

Solar-Architektur

Entwurfsprozess und Umsetzung



Ausgangslage

In der Architektur und im Entwurfsprozess wird der solare Aspekt all zu häufig immer noch separat betrachtet. Dadurch können sich sub-optimale Lösungen ergeben. Ein integrierter Ansatz hilft, ästhetisch und funktional überzeugende Resultate für die Gesamtarchitektur zu erzielen. Die Gemeinde kann hier punktuelle, aber sehr nützliche Hilfestellung bieten.

Fragestellungen

- Welche grundsätzlichen Integrationslösungen bietet die Photovoltaik?
- Welche architektonischen Qualitäten bieten das Bauen und Sanieren mit Photovoltaik?
- Welche besonderen Anforderungen ergeben sich für die Architektur mit Photovoltaik?
- Worauf ist beim Entwurfsprozess bei Neu- und Sanierungsbauten besonders zu achten?

Zielvorstellung

Die Beispiele und Erfahrungen zeigen, dass mit der Photovoltaik eine attraktive und nachhaltige Architektur möglich ist. Bei all der Vielfalt an Integrationslösungen kristallisieren sich einige Schlüsselemente heraus, die - im Entwurfsprozess mit Photovoltaik richtig umgesetzt – zu angepassten Lösungen bei Neu- und Renovationsbauten führen. Die Gemeinde kann hier nicht nur im Rahmen ihrer baurechtlichen Verantwortlichkeiten und Aufgaben eine positive Rolle spielen.

Inhalt und Aufbau

Photovoltaik eröffnet der Architektur neue Dimensionen und Impulse. Die Solartechnik bietet als Bauelement nicht nur interessante Gestaltungsmöglichkeiten für die moderne Architektur, sondern produziert erneuerbaren Strom. Dieser Solarstrom kann zur Deckung des eigenen Energiebedarfes gebraucht und / oder ins Netz eingespeist werden. Photovoltaische Baukomponenten gewinnen fortwährend an Vielfältigkeit und Vielseitigkeit. Verschiedene Materialien mit unterschiedlichen Formen, Farben und Oberflächen ermöglichen innovative und angepasste Lösungen für Neu-, Um- und Sanierungsbauten. Die ersten Kapitel stellen auf allgemeine Weise die architektonischen Möglichkeiten der Photovoltaik dar.

Bei der Integration von Solarsystemen in Gebäude müssen verschiedene Anforderungen erfüllt und optimiert werden. Einerseits geht es bei der solar-architektonischen Optimierung um gute Lösungen sowohl für die bauphysikalische und ästhetische Qualität des Gebäudes wie auch für die Solarstromproduktion (Ausrichtung, Grösse der solaraktiven Fläche, etc.). Andererseits soll der Projektverlauf und Zeitplan zwischen den verschiedenen Akteuren und Phasen gut abgestimmt sein. Nicht zuletzt fallen so denn auch die Kosten günstiger aus. Eine Checkliste (s. Kapitel IV. bis XI.) für den Entwurfs- und Umsetzungsprozess mit Photovoltaik gibt hier eine erste Orientierungshilfe.

- I. Multifunktionale Bauelemente
- II. Integrationslösungen
- III. Allgemeine Empfehlungen für den Entwurfsprozess
- IV. Klima und Einstrahlung
- V. Verschattung
- VI. Auswahl der Elemente und Kreativität
- VII. Auf- und Einbau
- VIII. Wärme und Hinterlüftung
- IX. Netz und Anschluss
- X. Versicherung und Sicherheit
- XI. Kommunikation, Design und Image

Eine gesamtheitliche Planung gebäudeintegrierter Photovoltaiksysteme erlaubt eine geeignete Kombination mit der bestehenden Gebäudehülle oder gar den Ersatz der üblichen Baumaterialien. Beispiele hierfür sind vorgehängte Fassadenelemente, photovoltaische Glasfassaden, Solar-Dachziegel oder Sonnenschutzelemente. Photovoltaische Elemente können im Bau gut sichtbar oder aber auch diskret eingesetzt werden und bieten Hand zu gelungenen architektonischen Lösungen.

Solarmodule können die Funktionen eines guten Baumaterials wahrnehmen, bieten jedoch darüber hinaus auch noch den Vorzug, Solarstrom zu erzeugen. Photovoltaik bietet Mehrfachnutzung dank vielseitiger Eigenschaften:

- **Wetterschutz:** Photovoltaikmodule sind für die Anwendung im Freien konzipiert. Sie werden auf Wasser- und Hagelfestigkeit, Winddruck und Temperaturwechsel ausgelegt. Sie können daher als Bauteil der Gebäudehülle verwendet werden.
- **Sonnenschutz:** Gerade weil die Module nach der Sonne ausgerichtet sind, eignen sie sich ideal als Sonnenschutz. Durch den Grad an Transparenz kann die Intensität der Abschattung variiert werden. Die Überhitzung von Glasbauten kann verhindert werden.
- **Schallschutz:** Mit einem mehrschichtigen Aufbau des Glases können Photovoltaikmodule auch schallschützend wirken.

- **Wärmedämmung:** Solarzellen können auch in Isolierverglasungen integriert werden. Dadurch wird die hohe Wärmedämmung wie bei modernem Fensterglas erreicht.
- **Elektromagnetische Abschirmung:** Untersuchungen haben ergeben, dass Photovoltaikmodule im Bereich der gängigen Kommunikationsfrequenzen eine Abschirmung bewirken, ohne dass sie speziell dafür entwickelt wurden.
- **Sichtschutz:** Verglasungen mit integrierten Solarzellen wirken durch die Spiegelung von aussen wie ein einseitiger Sichtschutz. Ausserdem können semi-transparente Module als Licht streuende Elemente eingesetzt werden.

Gegenüber lediglich „aufgesetzten“ Solarsystemen (Aufbau) bringt der Einsatz von wirklich integrierten Anlagen (Einbau) einige zusätzliche Vorzüge mit sich, wie zum Beispiel:

- Verbesserte Ästhetik
- Überzeugende Multifunktionalität der Gebäude(haut): Stromproduktion, Lichtmanagement, Lärmreduktion, Temperaturregulierung, etc.
- Kostensenkungspotenzial dank Lösung durch volle Integration der Photovoltaikanlage in die Gebäudehülle, da die Photovoltaikmodule an die Stelle bisheriger Bauelemente treten können
- Erhöhte Sicherheit und Schutz vor Vandalismus und Diebstahl

Technologie contra Ästhetik?

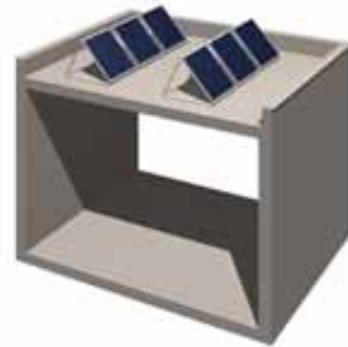
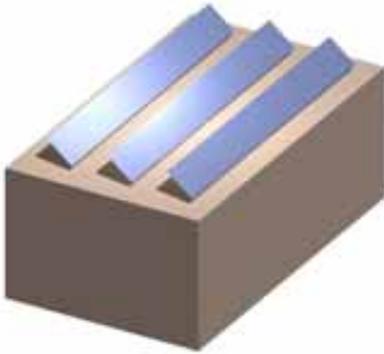
Die Erfahrung zeigt, dass einzelne Baugesuche mit Solaranlagen in erster Instanz abgewiesen werden unter dem Hinweis, dass die Erscheinung nicht zufrieden stellend sei. Eine Gemeinde im Kanton Freiburg hat beispielsweise ein ungünstiges Gutachten erteilt, da der Einbau der Solaranlage in keiner Art und Weise dem Artikel 155 des Raumplanungs- und Baugesetz entspricht (RPBG). Gemäss Art. 155 Abs. 1-3 RPBG „muss jede Baute nach den Regeln der Kunst entworfen sein und in architektonischer Hinsicht eine zufrieden stellende Erscheinung bilden. Sie muss den besonderen Charaktermalen einer Landschaft oder Siedlung, einer Ortschaft, eines Quartiers oder einer Strasse sowie dem charakteristischen Eigenwert eines Gebäudes oder einer Gebäudegruppe Rechnung tragen. Die Bauten, welche hinsichtlich ihrer Natur, ihrer Lage und ihrer Ausmasse einen bedeutenden Einfluss auf ihre Umgebung haben, müssen erhöhten architektonischen Qualitätserfordernissen entsprechen.“

