

**Hagemann, Ingo B.:**  
**Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle.**  
 Köln: Müller, 2002. ISBN 3-481-01776-6

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>Hintergrund der Aufgabenstellung .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Globale Energieperspektive .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Zukünftige Energienutzung in der Architektur und Städteplanung .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Veränderungen am einzelnen Gebäude .....</b>	<b>20</b>
<b>3.</b>	<b>Photovoltaik (PV) .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Nutzungsperspektiven der PV .....</b>	<b>21</b>
3.1.1	Vorteile der PV-Nutzung .....	21
3.1.2	Nachteile der PV-Nutzung .....	22
3.1.3	Vorteile und Gründe für die PV-Nutzung und Integration am Gebäude .....	22
<b>3.2</b>	<b>Elektrotechnische Grundlagen der PV-Nutzung am Gebäude .....</b>	<b>23</b>
3.2.1	Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle .....	23
3.2.2	Elektrische Eigenschaften der PV .....	24
3.2.2.1	Strom-/Spannungskennlinie .....	25
3.2.2.2	Einfluß von Bestrahlungsstärke und Temperatur auf den Energieertrag .....	26
3.2.2.3	Verschaltung mehrerer Solarzellen zu einem PV-Modul .....	26
3.2.2.4	Einfluß von Verschattungen auf den Energieertrag .....	28
3.2.2.5	Solargeneratoren .....	29
3.2.3	Kenngößen .....	31
3.2.3.1	Spektrale Empfindlichkeit .....	31
3.2.3.2	Wirkungsgrad .....	31
3.2.3.3	Nennleistung .....	31
3.2.3.4	Performance Ratio .....	31
3.2.4	PV-Systemtypen .....	32
3.2.4.1	Netzunabhängige PV-Systeme (Inselbetrieb) .....	33
3.2.4.2	Netzgekoppelte PV-Systeme .....	33
3.2.5	Elektrotechnische Sicherheitsvorkehrungen .....	35
3.2.5.1	Berührungsschutz bei Montagearbeiten .....	35
3.2.5.2	Berührungsschutz im laufenden Betrieb .....	35
3.2.5.3	Blitzschutz .....	36

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>3.3</b>	<b>PV-Systemkomponenten</b> .....	36
3.3.1	PV-Zellen .....	36
3.3.1.1	Kristalline Siliziumzellen .....	37
3.3.1.2	Dünnschichtsolarzellen .....	40
3.3.1.3	Neue Zellenentwicklungen.....	42
3.3.2	PV-Module .....	43
3.3.2.1	PV-Modulkomponenten .....	44
3.3.2.2	PV-Modultypen .....	48
3.3.3	Wechselrichter .....	48
3.3.3.1	Aufgaben des Wechselrichters .....	48
3.3.3.2	Wechselrichterkonzepte .....	50
3.3.4	Batterie.....	53
3.3.5	Laderegler.....	53
3.3.6	Elektrische Kabel, Kabelverbindungen und Anschlüsse .....	54
3.3.6.1	Kabel.....	54
3.3.6.2	Kabelverbindungen und Anschlüsse .....	57
<b>4.</b>	<b>Sonne und solare Einstrahlung</b> .....	59
<b>4.1</b>	<b>Sonne als vielfältige Energiequelle</b> .....	59
4.1.1	Sinnliche Energiequelle .....	59
4.1.2	Heilende Energiequelle.....	60
4.1.3	Physikalische Energiequelle .....	60
<b>4.2</b>	<b>Strahlungsangebot der Sonne</b> .....	60
4.2.1	Globalstrahlung.....	61
4.2.1.1	Direkte Strahlung .....	61
4.2.1.2	Diffuse Strahlung .....	62
4.2.2	Einflüsse der Atmosphäre auf die spektrale Zusammensetzung der Globalstrahlung .....	64
4.2.3	Bestimmungsgrößen des Sonnenstandes.....	64
4.2.4	Erfassung und Nutzung der Globalstrahlungswerte.....	70
<b>4.3</b>	<b>Verschattung</b> .....	71
<b>4.4</b>	<b>Planungshinweise für gebäudeintegrierte PV-Systeme</b> .....	74
<b>5.</b>	<b>PV-Gebäudeintegration</b> .....	77
<b>5.1</b>	<b>Aufgaben der Gebäudehülle</b> .....	77
<b>5.2</b>	<b>Begriffsbestimmung - Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)</b> .....	79
<b>5.3</b>	<b>Bautechnische Integration der PV</b> .....	79
5.3.1	Entwicklung und Arten der bautechnischen Integration und Befestigung der PV .....	79
5.3.1.1	Integration durch Addition der PV .....	79
5.3.1.2	Konstruktive Integration der PV .....	80
5.3.2	Einsatzfelder der PV am Gebäude .....	81
5.3.2.1	Schrägdächer mit PV .....	82
5.3.2.2	Flachdächer mit PV .....	90
5.3.2.3	Oberlichter mit PV.....	98
5.3.2.4	Außenwände (Brüstung) mit PV .....	101

