

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	19
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	38
5. Raumplanung und Bauvorschriften	43
5.1 Denkmalschutz	46
5.2 Reflexion und Blendung	47
5.3 Gesetze, Normen und Richtlinien	53
5.4 Steuern	55
6. Ökologie und Nachhaltigkeit	57
6.1 Ökobilanz	57
6.2 Energiebilanz	58
6.3 Schadstoffbilanz und Umweltbelastungspunkte	59
6.4 Rohstoffbedarf	60
6.5 Elektromagnetische Verträglichkeit	62
7. Architektur	65
7.1 Architektonische Dos and Don'ts	65
7.2 Stufen der Integration	66
7.3 Die Vielfältigkeit von PV-Modulen	68
7.4 Photovoltaik im städtischen Umfeld	69
7.5 Lösungsansätze und Beispiele	71
8. Sonnenenergie	81
8.1 Energiequelle Sonne	83
8.2 Die scheinbare Sonnenbahn	84
8.3 Strahlung der Sonne	86
8.4 Einfluss der Bewölkung	91
8.5 Air Mass und Albedo	91
8.6 Einstrahlung auf die geneigte Ebene	92
8.7 Verschattung und Horizont	95

Teil 2 – Komponenten

9. Strom aus Sonnenlicht	99
9.1 Physikalische Grundlagen	99
9.2 Photoelektrischer Effekt	100
9.3 Typen von Solarzellen	105
9.4 Herstellung von kristallinen Solarzellen	107
9.5 Zelloptimierung	109
9.6 Dünnschichttechnik	114
9.7 Organische Solarzellen, Farbstoffzellen und Perowskite	117
10. PV-Module	119
10.1 Herstellungsprozess	119
10.2 Verbindung der Solarzellen	123
10.3 Solarglas	124
10.4 Modulanschlussdose und Bypassdiode	129
10.5 Bauformen von PV-Modulen	131
10.6 Sonderanwendungen	136
10.7 Farbige PV-Module	138
10.8 Elektrische Verschaltung von Zellen und Modulen	138
10.9 Elektrische Eigenschaften	140
10.10 Teilverschattung bei Modulen mit kristallinen Siliziumzellen	146
10.11 Teilverschattung bei Dünnschichtmodulen	151
10.12 Degradation	151
10.13 Prüfung und Qualifikation von PV-Modulen	154
11. Wechselrichter für den Netzparallelbetrieb	155
11.1 Bausteine und Funktionen von Wechselrichtern	155
11.2 Typen von Wechselrichtern	159
11.3 Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung	166
11.4 Wirkungsgrad	168
11.5 Kenndaten von Wechselrichtern	169
11.6 Überwachungs- und Schutzfunktionen	169
11.7 Netzanschluss: Regelung, Immunität, Schutz, Netzrückwirkungen	171
11.8 Elektromagnetische Verträglichkeit und Oberwellen	172
11.9 Lebenserwartung Wechselrichter	173
12. Batteriesysteme, Batteriewechselrichter und Laderegler	175
12.1 Grundlagen und Definitionen	175
12.2 Zelltechnologie	178
12.3 Systemtopologien	183
12.4 Backup und Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	185
12.5 Inselsysteme	186

13. DC-Installation	189	19. Auslegen und Dimensionieren von Netzverbundanlagen	233
13.1 Generatoranschlusskasten	189	19.1 Wahl der Modulleistung	233
13.2 DC-Kabel	190	19.2 Leistungsspitze und Lastspitze	233
13.3 Kabeltrassen und Kabelschutzrohre	190	19.3 Wahl der optimalen Wechselrichterleistung	235
13.4 DC-Stecker	191	19.4 Verschaltung der Module	237
13.5 DC-Überstromschutz	192	19.5 Auslegung mit Leistungsoptimierern	243
13.6 Schalter, Trenner	193		
13.7 DC-Überspannungsableiter	194		
14. AC-Installation	195	20. Auslegen und Dimensionieren der DC-Verkabelung	247
14.1 Schaltgerätekombinationen	195	20.1 Einsatz und Dimensionieren von Strang-Überstromschutz und -dioden	247
14.2 AC-Leitungen	196	20.2 Dimensionierung der Kabel	248
14.3 AC-Überstromschutz	196	20.3 Kabelführung	250
14.4 Schalter, Trenner	196	20.4 Umgang mit Teilabschattungen	252
14.5 Überspannungsschutz	198	20.5 Einrichtungen zum Trennen und Schalten	253
14.6 Messeinrichtungen, Stromzähler	198		
14.7 Steckbare Balkonsolaranlagen	200		
15. Energiemanagement und Anlagenüberwachung	201	21. Dimensionieren des Speichers für Netzverbundanlagen	257
15.1 Systemkategorien	201	21.1 Einsatzgebiete für Speichersysteme	257
15.2 Kommunikationssysteme	203	21.2 Berechnen der optimalen Speicherkapazität	258
15.3 Wetterstationen	204	21.3 Dimensionieren von Leistung und Überstromschutz	264
15.4 Einstrahlungsmessgeräte	204	21.4 Lade- und Entladestrategien	264
Teil 3 – Planung			
16. Energieertrag	207	22. Dimensionieren von Inselanlagen	267
16.1 Übersicht über die Berechnungsmethoden	207	22.1 Nutzungs- und Verbraucheranalyse	267
16.2 Jahresenergieertrag	207	22.2 Berechnung der Speicherkapazität	268
16.3 Monatlicher Energieertrag	210	22.3 Berechnung der PV-Leistung	270
16.4 Stündlicher oder viertelstündlicher Energieertrag	211	22.4 Wahl der AC-Leistung	272
16.5 Verluste im PV-System	211		
16.6 Winterstrom mit Photovoltaik	217	23. Erdung, Potenzialausgleich, Blitzschutz	273
16.7 Leistungsspitze und Lastspitze	218	23.1 Erdung und Potenzialausgleich	273
		23.2 Überspannungsschutz	275
		23.3 Blitzschutz, Grundsätze	276
17. Eigenverbrauch	219	23.4 Risikoanalyse und Zonenkonzept beim Blitzschutz	277
17.1 Berechnung des Eigenverbrauchs	220	23.5 Blitzschutzklassen	277
17.2 Eigenverbrauchsoptimierung	222	23.6 Trennungsabstand	278
17.3 Netzdienlicher Eigenverbrauch	224	23.7 Geometrie der Leitungsführung	278
		23.8 Umsetzungsvarianten Blitzschutz	280
18. Anlagenlayout	227	23.9 Montageort und Schutz von Leitungen und Wechselrichtern	283
18.1 Ästhetik	227	23.10 Blitzschutz in der Fassade	284
18.2 Energieertrag	229		
18.3 Zugänglichkeit	229	24. Netzanschluss	285
18.4 Absturzsicherung	229	24.1 Prozess Netzanschluss	285
18.5 Weitere Anforderungen und Vorgaben	230	24.2 Grundsätze und Grundlegendokumente	285
18.6 Hoch- oder Querformat?	230	24.3 Anforderungen an die PV-Anlagen	286
18.7 Neigungswinkel und Reihenabstand bei PV-Anlagen auf Flachdächern	232	24.4 Messwesen und Zählerschema	291
		24.5 Photovoltaik im Smart Grid	292
		24.6 Photovoltaik im Micro Grid	292
		24.7 Netzanschluss der Zukunft	293