Zwei Trends haben in den letzten Jahren dazu beigetragen, dass juristische Auseinandersetzungen abgenommen haben. Einerseits werden mit der zunehmenden Verbreitung von Solaranlagen diese nicht mehr als „Fremd“-Körper wahrgenommen (Gewöhnungseffekt). Andererseits haben sich Technologie und Entwurfsprozess verbessert, so dass mittlerweile eine grosse Anzahl an angepassten, ästhetisch überzeugenden Lösungen möglich ist.

Die verschiedenen Elemente der Gebäudehülle – Flachdach, Schrägdach und Fassaden mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften – verlangen und erlauben unterschiedliche architektonische Lösungen.

Die Abbildungen 1 bis 25 zeigen in schematischer Darstellung die Vielfalt der Integrationsmöglichkeiten:

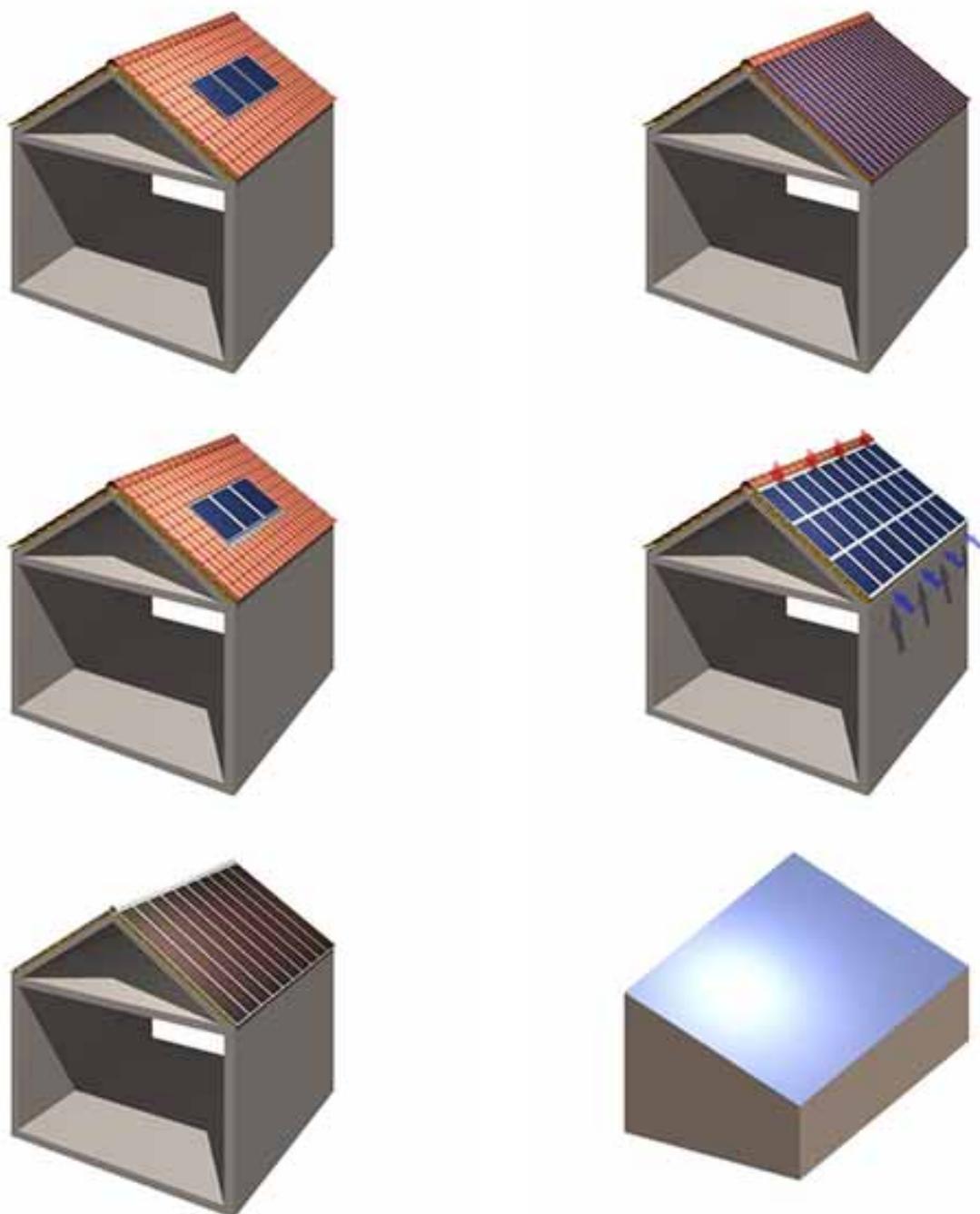
- Montage auf Flachdächern: Abbildungen 1 bis 4
- Montage auf Schrägdächern: Abbildungen 5 bis 10
- Montage auf Fassadenflächen: Abbildungen 11 bis 18
- Montage auf Sheddächern: Abbildungen 19 bis 21
- Spezialanwendungen: Abbildungen 22 bis 25



