



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV

PHOTOVOLTAIK UND EIGENVERBRAUCH IM ÖFFENTLICHEN VERKEHR

Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr – ESöV 2050



INHALT

- 1 Vorwort Direktor BAV**
- 2 Einleitung**
- 3 Photovoltaik leistet viel**
- 4 Potenziale für Photovoltaik und Eigenverbrauch**
- 7 PV-Anlagensegmente im öffentlichen Verkehr**
- 8 Finanzierung, Förderung und Wirtschaftlichkeit**
- 12 Bewilligungen**
- 13 Typische Hürden – und wie sie überwunden werden können**
- 14 Der Weg zur eigenen PV-Anlage**
- 15 Realisierung eines PV-Projekts**
- 16 Nachhaltigkeit**
- 18 Vierzehn Projektbeispiele**

Impressum

Herausgeber:
Bundesamt für Verkehr (BAV)
CH-3003 Bern
Erstausgabe: September 2020
Revidierte Version: Dezember 2022
info.energie2050@bav.admin.ch
www.bav.admin.ch/energie2050



Unter diesem QR-Code sind die vollständige Studie und weiterführende Informationen zum ESÖV-Programm verfügbar.

Programmleitung:
Dr. Tristan Chevroulet

Redaktion:
David Stickelberger, Swissolar, Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie, Zürich
Dr. Christof Bucher, Berner Fachhochschule, Burgdorf

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Leitfadens verantwortlich.

Layout:
eMarket, Bern

Zusätzliche Exemplare dieser Broschüre können beim Herausgeber kostenlos bestellt werden.

Sprachversion:
Diese Publikation ist auch in französischer Sprache verfügbar.

Cover:
Biho Song/EyeEm via Getty Images

VORWORT DIREKTOR BAV

Der Ersatz fossiler Energieträger, die Energieeffizienz und die einheimische Produktion waren noch nie so aktuell wie heute. Internationale Abhängigkeit, mögliche Engpässe, drohende Strommangellage, steigende Preise und Klimawandel sind Stichworte dazu. Die Situation hat sich in den letzten Jahren verschlechtert. Um dem entgegenzuwirken, werden auf allen Ebenen immer mehr Ideen zur Stärkung alternativer Energien entwickelt.

Die Schweizer Züge fahren seit über einem Jahrhundert zum grossen Teil mit einheimischer Wasserkraft. Dank der damals visionären Entscheidung, auf importierte Kohle zu verzichten, ist die Bahn heute besonders klimafreundlich. Viele Bereiche des öffentlichen Verkehrs sind jedoch nach wie vor auf herkömmlichen Haushaltsstrom (z.B. für die Bahntechnik oder die Beleuchtung von Haltestellen) und fossile Energieträger wie Diesel angewiesen, der für Busse immer noch weit verbreitet ist.

Alle Sektoren müssen ihre Anstrengungen fortsetzen, um nachhaltiger zu werden. Neben dem «blauen Gold» haben wir eine weitere erneuerbare Ressource zur Hand: die Sonne. Heute sind wir in der Lage, genug Wasserkraft und Sonnenenergie zu produzieren, um den ganzen öffentlichen Verkehr, auch jener auf der Strasse, mit Ökostrom zu versorgen.

Die Solarenergie kann an vielen Orten produziert werden. Dieser Leitfaden zeigt das Potenzial von Photovoltaikanlagen auf Gebäudeflächen, Perrondächern und Werkstätten von Unternehmen des öffentlichen Verkehrs. Jede Fläche zählt: So reicht ein Quadratmeter Solarmodule aus, um eine Person ein Jahr lang 2500 Kilometer mit dem Zug zu befördern; ebenso kann ein Elektrobus mit der Energie, die von Solarzellen auf der Oberfläche seines eigenen Parkplatzes erzeugt wird, 10000 Kilometer weit fahren.

Wir sollen dieses Potenzial erkennen und systematisch nutzen! Dieses ehrgeizige Ziel ist erreichbar. Der Leitfaden zeigt dies anhand von konkreten Beispielen und liefert nützliche Informationen für Verkehrsunternehmen, die bereit sind, sich der Herausforderung zu stellen.



Dr. Peter Füglistaler,
Direktor des Bundesamtes
für Verkehr

EINLEITUNG

Der Verkehr ist für gut ein Drittel des schweizerischen Energieverbrauchs verantwortlich.

Neben vielen kleineren wichtigen Verbesserungen können insbesondere folgende zwei Massnahmen den Verkehr klimaverträglicher gestalten: In erster Linie die Förderung des öffentlichen Verkehrs sowie die Elektrifizierung der Verkehrsmittel. Letzteres ist jedoch primär dann sinnvoll, wenn der Strom auch aus CO₂-armen Quellen stammt.

Bisher hatten nur wenige Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs (TU) die Möglichkeit, substantielle Anteile ihres Stromverbrauchs mit eigenen Kraftwerken abzudecken. Mit der Photovoltaik (PV) haben nun auch alle anderen TU die Chance, ihre Energieversorgung zu einem Teil mit Eigenproduktion selbst in die Hand zu nehmen.

Allerdings ist der möglichst hohe Eigenverbrauch des Solarstroms im eigenen Netz unter den aktuellen Rahmenbedingungen ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage.

In diesem Leitfaden wird beschrieben, wie TU die Eigenproduktion von Solarstrom vorantreiben können. Dabei wird auf die Besonderheiten dieser Transportunternehmen eingegangen. Wichtige Faktoren sind unter anderem:

- **Potenzial für PV, Energieertrag und Eigenverbrauch**
- **Bewilligungsverfahren für PV-Anlagen**
- **Finanzierungsmöglichkeiten für PV-Anlagen**

Diese Broschüre richtet sich primär an Entscheidungsträger in den Transportunternehmen und zeigt auf, anhand welcher Faktoren rentable Projekte identifiziert werden können. Ebenso richtet sie sich an PV-Projektverantwortliche und liefert eine Übersicht über die wichtigsten Projekt-schritte.

115-kW-PV-Anlage der Eniwa AG mit Direktinspeisung ins Stromnetz auf dem Dach der Busbetriebe Aarau
Foto: Peter Baertschiger, Busbetrieb Aarau AG



PHOTOVOLTAIK LEISTET VIEL

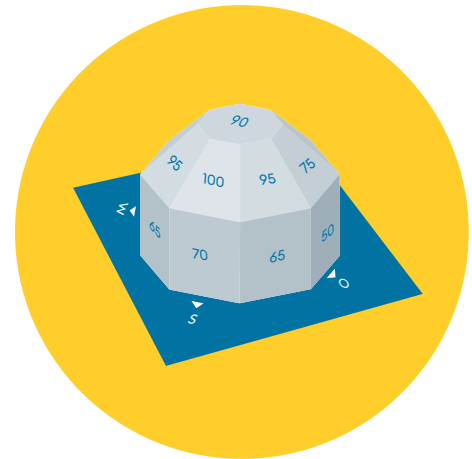
Eine PV-Anlage mit 1 kW Nennleistung bedeckt rund 5 m² und produziert jährlich 1000 kWh Elektrizität.

1 kW
=
5 m²

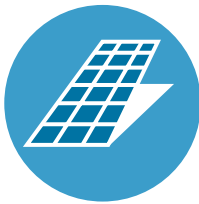
1 m² Solarmodule deckt den jährlichen Strombedarf von rund 2500 Personenkilometern mit dem Zug.



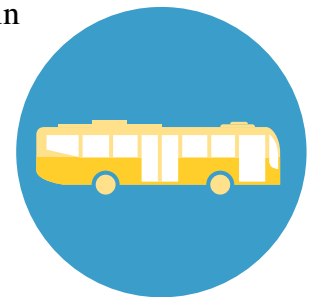
Alle Flächen der Gebäudehülle können Strom liefern. Die Grafik zeigt, wie viel Prozent vom Maximalertrag auf einer bestimmten Fläche erwirtschaftet werden kann.



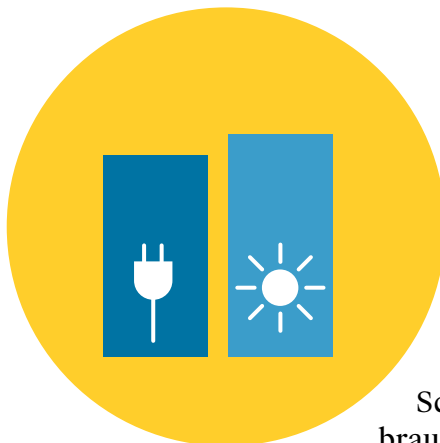
Typische PV-Module haben einen Wirkungsgrad von 20% und eine Lebensdauer von weit über 25 Jahren.



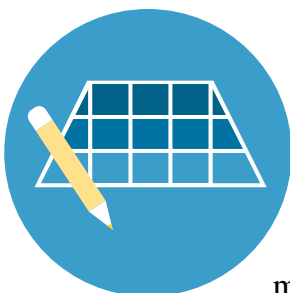
Mit einer PV-Anlage von der Grösse eines Busparkplatzes kann ein Elektrobus 10 000 Kilometer fahren.



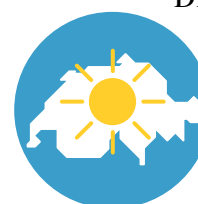
Das Potenzial für Solarstrom am Gebäudepark der Schweiz beträgt 67 TWh pro Jahr und übertrifft damit den aktuellen Schweizer Stromverbrauch um 10%.



Photovoltaik kann schön sein: Farben, Texturen und Formen können von den Architekten mitbestimmt werden.



Die jährliche Sonneneinstrahlung auf die Fläche der Schweiz entspricht 200 Mal der Energie, die wir in der gleichen Zeit verbrauchen.



POTENZIALE FÜR PHOTOVOLTAIK UND EIGENVERBRAUCH

Potenzial in der Schweiz

Würden alle gut, sehr gut und ausgezeichnet geeigneten Dächer der Schweiz mit PV-Modulen belegt, würde deren jährlicher Energieertrag rund 50 TWh betragen. Die gut geeigneten Fassadenflächen würden nochmals 17 TWh zusätzlich beisteuern. Dies ist mehr Strom, als in der ganzen Schweiz heute verbraucht wird.

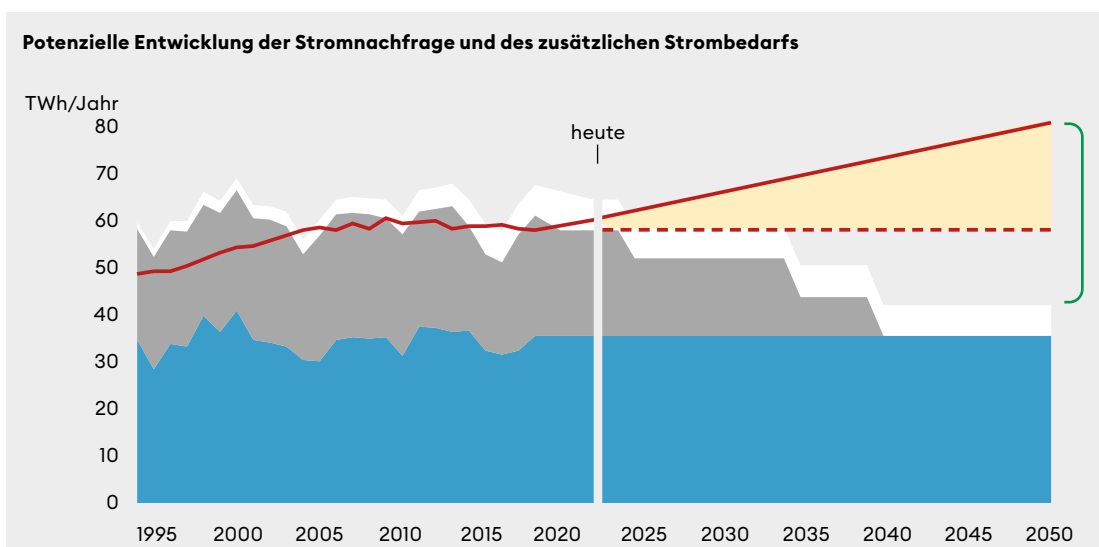
Wie viel Solarstrom braucht die Schweiz?

