

# Gebäudeintegrierte Photovoltaik

Architektonische Integration  
der Photovoltaik  
in die Gebäudehülle

**Dr.-Ing. Ingo B. Hagemann**

Architekt in Aachen

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	13	3.3.2.2	PV-Modultypen .....	48
<b>2</b>	<b>Hintergrund der Aufgabenstellung</b> ..	17	3.3.3	Wechselrichter .....	48
<b>2.1</b>	<b>Globale Energieperspektive</b> .....	17	3.3.3.1	Aufgaben des Wechselrichters .....	48
<b>2.2</b>	<b>Zukünftige Energienutzung in der Architektur und Städteplanung</b> .....	18	3.3.3.2	Wechselrichterkonzepte .....	50
<b>2.3</b>	<b>Veränderungen am einzelnen Gebäude</b> .....	20	3.3.4	Batterie .....	53
<b>3</b>	<b>Photovoltaik (PV)</b> .....	21	3.3.5	Laderegler .....	53
<b>3.1</b>	<b>Nutzungsperspektiven der PV</b> .....	21	3.3.6	Elektrische Kabel, Kabelverbindungen und Anschlüsse .....	54
3.1.1	Vorteile der PV-Nutzung .....	21	3.3.6.1	Kabel .....	54
3.1.2	Nachteile der PV-Nutzung .....	22	3.3.6.2	Kabelverbindungen und Anschlüsse .....	57
3.1.3	Vorteile und Gründe für die PV-Nutzung und Integration am Gebäude .....	22	<b>4</b>	<b>Sonne und solare Einstrahlung</b> .....	59
<b>3.2</b>	<b>Elektrotechnische Grundlagen der PV-Nutzung am Gebäude</b> .....	23	<b>4.1</b>	<b>Sonne als vielfältige Energiequelle</b> .....	59
3.2.1	Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle .....	23	4.1.1	Sinnliche Energiequelle .....	59
3.2.2	Elektrische Eigenschaften der PV .....	24	4.1.2	Heilende Energiequelle .....	60
3.2.2.1	Strom-/Spannungskennlinie .....	25	4.1.3	Physikalische Energiequelle .....	60
3.2.2.2	Einfluss von Bestrahlungsstärken und Temperatur auf den Energieertrag .....	26	<b>4.2</b>	<b>Strahlungsangebot der Sonne</b> .....	60
3.2.2.3	Verschaltung mehrerer Solarzellen zu einem PV-Modul .....	26	4.2.1	Globalstrahlung .....	61
3.2.2.4	Einfluss von Verschattungen auf den Energieertrag .....	28	4.2.1.1	Direkte Strahlung .....	61
3.2.2.5	Solargeneratoren .....	29	4.2.1.2	Diffuse Strahlung .....	62
3.2.3	Kenngößen .....	31	4.2.2	Einflüsse der Atmosphäre auf die spektrale Zusammensetzung der Globalstrahlung .....	64
3.2.3.1	Spektrale Empfindlichkeit .....	31	4.2.3	Bestimmungsgrößen des Sonnenstandes .....	64
3.2.3.2	Wirkungsgrad .....	31	4.2.4	Erfassung und Nutzung der Globalstrahlungswerte .....	70
3.2.3.3	Nennleistung .....	31	<b>4.3</b>	<b>Verschattung</b> .....	71
3.2.3.4	Performance Ratio .....	31	<b>4.4</b>	<b>Planungshinweise für gebäudeintegrierte PV-Systeme</b> .....	74
3.2.4	PV-Systemtypen .....	32	<b>5</b>	<b>PV-Gebäudeintegration</b> .....	77
3.2.4.1	Netzunabhängige PV-Systeme (Inselbetrieb) ..	33	<b>5.1</b>	<b>Aufgaben der Gebäudehülle</b> .....	77
3.2.4.2	Netzgekoppelte PV-Systeme .....	33	<b>5.2</b>	<b>Begriffsbestimmung – Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)</b> .....	79
3.2.5	Elektrotechnische Sicherheitsvorkehrungen ..	35	<b>5.3</b>	<b>Bautechnische Integration der PV</b> .....	79
3.2.5.1	Berührungsschutz bei Montagearbeiten .....	35	5.3.1	Entwicklung und Arten der bautechnischen Integration und Befestigung der PV .....	79
3.2.5.2	Berührungsschutz im laufenden Betrieb .....	35	5.3.1.1	Integration durch Addition der PV .....	79
3.2.5.3	Blitzschutz .....	36	5.3.1.2	Konstruktive Integration der PV .....	80
<b>3.3</b>	<b>PV-Systemkomponenten</b> .....	36	5.3.2	Einsatzfelder der PV am Gebäude .....	81
3.3.1	PV-Zellen .....	36	5.3.2.1	Schrägdächer mit PV .....	82
3.3.1.1	Kristalline Siliziumzellen .....	37	5.3.2.2	Flachdächer mit PV .....	90
3.3.1.2	Dünnschichtsolarzellen .....	40	5.3.2.3	Oberlichter mit PV .....	98
3.3.1.3	Neue Zellenentwicklungen .....	42	5.3.2.4	Außenwände (Brüstung) mit PV .....	101
3.3.2	PV-Module .....	43	5.3.2.5	Glasfassaden und Structural Glazing mit PV ..	108
3.3.2.1	PV-Modulkomponenten .....	44	5.3.2.6	Sonnenschutz mit PV .....	115