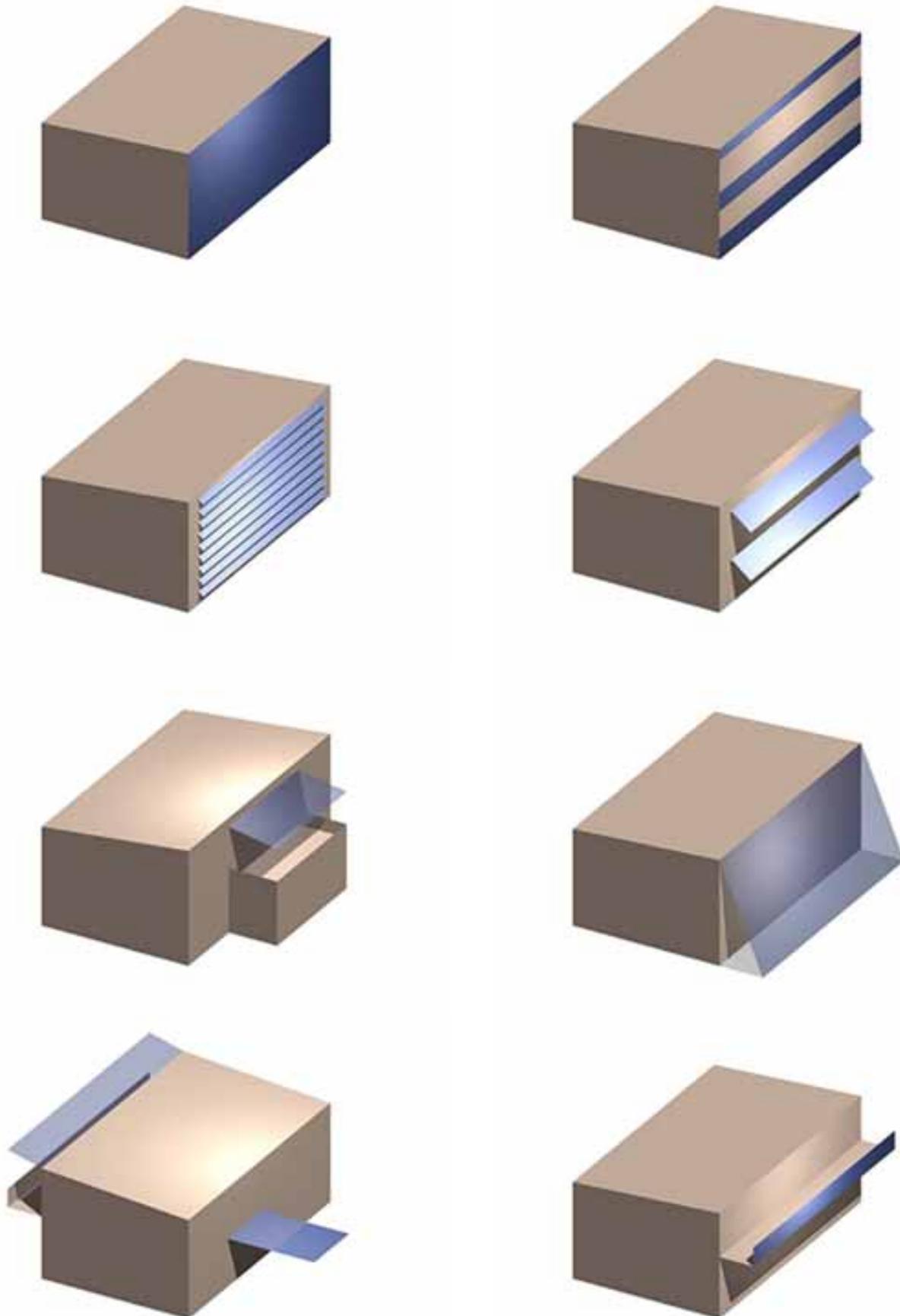
Abbildungen 1 bis 3: **Montage- und Integrationsmöglichkeiten für Flachdächer.** Für Flachdächer stehen unterschiedliche Tragstrukturen zur Verfügung. Die Auswahl reicht von selbsttragenden Montagesystemen mit Schwerlastverankerung bis zu dachverbundenen Montagesystemen mit Direktverankerung. Für die unterschiedlichen Flachdachtypen mit unterschiedlicher Beschaffenheit (Konstruktion, Dichtheit, Belastbarkeit, etc.) gibt es angepasste Lösungen. Zusätzlich gibt es Kunststoffbahnen mit Photovoltaikelementen (s. Abb. 34 und 35). Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



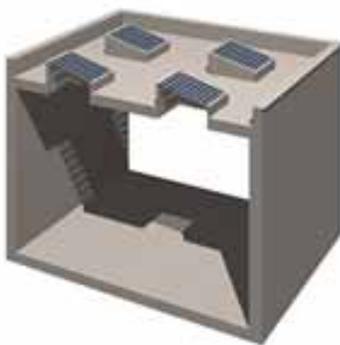
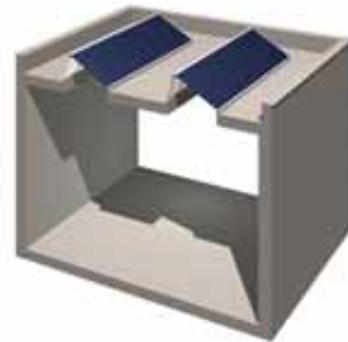
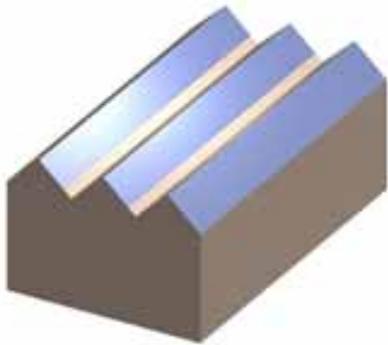
Abbildung 4: **Parasol.** Mit der Parasollösung können Aufbauten auf dem Flachdach aktiv in die Montagestruktur von Photovoltaikanlagen integriert werden. Dies erlaubt einerseits, das nutzbare Flächenpotenzial zu steigern, andererseits kann hier auch eine Doppelnutzung beabsichtigt werden. Mit entsprechender Ausgestaltung werden die Solarmodule zu einer stromgewinnenden Pergola. Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



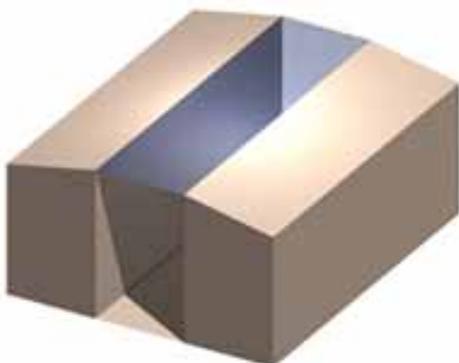
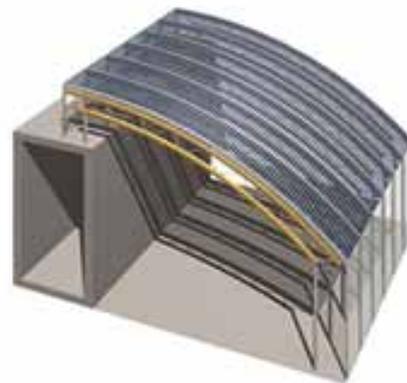
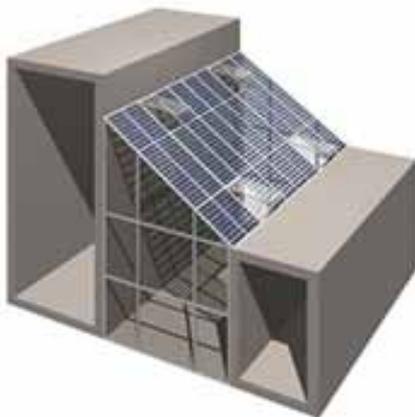
Abbildungen 5 bis 10: **Montage- und Integrationsmöglichkeiten für Schrägdächer.** Für Schrägdächer stehen unterschiedliche Montagesysteme zur Verfügung. Die Hauptunterscheidung erfolgt in Indach- und Aufdachlösungen. Aufdachlösungen stellen die Abbildungen in der obersten Reihe dar – hier wird die Dachhaut belassen und die Solarmodule werden so montiert, dass sie die Dachziegel nicht beschädigen. Bei der Indachlösung übernehmen die Solarmodule die Funktion der Dachhaut. Die Abbildungen 6 und 8 stellen solche Indachlösungen dar. Schliesslich können die solaraktiven Flächen mit Metallfalzdächer kombiniert werden oder Spezialmodule werden flächendeckend als Dachhaut eingebaut. Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



Abbildungen 11 bis 18: **Montage- und Integrationsmöglichkeiten für Fassaden.** Photovoltaikmodule können in Teilflächen oder in die gesamte Fläche, semi-transparent oder volldeckend, vertikal oder angewinkelt, direkt in die Fassade oder in die Vorbaustruktur integriert werden. Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



Abbildungen 19 bis 21: **Montage- und Integrationsmöglichkeiten für Shed- und Lichtdächer.** Sheddächer können ebenfalls photovoltaisch genutzt werden. Dabei kann die Multifunktionalität der Module voll genutzt werden kann: Stromgewinnung, Lichtregulierung, Verminderung der Überwärmung, etc. Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



Abbildungen 22 bis 25 (unten): **Spezialanwendungen.** Für verschiedene Flächen am Gebäude gibt es weitere Formen der Integration, vom Atrium über Spezialmembrane bis Veranden. Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



Abbildung 26: **Einbau- oder Indachlösung.** Quelle: Ecofys Niederlande



Abbildung 27: **Aufbau- oder Aufdachlösung.** Quelle : BE Netz, Luzern



Abbildung 28: **Vollflächige Indachlösung.** Quelle: Eneco, Mönchaltorf



Abbildung 29: **Teilflächige Aufdachlösung.** Quelle: M. Gutschner, Freiburg i. Ue.