Um den Wegfall der Kernkraftwerke sowie den steigenden Strombedarf durch die Elektrifizierung verschiedener Sektoren (insbesondere Mobilität und Wärme) zu kompensieren, werden langfristig jährlich 40–50 TWh zusätzlicher Strom benötigt. Da aus heutiger Sicht Solarstrom die einzige erneuerbare Energiequelle ist, die einen Ausbau in dieser Grössenordnung erlaubt, wird ein grosser Teil der geeigneten Dächer und Fassaden für PV genutzt werden müssen.



Auf www.sonnendach.ch lässt sich das Potenzial für jedes einzelne Gebäude abschätzen. Beispiel: SBB-Industriegebäude beim Bahnhof Lancy-Pont-Rouge (GE)

- Nicht bestimmt
- Gering
- Mittel
- Gut
- Sehr gut
- Top



Energie von den eigenen Dächern

Der öffentliche Verkehr in der Schweiz ist sehr gut ausgebaut und benötigt trotz zahlreicher Bemühungen zur Verbesserung der Energieeffizienz entsprechend viel Energie. Der Stromverbrauch aller Verkehrsunternehmen liegt bei etwa 3 TWh. Hinzu kommen 120 Millionen Liter Diesel, von denen etwa 95 Prozent für Busse und etwa 0,35 TWh für Seilbahnen verwendet werden. Soll der gesamte öffentliche Verkehr in Zukunft CO₂-neutral betrieben werden, benötigt er rund 3,5 TWh Strom. Davon werden heute rund 2 TWh von den Wasserkraftwerken der SBB produziert, was bereits knapp 60 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs der Verkehrsunternehmen entspricht.

Die Produktion der restlichen 1,5 TWh mit Sonnenenergie würde eine PV-Modul

fläche von rund 7500000 m² erfordern, was etwa 1 m² pro Einwohner in der Schweiz entspricht.

Gegenwärtig zeigen Hochrechnungen von zehn verschiedenen TU, darunter Bahnen, kommunale TU, Busunternehmen und Bergbahnen, dass diese Unternehmen etwa 20–30 Prozent ihres Strombedarfs auf ihren eigenen Gebäuden erzeugen könnten. Solarenergie kann somit einen entscheidenden Beitrag zum Ersatz der nicht erneuerbaren Energien im öffentlichen Verkehr leisten.

Die folgende Tabelle zeigt auf, welche PV-Flächen benötigt werden, um Bus und Tram in der Jahresbilanz mit Solarstrom zu versorgen. Die Fahrleistungen entsprechen dem Schweizer Durchschnitt.

	Bus klein	Bus gross	Tram
Fahrleistung pro Jahr	50 000 km	50 000 km	40 000 km
Äquivalenter Stromverbrauch pro Jahr	50 000 kWh*	100 000 kWh*	200 000 kWh
Flächenbedarf PV	300 m ²	600 m ²	1200 m ²
Durchschnittsgrösse des bestehenden Parkplatzes	60 m ²	120 m ²	180 m ²
Mögliche Selbstversorgung mit PV auf Parkplatz	20 %	20 %	15 %

* Mittelwert aus Pilotprojekten, hochgerechnet für verschiedene Busgrössen.

Lärmschutzwände und Freiflächen

Eine vom Bundesrat im Jahr 2021 veröffentlichte Studie zeigt, dass an 291 Anlagen auf Bahn-Lärmschutzwänden mit einer Leistung von 50 MW jährlich 46 GWh Solarstrom erzeugt werden könnten. Noch deutlich grösser ist gemäss der Studie das Potenzial mit 430 MW und Produktionskosten von rund 10 Rp./kWh auf den freien Flächen

rund um Bahnareale. Deren Nutzung wird durch den neuen Art. 32c der eidg. Raumplanungsverordnung vereinfacht. Die SBB entwickelt bereits Projekte auf solchen Flächen.

Potenzial einzelner Transportunternehmen

Von ganz gross bis ganz klein – fast jedes Schweizer TU kann Solarstrom auf seinen Dächern und Anlagen produzieren und ihn selbst nutzen. Exemplarisch hier zwei Beispiele:

SBB

Als grösste öffentliche Transportunternehmung der Schweiz verbraucht die SBB jährlich 2,6 TWh Strom, davon rund 2,3 TWh für den Bahnbetrieb der eigenen sowie angeschlossenen Bahnstrecken. Würden alle Dach- und Fassadenflächen der SBB-Gebäude (inkl. Perrondächer) mit PV-Anlagen bestückt, so könnten gemäss Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch rund 20–30 Prozent des Strombedarfs mit eigenem Solarstrom gedeckt werden.

Die vertiefte Prüfung des Solarpotenzials zeigt jedoch, dass ein Grossteil dieser Flächen entweder auf denkmalgeschützten Objekten liegt oder betriebliche Einschränkungen die Installation von PV-Anlagen erschweren. Damit das Solarpotenzial trotz dieser Einschränkungen möglichst gut genutzt werden kann, hat die SBB folgende Schritte definiert:

- Auf jedem Neubau und bei jeder Gesamt- oder Dachsanierung wird der Bau einer PV-Anlage geprüft.
- Für Standardobjekte wie Bahntechnikgebäude oder Perrondächer wird der serienmässige Einsatz von PV geprüft und wo möglich umgesetzt. Durch die Standardisierung von PV-Anlagen können die Kosten optimiert und die Anlagen wirtschaftlich realisiert werden.
- Die übrigen Gebäude werden potenzialbasiert geprüft und – falls geeignet – sukzessive mit PV-Anlagen bebaut.

Mit der 2020 erstellten Anlage auf dem Frequenzumformerwerk in Zürich-Seebach (siehe Seite 24) hat die SBB einen ersten Schritt zur Direkteinspeisung ins 16,7-Hz-Netz unternommen. Mehr zu dieser besonderen Art des Eigenverbrauchs auf Seite 12.

Brunni-Bahnen Engelberg AG

Die Brunni-Bahnen betreiben insgesamt 12 Gebäude (davon 4 Kleinstbauten) mit einem PV-Potenzial – nach Sonnendach.ch – von rund 430 MWh pro Jahr. Mit zwei bereits realisierten PV-Anlagen produzieren sie 130 MWh pro Jahr und decken damit rund 15 Prozent des eigenen Strombedarfs.

Das noch nicht genutzte PV-Potenzial soll im Rahmen der Investitionsmöglichkeiten der Brunni-Bahnen sukzessive weiter erschlossen werden. Das Dach eines neuen 100-Meter-Förderbands, die Talstation der Luftseilbahn, ein Lagergebäude und eine mögliche Parkplatzüberdachung zeichnen sich dabei als nächste Projekte ab. Bei den weiteren Gebäuden wird aufgrund der Distanz zum Verteilnetz eine Netzanschlussverstärkung, die Abregelung möglicher PV-Anlagen oder künftig der Einsatz eines Speichers geprüft werden müssen.

Oben: 50 kW-Anlage auf Perrondach des Hauptbahnhofs Zürich.
Foto und Projekt: energiebüro® ag, Zürich, Switzerland

Unten: PV-Anlage auf dem Dach des Berglodge Restaurants Ristis, Brunni-Bahnen
Foto: Brunni-Bahnen Engelberg



PV-ANLAGENSEGMENTE IM ÖFFENTLICHEN VERKEHR

Je nach Nutzung eines Gebäudes oder einer Infrastruktur ändern sich für Transportunternehmen im öffentlichen Verkehr die Investitionsmöglichkeiten und Bewilligungsverfahren.

Infrastruktur und Freiflächen

- PV soll geprüft werden.
- Eine PV-Anlage auf oder an einer Eisenbahnanlage untersteht dem Eisenbahngesetz (EBG).
- Standardlösungen für verschiedene Einsatzgebiete können die Kosten erheblich senken. Damit können auch rentable Kleinanlagen realisiert werden, z. B. auf und an Fahrradunterständen oder Wartehäuschen.
- seit 1.7.2022 sind auch Anlagen ausserhalb der Bauzone zulässig, sofern sie optisch eine Einheit bilden mit Bauten oder Anlagen.

Immobilien

- PV-Anlagen sind bereits heute eine Selbstverständlichkeit bei Neubauten und Sanierungen.
- Breite Anwendungsmöglichkeiten: Aufdach, Indach, Fassaden.
- Keine besonderen Anforderungen.
- Weil der Strom nicht der Verkehrsinfrastruktur zugutekommt, ist eine Finanzierung über den Bahninfrastrukturfonds (BIF) nicht möglich.
- Ein Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) kann ein PV-Projekt noch rentabler machen.

Bahntechnik

- Eine PV-Anlage benötigt meist ein BAV-Plangenehmigungsverfahren.
- Standardlösungen sollen geprüft und entwickelt werden.
- Mehr zur Direkteinspeisung ins 16,7-Hz-Netz auf Seite 12.
- Im Rahmen eines Pilotprojektes wurde das Bahntechnikgebäude (BTG) in Immensee mit einer PV-Anlage ausgerüstet. Aufgrund der positiven Erfahrung werden nun die BTG der SBB serienmässig mit PV ausgerüstet.

Erste bifaciale solare Lärmschutzwand der Schweiz, Bahnhof Münsingen; Leistung 12,8kW
Foto: Gemeinde Münsingen



Mehrfamilienhaus in Wetzikon mit 80 kW PV auf Dach und Fassaden
Foto: Schweizer Solarpreis 2018











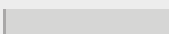
Bahntechnikgebäude SBB, Immensee
Foto: Christof Bucher, Basler & Hofmann AG



FINANZIERUNG, FÖRDERUNG UND WIRT- SCHAFTLICHKEIT

Eine PV-Anlage generiert verschiedene Einsparungen und Erträge. In der folgenden Tabelle werden diese vorgestellt.

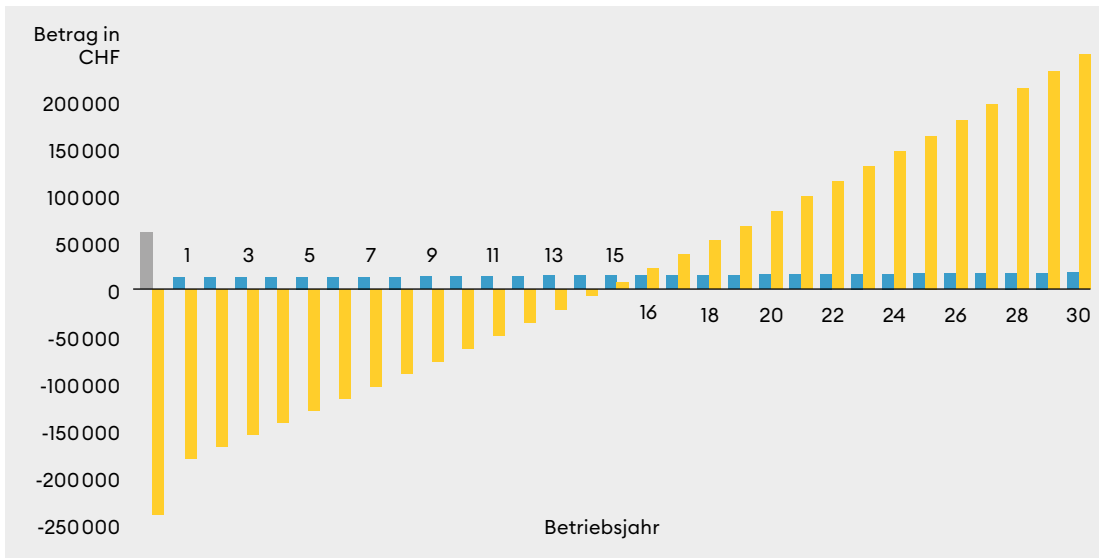
*Beitrag: typischer Anteil an den Einnahmen und damit an der Wirtschaftlichkeit.

	Beitrag*	Bemerkung
Einsparungen		
Energieverbrauch	 40% – 90%	Eigenverbrauch reduziert den Bezug aus dem öffentlichen Netz; heute der wichtigste Faktor für die Wirtschaftlichkeit fast aller PV-Anlagen.
Reduktion Leistungsspitze	 0% – 25%	Relevant bei Leistungstarif für Lasten und Spitzenbezug am Tag.
Substitution Gebäudehülle	 0% – 80%	Relevant bei Indachanlagen und insb. bei Fassadenanlagen an hochwertigen Fassaden. Nebeneffekt: Geringere Erwärmung der Gebäudehülle.
Steuerersparnisse	 0% – 20%	Meist nur für Privatpersonen relevant.
Ertrag		
Stromverkauf ans Netz	 0% – 40%	Oft tiefer als die Gestehungskosten, trotzdem wichtig.
Stromverkauf im Areal	 0% – 80%	Wichtig bei Zusammenschluss zum Eigenverbrauch.
Förderung/Finanzierung		
Einmalvergütung (EIV)	 20% – 30%	Investitionsbeitrag, deckt rund 25 Prozent der Kosten. Einzige landesweite direkte Förderung, auch für TU zugelassen. Anlagen >150 kW ohne Eigenverbrauch: Auktionen, siehe S. 10.
Direktbeiträge	 0% – 20%	Von einzelnen Gemeinden oder Institutionen.
BAV-Beiträge	 0% – 40%	Beitrag an Forschungsprojekte zu max. 40 Prozent.
Bahninfrastrukturfonds/ Leistungsvereinbarungen	nicht quantifizierbar	Finanzierung über den BIF möglich, wenn die Anlage überwiegend (> 50%) dem Eigenbedarf dient und auf einer Immobilie nach Art. 62 Abs. 1 EBG oder einer Fläche der ISB installiert ist. Zusätzliche Investitionsbeiträge des Bundes sind dann ausgeschlossen.
RPV-Abgeltungen	nicht quantifizierbar	Die Folgekosten von Investitionen in PV-Anlagen (z.B. Abschreibungen) können im Rahmen des RPV abgegolten werden, wenn die Anlage dem Eigenbedarf der Sparte RPV dient und auf Flächen der Sparte installiert ist.
Anreize und Vorschriften		
Kant. Energiegesetze	nicht quantifizierbar	Eigenstrompflicht für Neubauten.
Grossverbraucher	nicht quantifizierbar	PV-Anlagen sind anrechenbare Massnahmen zur Zielerreichung für Grossverbraucher.
Umweltziele	nicht quantifizierbar	Mittel zur Erreichung von Umweltzielen.
Gebäudelabel	nicht quantifizierbar	Mittel zur Erlangung von Gebäudelabels.
Werbewirkung	nicht quantifizierbar	Solarenergie wirkt positiv auf die Kundschaft.

Amortisationsdauer: 10 – 25 Jahre

Eine PV-Anlage lässt sich typischerweise in 10 bis 25 Jahren amortisieren. PV-Module und Wechselrichter machen dabei gerade bei kleineren Anlagen oft nur einen geringen Anteil der Kosten aus, sodass bei einfach umsetzbaren Projekten oder bei vorhandenen Synergien auch eine deutlich kürzere Amortisationszeit erzielt werden kann.

Nach Ablauf der Amortisationszeit können PV-Anlagen meist noch viele Jahre weiterbetrieben werden und werden bis zu ihrem technischen Lebensende zu einer Renditeanlage. Die untenstehende Abbildung zeigt den Geldfluss einer 180-kW-PV-Anlage.



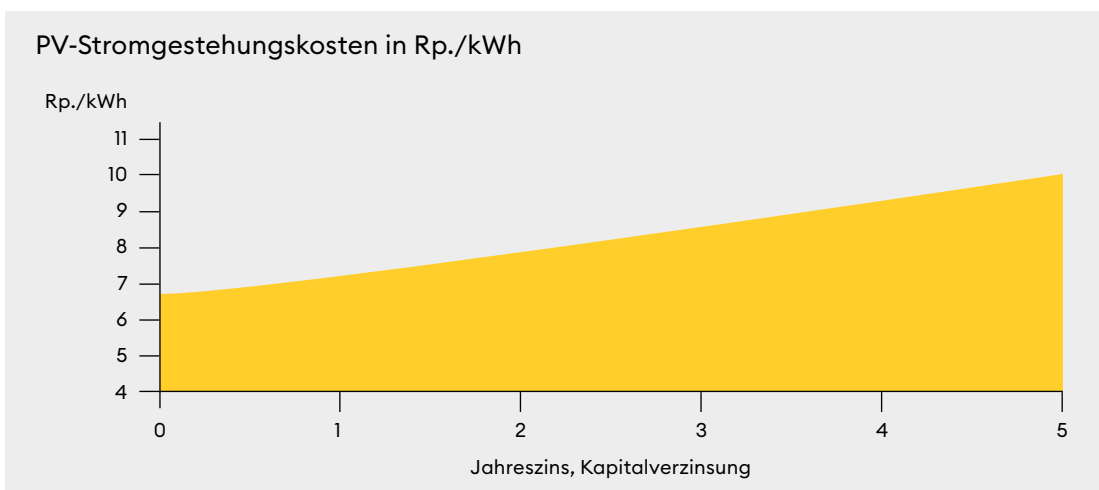
Geldfluss einer 180-kW-PV-Anlage (entspricht einer Fläche von etwa 1000 m²).

- Netto Jahresertrag
- Kapital
- Einmalvergütung

Als Vergleichsgrösse für Investitionen in Stromproduktionsanlagen werden neben der Rendite die Stromgestehungskosten herangezogen. Diese werden jeweils basierend auf Jahressummen wie folgt berechnet:

$$\text{Stromgestehungskosten} = \frac{\text{Kapitalkosten} + \text{Betriebskosten}}{\text{Stromproduktion}}$$

Typische Werte für die Betriebskosten liegen bei 2–3 Rp./kWh und beinhalten den Ersatz der Wechselrichter, die eine Lebensdauer von ca. 15 Jahren haben. Zur Berechnung der Kapitalkosten ist die Annuitätenmethode praktisch, welche die Verzinsung und die Rückzahlung zusammenfasst. Die untenstehende Abbildung zeigt das Beispiel einer grösseren PV-Anlage, die je nach Kapitalverzinsung auf Stromgestehungskosten zwischen 6,5 und 10 Rp./kWh kommt.



Einfluss der Kapitalverzinsung am Beispiel einer PV-Anlage mit CHF 1100.- Investitionskosten pro kW und 950 kWh Jahresertrag pro Kilowatt installierte Nennleistung und 2,5 Rp./kWh Betriebskosten.

Förderbeiträge

Auf Bundesebene werden PV-Anlagen mit der Einmalvergütung gefördert, die rund 25 Prozent der Investitionskosten abdeckt. Alle Arten von PV-Anlagen von TU sind förderberechtigt, ausgenommen sind nur Anlagen, die über den BIF finanziert werden. Gesuche sind an die Förderstelle Pronovo zu richten. Die entsprechenden Kontaktangaben sind auf Seite 29 ersichtlich.

Die Finanzierung einer PV-Anlage über den BIF ist möglich, wenn diese überwiegend der Produktion zum Eigenbedarf an Industrie- und/oder Haushaltsstrom dient. Dabei muss die Anlage auf/an einer Immobilie oder einem Grundstück der Infrastruktur nach Art. 62 Abs. 1 EBG stehen. Anlagen nach Art. 62 Abs. 2 EBG sind gemäss der Verordnung über die Konzessionierung, Planung und Finanzierung der Infrastruktur (KPFV) nicht Gegenstand der Finanzierung. PV-Anlagen zur Herstellung von Bahnstrom oder zum Zwecke der Vermarktung zählen dazu.

Neu: Höhere Förderung für Anlagen ohne Eigenverbrauch

Ab 1.1.2023 erhalten PV-Anlagen, die den produzierten Strom vollständig ins öffentliche Stromnetz einspeisen, eine rund doppelt so hohe Einmalvergütung als Anlagen mit Eigenverbrauch. Zuständig ist ebenfalls die Förderstelle Pronovo. Ab einer Anlagengrösse von 150 kW werden die Förderbeiträge über eine Auktion zugeteilt.



Eigenverbrauch

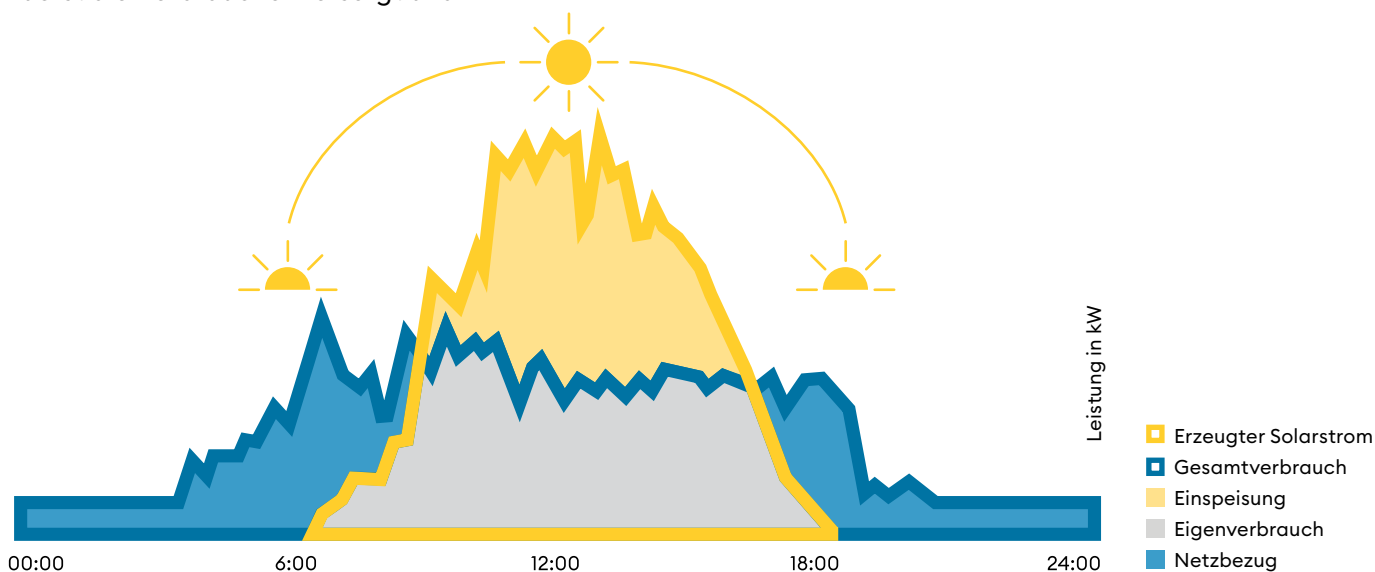
Eigenverbrauch bezieht sich auf den am gleichen Standort produzierten und verbrauchten Strom.

Mit PV-Anlagen ist Eigenverbrauch einfach realisierbar und aktuell in vielen Fällen massgebend für den wirtschaftlichen Erfolg.

Er funktioniert mit bewährten Standardkomponenten gleichwertig für grosse und kleine Anlagen. Technisch genügt der Anschluss an das bestehende Strom-Verteiltableau, mit dem auch die Verbraucher verbunden sind. Damit ist sichergestellt, dass der selbst produzierte Strom zuerst die Verbraucher versorgt und

nur der allfällige Überschuss ins öffentliche Netz eingespeist wird. Die Netzbetreiber sind verpflichtet, diesen Strom abzunehmen, doch die Höhe der Vergütung variiert sehr stark und liegt derzeit oft unter den Gesteungskosten (siehe www.pvtarif.ch).

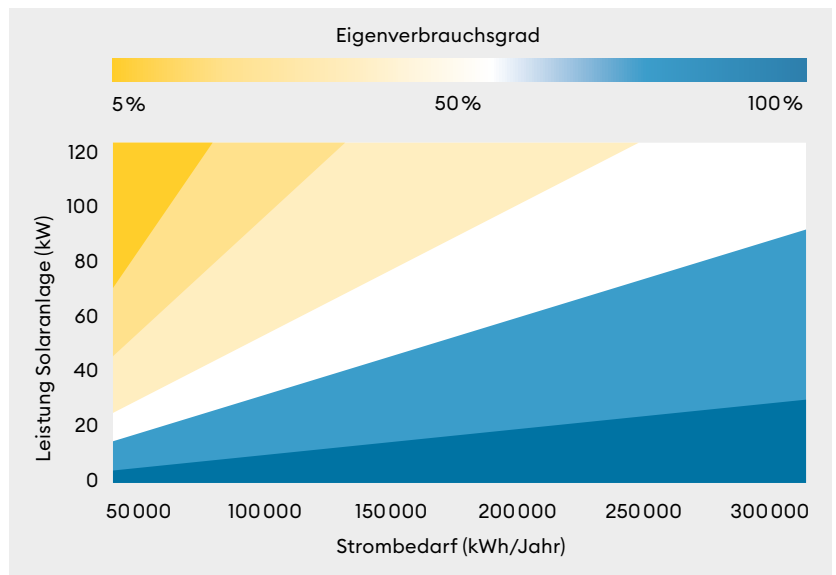
Durch die gezielte Steuerung der Lasten und allenfalls den Einsatz eines Batteriespeichers kann der Eigenverbrauch deutlich erhöht werden. Bei grösseren Bezügen lässt sich dies mit der Begrenzung der Bezugsleistung kombinieren, was zu Einsparungen bei den Netzkosten führt.



Dimensionierung der Anlage

Weil zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 alle gut geeigneten Dachflächen mit PV belegt werden müssen, soll eine PV-Anlage grundsätzlich so gross wie möglich gebaut werden. Nebenstehendes Schema zeigt, wie hoch der Eigenverbrauchsgrad in Abhängigkeit des Strombedarfs und der Solaranlagen-grösse ausfällt (1kW entspricht ca. 5m²). 100 Prozent heisst, dass der gesamte Solarstrom direkt im Gebäude verbraucht wird, bei 0 Prozent wird er komplett ins Netz eingespeist.

Tools zur einfachen Abschätzung des Eigenverbrauchs für einige typische Situationen finden sich hier:
 → www.eigenverbrauchsrechner.ch
 → www.quick-check.ch



Eigenverbrauchsanteil in Abhängigkeit vom Solarstromanteil für verschiedene Lastprofile im Jahresmittel.

Verkauf des Solarstroms

Solarstrom kann auch an Dritte verkauft werden, wobei es verschiedene Möglichkeiten zur Umsetzung gibt. Eine umfassende Übersicht zu Vermarktungsmodellen findet sich im BFE-Bericht «Vermarktungsmodelle für Solarstrom» (2021). Dabei ist zu beachten, dass Betriebe des öffentlichen Verkehrs grundsätzlich keine finanziellen Mittel aus dem Bahninfrastrukturfonds verwenden dürfen, um PV-Anlagen zu bauen, die nicht überwiegend ihrer Selbstversorgung dienen. Überschüsse dürfen jedoch verkauft werden.

Viele Netzbetreiber bieten die Möglichkeit von Bilanzierungsgruppen an. Mit Hilfe dieser Vertragskonstrukte kann PV-Strom an einen anderen Ort, wo die ISB diesen selbst verbrauchen kann, transferiert werden. So kann der Eigenverbrauchsanteil erhöht werden.

Bei einem Zusammenschluss zum

Eigenverbrauch (ZEV) wird der nicht im eigenen Betrieb verwendete Solarstrom an Mieter oder Eigentümer in der gleichen oder in einer benachbarten Liegenschaft verkauft. Dadurch kann der Eigenverbrauchsanteil oft massgeblich erhöht werden, weil sich unterschiedliche Verbrauchsprofile überlagern und ergänzen.

Contracting

Wer sich nicht um den Bau und Unterhalt einer Solaranlage kümmern oder die Investition nicht selber tätigen will, kann sein Dach einem Contractor vermieten. Dieser verkauft den produzierten Strom in der Regel zu einem vorgängig festgelegten Preis dem Hausbesitzer. Der Dachnutzungsvertrag wird in der Regel im Grundbuch eingetragen. Umgekehrt kann natürlich auch ein TU fremde Flächen dazu mieten, um Strom für den Eigenbedarf zu produzieren.

1 Eigenverbrauch

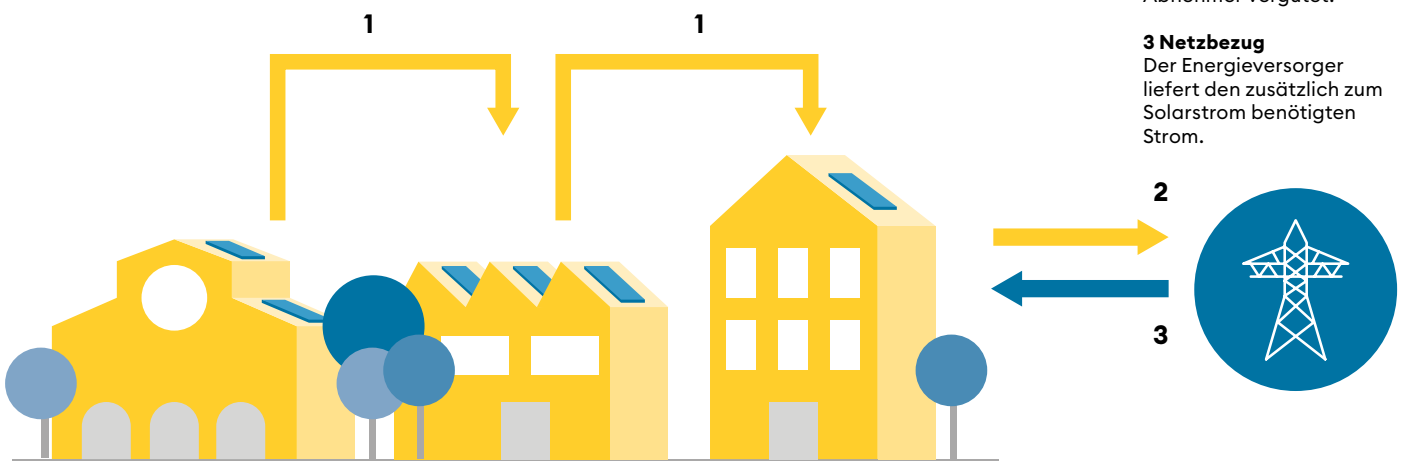
Wenn die Sonne scheint, wird der Solarstrom direkt im Gebäude verbraucht. Alle Bewohner profitieren.

2 Einspeisung

Überschüssiger Solarstrom wird ins Netz eingespeist und vom Energieversorger oder einem anderen Abnehmer vergütet.

3 Netzbezug

Der Energieversorger liefert den zusätzlich zum Solarstrom benötigten Strom.



BEWILLIGUNGEN

Eisenbahnrechtliches Plangenehmigungsverfahren

Für PV-Anlagen an oder auf bestehenden Anlagen von Eisenbahnen (inkl. Trams), Trolleybussen sowie eidgenössisch konzessionierten Seilbahnen und Schifffahrtsunternehmen ist eine Plangenehmigung des BAV erforderlich. Dies gilt unabhängig davon, ob der Gesuchsteller die Bahnunternehmung (Art. 18 Abs. 1 EBG) oder ein Dritter ist (Art. 18 Abs. 1^{bis} EBG).

Mit der Plangenehmigung erteilt das BAV sämtliche nach dem Bundesrecht erforderlichen Bewilligungen; kantonale Bewilligungen sind nicht erforderlich. Dieser Grundsatz gilt für alle oben erwähnten Anlagenarten.

PV-Anlagen auf bestehenden Bahnbetriebsgebäuden können in aller Regel im vereinfachten Verfahren nach Art. 18i Abs. 1 EBG bewilligt werden.

PV-Anlagen, die Bestandteile eines Neubauprojekts für eine Bahn-, Seilbahn-, Trolleybus- oder eine Schifffahrtsanlage bilden, werden im jeweiligen bundesrechtlichen Plangenehmigungsverfahren (mit-) genehmigt.

Die PV-Anlage einer Bahn (Art. 18 Abs. 1 EBG) oder die PV-Anlage eines Dritten an oder auf einer bestehenden Bahnanlage (Art. 18 Abs. 1^{bis} EBG) gelten als Eisenbahnanlagen. Untersteht die PV-Anlage der Niederspannungs-Installationsverordnung (NIV) und berührt sie keine schutzwürdigen Interessen der Raumplanung, des Umweltschutzes, des Natur- und Heimatschutzes oder Dritter und bedarf sie keiner Bewilligungen nach anderen Bestimmungen des Bundesrechts (Art. 1a Abs. 1 Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen VPVE), so gehört sie gemäss Buchstabe p des Anhangs VPVE zu den bewilligungsfreien Eisenbahnanlagen. In Zweifelsfällen sowie für alle nicht der NIV unterstehenden PV-Anlagen an oder auf bestehenden Eisenbahnanlagen ist eine Plangenehmigung des BAV erforderlich. Diese wird in der Regel im vereinfachten Verfahren (Art. 18i Abs. 1 EBG) erteilt.

Direkteinspeisung von Traktionsstrom

Einen Spezialfall bildet die Direkteinspeisung von Traktionsstrom. Handelt es sich um das 16,7-Hz-Bahnnetz, so liegt die Federführung bei der SBB.

Seit Frühling 2020 ist die erste Pilotanlage der Schweiz in Betrieb (siehe Seite 24). Zukünftig möchte die SBB auch Dritten ermöglichen, ihren Strom aus PV-Anlagen direkt in das Bahnstromnetz einzuspeisen. Dies kann eine interessante Alternative bei geringem 50-Hz-Eigenbedarf oder nicht ausreichender 50-Hz-Infrastruktur darstellen. Für die Energielieferung muss ein Bezugsvertrag mit SBB Energie abgeschlossen werden.

Die Einspeisung von Gleichstrom ist noch nicht abschliessend geregelt, erste Erfahrungen liegen bei RBS (Bern), CJ (Jura) und TPG (Genf) vor.

Für den Anschluss an das Bahnstromnetz ist zwingend ein Plangenehmigungsverfahren (PGV) des BAV nötig, sodass diese Möglichkeit eher für grössere Anlagen eine Option ist.

Kommunalrechtliches Verfahren

PV-Anlagen, die nicht unter Art. 18 EBG fallen, unterstehen dem Baubewilligungsverfahren der Standortgemeinde. Gemäss Art. 18a des eidg. Raumplanungsgesetzes (RPG) braucht es für «genügend angepasste» PV-Anlagen nur ein Meldeverfahren statt einer ordentlichen Baubewilligung. Ausgenommen davon sind Schutzzonen und Schutzobjekte. Das Gesetz hält aber auch fest, dass Interessen an der Nutzung der Solarenergie auf bestehenden oder neuen Bauten den ästhetischen Anliegen grundsätzlich vorgehen.

Neben der kommunalen Baubewilligung resp. dem Meldeverfahren braucht es eine Anschlussbewilligung des örtlichen Verteilnetzbetreibers sowie ab einer Grösse von 30 kW ein Plangenehmigungsverfahren des eidg. Starkstrominspektorats ESTI.

TYPISCHE HÜRDEN – UND WIE SIE ÜBERWUNDEN WERDEN KÖNNEN

Denkmalschutz

Viele Transportunternehmen blicken auf eine lange Geschichte zurück und verfügen über überdurchschnittlich viele historisch wichtige Gebäude. Weil heute PV-Module in verschiedenen Farben, Formen und Oberflächenstrukturen erhältlich sind, finden sich für die meisten historischen Gebäude Lösungen, die den Ansprüchen des Denkmalschutzes genügen. Wird die PV-Anlage im Zusammenhang mit einer Dach- oder Fassadensanierung realisiert, ist sie oft nicht teurer als die Sanierung ohne PV-Anlage.

Nutzungshorizont der Gebäude

PV-Anlagen haben eine Lebensdauer von weit über 25 Jahren. Der Nutzungshorizont eines Gebäudes kann gerade bei sanierungsbedürftigen Gebäuden kürzer sein. Weil PV-Anlagen modular, günstig und meist einfach installierbar sind, macht ein einmaliger Rückbau und Wiederaufbau einer PV-Anlage ein rentables Projekt meist nicht unrentabel.

Eigenverbrauch

Fahrzeugdepots haben oft sehr gut geeignete Dachflächen für PV-Anlagen, aber nur einen geringen Stromverbrauch. Dank den heutigen rechtlichen Rahmenbedingungen kann der Solarstrom im Rahmen eines Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch (ZEV) jedoch auch an benachbarte Verbraucher verkauft werden. Im Verbund mit Bahnstrom kann ein sehr hoher Eigenverbrauchsanteil erreicht werden. Bei grossen PV-Anlagen liegen die Stromgestehungskosten heute schon oft im Bereich der Bezugstarife für Grossverbraucher und der Rücklieferatarife der Netzbetreiber. Auch die Netzeinspeisung kann demnach einen relevanten Beitrag an die Wirtschaftlichkeit leisten.

Ungenügende oder ungeeignete Flächen auf Dächern

Gründe dafür können sein: Statik, bestehende Aufbauten etc. In diesen oder weiteren Fällen kann der Einsatz von PV an Fassaden eine Alternative darstellen. Solche Anlagen sind unter Umständen sogar günstiger als jene auf dem Dach, da die herkömmliche Fassade eingespart werden kann. Südorientierte Fassadenanlagen weisen zudem eine über das ganze Jahr ausgeglichene Stromproduktion aus.

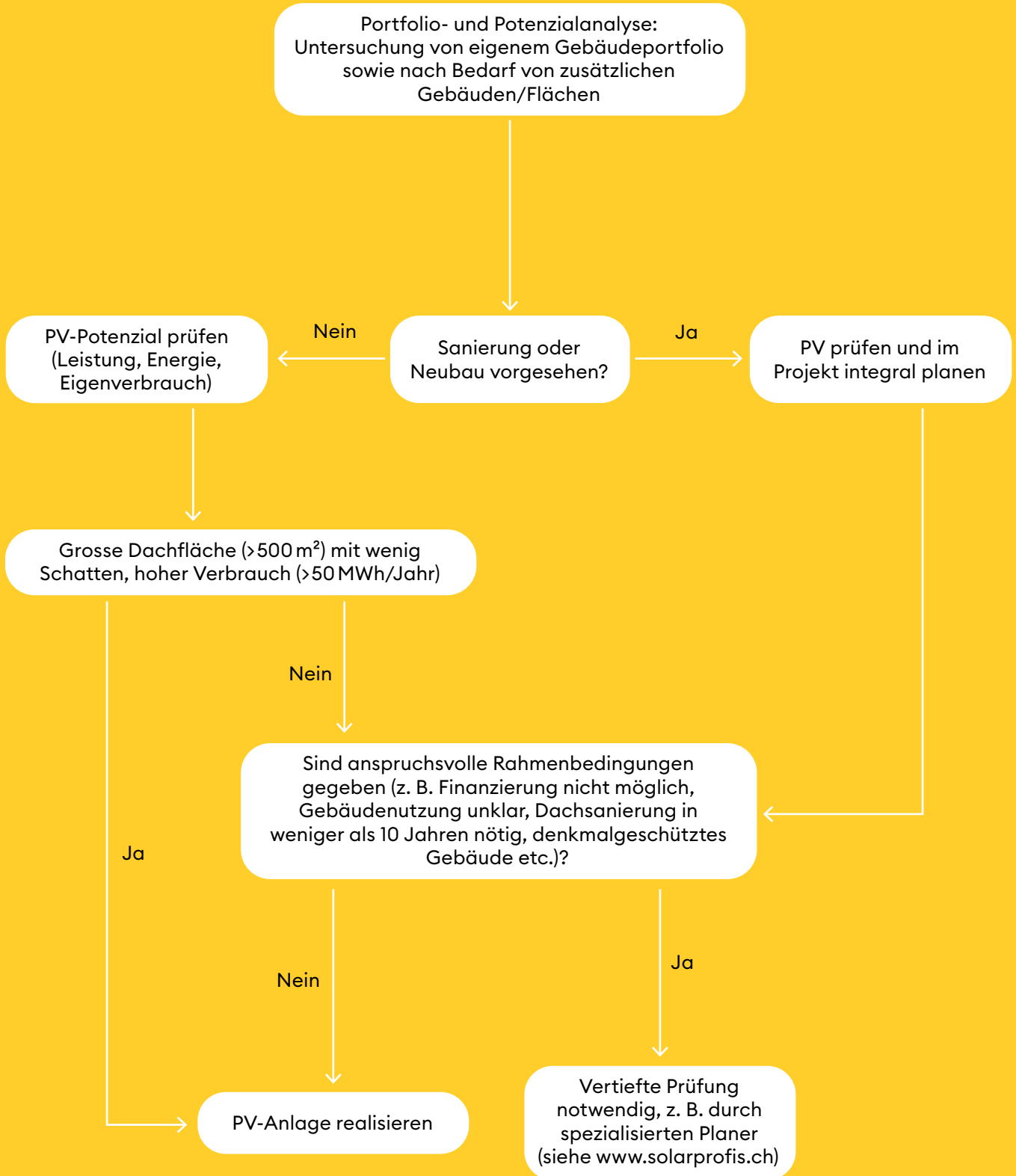
Auch eine Platzierung an Lärmschutzwänden, auf Böschungen oder weiteren Freiflächen kann eine Alternative sein.

Wirtschaftlichkeit

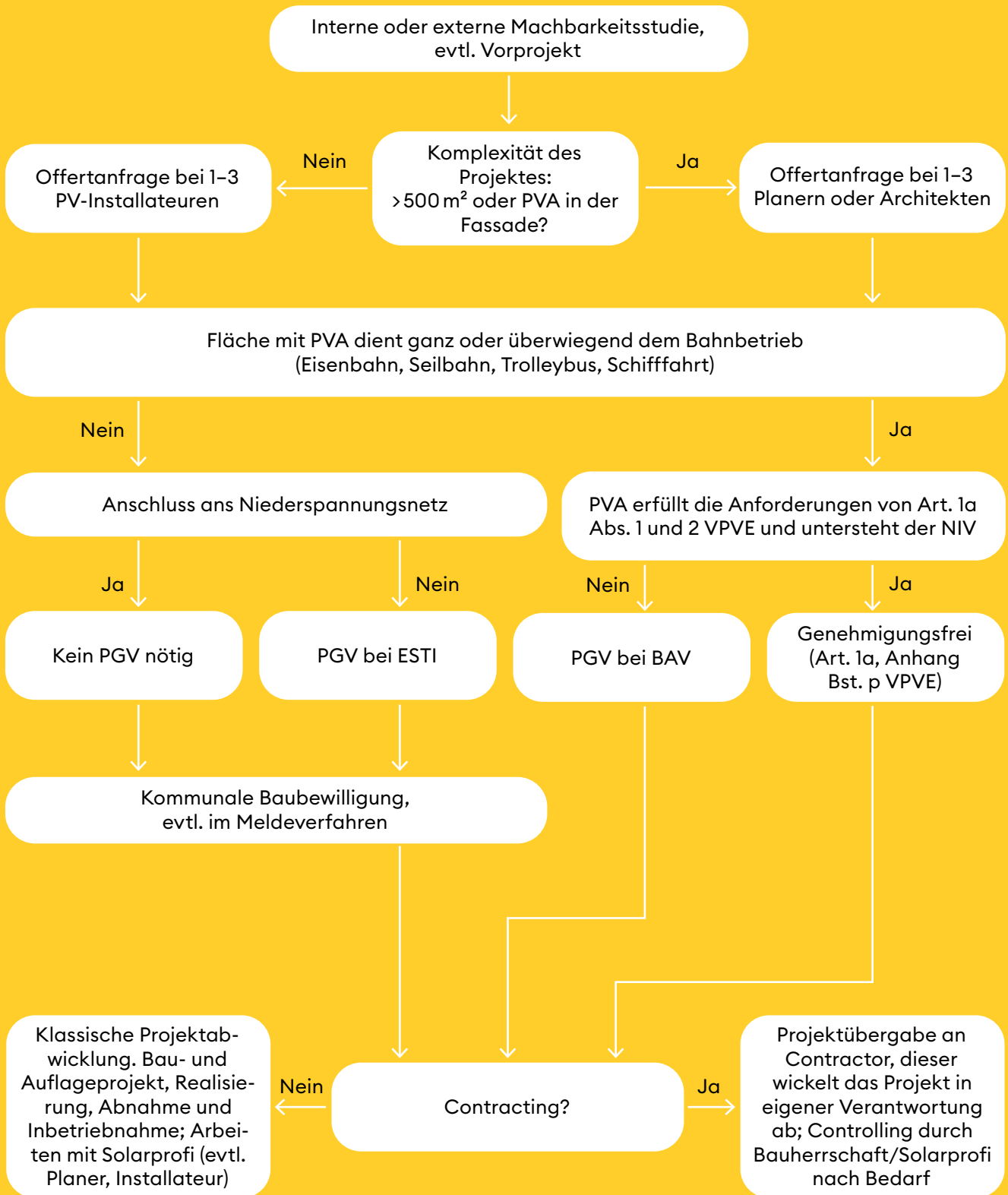
PV ist kein Kostenfaktor, sondern eine Investition, die sich mit Verzinsung zurückzahlt. Die Amortisationszeit ist mit 10–25 Jahren praktisch immer kürzer als die Lebensdauer einer PV-Anlage (siehe «Amortisationsdauer»). Sofern sich die Anlage auf einer Immobilie des öffentlichen Verkehrs (Depots, Werkstätten, Bahnhöfe, Verwaltungsgebäude) befindet und der Produktion zum Eigenbedarf an Industrie- und/oder Haushaltsstrom dient, so können deren anfallende Kosten (insbesondere Abschreibungen der Anlagen) in Absprache mit den jeweiligen Bestellern in die Offerten der TU an das BAV resp. die Kantone aufgenommen werden, auch wenn der Preis für den Strom über dem Preis von extern bezogenem Strom liegt.

Überschüssiger Strom kann verkauft werden. Allerdings stellen die Abnahmevergütungen des lokalen Verteilnetzbetreibers einen Unsicherheitsfaktor in der Wirtschaftlichkeitsrechnung dar. Mit einem hohen Eigenverbrauchsanteil kann diese Einflussgrösse reduziert werden. Zudem gibt es ab 2023 eine höhere Einmalvergütung für Anlagen ohne Eigenverbrauch. Wenn die Investition und/oder der Betrieb der Anlage nicht vom Transportunternehmen getragen werden kann, dann ist Contracting eine Option (siehe Seite 11).

DER WEG ZUR EIGENEN PV-ANLAGE



REALISIERUNG EINES PV-PROJEKTS



NACHHALTIGKEIT

Abfall und Recycling

Fast alle Schweizer Hersteller und Importeure erheben auf freiwilliger Basis eine vorgezogene Recyclinggebühr für Photovoltaikmodule. Diese Mittel werden von der Stiftung SENS eRecycling verwaltet und stehen zur Verfügung, wenn die Module nach ihrer Lebensdauer fachgerecht recycelt werden müssen.

Rohstoffe

Die meisten PV-Anlagen in der Schweiz werden mit PV-Modulen aus kristallinen Siliziumzellen gebaut. Sie bestehen vorwiegend aus Glas, Aluminium und Kunststoff. Silizium selbst ist das zweithäufigste Element der Erdkruste. Die verwendeten Materialien sind in genügenden Mengen verfügbar. Angesichts der hohen Abhängigkeit von chinesischen Produzenten werden zurzeit grosse Anstrengungen zum Wiederaufbau einer europäischen PV-Industrie unternommen.

Fotos: unsplash.com



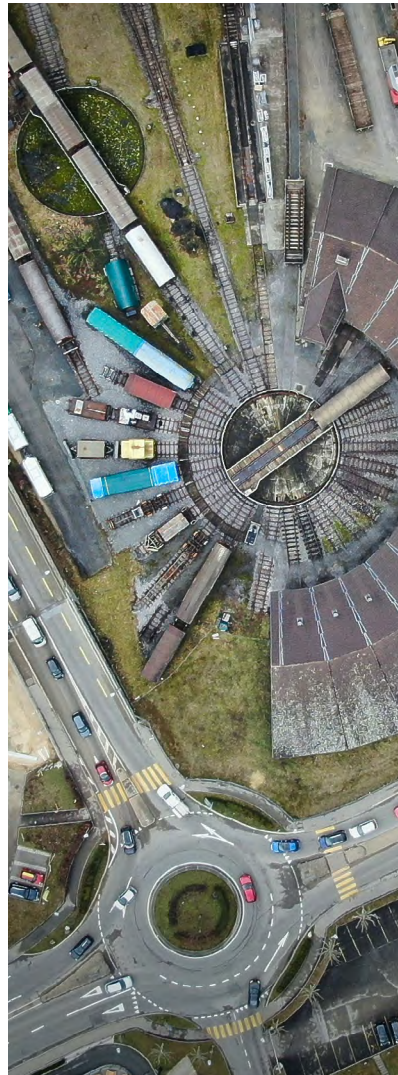
Energie- und Klimabilanz

Die für Herstellung, Transport, Installation und Rückbau benötigte Primärenergie wird durch eine Photovoltaikanlage in der Schweiz innerhalb von 2–3 Jahren wieder eingespart. Dank der Schweizer Solarstromproduktion muss die Schweiz weniger Strom vom Ausland importieren. Europäischer Strom ist um ein Vielfaches stärker CO₂-belastet als Schweizer Solarstrom. PV-Anlagen sind die Kraftwerke mit der besten Ökobilanz, die wir heute in der Schweiz im grossen Stil neu errichten können. Steigende Wirkungsgrade und Energieeinsparungen in der Produktion der Module verbessern die Bilanz laufend.



Produktion und Transport

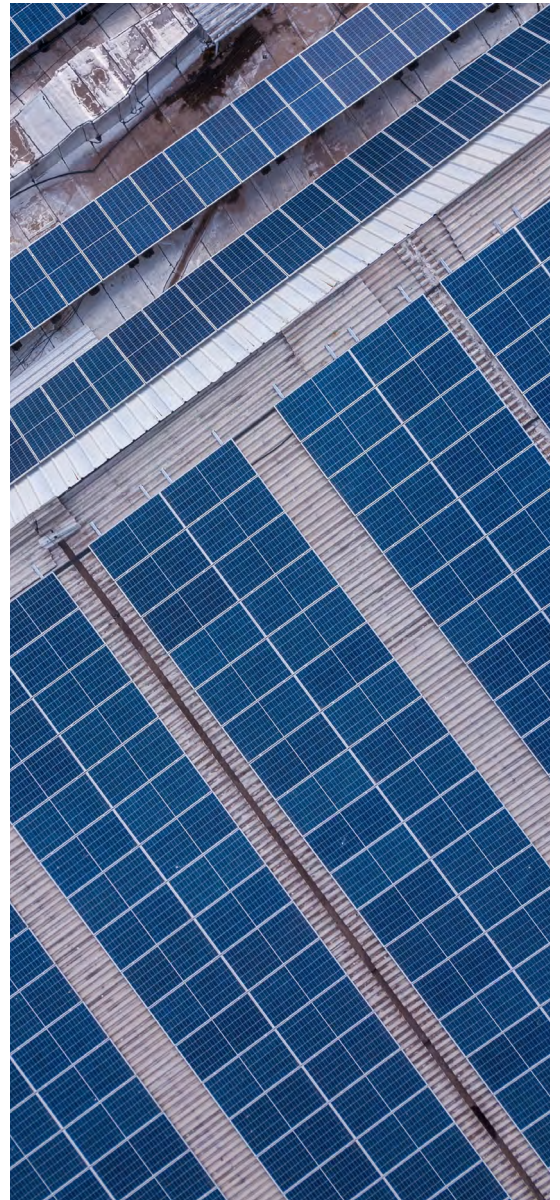
Auch wenn sich die weltweite Modulproduktion heute auf China und weitere ostasiatische Länder konzentriert, so gibt es weiterhin auch europäische und schweizerische Hersteller. Letztere haben sich auf Lösungen für die Gebäudeintegration spezialisiert. Das Einhalten hoher Umwelt- und Sozialstandards ist mittlerweile für die global tätigen Firmen eine Selbstverständlichkeit. Den grössten Umwelteinfluss hat die zur Produktion der Solarzellen benötigte Energie. Der Einfluss des Transports der Module auf die Umweltbilanz ist vergleichsweise gering.



Betrieb

Die Betriebsphase einer PV-Anlage beeinflusst die Umwelt kaum. Die Lebensdauer der Module liegt bei weit über 25 Jahren, in der diese rund zehnmal mehr Energie produzieren, als zu ihrer Herstellung nötig war.

PV-Anlagen sind prinzipiell selbstreinigend und müssen nur in besonderen Fällen gereinigt werden. Bei den Wechselrichtern ist mit einem einmaligen Ersatz während der Lebensdauer zu rechnen.



VIERZEHN PROJEKTBEISPIELE



Station «Trockener Steg»,
Zermatt Bergbahnen
Foto: Zermatt
Bergbahnen AG

¹ Tramdepot Kalkbreite, Verkehrsbetriebe der Stadt Zürich (VBZ)

«Die Dächer unserer Tramdepots gehören zu den grössten der Stadt Zürich. Die PV-Anlage ist ein Beitrag auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft der Stadt Zürich.»

Urs Hunziker, Leiter Facility Management,
Stadt Zürich, Verkehrsbetriebe

Die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik des Tramdepots Kalkbreite musste nach mehreren Jahrzehnten intensiver Nutzung einer Gesamt-sanierung unterzogen werden. Als einer der grössten Stromverbraucher der Stadt Zürich war es für die VBZ naheliegend,

im Zuge der Sanierung eine PV-Anlage zu bauen. Weil der Eigenverbrauch im Tramdepot jedoch nicht sehr hoch ist, wird der Strom auch als Traktionsstrom für die Trams eingespeist. Damit ist ein Eigenverbrauchsanteil von nahezu 100 Prozent sichergestellt. Die VBZ rüsten nach und nach alle Tramdepots mit PV-Anlagen aus und überwachen diese über ein einheitliches Portal.



Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 470 kW
- Art der PVA: Gründachanlage, aufgeständert
- Kosten: ca. 2% des Gebäudesanierungsbudgets
- Finanzierung: Sanierungsbudget
- Stromverwendung: Eigenverbrauch, Traktion für Trams
- Realisierung: 2018–2019
- Besonderes: Sanierung des Tramdepots; Bau der PV-Anlage im Zusammenhang mit der Sanierung; Berücksichtigung der Anliegen des Denkmalschutzes

Fotos: Christof Bucher,
Basler & Hofmann AG



2 Seilbahn Bergstation Klein Matterhorn, Zermatt VS (Zermatt Bergbahnen)

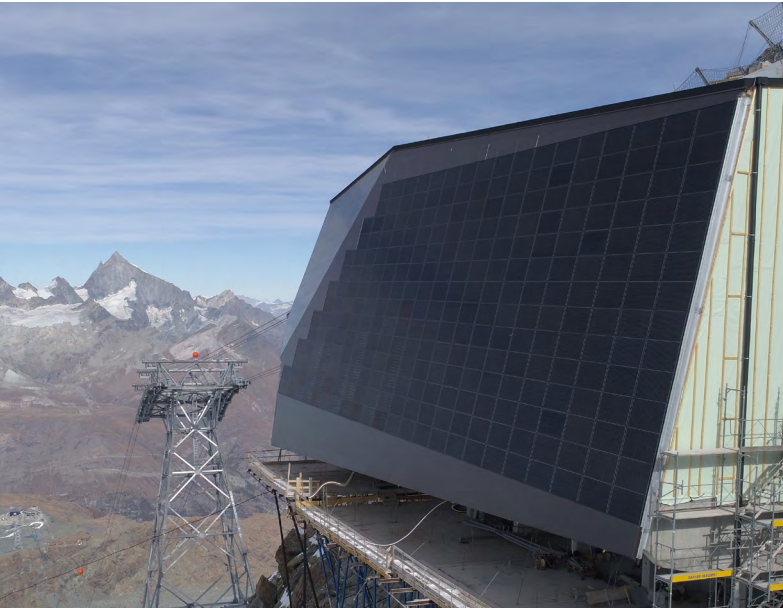


Foto: Zermatt Bergbahnen AG

Von Trockener Steg führt die höchste Dreiseilumlaufbahn der Welt zum Klein Matterhorn auf

3883 m ü. M. Von der Plattform des Matterhorn Glacier Paradise erblickt man 38 Viertausender und 14 Gletscher.

In einer ersten Etappe wurde 2018 bereits die Talstation auf 2923 m ü. M. mit einer transluziden Solarfassade (136 kW) ausgerüstet. Das System hat sich bewährt und es folgte die Bergstation auf 3821 m ü. M. – eine der höchstgelegenen Photovoltaikanlagen in Europa.

Speziell im Winter liefert die Solaranlage an der Fassade zuverlässig Strom. Die Verschattung durch Schmutz und Schnee kann ausgeschlossen werden. Zudem ist die vertikale Fläche bei tiefem Sonnenstand optimal ausgerichtet.

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 77 kW
- Energieertrag: 120 000 kWh/Jahr
- Stromverwendung: deckt rund 17% des benötigten Bahnstroms
- Kosten: rund CHF 350 000.–
- Eigentümer, Finanzierung und Betrieb: Elektrizitätswerk Zermatt AG
- Realisierung: 2018
- Besonderes: semitransparente, extrastarke Module (3,2 mm + 6 mm Glas)

3 Bahntechnikgebäude, Camorino TI (AlpTransit Gotthard AG/SBB)



Foto: Evolve SA

Das von der AlpTransit Gotthard AG für die SBB errichtete Gebäude beim Nordportal des Ceneri-Basistunnels

wurde der Gemeinde Camorino zur Erstellung einer Aufdach-PV-Anlage zur Verfügung gestellt. Wegen der Aufbauten in der Mitte des Gebäudes wurden die PV-Module einem Schrägdach ähnlich als ganze Fläche aufgeständert. Damit können die Gebäudeaufbauten minimiert werden.

Projektsteckbrief

- Nennleistung: 134 kW
- Energieertrag: ca. 130 000 kWh/Jahr
- Art der PVA: Spezialkonstruktion auf Kiesdach
- Kosten: CHF 300 000.–
- Finanzierung: Azienda Multiservizi Bellinzona mit Beteiligung der AlpTransit Gotthard AG
- Stromverwendung: Netzeinspeisung
- Realisierung: 2019–2020

4 Ersatzbau Bahnhofgebäude, Reichenbach BE (BLS)



Foto: Schweizer Solarpreis 2021

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 55 kW
- Energieertrag: 53 300 kWh/Jahr
- Stromverwendung: deckt 57% des Gesamtenergiebedarfs
- Realisierung: 2019
- Besonderes: Kombination jahrhundertalter Bautradition und zeitgenössischer ganzflächig integrierter PV-Technik

Das Bahnhofgebäude der BLS ist ein Vorzeigebispiel dafür, wie sich Tradition und

Modernes ergänzen. Der Ersatzbau verbindet bewusst Schindelholzbau aus naturbelassenem und handgespaltenem Lärchenholz mit einer zeitgenössischen Solartechnik. Das Gebäude verfügt über eine perfekt integrierte PV-Anlage. Die Module produzieren jährlich 53 300 kWh und erzeugen genug Strom, um 57% des Gesamtenergiebedarfs von 93 700 kWh/a CO₂-frei zu decken. Der hohe Energieverbrauch geht auf energieintensive Mieter wie ein Lebensmittelgeschäft und einen Imbissladen zurück.

5 Dépôt de la Jonction, Genève GE (Transports publics genevois TPG)



Foto: Pierre Albouy

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 335 kW
- Energieertrag: 220 000 kWh/Jahr
- Art der PVA: Foliendach
- Finanzierung: Contracting mit Windwatt SA; der Solarstrom ist geringfügig teurer als Netzstrom
- Stromverwendung: Traktionsnetz TPG (Direkteinspeisung ins Unterwerk Plainpalais)
- Realisierung: 1998/2019
- Besonderes: DC-Einspeisung für Tram und Trolleybus

Die Genfer Verkehrsbetriebe (TPG) betreiben bereits seit 1998 ein PV-Kraftwerk auf ihrem Depot Jonc-

tion, das im 2019 erweitert wurde. Eine weitere Anlage steht auf dem Depot Bachet-de-Pesay, und in Zusammenarbeit mit dem lokalen Stromversorger SIG soll eine Anlage in En Chardon erstellt werden.

Die PV-Module sind ohne Wechselrichter direkt mit dem Tram- und Trolleybus-Netz verbunden. Dabei werden sie zwar nicht immer im optimalen Leistungspunkt betrieben, dafür fließt der Solarstrom ohne Umwandlungsverluste direkt in die Fahrleitungen.

6 Perrondächer, div. Standorte Kanton Freiburg (Freiburgische Verkehrsbetriebe TPF)

«Die Suche nach Projektpartnern für die Projektrealisierung mit den Konditionen der KEV (Warteliste) war schwierig. Die Einmalvergütung hat uns diesbezüglich sehr geholfen.»

Julien Horner, Projektleiter, TPF

Der Bahn- und Busbetrieb TPF hat in Zusammenarbeit mit einem Contractor an den Standorten Belfaux, Münchenwiler, Courtepin und Pensier PV-Anlagen auf Perrondächern realisiert. Ein interner Prozess wurde initiiert mit dem Ziel, in den nächsten Jahren ähnliche Projekte auf zahlreichen geplanten neuen Perrondächern umzusetzen. Die Grösse der PV-Anlage wird auf das Eigenverbrauchspotenzial des jeweiligen Bahnhofs abgestimmt. Das Unternehmen hat weitere PV-Anlagen auf Busdepots (Givisiez, Romont) realisiert.

Projektsteckbrief (Beispiel Bahnhof Belfaux)

- Leistung PVA: 35 kW
- Energieertrag: ca. 35 000 kWh/Jahr
- Art der PVA: Flachdach, leicht aufgeständert
- Finanzierung: durch externen Investor im Contracting
- Stromverwendung: Eigenverbrauch TPF; Einspeisung Überschüsse ins lokale Stromnetz
- Realisierung: 2018

Bahnhof Belfaux, FR
Foto: TPF, Julien Horner



7 Salzatterie für den Eigenverbrauch, Schaltstation Holligen BE (BLS)



Foto: BLS AG, Pascal Mürger

Auf dem Flachdach des Technikgebäudes ist eine PV-Anlage installiert.

Diese liefert den nötigen Strom für die technischen

Geräte im Inneren des Gebäudes. Die Salzatterie sichert eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) während einer halben Stunde nach einem Stromausfall. Der Vorteil der gewählten Lösung: Für die beiden Funktionen «Versorgung Schaltstation» und «USV-Anlage» ist nur ein einziges Speicherbatteriesystem nötig. Die BLS ist das erste Bahnunternehmen, das sich für die Stromspeicherung in einer Salzatterie-Lösung entschieden hat.

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 22,5kW
- Art der PVA: angebaute Anlage auf Flachdach; PV-Anlage speist direkt einen netzgekoppelten Energiespeicher
- Kosten: ca. CHF 44 000.-
- Finanzierung: Projektförderung durch das Programm ESöV 2050
- Stromverwendung: technische Geräte im Gebäude
- Realisierung: 2019
- Besonderes: Salzatterie der Schweizer Firma Innovergy

8 Bahntechnikgebäude, Le Noirmont JU (Chemins de Fer du Jura)



Foto: Société des Forces Électriques de La Goule SA

Die PV-Anlage auf dem Bahntechnikgebäude der Chemins de Fer du Jura in Le Noirmont

produziert primär für den Eigenbedarf der Bahntechnik. Da im selben Gebäude eine Gleichrichterstation zur Einspeisung des Bahnstroms (1500 V DC) steht, werden die Stromüberschüsse ohne zusätzliche Steuerung für den Bahnstrom verwendet.

Weitere PV-Anlagen sind in Planung, unter anderem eine PV-Anlage in Saignelégier zur Produktion von Bahnstrom.

Projektsteckbrief

- Nennleistung: 16,8kW
- Energieertrag: ca. 16000kWh/Jahr
- Art der PVA: Ost-West-System auf Flachdach
- Finanzierung: Contracting mit Verteilnetzbetreiber La Goule
- Stromverwendung: vorwiegend Eigenverbrauch (Bahntechnik, IT-Infrastruktur)
- Realisierung: 2018

9 16,7-Hz-Netzeinspeisung, Zürich-Seebach ZH (SBB)

«Die SBB hat sich verpflichtet, ihre Solarstrompotenziale konsequent zu erschliessen. Damit leistet sie als ökologische öffentliche Transportunternehmung einen relevanten Beitrag zu einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Stromproduktion.»

Marcel Reinhard, Leiter Teilprogramm
«Neue erneuerbare Energien», SBB AG

Die SBB ist der grösste Stromverbraucher der Schweiz und gleichzeitig ein grosser Stromproduzent. Die eigene Stromproduktion vermag den jährlich steigenden Bedarf jedoch nicht mehr zu decken. Als neue Kraftwerke im Inland kommen eigentlich nur PV- oder Windkraftanlagen in Frage. Umso wichtiger ist es, dass die SBB ihre einfach verfügbaren Dach-

flächen konsequent für die Solarstromproduktion nutzt.

