

A photograph showing a building facade with a grid of photovoltaic panels integrated into the structure, set against a blue background.

Gebäudeintegrierte Photovoltaik Teil 1

**Technologiestatus, Erfahrungen, Best Practice-Beispiele und
Visionen der GIPV Technologie**

Eine Studie im Auftrag des
Österreichischen Klima- und Energiefonds
Oktober 2009

Vorwort

Weltweit befindet sich die Photovoltaik seit vielen Jahren in einer anhaltenden Aufbruchsstimmung. Jährliche durchschnittliche Wachstumsraten von 40 % haben die Photovoltaik- (PV) Industrie zu einer ernstzunehmenden Industrie gemacht. Selbst zu Zeiten der Krise, in der andere Industrien zusammenbrechen, wird das Wachstum lediglich gebremst.

Österreich hat von diesem globalen solaren Aufbruch bislang wenig profitiert. Die Vorzeichen stünden jedoch gut, um auch hierzulande in das solare Zeitalter aufzubrechen.

- Die solaren Einstrahlungswerte übertreffen jene von europäischen Nachbarn zum Teil signifikant (z. B. Deutschland)
- Die Akzeptanz der PV in der Bevölkerung ist hervorragend
- Es gibt qualifizierte KMU, die Installationen vornehmen könnten, viele neue Arbeitsplätze wären die Folge
- Es gibt viele verwandte Industrien, für die die PV ein neues Geschäftsfeld sein könnte (z. B. Glasindustrie)
- Moderne Architekturlösungen haben in Österreich einen hohen Stellenwert

Die Voraussetzungen für eine breite Durchdringung der PV in Österreich wären gegeben. Besonders interessant für die PV-Entwicklung sind gebäudeintegrierte PV-Lösungen (GIPV). Sie sind die Lösungen der Zukunft. Die Stromerzeugung wird selbstverständlicher Teil des Gebäudes. Baumaterial wird durch PV-Module ersetzt. Die PV wird durch ihre ästhetische Einbindung in das Gebäude noch attraktiver und findet durch Architekten einen weiteren Multiplikator. Für Österreichs Industrie eröffnet sich eine neue Chance. GIPV ist ein relativ neuer Industriezweig, der sich durch große potenzielle Exportmärkte kennzeichnet.

Intelligente GIPV-Lösungen (wie etwa in Fertighäusern) machen die solare Stromerzeugung nicht teurer, sondern durch Skaleneffekte und Standardisierung sogar billiger. GIPV-Lösungen symbolisieren - wie keine andere Sparte der erneuerbaren Energien - den Aufbruch in das Solarzeitalter und eignen sich damit sowohl für Unternehmen als auch für die öffentliche Hand zur Vermittlung eines grünen Images.

Jetzt geht es für Österreich darum, den Anschluss an die weltweite Entwicklung bei der Photovoltaik nicht zu verpassen. Es ist absehbar, dass die Entwicklung in den kommenden Jahren mehr und mehr an Dynamik gewinnt, neue, riesige Märkte erschlossen, neue Technologien zur Senkung der Produktionskosten beitragen werden und mit dem Erreichen der Netzparität die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaik gegeben sein wird.

Der Klima- und Energiefonds sieht es als seine Aufgabe, rechtzeitig den Aufbau eines dynamischen Heimmarktes mit entsprechenden Marktstrukturen und damit die österreichische Wirtschaft bei der Schaffung von Arbeitsplätzen der Zukunft zu unterstützen. Einen erfolgversprechenden Weg stellt die Spezialisierung Österreichs auf GIPV dar. Der Klima- und Energiefonds fördert diese Entwicklung durch spezielle GIPV-Förderungen für private Ein- und Zweifamilienhäuser und durch die Förderung von schlüsselfertigen GIPV-Fertighäusern.

Es sind jedoch noch wesentlich größere Anstrengungen notwendig. Um eine fundierte Basis für diesen Aufbruch zu schaffen, hat der Klimafonds die vorliegende Studie „Gebäudeintegrierte Photovoltaik“ in Auftrag gegeben. Teil 1 der Studie beschäftigt sich vor allem mit den Vorteilen und Anwendungsformen der gebäudeintegrierten PV. Teil 2 widmet sich den strategischen Aspekten einer

Spezialisierung auf GIPV in Österreich und zeigt die volkswirtschaftlichen Chancen und Auswirkungen auf. Auf diesem Wege soll die Studie Hilfestellung für Richtungs- und Investitionsentscheidungen sowohl für Industrie und KMU und angesprochene Berufsgruppen, wie etwa Architekten, als auch für Bauherren bieten.



DI Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhalt

	Kurzfassung	6
01	Photovoltaik Kurzportrait	7
02	Warum Photovoltaik?	8
03	Warum Gebäudeintegrierte Photovoltaik?	9
04	Was versteht man unter gebäudeintegrierter Photovoltaik (GIPV)?	11
05	Technische Möglichkeiten der PV Gebäudeintegration	12
5.1	PV-Integration in Schrägdächer	13
5.2	PV-Integration in Flachdächer	13
5.3	PV-Integration in Außenwände/Brüstungen	14
5.4	PV-Integration in Glasfassaden	15
5.5	PV-Integration in Oberlichtern	15
5.6	PV-Integration in Sonnenschutztechniken	16
06	Aktueller Status von GIPV in Österreich	17
6.1	Status der GIPV in Österreich anhand ausgewählter Best-Practice-Beispiele	17
07	Erfahrungen von Akteuren mit GIPV in Österreich	20
7.1	Erfolgreiche Beispiele aus der international agierenden österreichischen Industrie	20
7.2	Im Bereich der Modul- und Zellproduktion in Österreich aktive Firmen	21
08	Technische und wirtschaftliche Aspekte der Planung von GIPV-Anlagen	22
8.1	Effizienzverluste durch GIPV	22
8.1.1.	Ertragsverluste durch eine nicht optimale Neigung und Ausrichtung	22
8.1.2.	Ertragsverluste durch Verschattung	23
8.1.3.	Ertragsverluste durch hohe Temperaturen	24
09	Richtlinien und Normative Bestimmungen für GIPV	25
9.1.	Baurechtliche Richtlinien	25
9.2.	Denkmalschutz	25
9.3.	Brandschutz	25
9.4.	Wärme- und Schallschutz	25
9.5.	Elektrotechnische Normen	26
9.6.	Normen für den Einsatz von Glas im Bauwesen	26

10	Kosten einer Photovoltaik-Fassade	27
11	Fertighäuser und GIPV – eine perfekte Synergie?	31
11.1.	Vorteile und Kosteneinsparungspotenziale im Fertighaus	31
11.2.	Die Vision im Fertighaus: Kostensenkung durch GIPV – GIPV wird zum Motor der Energiewende.	33
11.3.	Was braucht's? Voraussetzungen für die GIPV im Fertighaus	33
11.4.	Fertighaus und Investitionskosten von Photovoltaikanlagen	35
11.5.	Stärkung der österreichischen Fertighausindustrie	35
12	Beschaffungsprozess und Standardisierung in der GIPV	36
12.1.	Beschaffungsprozess und Vertriebsstruktur	36
12.2.	Kosteneinsparung durch Standardisierung	37
13	Beispiele neuer, futuristischer Lösungen, die den Aufbruch in das Solarzeitalter symbolisieren	39
14	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	41
	Literatur	42

Kurzfassung

Photovoltaik befindet sich weltweit auf einem imposanten Entwicklungspfad: Jährliche Wachstumsraten von bis zu 100 % (d. h. eine Verdoppelung des Markts) und das Übertreffen nahezu aller Szenarien der letzten Jahre machen deutlich, dass diese Solarstromtechnologie auf dem besten Weg ist, sich als eine der wesentlichen Stromquellen für die Zukunft zu etablieren.

Für Österreich stellt diese globale dynamische Entwicklung eine große Chance dar: In einem Technologieland, wie es Österreich ist, sollte es innovativen Unternehmen gelingen, zumindest einige Nischen im Bereich dieser neuen Technologie erfolgreich am Weltmarkt zu besetzen. Das Erscheinungsbild moderner Architektur in der Form von „Gebäudeintegrierter Photovoltaik (GIPV)“ ist das sichtbare Symbol für die notwendige Energiewende hin zu einem dauerhaft kreislauffähigen Energiesystem, das möglichst vollständig auf erneuerbaren Energien aufgebaut ist.

Prognosen zufolge wird der weltweite Markt für gebäudeintegrierte Photovoltaik von derzeit etwa 1,6 Milliarden USD bis 2016 auf rund 8,7 Mrd. USD ansteigen. Gebäudeintegrierte Photovoltaik bedeutet die Substitution von Fassaden- und Dachelementen bzw. eine Erweiterung der Gebädefunktionalität (Sonnen-schutz, Schallschutz etc...). Dabei ist davon auszugehen, dass im Jahr 2050 nahezu die gesamte Photovol-taik, die in Verbindung mit Gebäuden installiert wird, gebäudeintegriert ausgeführt sein wird. In Österreich gibt es bereits heute einige Beispiele von gebäudeintegrierter Photovoltaik, die internationale Beachtung finden und auf denen nun aufgesetzt werden sollte. International wird davon ausgegangen, dass die Preise für Zellen und Module noch signifikant zurückgehen werden. Ein beträchtlicher Teil der Kosten wird jedoch auch durch die Planung und Installation verursacht – besonders bei der GIPV.

Fertighäuser sind ein wichtiger Ansatz, um GIPV kostengünstig realisieren zu können. Ein Gesamtansatz, der langfristig die Integration der PV in die Fertighausmodelle der Zukunft mit sich bringt und zu einer nachhaltigen Integration von PV in die Marketing-, Produkt- und Vertriebsstrategien der Fertighausherst-ler führt, benötigt aber auch einen vergleichbar langfristig planbaren Fördermechanismus und ein stabiles Marktumfeld. Wegweisende Leuchtturmprojekte aus der internationalen Welt zeigen die Richtung, in die sich die Architektur im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung bewegt. Die vollständige Integration der Pho-tovoltaik ist dabei ein unverzichtbarer Bestandteil.

GIPV darf niemals isoliert betrachtet werden, sondern muss stets in der Gesamtheit der Gebäudeenergie-versorgung inklusive Gesamtarchitektur, verwendete Baumaterialien (LCA, ...), Nutzerverhalten, etc. ge-sehen werden. Dennoch kann und soll der Aspekt der optischen Sichtbarkeit und damit der Signalwirkung der GIPV keinesfalls unterbewertet werden. In dieser Studie werden die Möglichkeiten aufgezeigt, die die „Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)“ für Österreich bietet.

Ausgehend vom aktuellen Status des Einsatzes der GIPV wird ihr grundsätzliches technisches Anwen-dungspotenzial dargestellt. Darüber hinaus werden beispielhaft bereits realisierte Anlagen vorgestellt. Als sichtbares und gestalterisches Element eröffnet die gebäudeintegrierte Photovoltaik der Architektur und der Wirtschaft im Bereich der Gebäudetechnologien die Möglichkeit, Signale für die erforderliche Energie-wende zu setzen. Ebenfalls werden die Herausforderungen, Chancen, aber auch die Barrieren in puncto Design, Planung, Finanzierung und Realisierung derartiger Anlagen diskutiert sowie Best Practice-Erfah-rungen aus dem internationalen Raum beschrieben.

01. Photovoltaik Kurzportrait

Photovoltaik ist eine Halbleitertechnologie, die durch das Auftreffen von Sonnenstrahlen auf dem Solarpanel das Licht direkt in elektrischen Strom umwandelt.

Der Wirkungsgrad einer derartigen Anlage beträgt typischerweise etwa 10-12 %, wodurch bei guten Einstrahlungsbedingungen von 1000 Watt pro m² etwa 120 Watt pro m² gewonnen werden können. Damit lassen sich etwa zehn Energiesparlampen betreiben. Für den Betrieb eines Mikrowellenherds sind kurzzeitig etwa 5 m² erforderlich. Das öffentliche Stromnetz stellt indessen einerseits den Speicher dar, wenn die erzeugte Strommenge nicht benötigt wird. Andererseits wird zu Zeiten ohne Sonnenschein der Strom von diesem bezogen. Da über das Jahr gesehen in Mitteleuropa etwa 1000 bis 1300 kWh pro m² eingestrahlt werden, muss ein Vier-Personen-Einfamilienhaus etwa 30 m² Photovoltaikfläche aufweisen, um über das gesamte Jahr dieselbe Menge Strom zu erzeugen, die im Haushalt verbraucht wird.

Die Elemente sind wetterfest und halten den typischen Beanspruchungen an einer Gebäudehülle zumindest etwa 30 Jahren stand. Die elektrischen Erträge nehmen dabei nach 20 Jahren durchschnittlich um etwa 10 % ab. Diese sehr generellen Aussagen gelten allerdings nur für Module, die eine Prüfung nach einer internationalen Norm (z. B. IEC 61215 für kristalline Module) aufweisen. Typische Garantienzeiten der Modulhersteller liegen bei 25 Jahren und bei 80 % der ursprünglichen Leistung. Weltweit sind derzeit etwa 15.000 MW Photovoltaik im Einsatz. Dies entspricht einer Fläche von etwa 150 km² – davon allein etwa ein Drittel in Deutschland.

02. Warum Photovoltaik?

Die Stromerzeugung aus Sonnenlicht über den photovoltaischen Halbleitereffekt hat sich in den letzten Jahren von einer Nischenanwendung zu einem enormen Weltmarkt mit einem Jahresumsatz von etwa 30 Milliarden Euro entwickelt.

Photovoltaik stellt eine der faszinierendsten Möglichkeiten dar, ohne laufende Rohstoffzufuhr, ohne bewegte Teile sowie ohne Lärm und Geruch im Betrieb elektrischen Strom herzustellen. Der für die Produktion überwiegend eingesetzte Rohstoff Silizium ist das zweithäufigste Element auf der Erde. Die Verfahren zur Herstellung sind industrieübliche Prozesse, die bei Einhaltung der Auflagen als ökologisch unbedenklich gelten. Die Akzeptanz der Anwendung ist grundsätzlich sehr hoch und geht von unauffälligen stromerzeugenden Gebäudeteilen bis hin zu architektonisch künstlerischen Effekten. An der Einbindung bedeutender Mengen an Solarstrom in das öffentliche Stromnetz wird zudem intensiv gearbeitet¹.