Abbildung 30: **Dachintegration Freestyle mit Dünnschichtzellenmodulen in Lutry (VD).** Das neue Einfamilienhaus wurde mit integrierten Dünnschichtzellenmodulen gebaut. Die Photovoltaikanlage (5,5 kW) ist vom Boden aus nicht erkennbar. Quelle: NET, St. Ursen



Abbildung 31: **Aufgeständerte Gründachlösung in Zürich.** Solgreen Montagestruktur erlaubt eine angepasste Lösung (Abstand zur Dachfläche, Fixierung der Unterkonstruktion auf dem Dach) auf dem Gebäude der Zürcher Wohn- und Baugenossenschaft. Quelle: NET, St. Ursen



Abbildungen 32: **Fassadenintegration in Lausanne.** Studierendenheim Rhodanie mit fassaden-integrierten Photovoltaikanlagen in farblich auffälliger und gefälliger Komposition. Quelle: Services Industriels de Lausanne



Abbildung 33: **Solarstromanlage auf Sheddach des Gewerbeparks Felsenau in Bern.** Die Photovoltaikanlage produziert mit einer installierten Leistung von 250 kW rund 225'000 kWh Premium Solar Strom für Energie Wasser Bern (ewb). Quelle: S.A.G. Solarstrom, Bern



Abbildung 34: **Solare Beschattungsanlage am Flughafen Zürich-Kloten.** Die BesucherInnenenterrasse ist mit einer Photovoltaikanlage überdacht. Quelle: unique / Ralph Bensberg



Abbildung 35: **Vordach-integrierte Photovoltaikanlage in St-Sulpice (VD).** Die Familie Probst setzt auf Sonnenenergie. Das photovoltaische Vordach schützt vor zu starker Einstrahlung und produziert gleichzeitig Solarstrom. Quelle: Solstis, Lausanne



Abbildungen 36 bis 43: **Tragstrukturen für Module auf Flachdächern.** Verschiedene Leicht- und Schwergewichtslösungen, die auch teilweise für Gründächer eingesetzt werden können. Abgebildet sind (vlnr) die Modelle Solbac, Solmax, ConSole, Amax, Alustand, Sofrel98, Sofrel95 und Solgreen. Quellen: Enecolo, Mönchaltorf (36, 40 bis 43) / Solstis, Lausanne / Ecofys, Niederlande / Amax, Gland / Alustand, Cham,



Abbildung 44: **"Integration" – kritisches Beispiel aus dem Richenbachtal (BE).** Die zierliche Hütte nahe Rosenlauri (BE) zieht die Blicke vor allem wegen der Treicheln und dem urchigen Look an. Aber der zweite Blick stösst sich an der Art und Weise, wie das mittlere Modul angeordnet ist. Böte das Dach eine bessere Integration, ohne grossen Minderertrag zu erleiden? Würde eine symmetrische Anordnung mit einer geraden Anzahl Module an der Dachkante nicht harmonischer wirken? Quelle: M. Gutschner, Freiburg i.Ue.



Abbildung 45: **"Integration" – kritisches Beispiel aus Krailling (D).** Das gut gemeinte Engagement der HausbewohnerInnen ist spürbar. Dennoch stellt sich die Frage, ob die Kollektoren und Module nicht ästhetischer integriert werden können. Rechtfertigt der energetische Mehrertrag durch erhöhte Neigung der solaraktiven Flächen diese Aufständerei? Quelle: M. Gutschner, Freiburg i.Ue.

Jedes Gebäude, ob Um- oder Neubau, muss technischen und gestalterischen Anliegen gleichermaßen genügen. Es empfiehlt sich, bereits zu Planungsbeginn Energiefachleute und gestalterisch geschulte Fachleute beizuziehen. Dank zeitlicher Abstimmung und zufrieden stellender Ästhetik können damit Schwierigkeiten und Verzögerungen vermieden werden. Mögliche Schwierigkeiten können verschiedene Ursachen haben.

- a) Einerseits bringen die Beteiligten (Ingenieure, Architekten, Bauherren, Baukonsortiumsleiter, Behörden, etc.) bei komplexeren Projekten verschiedene Vorstellungen mit ein. Bezüglich Art der Installation und Integration sollen deshalb die technischen, ästhetischen und prozessualen Erfordernisse möglichst frühzeitig gemeinsam geklärt werden.
- b) Andererseits gerät die Ästhetik wegen verschiedener Ansichten und Interpretationen in Einzelfällen zu einer juristischen Angelegenheit.

Für (juristische) Auseinandersetzungen gibt es hauptsächlich zwei Gründe.

- a) Vorschriften verlangen in der Regel ein „zufrieden stellendes Erscheinungsbild“ respektive einen „zufrieden stellenden Gesamteindruck“ für Solaranlagen auf üblichen Bauten. Für geschützte Bauten gelten entsprechend höhere Qualitätsansprüche. Schwierigkeiten entstehen, wenn die Behörden oder Nachbarn zu strenge Anforderungen stellen.
- b) Der Bauherr ist in der Regel davon überzeugt, dass er durch die Installation einer Solaranlage etwas Gutes tut. Dies ist prinzipiell richtig, aber Schwierigkeiten folgen, wenn die guten Absichten nicht mit einer ästhetisch überzeugenden Installation umgesetzt werden.

Beide Anliegen - die gestalterische Sorgfalt und Respekt vor bestehender Bausubstanz einerseits und die Nutzung der Sonnenenergie und umweltfreundliche Energiegewinnung andererseits - sind für einen gelungenen Entwurfsprozess ausreichend zu berücksichtigen.



Abbildungen 46 und 47: **Neubau Bürogebäude in Manno (TI)**. Der Neubau des Bürogebäudes Suglio umfasste von Beginn an verschiedene Photovoltaiksysteme (Flachdach, Dachbrüstung und Fassade) im Gesamtenergiekonzept. Quelle: Enecolo, Mönchaltorf



Abbildungen 48 bis 50: **Renovation und innovatives Design beim niederländischen Energieforschungszentrum.** Bei Renovationsarbeiten und beim Anbau sind insgesamt 102,9 kW Solarkraft integriert worden. Die Bilder zeigen eine Innen- und Aussensicht des geschwungenen, semi-transparenten Photovoltaikdaches sowie eine Sicht (von oben) auf die Module der Photovoltaikfassade. Quelle: ECN, Niederlande / BEAR Architecten, Niederlande



Abbildung 51: **Renovation der Mehrfamilienhäuser mit Photovoltaik in Zürich.** Die Baugenossenschaft hat bei den Renovationsarbeiten der Mehrfamilienhäuser mehrere Photovoltaikanlagen in die Schrägdächer integriert. Quelle: Enecolo, Mönchaltorf



Abbildung 52: **Leichte und robuste Last fürs Perrondach im Hauptbahnhof Zürich.** Bedingt durch die leichte Bauweise des Perrondaches sind dessen statische Reserven äusserst gering. Die gesamte Solarstromanlage durfte lediglich 9 kg/m^2 Zusatzlast auf das Dach aufbringen. Weiter musste die Wasserdichtigkeit des mit 7° Grad geneigten Blechdaches gewährleistet werden. Trotzdem ist die mechanische Festigkeit und Stabilität bezüglich Wind- und Schneelast gesichert, und die gesamte Anlage hat ihre mechanische Feuerprobe in den Weihnachtsstürmen 1999 mit Erfolg absolviert. Quelle: energiebüro Zürich