5.3.2.5	Glasfassaden und Structural-Glazing mit PV .....	108
5.3.2.6	Sonnenschutz mit PV .....	115
5.3.3	Nachführungssysteme mit PV .....	121
5.3.3.1	Klassifizierung.....	121
5.3.3.2	Auswahlkriterien .....	123
5.3.3.3	Planungshinweise.....	124
5.3.4	Ergänzende Hinweise für die bautechnische Integration der PV .....	125
<b>5.4</b>	<b>Energietechnische Integration der PV.....</b>	<b>126</b>
5.4.1	Dimensionierung eines PV-Systems .....	126
5.4.2	PV als Teil eines ganzheitlichen Energie- und Ökologiekonzeptes für ein Gebäude .....	130
5.4.2.1	Überlegungen zur Auswahl solartechnischer Systeme .....	130
5.4.2.2	Zusammenwirken der PV mit anderen solartechnischen Maßnahmen .....	131
<b>5.5</b>	<b>Gestalterische Integration der PV .....</b>	<b>134</b>
5.5.1	Gestalterische Vielfalt von PV-Zellen und PV-Modulen .....	134
5.5.1.1	Gestaltungsmöglichkeiten bei mono(c-Si)- und polykristallinen(p-Si) PV-Modulen .....	134
5.5.1.2	Gestaltungsmöglichkeiten bei amorphen(a-Si) Silizium Dünnschichtmodulen .....	138
5.5.2	Signifikante Gestaltmerkmale der PV .....	140
5.5.3	Analyse von Beispielen gestalterisch gelungener Integrationen der PV.....	142
5.5.3.1	Beispiel: Kindergarten, Frankfurt-Griesheim, Deutschland .....	142
5.5.3.2	Beispiel: Berufsausbildungszentrum HEW, Hamburg, Deutschland.....	144
5.5.3.3	Beispiel: Bayerische Allianz Unterföhring, München, Deutschland.....	146
5.5.3.4	Beispiel: Bundespräsidialamt, Berlin, Deutschland .....	148
5.5.3.5	Beispiel: Fortbildungsakademie, Herne Sodingen, Deutschland .....	150
5.5.3.6	Beispiel: Holz Berufsgenossenschaft, München, Deutschland .....	152
5.5.3.7	Beispiel: Technikgebäude Solarsiedlung am Ohrberg, Emmerthal, Deutschland.....	154
5.5.3.8	Beispiel: Pavillon Meereslauschen, Steinhude, Deutschland.....	156
5.5.3.9	Beispiel: Üstra Verkehrsbetriebe, Betriebshof, Hannover-Leinhausen, Deutschland.....	158
5.5.3.10	Beispiel: Paul-Löbe-Haus, Berlin, Deutschland.....	160
5.5.3.11	Beispiel: Solar Cube, Discovery Science Center, Santa Ana, CA, USA .....	162
<b>6.</b>	<b>Handlungsbedarf zur erfolgreichen Umsetzung .....</b>	<b>167</b>
	<b>gebäudeintegrierter PV-Systeme</b>	
<b>6.1</b>	<b>Umsetzungshemmnisse und Lösungsansätze.....</b>	<b>167</b>
6.1.1	Anpassungen von Planungsprozeß und Art der Zusammenarbeit.....	167
6.1.2	Handlungsziele für den Abbau von Planungs- und Umsetzungshemmnissen.....	171
	bei gebäudeintegrierten PV-Systemen	
<b>6.2</b>	<b>Ökologie.....</b>	<b>173</b>
6.2.1	Energiebilanz .....	173
6.2.2	Umweltbelastung und toxische Inhaltsstoffe .....	174
6.2.3	Ressourcenverfügbarkeit.....	174
6.2.4	Recycling .....	175
<b>6.3</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>176</b>

<b>7.</b>	<b>Bildtafeln für die PV-Praxis</b>	
	<b>Beispiele– Planungsinformationen und ausgeführte .....</b>	<b>183</b>
7.1	<b>Bildtafeln: Regenerative Energieformen .....</b>	<b>183</b>
7.2	<b>Bildtafeln: PV-Zellen und PV-Module .....</b>	<b>187</b>
7.3	<b>Bildtafeln: PV-Integrationstechniken.....</b>	<b>209</b>
7.4	<b>Bildtafeln: PV-Integrationsfelder.....</b>	<b>235</b>
7.5	<b>Bildtafeln: PV-Projektbeispiele.....</b>	<b>253</b>
7.5.1	Erläuterungen zur Dokumentation.....	254
7.5.2	PV-Projektdateien – technische Angaben zu den Beispielen .....	255
7.5.3	PV-Projektbeispiele .....	259
7.5.3.1	Schrägdach.....	261
7.5.3.2	Flachdach .....	289
7.5.3.3	Oberlicht .....	299
7.5.3.4	Außenwand (Brüstung).....	315
7.5.3.5	Glasfassade (Structural-Glazing) .....	338
7.5.3.6	Sonnenschutz .....	353

**Anhang**

<b>Abkürzungen .....</b>	<b>383</b>
<b>Begriffserläuterungen .....</b>	<b>385</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>395</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>405</b>
<b>Architektenverzeichnis .....</b>	<b>429</b>