Photovoltaik befindet sich weltweit auf einem imposanten Entwicklungspfad: Jährliche Wachstumsraten von bis zu 100 % (d. h. eine Verdoppelung des Markts) und das Übertreffen nahezu aller Szenarien der letzten Jahre machen deutlich, dass diese Solarstromtechnologie auf dem besten Weg ist, sich als eine der wesentlichen Stromquellen für die Zukunft zu etablieren.

Da als nahezu einziges Gegenargument der derzeit noch gegenüber anderen Stromerzeugungsarten erhöhte Preis verbleibt, der sich darüber hinaus seit Beginn der Entwicklung kontinuierlich nach unten bewegt hat, haben viele überwiegend öffentliche Institutionen in diversen Ländern und Regionen begonnen, dieser Technologie bis zur erwarteten Kostenvergleichbarkeit Unterstützung zukommen zu lassen. Diesem Umstand ist es auch zu verdanken, dass seit rund zehn Jahren das weltweite jährliche Wachstum bei durchschnittlich etwa 40 % liegt, wobei im letzten Jahr sogar ein Rekordwachstum von erstmals fast 100 % zu verzeichnen war.

Für Österreich als Technologieland bedeutet diese weltweit dynamische Entwicklung eine große Chance: So sollte es innovativen Unternehmen gelingen, zumindest einige Nischen im Bereich dieser neuen Technologie erfolgreich am Weltmarkt zu besetzen. Die ersten Industriebetriebe haben es bereits erfolgreich vorgemacht. Das Potenzial ist aber noch wesentlich höher.

Photovoltaik trägt wesentlich dazu bei, eine höhere Energieaufbringung im Inland und damit eine größere Energieunabhängigkeit vom Ausland zu erreichen. Dies bezieht sich sowohl auf politische Sicherheitsfaktoren, wie eine mögliche Unterbrechung der Erdgas- oder Ölzufuhr, als auch auf die finanzielle Unabhängigkeit im Hinblick auf längerfristig unkalkulierbare Preise für fossile Energien.

¹ Zum Beispiel IEA Photovoltaic Power Systems Programme – Task 14, High Penetration of Photovoltaic Systems in Electricity Networks (www.iea-pvps.org)

03. Warum gebäudeintegrierte Photovoltaik?

Die zusätzliche Nutzung von Gebäudeoberflächen als stromerzeugende Kraftwerke ist ein Weg, den ein Land mit einer jahrhundertelangen Bautradition im Sinne einer modernen, zukunftsorientierten Architektur einfach einschlagen muss. Daher ist es vordringlich, Maßnahmen zu setzen, um der gebäudeintegrierten Photovoltaik in Österreich frühe Impulse zu geben, diesen speziellen Zweig der Photovoltaik vorrangig in Österreich zu entwickeln und Unternehmen speziell in dieser Sparte die Chance zu geben, sich am Weltmarkt zu positionieren.

Laut Prognosen wird der weltweite Markt für GIPV von derzeit etwa 1,6 Milliarden USD bis 2016 auf rund 8,7 Mrd. USD ansteigen².

Diese Studie soll all jene Aspekte beleuchten, die erforderlich sind, um in Österreich die Weichen für die breite Einführung gebäudeintegrierter Photovoltaik zu stellen, denn eine erfolgreiche Entwicklung der Wirtschaft wird nur gelingen, wenn entsprechende Erfahrungen aus einem wachsenden Heimmarkt die Innovationstätigkeit dauerhaft beleben.

Das Erscheinungsbild moderner Photovoltaikarchitektur ist das Symbol für die notwendige Energiewende hin zu einem dauerhaft kreislauffähigen Energiesystem, das vollständig auf erneuerbaren Energien aufgebaut ist.

Die Verfügbarkeit von Flächen für die Solarenergie-„Ernte“ bis zu einem Ausmaß von zumindest einem Viertel des österreichischen Gesamtstrombedarfs ist allein auf Dächern und Fassaden gegeben. Eben diese mögliche Doppelnutzung bestehender baulicher Strukturen ist es, die einen strukturierten Zugang zur gebäudeintegrierten Photovoltaik erforderlich macht.



AKS DOMA Solartechnik

² Building-Integrated Photovoltaics Markets 2009 and Beyond, NanoMarkets, LC.

Gebäudeaußenteile werden zukünftig neben ihrer Grundfunktion (Wetterschutz, Sonnenschutz, Schallschutz, ...) noch die weitere Funktionalität der Stromproduktion erhalten – zumindest all jene Bereiche, die wenigstens zeitweise der Sonnenstrahlung ausgesetzt sind. Damit ergibt sich für Architektur, Wohn- und Industriebau, Investoren und Planer, für Hersteller von Gebäudekomponenten (Fassaden, Dächern, Fenstern, Sonnenschutzeinrichtungen, Verglasungen, ...) und andere an Bauprozessen Beteiligte eine neue Situation: Neue Lösungen für eine technische, wirtschaftliche und ästhetische Integration von Photovoltaik in die Gebäude müssen entwickelt und zur Standardanwendung werden.

Diverse Beispiele weltweit existierender Lösungen können dazu als Modelle herangezogen werden. Einerseits ist die integrative Gebäudeanwendung für die Photovoltaik ein Weg, um dieser Technologie mittels hoher Akzeptanz rasch zum Durchbruch zu verhelfen. Andererseits erhöht die Gebäudebranche den Stellenwert ihrer „Produkte“, indem Gebäude zukünftig auch kleine Kraftwerke darstellen und somit zu einem Teil der Energieinfrastruktur werden. Damit stehen Gebäude vor der Aufgabe, neben der Funktionalität und Ästhetik auch ein Energiebedarfsminimum und ein Stromerzeugungsoptimum zu erreichen. Daher stehen sie im Zentrum der erforderlichen nachhaltigen Energiewende, die von einer signifikant erhöhten Energieeffizienz und einer dezentralisierten Erzeugungsstruktur gekennzeichnet sein wird.

Diesen bevorstehenden Wandel rechtzeitig zu erkennen und frühzeitig die eigene strategische Positionierung in diesem Segment zu definieren, bietet Chancen, die keinesfalls unterschätzt werden sollen.

jährliche GIPV Neuinstallation in MW

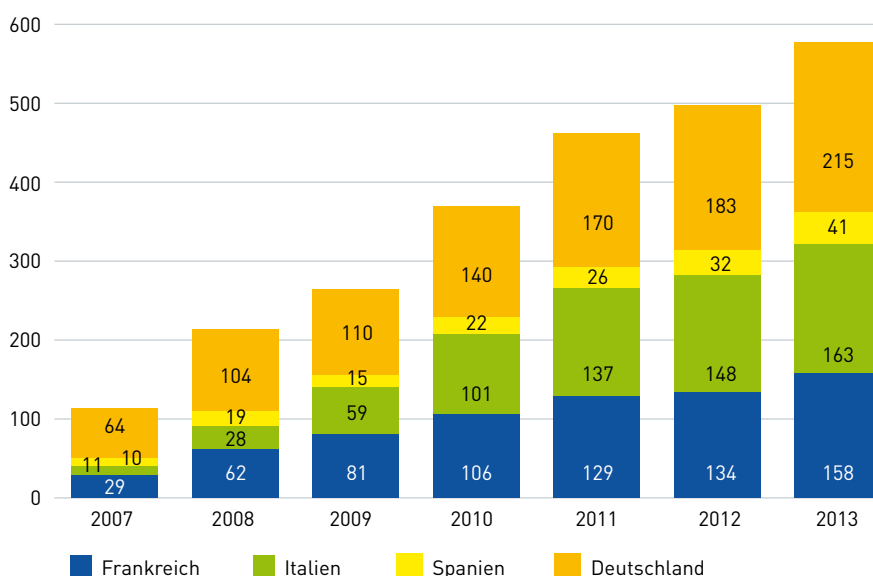


Abb. 3.1.

Jährliche GIPV Neuinstallationen in europäischen Ländern mit guter Photovoltaik-Entwicklung
(Sulfurcell GmbH)³

³ Kuhn E. Tillman et.al., FhG-ISE Freiburg, Funktion und Ästhetik sind die bestimmenden Faktoren, in Sicht und Sonnenschutz, 7-8 2009

04. Was versteht man unter gebäudeintegrierter Photovoltaik (GIPV)?

Im europäischen Raum kursieren unterschiedliche Definitionen, die mehr oder weniger weit von einander abweichen. Eine allgemeingültige Begriffsbestimmung von PV-Gebäudeintegration lässt sich dabei nur schwer festlegen, da einerseits die physische Integration eines PV-Systems in ein Gebäude betroffen ist, andererseits aber auch das gesamte Erscheinungsbild und „Image“ des PV-Systems im Gebäude. Generell kann gesagt werden, dass wirkliche Integration bedeutet, dass das System einen Teil des Designs bildet und nicht nur einen physischen Teil eines Gebäudes⁴.

Aus technischer Sicht versteht man unter GIPV Photovoltaikelemente, die neben der Produktion von elektrischer Energie auch noch andere Funktionen im Gebäude oder in einzelnen Bauteilen übernehmen (gilt beispielsweise für Österreich, Deutschland und die Schweiz).

Die wesentlichsten Funktionen sind:

- Wetterschutz
- Abschattung (Sonnenschutz)
- Dämmung
- Schallschutz
- Ästhetik
- Klimatisierung
- Belichtungseffekte
- Wärmeschutz

Oftmals werden GIPV-Elemente auch bloß über optische Aspekte definiert. Dabei passen sie sich farblich an das Gebäude an, übernehmen aber nicht zwangsweise zusätzliche Funktionen.

Im Jahr 2007 wurde für den deutschen Raum ein Normentwurf herausgegeben, (DIN VDE 0126-21 „Photovoltaik im Bauwesen“), in dem genaue Anforderungen an die Sicherheit, Produktnachweise für die Bauprodukterichtlinie, Qualität und Zuverlässigkeit der elektrischen Eigenschaften, Planung und Montage sowie ergänzende anwendungsspezifische Anforderungen für gebäudeintegrierte Module festgelegt wurden.

⁴ Quelle: IEA PVPS Task 7, R. Haas et al., 2003

05. Technische Möglichkeiten der PV Gebäudeintegration

Bei der Integration in einen neuen oder bereits bestehenden Gebäudeteil muss Anpassarbeit an Material, Konstruktion, Form des Gebäudes, strukturelle Erscheinung, Ähnlichkeit, Harmonie und vieles mehr geleistet werden. Daher sollte es das Ziel jeder Planung, sowohl im Fassaden- als auch im Dachbereich, sein, eine möglichst weitreichende konstruktive und gestalterische Einbindung in das Gebäude zu erreichen. Zu einer grundsätzlichen Kategorisierung zur baukonstruktiven Integration lassen sich drei Möglichkeiten zusammenfassen, die nebeneinander existieren und Ansätze für Weiterentwicklungen darstellen:

- **Integrationsstufe I:** Applikation (visuelle Integration) – additive Einbindung
- **Integrationsstufe II:** Konstruktive Addition – Substitution
- **Integrationsstufe III:** Konstruktive Integration – Vollintegration

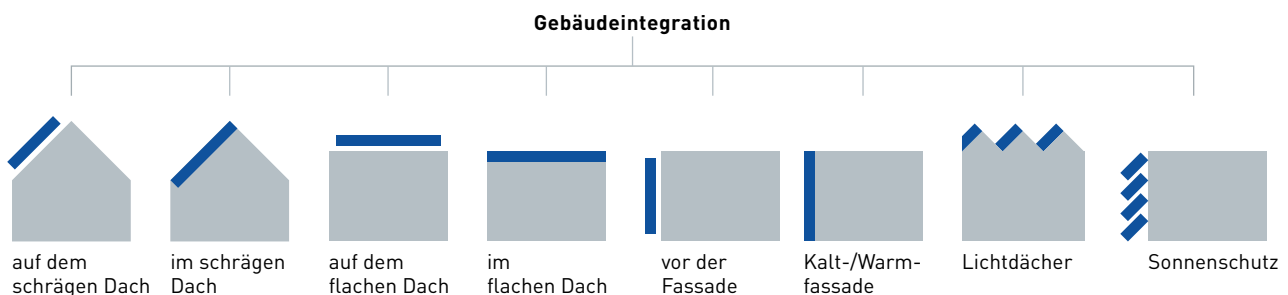


Abb. 5.1. Möglichkeiten der Gebäudeintegration

Die Integrationsstufe I umfasst diejenigen Anwendungen, bei denen die PV-Module zusätzlich vor oder über der eigentlichen Gebäudehülle angebracht (appliziert) werden. Dies bietet sich vor allem bei einer nachträglichen Installation an einem bestehenden Gebäude an. Bis auf wenige (konstruktiv nötige) Punkte geht die Anlage dabei keine weitere bauliche Verbindung mit dem Gebäude ein, wodurch keine wesentlichen Veränderungen am bestehenden Baukörper und den Funktionen der Gebäudehülle erforderlich sind. Das Hauptaugenmerk liegt hier auf der äußerlichen Einbindung. Im Gegensatz zu den anderen Integrationsstufen, die eine separate äußere Haut (Vorhangfassade) benötigen oder als Fensterverglasung dienen, ist auf dieser Stufe keine spezielle Fassadenart erforderlich.

Auf der Integrationsstufe II werden die PV-Module als Bestandteil der Gebäudehülle gesehen und sind konstruktiv mit dem Bauwerk verbunden. Indem sie als Witterungsschutz dienen, übernehmen sie die Hauptaufgabe der äußersten Schicht. Die PV-Module werden dabei als Elemente einer Kaltfassade ausgeführt.

Übertragen auf die Architektur bedeutet gebäudeintegrierte Photovoltaik als höchste Stufe der Integration (Integrationsstufe III) die Substitution von Fassaden- und Dachelementen.