5.3.3	Nachführungssysteme mit PV .....	121	<b>6</b>	<b>Handlungsbedarf zur erfolgreichen Umsetzung gebäudeintegrierter PV-Systeme</b> .....	167
5.3.3.1	Klassifizierung .....	121	<b>6.1</b>	<b>Umsetzungshemmnisse und Lösungsansätze</b> .....	167
5.3.3.2	Auswahlkriterien .....	123	6.1.1	Anpassung von Planungsprozess und Art der Zusammenarbeit .....	167
5.3.3.3	Planungshinweise .....	124	6.1.2	Handlungsziele für den Abbau von Planungs- und Umsetzungshemmnissen bei gebäudeintegrierten PV-Systemen .....	171
5.3.4	Ergänzende Hinweise für die bautechnische Integration der PV .....	125	<b>6.2</b>	<b>Ökologie</b> .....	173
<b>5.4</b>	<b>Energetechnische Integration der PV</b> .....	126	6.2.1	Energiebilanz .....	173
5.4.1	Dimensionierung eines PV-Systems .....	126	6.2.2	Umweltbelastung und toxische Inhaltsstoffe ...	174
5.4.2	PV als Teil eines ganzheitlichen Energie- und Ökologiekonzeptes für ein Gebäude .....	130	6.2.3	Ressourcenverfügbarkeit .....	174
5.4.2.1	Überlegungen zur Auswahl solar-technischer Systeme .....	130	6.2.4	Recycling .....	175
5.4.2.2	Zusammenwirken der PV mit anderen solar-technischen Maßnahmen .....	131	<b>6.3</b>	<b>Ausblick</b> .....	176
<b>5.5</b>	<b>Gestalterische Integration der PV</b> .....	134	<b>7</b>	<b>Bildtafeln für die PV-Praxis – Planungsinformationen und ausgeführte Beispiele</b> .....	183
5.5.1	Gestalterische Vielfalt von PV-Zellen und PV-Modulen .....	134	<b>7.1</b>	<b>Bildtafeln: Regenerative Energieformen</b> .....	183
5.5.1.1	Gestaltungsmöglichkeiten bei mono- (c-Si) und polykristallinen (p-Si) PV-Modulen .....	134	<b>7.2</b>	<b>Bildtafeln: PV-Zellen und PV-Module</b> .....	187
5.5.1.2	Gestaltungsmöglichkeiten bei amorphen (a-Si) Silizium-Dünnschichtmodulen .....	138	<b>7.3</b>	<b>Bildtafeln: PV-Integrationstechniken</b> .....	209
5.5.2	Signifikante Gestaltmerkmale der PV .....	140	<b>7.4</b>	<b>Bildtafeln: PV-Integrationsfelder</b> .....	235
5.5.3	Analyse von Beispielen gestalterisch gelungener Integrationen der PV .....	142	<b>7.5</b>	<b>Bildtafeln: PV-Projektbeispiele</b> .....	253
5.5.3.1	Beispiel: Kindergarten, Frankfurt-Griesheim, Deutschland .....	142	7.5.1	Erläuterungen zur Dokumentation .....	254
5.5.3.2	Beispiel: Berufsausbildungszentrum HEW, Hamburg, Deutschland .....	144	7.5.2	PV-Projektdateien – technische Angaben zu den Beispielen .....	255
5.5.3.3	Beispiel: Bayerische Allianz Unterföhring, München, Deutschland .....	146	7.5.3	PV-Projektbeispiele .....	259
5.5.3.4	Beispiel: Bundespräsidialamt, Berlin, Deutschland .....	148	7.5.3.1	Schrägdach .....	261
5.5.3.5	Beispiel: Fortbildungsakademie, Herne-Sodingen, Deutschland .....	150	7.5.3.2	Flachdach .....	289
5.5.3.6	Beispiel: Holz Berufsgenossenschaft, München, Deutschland .....	152	7.5.3.3	Oberlicht .....	299
5.5.3.7	Beispiel: Technikgebäude Solarsiedlung am Ohrberg, Emmerthal, Deutschland .....	154	7.5.3.4	Außenwand (Brüstung) .....	315
5.5.3.8	Beispiel: Pavillon Meereslauschen, Steinhude, Deutschland .....	156	7.5.3.5	Glasfassade (Structural-Glazing) .....	338
5.5.3.9	Beispiel: Üstra Verkehrsbetriebe, Betriebshof, Hannover-Leinhausen, Deutschland .....	158	7.5.3.6	Sonnenschutz .....	353
5.5.3.10	Beispiel: Paul-Löbe-Haus, Berlin, Deutschland .....	160	<b>Anhang</b>		
5.5.3.11	Beispiel: Solar Cube, Discovery, Science Center, Santa Ana, CA, USA .....	162	<b>Abkürzungen</b> .....	383	
			<b>Begriffserläuterungen</b> .....	385	
			<b>Literaturverzeichnis</b> .....	395	
			<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	405	
			<b>Achitektenverzeichnis</b> .....	429	