

PV UND SOLARWÄRME SINNVOLL KOMBINIERT

Eine solche Gelegenheit ergibt sich nicht alle Tage: In der Engadiner Gemeinde Scuol wurden drei baugleiche Mehrfamilienhäuser mit unterschiedlichen Typen von Solaranlagen ausgerüstet und anschliessend einem dreieinhalbjährigen Messprogramm unterzogen. Fazit des Vergleichs: Die reine Photovoltaik (PV)-Anlage punktet mit einer günstigen Stromproduktion. Doch auch die beiden anderen Solarsysteme, die PV mit Solarthermie verbinden – im einen Fall als nebeneinander installierte Anlagen, im anderen Fall als kombinierte PVT-Anlage – haben ihre jeweiligen Vorzüge. Welches der drei Solarsysteme die beste Wahl ist, hängt von den jeweiligen Umständen und Nutzungszielen ab.

Die Fanzun AG mit Hauptsitz in Chur ist ein Generalplaner mit einem Schwerpunkt im alpinen Tourismus. Firmengründer Gian Fanzun baute schon in den 1990er Jahren Solarwärme-Anlagen. Heute plant die Firma Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen für Bergbahnen, Hotels, Gewerbe- und Wohngebäude. «Wenn die Nutzung der Solarenergie im Al-



Für das Forschungsprojekt rüsten SPF-Forscher die Rückseite eines PV-Moduls mit einem Temperaturfühler aus. Foto: BFE-Schlussbericht



Die Monolit-Überbauung in Scuol besteht aus vier Häusern; drei wurden in das BFE-Projekt einbezogen: Vorne links Haus A mit einer reinen PV-Anlage, dahinter Haus B mit PVT-Modulen. Vorne rechts Haus C: Das Dach ist in der Mitte mit Warmwasserkollektoren bestückt, beidseitig von PV-Modulen begleitet, an der unterschiedlichen Optik klar erkennbar. Foto: Fanzun AG

penraum zum Thema wird, ist bei den Kunden zu Beginn manchmal Skepsis zu spüren, da sie an der Wirtschaftlichkeit der Anlagen zweifeln», sagt René Meier, Partner bei der Fanzun AG. «Die Vorbehalte verschwinden dann aber meistens, wenn sie die konkreten Fakten erfahren.»

Die Nutzung der Solarenergie in Höhenlagen des Alpenraums hat ihre Eigenheiten. Zeitweilige Schneebedeckung mindert in den Wintermonaten die Solarerträge, Verschattung schränkt die Nutzung der Solarenergie stellenweise ein. Daraus ergibt sich aber kein generelles Hindernis für die Nutzung der Solarenergie. Im Gegenteil: Im Alpenraum lassen sich gerade im Herbst und im Frühling, aber auch bei günstigen Winterbedingungen höhere Solarerträge erzielen als im Flachland, weil in Höhenlagen weniger Nebel herrscht. Zudem erzielen die PV-Module dank der tieferen Durchschnittstemperaturen höhere Erträge. Graubünden hat denn auch ein Förderprogramm für Winterstrom aufgelegt: Damit fördert der Kanton Anlagen, deren PV-Module so aufgeständert und ausgerichtet sind, dass ihr Ertrag nicht im Sommer, sondern in den Übergangsmonaten und im Winter optimiert ist.

Alle Systeme haben ihre Vorzüge

Auch in den Alpen ist die Frage also nicht, ob man Solarenergie nutzt, sondern wie. Auf diese Frage liefert nun ein Monitoringprojekt in Scuol Antworten: Auf drei baugleichen Minergie-A-Mehrfamilienhäusern mit je acht Wohnungen wurden unter Leitung der Vassella Energie GmbH (Poschiavo) drei unterschiedliche Solaranlagen errichtet (vgl. Textbox S. 4). Die Fanzun AG baute die Häuser, Caotec (Brusio) zeichnete für die Haustechnik verantwortlich. Ein Forscherteam des Instituts für Solartechnik (SPF) in Rapperswil, das zur Ostschweizer Fachhochschule gehört, hat die Performance der Solarsysteme während dreieinhalb Jahren verglichen. Die Untersuchung wurde vom BFE im Rahmen seines Pilot- und Demonstrationsprogramms unterstützt.