PV-Module sind Bestandteile einer Warmfassade oder der Dacheindeckung. Als Bestandteile der Gebäudehülle übernehmen sie all deren Funktionen, wie beispielsweise Wetter-, Wärme-, Sonnen- und Schallschutz.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die unterschiedlichen Integrationsmöglichkeiten näher behandelt.

5.1. PV-Integration in Schrägdächer

In der Vergangenheit waren Dachform und -deckung hauptsächlich durch klimatisch regionale Bedingungen, die verfügbaren Baustoffe sowie handwerkliche Traditionen bestimmt. Heute gibt es jedoch eine Vielfalt an Dachtragwerkskonstruktionen und Dachdeckungsarten, die für nahezu jeden Bauplatz verfügbar sind. Die Auswahl der jeweiligen Form und Eindeckung orientiert sich dabei vornehmlich an Moden sowie individuellen gestalterischen Wünschen und Architekturauffassungen.

Schrägdächer bieten sehr gute Möglichkeiten für die Integration von PV-Modulen, da sie

- in der Regel keiner zusätzlichen Nutzung dienen,
- für österreichische Breitengrade oftmals bereits eine zur Sonne hin vorteilhaft geneigte Fläche aufweisen und
- ihre exponierte Lage vielfach die einzige Möglichkeit darstellt, einen ungehinderten Zugang zum Sonnenlicht zu sichern (vor allem in Städten mit dichter Bebauungsstruktur).

Die häufigste PV-Konstruktion bei Schrägdächern ist die Aufdachmontage, bei der Standardmodule durch die intakte Dachhaut hindurch in der tragenden Konstruktion verankert werden. Bei der Installation stellt die Dichtigkeit der Dachhaut einen wesentlichen Aspekt dar. Neue Techniken integrieren daher den PV-Generator in die Dachhaut. Für den Ersatz bzw. die Integration von PV-Zellen in Schrägdächern eignen sich indes Dachziegel, Dachsteine, Faserzementplatten, Metalldächer und Bitumenschindeln.

Bei der Integration in Schrägdächer müssen im Normalfall keine gravierenden Veränderungen an der Dachkonstruktion vorgenommen werden, da übliche PV-Module über eine geringe Bautiefe bzw. ein geringes Flächengewicht verfügen. Ist eine Luftschicht in den Dachaufbau integriert, spricht man von einer Kaltdachkonstruktion, die sich aufgrund des möglichen Wärmeabtransports von der Zellhinterseite und der damit verbundenen Wirkungsgradsteigerung besser für die Einbindung von PV eignet als Warmdachkonstruktionen.

5.2. PV-Integration in Flachdächer

Flachdächer bilden im Vergleich zu geneigten Dächern ein sehr junges gestalterisches Element der mitteleuropäischen Architektur. Am Anfang blieben diese Dachflächen häufig ungenutzt, doch heute übernehmen sie zunehmend weitere Aufgaben. In dicht besiedelten Städten sind sie ein willkommener Ersatz für fehlende Frei- und Grünflächen mit direktem Sonnenlicht. Da der Einsatz von PV auf Flachdächern nicht zur GIPV zählt, wird auf diesen allerdings nicht näher eingegangen.



Integration in Schrägdach, Solardachziegel
Fa. SED
(www.energytech.at)



Integration in Schrägdach
(Fa. Prefa)



Integration in Schrägdach
(Energetica Energietechnik GmbH)



Flachdach-Montage, Volksschule Mils
(ATB Becker)

5.3. PV-Integration in Außenwände/Brüstungen

Außenwände bieten zwei entscheidende Vorteile: Einerseits bilden sie die größten Flächen eines Gebäudes und andererseits sind sie meist für keine andere Nutzung bestimmt. Vor allem durch die sichtbaren Flächen erweisen sie sich aus gestalterischen Überlegungen als besonders geeignet. Die zumeist senkrechte Anordnung der Wandflächen bietet jedoch keine günstigen Einstrahlungsbedingungen für eine PV-Stromproduktion (nur ca. 70 % Ertrag). Durch besonders einfache und kostensparende Integrationsweisen, durch große Flächen ohne andere Verwendung oder aber auch durch die Werbewirkung/Imagefunktion werden diese Nachteile allerdings ausgeglichen. Neben der Integration durch Addition soll hier besonders die Integration der PV durch den Ersatz konventioneller Wandmaterialien beschrieben werden. Deren Ersatz ist aber nur dann sinnvoll, wenn gewährleistet ist, dass die Wand

- modular aufgebaut ist,
- eine Demontage leicht zulässt,
- eine Hinterlüftung der Module erlaubt und
- keine mechanischen Kräfte auf die Module weitergeleitet werden.

Daraus ergibt sich, dass hauptsächlich mehrschalige Wandkonstruktionen mit einer hinterlüfteten Außenwandverkleidung aus vorgehängten modularen und austauschbaren Elementen verwendbar sind. Die PV-Elemente müssen dabei die Schutzfunktionen der Außenschicht übernehmen. Materialien für Außenwände, die sich für die Integration mit PV-Zellen eignen, sind Ziegel, Faserzement, Natursteine, Metalle, Glas oder Kunststoffe, wenn diese hinterlüftet und mittels einer Metallunterkonstruktion und Halterungsklammern verankert sind.

Neben Außenwänden besteht auch die Möglichkeit, PV-Elemente in Brüstungen zu integrieren. In diesem Fall übernehmen die Module den Sicht- und Wetterschutz und nutzen zusätzlich die Sonne zur Stromproduktion. Seit geraumer Zeit arbeitet die Glasindustrie mit Modulherstellern zusammen, um durch innovative Verfahren mit Mikrobeschichtungen eine einseitige Transparenz der Module zu erzielen. Den Nutzern wird es dadurch ermöglicht, nach draußen zu sehen, während sie im Inneren vor fremden Blicken geschützt sind.



Risk Engineering Sofia
(AluKönigStahl/Schüco)



Trop Möbelmarkt, St. Johann in Tirol
(ATB Becker)



Sichtschutz PV als Brüstungselement
(Ertex-Solar)

5.4. PV-Integration in Glasfassaden

Glasfassaden stellen vor allem im städtischen Bereich ein sehr interessantes Anwendungsfeld dar, da sie eine homogene Struktur besitzen, ihr modularer Aufbau den Einsatz von Standardmodulen erlaubt und sich die Elemente im Aussehen ähneln. Durch den Einsatz von Isolierglaselementen/semitransparenten PV-Glasmodulen werden zusätzliche Anforderungen, wie z. B. Brand-, Wärme-, Schallschutz oder Schutz vor Überhitzen, erfüllt. Insbesondere bei modernen Gebäuden mit aufwendigen oder farbigen Glasfassadenkonstruktionen stellt die Integration von PV-Modulen eine Möglichkeit dar, innovative Technologie und ökologisches Energiebewusstsein ohne erhebliche Zusatzkosten zu präsentieren.

5.5. PV-Integration in Oberlichtern

Oberlichten, die Tageslicht in Räume einbringen, in denen es aus technischen Gründen ansonsten nicht möglich wäre, werden in Form von Scheds, Lichtbändern, Firstlaternen, Lichtkuppeln und großen Einzelöffnungen in unterschiedlichsten Bauformen verwirklicht. Ein wichtiger Aspekt, der schon bei der Planung beachtet werden muss, ist dabei die Verschattung durch benachbarte Oberlichten. Durch den Einsatz semitransparenter Module sowie durch eine flache Anordnung kann eine Überhitzung bzw. Blendung darunter liegender Räume vermieden werden.

Scheds werden bevorzugt bei benötigtem blendfreiem Nordlicht eingesetzt, wodurch sich hauptsächlich die gegen Süden geneigten lichtundurchlässigen Flächen als potenzielle Einsatzgebiete für PV-Module anbieten.

Lichtbänder mit horizontaler Lichtöffnung nutzen den gesamten Himmel als Lichtquelle. Eine Integration von PV-Modulen wird dabei vor allem semitransparent im Bereich der Südausrichtung ausgeführt. Die Module bieten einen Blend- und Überhitzungsschutz, tragen aber auch zu einer asymmetrischen Leuchtdichteverteilung bei (ähnlich Scheds).

Firstlaternen bestehen aus zwei sich gegenüberstehenden transparenten Glasflächen, die durch ein opakes Dach miteinander verbunden werden. Hier bietet sich für Mitteleuropa die Nutzung der asymmetrisch ausgebildeten lichtundurchlässigen Seite der Dachlaterne an (keine Beeinflussung der Tageslichtfunktion).



Glasfassade mit integrierter PV, Wirtschaftskammer Österreich in Wien

(ertex-solar)



IPS Meckenheim,
(AluKönigStahl/Schüco)



Oberlichte in einem Wintergarten
(Abakus Solar AG)



PV-Lichtbänder mit horizontaler Lichtöffnung (ertex-solar)

Einzelöffnungen bieten die Möglichkeit, witterungsgeschützt mit der Außenwelt in Kontakt zu treten. Sie werden oft bei zentral genutzten Flächen, wie beispielsweise Erschließungsflächen oder Atrien, eingesetzt. Nach Süden ausgerichtete Flächen bieten vorteilhafte Möglichkeiten für den Einsatz von PV. Semitransparente Zellen oder bewegliche externe PV-Sonnenschutzlamellen können hier zusätzlich zur Stromnutzung andere gewünschte Schutzfunktionen übernehmen.

5.6. PV-Integration in Sonnenschutztechnik

Aktuell werden Gebäudeflächen immer öfter mit großen Fensteröffnungen, Glasvorhangfassaden, Atriumdächern oder anderen Glaskonstruktionen ausgeführt. Zu den Vorteilen dieser Bauweise zählen die bessere Tageslichtnutzung, der uneingeschränkte Blick nach draußen und die großzügig wirkenden Räume. Nachteile können sich hingegen aus einer möglichen Blendung und Überhitzung des Gebäudes ergeben. Um den Energiebedarf für die dadurch benötigte Klimatisierung zu verhindern oder zu verringern, werden Sonnenschutzsysteme eingesetzt.

Es gibt drei unterschiedliche Möglichkeiten, Sonnenschutzsysteme mit PV zu verbinden:

- **Feststehende Sonnenschutzsysteme** mit PV benötigen während ihrer Lebensdauer weniger Wartungsaufwand als die beiden anderen Varianten. Die Systeme sind stark vom Einstrahlungswinkel der Sonne abhängig, wodurch die Wirkung im Tageslauf auf festgelegte Zeitabschnitte begrenzt ist. Um eine Blendung durch die tief stehende Wintersonne zu vermeiden, ist ein Blendschutz notwendig.
- **Bewegliche Sonnenschutzsysteme** mit PV bieten über einen längeren Tageszeitraum einen effektiven Sonnenschutz und können an eine optimale Stromproduktion angepasst werden. Die Systeme sind jedoch häufig hohen Windbelastungen ausgesetzt und müssen in regelmäßigen Abständen gewartet werden. Aus diesem Grund ist es unbedingt erforderlich, auf ihre Zugänglichkeit zu achten.
- **Kombinierte Sonnenschutzsysteme** vereinen die Vorteile feststehender und beweglicher Systeme miteinander, sind jedoch für die PV-Integration aufgrund einer möglichen Eigenverschattung sowie hoher Investitionskosten bislang weniger geeignet.



VA Krefeld 47 (Abakus Solar AG)



VA Krefeld 47 (Abakus Solar AG)

06. Aktueller Status von GIPV in Österreich

Trotz schwieriger Rahmenbedingungen konnten österreichische Akteure in den letzten Jahren ihre Umsätze, ihre Produktionskapazitäten und ihren Absatz steigern.

Österreich verfügt im Bereich Photovoltaik, aber speziell im Bereich GIPV derzeit über:

- sechs Modulhersteller und erste Solarzellenhersteller,
- eine innovative Glasindustrie, Metallverarbeiter und andere Gewerbeunternehmen, die sich explizit mit Fragen der Gebäudeintegration beschäftigen,
- etablierte Industriebetriebe aus verwandten Branchen (Halbleitertechnik, Elektronik-, Glas- und Kunststoffherzeuger, Dachsystemhersteller),
- aktive und sich ergänzende F&E-Institutionen (TU Wien, Austrian Institute of Technology, FH Technikum Wien, ...), die in internationalen Forschungsprogrammen und Netzwerken ausgezeichnet positioniert sind, und
- engagierte Architekten, die das Thema gebäudeintegrierte Photovoltaik als Kernelement neuer energiebewusster Architektur betrachten, sowie innovative PV-Installationsunternehmen, die sich auf Gebäudeintegration spezialisiert haben.

6.1. Status der GIPV in Österreich anhand ausgewählter Best-Practice-Beispiele

Anhand einiger realisierter österreichischer Anlagen sollen nun Beispiele für die Gebäudeintegration aufgezeigt werden.

Bergstation Kriegerhornbahn



Liftstation Kriegerhorn, Österreich (ATB Becker)



Kriegerhorn nach hinten innen

Im Zuge des Neubaus der Kriegerhornbahn in Lech am Arlberg wurde eine Photovoltaikanlage in die Fassade der Bergstation integriert. Die Kombination aus transparenten Solarzellen und einer neuartigen Befestigungstechnologie machte das Projekt zu einem der Vorzeigeprojekte des Jahres 2002. Die verwendeten Module, welche aus bifacialen Power-Zellen (transparente Zellen) bestehen, stellten damals eine völlige Neuheit dar. Durch das besondere Befestigungssystem war es erstmals möglich, Glasfassaden ohne störende Befestigungselemente zu errichten. Da keine Befestigungselemente in der Außenfassade zu sehen sind, entstehen vollkommen homogene Flächen. Die Gesamtanlage verfügt über eine maximale Leistung von 9,45 kW und wurde in drei Teilgeneratoren ausgeführt.