Naheliegender für die Verwendung des Stroms auf dem Frequenzumformerwerk in Zürich-Seebach war die direkte Verwendung des Stroms für die Traktionsenergie. Zurzeit gibt es allerdings keine Standard-Wechselrichter für die Umwandlung in die Bahn-Netzfrequenz von 16,7 Hz. Die SBB konnte jedoch von der Pionierleistung der österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) profitieren, die 2015 in Wilfleinsdorf eine 1-MW-Anlage realisiert hatten. Die für diesen Zweck produzierten Wechselrichter der Firma Fronius sind nun auch in Seebach im Einsatz.

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 132 kW/80 kVA
- Energieertrag: 125 000 kWh/Jahr
- Art der PVA: Kiesdach, leicht nach Süden aufgeständert
- Kosten: ca. CHF 210 000.–
- Finanzierung: Innovationsfonds SBB und Förderprogramm ESöV 2050 des BAV
- Stromverwendung: Bahnstrom SBB (16,7 Hz)
- Realisierung: 2019/2020

Foto: Christof Bucher,
Basler & Hofmann AG



10 Elektro-Postauto Bushaltestelle, Brugg AG (Postauto)

«Wir sind stolz auf das ganzheitliche Energiekonzept der IBB in der Stadt Brugg. Dieses umfasst eine Stromproduktion auf dem Dach des Busterminals, einem Batteriespeicher mit Steuerung, eine Ladestation mit Pantograph sowie die Anbindung ans IBB-Netz.»

Philippe Ramuz, Geschäftsleiter Netz-Dienstleistungen bei der IBB Energie AG

In der Region Brugg nahm Postauto im Jahr 2021 einen Elektrobus in Betrieb. Die Energiedienstleisterin IBB Energie AG liess auf dem Dach des bestehenden Busperrons eine Photovoltaikanlage errichten. Die Sonnenenergie wird auf einer Fläche von 452 m² mit 242 hochwertigen Solarmodulen umgewandelt. Der lokale

Zwischenspeicher wurde im Jahr 2022 in Betrieb genommen und dient dazu, die Bedarfsspitzen zu glätten und stellt die Deckung des jährlichen Strombedarfs durch Solarstrom aus der PV-Anlage sicher. Der Elektrobus nutzt die 12-minütige Standzeit bei der Haltestelle Bahnhof/Campus jeweils, um die Batterie zwischenzuladen. Dieses Aufladen des Busses führt mehrmals in der Stunde zu einem grossen Strombezug bei hoher Leistung in sehr kurzer Zeit.

Projektsteckbrief

- Leistung: 88,3 kW
- Energieertrag: ca. 83 200 kWh/Jahr
- Art der PVA: Die Anlage ist nicht nur nach Ost-West, sondern auch nach Nord-Süd ausgerichtet. Aufgrund der vier Ausrichtungen und um den Ertrag zu verbessern, wurden alle Module mit Optimierern versehen.
- Finanzierung: durch die IBB Energie AG
- Stromverwendung: Der produzierte Strom wird hauptsächlich für den Busbetrieb verwendet, die Überschussproduktion fliesst ins Netz
- Realisierung: 2021/2022
- Besonderes: Der Ladevorgang erfolgt erstmals mit Hilfe eines Pantographen, der sich von oben auf den Bus herabsenkt

Foto: Postauto



11 Faltdach Parkplatzüberdachung, Jakobsbad AI (Luftseilbahn zum Kronberg)



Foto: SAK

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 429 kW
- Energieertrag: 350 000 kWh/Jahr
- Art der PVA: Faltdach
- Kosten: CHF 1,5 Mio.
- Finanzierung: Eigeninvestition SAK und Bürgerbeteiligung
- Stromverwendung: Eigenverbrauch, Netzeinspeisung
- Realisierung: 2020
- Besonderes: Faltdaches Dach, wird bei Windgeschwindigkeiten >15 m/s sowie bei Schneefall und Eisbildung eingefahren

Auf dem Parkplatz der Luftseilbahn zum Kronberg wurde im Frühling 2020 eine 4000 m² grosse, faltbare Photovoltaikanlage realisiert.

Die Anlage besteht aus 1320 Panels und produziert ca. 350 000 kWh im Jahr. Neben der technischen Umsetzung ist auch die Finanzierung innovativ: Ergänzend zur Investition der SAK werden auch Bürgerbeteiligungen angeboten, die mit Erlebniscoupons der Luftseilbahn Jakobsbad-Kronberg vergütet werden.

Das Solarfaltdach wurde von der Firma dhp Technology entwickelt und ist auch auf den Klärbecken der ARA Chur im Einsatz.

12 ZEV: Salzmann AG Transporte und RBS-Werkstatt, Worboden BE (RBS)



Foto: Damian Poffet

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: ca. 195,84 kW
- Energieertrag: ca. 199 823 kWh/Jahr
- Stromverwendung: Geschäftshaus Salzmann AG Transporte und Werkstatt RBS Worblaufen. Eigenverbrauchsgrad liegt bei 61,2%
- Kosten: CHF 270 000.-
- Eigentümer: Salzmann AG Transporte
- Realisierung: 2021

Zwei Firmen, eine PV-Anlage, ein ZEV – die Firma Salzmann AG Transporte hat die Initiative ergriffen: Das grosse Dach ihrer neuen Einstellhalle sollte mit PV-Modulen ausgestattet werden. Salzmann selber benötigt nur einen kleinen Teil des Stromes selbst. Da die RBS-Werkstatt direkt an die neue Einstellhalle grenzt und die Werkstatt v.a. tagsüber viel Strom benötigt, waren die Voraussetzungen für eine gemeinsame Anlage gut. Der RBS bezieht Strom vom Dach von Salzmann, wenn dort genügend produziert wird. Falls die Produktion nicht ausreicht, bezieht Salzmann den vom RBS zu einem günstigen Preis eingekauften, erneuerbaren Strom. Die Verteilung des Stromes läuft über die RBS-Werkstatt.

13 Sanierung Standseilbahn Biel-Maggingen, Biel BE (Verkehrsbetriebe Biel-Bienne)

«Das entwickelte Energiesystem funktioniert im Dauerbetrieb zuverlässig; es hat unsere Stromkosten um 30 Prozent reduziert.»

Raphaël Schlup,
Leiter Technik / Betrieb Seilbahnen,
Verkehrsbetriebe Biel-Bienne

Unter Leitung der Hochschule Luzern wurde für die Bahn ein Konzept entwickelt, bei dem bis zu 80 % der Bremsenergie gespeichert und anschliessend für die nächste Fahrt zur

Verfügung gestellt werden kann. Die Energie wird dabei in einer Batterie mit einer Kapazität von 67 kWh zwischengespeichert. Auf dem Dach der Bergstation wurde eine Photovoltaikanlage in Betrieb installiert, deren jährliche Produktion auf 43 000 kWh beziffert wird. Auch deren Energie kann in der Batterie für den Bahnbetrieb gespeichert werden.

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 44 kW
- Energieertrag: 43 MWh/Jahr
- Art der PVA: Pultdach, 20 Grad geneigt
- Kosten: ca. CHF 160 000.–
- Finanzierung: Im Rahmen der Gesamt-sanierung der Bahn, je zur Hälfte BAV und Kanton
- Stromverwendung: Eigenverbrauch, Speicherung der Überschüsse in Batteriespeicher
- Realisierung: 2020
- Besonderes: Kombination von Bremsenergie-Rückgewinnung, Zwischenspeicher (67 kWh) und Photovoltaikanlage

Foto: Dirk Weiss



14 Energiekonzept, Biberist Ost SO (BLS)

Auf dem Flachdach des Technikgebäudes ist eine PV-Anlage in Form eines Satteldaches realisiert worden.

Das unter der PV-Anlage liegende Flachdach wurde als «Nacktdach» realisiert. Somit konnte die Unterkonstruktion direkt auf die Dachhaut gestellt werden. Das Flachdach und die PV-Anlage sind für Wartungs- und Störungsarbeiten über die Türe an der Stirnseite zugänglich. Die PV-Anlage versorgt über das Batteriespeichersystem die bahntechnischen Einrichtungen. Hochvolt-Batteriespeicher (2 × 23 kWh) vom Typ NiMH (bi-polar Nickel Metall Hydride® Batterien) wurden verwendet.

Projektsteckbrief

- Leistung PVA: 13,65 kW
- Energieertrag: ca. 12 285 kWh/Jahr
- Stromverwendung: Eigenbedarfsoptimierung und USV-Batterie
- Kosten: Rund CHF 42 000.–
- Eigentümer: BLS Netz AG
- Realisierung: 2021/22
- Besonderes: PV-Anlage speist redundantes Batteriespeichersystem für Eigenbedarfsoptimierung und USV-Anlage (unterbrechungsfreie Stromversorgung)

Foto: BLS AG, Pascal Münger



Kontakte

BAV
Dr. Tristan Chevroulet
Programmleiter Energiestrategie öV
Bundesamt für Verkehr
3003 Bern
T +41 58 465 47 41
info.energie2050@bav.admin.ch
www.bav.admin.ch/energie2050

Swissolar
Schweizerischer Fachverband
für Sonnenenergie
Neugasse 6
8005 Zürich
T +41 44 250 88 33
info@swissolar.ch
www.swissolar.ch

Pronovo
Vollzugstelle für Förderpro-
gramme Erneuerbare Energien
Dammstrasse 3
5070 Frick
T 0848 014 014
info@pronovo.ch
www.pronovo.ch

SBB
Daniel Ryter
Bahnstromkundenbetreuer
Industriestrasse 1
3052 Zollikofen
T +41 79 772 29 61
daniel.ryter@sbb.ch
www.sbb.ch

Abkürzungen

BAV	Bundesamt für Verkehr
BIF	Bahninfrastrukturfonds
BTG	Bahntechnikgebäude
EBG	Eisenbahngesetz
ESöV 2050	Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr
ESTI	Eidgenössisches Starkstrominspektorat
Hz	Hertz
ISB	Infrastrukturbetreiber
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung
KKW	Kernkraftwerk
kVA	Kilovoltampere
kW	Kilowatt, hier als Nennleistung einer PVA; kann auch als kWp bezeichnet werden
kWh	Kilowattstunde
MWh	Megawattstunde
NIV	Niederspannungs-Installationsverordnung
PGV	Plangenehmigungsverfahren
PV	Photovoltaik
PVA	Photovoltaikanlage
RPG	Raumplanungsgesetz
RPV	Regionaler Personenverkehr
TU	Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs
TWh	Terawattstunde (1TWh = 1 Milliarde Kilowattstunden)
VPVE	Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für Eisenbahnanlagen
ZEV	Zusammenschluss zum Eigenverbrauch

Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs (TU) könnten auf ihren Gebäuden und Infrastrukturen rund ein Viertel ihres Energieverbrauchs erzeugen und damit einen substantziellen Beitrag zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 leisten.

Die meisten Gebäude und viele Infrastrukturen der TU sind für die Installation von PV-Anlagen geeignet. Dank der meist sehr robusten Verteilnetze spielt es technisch und ökologisch zudem keine grosse Rolle, ob der Strom lokal verbraucht oder ins Netz eingespeist wird. Unter den aktuellen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen ist es jedoch derzeit meist notwendig, einen Teil des Solarstroms lokal zu verbrauchen, um eine PV-Anlage rentabel betreiben zu können. Dies wird durch den hohen und wachsenden Stromverbrauch der meisten TU erleichtert.