

Inhalt

Teil 1 – Grundlagen

1. Geschichte der Photovoltaik	10
2. Markt	15
2.1 Internationale Marktentwicklung	15
2.2 Entwicklung in der Schweiz	18
2.3 Solarstrom vermarkten	18
3. Wirtschaftlichkeit	21
3.1 Kapital- und Betriebskosten	21
3.2 Barwert, Kapitalwert und Annuität	24
3.3 Geldflussplan	24
3.4 Berechnung der Stromgestehungskosten (LCOE) und der Rendite	27
4. Politische Rahmenbedingungen und Förderung	31
4.1 Energiestrategie 2050	31
4.2 Marktdesign und Förderungen für Photovoltaik	32
4.3 Eigenverbrauch und Zusammenschluss zum Eigenverbrauch	36
5. Raumplanung und Bauvorschriften	41
5.1 Denkmalschutz	44
5.2 Reflexion und Blendung	45
5.3 Gesetze, Normen und Richtlinien	50
5.4 Steuern	52
6. Ökologie und Nachhaltigkeit	53
6.1 Ökobilanz	53
6.2 Energiebilanz	54
6.3 Schadstoffbilanz und Umweltbelastungspunkte	55
6.4 Rohstoffbedarf	56
6.5 Elektromagnetische Verträglichkeit	58
7. Architektur	61
7.1 Architektonische Dos and Don'ts	61
7.2 Stufen der Integration	62
7.3 Die Vielfaltigkeit von PV-Modulen	64
7.4 Photovoltaik im städtischen Umfeld	65
7.5 Lösungsansätze und Beispiele	67
8. Sonnenenergie	77
8.1 Energiequelle Sonne	79
8.2 Die scheinbare Sonnenbahn	80
8.3 Strahlung der Sonne	80
8.4 Einfluss der Bewölkung	86
8.5 Air Mass und Albedo	87
8.6 Einstrahlung auf die geneigte Ebene	88
8.7 Verschattung und Horizont	90

Teil 2 – Komponenten

9. Strom aus Sonnenlicht	95
9.1 Physikalische Grundlagen	95
9.2 Photoelektrischer Effekt	96
9.3 Typen von Solarzellen	101
9.4 Herstellung von kristallinen Solarzellen	102
9.5 Zelloptimierung	104
9.6 Dünnschichttechnik	109
9.7 Organische Solarzellen, Farbstoffzellen und Perowskite	111
10. PV-Module	113
10.1 Herstellungsprozess	113
10.2 Solarglas	117
10.3 Modulanschlussdose und Bypassdiode	121
10.4 Bauformen von PV-Modulen	123
10.5 Sonderanwendungen	128
10.6 Farbige PV-Module	130
10.7 Elektrische Verschaltung von Zellen und Modulen	130
10.8 Elektrische Eigenschaften	132
10.9 Teilverschattung bei Modulen mit kristallinen Siliziumzellen	138
10.10 Teilverschattung bei Dünnschichtmodulen	143
10.11 Degradation	143
10.12 Prüfung und Qualifikation von PV-Modulen	146
11. Wechselrichter für den Netzparallelbetrieb	147
11.1 Bausteine und Funktionen von Wechselrichtern	147
11.2 Typen von Wechselrichtern	151
11.3 Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung	158
11.4 Wirkungsgrad	160
11.5 Kenndaten von Wechselrichtern	161
11.6 Überwachungs- und Schutzfunktionen	161
11.7 Netzanschluss: Regelung, Immunität, Schutz, Netzurückwirkungen	163
11.8 Elektromagnetische Verträglichkeit und Oberwellen	164
12. Batteriesysteme, Batteriewechselrichter und Laderegler	165
12.1 Grundlagen und Definitionen	165
12.2 Zelltechnologie	168
12.3 Systemtopologien	175
12.4 Backup und Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	177
12.5 Inselsysteme	177