Empfehlungen des Schweizer Heimatschutzes zu Bauten mit Photovoltaik

Der Schweizer Heimatschutz hat für verschiedene Bauten und Situationen einige Empfehlungen formuliert, namentlich für:

- I. Neubauten
- II. Bestehende Bauten
- III. Schützenswerte Bauten, Ortsbilder oder Landschaften

I. Allgemeine Empfehlungen für Neubauten

- 1) Bereits im Entwurfsprozess sind Solaranlagen unbedingt als wichtiges Element der Architektur mit einzubeziehen. Orientierung, genaue Funktion, Dimension und Gestaltung der Solaranlage üben einen grossen Einfluss auf das Erscheinungsbild des Neubaus aus.
- 2) Solaranlagen sind als eigenständiges Gestaltungselement zu behandeln und nicht als beliebiges Zubehörteil.
- 3) Die Gestaltung eines Daches (mit oder ohne Solaranlage) ist Teil der Entwurfsarbeit, genauso wie eine Fassade, und mit gleicher Sorgfalt auszuführen.
- 4) Neben der Energiegewinnung können Solaranlagen gleichzeitig andere Funktionen übernehmen (zum Beispiel als Vordach, Sonnenschutz oder Gebäudehaut) und somit selbstverständlicher Teil des Gebäudes werden.

II. Allgemeine Empfehlungen für bestehende Bauten

- 1) Besonders bei Fassaden- und Dachrenovierungen können mit der nötigen gestalterischen Sorgfalt überzeugende Lösungen gefunden werden. Auch hier gilt, die Installation von Solarzellen gesamthaft zu planen und die Solarzellen als Gestaltungselement zu verstehen.
- 2) Der ästhetische Anspruch trifft auch auf das Einrichten steckerfertiger Kompaktsysteme zu. Solche Installationen sind ebenfalls von Gestaltungsfachleuten zu planen und realisieren. Das nachträgliche Montieren einer Solaranlage sollte nur dann ins Auge gefasst werden, wenn Fachleute vorgängig alternative Möglichkeiten geprüft haben.
- 3) Für Solaranlagen geeignet sind Baukörper und Bauteile, die sich bereits vom Kerngebäude absetzen, wie: Sonnenblenden, Treppenhäuser, Aufzüge, Brüstungen, Attiken, Garagen etc.

III. Allgemeine Empfehlungen für schützenswerte Bauten, Ortsbilder oder Landschaften

- 1) Baudenkmäler stellen bauphysikalisch und ästhetisch ein intaktes Gefüge dar. Letzteres gilt auch für Ortsbilder und Landschaften. Bereits ein kleiner Eingriff kann stark beeinträchtigen.
- 2) Als erstes gilt es deshalb abzuklären, ob nicht auch andere Arten der Gewinnung von erneuerbarer Energie (zum Beispiel Holz) in Frage kommen, die auf die Ästhetik des Objektes und der Umgebung geringeren Einfluss nehmen als Solaranlagen.
- 3) Weiter ist der Einkauf von Solarenergie bei einer Solarstrombörse zu prüfen.
- 4) Solaranlagen an schützenswerten Objekten müssen die Ausnahme bleiben. Oft ist ein Verzicht die beste Lösung, vor allem bei Bauten vor 1920. Jüngere Gebäude bieten in der Regel mehr Spielraum für nachträgliche Eingriffe.
- 5) Solaranlagen können nur unter Einhaltung untenstehender Kriterien vertretbar sein.
 - a) Ausgewiesene Fachleute für Gestaltung wurden beigezogen.
 - b) Es wurde Entwurfsarbeit auf höchstem Niveau geleistet.
 - c) Die Installation auf einem weniger wertvollen Nebengebäude wurde seriös geprüft.
 - d) Die Solarzellen entwerten das schützenswerte Objekt in keiner Art.
 - e) Der Umgebungsschutz des Objektes bleibt gewahrt.

Info: <http://www.heimatschutz.ch>



Abbildung 53: **Gemeinsam zur Photovoltaikanlage in der Dorfkerzone Wettingens (AG).** Dach und Solaranlage bilden eine flächendeckende Einheit beim renovierten Gebäude der SKK in Wettingen (AG). Auf Grund des Standorts in der Dorfkerzone sind bei der Planung die wichtigen Akteure mit den Behörden zusammengekommen und haben Lösungen unter Einhaltung des Ortsbildschutzes erarbeitet und umgesetzt. Quelle: Hans-Dietmar Koepfel, SKK Landschaftsarchitekten AG, Wettingen



Abbildung 54: **Solarstromanlage und Heimatschutz in Bern.** Das Lokomotivdepot in Bern erhält natürliches Tageslicht durch die semi-transparenten Oberlichter und viel Lob vom Schweizer Heimatschutz für die gelungene Integration der Solartechnologie in den schützenswerten Bau. Quelle: NET, St. Ursen

Die Solarstrahlung auf der Erde setzt sich aus direkter und diffuser Strahlung zusammen. Die direkte Strahlung kommt sozusagen direkt von der Sonne, ohne dass sie abgelenkt worden wäre. An klaren Tagen besteht die Solarstrahlung zu einem sehr hohen Teil aus direkter Strahlung. Die Solarstrahlung kann auf ihrem Weg zur Erde durch Wolken, Dunst, Staub, etc. abgelenkt und gefiltert werden. Bei entsprechend bewölktem oder nebligem Wetter ist die Strahlung deutlich weniger intensiv und besteht (fast) ausschliesslich aus diffusem Licht. Die meisten Siedlungsgebiete in der Schweiz erhalten eine Solarstrahlung, die je hälftig aus direktem und diffusem Licht zusammengesetzt ist.

In den meisten Anwendungen wird ein grösstmöglicher Ertrag übers Jahr hinweg angestrebt (s. „Solarstrompotenzial“). Der Maximalertrag wird normalerweise über eine optimale Ausrichtung a) gegen Süden mit b) einer Neigung zwischen 25° und 50° erreicht. Da der diffuse Anteil in der Schweiz häufig 50% und mehr des eingestrahlichten Lichts ausmacht, können Solarmodule gute bis sehr gute Erträge erzielen, selbst wenn die Ausrichtung zum Teil erheblich von der idealen Ausrichtung abweicht (s. Abb. 55). Photovoltaische Anlagen haben den Vorzug, dass sie selbst bei diffuser und wenig intensiver Strahlung Solarstrom produzieren können.

Lokal können Klima oder Horizont speziellere Einstrahlungsbedingungen mit entsprechend anderen Optima schaffen.

Beispiele hierfür sind äusserst regelmässiger Morgennebel oder steile Hänge. Häufig überschätzen potenzielle NutzerInnen diese negativen Effekte durch die „nicht-sichtbare Sonne“, ab und zu werden die Module deshalb gar falsch ausgerichtet. Eher unterschätzt werden hingegen die Effekte durch Teilverschattung (s. „Verschattung“ unten). Der Einbezug von ExpertInnen und / oder Solarprogrammen wie METEONORM und PVSYST können hier helfen.

Die optimale Ausrichtung kann durch weitere spezifische Faktoren bestimmt sein. Wird beispielsweise ein möglichst hoher Anteil an Winterstrom gewünscht, so empfiehlt sich ein steilerer Anstellwinkel. Der Extremfall - 90°, also vertikal – entspricht den Fassaden. Diese haben einen verhältnismässig hohen Anteil an Winterstrom, dafür fällt ihr gesamter Jahresertrag geringer aus. Eine vertikal integrierte Fassadenanlage erzielt etwa 70% der maximalen jährlichen Solareinstrahlung. Dieser Ertrag kann deutlich gesteigert werden, indem die Solarmodule angewinkelt eingesetzt werden, z.B. als Sonnenschutz. Trotz der üblicherweise weniger hohen Erträge von Fassadenanlagen können diese interessant sein, insbesondere wegen erhöhter Visibilität und Multifunktionalität.