PV-Fassade des „Sol4“
(Thomas Kirschner, HEI)



„Sol4“
(ATB Becker)



Energybase Wien
(Herta Hurnaus)

SOL4 Büro- und Seminarzentrum Eichkogel

Im Jahr 2004 entstand in Mödling das SOL4, eines der größten Bürogebäude Österreichs in Passivhausbauweise. Das Planungsteam, bestehend aus Architekten, Gebäudetechnik- und Photovoltaikplanern, entwickelte ein ganzheitliches Konzept, das bis hin zu schadstofffreien Baustoffen alles berücksichtigte. Die Ökoeffizienz des Gebäudes wurde mehrfach verbessert. Der Energiebedarf der Haustechnik wird durch den Ertrag aus der Photovoltaikanlage gedeckt.

Die PV-Anlage wurde als Kaltfassade ausgeführt. Um die Fassadenteilung bestmöglich nutzen zu können, wurde die Positionierung der Fenster angepasst. Bei den Anschlüssen an die Fenster sowie an der Nordseite des Gebäudes wurden Dummymodule ohne elektrische Funktion eingesetzt, die für ein homogenes Erscheinungsbild sorgen. Die acht Teilgeneratoren sind nach Osten, Süden und Westen ausgerichtet und haben eine Nennleistung von je 4,3 kW.

ENERGYbase, 1210 Wien

Die ENERGYbase wurde 2008 fertiggestellt und beherbergt unter anderem die Studiengänge der Erneuerbaren Energie am FH Technikum Wien. Im Unterschied zur Fassadeninstallation des zuvor beschriebenen Objekts dient die Photovoltaikanlage zur Verschattung der Räume. Die Module mit einer Gesamtanlagenleistung von 46 kW wurden mit einer Gesamtfläche von etwa 400 m² an der Faltfassade angebracht.



Wohnhaus Hardt
(Stromaufwärts Photovoltaik GmbH)



Einfamilienhaus Adnet (Brandmüller)



Power Tower Linz
(Energie AG)

Wohnhausanlage Hardt

Dieser 2003 errichtete Geschoßwohnbau verfügt über südseitig installierte Schiebeläden mit integrierten PV-Modulen, die eine Leistung von rund 8,5 kW erbringen.

Einfamilienhaus Adnet

Dieses Einfamilienhaus in Niedrigstenergiebauweise mit Wärmepumpenheizung und kontrollierter Wohnraumlüftung wurde 2008 in Adnet erreicht. Die PV-Anlage besitzt eine Größe von 2 kW und ist in die Dachschräge integriert.

Power Tower Energie AG, Linz

Im Rahmen des Neubaus der Konzernzentrale der Energie AG Oberösterreich in Linz wurde ein Bürogebäude konzipiert, das in Passivhausbauweise errichtet wurde und erneuerbare Energie in Form von Erdwärme und Sonnenenergie nutzt. Ein Vorteil der Anlage liegt im synchronen Verlauf der PV-Stromproduktionskurve mit dem Lastgang des Bürogebäudes an Werktagen. Die PV-Anlage ist an der Südsüdwestseite des Power Tower angebracht und nutzt beinahe die gesamte Fassadenseite vom zweiten bis zum 18. Stockwerk. Lediglich die Treppenhäuser der Fluchstiegen mussten ausgespart werden. Um ein homogenes äußeres Erscheinungsbild zu gewährleisten, wurden die PV-Module genau nach den Vorgaben der Architekten angefertigt. Dabei lag die Herausforderung in der Herstellung vor allem in den großen Abmessungen der PV-Module.

Der Generator ist senkrecht in die Fassade integriert, 30 ° nach Westen orientiert und weist eine Fläche von 638 m² auf. Insgesamt wurde eine Leistung von 66 kW installiert.

07. Erfahrungen von Akteuren mit GIPV in Österreich

Obwohl die Photovoltaik in Österreich seitens des Markts bisher ungünstigere Bedingungen vorfand als in manch anderen europäischen und außereuropäischen Ländern, hat sich in den letzten Jahren eine kleine Industrielandschaft mit derzeit etwa 2000 Arbeitsplätzen herausgebildet, die einige Sparten der Photovoltaikproduktionskette international erfolgreich besetzt.

Bereits seit mehreren Jahren bestehen diverse kleine und mittlere PV-Modulproduktionen, alle aufgrund des kleinen Heimmarktes mit einem Exportanteil $> 90\%$. Gesamt wurden in Österreich 2008 beispielsweise etwa 65,4 MW produziert (entspricht einer Steigerung zum Vergleichsjahr 2007 von 38%) – aber nur 4.6 MW im Inland installiert.

Nebenprodukte, wie Wechselrichter, Zelleinkapselungen, Nachführeinrichtungen, etc., stellen derzeit die Branchen dar, in denen Österreichs Firmen auch am Weltmarkt in führender Position zu finden sind. Neben der Zulieferung von Einzelelementen, wie Einkapselungsfolien und Verdrahtungen, und der Wechselrichterproduktion ist seit etwa 2001 die Herstellung von Modulen (in Form von Standardmodulen, als Dachziegel, Dachelemente, Fassadenelemente, Schallschutzelemente, transparente Verglasungen, ...) ebenso ein Teil der österreichischen Wertschöpfung in der PV-Produktionskette.

Die Bedeutung der Photovoltaik für Österreich liegt derzeit daher nicht schwerpunktmäßig in der Zellherstellung, sondern neben den erwähnten Modulproduzenten vor allem in Spezialaspekten der PV-Wertschöpfungskette.

7.1. Erfolgreiche Beispiele aus der international agierenden Österreichischen Industrie

- **Isovolta:** Weltmarktführer für Zelleinkapselungen: Die Einkapselungsmaterialien werden weltweit von vielen Modulproduzenten verwendet. Im Jahr 2008 wurden Einkapselungsmaterialien für über 1500 MW PV-Module produziert.
- Der europaweit zweitgrößte PV-Wechselrichterhersteller **Fronius:** Im Jahr 2008 konnte dieser Konzern seine Produktion auf insgesamt ca. 77.000 Stück mit einer Kapazität von ca. 448 MW erhöhen. Die Exportquote liegt hier bei über 99 %.
- **Solon Hilber Technologie:** in Steinach am Brenner stellt nachgeführte PV-Modul-Tracking-Systeme – sogenannte PV-Mover – her. Im Jahr 2008 wurden etwa 3800 Trackers für etwa 31 MW produziert. Darüber hinaus optimiert Solon Hilber die Vorfertigung der Solar-Trackers für PV-Großkraftwerke und produziert vor Ort die Solarmodule dafür.
- **Konarka Austria Forschungs- und Entwicklungs GmbH:** Forschung an organischen Solarzellen (hervorgegangen aus einem Christian Doppler Labor an der Johannes Kepler Universität Linz).

7.2. Im Bereich der Modul- und Zellproduktion in Österreich aktive Firmen

- **PVT Austria** – Photovoltaik Technik GmbH startete seine Modulproduktion (Standard- und Spezialanfertigungen) im Jahr 2002. Die mono- und multikristallinen Siliziumzellen werden von verschiedenen Zellenproduzenten, hauptsächlich aus Deutschland, Spanien den USA und Taiwan, gekauft. Angebotene Spezialprodukte inkludieren kundenspezifisch gefertigte Solarmodule mit gefärbten Solarzellen genauso wie multikristalline Module mit Isolierglas.
- **ertex-solar** entwickelt laufend neue PV-Module im Bereich der (Sicherheits-)Glasfassaden- und Dachintegration. Das Tochterunternehmen der ERTL GLAS AG ist ein großer Hersteller von Sicherheitsglasprodukten und produziert kundenspezifische PV-Modulanfertigungen für die Gebäudeintegration, insbesondere für die Fassadenintegration. Die Zellen werden aus Deutschland, den USA und Taiwan importiert.
- Die **Kioto Photovoltaik GmbH** produziert im Naheverhältnis zu Europas größtem Hersteller von Solarwärmekollektoren, GREENoneTEC, Standardmodule, basierend auf Zellen aus Deutschland.
- **Energetica Energietechnik GmbH**, produziert gerahmte Standardmodule und Glas-Glas Module, basierend auf mono- und multikristallinen Zellen aus verschiedenen Ländern. Das innovative Unternehmen mit Sitz in Klagenfurt hat unter anderem bereits PV-Groß-Projekte in Spanien und diverse interessante Gebäudeintegrationen realisiert.
- Im Sommer 2007 startete die Firma **Falconcell Produktion GmbH** die Produktion von Solarzellen in St. Pölten/NÖ.
- In Güssing startete die **Blue Chip Energy GmbH** im Jahr 2008 mit der Produktion von monokristallinen PV-Zellen.
- Die Firma **SED-Produktionsgesellschaft** erzeugt PV-Systeme für verschiedene Einsatzprofile. Es werden sogenannte Solardachsteine – in Dachelemente integrierte PV-Module – hergestellt. Diese Solardachsteine erlauben die unauffällige dachintegrierte Errichtung einer PV-Anlage in einem mit Dachsteinen gedeckten Steildach. Seit 2008 werden PV-Anlagen zum Einsatz in Lärmschutzwänden hergestellt – auch als Nachrüstung für bestehende Lärmschutzwände.
- **AluKönigStahl** mit Firmensitz in Wien, ist Spezialist für intelligente Gebäudehüllen in Österreich und Osteuropa. Mit dem Konzept Schüco Energy now hat sich AluKönigStahl zum Ziel gesetzt die Energieeffizienz von Gebäuden nachhaltig zu verbessern. Energie gespart wird durch die objektspezifische Kombination von Hochwärmedämmung, Verschattung und haustechnischer Baukomponenten. Energie gewonnen wird durch die Einbindung von Solarthermie und Photovoltaik

08. Technische und wirtschaftliche Aspekte bei der Planung von GIPV-Anlagen

8.1. Effizienzverluste durch GIPV

8.1.1. Ertragsverluste durch eine nicht optimale Neigung und Ausrichtung

Die entscheidenden Parameter für den Ertrag eines PV-Moduls sind die Neigung der PV-Fläche, die die Sonnenstrahlen einfängt, die Himmelsrichtung und die Jahreszeit. Die günstigste Wirkung eines Photovoltaikmoduls wird erreicht, wenn die Sonneneinstrahlung im rechten Winkel auftrifft. Da die Sonne im Tages- und Jahresverlauf ständig ihre Position ändert, muss mit dem gewählten Neigungswinkel ein optimaler Mittelwert erreicht werden.

Die Sonne erreicht ihren Höchststand im Süden, weshalb eine Ausrichtung der PV-Module nach Süden mit einer Neigung von 30° für unsere Breitengrade als optimal anzusehen ist. Grundsätzlich können noch immer sehr gute Erträge auch bei gewissen Abweichungen vom idealen Neigungswinkel ($\sim 20\text{--}50^\circ$) bzw. von der idealen Ausrichtung (0° Süden) bei einem entsprechenden Standort erzielt werden⁵. Mit dieser Variante konzentriert man sich nicht allein auf den Spitzenertrag, den man bei hoch stehender sommerlicher Mittagssonne erzielen könnte, sondern berücksichtigt auch die tief stehende Wintersonne. Wird ein flacherer Neigungswinkel für die Anbringung der Module gewählt, ist eine absolute Südausrichtung eher sekundär, wie man auch der unten stehenden Grafik entnehmen kann. Bei einem steileren Winkel wird die Abhängigkeit von der Neigung größer und der Winteranteil steigt.

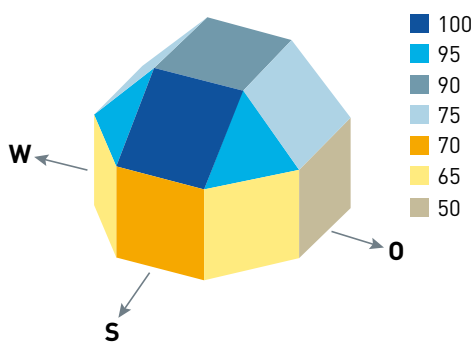


Abb. 8.1. Ertragsverluste durch Ausrichtung und Neigung

Besteht aus Platzgründen, aufgrund der Dachgeometrie, Verschattung, Bauordnung, Blendung oder aus optischen Gründen nicht die Möglichkeit, die Module südlich auszurichten, empfiehlt sich trotz allem eine Ausrichtung nach Westen oder Osten. Die Ertragsminderung aufgrund der Neigung variiert stark. Schlechteste Erträge ergeben sich bei vertikaler Aufstellung mit einem Minderertrag von knapp 30 %. Aufgrund des Sonnenlaufs werden geringe Gewinne bei minimalen Neigungen bei exakt westlicher oder östlicher Ausrichtung ersichtlich, da die Sonne am Nachmittag bzw. am Vormittag sehr flach auf die Module scheint und diese das gesamte Strahlungsangebot nutzen können. Hat man zwischen südwestlicher bzw. -östlicher Ausrichtung der

Module eine Wahlmöglichkeit, sollte man Nebellagen berücksichtigen (d. h. eher eine westliche Ausrichtung wählen) oder aber auch andere Faktoren, wie z. B. eine eventuell zunehmende Trübung der Atmosphäre im Tagesverlauf.

Vergleicht man die verschiedenen Integrationsmöglichkeiten, ist die Dachintegration generell positiver für die zu erzielenden Jahreserträge zu bewerten, da meist das gesamte Himmelsgewölbe für die Stromerzeugung zur Verfügung steht. Lässt sich im Planungsprozess eine in südlicher Richtung orientierte Dachfläche vorsehen und für die solare Nutzung freihalten, so ist dies als optimal anzusehen.

⁵Gebäudeintegration in Europa, Silke Krawietz, 2003

Bei einer Fassadenintegration (Neigungswinkel der PV-Module von 90 °) steht ein wesentlich geringerer Solareintrag für die Nutzung bereit. Dieser Minderertrag sollte durch entsprechende Zuschüsse vergütet werden, um auch diese Art der Integration attraktiver zu machen. Werden heute Anlagen in Gebäude integriert, wird der Minderertrag trotzdem häufig in Kauf genommen, da die Akzeptanz und der Wille für den Einsatz dieser Technologie vorhanden sind.