13. DC-Installation	181	20. Auslegen und Dimensionieren der DC-Verkabelung	233
13.1 Generatoranschlusskasten	181	20.1 Einsatz und Dimensionieren von Strang-Überstromschutz und -dioden	233
13.2 DC-Kabel	182	20.2 Dimensionierung der Kabel	234
13.3 Kabeltrassen und Kabelschutzrohre	182	20.3 Kabelführung	236
13.4 DC-Stecker	183	20.4 Umgang mit Teilabschaltungen	237
13.5 DC-Überstromschutz	184	20.5 Einrichtungen zum Trennen und Schalten	238
13.6 Schalter, Trenner	185		
13.7 DC-Überspannungsableiter	186		
14. AC-Installation	187	21. Dimensionieren des Speichers für Netzverbundanlagen	243
14.1 Schaltgerätekombinationen	187	21.1 Einsatzgebiete für Speichersysteme	243
14.2 AC-Leitungen	188	21.2 Berechnen der optimalen Speicherkapazität	244
14.3 AC-Überstromschutz	188	21.3 Dimensionieren von Leistung und Überstromschutz	249
14.4 Schalter, Trenner	188	21.4 Lade- und Entladestrategien	250
14.5 Überspannungsschutz	190		
14.6 Messeinrichtungen, Stromzähler	190		
15. Energiemanagement und Anlagenüberwachung	193	22. Dimensionieren von Inselanlagen	251
15.1 Systemkategorien	193	22.1 Nutzungs- und Verbraucheranalyse	251
15.2 Kommunikationssysteme	195	22.2 Berechnung der Speicherkapazität	252
15.3 Wetterstationen	196	22.3 Berechnung der PV-Leistung	254
15.4 Einstrahlungsmessgeräte	196	22.4 Wahl der AC-Leistung	256
Teil 3 – Planung		23. Erdung, Potenzialausgleich, Blitzschutz	257
16. Energieertrag	199	23.1 Erdung und Potenzialausgleich	257
16.1 Übersicht über die Berechnungsmethoden	199	23.2 Überspannungsschutz	258
16.2 Jahresenergieertrag	199	23.3 Blitzschutz, Grundsätze	259
16.3 Monatlicher Energieertrag	202	23.4 Risikoanalyse und Zonenkonzept beim Blitzschutz	260
16.4 Stündlicher oder viertelstündlicher Energieertrag	203	23.5 Blitzschutzklassen	261
16.5 Verluste im PV-System	204	23.6 Trennungsabstand	262
16.6 Winterstrom mit Photovoltaik	209	23.7 Geometrie der Leitungsführung	262
16.7 Leistungsspitze und Lastspitze	211	23.8 Umsetzungsvarianten Blitzschutz	264
17. Eigenverbrauch	213	23.9 Montageort und Schutz von Leitungen und Wechselrichtern	267
17.1 Berechnung des Eigenverbrauchs	214	23.10 Blitzschutz in der Fassade	268
17.2 Eigenverbrauchsoptimierung	216		
18. Anlagenlayout	219	24. Netzanschluss	269
18.1 Ästhetik	219	24.1 Prozess Netzanschluss	269
18.2 Energieertrag	221	24.2 Grundsätze und Grundlagendokumente	269
18.3 Zugänglichkeit	221	24.3 Anforderungen an die PV-Anlagen	270
18.4 Absturzsicherung	221	24.4 Messwesen und Zählerschema	275
18.5 Weitere Anforderungen und Vorgaben	222	24.5 Photovoltaik im Smart Grid	276
18.6 Hoch- oder Querformat?	222	24.6 Photovoltaik im Micro Grid	277
18.7 Neigungswinkel und Reihenabstand bei PV-Anlagen auf Flachdächern	224		
19. Auslegen und Dimensionieren von Netzverbundanlagen	225		
19.1 Wahl der Modulleistung	225		
19.2 Wahl der optimalen Wechselrichterleistung	225		
19.3 Verschaltung der Module	227		

