

Photovoltaikanlagen

Perspektiven für eine Realisierung mit
hochwertiger Gestaltung, grossem Nutzen
und nachhaltiger Funktion



Impressum

Photovoltaikanlagen: Perspektiven für eine Realisierung mit hochwertiger Gestaltung, grossem Nutzen und nachhaltiger Funktion.

Herausgeber

Bundesamt für Bauten und Logistik BBL
Projektmanagement
Fellerstrasse 21
3003 Bern

Verfasser

Hanspeter Winkler BBL
Siegfried Burkhalter BBL

Redaktion, Lektorat

Paul Knüsel, Fachjournalist BR

Übersetzung

Teconia

Titelbild

Visualisierung einer fassadenintegrierten Photovoltaikanlage für das Projekt «Erweiterung Depot, Sammlungszentrum Zeughaus» Affoltern ZH. (Quelle: Archiv BBL)

Publikationsdatum

August 2024

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
Bedarf und Zweck	4
Technik und Baukultur	5
Versorgung mit Solarstrom	6
Grundsätze zur Architektur der am Gebäude integrierten PV	6
PV-Installation: Projektziele und Nutzungsbedürfnisse	14
Lebenszyklus und Ökologie	18
Weitere Informationen	22

Einleitung

Vorbildfunktion Bund: Ausbau der Photovoltaik im Gebäudebereich

Die Bundesverwaltung rüstet gemäss Art. 45b des Energiegesetzes EnG geeignete Flächen solaraktiv aus und nimmt ihre Vorbildfunktion zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und zum Ausbau von erneuerbaren Energien mit einem eigenen «Klimapaket Bundesverwaltung» wahr. Das Bundesamt für Bauten und Logistik (BBL) setzt dazu auf eine erneuerbare Stromproduktion im Betrieb des eigenen Liegenschafts-portfolios.

Wird das Potenzial an geeigneten Dach- und Fassadenflächen für die Produktion von Solarstrom ausgeschöpft, kann der Jahresertrag bis 2030 auf über zwei Gigawattstunden (GWh) erhöht werden. Diese Erträge werden nach dem Eigenverbrauchsprinzip für den Bezug innerhalb des Immobilienbestands des Bundes zur Verfügung gestellt. Dank der Organisation als Sub-Bilanzgruppe Bund wird der vom Bund erzeugte Strom ausserhalb des Strommarkts vertrieben.

Bedarf und Zweck

Anleitungen und Fachhinweise für die Integration von Photovoltaikanlagen im Liegenschaftsportfolio des Bundes

Die generelle Ausbaustrategie bei Liegenschaften des Bundes ist: «so viel Photovoltaik wie möglich.» Aber wie ist dies bei Einzelprojekten umzusetzen? Aus der Fachliteratur und dem Stand der Praxis lassen sich wesentliche Ansätze ableiten, wie ein Entwickeln, Entwerfen und Planen von Neubauten oder von Gebäudeerneuerungen mit der Integration von Photovoltaikanlagen (PVA) auf dem Dach respektive an den Fassaden konfliktfrei kombinierbar sind.

Dieser Bericht will eine projektspezifische Umsetzung mit zusätzlichen Inputs und Anregungen unterstützen und insbesondere vermitteln,

wie Planung und Installation von PVA auf nachhaltige Art und Weise zu berücksichtigen sind. Die folgenden Fachinformationen konzentrieren sich auf den Wissensbedarf innerhalb des Bundesamts für Bauten und Logistik (BBL) und richten sich deshalb an ein Fachpublikum, das dauerhafte oder projektspezifische Aufgaben zur Entwicklung, Projektierung und Bewirtschaftung von Bundesbauten

Technik und Baukultur

Empfehlungen für das Projektmanagement und die Fachplanung

Das Potenzial der gebäudeintegrierten Photovoltaik (PV) ist gross und jeweils dem Stand der Technik und der Baukultur angemessen auszuschöpfen. Die folgenden Aussagen und Empfehlungen zur Installation von PVA beziehen sich auf nicht denkmalgeschützte Liegenschaften. Das Abwägen zwischen einer Optimierung der Energieausbeute vor Ort und einer hochwertigen Baukultur wird dennoch generell eingefor-

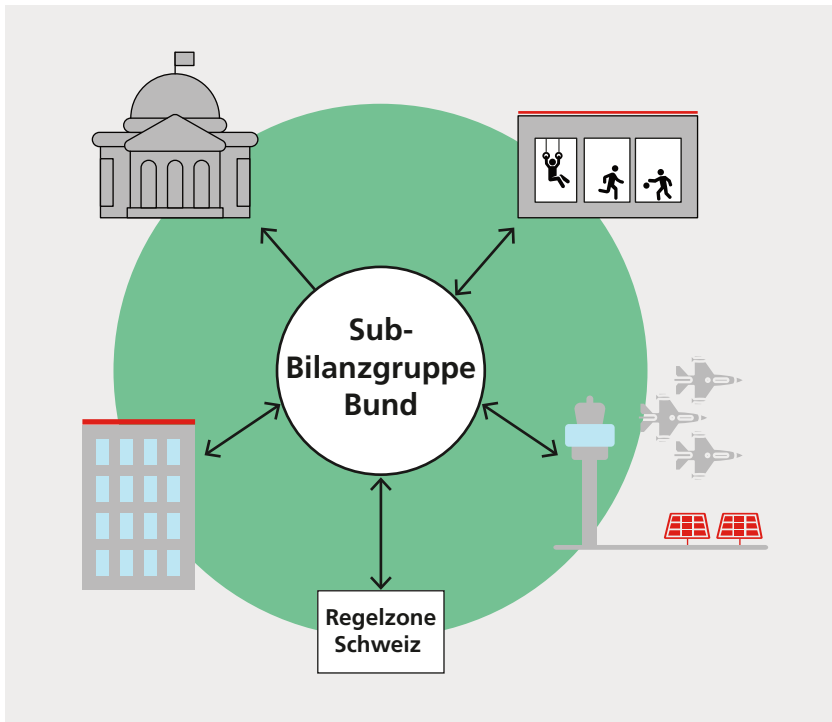
dert. In Bezug auf die Architektur sind generell konfliktfreie, in und ausserhalb der Fachwelt breit akzeptierte Gestaltungsprinzipien zur Gebäudeintegration vorzuziehen. Es gilt: Die hochwertige Planung und Realisierung von PVA auf Bundesbauten setzt sich mit diesen Grundsätzen und den aktuell geltenden Rahmenbedingungen vertieft auseinander.



Ansicht des Verwaltungssitzes Amt für Umwelt und Energie, Kanton Basel-Stadt, mit Solarfassaden. Der Neubau wurde 2022 eröffnet und erhielt einen Preis für die Gebäudeintegrierte Solartechnik des Solarenergiefördervereins Bayern. *Quelle: Kathrin Schulthess*

Versorgung mit Solarstrom

Maximieren der lokalen Eigenproduktion



Schematische Darstellung der Sub-Bilanzgruppe Bund: Die Produktion und der Bezug von eigenem Solarstrom an Gebäuden und Infrastrukturanlagen des Bundes werden innerhalb dieser Organisationseinheit abgewickelt, die über eine Abrechnungsstelle mit der Regelzone Schweiz verbunden ist.