Um es vorwegzunehmen: Ein klarer Sieger ging aus diesem Wettbewerb der drei Solarsysteme nicht hervor. Vielmehr hat jedes seine Vorzüge. Haus A – vollständig mit PV-Modulen bedeckt und mit einem Batteriespeicher ausgerüstet – hat die Vorteile dieser Solartechnologie bestätigt: Die PV&Batterie-Anlage schwingt beim elektrischen Eigenverbrauchsanteil

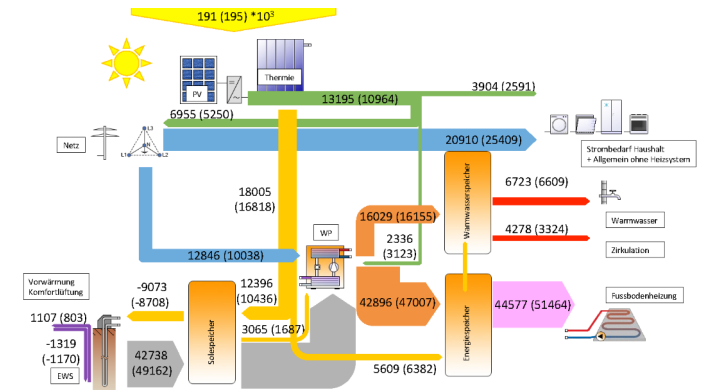
(36%) und dem elektrischen Autarkiegrad (39%) obenaus (jeweils bezogen auf den Stromverbrauch des Heizsystems). Die Anlage ist auch die günstigste und kommt mit wenig Steuerungsaufwand aus. «Doch auch das mit PVT-Modulen ausgestattete Haus B und das mit PV-Modulen und Warmwasserkollektoren ausgerüstete Haus C haben ihre jeweiligen Vorzüge», betont Energieexperte und Projektleiter Carlo Vassella. Selbst wenn die Photovoltaik in den letzten zwei Jahrzehnten viele Anhänger gefunden hat, gibt es also weiterhin gute Gründe für den Einbezug solarthermischer Systeme.

Hohe Energieausbeute dank PVT-Modulen

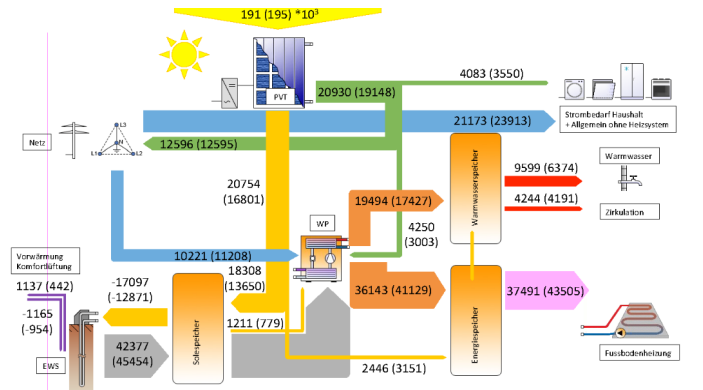
Gespannt waren die Projektbeteiligten auf das Abschneiden der PVT-Anlage, die auf Haus B der Überbauung verbaut wurde. Im alpinen Raum gibt es bislang nämlich erst wenige Anlagen dieses Typs. PVT-Module ermöglichen Strom- und Wärmeproduktion im selben Modul. Das verspricht einen hohen Stromertrag, weil die Solarzellen durch die Wärmeträgerflüssigkeit gekühlt werden, aber auch eine hohe Gesamtausbeute an Solarenergie. Die Messkampagne hat diese Annahme bestätigt: Die PVT-Anlage gewinnt aus der eintreffenden Solarstrahlung mehr Energie (Strom und Wärme) als die beiden anderen Solarsysteme; der solare Nutzungsgrad liegt bei respektablen 22 %. Die Stromproduktion liegt 7,4 % über derjenigen der flächengleichen PV-Anlage auf Haus A. Dieser Mehrertrag sei zu einem grossen Teil auf die kühlende Wirkung der Solarthermie zurückzuführen, hält der BFE-Schlussbericht fest.

