

Inhalt

| Teil 1 – Grundlagen | Teil 2 – Komponenten |
|---|--|
| 1. Geschichte der Photovoltaik | 10 9. Strom aus Sonnenlicht |
| | 9.1 Physikalische Grundlagen 95 |
| 2. Markt | 15 9.2 Photoelektrischer Effekt |
| 2.1 Internationale Marktentwicklung | 15 9.3 Typen von Solarzellen 96 |
| 2.2 Entwicklung in der Schweiz | 18 9.4 Herstellung von kristallinen Solarzellen 101 |
| 2.3 Solarstrom vermarkten | 18 9.5 Zelloptimierung 102 |
| | 9.6 Dünnschichttechnik 104 |
| 3. Wirtschaftlichkeit | 21 9.7 Organische Solarzellen, Farbstoffzellen und |
| 3.1 Kapital- und Betriebskosten | 21 Perowskite 111 |
| 3.2 Barwert, Kapitalwert und Annuität | 24 |
| 3.3 Geldflussplan | 24 10. PV-Module 113 |
| 3.4 Berechnung der Stromgestehungskosten (LCOE) und der Rendite | 27 10.1 Herstellungsprozess 113 |
| | 10.2 Solarglas 117 |
| 4. Politische Rahmenbedingungen und Förderung | 10.3 Modulanschlussdose und Bypassdiode 121 |
| 4.1 Energiestrategie 2050 | 31 10.4 Bauformen von PV-Modulen 123 |
| 4.2 Marktdesign und Förderungen für Photovoltaik | 32 10.5 Sonderanwendungen 128 |
| 4.3 Eigenverbrauch und Zusammenschluss zum Eigenverbrauch | 36 10.6 Farbige PV-Module 130 |
| | 10.7 Elektrische Verschaltung von Zellen und Modulen 130 |
| 5. Raumplanung und Bauvorschriften | 10.8 Elektrische Eigenschaften 132 |
| 5.1 Denkmalschutz | 36 10.9 Teilverschattung bei Modulen mit kristallinen Siliziumzellen 138 |
| 5.2 Reflexion und Blendung | 41 10.10 Teilverschattung bei Dünnschichtmodulen 143 |
| 5.3 Gesetze, Normen und Richtlinien | 44 10.11 Degradation 143 |
| 5.4 Steuern | 45 10.12 Prüfung und Qualifikation von PV-Modulen 146 |
| 6. Ökologie und Nachhaltigkeit | 52 11. Wechselrichter für den Netzparallelbetrieb 147 |
| 6.1 Ökobilanz | 52 11.1 Bausteine und Funktionen von Wechselrichtern 147 |
| 6.2 Energiebilanz | 53 11.2 Typen von Wechselrichtern 151 |
| 6.3 Schadstoffbilanz und Umweltbelastungspunkte | 53 11.3 Wirkleistung, Blindleistung und Scheinleistung 158 |
| 6.4 Rohstoffbedarf | 54 11.4 Wirkungsgrad 160 |
| 6.5 Elektromagnetische Verträglichkeit | 55 11.5 Kenndaten von Wechselrichtern 161 |
| | 56 11.6 Überwachungs- und Schutzfunktionen 161 |
| | 58 11.7 Netzanchluss: Regelung, Immunität, Schutz, Netzrückwirkungen 163 |
| 7. Architektur | 61 11.8 Elektromagnetische Verträglichkeit und Oberwellen 164 |
| 7.1 Architektonische Dos and Don'ts | 61 |
| 7.2 Stufen der Integration | 62 |
| 7.3 Die Vielfältigkeit von PV-Modulen | 64 12. Batteriesysteme, Batteriewechselrichter und Laderegler 165 |
| 7.4 Photovoltaik im städtischen Umfeld | 65 12.1 Grundlagen und Definitionen 165 |
| 7.5 Lösungsansätze und Beispiele | 67 12.2 Zelltechnologie 168 |
| | 12.3 Systemtopologien 175 |
| 8. Sonnenenergie | 77 12.4 Backup und Unterbrechungsfreie |
| 8.1 Energiequelle Sonne | 79 Stromversorgung (USV) 177 |
| 8.2 Die scheinbare Sonnenbahn | 80 12.5 Inselsysteme 177 |
| 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 |

| | | | |
|---|------------|--|------------|
| 13. DC-Installation | 181 | 20. Auslegen und Dimensionieren der DC-Verkabelung | 233 |
| 13.1 Generatoranschlusskästen | 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 Teilabschattungen | 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 |
| | | 23.9 Montageort und Schutz von Leitungen und Wechselrichtern | 267 |
| 17. Eigenverbrauch | 213 | 23.10 Blitzschutz in der Fassade | 268 |
| 17.1 Berechnung des Eigenverbrauchs | 214 | | |
| 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 Elektro Einsatz | 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 | | |
| 27. Statik | 327 | 35. Dokumentation | 403 |
| 27.1 Schneelasten | 328 | 35.1 Beschriftung und Kennzeichnung | 403 |
| 27.2 Windkräfte | 330 | 35.2 Anlagendokumentation | 404 |
| 27.3 Fassade und Überkopfverglasung | 333 | | |
| 28. Arbeits- und Gesundheitsschutz | 337 | 36. Betrieb und Unterhalt | 407 |
| 28.1 Gesetzliche Grundlagen | 337 | 36.1 Administration und Verwaltung | 407 |
| 28.2 Temporäre Absturzsicherungsmassnahmen während des Baus | 338 | 36.2 Anlagenüberwachung | 408 |
| 28.3 Permanente Absturzsicherheitsmassnahmen für Betrieb und Unterhalt | 339 | 36.3 Service- und Kontrollgänge | 410 |
| 28.4 Elektrosicherheit | 346 | 36.4 Reinigung | 414 |
| 28.5 Asbest | 347 | 36.5 Reparatur, Ersatz und Repowering | 417 |
| | | 36.6 Betriebs- und Unterhaltskosten | 418 |
| | | | |
| | | 37. Rückbau | 421 |
| | | | |
| | | Anhang | |
| 29. Brandschutz | 349 | | |
| 29.1 Vorschriften und Grundlagen | 349 | A.1 Zum Autor | 423 |
| 29.2 Risikobeurteilung, Schutzziele, Gefahrenquellen und Lösungsansätze | 351 | A.2 Dank | 424 |
| 29.3 Brandschutz bei PV-Anlagen und Batteriespeichern | 352 | A.3 Regularien | 425 |
| | | A.4 Normen, Richtlinien | 426 |
| | | A.5 Abkürzungen | 427 |
| | | A.6 Wichtige Punkte Erstbegehung | 430 |
| | | A.7 Wichtige Punkte Abnahme und Inbetriebnahme | 432 |
| | | A.8 Stichwortverzeichnis | 434 |
| 30. Computergestützte Anlagenplanung | 359 | | |
| 30.1 Meteo-Applikationen und PV-Potenzial-Rechner | 360 | | |
| 30.2 Simulationsprogramme | 362 | | |
| 30.3 Online- und Berechnungstools | 364 | | |
| 30.4 Tools zum Erstellen von Offerten | 365 | | |
| 30.5 Wechselrichter-Auslegungs-Tools | 365 | | |
| 30.6 Building Information Modeling | 365 | | |