .....	3 - 102
3.8.5	Auswahlkriterien .....	3 - 102
3.8.6	Wartung und Sicherheitshinweise .....	3 - 104
3.8.7	Recycling .....	3 - 104
3.8.8	Lithium-Ionen-Akkumulator .....	3 - 105
	Aufbau und Funktionsprinzip von Lithium-Ionen-Akkumulatoren .....	3 - 105
	Eigenschaften von Lithium-Ionen-Akkumulatoren .....	3 - 106
	Reichweite der Lithiumvorräte .....	3 - 107
	Kosten und Wirtschaftlichkeit von Lithium-Ionen-Akkumulatoren .....	3 - 107
<b>3.9</b>	<b>Laderegler</b> .....	<b>3 - 108</b>
3.9.1	Tiefentladeschutz und Ladeverfahren .....	3 - 110
3.9.2	Serienregler .....	3 - 112
3.9.3	Shuntregler (Parallelregler) .....	3 - 112
3.9.4	MPP-Laderegler .....	3 - 113
<b>3.10</b>	<b>Inselwechselrichter</b> .....	<b>3 - 114</b>
3.10.1	Sinuswechselrichter .....	3 - 115
3.10.2	Trapezwechselrichter .....	3 - 115
3.10.3	Einsatzkriterien von Wechselrichtern in Inselssystemen .....	3 - 116

## 4 Vororttermin, Standortaufnahme und Verschattungsanalyse

4.1	<b>Vororttermin und Standortaufnahme</b> .....	4 - 3
4.2	<b>Kundenberatung und -gespräch</b> .....	4 - 4
4.3	<b>Verschattung</b> .....	4 - 5
4.3.1	Temporäre Verschattungen .....	4 - 5
	Verschmutzung .....	4 - 5
	Schnee .....	4 - 6
4.3.2	Standortbedingte Verschattungen .....	4 - 8
4.3.3	Gebäudebedingte Verschattungen .....	4 - 8
4.3.4	Eigenverschattungen .....	4 - 9
4.3.5	Nahverschattungen .....	4 - 9
4.4	<b>Verschattungsanalyse</b> .....	4 - 11
4.5	<b>Digitale Aufnahme der Horizontlinie und Verschattungsanalyse mittels Software</b> .....	4 - 13
	Verschattungsauswertung mit Simulationsprogrammen .....	4 - 16
4.6	<b>Berücksichtigung der Verschattung bei Generatorverschaltung und Anlagenkonzept</b> .....	4 - 17
4.6.1	Reihenschaltung (String-Konzept) .....	4 - 18
4.6.2	Parallelschaltung .....	4 - 19
4.6.3	Vergleich der Verschaltungskonzepte .....	4 - 20
4.7	<b>Verschattung bei aufgeständerten Solaranlagen</b> .....	4 - 21
	Energetische Optimierung der Flächennutzung von aufgeständerten PV-Modulen .....	4 - 22
4.8	<b>Checklisten zur Gebäudeaufnahme</b> .....	4 - 25

# 5 Planung und Auslegung von netzgekoppelten Anlagen

5.1	<b>Anlagengröße und Modulauswahl</b> .....	5 - 5
5.2	<b>Anlagenkonzepte</b> .....	5 - 6
5.2.1	Zentrales Wechselrichterkonzept .....	5 - 8
	Kleinspannungskonzept .....	5 - 8
	Parallelschaltungskonzept .....	5 - 8
	Konzept mit höheren Spannungen .....	5 - 9
	Master-Slave-Konzept .....	5 - 9
5.2.2	Strangwechselrichter- und Teilgeneratorkonzept .....	5 - 10
	Teamkonzept .....	5 - 11
5.2.3	Multi-MPP-Reglerkonzept .....	5 - 12
5.2.4	Modulwechselrichterkonzept .....	5 - 12
5.2.5	Konzept mit modulatorientierten Gleichstromwandlern .....	5 - 14
5.2.6	Konzept mit Solarstromeigenverbrauch .....	5 - 15
5.3	<b>Installationsort des Wechselrichters</b> .....	5 - 21
5.4	<b>Wechselrichterdimensionierung</b> .....	5 - 22
5.4.1	Leistungsdimensionierung .....	5 - 22
5.4.2	Spannungsdimensionierung .....	5 - 24
	Maximale Modulanzahl in einem Strang .....	5 - 25
	Minimale Modulanzahl in einem Strang .....	5 - 25
5.4.3	Bestimmung der Anzahl der Stränge .....	5 - 27
5.4.4	Arbeitsbereich des Wechselrichters .....	5 - 27
5.4.5	Auslegungsoptimierung für Wechselrichter .....	5 - 29
5.4.6	Anpassung des Wechselrichters an das Netz .....	5 - 32
	Dynamische Netzstützung .....	5 - 35
5.4.7	Prüfen des Isolationswiderstandes des PV-Generators .....	5 - 36
5.4.8	Dimensionierung mittels Computerprogrammen .....	5 - 37
5.5	<b>Auslegung der Leitungen und der Schutzelemente gegen Überlast</b> .....	5 - 38
	Spannungsfestigkeit .....	5 - 39
	Strombelastbarkeit .....	5 - 39
	Einsatz und Auslegung von Strangsicherungen bzw. Sicherungsautomaten .....	5 - 41
	Minimierung der Leitungsverluste .....	5 - 43
5.5.1	Dimensionierung der Modul- bzw. Strangleitung .....	5 - 44
5.5.2	Dimensionierung der Gleichstromhauptleitung .....	5 - 46
5.5.3	Dimensionierung der Wechselstromanschlussleitung .....	5 - 47
5.6	<b>Auswahl und Dimensionierung des Generatoranschlusskastens und des DC-Hauptschalters</b> .....	5 - 48
5.7	<b>Blitzschutz, Erdung und Überspannungsschutz</b> .....	5 - 50
5.7.1	Direkter Blitzschlag und Blitzeinschlagsrisiko .....	5 - 52
5.7.2	Äußerer Blitzschutz .....	5 - 54
5.7.3	Indirekte Blitzeinwirkungen und innerer Blitzschutz .....	5 - 54
5.7.4	Blitz- und Überspannungsschutz bei Gebäuden ohne Blitzschutzanlage .....	5 - 57
5.7.5	Blitz- und Überspannungsschutz bei Gebäuden mit Blitzschutzanlage .....	5 - 58
5.7.6	Erdung und Potenzialausgleich .....	5 - 64
5.7.7	Erdung und Blitzschutz bei Freiflächenanlagen .....	5 - 65



<b>5.8</b>	<b>Brandschutz</b> .....	<b>5 - 66</b>
5.8.1	Brandschutzanforderungen der Bauordnung.....	5 - 66
5.8.2	Anforderungen für die Brandbekämpfung.....	5 - 67
5.8.3	Weitere Anforderungen für den Brandschutz.....	5 - 69
<b>5.9</b>	<b>AC-Schutztechnik und Netzanschluss</b> .....	<b>5 - 71</b>
5.9.1	Auswahl und Dimensionierung der AC-seitigen Schutztechnik	5 - 71
5.9.2	Dimensionierung der Netzanschlussleitung .....	5 - 73
5.9.3	Festlegung und Auslegung des Netzanschlusspunktes .....	5 - 74
5.9.4	Auswahl von Netz- und Anlagenschutzeinrichtungen (NA-Schutz) und Kuppelschalter .....	5 - 78
5.9.5	Zählerplätze für PV-Anlagen .....	5 - 80
5.9.6	Durchleitung .....	5 - 81
<b>5.10</b>	<b>Angebotserstellung und Kalkulation</b> .....	<b>5 - 82</b>
5.10.1	Kostenermittlung .....	5 - 82
5.10.2	Zeitaufwand und Bauzeiten .....	5 - 84
5.10.3	Angebotserstellung und Leistungsverzeichnis .....	5 - 86
<b>5.11</b>	<b>Ertragsprognose</b> .....	<b>5 - 86</b>
<b>5.12</b>	<b>Vorschriften und Richtlinien</b> .....	<b>5 - 89</b>
5.12.1	Baurechtliche Belange .....	5 - 89
	Baugenehmigungspflicht und das Baugenehmigungsverfahren	5 - 90
	Bauplanungsrecht .....	5 - 91
	Bauordnungsrecht .....	5 - 92
	Denkmalschutzrecht .....	5 - 92
	Bauprodukte und Bauarten .....	5 - 93
	Technische Regeln für Bauarten mit Glas .....	5 - 97
	Brandschutz .....	5 - 100
	Wärmeschutz, Schallschutz .....	5 - 102
	Zusammenfassung .....	5 - 102
5.12.2	Elektrotechnische Normen .....	5 - 103
	VDE-Bestimmungen und DIN-Normen .....	5 - 103
	Internationale Normen .....	5 - 103
5.12.3	Technische Richtlinien und Bedingungen zum Netzanschluss .....	5 - 104
5.12.4	Sonstige Richtlinien und Regeln .....	5 - 105
	Qualitätskriterien .....	5 - 105
	Berufsgenossenschaftliches Vorschriften- und Regelwerk .....	5 - 106
	Standardleistungsbuch für das Bauwesen (STLB-Bau) .....	5 - 106
	Richtlinien des Verbandes der Sachversicherer (VdS).....	5 - 106
	Übersicht .....	5 - 106



## 6 Planung und Auslegung von Inselanlagen

<b>6.1 Einführung</b> .....	<b>6 - 3</b>
Exkurs: Direktkopplung PV-Generator, Akku und Verbraucher .....	<b>6 - 4</b>
<b>6.2 Erfassung des Stromverbrauchs</b> .....	<b>6 - 6</b>
<b>6.3 Dimensionierung des PV-Generators</b> .....	<b>6 - 7</b>
6.3.1 Berechnungsmodell für den Ertrag eines PV-Generators.....	<b>6 - 7</b>
6.3.2 Berücksichtigung von Leitungs-, Umwandlungs- und Anpassungsverlusten .....	<b>6 - 11</b>
6.3.3 Zusammenfassung des Auslegungsergebnisses .....	<b>6 - 12</b>
6.3.4 Kurzfassung des Rechengangs für die Auslegung des PV-Generators am Beispiel des kleinen Ferienhauses .....	<b>6 - 14</b>
<b>6.4 Dimensionierung der Leitungsquerschnitte</b> .....	<b>6 - 15</b>
<b>6.5 Auslegung des Akkus</b> .....	<b>6 - 17</b>
<b>6.6 Einsatz eines Wechselrichters</b> .....	<b>6 - 19</b>
<b>6.7 Auslegung von Inselanlagen mit Hilfe von DGS-Inselkalkulation</b>	<b>6 - 21</b>
Beispiel 1: Kleines Ferienhaus .....	<b>6 - 22</b>
Beispiel 2: Almhütte im Hochgebirge .....	<b>6 - 23</b>
Beispiel 3: Wohnwagen .....	<b>6 - 24</b>
Beispiel 4: Solar Home System .....	<b>6 - 25</b>
<b>6.8 Hybridsysteme</b> .....	<b>6 - 26</b>
<b>6.9 Photovoltaik in dezentralen Stromnetzen</b> .....	<b>6 - 27</b>
6.9.1 DC-Kopplung .....	<b>6 - 28</b>
6.9.2 AC-Kopplung .....	<b>6 - 29</b>
<b>6.10 Photovoltaisch betriebene Wasserpumpensysteme</b> .....	<b>6 - 31</b>

# 8 Montagesysteme und Gebäudeintegration

<b>8.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>8 - 5</b>
<b>8.2</b>	<b>Kleine Dachkunde</b> .....	<b>8 - 6</b>
8.2.1	Aufgaben des Daches .....	8 - 6
8.2.2	Dachformen.....	8 - 6
8.2.3	Dachkonstruktionen .....	8 - 7
8.2.4	Dachhaut .....	8 - 9
8.2.5	Schrägdach .....	8 - 12
8.2.6	Flachdach.....	8 - 13
<b>8.3</b>	<b>Standsicherheit und Statik</b> .....	<b>8 - 15</b>
8.3.1	Lasteinwirkungen.....	8 - 15
	Schneehäufungen.....	8 - 23
8.3.2	Standsicherheits- und Tragsicherheitsnachweis .....	8 - 25
8.3.3	Systemstatik.....	8 - 25
8.3.4	Korrosion.....	8 - 26
<b>8.4</b>	<b>Montagesysteme für Schräge Dächer</b> .....	<b>8 - 27</b>
8.4.1	Aufdachsysteme (additiv) .....	8 - 27
	Dachbefestigung.....	8 - 28
	Schienensystem .....	8 - 33
	Modulbefestigung .....	8 - 36
	Aufdachmontagesysteme für Schrägdächer.....	8 - 40
8.4.2	Indachsysteme .....	8 - 41
	Indachsysteme für Standardmodule .....	8 - 42
	Solardachelemente .....	8 - 44
	Kombinierte Systeme für Photovoltaik und Solarthermie .....	8 - 45
<b>8.5</b>	<b>Montagesysteme für flache Dächer</b> .....	<b>8 - 46</b>
8.5.1	Aufdachsysteme.....	8 - 46
	Dachbefestigung.....	8 - 46
	Aufständigung.....	8 - 51
	Modulbefestigung .....	8 - 54
8.5.2	Indachsysteme .....	8 - 55
<b>8.6</b>	<b>Kleine Fassadenkunde</b> .....	<b>8 - 56</b>
8.6.1	Außenwandkonstruktionen.....	8 - 56
8.6.2	Fassadentypen .....	8 - 58
8.6.3	Fassadenkonstruktionen und Bauweisen.....	8 - 60
8.6.4	Befestigungen .....	8 - 64
8.6.5	Fugen, Fugenabdichtung .....	8 - 65
<b>8.7</b>	<b>Fassaden</b> .....	<b>8 - 66</b>
8.7.1	Vor der Fassade.....	8 - 67
8.7.2	In der Fassade.....	8 - 68
	Modulbefestigung .....	8 - 68
<b>8.8</b>	<b>Glasdächer</b> .....	<b>8 - 80</b>
<b>8.9</b>	<b>Sonnenschutzeinrichtungen</b> .....	<b>8 - 86</b>
8.9.1	Modulbefestigung .....	8 - 87
8.9.2	Fest stehender (starrer) Sonnenschutz.....	8 - 88
8.9.3	Beweglicher Sonnenschutz .....	8 - 90



<b>8.10</b>	<b>Montagesysteme für Freiflächenanlagen</b> .....	<b>8 - 93</b>
8.10.1	Gründung.....	8 - 93
8.10.2	Gestellssysteme .....	8 - 95
8.10.3	Carports.....	8 - 96
<b>8.11</b>	<b>Nachführsysteme</b> .....	<b>8 - 97</b>
8.11.1	Gründung.....	8 - 97
8.11.2	Material.....	8 - 97
8.11.3	Nachführvarianten.....	8 - 97
8.11.4	Steuerung.....	8 - 99
8.11.5	Antrieb.....	8 - 101
8.11.6	Mehrertrag .....	8 - 101
8.11.7	Wirtschaftliche Aspekte.....	8 - 102

## 9 Installation, Inbetriebnahme und Betrieb von PV-Anlagen

9.1	<b>Einleitung</b> .....	9 - 3
	Einige allgemeine Grundsätze zur Montage und Installation von PV-Anlagen .....	9 - 3
9.2	<b>Allgemeine Installationshinweise</b> .....	9 - 4
	Hinweise zur DC-Installation .....	9 - 4
	Exkurs: Aluminiumleitungen.....	9 - 5
	Hinweise zur Modulmontage.....	9 - 6
	Hinweise zur Modulverschaltung .....	9 - 7
	Hinweise zur Leitungsverlegung.....	9 - 7
9.3	<b>Sicherheitsbestimmungen bei Arbeiten auf dem Dach</b> .....	9 - 8
	Persönliche Schutzausrüstung .....	9 - 12
	Arbeitsgeräte .....	9 - 13
9.4	<b>Beispielinstallation einer netzgekoppelten PV-Anlage</b> .....	9 - 14
9.4.1	Vorbereitung .....	9 - 14
9.4.2	Anlageninstallation Schritt für Schritt .....	9 - 15
9.5	<b>Einspeisevertrag und Meldung bei der Bundesnetzagentur</b> .....	9 - 22
9.6	<b>Inbetriebnahme und Abnahme</b> .....	9 - 22
	Messung mit Kurzschließen des Generators (nach IEC 62446) ...	9 - 24
	Messungen ohne Kurzschluss (Alternatives Verfahren laut DGS)..	9 - 25
	Inbetriebnahme nach EGG .....	9 - 25
	Abnahme.....	9 - 26
9.7	<b>Inbetriebsetzung (Netzinbetriebnahme)</b> .....	9 - 26
9.8	<b>Gewährleistung</b> .....	9 - 27
9.9	<b>Störungen, typische Fehler und Wartung bei PV-Anlagen</b> .....	9 - 28
	Wartung .....	9 - 34
9.10	<b>Fehlersuche</b> .....	9 - 35
	Messgeräte zur Fehlersuche.....	9 - 37
9.11	<b>Brandschutzkennzeichnung und -dokumentation</b> .....	9 - 44
9.12	<b>Betriebsdatenüberwachung und Präsentation</b> .....	9 - 45
	Internetbasierte Anlagenauswertung.....	9 - 48
	Exkurs: Webbasierte Datenübertragung und -auswertung.....	9 - 49
	Genauigkeit und Datenfehler .....	9 - 51
	Präsentation und Visualisierung.....	9 - 51
9.13	<b>Betriebsergebnisse von netzgekoppelten PV-Anlagen</b> .....	9 - 52
9.14	<b>Langzeiterfahrungen und Qualität</b> .....	9 - 55
9.14.1	Langzeitverhalten von PV-Modulen.....	9 - 55
9.14.2	Qualität und Zuverlässigkeit von Wechselrichtern .....	9 - 59
9.15	<b>Steuerrechtliche Fragen in Zusammenhang mit netzgekoppelten PV-Anlagen</b> .....	9 - 60
	Checkliste – das ist zu tun:.....	9 - 68
9.16	<b>Versicherungen für Solarstromanlagen</b> .....	9 - 68
9.16.1	Haftpflichtversicherung für Fremdschäden .....	9 - 68
9.16.2	Schäden an der PV-Anlage.....	9 - 69
9.16.3	„Vollkasko“ für Solarkraftwerke .....	9 - 69

# 10 Markt, Wirtschaftlichkeit und Ökologie

10.1	<b>Der Markt</b> .....	10 - 3
	Exkurs: Inselanlagen (Off-Grid-Systeme) .....	10 - 7
	Prognosen der PV-Industrie bis 2020.....	10 - 8
10.2	<b>Kosten- und Preisentwicklung</b> .....	10 - 9
10.3	<b>Technische Tendenzen</b> .....	10 - 11
10.4	<b>Die energiewirtschaftliche Situation und PV-Ausbauszenarien für Deutschland</b> .....	10 - 13
10.5	<b>Finanzierung</b> .....	10 - 16
10.5.1	Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).....	10 - 16
	Das EEG 2012 bzw. die 5. Novelle des EEG .....	10 - 18
	Gebäudegebundene Anlagen .....	10 - 19
	Freiflächenanlagen .....	10 - 19
	Leistungsbegrenzung, Inbetriebnahmebegriff und Vergütung Eigenverbrauch, Lieferung an Dritte und Marktintegrationsmodell.....	10 - 20
	Der volkswirtschaftliche Nutzen.....	10 - 23
10.5.2	Förderprogramme.....	10 - 23
10.6	<b>Betriebswirtschaftliche Bewertung</b> .....	10 - 23
10.6.1	Stromgestehungskosten.....	10 - 23
10.6.2	Rentabilität.....	10 - 25
10.7	<b>Ökologische Bewertung</b> .....	10 - 28
10.7.1	Energiebilanz .....	10 - 28
10.7.2	NF <sub>3</sub> und SF <sub>6</sub> – Reinigungsgase für Si-Dünnschichtzellen und deren Treibhauspotenzial .....	10 - 30
10.7.3	Recycling.....	10 - 31
	Schadstoffe im Produktionsprozess.....	10 - 31
	Exkurs: Cd-Emissionen während der Lebenszeit von PV-Systemen und konventionellen Stromwandlungssystemen (LCA, Life Cycle Analysis).....	10 - 32
	Sammel- und Recyclingkonzepte für Module .....	10 - 33
10.7.4	Elektromog und Lärm .....	10 - 36