8.1.2. Ertragsverluste durch Verschattung

Verschattungen der Photovoltaikmodule durch nebenstehende Gebäude, Vegetation oder die Konstruktion des Gebäudes selbst bzw. durch die PV-Konstruktion (PV-Module, Schnee, Laub, Staub, Schmutz, etc.) sind zu vermeiden, da bereits geringe Teilverschattungen der Zellen zu einer wesentlichen Verminderung des Gesamtertrags der Anlage führen können. Jede Verschattung des Moduls verhindert die Ausnutzung der direkten Sonneneinstrahlung und verringert somit den Stromertrag. So führen temporäre Verschattungen beispielsweise durch Laub oder Vogelexkrementen bei normalen Standorten zu einer Minimierung des Ertrags von 2-5 %. Wird ein Modul einer Nahverschattung beispielsweise durch einen Hausvorsprung oder eine Antenne ausgesetzt, so ist dies der schlimmste Fall mit Verlusten von 60-80 %. Je näher ein Schatten ist, desto dunkler ist er und desto mehr Licht wird am Auftreffen auf das Modul gehindert. Ein Schattenwurf auf eine PV-Anlage wirkt sich viel stärker auf den Ertrag aus als bei einer thermischen Solaranlage und kann im Extremfall sogar zur Zerstörung des Moduls führen.

Angesichts der niedrigeren Stromernte ist die Bedeutung der Verschattungsfreiheit bei fassadenintegrierten Anlagen wesentlich höher als bei dachintegrierten oder frei aufgeständerten Anlagen.

Einfluss der Verschattung auf die Verschaltung bzw. Anordnung

Photovoltaikzellen werden durch Reihen- und Parallelschaltung zu einer elektrisch und mechanisch größeren Einheit (dem Photovoltaikmodul) zusammengeschlossen.

Je nach Art der Verschaltung können so Generatoren mit unterschiedlichen Stromstärken, Spannungen und Größen erzeugt werden. Unabhängig von der Art der Verschaltung bleibt die Leistung der Module bzw. Generatoren bei gleicher Anzahl und Größe der Zellen gleich. Wird eine Zelle oder ein ganzer Strang verschattet, ergibt sich eine Verschiebung des MPP (Maximum Power Point = Punkt der maximalen Leistung), wodurch es zu einer Leistungsminderung kommt.

Kann eine Verschattung nicht vermieden werden, sollte auf eine Reihenschaltung von vielen Modulen verzichtet werden, da sich daraus erhebliche Leistungsverluste ergeben würden. In diesem Fall ist das Parallelschalten von Solarmodulen die bessere Alternative. Sollte eine Verschattung vorliegen, ergeben sich bei der Parallelschaltung geringere Leistungs- und Ertragsverluste, vor allem wenn die Verschattung in wenigen Strängen auftritt. Sind die verwendeten Flächen unverschattet, stellt eine Reihenschaltung vieler Module die preiswerteste Lösung für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen dar.

Einfluss der Verschattung auf den Wechselrichter

Wechselrichter sind Komponenten einer PV-Anlage, die dazu dienen, den vom Solargenerator erzeugten Gleichstrom in netzkonformen Wechselstrom umzuwandeln. In der Vergangenheit wurden dazu hauptsächlich zentrale Wechselrichter verwendet (dabei läuft die gesamte Anlagenleistung über einen Wechselrichter). Teilabschattungen und unterschiedliche Einstrahlungsverhältnisse wirken sich dadurch immer gleich auf das Gesamtsystem aus, denn das schlechteste Glied in der Kette bestimmt die Leistung des Gesamtsystems. Wie hoch die Verluste bei Verschattungen sind, hängt vom Eingangsspannungsbereich des Wechselrichters und somit von der Dimensionierung ab. Andere Wechselrichterkonzepte (Kombinationen aus mehreren Wechselrichtern, wie z. B. im Master/Slave-Modus, Strangwechselrichter, modulintegrierte Wechselrichter) bieten indessen die Möglichkeit, diese Nachteile zu verringern, da durch das Regelkonzept auf die Verschattungen individuell eingegangen werden kann.

8.1.3. Ertragsverluste durch hohe Temperaturen

Der Einfluss der Temperatur auf die Leistung ist bei jeder Zelltechnologie unterschiedlich. Dünnschichtzellen, die im Unterschied nur wenige μm (1000stel Millimeter) dick sind und geringere Herstellungskosten, aber im Allgemeinen auch deutlich geringere Wirkungsgrade aufweisen, haben typischerweise ein weniger ausgeprägtes Verhalten unter höheren Temperaturen als die üblicherweise ca. 150 bis 300 μm dicken mono- bzw. polykristallinen Zellen. Zwar besitzen sie eher geringere Wirkungsgrade, die sich jedoch teilweise durch den Temperatureffekt kompensieren lassen. Dabei spielt der Temperaturkoeffizient (d.h. die Abnahme des Wirkungsgrads mit steigender Temperatur), der bei Dünnschichtzellen wesentlich geringer ist als bei herkömmlichen Modulen, eine bestimmende Rolle für die spezifische Modulleistung. Aus diesem Grund reduziert sich der Wirkungsgrad von Dünnschichtzellen bei hohen Temperaturen im Feldbetrieb nur etwas halb so stark, wie bei konventionellen, kristallinen Modulen.

Erwärmt sich beispielsweise eine Siliziumzelle um 10°C, so bedeutet dies einen Verlust von 4,4 %, während bei Dünnschichtmodulen die Reduktion nur etwa halb so groß ist.

Werden semitransparente Module in Form von Überkopfmontagen, z. B. in Atrien, Wintergärten oder ähnlichen Bereichen eingesetzt, muss aufgrund der Bauordnung Sicherheitsglas als Trägermedium eingesetzt werden. In Kombination mit den üblichen Wärmedämmstoffen können mit diesen Modulen sogar verbesserte Wärmedämmwerte erreicht werden. In Isolierglasausführung übernehmen die photovoltaischen Fassaden- bzw. Dachelemente die Funktion der thermischen Trennung in der Gebäudehülle. Neueste Untersuchungsergebnisse mit Dünnschicht PV-Modulen favorisieren indes eine Kombination mit einem kontaktiven Dämmmaterial, um die PV-Module in den Wintermonaten nicht zu stark abzukühlen. Für diese Anwendungen können keine Standardmodule eingesetzt werden, da alles auf Maß gefertigt werden muss. Anwendungsbereiche dafür sind: beheizte Wintergärten, Atrien, Glasdächer, etc.

Der Solarförderverein Bayern untersuchte 2007 den Temperatureinfluss auf den Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Einbausituationen. Je nach Anbringung der Module und nach Qualität der Hinterlüftung variiert die Modultemperatur. Für unterschiedliche Anwendungsfälle sind die Temperaturen über dem Nennpunkt in der nachfolgenden Abbildung ersichtlich.

Die geringste Temperatur ergibt sich bei frei aufgeständerten Anlagen, die höchste bei fassadenintegrierten Anlagen ohne Hinterlüftung (fast drei mal so hoch). Wie vorhin beschrieben sinkt der Wirkungsgrad bei steigender Temperatur. Aus diesem Grund sollte immer für eine gute Hinterlüftung der Module gesorgt werden, um die Verluste zu minimieren. Bei einem Temperaturanstieg von 20 K im PV-Modul, was einer guten Hinterlüftung entspricht, kann es jährlich zu etwa maximal 3%igen Energieverlusten kommen.

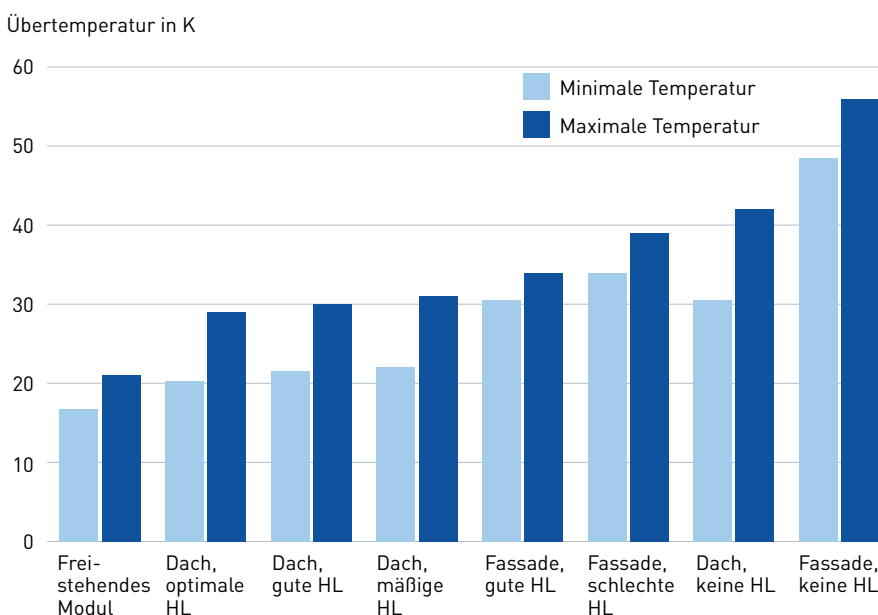


Abb.8.2.
**Hinterlüftung,
Übertemperatur der Module in
Abhängigkeit vom Einbau**

09. Richtlinien und Normative Bestimmungen für GIPV

9.1. Baurechtliche Richtlinien

Grundsätzlich unterliegen Photovoltaikanlagen dem Baurecht, unter das alle mit dem Erdboden verbundenen und aus Bauprodukten hergestellten Anlagen fallen. Mit dem immer größer werdenden Anteil der Integration in die Gebäudehülle erhöhen sich somit auch die baurechtlichen Anforderungen an die Photovoltaikmodule, wobei neben den bundesrechtlichen Regelungen insbesondere die landesrechtlichen Bestimmungen der einzelnen Bundesländer von Bedeutung sind.

9.2. Denkmalschutz

Der Einbau oder die Errichtung einer PV-Anlage auf dem Dach oder in die Fassade verändert das Aussehen eines Gebäudes. Bei einem Gebäude, das unter Denkmalschutz steht, ist das nur eingeschränkt möglich bzw. gar nicht erlaubt. Deshalb muss besonders auf das Denkmalschutzrecht geachtet werden.

Prinzipiell besteht jedoch die Möglichkeit, eine Photovoltaikanlage in der Nähe oder auf einem denkmalgeschütztem Gebäude zu errichten, jedoch empfiehlt es sich, diesbezüglich möglichst frühzeitig mit der zuständigen Behörde in Kontakt zu treten.

9.3. Brandschutz

Der Brandschutz soll die Entwicklung und Ausbreitung von Feuer verhindern. Der bauliche Brandschutz ist im Normalfall in den einzelnen Landesbauordnungen geregelt. Weitere Vorschriften zur brandschutztechnischen Einordnung von Baustoffen sind die DIN 4102 „Brandschutz im Hochbau“ und die DIN EN 13 502 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten“.

9.4. Wärme und Schallschutz

Die Photovoltaikanlage muss den Vorschriften des Wärmeschutzes (DIN 4108) und den entsprechenden Energiesparverordnungen (EnEV) entsprechen. Werden am Aufstellungsort besondere Schallschutzanforderungen gestellt, muss die DIN 4109 beachtet werden.

9.5. Elektrotechnische Normen

Da es für gebäudeintegrierte Module noch keine gültige Norm gibt, muss bei der Installation auf herkömmliche Normen zurückgegriffen werden. Generell sind folgende Normen wesentlich:

- ÖVE/ÖNORM E 8001 (Schutzmaßnahmen im Bereich der Elektrizität),
- ÖVE/ÖNORM E 2750 (allgemeine Anforderungen, Anforderungen Module, Verkabelungen, Wechselrichter, etc.),
- ÖVE/ÖNORM EN 61730 (Design und Material der Module),
- ÖVE/ÖNORM EN 61215 (Bauartegnung und -zulassung – kristalline Module) und
- ÖVE/ÖNORM EN 61646 (Bauartegnung und -zulassung – Dünnschichtmodule)

9.6. Normen für den Einsatz von Glas im Bauwesen

- EN 14449 (Verbundglas und Verbundsicherheitsglas Konformitätsbewertung/Produktnorm)
- EN 12600 (Pendelschlagversuch – Verfahren für die Stoßprüfung und Klassifizierung von Flachglas)
- EN 356 (Sicherheitssonderverglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung des Widerstands gegen manuellen Angriff)
- EN 12150-2 (Thermisch vorgespanntes Kalknatron-Einscheiben-Sicherheitsglas – Teil 2: Konformitätsbewertung/Produktnorm)
- EN 1863-2 (Teilvorgespanntes Kalknatronglas – Teil 2: Konformitätsbewertung/Produktnorm)
- EN ISO 1279 (Mehrscheiben-Isolierglas)
- EN ISO 12543 (Verbundglas und Verbund- Sicherheitsglas)
- EN 1063 (Sicherheitssonderverglasung – Prüfverfahren und Klasseneinteilung für den Widerstand gegen Beschuss)

10. Kosten einer Photovoltaik-Fassade



Berufsschule Imst (Architekt Lanzinger)



(Schüco International KG)

Die Investitionskosten in gebäudeintegrierte Photovoltaik werden vor allem durch die Modulkosten bestimmt. So entfallen auf den PV-Generator inklusive Befestigung rund 70 % der gesamten Investitionskosten. Werden Sondermodule eingesetzt, liegt der Anteil an den Investitionskosten noch höher. Die Investitionskosten für gebäudeintegrierte Lösungen sind derzeit noch rund 20-30 % höher als bei Aufdachanlagen.

Die Höhe der Investitionskosten wird bestimmt durch:

- die verwendete Modulart (kristallin oder Dünnschicht) bzw. den gewählten Modulaufbau,
- die Wahl einer „Standard“- oder einer „Sonderlösung“ der gebäudeintegrierten Module. Bei Sonderlösungen kann sich nahezu jedes Modul hinsichtlich der Maße und Belegungsdichte unterscheiden.

Werden Photovoltaikmodule als Fassadenbaustoff verwendet, ersetzen sie Materialien wie Glas oder Stein, die bei einer Bewertung mit einberechnet werden müssen. Bei einer Bewertung der Wirtschaftlichkeit von PV-Fassaden müssen folglich die ersetzten Materialien mit einberechnet werden, um die Kostensynergien entsprechend zu berücksichtigen.