Quelle: Faktor Verlag

Die Stromversorgung für die Liegenschaften des Bundes erfolgt in einer vom Markt abgekoppelten Organisationseinheit. Die sogenannte «Sub-Bilanzgruppe Bund» ist einer Eigenverbrauchsgemeinschaft vergleichbar, weshalb lokale Ertragsüberschüsse jeweils intern bilanziert werden. Für die Ausführung des priorisierten PV Ausbaus ergibt sich daraus der Vorteil einer übergeordneten Perspektive: Die Dimensionierung von PVA beschränkt sich nicht auf den Eigenbedarf des Gebäudes vor Ort. Vielmehr ist die Produktion von erneuerbaren Energien an jedem dafür geeigneten Standort möglichst zu maximieren.

Die dynamische Entwicklung beim Zubau von PV im Gebäudebereich beweist, dass eine dezentrale Solarstromproduktion heute bereits wirtschaftlich ist. Es zeichnet sich zudem ab, dass letztere auch zur Erhöhung der Versorgungssicherheit beitragen kann respektive den Ausbaubedarf für die Verteilnetze reduziert.

Grundsätze zur Architektur der am Gebäude integrierten PV

Gebaute Lebensräume nachhaltig weiterentwickeln

Nachhaltiges Bauen erfüllt gesellschaftliche, ökologische und wirtschaftliche Ansprüche. Deshalb haben nachhaltige Gebäude unterschiedlichen Kriterien und Zielgrößen gerecht zu werden. Ressourcenschonend erstellte und energieeffizient betriebene Bauten sind zum Beispiel auch an ihrer Dauerhaftigkeit zu messen. Das «Ökosystem Gebäude» muss sich an wandelbare Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer anpassen können.

Ebenso gilt es hochwertige Arbeits- und Lebensräume mit einer Ästhetik zu verbinden, die wesentlich zu einer zeitlich anhaltenden Akzeptanz beitragen kann. Das Bundesamt für Bauten und Logistik will deshalb Fachleute dazu motivieren, sich integral für das nachhaltige Bauen zu engagieren und die jeweiligen Planungs- und Bauprozesse mit einem interdisziplinär erarbeiteten, positiven Ergebnis abzuschliessen.

Auswahlverfahren für hochwertige Ideen

Architekturschaffende und PV-Fachleute frühzeitig beteiligen

Für die Planung von Photovoltaikanlagen an Liegenschaften des Bundes ist daraus abzuleiten: Einerseits soll das Flächenpotenzial zur Solarstromproduktion an Bauten im BBL-Verantwortungsbereich grösstmöglich ausgeschöpft werden. Andererseits darf die baukulturelle Wirkung nicht vernachlässigt werden. Die elektrotechnischen Bauteile und Installationen, die für eine lokale Stromproduktion erforderlich sind, dürfen sichtbar sein, solange sie die ästhetische Gesamtwirkung eines Bauwerks nicht negativ prägen. Die Baupraxis zeigt in der Schweiz regelmässig, dass ein hervorragendes Zusammenspiel zwischen Architektur und Photovoltaik möglich ist.

Architekturwettbewerbe oder andere offene Vergabeverfahren dienen in einer frühen Projektphase dazu, die für eine spezifische Bauaufgabe bestmögliche Idee aus unterschiedlichen Vorschlägen auswählen zu können. Daran beteiligte Vertreterinnen und Vertreter aus Architektur und der PV-Fachplanung erhalten dabei die Gelegenheit, ihre fachlichen und gestalterischen Kompetenzen frei zu einbringen und innovative Lösungsansätze mit entsprechender Aussenwirkung zu entwickeln.



Ansicht des Sonnenschutzsystems (mit PV-Modulen) auf dem Dachspielplatz der Schulanlage Manegg in der Stadt Zürich. Das Projekt wurde in einem Wettbewerbsverfahren ausgewählt.

Quelle: Ingo Rasp

Empfehlungen für eine gute architektonische Gestaltung

Ästhetisch hochwertige sowie wirtschaftlich-energetisch optimierte Lösungsansätze wählen

Die sorgfältige Installation von PVA orientiert sich an architektonischen Ansprüchen für eine Gebäudeintegration. In die Gebäudehülle – Dach und/oder Fassade – integrierbare PV-Anlagen wirken ästhetisch hochwertiger als angebaute oder aufgesetzte Konstruktionsvarianten. Für die PV-Installation an Bauten im BBL-Bereich sind deshalb folgende gestalterischen Grundsätze zu beachten:

- Die PV-Integration an Gebäuden ist architektonisch von höchster Bedeutung und überzeugend zu entwerfen und umzusetzen.
- Bei einer Projektvergabe sind die Kompetenz und die Qualifikation von Architekten und Fachplanern zu überprüfen.

Fokus: Denkmalschutz

Anforderungen mit der lokalen Fachbehörde koordinieren

Als Baudenkmal geschützte Gebäude sind Spezialfälle für eine PV-Installation. Das Schutzziel gibt vor, ob und welche Flächen für eine Solarstromproduktion zur Verfügung gestellt werden dürfen. In einigen Fällen widerspricht dies allerdings dem Erhalt der Gebäudesubstanz. Deshalb ist die Denkmalpflegebehörde vor Ort jeweils frühzeitig in eine Projektentwicklung einzubeziehen. Zweck ist, eine projektspezifische Inter-

essensabwägung vorzubereiten und akzeptable Gestaltungsvarianten für potenziell geeignete Dachflächen zu prüfen.

Die Praxis zeigt, dass eine PVA selbst an geschützten Objekten machbar ist und sich dazu ein Spektrum an Integrationsvarianten anbietet. Mit ziegelförmigen und/oder eingefärbten PV-Modulen im Spezialformat lassen sich akzeptable gestalterische Lösungen an potenziell interessanten Flächen finden. Allerdings sind die Spezialmodule in der Anschaffung rund 40 Prozent teurer als Standardprodukte und liefern bisweilen 20 Prozent weniger Strom als herkömmliche Modultypen.

Für geschützte BBL-Bauten wird eine Machbarkeitsstudie zur Solarstromproduktion verlangt. Darin ist aufzuzeigen, ob die Schutzziele gewahrt werden und ob eine positive Energiebilanz der PVA im Lebenszyklus nachgewiesen werden kann. Ebenso ist die Treibhausgasbilanz über die Lebensdauer zu bilanzieren.



Eine denkmalgeschützte Schulanlage in der Stadt Bern, die nach der baulichen Erweiterung eine einheitliche Dachlandschaft mit PV-Modulen vorweist.