Fazit: Die Ausrichtung ist wichtig, aber häufig unkritisch, so dass der gestalterische Akzent auf eine optimale Integration gesetzt werden kann.

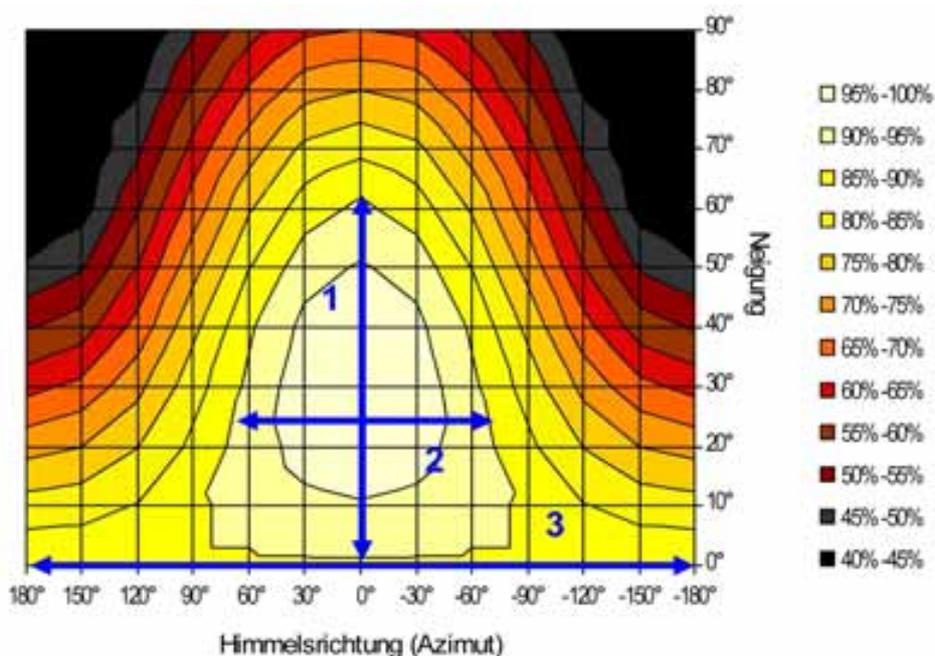


Abbildung 55: **Weiter Anwendungshorizont.** Jährliche Einstrahlung in % des Maximums für den Standort Genf-Cointrin, dargestellt in Abhängigkeit der Himmelsrichtung (0° Azimut = Süd) und Neigung (0° = horizontal; 90° = vertikal). Der hellgelbe Bereich umfasst die Flächen mit hohem Solarertrag von über 90% des Maximums. Die blaue Achse 1 zeigt, dass eine südlich ausgerichtete Fläche den hohen Ertrag mit einem Neigungswinkel zwischen 2° und 62° erreicht. Die Achse 2 steckt die Spannweite von Westsüdwest (67°) bis Ostsüdost (-67°) ab, in der eine um 25° geneigte Dachfläche ebenfalls das hohe Solarertragskriterium erfüllt. Der sattgelbe Bereich umfasst die Flächen mit gutem Solarertrag von 80 bis 90% des Maximums. Quelle : ScanE Genève / NET, St. Ursen, Rohdaten Meteonorm, Bern

Die potenzielle Verschattung durch Nachbargebäude, Dachaufbauten, Bäume und Topografie verdient im Entwurfsprozess besondere Aufmerksamkeit. Bereits eine Teilverschattung der Solaranlage kann zu beträchtlichen Einbußen führen. Deshalb ist es wichtig, Verschattungen zu vermeiden oder so gering wie möglich zu halten. Für die Solararchitektur im Allgemeinen und die Photovoltaik im Speziellen können Standort und Wachstum der Bäume zu bedeutsamen Beeinträchtigungen führen - die richtige Gestaltung des begrünten Raums bringt Vorteile für Klima, Ästhetik und Energienutzung.

Für Verschattungsanalysen stehen einfache und effiziente Hilfsmittel zur Verfügung. Bei verschattungskritischen Situationen können verschiedene Lösungen in Betracht gezogen werden, wie beispielsweise Verkabelung (d.h. Aufteilung in elektrisch unabhängige Teilfelder), Verwendung weniger verschattungssensibler Zellen und / oder bestimmter Anordnungen von Solarmodulen oder - bei besonderen ästhetischen Vorgaben - Einbau von Dummy-Modulen. Dummy-Module sehen aus wie echte Solarmodule und ermöglichen ein harmonisches Erscheinungsbild.

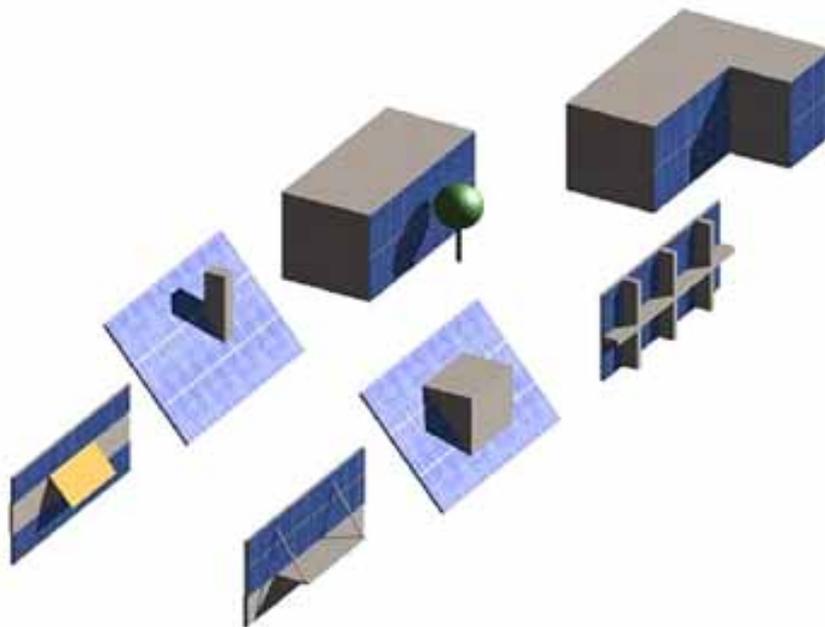


Abbildung 56: **Verschattung droht nicht nur von den „Nachbarn“.** Das Gebäude selbst kann kleinere und grössere Elemente (Kamine, Markisen, Satellitenschüsseln, etc.) aufweisen, die zu Verschattung führen. Die verschatteten Flächen sind zu (ver)meiden. Aus ästhetischen Gründen können beispielsweise Dummymodule (Module mit identischer Oberfläche, aber ohne elektrotechnische Ausstattung) eingesetzt werden. Quelle: IEA-PVPS, Design M.ART



Abbildungen 57 und 58: **Die Umgebung muss bei der Planung unbedingt berücksichtigt werden.** Bäume wachsen... und dies beträchtlich während der Lebensdauer der Photovoltaikanlage von rund 25 Jahren. Eine schöne und abgestimmte Gestaltung des begrünten Raums berücksichtigt auch das Wachstumsmuster der verschiedenen Baumarten durchs Jahr (z.B. Laub- und Nadelbäume) und über die Jahre. Die abgebildeten Beispiele sind nicht nachahmenswert. Quelle: ECN, Niederlande



Abbildungen 59 und 60: **Verschattungshorizont.** Der verschattungsrelevante Horizont kann beispielsweise mit dem Instrument „horizon“ erfasst und mittels Solarplanungssoftware ausgewertet werden. Quelle: energiebüro Zürich