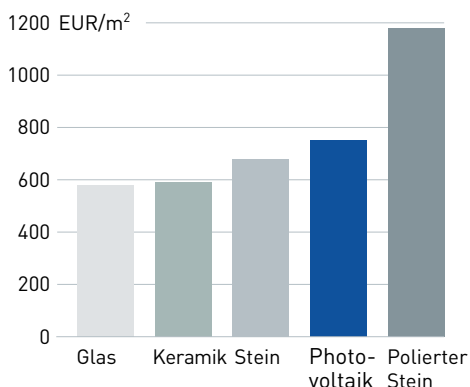


Abb. 10.1. **Kostenvergleich Fassadenbaustoffe, Kosten in EUR pro m²** (ATB Becker, Bendel)

Die dargestellten Richtwerte für unterschiedliche Fassadenmaterialien (inklusive Montage) gehen von 750 bis 780 EUR/m² für eine PV-Fassade in Österreich aus.

Die Investitionskosten in eine PV-Fassade sind rund 7 % höher als die einer Steinfassade und rund 20 % höher als die einer Glas- oder Keramikfassade. Im Vergleich zu einer Fassade aus poliertem Stein sind die Investitionskosten einer PV-Fassade dagegen ca. 60 % niedriger. Zusätzlich kann über die gesamte Anlagenlebensdauer umweltfreundlicher Strom produziert werden.

In der nachfolgenden Tabelle ist eine Kostenaufteilung der am häufigsten verwendeten Fassadenelemente nach Modultypen ersichtlich. Die angegebenen Preise wurden inklusive Halterung und Systemmontage ermittelt.

Durchschnittliche Kosten für Fassadenelemente ...				
... mit PV Elementen				
Modul- Fassadenelement	Typ	Fläche je kW	Leistung je m ²	Preis EUR/m ²
a-SI Glas/Folie	asi	19,2m ²	52W	456
a-SI-OPAK	asi	19,2m ²	52W	565
a-SI-THRU	asi	22,2m ²	45W	575
Standardmodul	kristallin	8,2m ²	120W	793
a-SI-OPAK-Isolier	asi	19,2m ²	52W	843
a-SI-THRU-Isolier	asi	22,2m ²	45W	886
... ohne PV-Elemente				
Modul- Fassadenelement	Typ	Fläche je kW	Leistung je m ²	Preis EUR/m ²
Metalljalousien	–	–	–	360
Isolierglas	–	–	–	400
Glas email/versp.	–	–	–	405
Isolierglas versp.	–	–	–	680
Steinfassade	–	–	–	1.000

Tabelle 10.2 (ATB Becker)

Je mehr sich PV-Module zu standardisierten „normalen“ Baustoffen entwickeln, desto kleiner werden die Kostenunterschiede zu herkömmlichen Fassaden- und Gebäudekomponenten.

Technologische Einsparungspotenziale

Im Moment sind gebäudeintegrierte Anlagen teurer als Standardanlagen, jedoch gilt es zu beachten, dass Faktoren des Scalings (Umsatz) massiven Einfluss auf die Gesamtkosten haben. Gibt es, wie in Österreich, nahezu keinen Markt sind die vereinzelt Systeme teuer, da Installationskosten bei seltener Anwendung, Beschaffungskosten in kleinen Einheiten und nicht mögliche logistische Optimierungen zu deutlich erhöhten Preisangeboten führen. Beispielsweise sind Standard Aufdach-Anlagen in Österreich um etwa 1000 Euro teurer als in Deutschland, auch wenn sie aus denselben Komponenten aufgebaut sind.

Laut einer Studie der Bank Sarasin wird sich im Laufe der nächsten 25 Jahre ein enormes Kostensenkungspotenzial für Strom von Photovoltaikanlagen von heute ungefähr 0,34 EUR/kWh auf 0,14 EUR/kWh im Jahr 2030 ergeben⁶.

Historisch existiert in der PV Technologieentwicklung eine Preisreduktion von ca. 20% pro verdoppelter Produktionsmenge. Die European Photovoltaic Industry Association (EPIA) erwartet, dass sich diese Preisreduktion weiter fortsetzen wird. Eine so drastische Änderung des Preisniveaus beruht auf verschiedenen Kostensenkungspotenzialen. Da die Herstellung der Wafer aus kristallinem Silizium relativ teuer ist setzen viele Experten auf Dünnschichtzellen (CdTe, CIS, a-Si, a-Si/μc-Si). Diese besitzen den Vorteil, dass ihre Herstellung weniger Energie in Anspruch nimmt und geringere Temperaturen und günstigere Materialien verlangt. Nachteilig ist jedoch der Wirkungsgrad, der momentan maximal 12% beträgt. Das bedeutet wiederum, dass mehr Fläche im Vergleich zu kristallinen Zellen benötigt wird, um die gleiche elektrische Leistung zu erzielen, was den Kostenvorteil wiederum etwas verringert.

⁶Bank Sarasin & Cie AG, Basel, CH

Weitere Aspekte, die zukünftig den Preis beeinflussen werden, sind das Recycling und die Langzeitstabilität. Für Module aus mono- und polykristallinem Silizium spricht im Moment das große Marktpotenzial, jedoch müssen sich Dünnschichtzellen, die nahezu denselben Wirkungsgrad erreichen könnten, ihren Platz erst erkämpfen. Umstritten ist indes noch immer, welche Solarzellentechnologie das größte Potenzial zur Kostenreduktion aufweist.

Laut der EU-Technologieplattform (siehe nachfolgende Tabelle) besteht für mono- und polykristalline Zellen bis zum Jahr 2020 ein Kostensenkungspotenzial auf nur 1/5tel der momentanen Kosten, für Dünnschichtzellen auf weniger als die Hälfte, was sie noch immer günstiger machen würde als mono- bzw. polykristalline Zellen.

Wirkungsgrad und Kostenpotenzial der Photovoltaiktechnologien						
Technologie	c-Si	mc-Si	CdTe	CIS	a-Si	a-Si/ μ c-Si (Micromorphe Tandem Solarzellen)
Erreichbarer Wirkungsgrad (Module) in Prozent	< 20	< 18	18,0	16-18	9,0	15,0
von Industrie erreichter Wirkungsgrad (Modul) in Prozent	19,3	16,1	11,1	11,0	6,0	9,5
Produktionskosten in Euro pro Watt	> 2,5	> 2,0	0,74	> 2,0	0,9	0,87
erwartet für 2013-2020	1,5	1,0	0,6	0,8	< 0,9	0,5
erwartet ab 2020	< 0,5	< 0,5	< 0,3	< 0,4	–	< 0,3

Tabelle 10.4, Quelle: EU PV Plattform, eigene Recherchen
 Erklärung: c-Si: kristallines Silizium, mc-Si: Monokristallines Silizium, CdTe: Cadmium Tellurid, CIS: Kupfer-Indium Diselenid, a-Si: amorphe Siliziumzellen, a-Si/ μ c-Si: amorphe Siliziumzellen mit micromorpher Tandemstruktur.

Weitere Einsparungs- sowie Marktpotenziale werden durch die Optimierung der Herstellungsprozesse erreicht. So wird an Prozessen gearbeitet, die mit geringerem Energieeinsatz auskommen bzw. unter niedrigeren Prozesstemperaturen eine Herstellung ermöglichen. Ebenso ergeben sich neue Beschichtungsmöglichkeiten, die auf flexibleren Substraten oder Trägermaterialien wie Kunststoff- oder Metallfolien aufgetragen werden können. Zudem wird an voll automatisierten Arbeitsprozessen gearbeitet, die wiederum Kosten einsparen und die Herstellung günstigerer Zellen ermöglichen.

Neben den in industriellen Prozessen typischen Scaling-Faktoren aus größer werdenden Produktionseinheiten (dem Entstehen von Gigawattfabriken mit Produktionskapazitäten bis zu 2000 Megawatt jährlich, d. h. 20 Millionen m² jährlich) werden noch diverse andere Reduktionspotenziale gesehen.

Als Beispiel sei für kristallines Silizium angeführt:

- Verringerung der Waferdicke (Zellscheibendicke) bei gleichzeitig steigenden Wirkungsgraden,
- verbessertes Kristallwachstum,
- verringerte Sägeverluste beim Zerschneiden der Blöcke zu Wafern,
- Low Cost-Zelleinkapselungsmaterialien,
- optimierte Zellkontaktierung (Rückseitenkontakte) und
- Verringerung der grauen Energie der Zellen (d. h. Energiebedarf zur Herstellung).

Dass die Herstellung von Wafern aus kristallinem Silizium relativ teuer ist, beruht auf mehreren Aspekten:

- Rohsilizium: Im Moment kostet ein Kilo Rohsilizium 30-50 Euro/kg. Durch das Marktwachstum, den Ausbau der Produktionskapazitäten sowie verbesserte Verfahren kann jedoch davon ausgegangen werden, dass sich die Preise bei 10-20 Euro/kg einpendeln.
- Herstellungsprozesse: Hauptsächlich durch Sägeverfahren sowie den Energieaufwand verlieren Hersteller im Herstellungsprozess ca. 50 % oder mehr an Rohsilizium. Zukünftig muss an der Optimierung der Herstellungsprozesse gearbeitet werden, indem beispielsweise Ausschuss vermehrt recycelt wird.
- Minimierung der Waferdicke bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung (weniger Materialeinsatz führt zu günstigeren Zellen).
- Die Modulfertigung beläuft sich auf knapp 30 % der Gesamtkosten. Daher wird verstärkt an einer Prozeßautomatisierung gearbeitet.
- Neue Materialien: Forschung/Weiterentwicklung vor allem in den Bereichen Materialien mit vermehrter Flexibilität, die günstiger sind, weniger Energieaufwand bei der Herstellung benötigen und bessere Wirkungsgrade besitzen, um so günstigere und standardisierte Module produzieren zu können. Im Detail sind das neue Beschichtungsmöglichkeiten, die auf flexibleren Substraten oder Trägermaterialien, wie Kunststoff- oder Metallfolien, aufgetragen werden können.

Die Dünnschichttechnologie besitzt, wie schon erwähnt, aus heutiger Sicht das größte Potenzial für Kostensenkungen. Die Tendenz der Produzenten geht auch zu immer dünneren, effizienteren und größeren Zellen. Das kann langfristig aber nur gelingen, wenn auch die Lasertechnik weiterentwickelt wird, da mit den verfügbaren Drahtsägen keine so feinen Wafer geschnitten werden können, ohne große Mengen an Ausschuss zu produzieren. Prinzipiell bergen alle Prozesse der Wafer-, Zellen- und Modulfertigung Verbesserungspotenzial in sich, um geringere Waferdicken und effizientere Zellen zu erreichen. Damit würden die Herstellungskosten sinken und sich zukünftig keine Engpässe in der Herstellung von Rohsilizium ergeben. Dieses Potenzial kann im Dünnschichtbereich jedoch nur dann ausgeschöpft werden, wenn eine wirkliche Massenfertigung begonnen hat. Leider heben im Moment noch die Planungs- und Installationskosten für komplizierte Anlagen alle Preisvorteile auf.

11. Fertighäuser und GIPV – eine perfekte Synergie?

Problemstellung:

Ein zentrales Problem der GIPV sind hohe Aufwendungen durch die „**Einzigkeit**“ jedes einzelnen architektonisch anspruchsvollen GIPV-Projekts. Standort-, Kunden- und Zeitfaktoren sowie die unterschiedlichen Rahmenbedingungen machen aus jedem GIPV-Projekt im besonderen Maße individuelle Projekte, die Einzelanfertigungen erfordern. Somit ist jeder einzelne Projektentwicklungs-, Planungs-, Spezifikations-, Entwicklungs- und Herstellungsschritt auf eine Anlage reduziert, wobei **hohe Unsicherheiten und Risiken** immer wieder von Neuem auftreten.

Lösungsansatz Fertighaus:

Im drastischen Gegensatz dazu zeichnen sich Fertighäuser durch Standardisierung, Modularisierung, Gesamtplanung und Fertigung unter industriellen Bedingungen aus. Dabei eröffnen hohe Stückzahlen ein bedeutendes Kostensenkungspotenzial. In logischer Konsequenz ergeben sich aus der Fertigbauweise auch für die GIPV große Chancen.

11.1. Vorteile und Kosteneinsparungspotenzial im Fertighaus

Systemplanung

Bei der Planung kann von Beginn an eine optimale Integration von PV berücksichtigt werden.

Materialeinsparungen

Es ist möglich, die Kosteneinsparungspotenziale durch den Ersatz anderer Baustoffe auch tatsächlich zu realisieren.

Gesamtenergiekonzept

die Verwendung von Photovoltaik gemeinsam mit anderen Erzeugern und Verbrauchern wird zu einem schlüssigen Gesamtenergiekonzept kombiniert.

All-in-one Convenience

Neben technischen Vorteilen entsteht daraus auch ein zusätzlicher Kundennutzen und Komfort. PV frei Haus.

Entwicklung

Eine GIPV-Lösung kann einmal entwickelt und dann für hohe Stückzahlen genutzt werden. Dies ist ein beträchtlicher Vorteil, denn der Planungs- und Projektentwicklungsaufwand kann bei GIPV-Projekten bis zu 20 % der Gesamtkosten ausmachen.

Lernkurve

Die technische Planung kann ausgefeilt und optimiert und Verbesserungen können laufend implementiert werden.

Werksmontage

Die Montage unter industriellen Bedingungen reduziert auch die Kosten für die Montage von GIPV, insbesondere bei der Anbindungstechnik und Verkabelung.

Fertighausfirmen als Vermarkter

Der Fertighausanbieter kann mit der Photovoltaik ein Gesamtkonzept vermarkten und am Weg zum Kunden Partnerschaften etablieren und Mehrwertpakete für die Kunden schnüren. In **Fertighauszentren** besteht die **Möglichkeit, GIPV zu demonstrieren** und für die Kunden erlebbar zu machen.

Standardisierung und Economies of Scale

Die Standardisierung der eingesetzten Komponenten und die modulare Bauweise führen zu Stückzahlvorteilen in allen Bereichen.

Dabei kann das Fertighaus zwei Kostenstrategien verfolgen:

1) Kostenstrategie „Stückzahl“: Kosteneinsparungen durch erhöhte Stückzahlen von Sonder- bzw. Architekturmodulen

In diesem Fall können durch hohe Stückzahlen und Produktoptimierungen „Architekturmodule“, wie etwa Isolierglasmodule, kostengünstiger hergestellt werden.

2) Kostenstrategie „Standardmodul“: Kosteneinsparungen durch die Integration von Standardmodulen in GIPV

Die zweite Chance für Kostensenkungen liegt für das Fertighaus in der Entwicklung von Fertighauskonzepten, die PV zwar architektonisch anspruchsvoll integrieren, GLEICHZEITIG jedoch mit Standardmodulen aus der „Aufdachwelt“ auskommen. Diese Standardmodule werden millionenfach hergestellt und bergen entsprechende Kostensenkungspotenziale in sich, auch für die Zukunft.

Wenn das Fertighaus die Besonderheiten und Abmessungen von Standardmodulen berücksichtigt, sind für bestimmte Einsatzbereiche architektonisch anspruchsvolle Lösungen auch mit Standardmodulen möglich. Gerade ein Fertighaus kann in eine ausgeklügelte Planung investieren, die sich über die Stückzahlen schnell amortisiert.

Dadurch können die Mehrkosten stark reduziert oder sogar zu Kostenvorteilen gedreht werden, wie das folgende Beispiel zeigt:

Kostenstrategien GIPV im Fertighaus	
Kostenstrategie „Stückzahl“	Kostenstrategie „Standardmodul“
Erhöhte Stückzahlen von Sonder- bzw. Architekturmodulen	Integration von Standardmodulen in GIPV
Einsparungspotenzial durch Produktion in hohen Stückzahlen und einmalige Planung. Implementierung von „Rastermaßen“ für den übergreifenden standardisierten Einsatz.	Einsparungspotenzial durch den Einsatz von Standardmodulen. Entwicklung und Planung des Dachaufbaus und Hauskonzeptes RUND UM DAS MODUL
Kostenvergleich mit „Aufdachanlagen“: 10 bis 30 %	Kostenvergleich mit „Aufdachanlagen“: -15 bis +10 %
Tabelle 11.1	

11.2. Die Vision im Fertighaus: Kostensenkung durch GIPV –GIPV wird zum Motor der Energiewende

Die Kostenstrategie „Standardmodul“ zeigt eine Vision auf, die das Kostenoptimum mit einem hohen ästhetischen Anspruch kombinieren kann. GIPV im Fertighaus wird zum Kostenführer bei der Photovoltaik im Kleinanlagenbereich.

Vergleich einer 4-kW-Aufdachanlage mit einer 4-kW-Fertighausanlage mit der Kostenstrategie „Standardmodul“ (Basispreise Ö 2009):

Einsparungsrechnung einer Aufdachanlage als Einzelerrichtung mit einem Fertigteilkonzept „Standardmodul“ auf Basis der Nettoendkundenpreise 2009 in Österreich

Preise pro kW für eine 4 kW Anlage	Endkundenpreis Aufdach	Endkundenpreis Fertighaus	Preisvorteil Fertighaus „Standardmodul“	%
Modul	3.000	2.700	300	
Wechselrichter	500	450	50	
Montagesystem, Verkabelung	400	400	–	
Montage	500	250	250	
Planung	250	100	150	
Gesamtkosten Netto	4.650	3.900	750	- 16 %

Tabelle 11.2

- Module und Wechselrichter: Die Kostenstrategie „Standardmodul“ erlaubt den Zugriff auf Massenware. Durch Mengenvorteile des zentralen Einkaufs beim Fertighaushersteller werden Kostenvorteile für Modul und Wechselrichter möglich.
- Montagesystem, Verkabelung und Materialeinsparung: Eingespart werden Dachhaken, sowie Fassaden- oder Dachbaustoffe. Dafür entsteht ein Mehraufwand durch Übergänge zu anderen Elementen der Gebäudehülle und eine notwendige Unterkonstruktion.
- Montage, Kabelführung und Errichtung: Vorfertigung unter industriellen Bedingungen. Es entsteht kein Mehraufwand gegenüber der Anbringung alternativer Bauelemente. Zusatzaufwand lediglich durch teilweise notwendige Endmontagearbeiten am Bauort.
- Planungsaufwand: Von der Ersparnis individueller Systemstatikberechnungen, Anlagenplanungen und Beratungsleistungen bis zur individuellen Baukoordination können im Fertighauskonzept Kosten gespart werden.

Diese hier exemplarisch vorgerechnete Vision der Kostenreduktion durch GIPV ist absolut möglich. Betrachtet man die Kostenkomponenten kleiner PV-Anlagen (hoher Anteil von Beratung, Planung und Errichtung) wird sogar deutlich, dass hier generell (neben der Modulpreissenkung) ein notwendiger Ansatzpunkt weiterer zukünftiger Kostensenkungen der PV liegt. Mehrkosten entstehen für die Fertighaushersteller natürlich in der Entwicklung, Planung und Vermarktung. Ein funktionierender Markt und planbare Bedingungen sind hier die Voraussetzungen, um diese Kostenpotenziale zu heben.

11.3. Was braucht's? Voraussetzungen für die GIPV im Fertighaus

Nun stellt sich nur noch die Frage, weswegen sich hier noch keine große Dynamik entwickelt hat. Eine Antwort liefert die Betrachtung der notwendigen Zeithorizonte zur Entwicklung und zum Vertrieb von GIPV Fertighausmodellen.

Entwicklung eines GIPV-Fertighauses:

- Fertighauskonzept
 - Schlüssiges Fertighauskonzept mit GIPV
- Entwicklung GIPV
 - Komponenten, Einbindung, Gesamtsystem
 - Tests und Prüfungen (Dichtigkeit, Kondenswasser, Dehnung, ...)
- Vertrieb, Mitarbeiter, Lieferanten und Ausführende
- Vermarktung
 - Marketing, Demoobjekte, Vertriebsstruktur
 - Partnerschaften
 - Vertrieb: neue Vertriebskanäle und Aufbau der Vertriebsstrategie
 - Finanzierungs- und Strompartnerschaften

Die Planung vom Fertighauskonzept bis zur erfolgreichen Vermarktung dauert dementsprechend zwei bis drei Jahre. Ein Gesamtansatz, der langfristig die Integration der PV in die Fertighausmodelle der Zukunft bringt und zu einer nachhaltigen Integration von PV in die Marketing-, Produkt- und Vertriebsstrategien der Fertighaushersteller führt, braucht auch einen vergleichbar langfristig planbaren Fördermechanismus und ein stabiles Marktumfeld.

Planungshorizont von Photovoltaikanlagen für Einfamilienhäuser bis 5 kW:

Ansprechbare Anlagentypen mit punktuellen Förderprogrammen		
Planungshorizont Photovoltaikanlagen	Zeithorizont	Kompatibilität mit punktuellen Fördermodellen
Planung einer Aufdachanlage mit Standardkomponenten	2 – 6 Wochen	ja
Planung einer Indachanlage in geeignete bestehende Gebäude	4 – 8 Wochen	ja
Entwicklung, Planung und Vermarktung eines GIPV-Fertighauses	2 – 3 Jahre	nein

Tabelle 11.3

Wenn es zu nicht planbaren Zeiten nicht planbare Förderbudgets gibt, wird die besondere Förderung der GIPV nur die kurzfristige Einplanung von einzelnen Anlagen in bestehende Gebäude ansprechen können. Anreize für die Fertighausindustrie sind so nicht realisierbar.

Die Synergien aus Standardisierung, Stückzahlen und Planungsaufwand sind bei Fertighauskonzepten IM BESONDEREN MASSE auf langfristige Perspektiven und eine langfristige Planbarkeit angewiesen. Die Förderung von GIPV-Fertighäusern kann demnach nur mit langfristigen Fördermodellen funktionieren. Ebenso ist der Entscheidungsprozess der Hausanschaffung langfristig und mit zyklischen Förderungen nicht vereinbar.

11.4. Fertighaus und Investitionskosten von Photovoltaikanlagen

Die finanziellen Belastungen beim Bau eines privaten Eigenheimes werden durch die hohen Anschaffungskosten der Photovoltaik noch verstärkt, was schlussendlich oft gegen die Photovoltaik-Investition spricht. Fertighaushersteller hätten die Chance und Möglichkeit, durch Partnerschaften und innovative Geschäftsmodelle diese Investitionskosten zu glätten und in die Finanzierung des Fertighauses zu integrieren. Beispiele dafür sind besondere Leasingpakete oder Strompartnerschaften in Zusammenarbeit mit Energieversorgern.

11.5. Stärkung der österreichischen Fertighausindustrie

Die Fertighausindustrie ist ein Stärkefeld der österreichischen Industrie und Bauwirtschaft.

Das Gesamtumsatzvolumen der österreichischen Fertighausindustrie betrug dabei im Jahr 2008 rund 740 Mio. EUR (hochgerechnet aus 63 % ÖFV Anteil mit 449 Mio. EUR).

Mit GIPV rüsten sich die Hersteller für die Kundenbedürfnisse der Zukunft. Zur Sicherung des österreichischen Markts, aber auch als Chance für zusätzliche Impulse in der wachsenden Bedeutung der Exportmärkte.

In Deutschland ist Photovoltaik generell ein „Pflichtthema“ für Anbieter. In Märkten wie Frankreich existieren explizite Sonderprogramme für GIPV und damit auch besondere Chancen für Fertighauskonzepte.

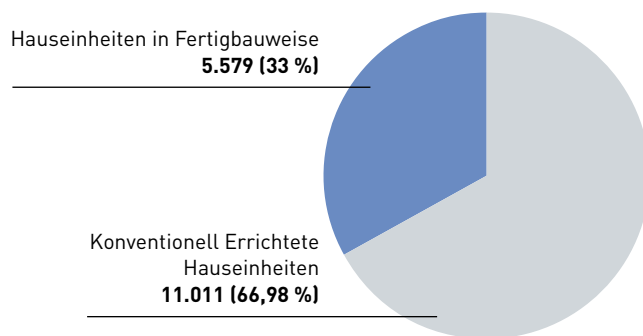


Abb. 11.1
33 % aller Hauseinheiten werden in Fertigbauweise errichtet.
(Österreichischer Fertighausverband)

12. Beschaffungsprozess und Standardisierung in der GIPV

12.1. Beschaffungsprozess und Vertriebsstruktur

GIPV ist gegenüber der Planung einer Aufdachanlage wesentlich komplexer und benötigt einen „erweiterten Vermarktungsansatz“, der mit dem für Aufdachanlagen etablierten Beschaffungsprozess nicht effizient abgewickelt werden kann.

Neue Akteure treten in den Prozess ein, deren Einbindung im Beschaffungsprozess bewerkstelligt werden muss. Die derzeit etablierten Vertriebskanäle sind weitgehend linear aufgebaut und durchlaufen einen mehrstufigen Verkaufsprozess vom Erzeuger über den Handel zum Verkäufer und Monteur.

Für die GIPV unterscheiden sie sich jedoch aus mehreren Gründen:

- Komponenten als integraler Bestandteil der Planung
- erhöhte Komplexität und erweiterte Planungsaufgaben
- zusätzliche Kundenkreise und Akteure

Für GIPV ist eine Vertriebsstruktur notwendig, die diese Faktoren berücksichtigt und die lineare Prozesskette an einem Knotenpunkt zusammenführt.

Erzeuger, Photovoltaikplaner, Architekten und Bauträger müssen bereits in der Vorplanung zusammenkommen, um von Anfang an Kundenwünsche, Architektur und technisch sowie wirtschaftlich optimierte Anlagen planen und errichten zu können. Auch der Modulhersteller ist näher am Geschehen, da oft die Produktionsmöglichkeiten der Modulhersteller mit den Architekturwünschen und Wirtschaftlichkeitsaspekten in Einklang zu bringen sind (realisierbare Modulgrößen und Formen, Transparenzgrade, Farben oder Anbindungen).

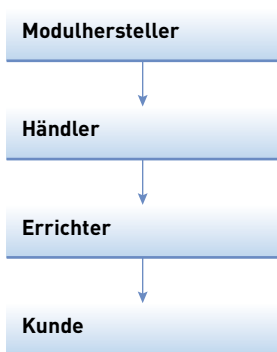


Abb. 12.1: Typische Vertriebsstruktur Aufdachanlage

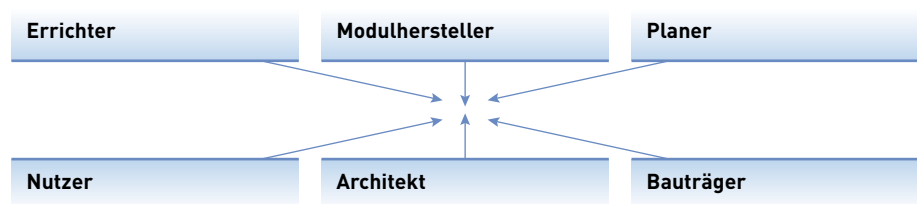


Abb. 12.2: Typische Vertriebsstruktur GIPV

12.2. Kosteneinsparung durch Standardisierung

Standardisierung ist für die Fertighausparte und GIPV generell eine Grundvoraussetzung für die Nutzung von Kostensenkungspotenzialen:

Herstellungskosten

Sonder- bzw. Architekturmodule werden oft in sehr geringer Stückzahl spezifisch auf das jeweilige Projekt zugeschnitten und teilweise einzeln gefertigt. Durch Standardisierung von Abmessungen, Anschlusspunkten und Anforderungen können trotz individueller Planung und Realisierung Produkte in Serie hergestellt werden.

Kostenreduktion Planungsprozess

Standardisierung im Sinne des Planungsprozesses bedeutet einerseits die Etablierung einheitlicher Normen und Rahmenbedingungen, andererseits die Standardisierung der technischen Planung durch standardisierte Dach- und Fassadenelemente, die sehr einfach in Gebäudeplanungen integriert werden können.

Kosteneinsparung durch „bulk orders“

Die Standardisierung bezieht sich hier auf die Vereinheitlichung mehrerer Häuser oder Gebäude in einer Siedlung. Neben Planungssynergien und Vereinfachungen können dabei Kosteneinsparungen durch die erhöhten Stückzahlen (siehe oben) und die bessere Einkaufsposition erzielt werden. Im Bereich von Standardmodulen sind dadurch 10 - 20% Gesamtkostenreduktionen möglich. Bei Sondermodulen können die Kosteneffekte hoher Stückzahlen noch wesentlich darüber hinaus gehen.

Beispiel Solarisierung

Die Höhe der Einsparungspotenziale zeigt sich an großen Solarsiedlungsprojekten, die unter Einsatz standardisierter Produkte, frühzeitiger Einbindung der PV im Errichtungs- oder Sanierungsprozess und hoher Stückzahlen Preise realisieren konnten, die gegenüber Einzelplanungsprojekten deutliche Kostenvorteile mit sich gebracht haben.

Hier wurden in der Essener Humboldtsiedlung schlüsselfertige Solarstromanlagen mit einer Gesamtnennleistung von 300 Kilowatt (kW) errichtet. Zur Kostenoptimierung wurden im Vorfeld in einem Prototypprojekt materialeffiziente Lösungen für typische drei- bis vierstöckige Wohnblocks entwickelt, die dann einheitlich zum Einsatz gelangten.



Ein Teil einer schlüsselfertigen Solarsiedlung in Essen
(Abakus solar AG)



Solarsiedlung in Essen
(Abakus solar AG)

Kostenreduktion bei Know-how und Koordination

Standardisierung bedeutet letztlich eine drastische Reduktion der Komplexität der Bauvorhaben und somit reduzierte Kosten der Koordination. Der Umgang mit bekannten Komponenten und Regeln reduziert Fehler und beschleunigt die Lernkurve.

Risikokosten

Der Einsatz standardisierter Komponenten in einem bekannten einheitlichen Umfeld reduziert die Produkt- und Planungsrisiken erheblich, was in weiterer Folge zu Kostenreduktionen führt.

Mittelfristiges Kostensenkungspotenzial

In der Photovoltaik geht man generell von einer 20 prozentigen Kostensenkung mit jeder Verdoppelung der Stückzahlen aus. Diese werden dann auch in der GIPV möglich. In Anlehnung an diese Zahlen kann das mittelfristige Kostensenkungspotenzial anhand der Standardisierung und Massenerzeugung von Modulen aus Verbund-Sicherheitsglas (VSG Module) veranschaulicht werden:

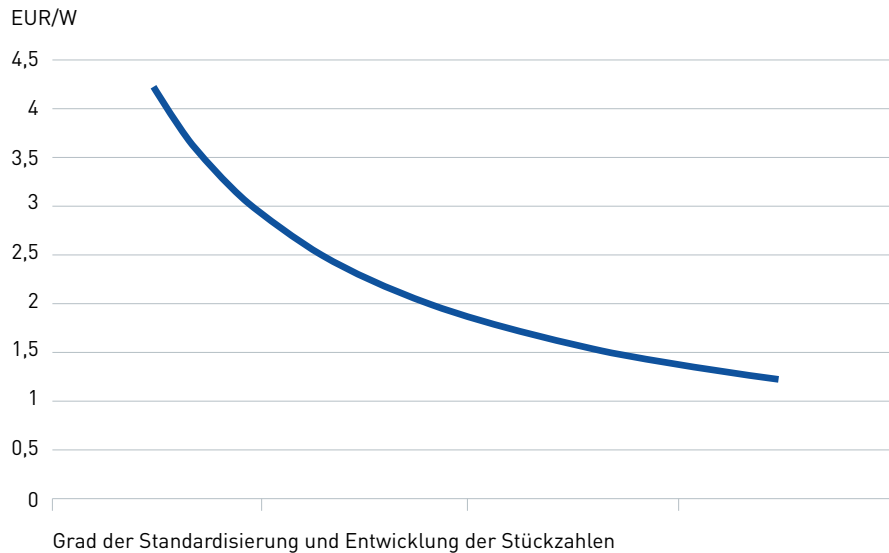


Abb. 12.3

Entwicklungspotenzial der Produktionskosten von GIPV-Modulen (in Anlehnung an Solar Generation und IEA-PVPS 2006)

Die Darstellung zeigt, dass mittelfristig ein vergleichbarer Kostensenkungspfad in der GIPV möglich werden kann, wie er bei Standardmodulen schon eingesetzt hat.

GIPV Module können genauso von den Zellkostensenkungen und neuen Zelltechnologien profitieren. Und wenn sie parallel die eigenen Stückzahlen und die Produktivität durch Standardisierung erhöhen können, bleiben am Ende nur noch systembedingte Kostenunterschiede in der Produktion (etwa der Mehrpreis durch den Einsatz von höherwertigem VSG Glas oder Verfahrenseinschränkungen in der Produktion). Die Voraussetzung für die Standardisierung sind jedoch einheitliche rechtliche Rahmenbedingungen und Normen, die Koordination und Zusammenarbeit aller beteiligten Marktteilnehmer sowie Planungssicherheit für die Umsetzung langfristiger Standardisierungsprojekte.

13. Beispiele neuer, futuristischer Lösungen, die den Aufbruch in das Solarzeitalter symbolisieren



Cybertecture (James Law)

Der Aufbruch in ein neues Energiezeitalter kann durch nichts besser demonstriert werden als durch das Erscheinungsbild unserer Gebäude. Gerade der urbane Raum steht weltweit vor enormen Problemen, von denen das Energieproblem mit Sicherheit ein zentrales ist.

Ein Aufbrechen der Gewohnheiten heißt, Gebäude zu planen und zu realisieren, die nahezu keinen externen Energiebedarf haben. Niedrig-, Passiv bzw. Plusenergiehäuser werden in immer größerer Anzahl errichtet und kommen auch kostenmäßig immer näher an die gewohnte Bautradition heran.

Nachfolgend werden einige Beispiele und Konzepte für zukunftsfähige bzw. futuristische Gebäudekonzepte vorgestellt. Damit sollen Ideen angeregt werden, in welche Richtung die Gestaltung unserer Gebäude gehen kann, wobei immer auch die Funktionalität, die Energieeffizienz, das architektonische Erscheinungsbild und die solare Kraftwerksfunktion im Gesamtpaket zu betrachten sind.

Der Dynamic Tower in Dubai

Der Dynamic Tower (in Planung, geplante Fertigstellung 2010) soll in Dubai entstehen. Bei diesem Gebäude wird es sich um ein Hochhaus mit 80 Stockwerken und 420 Metern Höhe handeln. Das Konzept des Dynamic Tower wurde von einem Team rund um den Architekten Dr. David Fisher entwickelt. Es wird das erste Ökohochhaus sein, das über Windkraftturbinen und Solaranlagen seinen Energiebedarf völlig autark decken kann. Dabei soll es sogar mehr Energie produzieren, als es benötigt. (www.dynamicarchitecture.net)

World's largest solar stadium – Kaohsiung, Taiwan

Mit dem neuen World Games Stadium für die 8. World Games vom 16. bis 26. Juli 2009 in Taiwan hat der Inselstaat vor dem chinesischen Festland ein wahres Vorzeigeprojekt für nachhaltige Architektur geschaffen. 8844 Solarpaneele sind auf einer Dachfläche von 14.155 Quadratmetern installiert. Mit dieser riesigen Solaranlage sollen im Jahr ca. 1,14 Millionen kWh Sonnenstrom erzeugt werden.

Designstudie für das Cybertecture Egg in Mumbai

Das Gebäude in Eiform ist derart orientiert und geneigt, um sowohl einen starken optischen Eindruck zu vermitteln als auch den Solargewinn auf seiner Oberfläche zu maximieren. Eine Windturbine im Sky Garden wird darüber hinaus Strom produzieren. Es wird im neuen Central Business District von Mumbai errichtet.

Diverse weitere Fotos und Beschreibungen zu innovativen GIPV Projekten finden sich auf der Internetplattform www.solarfassade.info

14. Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Der gebäudeintegrierten Photovoltaik wird eine rosige Zukunft vorausgesagt. Alle Prognosen gehen von einem massiven Wachstum aus, die Randbedingungen für diese Technologie sind sehr gut, die Übergangsphase bis zur Wirtschaftlichkeit bedarf aber klarer steuernder Impulse. Österreich hat jedenfalls die Chance, durch frühzeitige Beschäftigung mit dieser Thematik innovative Lösungen mit hohem Exportpotenzial zu schaffen.

Auf Basis erster Pilotprojekte gilt es nun, eine solide Know-how-Basis zu generieren – von Pilotprojekten zu einem Massenmarkt, der sich mit großer Wahrscheinlichkeit bereits im kommenden Jahrzehnt entwickeln wird.

Vorgefertigte Bauteile, energieaktiver Fassadenbau, PV als integraler Bestandteil von Gebäudeaußenflächen, solare Atrien und vieles mehr – es ergeben sich neue Chancen für die Glasindustrie und die Bauwirtschaft, stets in Verbindung mit moderner Architektur. Die Tradition der österreichischen Architektur muss konsequent um den Faktor Energie erweitert werden, im Sinne von Energieeffizienz im Bau und Betrieb und architektonisch interessanter Lösungen für stromerzeugende Gebäudeaußenflächen.

GIPV wird einerseits durch „Handmade“-Sonderlösungen realisiert werden. Andererseits wird es jedoch auch zu einer Standardisierung kommen, vor allem im Fertigteilhaus, aber auch bei Standardfassaden.

Der weltweite Markt entwickelt sich äußerst dynamisch. Eine engere Verbindung der Photovoltaik mit dem Baugewerbe ist wesentlich. Je früher man sich darauf einstellt, desto mehr Chancen auf Wettbewerbsvorteile eröffnen sich.

Literatur

Biermayr P., Weiss W., Bergmann, H. Fechner, Glück N., 2009, Erneuerbare Energie in Österreich. Marktentwicklung 2008, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 16/2009.

Bendel, C., 2008, „Multifunktionale Photovoltaikprodukte- Strategie und Lösungen zu neuen Produkten mit hohem Kostensenkungspotential“, ISET

Building Integrated Photovoltaics, A New Design Opportunity for Architects, a brochure prepared and published in the frame of the European SUN-RISE Project in collaboration with the European Photovoltaic Technology Platform, 2008

Building Integrated Photovoltaics Markets-2008, NanoMarkets, Glen Allen, VA 23058

Fechner H. et al., 2007, „Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich“, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 28/2007.

Fechner H., Tschernigg G., 2009, „Marktstatus und Potenziale bei PV und speziell GIPV“, verfasst und publiziert im Rahmen des Projekts Sun power City

Frost & Sullivan, Study on the European BIPV Market, 2007

Haas R., Stieldorf K., Wilk H., López-Polo A., Faninger G., 2003, Photovoltaik in Gebäuden, IEA Task 7, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 7/2003.

Hagemann, Ingo B., „Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration, der Photovoltaik in die Gebäudehülle“, Köln, Rudolf Müller, 2002

Hemmerle C., Koerdt F., Schäffler R., Geyer D., PV-VH-Fassaden: Standardisierte Fassadenbekleidung mit integrierten PV-Dünnschichtmodulen, Otti, 3/2009

IEA PVPS, Guidelines for Economic Evaluation, 2002

IEA PVPS, Potenzial for Building Integrated Photovoltaics IEA-T7-2002

Kaltschmitt M., et al.: Erneuerbare Energien in Österreich – Perspektiven und Potenziale, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2009

Krawietz, Silke, Gebäudeintegration von Photovoltaik in Europa, TU Darmstadt, 2003

Kuhn E. Tillman et.al., FhG-ISE Freiburg, Funktion und Ästhetik sind die bestimmenden Faktoren, in Sicht und Sonnenschutz, 7-8 2009

Markowitz Paul, Building a case for PV, Renewable Energy World Magazine, Sept-Oct. 2009

Montoro D.; 2008, International Workshop on BIPV, EPIA

Moor Dieter, ertex-solar, Herausragende GIPV Projekte in Europa und Afrika, Tagungsband PV Integration, OTTI 3/2009

Österreichischer Fertighausverband, Fertigbau Statistik 2008

Reijenga T., PV in Architecture, Feb. 2002

Ruhl V., Lutter F., Schmidt C., 2008, „Standardgutachten Photovoltaik in Deutschland“. EuPD Research.

Willkomm W., Worauf achten der Bauherr und der planende Architekt, (Otti, 3/2009)

Besonderer Dank allen, die zur Erstellung dieser Studie beigetragen haben, im Besonderen: Gundula Tschernigg, Arch. Fritz Öttl, Arch. Kaltenegger, Gernot Becker, Thomas Becker, Dieter Moor, Christian Murhammer, Markus Kirschner, Greg Watt, Ir. Ahmad Hadri Haris, Philippe Jacquin, Peter Biermayer, Hermann Pengg, Sandra Straka.

Anmerkungen:

Die Leistungsangaben für Photovoltaik-Elemente bzw. -Anlagen in Kilowatt (kW), Megawatt (MW), Gigawatt (GW) in dieser Studie beziehen sich immer auf die genormte Spitzenleistung. Diese wird bei einer Einstrahlung von 1000 Watt pro Quadratmeter und 25°Celsius erreicht. Auf den Zusatz „peak“ (kW oder kW, MW oder MW), wie er in einigen Photovoltaik Publikationen verwendet wird, wurde konsequent verzichtet.

Aus Gründen der Textökonomie werden in der vorliegenden Arbeit weibliche Formen nicht explizit angeführt. An dieser Stelle wird jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich alle personenbezogenen Formulierungen grundsätzlich gleichermaßen auf Frauen und Männer beziehen.

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Str. 5/22, 1060 Wien

Gestaltung: ZS communication + art GmbH

Titelfoto: ertex-solar

Druck: digitaledruckwerkstatt
Maroltingergasse 36-38
1160 Wien

Herstellungsort: Wien, Oktober 2009