25. Integration in die Gebäudeautomation	279	31. Beschaffung, Ausschreibung, Submission	367
25.1 Solarthermie und PV-thermische Kollektoren	279	31.1 Beschaffungswesen	367
25.2 Wassererwärmer mit Elektroersatz	280	31.2 Submissionsunterlagen	368
25.3 Wärmepumpe	282	31.3 Leistungsverzeichnis	370
25.4 Weisse Ware	283		
25.5 Gebäudeautomationssysteme	284	32. Projektablauf	371
25.6 Elektromobilität, Ladestationen	284	32.1 Behördenkontakt	371
25.7 Dynamische Wirkleistungsreduktion	285		
25.8 Hierarchie und Priorität der Regelungen	286	Teil 4 – Realisierung und Betrieb	
26. Montagesysteme	287	33. Installation	375
26.1 Grundlagen zu Dach, Fassade und Gebäudehülle allgemein	287	33.1 Wer darf installieren?	375
26.2 Klassifizierung der Montagesysteme	288	33.2 Baustellenvorbereitung und Baustellenlogistik	376
26.3 Aufdachanlagen bei geneigten Dächern	290	33.3 Bauablauf	377
26.4 Indachanlagen geneigtes Dach	296	33.4 Materialausdehnung und -verträglichkeit	378
26.5 Aufdachanlagen Flachdach	304	33.5 Hinweise zu Installation und Installationsqualität	379
26.6 Fassadenanlagen	311	33.6 Typische Fehler	380
26.7 Carports und Unterstände	319	33.7 Steckbare PV-Anlagen	386
26.8 Überkopfverglasung und Pergola	320		
26.9 Geländer und Brüstungen	321	34. Kontrollen, Abnahme, Inbetriebnahme und Messungen	387
26.10 Infrastrukturbauten	322	34.1 Messungen	391
26.11 Freiflächenanlagen	322		
		35. Dokumentation	403
27. Statik	327	35.1 Beschriftung und Kennzeichnung	403
27.1 Schneelasten	328	35.2 Anlagendokumentation	404
27.2 Windkräfte	330		
27.3 Fassade und Überkopfverglasung	333	36. Betrieb und Unterhalt	407
		36.1 Administration und Verwaltung	407
28. Arbeits- und Gesundheitsschutz	337	36.2 Anlagenüberwachung	408
28.1 Gesetzliche Grundlagen	337	36.3 Service- und Kontrollgänge	410
28.2 Temporäre Absturzsicherungsmaßnahmen während des Baus	338	36.4 Reinigung	414
28.3 Permanente Absturzsicherungsmaßnahmen für Betrieb und Unterhalt	339	36.5 Reparatur, Ersatz und Repowering	417
28.4 Elektrosicherheit	346	36.6 Betriebs- und Unterhaltskosten	418
28.5 Asbest	347		
		37. Rückbau	421
29. Brandschutz	349		
29.1 Vorschriften und Grundlagen	349	Anhang	
29.2 Risikobeurteilung, Schutzziele, Gefahrenquellen und Lösungsansätze	351	A.1 Zum Autor	423
29.3 Brandschutz bei PV-Anlagen und Batteriespeichern	352	A.2 Dank	424
		A.3 Regularien	425
30. Computergestützte Anlagenplanung	359	A.4 Normen, Richtlinien	426
30.1 Meteo-Applikationen und PV-Potenzial-Rechner	360	A.5 Abkürzungen	427
30.2 Simulationsprogramme	362	A.6 Wichtige Punkte Erstbegehung	430
30.3 Online- und Berechnungstools	364	A.7 Wichtige Punkte Abnahme und Inbetriebnahme	432
30.4 Tools zum Erstellen von Offerten	365	A.8 Stichwortverzeichnis	434
30.5 Wechselrichter-Auslegungs-Tools	365		
30.6 Building Information Modeling	365		