Nachteilig sind bei der PVT-Anlage die Kosten: Die Anlage ist – u.a. wegen des hohen Anteils an manueller Fertigung – bislang noch markant teurer als die beiden anderen Solarsysteme. Und: Der Wärmeertrag der PVT-Module lag zunächst deutlich unter den Erwartungen. Erst nach einer Änderung der Steuerungsparameter nahm die Regeneration der Erdsonden befriedigende Werte an.

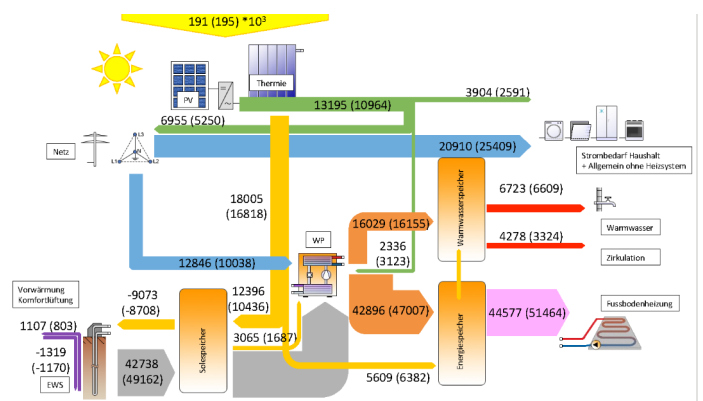
Haus C ist zum einen mit PV-Modulen, zum anderen mit Warmwasserkollektoren bestückt. Von allen drei Anlagen liefert dieses Setting – gemessen am eingesetzten Strom für das Energiesystem – am meisten Nutzwärme: der Systemnutzungsgrad liegt bei 3.66 (Haus B: 3.55, Haus A: 3.36). Das hängt auch mit den eingesetzten Kollektoren zusammen, wie der Schlussbericht festhält: «Die abgedeckten Sonnenkollektoren weisen im Vergleich zu den unabgedeckten PVT-Kollektoren insbesondere im alpinen Gebiet weniger Wärmeverluste auf. Sie können deshalb länger im Jahr auf höheren



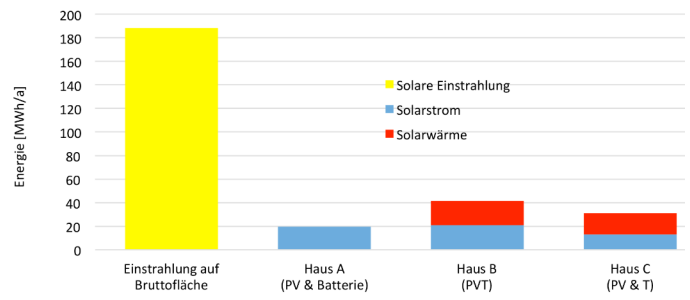
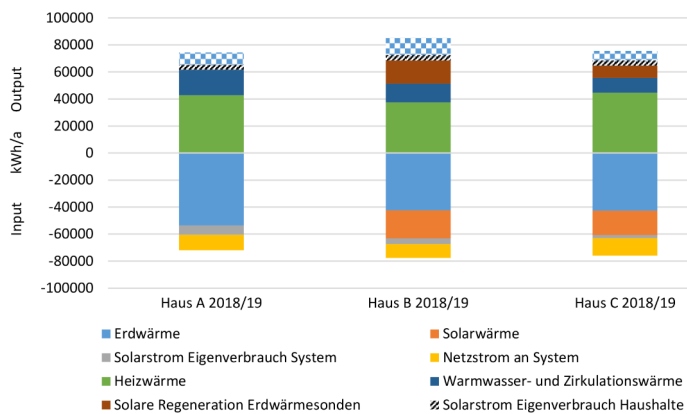
Energieflüsse (in kWh) im Messjahr 2018/19 (in Klammern: Messjahr 2017/18) in Haus A. Der PV-Strom aus eigener Herstellung (grün) wird ins Netz eingespeist, zum Betrieb der Wärmepumpe genutzt oder direkt in den Haushalten verbraucht. Grafik: BFE-Schlussbericht



