

DER VERSTECKTE NUTZEN VON PV-ANLAGEN

Photovoltaik (PV) -Anlagen leisten bei der Stromversorgung von Unternehmen gute Dienste. Noch wenig bekannt ist ein Zusatznutzen, den die Solarstrom-Erzeugung für Industriebetriebe bereit hält: Wechselrichter von PV-Anlagen können zur Kompensation der unerwünschten Blindleistung herangezogen werden, wie sie in der industriellen Produktion zum Beispiel durch Motoren auftritt. Ein Pilotprojekt des Bundesamts für Energie hat die innovative Technologie in der Schokoladenfabrik «Camille Bloch» in Courtelary (Berner Jura) praxisnah erprobt.



Schokoladenfabrik Camille Bloch SA in Courtelary: Im Betriebsraum im Hintergrund sind fünf Wechselrichter untergebracht. Sie wandeln den Gleichstrom der PV-Module in Wechselstrom um, zudem können sie zur Kompensation von Blindleistung eingesetzt werden. Foto: B. Vogel



Auf den Dächern der Schokoladenfabrik Camille Bloch in Courtelary (BE) ist eine Solarstromanlage mit einer Leistung von 309 kW_p installiert. Links: Jean-Philippe Simon, Leiter Infrastruktur (vorn), zusammen mit seinem Mitarbeiter Nicolas Gentile. Foto: B. Vogel

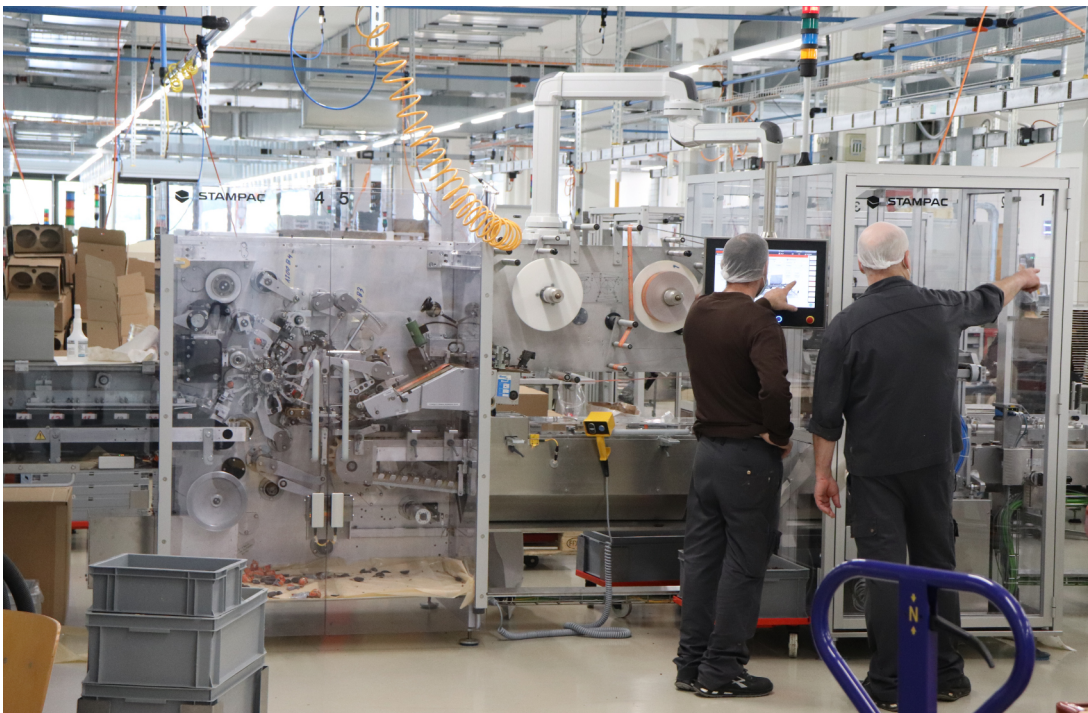
Wer in Courtelary aus dem Zug steigt und in Richtung der «Chocolats Camille Bloch SA» geht, nimmt bald einen unverwechselbaren Schoggiduft wahr. Seit den 1930er Jahren werden hier im Berner Jura feine Schokoladen hergestellt. Camille Bloch steht für Traditionsprodukte wie Ragusa und Torino. Mit Blick auf die Zukunft hat das Unternehmen in den letzten Jahren in eine nachhaltige Energieversorgung und in Effizienzmassnahmen investiert. Seit Juli 2016 deckt der Produktionsbetrieb einen grossen Teil des Wärmebedarfs mit einer Holzschnitzelfeuerung, womit der Heizölverbrauch um

75% sank. Weitere Einsparungen brachten Prozessoptimierungen mit Unterstützung der Energieagentur für Wirtschaft (EnAW). Schliesslich liefert eine 2017 erstellte 309 kW_p-Photovoltaikanlage jährlich 300 000 kWh Solarstrom. Dieser trägt rund 10% zum Jahresstrombedarf des Unternehmens bei.

Solaranlagen sollen in erster Linie Strom aus erneuerbarer Quelle liefern. Sind diese bei Industriebetrieben wie der Chocolats Camille Bloch SA installiert, bieten sie einen weiteren, heute noch wenig bekannten Nutzen: Die PV-Anlagen können zur Kompensation von Blindleistung eingesetzt werden, wie sie in den meisten Industriebetrieben auftritt, bei Camille Bloch zum Beispiel durch Motoren der Rührwerke, der Zerkleinerungsmaschinen und bei weiteren elektrischen Verbrauchern. In der Schokoladenfabrik beträgt die Menge an Blindleistung typischerweise 20 bis 25% der konsumierten Wirkleistung. Da Blindstrom in Stromnetzen unwillkommen ist, dürfen Industriebetriebe ihn nur in beschränktem Mass bzw. nur gegen Entgelt ins lokale Stromnetz einspeisen. Aus diesem Grund wird Blindleistung in der Regel direkt auf dem Fabrikareal kompensiert (vgl. Textbox S.4). Dafür nutzen Industriebetriebe herkömmlicherweise eine Kondensatorbank.

Zusatzfunktion moderner Solar-Wechselrichter

Doch es geht auch anders: Für die Kompensation der Blindleistung können nämlich die Wechselrichter von PV-Anlagen



Blick in die Schokoladenfabrik Camille Bloch. Alle elektrisch angetriebenen Maschinen erzeugen zwangsläufig Blindleistung. Diese wird traditionellerweise in einer Kondensatorbank kompensiert. Foto: B. Vogel.

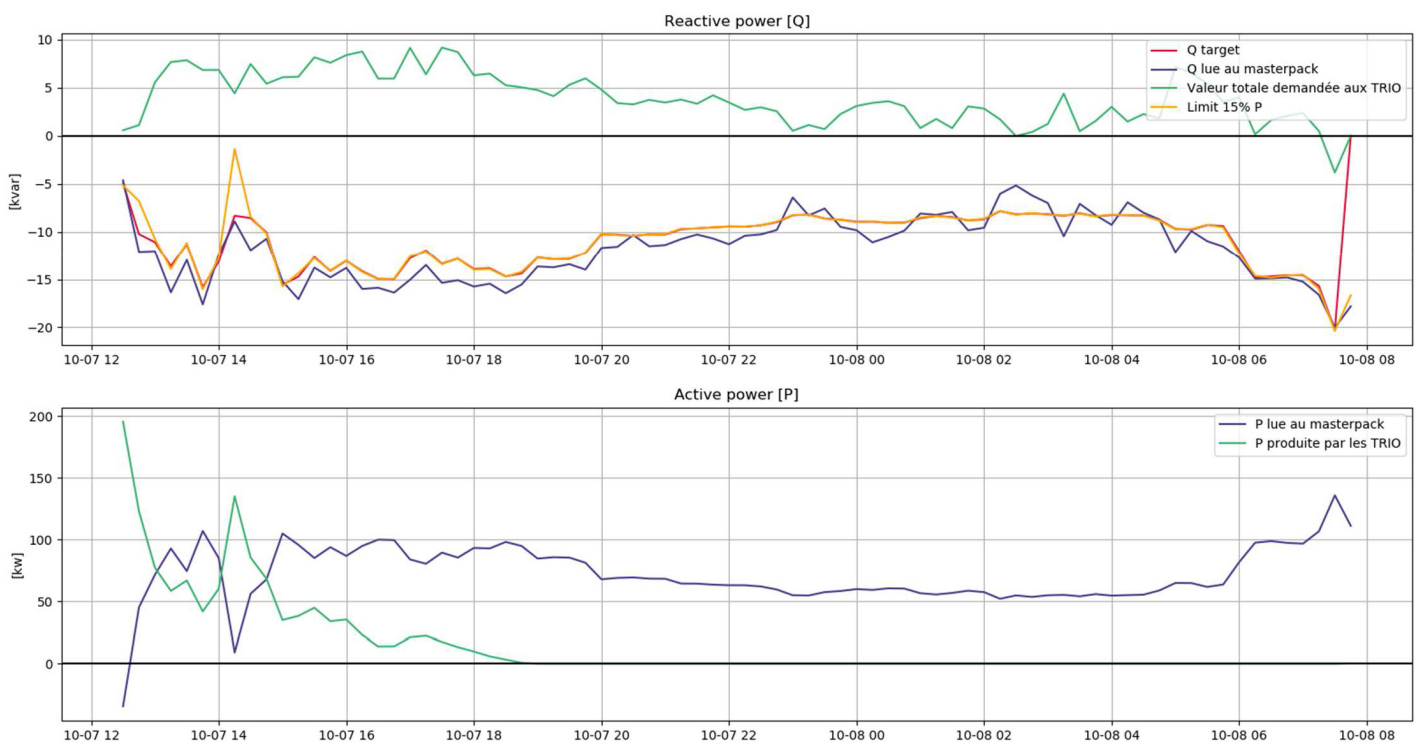
genutzt werden, sofern sie neuerer Bauart sind. Jean-Philippe Simon, Leiter Infrastruktur bei Camille Bloch, führt den Besucher auf das Dach des Produktionsgebäudes, bahnt sich den Weg durch die aufgeständerten Solarmodule und öffnet die Metalltür eines Betriebsraums. Die Tür gibt den Blick frei auf fünf Metallgehäuse. «Das sind die Wechselrichter der PV-Anlage auf diesem Haus. Sie bieten die Möglichkeit, einen Teil der in der Fabrik verursachten Blindleistung zu kompensieren, wie die Tests im Rahmen eines Pilotprojekts gezeigt haben», sagt Simon.

Das Pilotprojekt, von dem der Camille Bloch-Mitarbeiter spricht, war von BFE und Kanton Bern unterstützt worden. Unter der Leitung des Ingenieurunternehmens Planair SA wurde eine Testreihe durchgeführt, die alle zehn Wechselrichter der PV-Anlage umfasste (fünf für die PV-Module des Produktionsgebäudes und fünf für jene des Verwaltungsgebäudes). Die Wechselrichter können bei maximaler PV-Produktion 260 kW Wechselstrom bereitstellen. Werden sie zur Kompensation von Blindleistung genutzt, können sie Blind-

leistung im Umfang von 80% der Wirkleistung bereitstellen, also insgesamt 200 kvar (Blindleistung wird in der Einheit Kilovoltampere reaktiv / kvar gemessen). Zum Vergleich: Die bestehende Blindleistungs-Kompensationsanlage (Kondensatorbank) der Schokoladenfabrik Camille Bloch hat eine Kapazität von 720 kvar. Die Wechselrichter könnten somit nicht die gesamte Blindleistung kompensieren, aber zumindest einen Teil.

Erfolgreiche technische Umsetzung

Sollen Wechselrichter Blindleistung kompensieren, muss der Arbeitspunkt jedes Wechselrichters geregelt werden, um die erforderliche Blindleistung zu produzieren. ABB Schweiz hat den Regler für das Pilotprojekt entwickelt und programmiert. «Wir hatten die Wechselrichter für die PV-Anlage geliefert, und so lag es nah, dass wir im Rahmen des BFE-Projekts auch den Regler zur Verfügung stellen», sagt ABB-Projektleiter Carlo Marrella. Um bei den Wechselrichtern die jeweils benötigte Blindleistung abzurufen, muss der Regler die in der Fabrik aktuell verursachte Blindleistung kennen. Die entspre-



Die Grafik deckt den Zeitraum vom 7. Oktober (12:00 Uhr) bis zum 8. Oktober (8:00 Uhr) ab. Die untere Grafik zeigt die aus dem Netz bezogene Leistung (blau) und die von der Solaranlage bereitgestellte Leistung (grün). In der oberen Grafik zeigt die grüne Kurve, wie viel (kapazitive) Blindleistung von den Wechselrichtern (TRIO) abgerufen wird. Die orangefarbene Kurve stellt den Hauptsollwert dar: Die Wechselrichter werden aufgefordert, dafür zu sorgen, dass die Blindleistung im Werk 15% der Wirkleistung nicht überschreitet (so die Vorgabe im hier abgebildeten Test). Die violette Kurve steht für das tatsächliche Verhalten des Systems: Dieses folgt dem Sollwert sehr gut. Die Ergebnisse dieses und weiterer Tests zeigen: Es ist möglich, mit der vorliegenden Steuerung die Blindleistung auf maximal 50% der Wirkleistung zu begrenzen und so sicherzustellen, dass der Netzbetreiber keine Blindenergie in Rechnung stellt. Grafik: BFE-Schlussbericht

WIE WECHSELRICHTER BLINDLEISTUNG KOMPENSIEREN

Elektrische Anlagen, die eine Spule enthalten, verursachen eine Phasenverschiebung, bei der der Strom der Spannung hinterherhinkt – sie erzeugen induktive Blindleistung. Industrieunternehmen, die Motoren in grösserem Stil einsetzen, erzeugen denn auch erhebliche Mengen. Da Blindströme im Stromnetz unerwünscht sind, beschränken Netzbetreiber über die Tarifierung die Menge an Blindleistung, die ans Netz abgegeben werden darf. Die Camille Bloch SA müsste 4.1 Rappen/kvarh an das lokale Elektrizitätswerk, die «Forces Electriques de La Goule SA», abführen, würde sie mehr als 50% der bezogenen Wirkleistung als induktive Blindleistung ins Netz einspeisen. Um solche Kosten zu vermeiden, ist es üblich, dass Industriebetriebe induktive Blindleistung aus Motoren und anderen Elektrogeräten auf dem Werkgelände kompensieren.

Diese Kompensation gelingt über die Erzeugung kapazitiver Blindleistung, die das Gegenstück zu induktiver Blindleistung darstellt (Phasenverschiebung, bei der die Spannung dem Strom hinterherhinkt). Wird einer induktiven Blindleistung dieselbe Menge an kapazitiver Blindleistung entgegengestellt, wird die Blindleistung kompensiert. Diese Kompensation wird herkömmlicherweise durch Kondensatoren in einer Kondensatorbank erreicht. Dieselbe Aufgabe können nun aber auch moderne Solar-Wechselrichter (rechts im Bild) erfüllen.



Foto: B. Vogel

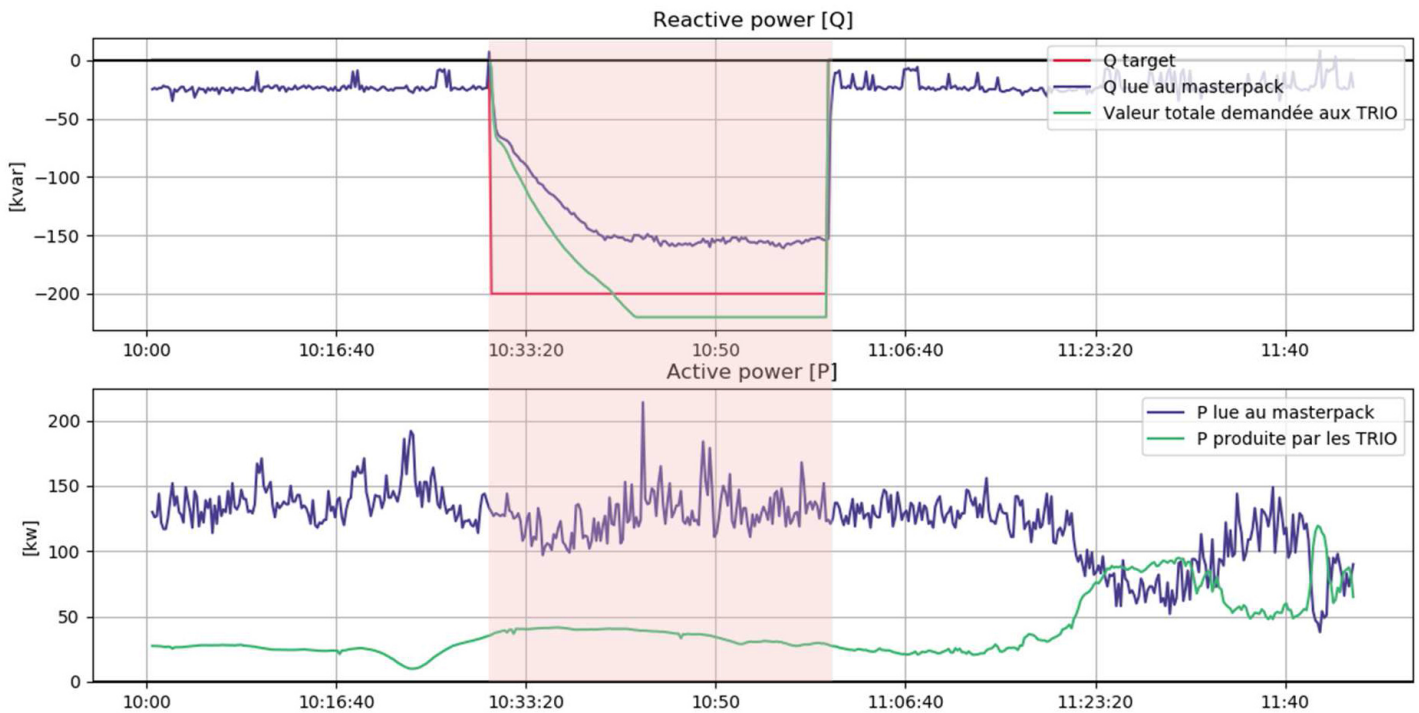
Diese Wechselrichter können entweder nur Wirkleistung oder nur Blindleistung bereitstellen – oder aber eine Mischung von beidem. Der gewünschte Betriebsmodus wird durch einen Regler gesteuert, der für das Pilotprojekt in Courtelary eigens von ABB Schweiz entwickelt wurde. Dieser sorgt dafür, dass zu jedem Zeitpunkt genau die Menge an kapazitiver Blindleistung erzeugt wird, die nötig ist, um die aktuell vorhandene induktive Blindleistung auszugleichen. Die Kompensation von Blindleistung schmälert allerdings die Wirkleistung: Werden die zehn Wechselrichter der Schokoladenfabrik maximal zur Kompensation von Blindleistung herangezogen, sinkt ihre Wirkleistung von 261 auf 158 kW.

Der Arbeitspunkt der Wechselrichter kann zu jeder Zeit frei gewählt werden. Daher können Wechselrichter Blindleistung bereitstellen unabhängig davon, ob die PV-Anlage Solarstrom erzeugt oder nicht. Somit können sie auch in den Nachtstunden zur Blindleistungs-Kompensation herangezogen werden. BV

chenden Daten werden werkseitig am Transformator erfasst, der das Niederspannungsnetz der Schokoladenfabrik an das Mittelspannungsnetz anschliesst, und von dort zum Regler übermittelt.

Planair-Projektleiter Florent Jacqmin zieht eine positive Bilanz des Pilotprojekts: «Die Tests haben gezeigt, dass die Kompensation von Blindleistung durch Wechselrichter zuverlässig funktioniert. Die Technologie ist reif für die Anwendung in Industriebetrieben, die Blindleistungskompensation brauchen und gleichzeitig über eine PV-Anlage verfügen.» Die Re-

aktionszeit zur Bereitstellung der Kompensationsleistung beträgt rund 20 Sekunden; das ist vergleichbar mit der Reaktionszeit einer Kondensatorbank und deutlich kürzer als die fünf Minuten, die in der praktischen Anwendung angestrebt werden. Bei den Tests hatte die Blindleistungskompensation nur geringen Einfluss auf den Solarenergieertrag. Die Autoren machen aber deutlich, dass PV-Wechselrichter, die zur Blindleistungskompensation eingesetzt werden, um rund 10% gegenüber einer Standardinstallation überdimensioniert werden sollten, damit die Stromproduktion der Solaranlage nicht eingeschränkt wird.



Die Grafik stellt einen Zeitraum von knapp zwei Stunden dar. Für eine halbe Stunde (10:30 bis 11:00 Uhr) sollen die Wechselrichter zur Produktion von Blindleistung eingesetzt werden: Die Wechselrichter reagieren schnell, um dem Sollwert zu entsprechen, aber man sieht, dass die blaue Kurve (tatsächliche Messung) nicht ganz der roten Kurve (Zielwert) zu folgen mag. Die Blindleistung stabilisiert sich bei 150 kvar statt bei 200 kvar. In der unteren Grafik ist zu erkennen, dass die von den Wechselrichtern produzierte Wirkleistung von der Blindleistungserzeugung nicht beeinflusst wird (die grüne Kurve sinkt während des Testzeitraums nicht massgeblich ab). Grund dafür ist, dass die Besonnung zu dem Zeitpunkt relativ schwach ist. Bei voller Solarproduktion wäre die Wirkleistung deutlich zurückgegangen. Grafik: BFE-Schlussbericht

Finanzieller Vorteil, praktische Hürden

Blindleistungs-Kompensation mittels PV-Wechselrichtern ist grundsätzlich finanziell interessant, wie eine im Rahmen des Pilotprojekts erstellte Modellrechnung zeigt. Berücksichtigt man die Investitionskosten und die Betriebskosten über 15 Jahre, resultiert bei Verwendung der PV-Wechselrichter gegenüber der Kondensatorbank ein Kostenvorteil von 8500 Fr. pro 100 kvar Blindleistung (in der Modellrechnung ist die oben erwähnte Überdimensionierung der Wechselrichter um 10% mitberücksichtigt). Bei einem grossen Industriebetrieb resultiert somit schnell ein Kostenvorteil im fünf- oder sogar sechsstelligen Franken-Bereich.

Das Pilotprojekt in Courtelary zeigt allerdings auch die praktischen Hürden bei der Umsetzung des neuen Ansatzes. Denn erstens braucht ein Industriebetrieb eine PV-Anlage, die hinreichend gross ist, dass die Wechselrichter die gewünschte Menge Blindleistung kompensieren können. Und zweitens resultiert der finanzielle Vorteil nur dann, wenn bisher keine Kondensatorbank vorhanden ist oder die bestehende alters-

halber ersetzt werden muss. «In der Praxis dürften Wechselrichter hauptsächlich bei Werkserweiterungen zur Anwendung kommen. Hier kann der zusätzliche Kompensationsbedarf mit Wechselrichtern abgedeckt werden», sagt Florent Jacqmin und betont: «Wir sehen in der Schweiz ein grosses Potenzial.» Um dieses Potenzial abzurufen, wäre es laut Jacqmin wünschbar, wenn die Wechselrichter mit integriertem Regler auf dem Markt verfügbar wären.

Über- und Unterspannungen ausgleichen

Die Autoren der Pilotstudie verweisen in ihrem Abschlussbericht auf ein weiteres, bislang weitgehend ungenutztes Potenzial von Solar-Wechselrichtern hin: Sie könnten einen Beitrag zur Spannungshaltung im Netz liefern. Anders formuliert: Netzbetreiber könnten die Wechselrichter grösserer Solaranlagen nutzen, um vorübergehende Über- und Unterspannungen im Mittelspannungsnetz auszugleichen. Zwar wurde dieser Aspekt in der Pilotstudie nicht vertieft untersucht, die Autoren deuten aber an, dass Industriebetriebe zusätzliche Einnahmen generieren könnten, indem sie ihre

Wechselrichter dem Netzbetreiber gegen Entgelt zur Spannungshaltung zur Verfügung stellen.

- Der Schlussbericht zum Projekt «Compensation d'énergie réactive de l'usine Camille Bloch avec des onduleurs PV» ist abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40227>
- Auskünfte zu dem Projekt erteilt Dr. Michael Moser ([michael.moser\[at\]bfe.admin.ch](mailto:michael.moser[at]bfe.admin.ch)), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Netze.
- Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Netze finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-strom.

P+D-PROJEKTE DES BFE

Das Pilotprojekt zur Blindleistungs-Kompensation in der Schokoladenfabrik Camille Bloch in Courtelary (BE) 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