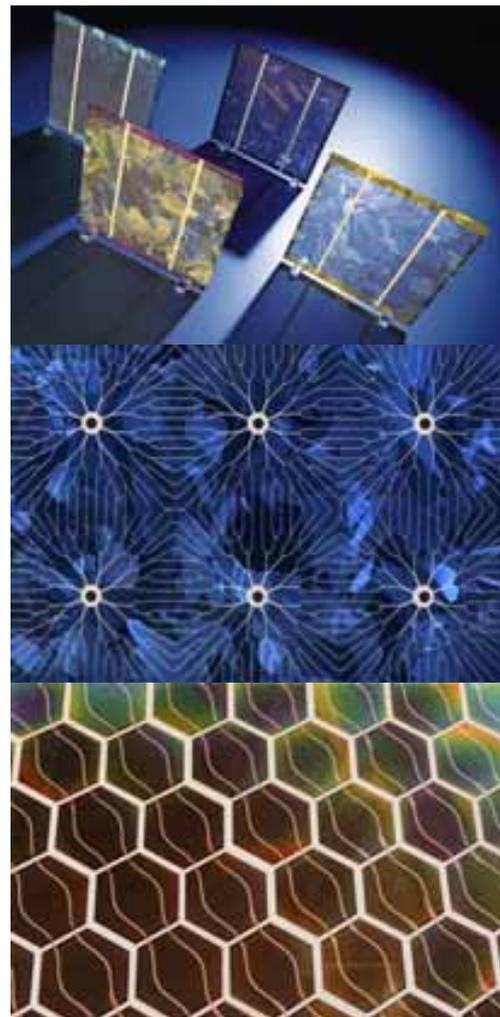
VI. Auswahl der Elemente und Kreativität

Photovoltaikmodule bieten vielfältige Möglichkeiten als Ver-
glasungs-, Dach-, Wand-, Brüstungsverkleidungs- oder Be-
schattungselement. Für eine angepasste und / oder kreative
Architektur gibt es eine breite Palette an Formen, Farben,
Größen, Strukturen und Erscheinungsbild (auch opak oder
teiltransparent).

In technologischer Hinsicht spielen bei der Dimensionierung
der Anlage die unterschiedlichen Wirkungsgrade der verschie-
denen Solarzelltechnologien eine besondere Rolle. Das Sorti-
ment an Zellen, Modulen und Produktdesign (z.B. Parkuhren)
erweitert sich fortwährend. Eine Auswahl findet sich in den
folgenden Abbildungen.



Abbildung 61: **Solarmodule.** Die Auswahl bietet verschiedene Größen, Rahmen, Oberflächen, Form und Solarzellen. Quelle: ECN, Niederlande



Abbildungen 62 bis 65: **Vielfältige Solarzellen.** Die Auswahl an polykristallinen Solarzellen wächst in Form und Farbe. Der Photovoltaikmarkt bietet auch semi-transparente, unterschiedlich gefärbte und / oder strukturierte Solarzellen an. Ebenso können unterschiedliche Solarzellformen und -farben für vielfältige architektonische und ästhetische Ansprüche kundenspezifisch entworfen werden. Quelle: Saint Gobain Glass Solar, Deutschland / Sunways, Deutschland / ECN, Niederlande / Astrid Schneider, Solar Architecture Berlin



Abbildungen 66 und 67: **Flexible Solarmembrane.** Flexible Dachlaminatlösungen mit Photovoltaik. Das Anbringen von Solarmembranen erfolgt gemäß üblichen Standards und Techniken. Die Membrane werden aus der Transportkiste herausgehoben, auf die vorgesehene Stelle gelegt und danach mit der Unterlage verschweisst. Die flexiblen Elemente können für den Transport standardmässig auf Rollen ausgeliefert werden. Quelle: Laboratorio Energia Ecologia Economia (LEEE)



Abbildungen 68 und 69: **Solardachplatten**. Solardachplatten auf Hochregallager in Triengen (LU). Auf dem Flachdach werden in Form eines Umkehrdaches Solardachplatten verlegt, welche aus einer 5 cm dicken Isolationsschicht und je 2 rahmenlosen Solarmodulen bestehen. Die Anlage hat eine Leistung von 62,4 kW. Quelle: Zagsolar Kriens (LU)



Abbildungen 70 bis 75: **Parkuhren im öffentlichen Raum**. Parkuhren mit verschiedenen, dem lokalen Bedarf und Geschmack angepassten Designlösungen und mit einem gemeinsamen Vorteil: aufwändige Arbeiten für den Anschluss ans Stromnetz entfallen. Die obere Bildreihe zeigt Anlagen aus der Stadt Freiburg i.Ue. Selbst an relativ lichtarmen Standorten vermag das Solarmodul genügend Energie zur Versorgung der Parkuhr zu produzieren. In Freiburg i.Ue. ist die mittlere, vollintegrierte Variante am meisten verbreitet. Die untere Bildreihe zeigt solare Parkuhrmodelle aus Deutschland. Quelle: M. Gutschner, Freiburg i.Ue. / Schlumberger, Fraunhofer ISE Freiburg, Deutschland

Sowohl für die Fassaden- wie auch für die Dachintegration bestehen zahlreiche Tragstrukturen. Bei der Dachintegration gibt es Ein- und Aufbau-Varianten. Beim Einbau funktionieren die Photovoltaikmodule ebenfalls direkt als Dachhaut. Bei bestehenden Dächern erfolgt häufig der Aufbau, d.h. die Module werden auf einen Tragrahmen aufgesetzt. Bei Flachdächern schliesslich stehen für die unterschiedlichen Typen (Konstruktion, Dichtheit, Belastbarkeit, etc.) verschiedene Sockel zur Verfügung.

Die vorhergehenden Abbildungen (36 – 43) zeigen eine Palette von Unterkonstruktionen für Solarmodule auf Flachdächern sowie die beiden grundsätzlichen Integrationslösungen von Einbau (Indach) und Aufbau (Aufdach).

Ein umsichtiger Umgang bei Auf- und Einbauten verringert den Aufwand von Material, Zeit und Kosten. Zusätzliche Kosten können minimiert werden, wenn beispielsweise:

- der Ablaufprozess und Zeitplan für die Installation im gesamten Bauvorhaben optimiert wird;
- herkömmliche Arbeiten und Instrumente verwendet werden können (Verwendung des Baukrans für vorgefertigte Photovoltaikmodule), oder
- die Anlage so integriert wird, dass die elektrotechnischen Anschluss- und Wartungsarbeiten (Verkabelung, Wechselrichter, etc.) gut zugänglich sind und im Innern vorgenommen werden können.

VIII. Wärme und Hinterlüftung

Das thermische Verhalten der Solarzellen unterscheidet sich je nach Solarzellentechnologie. Eine Hinterlüftung empfiehlt sich beispielsweise bei kristallinen Solarzellen, da sich mit steigenden Temperaturen die Effizienz um einige Prozentpunkte mindern kann. Für die unterschiedlichen Integrationsysteme gibt es verschiedene Lösungen, die zu einer wirksamen Belüftung führen.

Bei anderen Solarzellentechnologien wie beispielsweise bei Solarmembranen auf Basis von Dünnschichttechnologien (s. Abb. 38 und 39) wird teilweise die thermische Isolation empfohlen. Hier wird die solaraktive Fläche unmittelbar mit der Gebäudehaut verschweisst.