Energieflüsse (in kWh) im Messjahr 2018/19 (in Klammern: Messjahr 2017/18) in Haus B. Die Wärme aus den PVT-Modulen (orange) wird grösstenteils zur Regeneration der Erdsonden genutzt; nur ein kleiner Teil gelangt in den Warmwasserspeicher. Grafik: BFE-Schlussbericht



Energieflüsse (in kWh) im Messjahr 2018/19 (in Klammern: Messjahr 2017/18) in Haus C. Wie bei Haus B wird auch hier ein wesentlicher Teil der Solarwärme (orange) zur Regeneration der Erdsonden eingesetzt. Weil die Solarkollektoren Wärme bei höheren Temperaturen liefern, kann im Vergleich zu Haus B ein grösserer Anteil für die Bereitstellung von Warmwasser und Heizung genutzt werden. Dieser Verwendungszweck stösst im Sommerhalbjahr an Grenzen, da die Produktion den Bedarf öfter übersteigt. Grafik: BFE-Schlussbericht



Bei Nutzung von Strom und Wärme lässt sich die Solarenergie besser nutzen als mit Photovoltaik alleine. Grafik: BFE-Schlussbericht

Haus B und C entnehmen der Erde weniger Wärme (hellblau), und gleichzeitig führen sie der Erde über die Regeneration noch Wärme zu (braun). Grafik: BFE-Schlussbericht

Temperaturen – direkt nutzbar zur Warmwassererwärmung – betrieben werden.»

Wie viel Regeneration des Erdreichs ist möglich?

Alle drei Häuser der Überbauung in Scuol nutzen für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser eine Sole-Wasser-Wärmepumpe, die jeweils an einen Teil des Erdsondenfelds gekoppelt ist. Erdsondenfelder werden heute standardmässig so ausgelegt, dass der Boden über die Jahre nicht übermässig abkühlt (während 50 Jahren soll die mittlere Sondentemperatur den Wert von - 1,5 °C nicht unterschrei-

ten). Vor diesem Hintergrund wollte das SPF-Forscherteam wissen, wie stark sich die Abkühlung durch Regeneration des Erdreichs verzögern lässt. «Wenn wir dank Regeneration die Absenkung der Erdtemperatur langfristig reduzieren können, käme man bei einer solchen Überbauung mit vier statt fünf Erdsonden pro Haus aus und könnte Kosten sparen», sagt Carlo Vassella. Nützlich wäre die Regeneration auch für städtische Gebiete, wo die Erdsonden mitunter so dicht verlegt sind, dass mancherorts über eine Regenerationspflicht diskutiert wird, um die Erdwärmenutzung auch längerfristig sicherzustellen.

DREI HÄUSER, DREI SOLARSYSTEME

Die drei Häuser beziehen Heizwärme und Warmwasser jeweils von einer Sole-Wasser-Wärmepumpe, die an ein Erdsondenfeld gekoppelt ist. Pro Haus wurden fünf Sonden jeweils 175 m tief verlegt. Unterschiedlich sind hingegen die Solarsysteme:

Haus A: Nutzt die Sonnenenergie mit einer PV-Indachanlage (132 m²; 22,1 kWp) mit einem Batteriespeicher (13 kWh). Die Erdsonden werden nicht regeneriert.

Haus B: Produziert dank einer PVT-Anlage (130 m²; 21,8 kWp; unabgedeckte Kollektoren) Strom und Wärme. Rund 80 % der anfallenden Niedertemperatur-Solarwärme wird zur Regeneration der Erdsonden genutzt, der Rest geht als Quellenwärme an die Wärmepumpe oder direkt in den sekundärseitigen Wärmespeicher. Der Regenerationsgrad beträgt 40 %, was bedeutet, dass 40 % der Wärme, die dem Boden über das Jahr entzogen wird, im Jahresverlauf in den Boden zurückgeführt wird.