Quelle: Dan Riesen, ALOCO GmbH, Bern

Evaluation der nutzbaren Flächen

Ertragspotenziale an Dach und Fassaden prüfen

Jedes Gebäude lässt sich bezüglich der potenziell für PVA geeigneten Flächen auf dem Dach und an den Fassaden beurteilen. Dazu sind folgende Evaluationsschritte auszuführen:

- Im ersten Schritt sind diejenigen Flächen am Gebäude auszuweisen, die sich zur Produktion von Solarstrom eignen. Die Onlineportale Sonnendach.ch sowie Sonnenfassade.ch, präsentiert vom Bundesamt für Energie, vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie und vom Bundesamt für Landestopographie, geben wichtige Hinweise dafür.
- Im zweiten Schritt sind anderweitige Nutzungen von Dach- und Fassadenflächen zu erheben. Das Interesse an einer vollflächigen Solarstromproduktion ist auf BBL-Bauten hoch.
- Der dritte Schritt umfasst ein Prüfen von Flächen auf einem Schrägdach und/oder an Fassaden mit Nordausrichtung auf deren Eignung zur Solarstromproduktion. Für die PV-Integration am Gebäude ist ein architektonisch einheitliches Aussenbild anzustreben.
- Im vierten und letzten Schritt werden gestalterische Ersatzoptionen gesucht: Ist die Energieausbeute an Randabschnitten, an Nord ausgerichteten Flächen oder an verschatteten Bereich zu gering, kann eine Installation von identisch gestalteten Blindmodulen (Dummy¹) in Betracht gezogen werden.

PV-Anlagen und Dachgestaltung

Nutzbares Flächenangebot ermitteln

Die Fläche von bestehenden, flachen oder geneigten Dächern kann nicht überall zu 100% für eine PV-Installation zur Verfügung gestellt werden. Haustechnische Installation, etwa für ein Lüftungs- oder ein Kühlsystem, sind ebenso häufig auf Gebäudedächern platziert wie Oblichter oder bewegliche Fenster. Das Ermitteln des Flächenangebots und die Disposition der technischen Gewerke sind deshalb frühzeitig in eine Projektierung einzubeziehen. Basierend auf solchen Grundlagen lässt sich eine Solarstromproduktion auf potenziell geeigneten Dachflächen konfliktfrei umsetzen. Für die Installation und Integration von PVA auf multifunktional genutzten Dachflächen ist zudem wesentlich:

- Bei Neubauten sollen PV-Module und Dachfenster möglichst ähnliche Formate aufweisen.
- Dachfenster und Entlüftungsöffnungen sind nach Möglichkeit im Raster der installierten PV-Module anzuordnen.
- Abschluss- und Randelemente sind mit (elektrisch nicht angeschlossenen) Blindmodulen einzudecken, was verträglich mit der Architektur der Dachlandschaft ist.

¹ Mit Dummys sind sogenannte Dummy-Module gemeint, die keinen Solarstrom produzieren. Ihre Oberflächen bestehen aus demselben Material (Glas o. ä.) und sind identisch gestaltet sind wie PV-Module, aber dahinter weder mit Solarzellen bestückt noch verkabelt.

Synergetische Nutzungen von Dachflächen

Aufgeständerte PV-Anlage mit einem Gründach kombinieren

Ein Spezialfall sind begrünte oder für eine Begrünung vorgesehen Flachdächer. Generell ist eine kombinierte Nutzung mit Photovoltaik möglich und auf Gebäuden an städtischen Lagen häufig anzutreffen. Hinweise zur Umsetzung und zum Unterhalt von begrünten Solar-dächern gibt ebenfalls das Merkblatt SIA 2062 «Photovoltaik auf und an Gebäuden». Die Kombination der beiden Nutzungsvarianten PV und Begrünung erzeugt willkommene Synergieeffekte für die Ökologie und die Entwässerung im Siedlungsraum. Dazu gehören etwa:

- Eine Dachbegrünung fördert die Biodiversität.
- Eine Dachbegrünung fördert die Retention und Verdunstung von Regenwasser und mindert das Überhitzungsrisiko an städtischen Lagen.
- Eine Dachbegrünung kühlt die Umgebung der PV-Module ab, was die Solarstromproduktion erhöht und den Materialverschleiss der Anlage reduziert.

Gestalterische Umsetzung

Varianten evaluieren: Integriert, aufgesetzt oder aufgeständert?

Sind die Flächen am Dach ausgewählt, die sich zur Produktion von Solarstrom eignen, ist die Installation von PVA gestalterisch folgendermassen auszuführen:

Integriert in die Dachhaut

- Für Flächen an einem Schrägdach sind rahmenlose PV-Module zu bevorzugen, die sich direkt in die Dachhaut integrieren lassen.
- Die Abdeckung der Dächer durch PVA soll eine homogene Erscheinung bis an die Ränder unten und an der Seite bilden, in Farbgebung, Struktur und Geometrie.
- Falls PVA nur auf Teilflächen integrierbar sind, sind die Module in einheitlich materialisierte und symmetrisch angeordnete Randabschnitte einzubetten.