25. Integration in die Gebäudeautomation	297	31. Beschaffung, Ausschreibung, Submission	391
25.1 Solarthermie und PV-thermische Kollektoren	297	31.1 Beschaffungswesen	391
25.2 Wassererwärmer mit Elektroeinsatz	298	31.2 Submissionsunterlagen	392
25.3 Wärmepumpe	300	31.3 Leistungsverzeichnis	394
25.4 Weisse Ware	302	31.4 Digitalisierung des Beschaffungswesens	395
25.5 Gebäudeautomationssysteme	302		
25.6 Elektromobilität, Ladestationen	303	32. Projektablauf	397
25.7 Dynamische Wirkleistungsreduktion	304		
25.8 Hierarchie und Priorität der Regelungen	304	Teil 4 – Realisierung und Betrieb	
26. Montagesysteme	307	33. Installation	401
26.1 Grundlagen zu Dach, Fassade und Gebäudehülle allgemein	307	33.1 Wer darf installieren?	401
26.2 Klassifizierung der Montagesysteme	308	33.2 Baustellenvorbereitung und Baustellenlogistik	402
26.3 Aufdachanlagen bei geneigten Dächern	310	33.3 Bauablauf	402
26.4 Indachanlagen geneigtes Dach	316	33.4 Materialausdehnung und -verträglichkeit	403
26.5 Aufdachanlagen Flachdach	324	33.5 Hinweise zu Installation und Installationsqualität	404
26.6 Fassadenanlagen	331	33.6 Typische Fehler	406
26.7 Carports und Unterstände	339	33.7 Steckbare PV-Anlagen	412
26.8 Überkopfverglasung und Pergola	340		
26.9 Geländer und Brüstungen	341	34. Kontrollen, Abnahme, Inbetriebnahme und Messungen	413
26.10 Infrastrukturbauten	342	34.1 Messungen	417
26.11 Freiflächenanlagen	342		
		35. Dokumentation	431
27. Statik	347	35.1 Beschriftung und Kennzeichnung	431
27.1 Schneelasten	348	35.2 Anlagendokumentation	432
27.2 Windkräfte	351		
27.3 Sicherheitsfaktoren	353	36. Betrieb und Unterhalt	435
27.4 Fassade und Überkopfverglasung	355	36.1 Administration und Verwaltung	435
		36.2 Anlagenüberwachung	436
28. Arbeits- und Gesundheitsschutz	359	36.3 Service- und Kontrollgänge	438
28.1 Gesetzliche Grundlagen	359	36.4 Reinigung	442
28.2 Temporäre Absturzsicherungsmaßnahmen während des Baus	360	36.5 Reparatur, Ersatz und Repowering	445
28.3 Permanente Absturzsicherungsmaßnahmen für Betrieb und Unterhalt	361	36.6 Betriebs- und Unterhaltskosten	446
28.4 Elektrosicherheit	368		
28.5 Asbest	369	37. Rückbau	449
29. Brandschutz	371	Anhang	453
29.1 Vorschriften und Grundlagen	371	A.1 Dank	453
29.2 Risikobeurteilung, Schutzziele, Gefahrenquellen und Lösungsansätze	373	A.2 Zum Autor	453
29.3 Brandschutz bei PV-Anlagen und Batteriespeichern	374	A.3 Regularien	454
29.4 Brandschutz bei Fassaden-PV	377	A.4 Normen, Richtlinien	455
		A.5 Abkürzungen	456
30. Computergestützte Anlagenplanung	383	A.6 Wichtige Punkte Erstbegehung	459
30.1 Meteo-Applikationen und PV-Potenzial-Rechner	384	A.7 Wichtige Punkte Abnahme und Inbetriebnahme	461
30.2 Simulationsprogramme	385	A.8 Stichwortverzeichnis	463
30.3 Online- und Berechnungstools	388		
30.4 Tools zum Erstellen von Offerten	389		
30.5 Wechselrichter-Auslegungs-Tools	389		
30.6 Building Information Modeling	389		