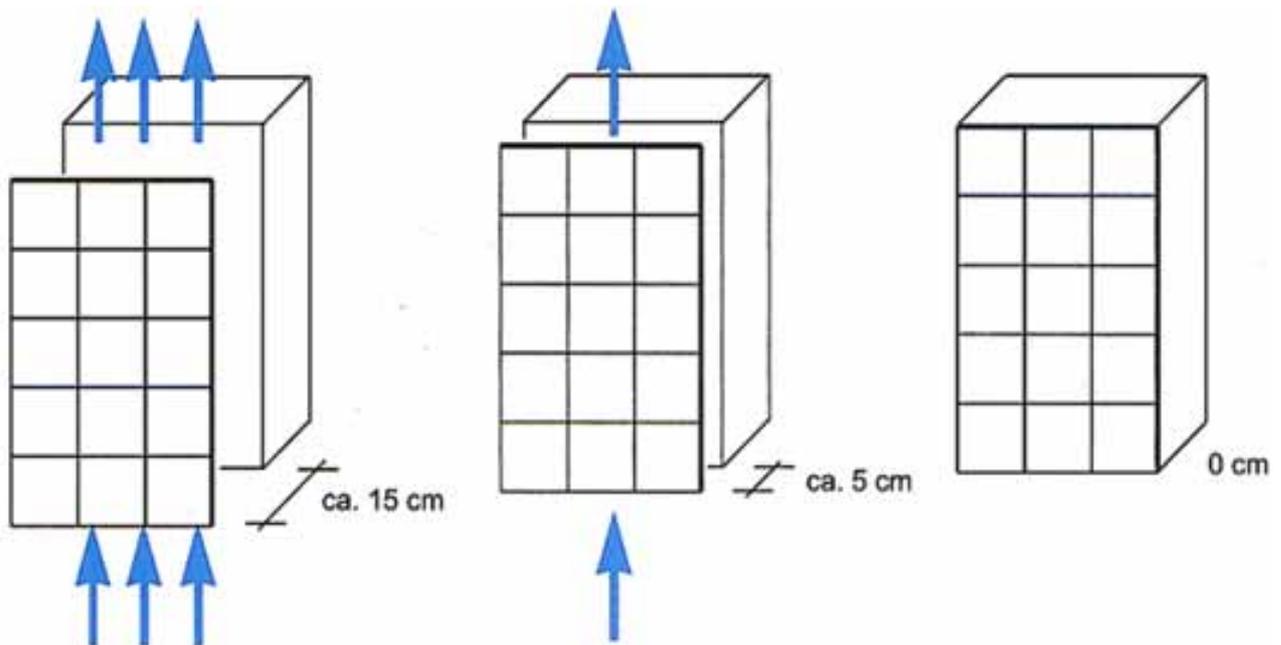


Abbildung 76: **Kristalline Solarzellen mögens kalt.** Eine gute Hinterlüftung kühlt die Solarzellen, was zu einem höheren Wirkungsgrad führt. Je nach Installation kann die Abwärme zusätzlich für den Energiehaushalt des Gebäudes genutzt werden. Das Beispiel zeigt, dass vorgehängte Fassaden dank guter Hinterlüftung optimale Ertragsbedingungen ermöglichen. Quelle : IEA-PVPS

Für den Netzanschluss gibt es nebst allgemeinen behördlichen Verordnungen häufig lokale Vorschriften. Das lokale Stromversorgungsunternehmen ist hier der richtige Ansprechpartner.

Bei der Platzierung und beim Einbau ist darauf zu achten, dass die elektrotechnischen Geräte (Wechselrichter, Zähler, etc.) an einem trockenen, gut zugänglichen Ort angebracht werden.

X. Versicherung und Sicherheit

Die Solaranlage ist normalerweise über die Gebäudeversicherung versichert. Selbstverständlich wird eine professionelle Installation erwartet, bei unsachgemässen Arbeiten ergeben sich übliche Regressrechte der Versicherungen.

Solarmodule können begehrt sein - eine einwandfreie Integration verringert deutlich das Diebstahlrisiko. Das Vandalismusrisiko ist vermindert, wenn die exponierte „Graffiti-Zone“ vermieden wird (z.B. die ersten 3 m Fassadenhöhe ab Boden).

XI. Kommunikation, Design und Image

Photovoltaikanlagen sind abgesehen vom optischen Aspekt eher unauffällige Installationen. Die Solaranlagen können angepasst integriert und frei von umweltschädlichen Emissionen – also ohne Lärm noch Abgase - betrieben werden. Photovoltaikanlagen weisen dank dieser Eigenschaften ein positives Image auf. Das gute Image wird gerne genutzt und punktuell auch in ein auffälliges, modernes und nachhaltiges Design umgesetzt.

Photovoltaikanlagen können so an ein weiteres Publikum oder einem speziell ausgesuchtem Zielpublikum gezeigt werden. Zusätzlich kann vor Ort beispielsweise ein interaktiver Info-Service Auskünfte geben. Die Informationen können allgemeine Angaben zur Technologie oder aktuelle Einstrahlungs- und Produktionszahlen vermitteln. Diese Anzeigetafeln können auch „versteckte Anlagen“ indirekt sichtbar machen.



Abbildung 77: **Solarbaum.** Kunstvolle Gestaltung eines Solarbaums (7 kW) im Zentrum des Städtchens Gleisdorf (A). Quelle: Stadt Gleisdorf, Österreich



Abbildung 78: **Experimentelles Bauen mit Photovoltaik.** Bau und Anlage (1 kW) im dänischen Friland. Quelle: Energimidt Danmark



Abbildungen 79 und 80: **Solare Fensterläden.** Aussen- und Innenansicht der innovativen und solaraktiven Flügel der Fensterläden. Die Photovoltaik Elemente des Einfamilienhauses mit Passivhaustechnologie in Pratteln (BL) weisen eine Gesamtleistung 3,1 von kW auf. Quelle: R. Miloni, Mülligen



Abbildung 81: **Bankgebäude mit nachhaltigem Design.** Innenaufnahme der Bayerischen Landesbank in München (D). Die installierte Leistung beträgt insgesamt 68 kW. Quelle: Saint Gobain Glass Solar, Deutschland



Abbildung 82: **Bürogebäude mit markantem Design.** Bürogebäude mit auffälliger Architektur und Photovoltaik in Den Haag (NL). Quelle: Saint Gobain Glass Solar, Deutschland



Abbildung 83: **Lichtdurchflutete Vorhalle.** Die semitransparente Photovoltaikanlage der STM in Plan-les-Ouates (GE) erzeugt ein angenehmes Ambiente und jährlich 25'000 kWh Solarstrom. Quelle: AMA Group / Engeco Synergies, Italien



Abbildung 84: **Photovoltaik als Kunst.** Künstlerischer Aus- und Eindruck mit dem Sonnensegel. Dieses steht beim Psychiatriezentrum in Münsingen (BE). Quelle: NET, St. Ursen



Abbildung 88: **Europas grösstes fassaden-integriertes Solarkraftwerk steht in Bern Wittigkofen.** Mit einer Leistung von 80 kW ist die Photovoltaikanlage in Wittigkofen seit 1998 das grösste fassaden-integrierte Solarkraftwerk Europas. Der Solarstrom wird von Energie Wasser Bern (ewb) an ÖkostromkundInnen verkauft. Quelle: NET, St.Ursen



Abbildungen 89 und 90: **Photovoltaik - mal auffällig, mal diskret.** Feuerwehredepos im Vergleich. Das Design der Feuerwehrrhalle im niederländischen Houten hat verschiedene Akteure dazu bewogen, sich beim Projekt (finanziell) zu engagieren. In Köniz (BE) ist die Photovoltaikanlage eher diskret auf dem Dach angebracht. Quelle: Samyn & Partners / R. Schropp, Niederlande / M. Gutschner, Freiburg i. Ue.

Impressum

Herausgeber: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern, <http://www.admin.ch/bfe>

Realisation und Layout: NET Nowak Energie & Technologie, CH-1717 St. Ursen, <http://www.netenergy.ch>

Veröffentlichung April 2006