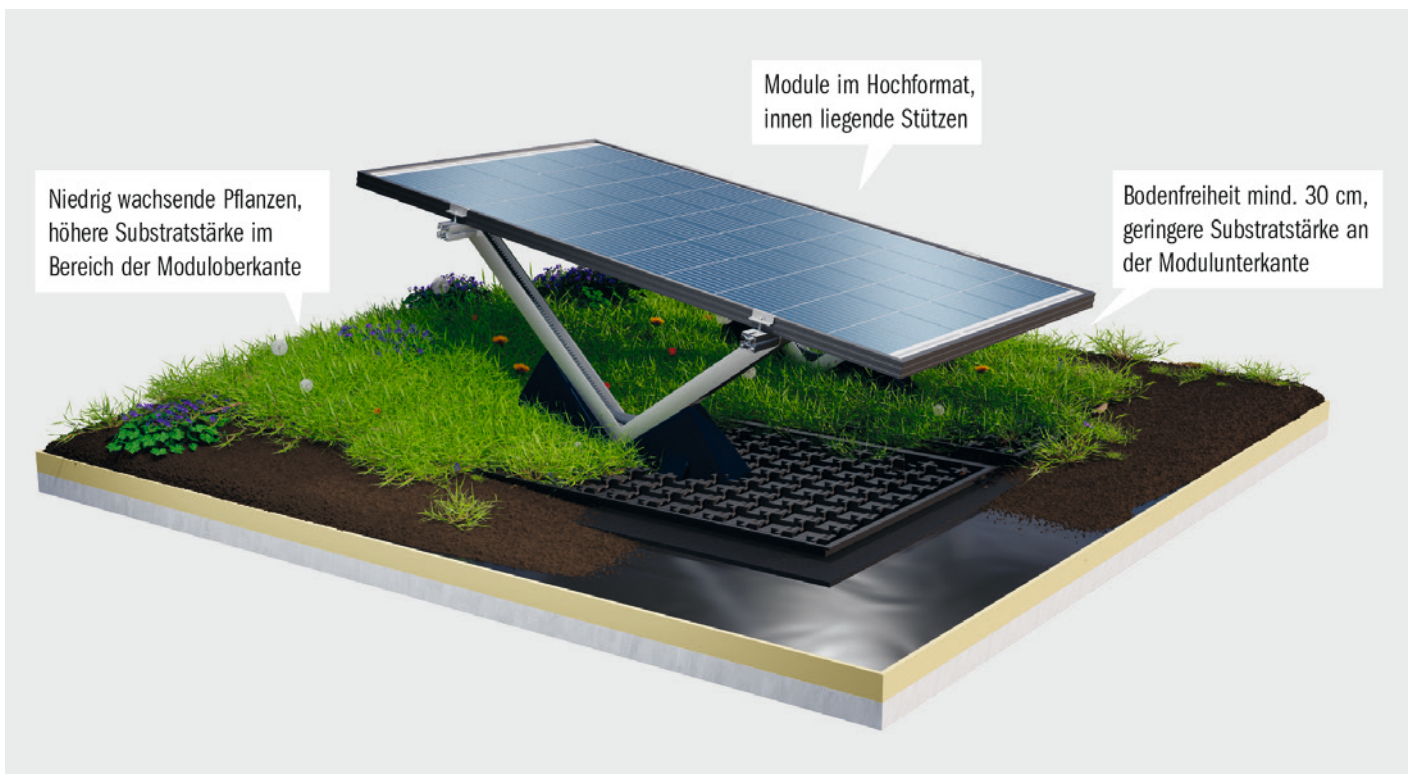
Aufgesetzt auf die Dachhaut

- Aufgesetzte PVA sind so zu dimensionieren, dass das Schrägdach und seine Morphologie sichtbar bleiben.

- Sie sind gestalterisch auf Form, Struktur, Textur und Farbe des Trägerdachs abzustimmen.
- Der Abstand zu den seitlichen und unteren Dachrändern wird mit einem erkennbaren Abstand gewahrt.
- Konzentriert sich die PV-Fläche auf einzelne Module, sind diese zu symmetrischen, kompakten Mustern anzuordnen, die sich ihrerseits der charakteristischen Form des Schrägdachs unterordnen.
- Voneinander getrennte PV-Teilflächen sind – innerhalb einer als gesamte wahrnehmbare Dachfläche – symmetrisch anzuordnen.

Aufgeständerte PV-Module

- Aufgeständerte PV-Module sind in Richtung der Gebäudeflucht zu neigen.
- PVA mit steiler bis vertikaler Aufständigung sind möglichst zu vermeiden.



Schematische Darstellung einer PV-Dachinstallation mit kombinierter Begrünung.

Quelle: Christof Bucher/Faktor Verlag)

Fünf Integrationsstufen

Projektspezifische Situationen berücksichtigen

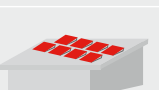
Aus der Planungspraxis lassen sich fünf Stufen ableiten, wie eine PV-Integration am Gebäude differenziert ausgeführt wird – und dadurch auf projektspezifische Gestaltungsbedürfnisse Rücksicht nehmen kann. Die folgende Tabelle

stellt unterschiedliche Integrationsoptionen dar. Die Angaben stammen aus dem Fachbuch «Photovoltaikanlagen – Planung, Installation, Betrieb», das viele weitere praxisbezogene Tipps für die architektonische Gestaltung enthält.²

Integrationsstufe	Charakteristik	Produkte, Markt
Vollständig	PV-Module im Standard- bzw. Spezialformat, beispielsweise für Randabschlüsse	PV-Indachsysteme und -Fassadenmodule: geringe Anzahl von Anbietern
Vollflächig, mit Dummys³	Glasmodule mit identischer Oberfläche wie PV-Module, beispielsweise für verschattete Bereiche oder Randabschlüsse an Dach oder Fassade	Dazu sind vorwiegend Glasmodule geeignet
Teilflächig	Ziegel oder Zementfaserplatten als Rahmen bzw. Randabschluss für PV-Flächen auf dem Dach bzw. an Fassaden	Herkömmliche Lieferanten
Aufgesetzt, mit Dummys	Randbereiche oder Anpassung mit Dummy-Modulen	Herkömmliche Lieferanten
Aufgesetzt	Auf minimale Eigenproduktion ausgelegte PV-Anlagen mit kleiner Fläche und wenigen Modulen	Herkömmliche Lieferanten

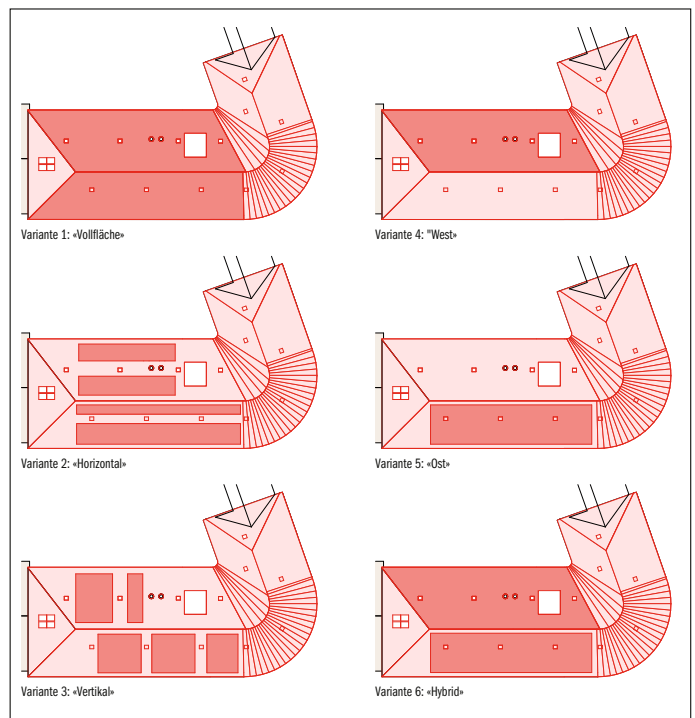
² Siehe: «Photovoltaikanlagen – Planung, Installation, Betrieb», Christoph Bucher, EnergieSchweiz; Faktor Verlag 2021.

³ Mit Dummys sind sogenannte Dummy-Module gemeint, die keinen Solarstrom produzieren. Ihre Oberflächen bestehen aus demselben Material (Glas o. ä.) und sind identisch gestaltet sind wie PV-Module, aber dahinter weder mit Solarzellen bestückt noch verkabelt.

Gutes Beispiel	Schlechtes Beispiel	Bemerkung
		Integrierte Anlagen sollen homogen bis zum Dachrand gebaut werden. Bei nicht vollflächigen Anlagen sollen die anders materialisierten Ränder (z. B. Ziegel) symmetrisch angeordnet werden.
		Aufgesetzte Anlagen sollen mit einem Abstand zum Dachrand gebaut werden. Das ursprüngliche Dach soll gut sichtbar respektive erahnbar bleiben.
		Anlagen sollen bezüglich Form, Struktur, Texturierung und Farbe auf das darunterliegende Dach abgestimmt werden.
		PV-Module sollen als symmetrische, kompakte Fläche angeordnet werden und der Form des Dachs folgen.
		Unterteilte Flächen sollen symmetrisch angeordnet werden.
		Module auf Flachdächern sollen an der Gebäudeflucht und nicht nach Süden ausgerichtet werden. Auf steile Aufständungen soll möglichst verzichtet werden.