Haus C: Das Solarsystem besteht aus PV-Modulen (90 m²; 15,1 kWp) und einer Flachkollektoranlage (42 m²; abgedeckte Kollektoren). Rund die Hälfte der Solarwärme wird zur Regeneration der Erdsonden genutzt (Regenerationsgrad von 20 %), 20 % gehen als Quellenwärme an die Wärmepumpe und 30 % werden direkt genutzt, um den Wärmespeicher zu beladen. BV

	Investitions- kosten	Einmal- vergütung	Wartungs- kosten	Netto Netzstrom- kosten	Wärme- produktion WP	LCOH
	CHF	CHF	CHF/a	CHF/a	kWh/a	CHF/kWh
Haus A	268'663	15'293	1'050	573	69'240	0.192
Haus B	332'456	15'122	1'600	244	55'637	0.296
Haus C	249'028	11'023	1'360	809	58'925	0.223
Referenz	141'740		600	1'927	61'267	0.148

Vergleich der drei Solarsysteme, gemessen an den Kosten einer Kilowattstunde Wärme über einen Lebenszyklus von 25 Jahren (LCOH). Die Wärmeproduktion unterstützt durch das PV&Batterie-System von Haus A ist am günstigsten, aber immer noch teurer als bei der Referenzanlage (Wärmepumpe mit Netzstrom, also ohne Solaranlage). Grafik: BFE-Schlussbericht

PVT-Systeme liefern aufgrund ihrer Konstruktionsweise in der meisten Zeit des Jahres nur auf einem relativ tiefen Temperaturniveau effizient Wärme. Anders als Warmwasserkollektoren empfehlen sie sich nicht in erster Linie zur Produktion von Heizwärme und Warmwasser. Sinnvoll ist dagegen der Einsatz zur Regeneration des Erdreichs. Die Messkampagne in Scuol hat gezeigt, dass die Regeneration der Sonden der Häuser B und C die Quelltemperaturen kurzfristig erhöht, was die Effizienz der Wärmepumpen verbessert. Offen bleibt, ob die Regeneration die Quelltemperaturen auch längerfristig erhöht. Ein Langzeit-Effekt konnte während der dreieinhalb Jahre der Messkampagne noch nicht nachgewiesen werden.

Kombination mehrerer Solarsysteme

Für SPF-Forscher Dr. Daniel Zenhäusern gibt die Untersuchung auch Hinweise für neuartige Verbindungen verschiedener Solarsysteme: «Vorhandene Dachflächen müssen optimal für die Solarenergie genutzt werden. So wird insbesondere in dicht bebauten Gebieten, wo die Regeneration von Erdsondenfeldern zunehmend nötig sein wird, auch eine Kombination von PV- und PVT-Modulen gute Dienste leisten können», sagt der Wissenschaftler.

➤ Der **Schlussbericht** zum BFE-Demonstrationsprojekt «Drei unterschiedliche innovative solarunterstützte Wärmeerzeugungssysteme für drei identische Minergie A-Gebäude» ist abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36752>

➤ **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Dr. Men Wirz, verantwortlich für das Pilot- und Demonstrationsprogramm des BFE: men.wirz@bfe.admin.ch.

➤ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Gebäude und Städte: www.bfe.admin.ch/ec-gebaeude.

P+D-PROJEKTE DES BFE

Das Monitoringprojekt der Solaranlagen der Monolit-Überbauung in Scuol wurde vom Pilot- und Demonstrationsprogramm des Bundesamts für Energie (BFE) unterstützt. Damit fördert das BFE die Entwicklung und Erprobung von innovativen Technologien, Lösungen und Ansätzen, die einen wesentlichen Beitrag zur Energieeffizienz oder der Nutzung erneuerbarer Energien leisten. Gesuche um Finanzhilfe können jederzeit eingereicht werden.

➤ www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration