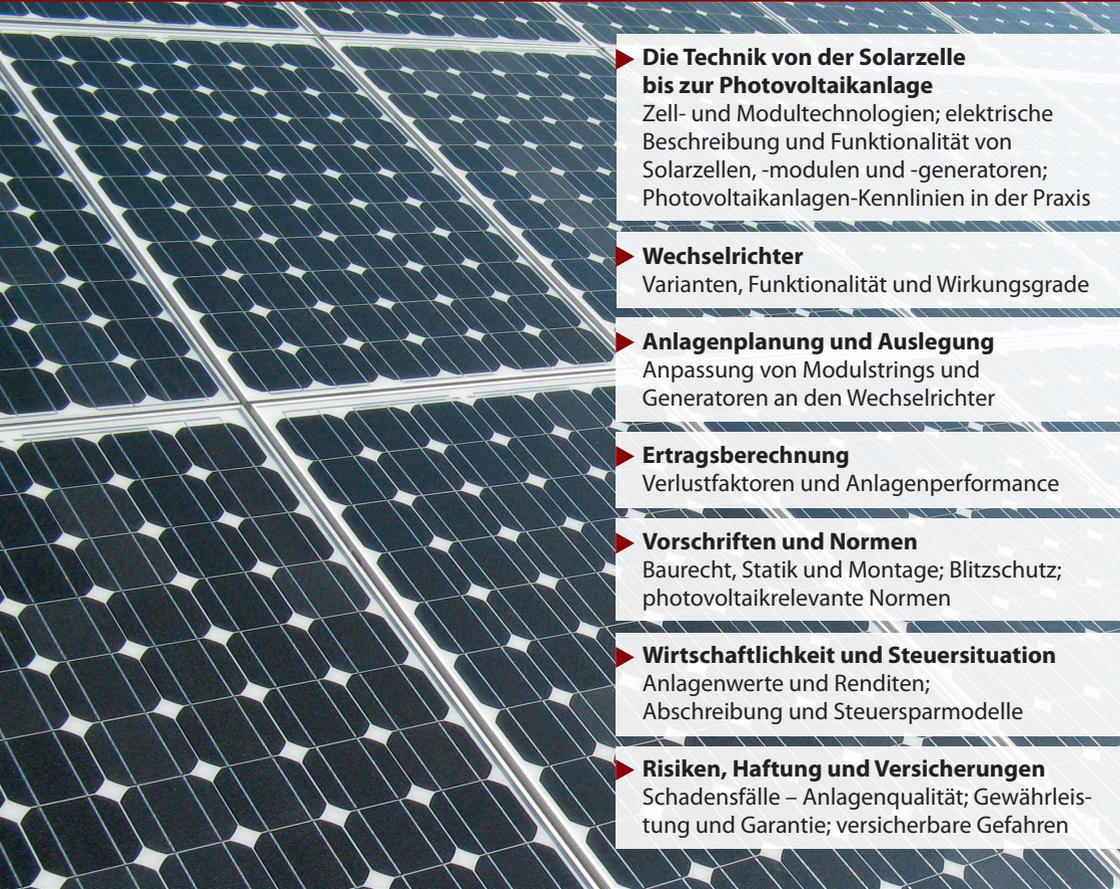


Was Sie über Photovoltaikanlagen wissen sollten

Für Einsteiger und Profis

Neu u. a.:

Technik und Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern, typische technische Mängel und Tipps für Investoren, aktuelle Steuersituation und Steuersparmodelle

- 
- ▶ **Die Technik von der Solarzelle bis zur Photovoltaikanlage**
Zell- und Modultechnologien; elektrische Beschreibung und Funktionalität von Solarzellen, -modulen und -generatoren; Photovoltaikanlagen-Kennlinien in der Praxis
 - ▶ **Wechselrichter**
Varianten, Funktionalität und Wirkungsgrade
 - ▶ **Anlagenplanung und Auslegung**
Anpassung von Modulstrings und Generatoren an den Wechselrichter
 - ▶ **Ertragsberechnung**
Verlustfaktoren und Anlagenperformance
 - ▶ **Vorschriften und Normen**
Baurecht, Statik und Montage; Blitzschutz; photovoltaikrelevante Normen
 - ▶ **Wirtschaftlichkeit und Steuersituation**
Anlagenwerte und Renditen; Abschreibung und Steuersparmodelle
 - ▶ **Risiken, Haftung und Versicherungen**
Schadensfälle – Anlagenqualität; Gewährleistung und Garantie; versicherbare Gefahren

Zu meiner Person:

2004 beendete ich meine Tätigkeit als Projektleiter in einer Telekommunikationsgesellschaft und startete als freiberuflicher Selbstständiger in der Solarbranche.

Bis 2008 plante und verkaufte ich kleinere Photovoltaikanlagen und organisierte Beteiligungsanlagen. Alle meine Anlagen wurden von mir selbst mithilfe eines Monteurs montiert.

In der Folge betätigte ich mich zunehmend auch als Referent von Fachseminaren und veranstaltete viele Grundlagen- und Spezialseminare in Dachau. Als freiberuflicher Autor für Fachzeitschriften entstand im Jahr 2009 die Idee, mein Wissen in einem eigenen Fachbuch zusammenzufassen und meine Expertise auch als Privatgutachter anzubieten.

Seit meiner öffentlichen Bestellung und Vereidigung als Sachverständiger im Bestellgebiet der photovoltaischen Anlagentechnik im Jahr 2013 erstatte ich vornehmlich gerichtliche Gutachten, werde als Schiedsgutachter beauftragt und in Schiedsgerichte berufen.



Autor des Kapitels 12 „Steuer sparen mit Photovoltaik“ ist **Peter Schemm**. Peter Schemm ist Steuerberater und Fachberater für Internationales Steuerrecht – SCHEMM STADLER PARTNER München www.steuerberater1.de. Peter Schemm ist seit vielen Jahren auf das Steuerthema Photovoltaik spezialisiert.

Danken möchte ich allen Menschen, die mir mit Verbesserungsvorschlägen geholfen haben, insbesondere meinem Freund Robert Vielhuber für das Korrekturlesen und die vielen wertvollen Tipps und Ratschläge, Martin Jesau für die Unterstützung bei der Layouterstellung und der arbeitsintensiven Umsetzung auf das neue Buchformat und Maximilian Dittmers für das fachliche Lektorat des Kapitels 12.

Ich erinnere an meinen verstorbenen Kunden Raimar Rech, der 2011 seine Anlage für die Messungen (Kapitel 4.5.4) zu Verfügung gestellt hatte und mir bei den im Buch beschriebenen Messungen half.



Inhaltsverzeichnis

1	Komponenten und Varianten von Photovoltaikanlagen	14
1.1	Komponenten netzgekoppelter Photovoltaikdachanlagen	14
1.2	Netzkopplung mit Eigenversorgung und Batteriespeicher	15
1.2.1	Netzkopplung mit Eigenversorgung	15
1.2.2	Netzkopplung mit Eigenversorgung und Batteriespeicher	15
1.2.3	Vorteile von Photovoltaikanlagen mit Batteriespeichern	16
1.2.4	Eigenversorgung und Autarkie	17
1.2.5	Batteriespeicheranbindung	18
1.2.6	Batteriesteuerungen	18
1.2.7	Batterietypen	18
1.2.8	Wirtschaftlichkeit netzgekoppelte PV-Anlage ohne Batterie	19
1.2.9	Wirtschaftlichkeit netzgekoppelte PV-Anlage mit Batterie	20
1.2.10	Wirtschaftlichkeit eines Batteriespeichers	21
1.3	Messstellen-Zählerkonfigurationen	22
1.3.1	PV-Anlage mit Wärmepumpe und Batteriespeicher	22
1.3.2	2 PV-Anlagen mit Batteriespeicher	23
1.3.3	Zwei PV-Anlagen mit Wärmepumpe und Batteriespeicher	24
1.4	Heizen mit Wärmepumpen und PV-Anlagen	25
1.4.1	Prinzip	25
1.4.2	Energiefluss	25
2	Photoeffekt – Funktionsweise von Solarzellen	26
2.1	Entdeckung	26
2.2	Umwandlung von Wärmestrahlung in elektrische Energie	26
2.3	Entstehung von Spannung und freien Ladungsträgern	27
3	Modul- und Zelltechnologien	30
3.1	Technologieüberblick	30
3.2	Kristalline Siliziummodule auf Waferbasis	31
3.3	Dünnschichtzellen und -module	32
3.3.1	Funktionsweise	32
3.3.2	Aufbau	34
3.3.3	Herstellungsverfahren	34
3.4	Verschaltungsvarianten bei Dünnschicht- und Waferzellen	35
3.4.1	Elektrische Werte von Modulspannung und Strom	35
3.4.2	Monolithisch verschaltetes Dünnschichtmodul	35
3.4.3	Leitfähig gefüllte Löcher als Verschaltung	36
3.4.4	Dünnschichtzellen verschaltet wie kristalline Zellen	37
3.5	Markteingeführte Dünnschichttechnologien	38