Schematische Darstellung von Grundsätzen für das Layout von PV-Dachanlagen.²

Quelle: Christof Bucher/Faktor Verlag



Darstellung der Gestaltungsevaluation für eine PV-Dachanlage beim BBL-Projekt Effingerstrasse Bern.

Quelle: Archiv BBL

PV-Fassaden: Reflexion und Blendung

Mögliche Auswirkungen auf die Umgebung vorabklären

Die Blendwirkung von PV-Modulen, beispielsweise an einer Gebäudefassade, ist anlässlich der Auslegung und der Ausrichtung der Produktionsflächen zu prüfen. Dafür fallen Standorte mit einem Abstand von maximal 100 m zur PVA in Betracht, wobei auch die Blendungsdauer zu ermitteln ist.

Das Amt für Umwelt und Energie des Kantons Bern stellt mit Unterstützung des Bundesamts für Umwelt, von EnergieSchweiz, der Konferenz Kantonalen Energiedirektoren sowie des Schweizerischen Fachverbands für Sonnenenergie (Swissolar) eine Web-Applikation bereit, die kostenfreie, offen zugängliche Blendungsanalysen⁴ erlaubt. Damit lässt sich die Wirkung von ausgewählte PV-Produkten, unter anderem differenziert nach Modultyp und Oberfläche, evaluieren.

Generell gilt: Nachbarn und die Fauna sind vor einer Reflexion durch PV-Module an Gebäudefassaden zu schützen und deren Blendung bestmöglich zu verhindern. Dies geschieht unter anderem mit folgenden Massnahmen:

- Rahmenlose PV-Module mit satinierten Oberflächen weisen die geringsten Blendungsmerkmale auf; sie reflektieren das Sonnenlicht weniger stark als eine weisse Wand.
- Eine nachträgliche Oberflächenbehandlung von PV-Modulen ist weder mit der Werks-garantie noch mit Sicherheitsanforderungen vereinbar, weshalb davon abgeraten wird.
- Dasselbe gilt auch für eine Unterkonstruktion: Im sichtbaren Bereich sollen matte Bauteile ohne glänzende oder polierte Oberflächen verwendet werden.

⁴ Siehe: www.blendtool.ch

PV-Fassaden: bewegliche Systeme

Innovative Gestaltungsvarianten entwerfen

PV-Module, die an eine Gebäudefassade vorgelassen werden können, gelten bislang als technisch aufwändig und sind wirtschaftlich wenig attraktiv. Dennoch entwickelt die Anwendungsforschung inzwischen derartige Bauteile mit vielversprechenden Zusatzfunktionen. Am Testgebäude NEST der Empa wird ein Fassadenprototyp erprobt, der unter dem Namen «Solskin – Adaptive Solar Façade» am Departement für Architektur der ETH Zürich entstand. Das neuartige solare Fassadensystem besteht aus PV-Modulen, die sich mit dem Lauf der Sonne bewegen und das Gebäude

gleichzeitig beschatten. Abgestimmt auf die Bedürfnisse im Raumkomfort lassen sich der Strahlungseinfall und die Innentemperatur dadurch nach Bedarf regulieren. Ein Algorithmus, der die Gebäudenutzung und das Wetter berücksichtigt, sorgt für eine automatische Steuerung der beweglichen Solarfassade: Dadurch werden flexible Einstellungen möglich, die die Energieproduktion maximieren respektive den sommerlichen Wärmeschutz optimieren. Die Realisierung einer derart adaptiven PV-Fassade ist anlässlich der Erneuerung eines Produktionsgebäudes in Winterthur in den nächsten Jahren geplant.



Modell- und Testkonstruktion der adaptiven Solarfassade «Solskin» am Forschungsgebäude NEST an der EMPA in Dübendorf.

Quelle: Roman Keller

PV-Installation: Projektziele und Nutzungsbedürfnisse

Eigenverbrauch und Speicherbedarf

Liegenschaften des Bundes sind in eigener Bilanzgruppe zusammengefasst

Die Dimensionierung einer PV-Anlage (PVA) erfolgt jeweils maximiert und unabhängig vom lokalen Nachfrageprofil. Das heisst, im Prinzip sind ein Speichern vor Ort oder das Einspeisen von Strom über das öffentliche Versorgungsnetz als gleichwertige Optionen zu behandeln. Lokale Produktionsüberschüsse werden über das öffentliche Versorgungsnetz der «Sub-Bilanzgruppe Bund» zugeführt und so verwaltungsintern abgerechnet, dass sich die Eigendeckung durch Solarstrom auch auf die übrigen Liegenschaften des Bundes innerhalb der Schweiz bezieht. Die Entschädigung für die Netznutzung ist in einer Übereinkunft zwischen der Bauherrschaft und den lokalen Verteilnetzbetreibern geregelt.

Für das lokale Speichern von Solarstrom sprechen wirtschaftliche Gründe, auf übergeordneter und projektspezifischer Ebene. Unter anderem kann auf einen Ausbau der Netzanschlusskapazitäten verzichtet werden, wenn ein Batteriespeicher die zeitlich limitierte Leistungsspitze bei Vollproduktion aufnehmen kann. Zudem fallen für die am Tag erzeugte und in der Nacht konsumierte Energie weder Energiekosten

noch Netznutzungsgebühren an. Zu beachten ist aber, dass ein Speichern von elektrischer Energie nur über wenige Stunden bis zu einem Tag möglich ist und zudem mit Verlusten über 10% gerechnet werden muss.

Die Empfehlung für eine projektspezifische Umsetzung lautet: Im Voraus ist zu evaluieren, wie der Eigenverbrauch mit einem Speichersystem verbessert wird und wie das Kosten-Nutzen-Verhältnis generell aussieht. Zur Prüfung gehört eine Darstellung der effizientesten und nachhaltigsten Variante für das Speichern von elektrischer respektive thermischer Energie.

Abhängig von der Gebäudenutzung kann die lokale Speichervariante an den Bedarf einer Inselversorgung angepasst werden. So lässt sich die Resilienz des Gebäudebetriebs verbessern und den Ausfall der öffentlichen Stromversorgung zeitlich befristet überbrücken. Das Merkblatt SIA 2061 «Batteriespeichersysteme in Gebäuden» gibt eine etablierte Methodik zur Planung und zum Einsatz elektrischer Speichersysteme wieder.

Auslegung, Dimensionierung und Konfiguration

Vielfältigen Anforderungen aus der Praxis gerecht werden

Für die Konzeption und Ausführung einer PVA mit optimiertem Ertrag sind architektonische, konstruktive und elektrotechnische Aspekte zu beachten, ebenso wie regulatorische Anforderungen an den Brandschutz. Die wichtigsten Erkenntnisse zur Planung von effizienten, dauerhaften und sicheren Anlagen sind demzufolge:

Brandschutz

- Auf dem Dach und an Fassaden integrierbare PVA sind den Vorgaben des Brandschutzes entsprechend auszuführen.
- Grossflächige PV-Fassadenverkleidungen sind allenfalls mit einem Brandschutzriegel im Hinterlüftungsraum zu unterteilen, um Brandüberschlag und -ausbreitung zu verhindern.
- Die Sicherheitsauflagen für eine Bewilligung umfassen unter anderem eine Nachweispflicht gegenüber Brandschutzbehörden respektive der kantonalen Feuerversicherung, den Brandschutzvorschriften sowie Installationsnormen für Niederspannungsanlagen.
- Der Schweizerische Fachverband für Sonnenenergie (Swissolar) erarbeitet ein Standard-Technik-Papier für PV-Fassaden an, die an Gebäuden mittlerer Höhe ausgeführt werden sollen. Dieses Papier soll etablierte und geprüfte Brandschutzmassnahmen für ausgewählte Konstruktionstypologien auflisten.⁵

Hinterlüftungsraum

- Für die Integration von PV-Modulen in ein Schrägdach oder an eine Fassade ist auf eine ausreichende Hinterlüftung zu achten. Der Raum zwischen Gebäudehülle und Verkleidung wird von Aussenluft durchströmt, wodurch sich die PVA weniger stark erwärmt. Die Produktion von Solarstrom ist abhängig von der Betriebstemperatur der PV-Module.
- Die Stromkabel sind in einem eigenen Kanal durch den Hinterlüftungsraum zu führen. Dies verhindert, dass die Verbindungsleitungen in Kontakt mit erhitzten Oberflächen treten können.

Gebäudeerneuerung

- Flächen mit befristeter Nutzungsdauer eignen sich nicht für eine PV-Installation, weil ein Risiko entsteht, die Anlage vor Ablauf ihrer Lebensdauer zurückbauen zu müssen.
- Eine Eignung von Flachdächern und Fassaden im Bestand zur nachträglichen Installation oder Integration von PVA ist mit einer Machbarkeitsstudie vorgängig zu prüfen.
- Vorgängig der PV-Installation ist der Bedarf zur Erneuerung der Gebäudehülle abzuklären.
- Eine Erneuerung der Gebäudehülle und eine PV-Integration lassen sich gut miteinander kombinieren.
- Die Installation einer PVA erhält Vorrang auf erneuerten Flächen, weil dadurch Synergien bei der Ausführung (Gerüst, Kran usw.) genutzt werden können.

Elektrotechnik

- Es sind ausschliesslich Photovoltaik-Stecksysteme desselben Herstellers zu verwenden.
- Auf Steckverbindungen mit Abzweiger ist möglichst zu verzichten.
- Ein oder mehrere Wechselrichter sollen nahe bei den PV-Modulen angebracht, entweder im Aussenbereich, im Dachstock oder Keller. Zur Kühlung der Anlage ist ein natürlicher Luftwechsel einer mechanischen Kühlung zu bevorzugen.
- Leistungsoptimierer – zur Überbrückung verschatteter PV-Module – sind nur in ausserordentlichen Fällen zu verwenden. Diese Kleingeräte können den Betrieb von benachbarten Funkanlagen gemäss dem Bundesamt für Kommunikation stören.

⁵ Siehe: Übergangsdokument für Planung und Brandschutznachweis von hinterlüfteten Photovoltaik-Fassaden; zuletzt abgerufen am 30. Juni 2024 auf der Website von Swissolar.ch.

- 1 Siehe: Übergangsdokument für Planung und Brandschutznachweis von hinterlüfteten Photovoltaik-Fassaden; zuletzt abgerufen am 30. Juni 2024 auf der Website von [Swissolar.ch](https://www.swissolar.ch).



Betriebsübergabe

Vorzeitig oder so schnell als möglich in Betrieb nehmen

Photovoltaikanlagen, die vor dem Übergabetermin des vollendeten Bauwerks betriebsbereit sind, sollen vorzeitig in Betrieb genommen werden, insofern keine Betriebsrisiken zu erwarten sind. Auch bei einem Bauprovisorium ist die vorzeitige Inbetriebnahme grundsätzlich möglich.

Dazu sind jedoch Zusatzmassnahmen erforderlich wie ein Betriebskonzept auf der Baustelle, das Monitoringkonzept sowie eine regelmässige Sichtkontrolle vor Ort.



Das Dach des Hauptsitzes von Schutz & Rettung Stadt Zürich mit ziegelfarbenen PV-Modulen, realisiert 2021.

Quelle: 3S Swiss Solar Solutions AG

Anwendungsfall Schweizer Vertretungen im Ausland

Inselbetrieb für Netzausfälle vorsehen

Die Stromversorgung in der Schweiz ist – ausser bei globalen Krisen und unvorhersehbaren Ereignissen – als sicher und bezahlbar zu betrachten. Für die dezentrale Integration von weiteren Photovoltaikanlagen ist dies von grossem Vorteil, weil jede einzelne Anlage nicht für einen Inselbetrieb vorbereitet und zum Beispiel zwingend mit leistungsfähigen Energiespeichern ausgestattet werden muss.

PVA werden bei Stromausfall aus Sicherheitsgründen standardmässig abgeschaltet. PVA für einen Inselbetrieb sind in der Schweiz nur dort üblich, wo – aufgrund der Lage – ein öffentlicher Netzanschluss nicht möglich ist, oder ein solcher als zu teuer erscheint.

Für Liegenschaften des Bundes, die sich ausserhalb der Schweiz befinden, ist ein Bedarf für solche inselnetzfähigen Anlagen häufiger gegeben. Dies bezieht sich insbesondere auf Botschafts- und Kanzleigebäude, welche durch Schweizer Vertretungen im Ausland genutzt werden.

Hierfür sind die Ausstattungsstandards jeweils zu überprüfen, insofern eine gebäudeintegrierte PVA zusätzliche Funktionen erfüllen muss. Aktuell setzt das BBL zwei Anlagen im Ausland um, bei denen die Versorgung mithilfe einer PV-Anlage, einer Batterie sowie einem Notstrom-Dieselaggregat unterstützt werden soll.

Bei der Planung solcher Zusatzfunktionen ist jedoch auf örtliche Gegebenheiten zu achten. Die technischen Komponenten für eine inselnetzfähige PVA müssen regional verfügbar sein, weil Service und Unterhalt dadurch sichergestellt werden können. Die aktuellen BBL-Projekte in Ost- und Zentralafrika veranschaulichen zudem, wie wirksam das Inselkonzept funktioniert: Ein rund 100 000 Franken teures Speichersystem kann lokale Stromausfälle über 2,5 Stunden überbrücken und in dieser Zeit etwa 20 EDV-Arbeitsplätze versorgen.

Lebenszyklus und Ökologie

Kurze Lieferketten und geschlossene Kreisläufe berücksichtigen

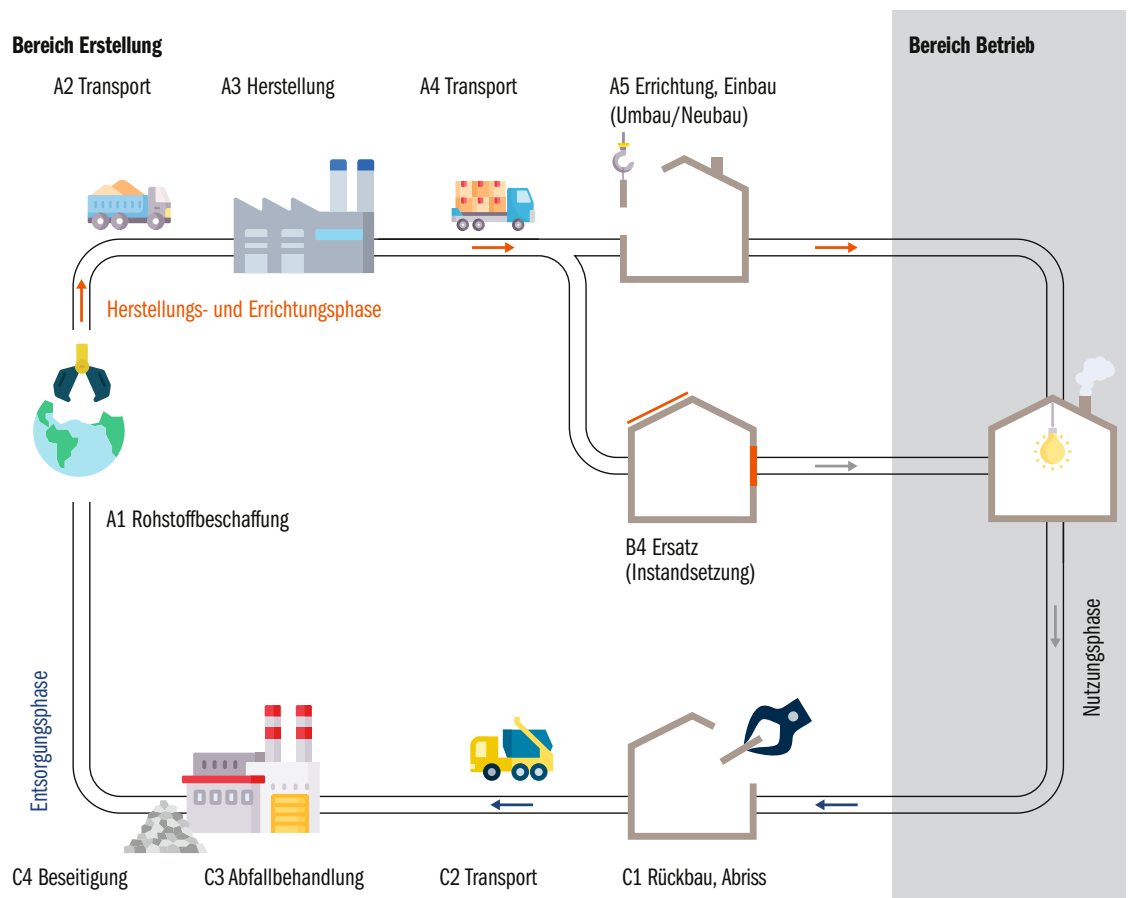
Bei der Beschaffung von PV-Anlagen (PVA) ist auf kurze und möglichst geschlossene Stoffkreisläufe zu achten. Zwar stammen die Hauptkomponenten, die PV-Module, meistens aus Übersee oder Asien. Trotzdem wird empfohlen, nachhaltige Kriterien für die Vergabe zu definieren und transparente Angaben über die spezifische Umweltbelastung von offerierten Produkten einzufordern. Im europäischen und inländischen Baustoffmarkt ist inzwischen eine freiwillige Deklarationspraxis verbreitet, mit welcher Hersteller ihre Produkte ökologisch einheitlich bewerten und dafür die Standards der «Environmental Product Declaration EPD» anwenden.

Für die öffentliche Beschaffung nach BÖB/VÖB gilt: Zum einen ist eine Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen; zum anderen sind für die zu be-

schaffenden Bauteile und Produkte (Leistungen) wichtige Angaben zu sammeln, zu dokumentieren und zu bewerten wie

- die ökologischen Einflussfaktoren der Herstellung,
- die Herstellungsbedingungen,
- der Herkunfts- und Herstellungsort,
- die Transportdistanzen
- sowie die Vorteile einer Nachnutzung.

Mit einer Beschaffung sind die Dienstleistungen zum Service, zum Unterhalt sowie zur Garantie von PVA festzulegen. Das Merkblatt SIA 2062 «Photovoltaik auf und an Gebäuden» listet die nachzufragenden Leistungen auf.



Schematische Darstellung des Lebenszyklus von Gebäuden und Bauteilen gemäss Merkblatt SIA 2032 «Graue Energie von Gebäuden».

Quelle: SIA/Faktor Verlag

Ökologische Lebenszyklusanalysen

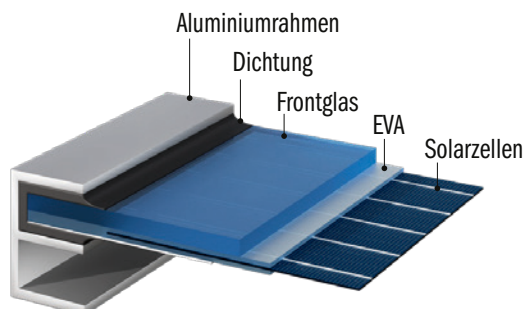
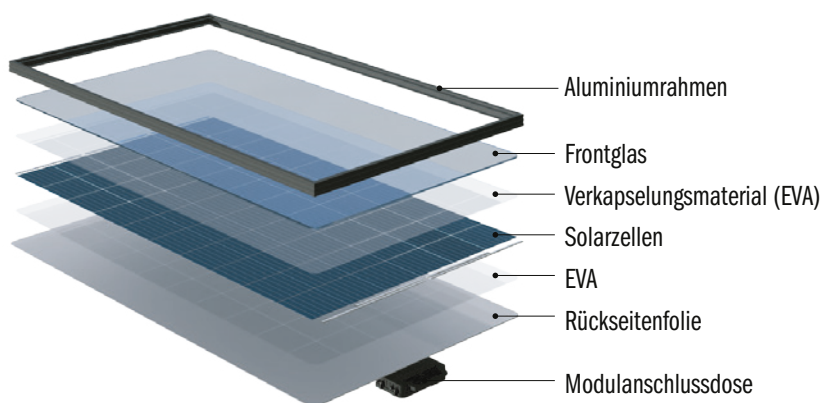
Informationen für die Planung beschaffen

Gemäss der Nachhaltigkeitsstrategie des BBL ist eine projektspezifische Evaluation von Umweltfolgen ebenfalls integraler Bestandteil eines internen Planungsprozesses. Die entsprechenden Analysen können am Detaillierungsgrad der einzelnen Planungsleistungen jeweils angepasst werden. Dazu verwenden lassen sich Bewertungsgrundlagen, die von der Bundesverwaltung wesentlich mitentwickelt wurden. Die Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, die beim Bundesamt für Bauten und Logistik angesiedelt ist, erarbeitet und publiziert «Ökobilanzdaten im Baubereich», womit sich projektbezogene Auswertungen durchführen lassen.

Bauprodukte, Bauteile, Energieerzeugungssysteme (zum Beispiel PVA) und ganze Gebäude können hinsichtlich der Umweltbelastung, des kumulierten, nicht erneuerbaren Energiebedarfs (graue Energie) sowie der direkten und indirekten Treibhausgasemissionen bewertet werden. Darin erfasst ist der gesamte Lebenszyklus inklusive der Lieferketten, von der Rohstoffgewinnung über die Erstellung zum Betrieb bis zum Rückbau und einer allfälligen Wiederverwertung. Diese Datenbanken sind für Nachhaltigkeitsplaner ebenso frei zugänglich wie für Bauherrschaften und Architekten.

Das Normenwerk des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA liefert die standardisierten Grundlagen und Methoden für eine Ökobilanzierung von Bauteilen und ganzen Gebäuden.

Vor Lancierung eines Neubau- oder Erneuerungsprojekts wird empfohlen, die Grundlagen und Standards für die Bewertungs- und Bilanzierungsverfahren innerhalb des Projektteams abzusprechen, ebenso wie den Informationsaustausch sowie den allfälligen Bedarf für ökologische Projektbereinigungsmassnahmen.



Schematische Darstellung des Aufbaus und der Materialkomposition eines PV-Moduls.

Quelle: Christof Bucher/Faktor Verlag

Unterhalt und Betrieb

Kontinuierliche Überwachung verbessert Dauerhaftigkeit

Eine wirkungsvolle Massnahme, den ökologischen Fussabdruck von PVA zu verbessern, ist die Verlängerung der Lebensdauer von einzelnen Komponenten. Eine kontinuierliche Überwachung des Betriebs und der Energieflüsse schafft Transparenz über den Zustand der elektrotechnischen Komponenten und der PV-Module. Werden dadurch einzelne Module mit einem Leistungsabfall entdeckt, kann dies eine Reinigung oder deren Ersatz auslösen. Alternativ kann ein Optimieren der Schaltkreisläufe die Ertragsverluste reduzieren. Hierbei sind PV-

Module mit Leistungseinbussen in einem eigenen String zusammenzuschalten. Am Markt bieten Solarfirmen heute schon Beratungen an, wie sich der Lebenszyklus von PVA verlängern lässt, und ob einzelne PV-Module für ein «zweites Leben» in einer Neuanlage wiederverwendet werden können.

Das Merkblatt SIA 2062 «Photovoltaik auf und an Gebäuden» hält die fachlichen Grundlagen fest, wie PVA im Betrieb zu überwachen und welche Unterhaltsmassnahmen erforderlich sind.

Recycling

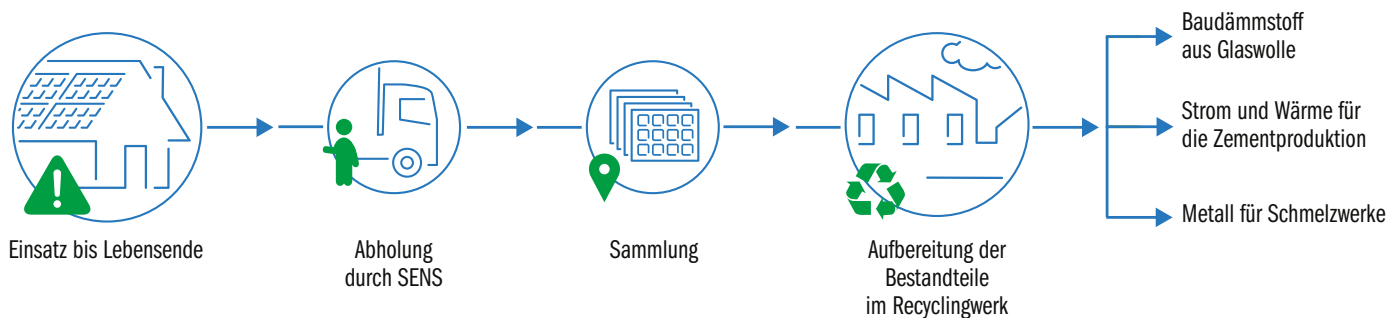
Sachgerechte Entsorgungswege, auf freiwilliger Basis

Ein fachgerechtes und kontrolliertes Recycling von PV-Modulen ist in der Schweiz über die Stiftung SENS⁶ organisiert. Letztere hat mit dem Schweizerischen Fachverband für Sonnenenergie (Swissolar) eine vorgezogene Recyclinggebühr auf freiwilliger Basis vereinbart. Fast alle Hersteller und Importeure nehmen defekte Module kostenlos zurück. Der Eigentümer einer PVA leistet nur die Demontage sowie den Abtransport auf eigene Kosten.

Die gesetzliche Grundlage, die Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG), wird demnächst angepasst, sodass die

heutige Entsorgungspraxis rechtlich verbindlich festgesetzt wird. Die bisherigen Recyclingmengen sind aufgrund der langen Lebensdauer von PV-Modulen – über 25 Jahre – gering.

In der EU wird die Entsorgung von PV-Modulen durch die WEEE-Richtlinie für Elektro- und Elektronik-Geräte geregelt. Auch in den europäischen Nachbarländern wird eine freiwillige Recyclinggebühr erhoben. Zusätzlich sind Bestrebungen im Gang, die Reparaturfähigkeit von Wechselrichtern rechtlich vorzugeben. Mit der Beschaffung ist eine Bewertung der Reparaturfähigkeit vorzunehmen.



Schematische Darstellung des Recyclingkonzepts für PV-Module in der Schweiz.

Quelle: SENS eRecycling

6 Siehe: www.erecycling.ch

Lebenszykluskosten

Mit etablierten Bewertungsmethoden analysieren

Die Lebenszykluskosten von PVA sind mit etablierten Methoden zu bewerten. Empfohlen werden unter anderem der Wirtschaftlichkeitsrechner auf dem Onlineportal des Schweizerischen Fachverbands für Sonnenenergie (Swissolar) sowie ein vergleichbares Tool auf der Webseite des Amts für Hochbauten der Stadt Zürich, womit unterschiedliche Bauteile und Energiesysteme analysiert werden können.

Beide Planungshilfsmittel sind online frei verfügbar:

- Wirtschaftlichkeitsrechner für PVA; Excel-Tool abrufbar auf der Webseite von Swissolar: www.swissolar.ch/de/angebot/werkzeuge/wirtschaftlichkeitsrechner
- Werkzeuge für einen Variantenvergleich von Energiesystemen; Excel-Tool abrufbar auf der Webseite von Fachstelle Gebäudetechnik, Amt für Hochbauten Stadt Zürich: www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/beratung/energie-gebaeudetechnik/planungshilfen-werkzeuge.html

Weitere Informationen

Energiestrategie des Bundes mit Massnahmenpaket, auf der Webseite des Bundesamts für Energie (Rubrik: Politik)
www.bfe.admin.ch

Nachhaltigkeit im BBL, als Teil der Strategie Nachhaltige Entwicklung 2030 des Bundesrats (Rubrik: Nachhaltigkeit)
www.bbl.admin.ch

Schweizweit gültige Brandschutzvorschriften; Stand der Technik bei der Gebäudeintegration von Photovoltaikanlagen
Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen www.bsvonline.ch

Fachinformationen aus der Solarbranche
Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie
www.swissolar.ch

[illegible]