3.5.1	Cl[G]S – Kupfer (Cu), Indium (In), [Gallium (Ga)] und Selen (Se)	38
3.5.2	CdTe (Cadmium[Cd]-Tellurid[Te])	38
3.5.3	Amorphes Silizium, mikrokristallines Silizium	39
3.6	Hybridzellen, Tandemzellen.....	39
3.7	Organische Photovoltaik	39
3.8	Vergleich: Dickschichtmodule – Dünnenschichtmodule.....	39
4	Elektrisches Verhalten von Solarzellen	42
4.1	Elektrische Größen und Parameter.....	42
4.1.1	Modulnennleistung, Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung.....	42
4.1.2	Temperaturkoeffizienten für Leerlaufspannung – Kurzschlussstrom	43
4.1.3	Füllfaktor.....	44
4.1.4	Nominal Operating Cell Temperature	44
4.1.5	Modulleistung, Modulstrom und Spannung als abhängige Größe	45
4.1.6	Beispiel: Angaben eines Moduldatenblatts	46
4.1.7	Kennlinienfeld einer Zelle	48
4.1.8	Solarzellen-Ersatzschaltbild.....	50
4.2	Elektrische Betriebszustände eines Moduls/einer Solarzelle	52
4.2.1	Aktiver und passiver Betriebszustand.....	52
4.2.2	Funktion der Bypassdiode	54
4.2.3	Falsch gepoltes Modul.....	55
4.3	Verschaltung von Solarzellen zu Photovoltaikgeneratoren	56
4.3.1	Modulspannung und Strom.....	57
4.3.2	Serienschaltung von Solarzellen im Ersatzschaltbild.....	57
4.4	Verschaltung der Module zu einem Generator	59
4.4.1	Serienschaltung.....	59
4.4.2	Parallelverschaltung	60
4.4.3	Vergleich: Serienschaltung und Parallelverschaltung	60
4.4.4	Auswirkung von Modultoleranzen auf die Generatorleistung.....	61
4.4.5	Auswirkung von Modultoleranzen auf die Generatorleistung.....	63
4.4.6	Verschattungen – Serienschaltung mit Bypassdiode – Kennlinien ..	65
4.4.7	Serienschaltung mit Bypassdiode im Ersatzschaltbild.....	67
4.5	Messprotokolle aus der Praxis.....	69
4.5.1	Unverschattetes Modul PMPP = 160 +/- 3 %	69
4.5.2	Umrechnung auf STC-Werte	70
4.5.3	Diagonale Modulverschattung, Zellenverschattung	71
4.5.4	Generator unverschattet.....	73
4.5.5	Generator mit mittlerer Verschattung.....	76
4.5.6	Generator mit stärkerer Verschattung – mehrere MPP-Punkte	78
4.5.7	Messung einer Generatorpeakleistung unter realen Bedingungen	80
5	Wechselrichter.....	84
5.1	Aufgaben und Varianten	84



5.1.1	Aufgaben des Wechselrichters	84
5.1.2	Wechselrichtervarianten	86
5.2	Wechselrichterkenntgrößen für die Anlagenauslegung	88
5.3	Wirkungsgrade.....	90
5.3.1	Statischer Anpassungswirkungsgrad (static MPPT efficiency).....	92
5.3.2	Messung des statischen Anpassungswirkungsgrades	93
5.3.3	Beispiele statischer Anpassungswirkungsgrad	95
5.3.4	Gewichteter statischer Anpassungswirkungsgrad.....	97
5.3.5	Dynamischer Anpassungswirkungsgrad – Einschaltverhalten	99
5.3.6	Statischer Umwandlungswirkungsgrad	101
5.3.7	Messung des statischen Umwandlungswirkungsgrades	102
5.3.8	Beispiele statischer Umwandlungswirkungsgrad	104
5.3.9	Gewichteter statischer Umwandlungswirkungsgrad.....	106
5.3.10	Beispiele gewichteter statischer Umwandlungswirkungsgrad	107
5.3.11	Totaler Wirkungsgrad – Gesamtwirkungsgrad	107
5.3.12	Berechnung des statischen Gesamtwirkungsgrades	108
5.3.13	Europäischer Umwandlungswirkungsgrad	111
5.3.14	Fazit und Zusammenfassung.....	112
5.3.15	Typische Werte für Wirkungsgrade handelsüblicher Wechselrichter .	112
5.4	Angaben auf dem Datenblatt eines Wechselrichters.....	113
5.5	Wechselrichter im Vergleich	115
6	Anlagenauslegung – Anlagenplanung	118
6.1	Elektrische Kenn- und Ausgangsgrößen	118
6.1.1	Ausgangsgrößen von Generator und Strings.....	118
6.1.2	Ausgangsgrößen des Moduls	118
6.1.3	Ausgangsgrößen des Wechselrichters	118
6.2	Anpassung: Wechselrichter – Photovoltaikgenerator.....	119
6.2.1	Generator und Wechselrichterleistung.....	119
6.2.2	Stringspannungen und Wechselrichter	120
6.3	Rechenbeispiel	121
6.3.1	Modul Schott Poly TM 170.....	121
6.3.2	Wechselrichter Sunways NT 6000	121
6.3.3	Ausgangsgrößen des Generators	121
6.3.4	Berechnung.....	121
6.4	Zusammenfassung	122
6.4.1	Grafische Darstellung des Beispiels	122
6.4.2	Anmerkungen zur Anlagenauslegung.....	122
7	Baurecht, Konstruktion (Statik und Montage)	124
7.1	Baugenehmigung	124
7.2	Bauaufsichtliche Genehmigung.....	125
7.3	Anlagenauslegung, Unterkonstruktionen	126

7.3.1	Lastverteilung und Statik eines ebenen Aufdachsystems.....	127
7.3.2	Schneelastzonen und Windlastzonen nach DIN 1055 Teil 4/Teil 5	129
7.3.3	Varianten von Unterkonstruktionen	131
7.3.4	Montage.....	133
7.3.5	Häufige Fehler bei Planung und Montage	133
8	Blitz-, Überspannungsschutz und Potenzialausgleich	136
8.1	Vorbemerkung.....	136
8.2	Äußerer und innerer Blitzschutz	136
8.3	Überspannungsschutz	137
8.4	Potenzialausgleich.....	137
8.4.1	Schutzpotenzialausgleich	137
8.4.2	Funktionspotenzialausgleich.....	137
8.4.3	Blitzschutzpotenzialausgleich	137
8.5	Zusammenfassung: Schutzmaßnahmen	138
8.6	Maßnahmenübersicht – normative Einordnung	139
8.6.1	Blitzschutz-Potenzialausgleich nach DIN EN 62305.....	140
8.6.2	Potenzialausgleich nach DIN VDE 0100-712 (Stand Juni 2006)	140
8.7	Innerer Blitzschutz, Schutz vor Überspannung.....	141
8.8	Potenzialausgleich.....	141
8.8.1	Blitzschutz-Potenzialausgleich nach DIN EN 62305-3	141
8.8.2	Potenzialausgleich nach DIN VDE 0100-712 (Stand Juni 2016)	142
9	Wichtige Normen und Vorschriften.....	144
9.1	Vorbemerkung.....	144
9.2	Normen zu photovoltaischen Anlagen	145
9.3	VDE 0100 Reihe.....	146
9.3.1	DIN VDE 0100-400, DIN VDE 0100-520, VDE 0100-540, VDE 0140.	146
9.3.2	DIN VDE 0100 – Teil 712 (Betriebsstätte PV-Anlage)	146
9.3.3	Übergabe an das Stromnetz (früher TAE- Bedingungen).....	146
9.4	Spezifische Normen für Wechselrichter	147
9.4.1	EN 50524 Datenblatt- und Typenschildangaben	147
9.4.2	EN 50530 Wechselrichterwirkungsgrade.....	147
9.4.3	EN 61727 Eigenschaften der Netzschnittstelle.....	147
9.5	Spezifische Normen (Module, Solarzellen, Steckverbinder)	148
9.5.1	EN IEC 61215:.....	148
9.5.2	Dünnschichtmodule	149
9.5.3	EN IEC 62108 Ed. 1.0	149
9.5.4	DIN EN 50513 (VDE 0126-18): Solarscheiben – Datenblattangaben.	150
9.5.5	DIN EN 50380: Datenblatt und Typenschildangaben Module.....	150
9.5.6	DIN EN 50521;VDE 0126-3:2009-10:.....	150
9.6	Spezifische Normen für Dokumentation	151
9.6.1	DIN EN 50513: Datenblattangaben für kristalline Siliziumscheiben....	151



9.6.2	DIN VDE 62446 Juli 2010 (VDE 0126-23)	151
9.7	Bautechnische Normen – gebäudeintegrierte Photovoltaik	153
9.7.1	Bauproduktenrichtlinie (BPR), Bauproduktenverordnung (BauPVO) .	153
9.7.2	Landesbauverordnungen	153
9.7.3	Normentwurf DIN VDE 0126-21 – gebäudeintegrierte Photovoltaik...	153
9.7.4	DIN 4102, Teil 1 bis Teil 16, Brandverhalten von Baustoffen	154
9.7.5	Dachdeckerfachregeln und dazugehörige Merkblätter und Hinweise	154
9.7.6	VDI 6012 – Befestigung von Solarmodulen auf Gebäuden	156
9.7.7	DIN EN 1991-1-1, DIN EN 1991-1-3 (früher DIN 1055)	156
9.8	Normen für Messungen und Prüfungen	157
9.8.1	DIN EN 60904-1 (VDE 0126-4-1): Messen von U-I-Kennlinien	157
9.8.2	DIN EN 60904-1-1 (VDE 0126-4-1-1): Mehrschichtsolarzellen	157
9.8.3	DIN EN 60904-1-2 (VDE 0126-4-1-2): Doppelseitige Einrichtungen..	157
9.8.4	DIN EN 60904-3 bis DIN EN 60904-5 u. a. Strahlungsverteilung	157
9.8.5	DIN EN 60904-7 (VDE 0126-4-7): Spektrale Fehlanpassung	157
9.8.6	DIN EN 60904-8 bis DIN EN 60904-13 u. a. Elektrolumineszenz	157
9.8.7	DIN EN 60891 (VDE 0126-6:2010-10)	157
9.9	Sicherheitsrelevante Normen	158
9.9.1	DIN EN 61730-1 (VDE 0126-30-1) Photovoltaikmodule – Aufbau	158
9.9.2	DIN EN 61730-1 Sicherheitsqualifikation – Teil 1 (Aufbau)	159
9.9.3	DIN EN 61730-2 Sicherheitsqualifikation – Teil 2 (Prüfung)	159
9.9.4	DIN EN 60529 (VDE 0470)	159
9.9.5	DIN 62305-1, -2, -3, -4 mit Beiblättern (Blitzschutznormen)	160
9.9.6	DIN EN 62305-3 Beiblatt 5, Blitzschutz für PV-Anlagen	160
10	Energieeinstrahlung – Ertragsberechnung	162
10.1	Allgemeine technische Vorbemerkung	162
10.2	Elektrische Arbeit und Energie	162
10.3	Energiestrahlungsdichte	164
10.3.1	Grundlagen	164
10.3.2	Energiestrahlungsdichte auf ebenen und geneigten Flächen	166
10.3.3	Dacheffizienzen in Mitteleuropa (51°N, 7°O, Region Köln)	167
10.3.4	Energieeinstrahlungsdichte in Deutschland	169
10.4	Wirkungsgrad und Performance Ratio	171
10.4.1	Vorbemerkung	171
10.4.2	Peakleistung (PMPP_STC) und Modulwirkungsgrad STC: η_{stc}	171
10.4.3	Berechnung des Energieertrags mit dem Jahres-Performance-Ratio	172
10.4.4	Leistungsverluste in Theorie und Praxis	174
10.4.5	Matchverluste – Mismatch (Flaschenhalseffekt)	179
10.4.6	Verschattungen	182
10.4.7	Temperaturverluste/Einstrahlungsverluste	184
10.4.8	Verschmutzung	186
10.4.9	Schnee	188



10.4.10	Spektrale Empfindlichkeit	190
10.4.11	Zusammenfassung sonstige Verluste – Einflüsse (η sonst)	191
10.4.12	Zusammenfassung der typischen Verlustwerte	193
10.4.13	Gesamtsystemverluste	194
10.5	Ertragsberechnung.....	195
10.5.1	Vorbemerkung	195
10.5.2	Zahlenbeispiel 1: Abschätzung von Anlagenerträgen.....	195
10.5.3	Zahlenbeispiel 2: Ertragsberechnung einer netzgekoppelten Anlage	197
10.5.4	Reale Anlagenerträge in Mitteleuropa	198
11	Wertermittlung von PV-Anlagen.....	200
11.1	Vorbemerkungen zur Wertermittlung und PV-Anlagen	200
11.2	Technische Grundlagen	200
11.3	Verschiedene Arten der Wertermittlung.....	201
11.3.1	Ertragswert oder Kapitalwert	201
11.3.2	Verkehrswert oder Marktwert.....	201
11.3.3	Substanzwert.....	202
11.3.4	Versicherungswert – Neuwert – Zeitwert.....	202
11.4	Kapitalwertermittlung	203
11.4.1	Grundprinzip	203
11.4.2	Berechnung mit der Kapitalwertformel.....	203
11.4.3	Kapitalisierungszins.....	204
11.4.4	Bewertungs- und Qualitätsstichtag	204
11.4.5	Laufzeitende und Restwert	204
11.5	Einnahmen von Photovoltaikanlagen.....	205
11.5.1	Erzielte energetische und finanzielle Erträge.....	205
11.5.2	Besondere Anlagensituationen.....	205
11.5.3	Einnahmen durch Eigenverbrauch	205
11.5.4	Entwicklung der Einnahmen – Stromproduktion	205
11.5.5	Einnahmen und die steuerliche Situation.....	205
11.6	Betriebskosten photovoltaischer Anlagen	206
11.6.1	Betriebskostenarten.....	206
11.6.2	Prognose zukünftiger Betriebskosten	206
11.6.3	Ermittlung besonderer Betriebskosten.....	207
11.6.4	Reparatur und Instandhaltungskosten	207
11.6.5	Pacht	207
11.6.6	Verwaltung und kaufmännische Geschäftsführung	207
11.6.7	Büromiete	207
11.6.8	Ertrags- Anlagenüberwachung, Wachschatz.....	207
11.6.9	Jahresabschlusskosten/Buchhaltung	207
11.6.10	Energie-/Betriebsmittelkosten.....	207
11.6.11	Versicherungen	207



11.7	Der Kapitalwert – ein Rechenbeispiel.....	208
11.7.1	Bewertungsstichtage und Einnahmen.....	208
11.7.2	Betriebskosten	208
11.7.3	Berechnung des Kapitalwertes	208
11.7.4	Zusammenfassung der Auswertung	210
12	Steuern sparen mit Photovoltaik	212
12.1	Einführung.....	212
12.2	Optimierung Abfindungsbesteuerung (sog. Fünftelregelung) .	213
12.3	Steuern sparen durch Einkommensverlagerungen	217
12.3.1	Durch IAB-Bildung und Inanspruchnahme der Sonder-AfA	217
12.3.2	Einkommensverlagerung durch umsatzsteuerliche Gestaltungen	218
12.4	Steuern sparen bei der Erbschaft-/Schenkungssteuer	218
12.4.1	Maximale Vermögensübertragung, Einbeziehung aller Freibeträge ..	218
12.4.2	Übertragung ohne Einbeziehung des persönlichen Freibetrags	220
12.5	Steuern sparen durch Generationensplitting mit Photovoltaik	221
12.6	Weiterführende Gestaltungsmöglichkeiten unter Eheleuten....	222
12.6.1	Doppelte IAB-Bildung durch PV-Verkauf/Kauf unter Ehegatten.....	222
12.6.2	Verdreifachung betriebsbezogene IAB-Obergrenze bei Ehegatten ...	223
12.7	Steuerersparnis im Vergleich mit Investition in Immobilien	224
12.8	Einkommensoptimierungen bei Baukindergeld, Elterngeld	226
12.9	Flucht in Sachwerte durch Anschaffung von PV-Anlagen.....	227
12.10	Ausblick.....	228
13	Risiken und Haftung	230
13.1	Risiken und Gewährleistungs-/Garantiezeiten	230
14	Versicherung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen	232
14.1	Üblicherweise vorhandene private Versicherungen	233
14.2	Allgemeine Bedingungen einer Elektronikversicherung.....	233
14.2.1	Versicherte Schäden und Gefahren	233
14.2.2	Ausschlüsse, nicht versicherte Schäden.....	234
14.2.3	Entschädigungsberechnung.....	234
14.2.4	Gefahrenerhöhung.....	235
14.3	Fazit.....	235
14.4	Zusatzbausteine, sonstige Versicherungen	236
14.4.1	Ertragsausfall, versicherter Nutzungsausfall	236
14.5	Betreiberhaftpflichtversicherung	236
14.6	Montageversicherung	237
14.7	Gewährleistung BGB § 437 Rechte des Käufers bei Mängeln ..	237
14.8	Herstellergarantie	238



14.9 Technische Mängel und Schäden in der Praxis	240
14.9.1 Typische Versicherungsfälle	240
14.9.2 Mechanische Schäden an Modulen	242
14.9.3 Veränderungen im Bereich der Zelloberflächen	246
14.9.4 Beschädigungen der Dachhaut, Marderverbiss, Moduldose	251
14.9.5 Verkabelung	254
14.9.6 Potenzialinduzierte Degradation	256
15 Der Photovoltaikmarkt	260
15.1 Vertriebsstrukturen – Hersteller und Lieferanten.....	260
15.2 Entwicklung der Preise	262
15.3 Qualität des Angebots erkennen.....	263
15.3.1 Checkliste Angebotsbewertung	263
16 Schlusswort und Zukunftsperspektive	266
17 Anhang.....	268
17.1 Größen, Einheiten und Konstanten	268
17.1.1 Solarzellen, Module und Generatoren	268
17.1.2 Wechselrichter – elektrische Kenngrößen	270
17.1.3 Ertragsberechnung	271
17.1.4 Leitungsverluste	272
17.2 Batterien	273
17.3 Formeln	274
17.4 Abbildungen	276
17.5 Index	280
17.6 Literatur und Quellen	285

1.3.2 2 PV-Anlagen mit Batteriespeicher

Die Abbildung 1-9 zeigt eine Anordnung mit zwei Photovoltaikanlagen unterschiedlicher Inbetriebnahmejahre mit Batteriespeicher. Die Photovoltaikanlagen beziehen unterschiedliche EEG- Tarife. Der Netzbezug der Wärmepumpe wird über eine Kaskade ermittelt und könnte damit über einen gesonderten Tarif abgerechnet werden. Der jeweilige gesamte Energiefluss des Batteriespeichers (Ladung/Entladung) und der Wärmepumpe wird über die Stromzähler der Geräte ermittelt.

Zählersummen: Einspeisung = **Z1E** (Anzeige Einspeisezähler)

Netzbezug = **Z1N** (Anzeige Bezugszähler)

Gesamterzeugung = **EZ11 + EZ12**

gesamter Eigenverbrauch = Gesamterzeugung - Einspeisung

gesamter Eigenverbrauch = **EZ11 + EZ12 - Z1E**

Eigenverbrauchsanteil = PV1E = **EZ11 - EZ13**

Eigenverbrauchsanteil = PV2E = **EZ12 - Z1E + EZ13**

Einspeisung PV1 = **EZ11 - PV1E = EZ11 - EZ11 + EZ13 = EZ13**

Einspeisung PV2 = **Z1E - PV1E = Z1E - EZ13**

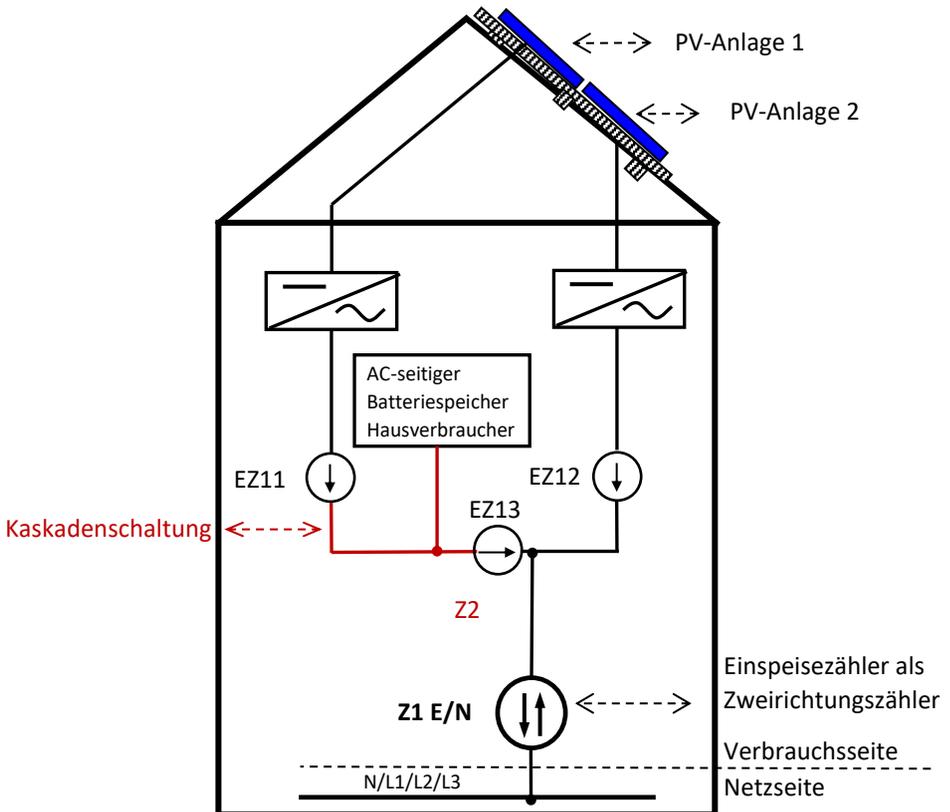


Abbildung 1-8 Zwei PV-Anlagen mit Batteriespeicher



1.4 Heizen mit Wärmepumpen und PV-Anlagen

1.4.1 Prinzip

Über einen thermodynamischen Kreislauf werden der Außenluft oder dem Grundwasser Energie bei niedrigen Temperaturen entzogen und dann in einen wärmeren Heizkreislauf abgegeben. Ein wesentliches Element dieses Kreislaufes ist ein Kompressor, der ein Gas komprimiert. Dieser Kompressor benötigt elektrische Energie. Moderne Wärmepumpen erreichen je nach Umgebungsbedingungen eine Arbeitszahl in der Größenordnung von 3. Das bedeutet, dass aus einer Kilowattstunde elektrischer Energie insgesamt 3 Kilowattstunden an Wärme erzeugt werden. Photovoltaikanlagen können einen Teil des Strombedarfs der Wärmepumpen decken. Intelligente Energiemanagementsysteme können dabei das Wechselspiel zwischen Strombedarf mit der Stromerzeugung weiter optimieren. Die Kombination einer Photovoltaikanlage und einer Wärmepumpe in Verbindung mit Batteriesystemen kann es ermöglichen, den Wärmebedarf von Häusern ohne Brennstoffe zu decken.

1.4.2 Energiefluss

Die Abbildung 1-10 zeigt die energetische Situation. Die elektrische Energie (rot) wird aus Solarstrahlung gewonnen und versorgt die Wärmepumpe. Diese gewinnt aus der Außenluft oder dem Grundwasser damit Energie für den Heizkreislauf (orange).

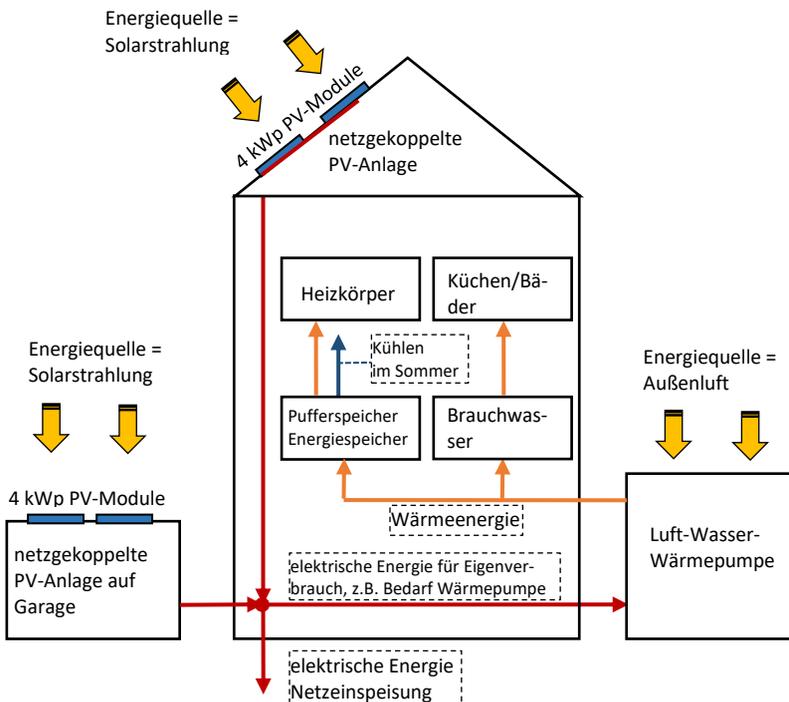


Abbildung 1-10 Energetische Situation Photovoltaik und Wärmepumpe



3 Modul- und Zelltechnologien

3.1 Technologieüberblick

Die Absorber von Solarzellen können auf der Basis von Silizium oder aus Legierungen anderer Substanzen bestehen. Die atomare Struktur des Absorbers kann dabei kristallin oder amorph sein. Ein Kristall ist ein homogener Körper, der aus einer dreidimensionalen und periodisch angeordneten Struktureinheit besteht. Man bezeichnet diesen als Einheitszelle und dessen Anordnung als Kristallgitter. Im Regelfall liegt ein kristalliner Festkörper als Polykristall und nicht als Monokristall vor, d. h., der Körper besteht aus vielen kleinen Kristallen, die durch Korngrenzen voneinander getrennt sind. Kristalline Siliziumsolarzellen werden unter anderem auf der Basis von mikro-, poly-, multi- und monokristallinem Silizium hergestellt. Bei poly-multikristallinen Zellen liegen die Kristallgrößen im Bereich von Mikrometern bis Zentimetern. Solarzellen aus Kristallen mit weniger als ein Mikrometer werden meist als Mikro-Nanokristallin bezeichnet. Solarzellen können in Dickschichtzellen (Solarzellen auf Waferbasis = Siliziumscheiben) und Dünnschichtzellen unterschieden werden. Der wesentliche Unterschied dabei ist die Schichtstärke des ganzen Absorbers und nicht die Kristallgröße! Polykristalline Solarzellen (Module) können z. B. auf Waferbasis, aber auch im Dünnschichtverfahren hergestellt werden.

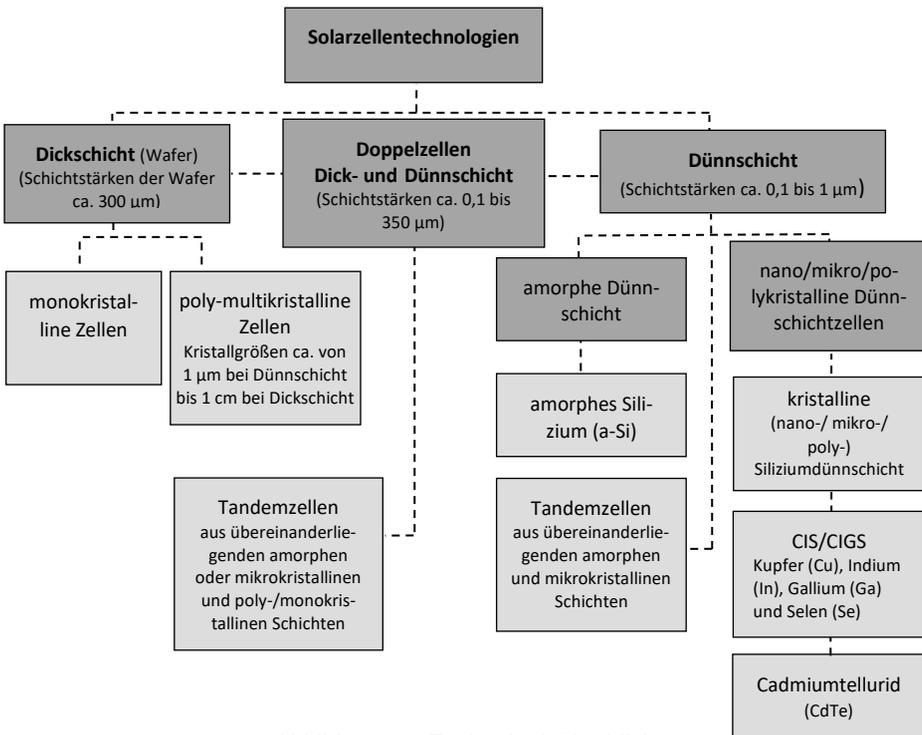


Abbildung 3-1 Technologieüberblick

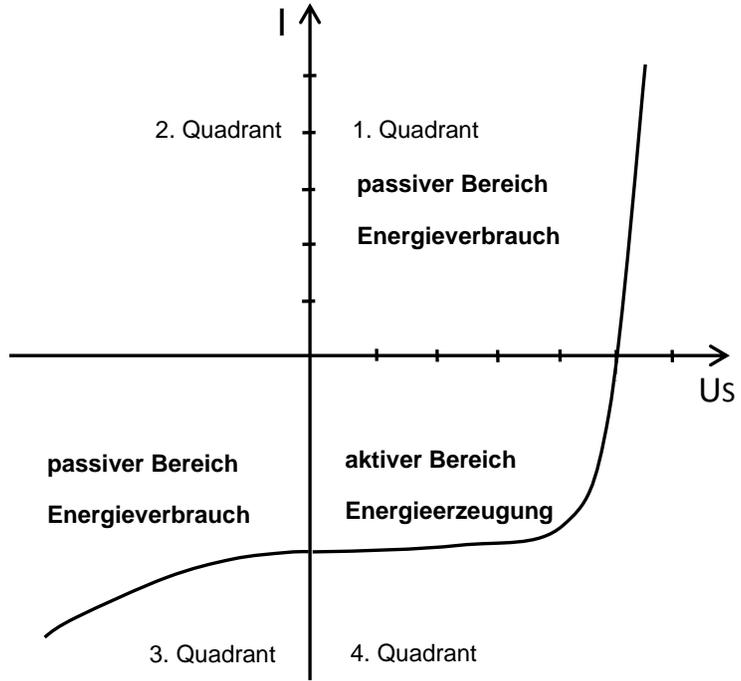


Abbildung 4-7 Kennlinienfeld einer Solarzelle

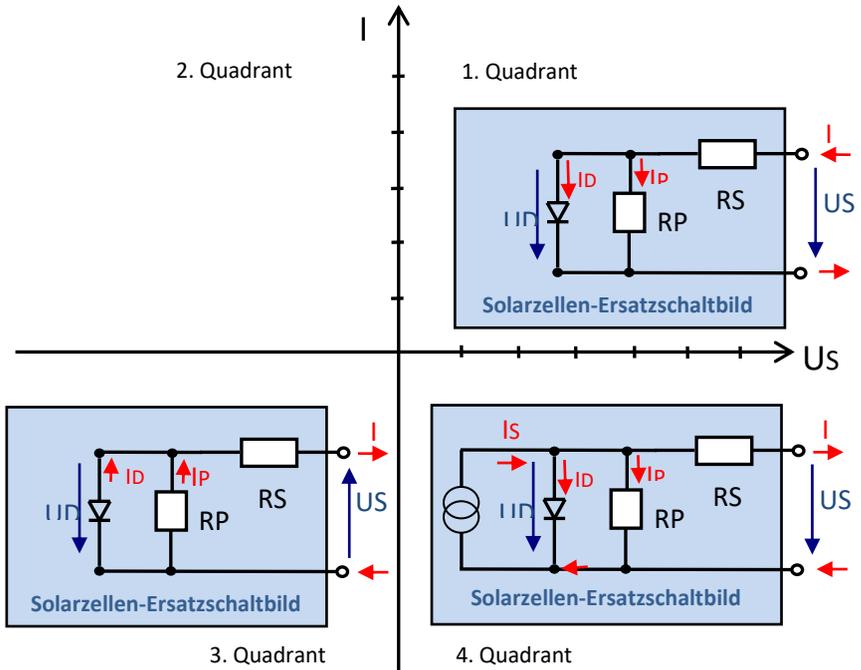


Abbildung 4-8 Ersatzschaltbild im Koordinatensystem



4.3 Verschaltung von Solarzellen zu Photovoltaikgeneratoren

Ein kristallines Solarstrommodul besteht aus einer Verschaltung von einzelnen kristallinen Siliziumzellen. Die Solarzellen werden dabei meistens hintereinander gereiht und in Serie verschaltet. Die elektrischen Eigenschaften und das Verhalten des Moduls sind dem der Zelle sehr ähnlich und unterscheiden sich im Wesentlichen nur in den Beträgen der elektrischen Größen. Von außen betrachtet ist ein Photovoltaikmodul eine „große“ Solarzelle mit einer entsprechend höheren Spannung. Im Folgenden werden die elektrischen Eigenschaften von Solarmodulen auf der Basis serienverschalteter Solarzellen erklärt. Die Abbildung zeigt die Serienverschaltung von kristallinen Siliziumzellen in einem Modul. Über Kontaktstreifen an der Ober- und Unterseite der einzelnen Zellen wird die Plusseite mit der Minusseite verbunden.

Jede Solarzelle lässt sich wiederum mit einem Ersatzschaltbild abbilden.

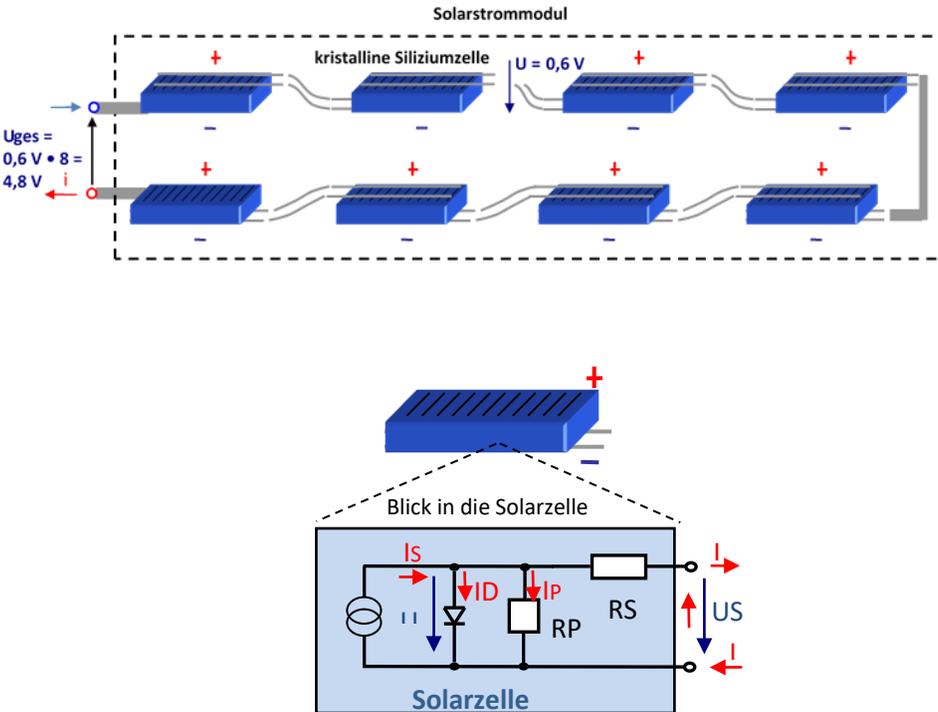


Abbildung 4-19 Zellen-Serienverschaltung

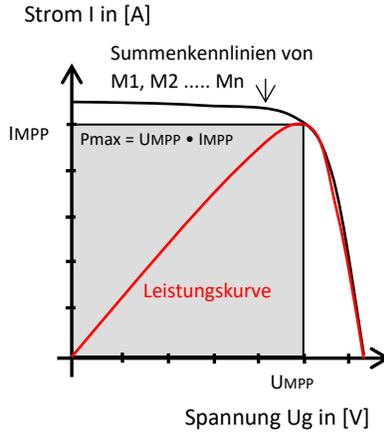


Abbildung 5-2 Kennliniensumme MPP-Punkt

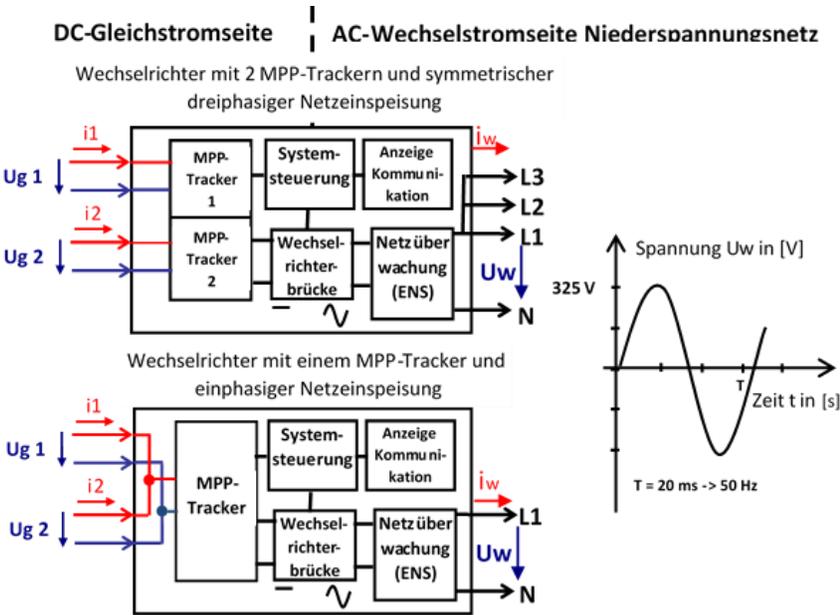


Abbildung 5-3 String- und Multistringkonverter

Neben diesen wesentlichen Funktionen erfüllt der Wechselrichter mithilfe einer Kommunikationseinheit noch einige andere Aufgaben, z. B. Schutzfunktionen wie Fehlerstromüberwachung, ENS-Funktionen (Freischaltung bei Netzabschaltung) und die Anzeige und Weitergabe von Betriebsdaten (Spannungswerte, Stromwerte, Einspeiseleistung und Energiebetrag usw.) über ein Display oder verschiedene LAN- und WAN-Schnittstellen.

7.3.3 Varianten von Unterkonstruktionen

Unterkonstruktionen für Solarmodule gibt es in verschiedensten Varianten für Aufdach- und Indach-Lösungen, Kreuzgeflechte bzw. Querprofile, montiert auf Längsprofile und umgekehrt. Jedes System bietet dabei im Einzelfall verschiedene Vor- und Nachteile.



Abbildung 7-6 Unterkonstruktionen

8.5 Zusammenfassung: Schutzmaßnahmen

Die Abbildung 8-1 zeigt schematisch die verschiedenen möglichen Schutzmaßnahmen wie äußerer/innerer Blitzschutz, Blitzschutz-Potenzialausgleich und Potenzialausgleich für eine Aufdachanlage. Die jeweiligen Schutzmaßnahmen sollten im Einzelfall unter Beachtung der jeweils gültigen Blitzschutznormen (Ziffer 8.6) geplant und ausgeführt werden.

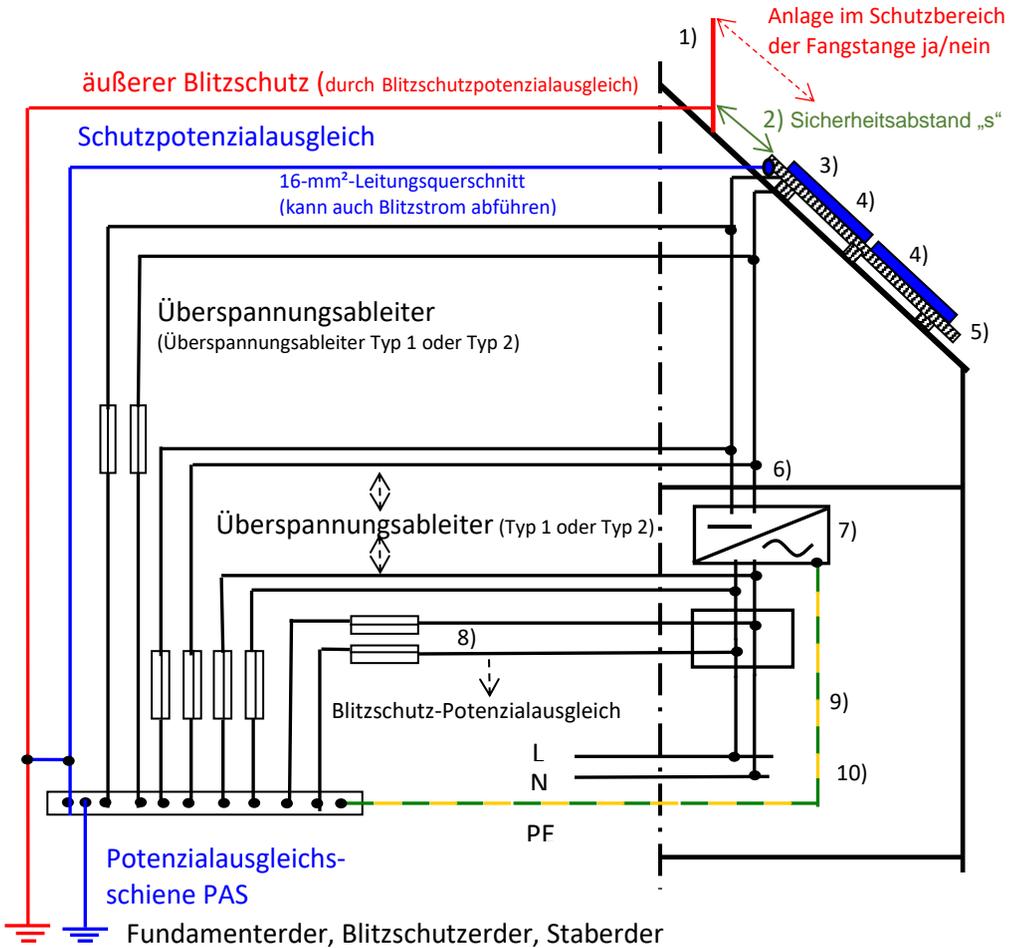


Abbildung 8-1 Blitzschutz

- 1) Fangstange, 2) Sicherheitsabstand/Trennabstand „s“ muss beachtet werden
- 3) Solarmodul, 4) Alle Solarmodule bilden zusammen den Solargenerator.
- 5) mechanische Unterkonstruktion
- 6) Elektrische Verbindungsleitungen und Zuleitungen sollten ausreichenden Abstand zu Blitzableitungssystemen haben!
- 7) Wechselrichter, 8) Überspannungsableiter in der Hauptverteilung als Blitzschutz-Potenzialausgleich, 9) Schutzleiter, 10) 230-V-Niederspannungsnetz



9 Wichtige Normen und Vorschriften

9.1 Vorbemerkung

Photovoltaikanlagen sind als elektrotechnische Anlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu planen und zu installieren. Welche technischen Regeln gelten, das wird unter anderem in den entsprechenden Vorschriften und Normen festgelegt. Diese Normen sind keine Gesetze, nach denen jemand verurteilt werden kann; sie werden jedoch rechtsverbindlich, wenn in Gesetzen oder Verordnungen auf sie verwiesen wird. Zu unterscheiden sind dabei deutsche und europäische Normen. Aufgrund der Vorreiterstellung Deutschlands in Bezug auf Photovoltaik und Normungen sind viele deutsche Normen europäisiert worden. Deutsche Normen besitzen die Kürzel „DIN“ (Deutsches Institut für Normen) oder „VDE“ (Verband der Elektrotechnik). Die Bezeichnung „IEC“ (Internationale Elektrotechnische Kommission) tragen internationale Normen. „EN“ kennzeichnet Normen der Europäischen Union.

Es war auch im Rahmen dieser Auflage leider *noch* nicht möglich, sämtliche Normungen, die Photovoltaikanlagen direkt oder indirekt tangieren (Ziffer 9.2), zu recherchieren. Auch ist es im Rahmen eines Fachbuchs, auch wenn es sehr aktuell gehalten wird, nicht möglich, jeweils aktuelle Fassungen zu berücksichtigen. Das Kapitel behandelt nur einen Auszug aus einigen Normen, die ein Installateur oder Planer kennen sollte. Die jeweils anzuwendenden Normen und Vorschriften müssen im Einzelfall gründlich recherchiert und die geltenden Fassungen in der jeweils aktuellen Version herangezogen werden.

Die folgende Abbildung versucht eine grobe Grundeinteilung darzustellen.

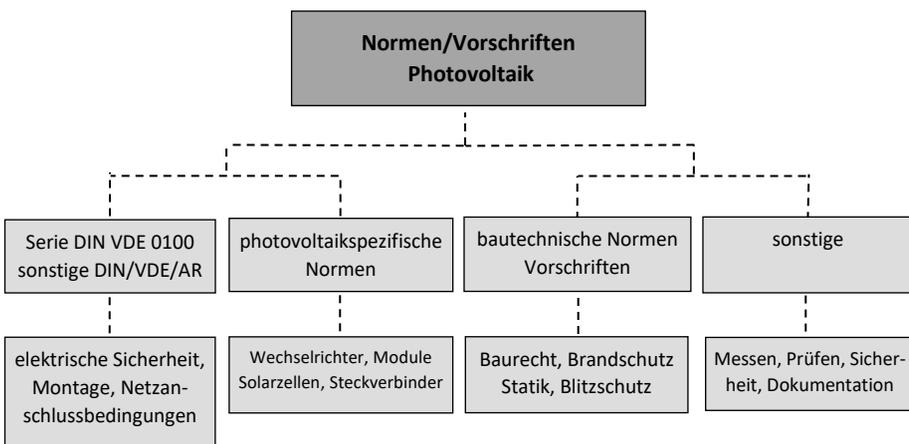


Abbildung 9-1 Übersicht Normen/Vorschriften Photovoltaik

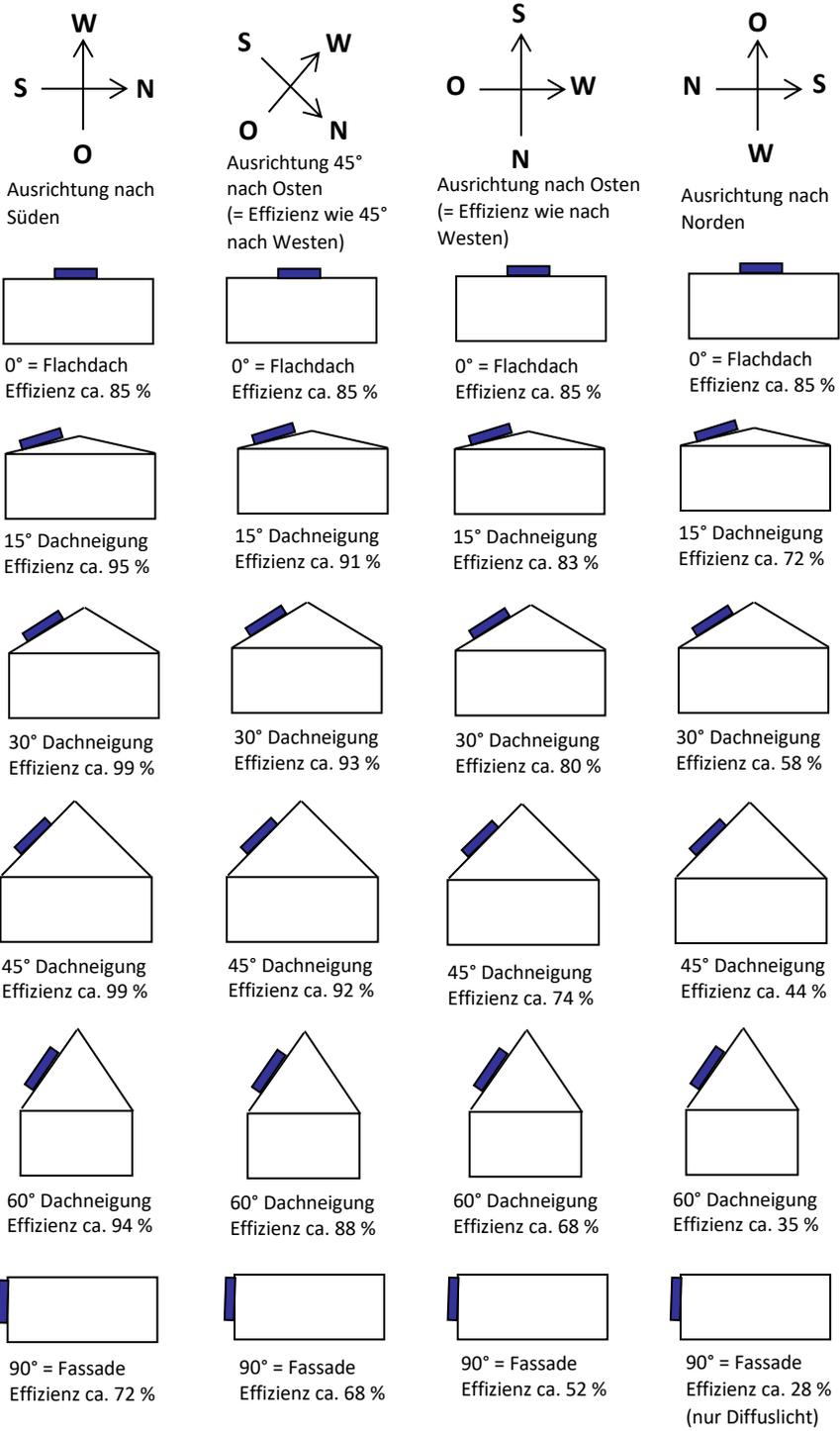


Abbildung 10-7 Dächer-Effizienzen

10.3.4 Energieeinstrahlungsdichte in Deutschland

Die exakten örtlichen Einstrahlwerte können aufgrund geografischer Unterschiede (Flusstäler, Städte, Gebirge, Bebauung der Umgebung usw.) abweichen. Im Einzelfall ist eine Einstrahlstatistik für die genaue örtliche Lage anzuwenden. Die European Commission (DG – Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability) stellt Einstrahlungswerte auf ihrer Internetseite PVGIS kostenlos zur Verfügung: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

Seit 2012 gibt es bei „PVGIS“ neben der älteren Datenbank „Classic“ auch die „Climate SAF“. Dort werden Messdaten aus verschiedenen Meteosatgenerationen und Zeitreihen Meteosat Typ 5-7 Zeitreihen 1998-2005, Meteosat MSG von 2006 bis 2010 zur Verfügung gestellt. Diese neuen Daten entsprechen sehr wahrscheinlich mehr der geänderten, klimawandelbedingten Realität.

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981 – 2000

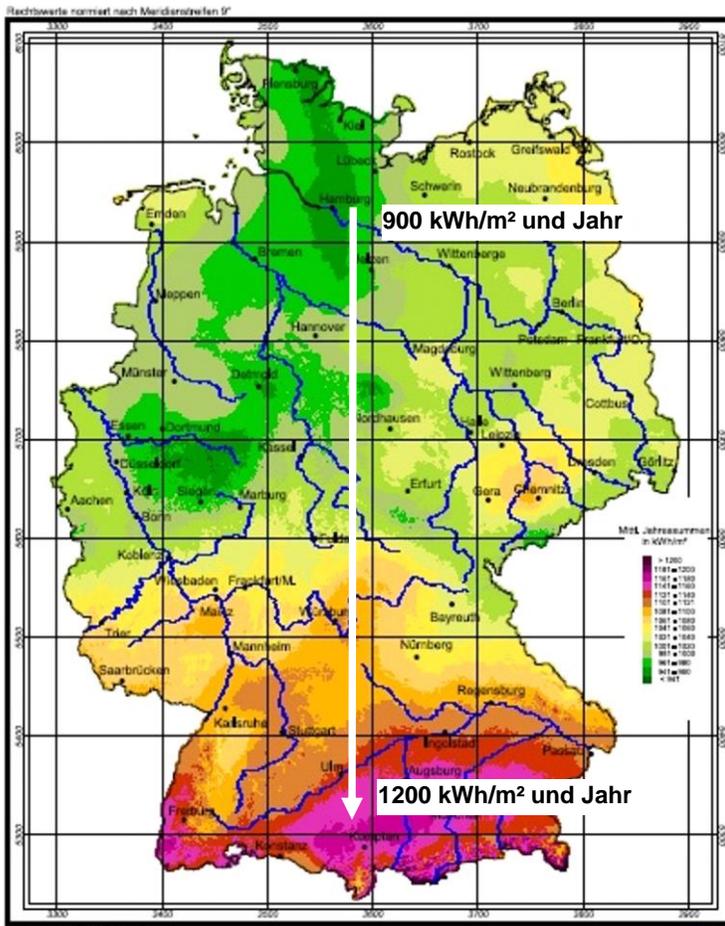


Abbildung 10-8 Globalstrahlung (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

11.4 Kapitalwertermittlung

11.4.1 Grundprinzip

Die im folgenden Beispiel durchgeführte Wertermittlung einer photovoltaischen Anlage orientiert sich am Nettoertrag der finanziellen Überschüsse, den die Anlage während ihrer Betriebszeit erzielt. Dieser meist periodisch ausgeschüttete, finanzielle Überschuss wird an den Betreiber ausgeschüttet.

Die Einspeisevergütung wird gemäß EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) für 20 Jahre zuzüglich des Inbetriebnahmejahrs gewährt.

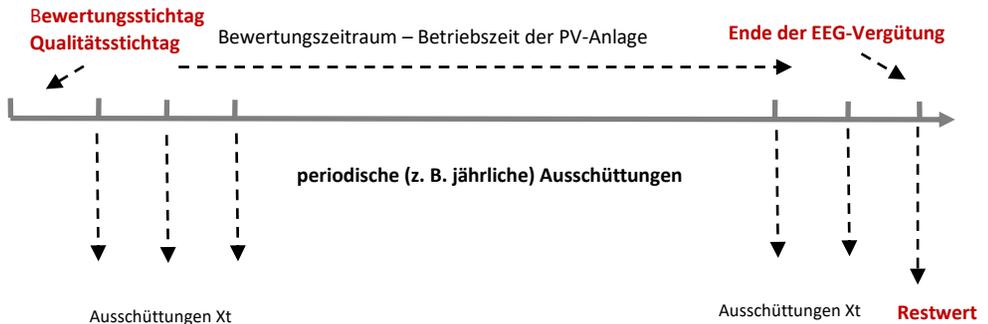


Abbildung 11-1 Prinzip der Wertermittlung

11.4.2 Berechnung mit der Kapitalwertformel

$$\text{Kapitalwert} = \sum_{t=1}^{t=T} \frac{X_t}{(1+i)^t}$$

Formel 11-1 Kapitalwertformel

Formel 11-1 zeigt formal die Berechnung des Kapitalwerts der Anlage. Dabei werden die finanziellen, jährlichen, Überschüsse (X_t) (freie Liquiditätsüberschüsse) mittels des Kapitalisierungszins⁶⁰ (i) für die Laufzeit (T) auf den Bewertungsstichtag diskontiert (abgezinst) und die ermittelten Barwerte zum Kapitalwert aufsummiert.

⁶⁰ Kapitalisierungszins oft auch Kapitalzins oder Kapitalisierungszinsfuß



12 Steuern sparen mit Photovoltaik⁶⁷

Autor dieses Kapitels ist Peter Schemm, Steuerberater und Fachberater für Internationales Steuerrecht – SCHEMM STADLER PARTNER München www.steuerberater1.de

12.1 Einführung

Bei einer Photovoltaikanlage (PV) handelt es sich unter steuerlichen Aspekten regelmäßig um ein bewegliches Wirtschaftsgut. Wird der erzeugte Strom ins öffentliche Netz eingespeist oder anderweitig verkauft, werden gewerbliche Einkünfte nach § 15 EStG erzielt. Sofern die Photovoltaikanlage im Inland betrieben wird, eröffnen sich nach § 7 g EStG erhebliche Steuervorteile durch Inanspruchnahme von Investitionsabzugsbeträgen (IAB) und Sonderabschreibungen (S-AfA), die verschiedene Steuergestaltungen ermöglichen.

Mit der Inanspruchnahme des IAB lässt sich zudem in entsprechend gelagerten Fällen oft ein Doppelleffekt erzielen und zwar dahingehend, dass neben der Steuerersparnis von 42 % zzgl. Soli und KiSt (sofern letztere anfallen) zusätzliche Förderungen wie z. B. das Baukindergeld, Elterngeld usw. generiert werden können, wenn die Einkommensgrenzen ohne Berücksichtigung von IAB überschritten und mit Berücksichtigung von IAB unterschritten werden.

In vielen Fällen lassen sich Photovoltaikanlagen ab einem Einkommen von 100.000 EUR allein durch die Steuerersparnis und den aufgrund des Erneuerbare-Energien-Gesetzes festgeschriebenen Stromertrag finanzieren, also ganz ohne eigenen Eigenkapitaleinsatz. De facto wird also die ersparte Steuer in eigenes Vermögen in Form einer stromerzeugenden Photovoltaikanlage umgewandelt.

Des Weiteren ist die Vermögensübertragung einer Photovoltaikanlage an die nächste Generation steuerlich erheblich günstiger als die Übertragung von Geldvermögen oder Immobilienvermögen.

Große Photovoltaikfreiflächenanlagen auf sogenannten Konversionsflächen beispielsweise an Autobahnen, Eisenbahnstrecken und im Militärgelände und Photovoltaikdachanlagen auf größeren Gebäuden (Fabriken, Reitställen, Gewerbebauten usw.) werden von einigen Solarbauträgerfirmen in viele Teilanlagen unterschiedlicher Größe parzelliert, können damit einzeln in fast beliebiger Größenordnung erworben werden und ermöglichen damit die an die jeweilige persönliche Einkommenssituation angepasste Steueroptimierung.

⁶⁷ Rechtsstand 20.12.2021

13 Risiken und Haftung

13.1 Risiken und Gewährleistungs-/Garantiezeiten

Die Risiken für die Betreiber und Fremdkapitalgeber einer Solarstromanlage sind vielschichtig und können existenzielle Dimensionen annehmen. Menschliches Versagen, äußere Einflüsse und Alterungsprozesse können im Extremfall zum Totalversagen der Anlage und damit zum Komplettausfall der Betriebseinnahmen führen. Zu den Risiken des Betreibers gehören auch Schäden an den Sachen Dritter wie z. B. an der Dachhaut und dem Stromnetz, die aufgrund von Funktionsstörungen der Photovoltaikanlage entstehen können.

Risiken wie Ertragsausfälle aufgrund von Störungen des Netzes des Energieversorgers, Finanzierungsrisiken und rechtliche Mängel werden an dieser Stelle nicht betrachtet, da diese in der Praxis bei dem Betrieb von Photovoltaikanlagen insbesondere in Deutschland eine eher untergeordnete Rolle spielen. Vorgänge, die zu Betriebsstörungen oder Folgeschäden an der Anlage oder Sachen Dritter führen können, lassen sich in fünf ursächliche Gruppen einteilen (Abbildung 13-1).

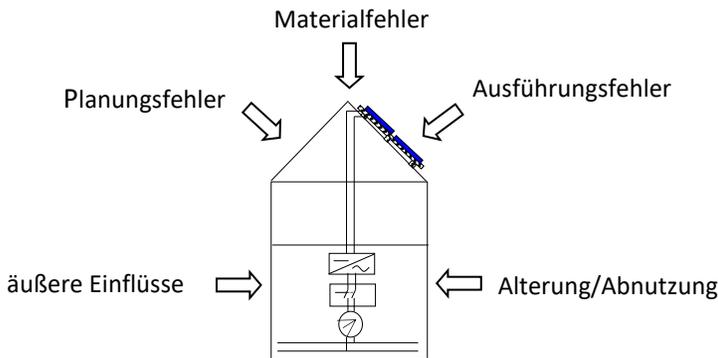


Abbildung 13-1 Risiken

Planungs-, Material- und Ausführungsfehler führen oft zu technischen Sachmängeln und können innerhalb der jeweiligen Gewährleistungsfristen eingeklagt werden.

Äußere Einflüsse, also Einwirkungen von außen, die zu Schäden führen, gehören zu den Ursachen, deren finanzielle Auswirkungen gut versicherbar sind (Abbildung 13-2).

Alterung und Abnutzung sind aus der Sicht des Anlagenbetreibers die unangenehmsten Schadensursachen, denn diese sind weder durch die Gewährleistung abgesichert noch durch eine Versicherung abzudecken. Schäden durch Alterung



Abbildung 14-7 Glasbruch – vermutlich durch Überhitzung



Abbildung 14-8 Überhitzte Zellen von unten



Abbildung 14-9 Verschmortes EVA



14.9.6 Potenzialinduzierte Degradation

Module/Solarzellen unterliegen oft einer Degradation.⁶⁹ Im Gegensatz zur z. B. altersbedingten oder lichtinduzierten Degradation ist bei der spannungsinduzierten Degradation das elektrische Potenzial – die elektrische Spannung – die treibende Kraft des Effekts. Die Voraussetzungen für die Anfälligkeit bestimmter Degradationsmechanismen liegen vorrangig an der Materialzusammensetzung und dem spezifischen Aufbau des Moduls.

Verschiedene Untersuchungen in den letzten Jahren haben gezeigt, dass für das Auftreten einer spannungsinduzierten Degradation eine entsprechende Empfindlichkeit der Module für diese Degradation vorliegen muss. Diese Empfindlichkeit beruht auf bestimmten material- und bautechnischen Eigenschaften des Moduls. Neben diesen Voraussetzungen entsteht PID – insbesondere in seiner Größenordnung – u. a. aufgrund der vorherrschenden Wetterbedingungen (Luftfeuchtigkeit) und der Größe und Polarität des Potenzials/Spannung (negative Spannung) der Module gegen über Erde.

Der genaue physikalische Mechanismus für das Auftreten von PID ist offensichtlich noch nicht vollständig verstanden. Vieles deutet darauf hin, dass ein Transport von Ladungsträgern (positiv geladene Ionen) aus der Verglasung über die Kunststoffverkapselung oder vornehmlich über die Modulränder und deren Aluminiumrahmen auf die Oberfläche der Solarzellen eine entscheidende Rolle spielt. Diese Ladungsträger (möglicherweise Natriumionen aus dem Glas) sammeln sich an der Zelloberfläche und beeinträchtigen durch deren elektrisches Feld die Funktion der Solarzelle. Eine Voraussetzung für die Ionenemission und deren Transport sind u. a. die Modulverglasung (z. B. Kalknatronglas als Emittent der Natriumionen), der Isolationswiderstand des Kunststoffs des Verkapselungsmaterials (z. B. EVA, Silikone) und schließlich das Zelldesign der Solarzelle (PN-Übergang der Solarzelle). Das bedeutet, dass die Art der Baustoffe und das Zelldesign des Moduls die Voraussetzungen für eine PID-Anfälligkeit bilden.

Inwieweit die Anfälligkeit zu PID im realen Betrieb zum Tragen kommt, hängt vom Systemdesign der PV-Anlage ab.⁷⁰ Entsteht aufgrund der Verschaltung der Module und des Wechselrichterdesigns ein negatives Potenzial des Moduls gegen Erde, entsteht die beschriebene Ladungsträgersystematik und es kommt zu einem reversiblen⁷¹ Leistungsabfall.

Das Verhalten von PID-anfälligen und PID-resistenten Modulen unter verschiedenen Betriebs- und Beanspruchungsszenarien im Labor und im freien Feld wurden im Rahmen eines Ringversuchs nationaler und internationaler Testlabore

⁶⁹ Verschlechterung der Funktion und damit Leistung der Solarzelle/des Solarmoduls

⁷⁰ [OPIDPI] Kapitel Systemebene

⁷¹ Reversible bedeutet, dass sich die Module regenerieren können z.B. durch positive Spannungen oder Lagerung.



15.3 Qualität des Angebots erkennen

Ein Patentrezept für die Auswahl der richtigen Systemtechnik und des richtigen Installateurs gibt es leider definitiv nicht. Mit etwas Vorwissen kann allerdings zumindest die Wahrscheinlichkeit, einen geeigneten Installateur mit entsprechender qualitativer Systemtechnik zu finden, deutlich erhöht werden. Tendenziell ist ein auf Photovoltaik spezialisiertes Fachgeschäft in der näheren Umgebung mit guten Fachkenntnissen von Vorteil, denn Betriebe, die lediglich das schnelle Geschäft „mitnehmen“ wollen, können schlechte Partner sein und fallen sehr oft durch Inkompetenz auf. Die folgende Checkliste ist nur ein grober Auszug an Punkten, die unbedingt beachtet werden sollten. Die Hinzuziehung eines fachkundigen Beraters ist anzuraten; das kann sehr viel Geld und Ärger ersparen.

15.3.1 Checkliste Angebotsbewertung

Die folgenden Fragen an ein Angebot sind nur ein kleiner Auszug:

- ☞ Ist das Angebot vollständig (Lieferung, Montage, Gerüst, Netzanschluss, Fernüberwachung, Blitz-/Überspannungsschutz, Erdung)?
- ☞ Ist das Angebot verbindlich? Meist sind die Angebote unverbindlich („So lange der Vorrat reicht“...)
- ☞ Gelten Festpreise, sind die Aufwandspositionen realistisch kalkuliert (bei Aufwandspositionen drohen oft Mehrkosten bei der Abrechnung)?
- ☞ Sind die Zahlungsbedingungen akzeptabel? 100 % Vorkasse sollte z. B. keinesfalls akzeptiert werden.
- ☞ Steht ein voraussichtlicher, besser ein verbindlicher Liefertermin im Angebot?
- ☞ Liegt eine nachvollziehbare Ertragsberechnung vor (inkl. Inflation und Anlagendegradation)?
- ☞ Existiert eine nachvollziehbare Rendite-/Liquiditätsprognose und kann der Verkäufer diese erklären?
- ☞ Passt der Batterietyp zu der Batteriesteuerung und dem Wechselrichter?
- ☞ Wird die Batteriesteuerung entsprechend den Anforderungen des Haushaltes eingestellt (Notstromfunktion)?
- ☞ Kann der Verkäufer Fragen zur Technik nachvollziehbar beantworten?
- ☞ Liegt ein Verschaltungsplan der angebotenen Anlage bei?