



Trinkwassererwärmung mit Solarwärme direkt oder via Solarstrom und Wärmepumpe? Links das «Solarthermie-System» (gemäss Beschrieb in Kasten «Drei Basissysteme, 13 Varianten»): Flachkollektor, Warmwasserspeicher 450 Liter. Rechts das «Wärmepumpen-System 1»: PV-Modul und Wärmepumpen-Boiler 300 Liter. (Bild: Solarwärmetagung 12.11.2014, Referat Marc Muller, BFE)

Projektbericht zum Technologievergleich solare Warmwassererwärmung, BFE-Studie «SolVar-BWW»

## Zwei Wege zum solaren Warmwasser

Ein Eigenheimbesitzer will sein Trinkwarmwasser solar erwärmen – beispielsweise, um seinen Elektroboiler zu ersetzen oder als Ergänzung einer Holzheizung. Er hat die Wahl zwischen Sonnenkollektoren und einer Kombination aus netzgekoppelter Photovoltaik und Wärmepumpe. Welches System ist vorteilhafter? Ein Technologievergleich, den das Ökozentrum in Langenbruck zusammen mit drei wissenschaftlichen Partnerinstitutionen erstellt hat, liefert die Antwort: Das Wärmepumpen-System ist den Sonnenkollektoren energetisch wie ökonomisch ebenbürtig, unter Berücksichtigung der aktuellen Förderungen sogar vorteilhafter. In jedem konkreten Anwendungsfall müssen Vor- und Nachteile abgewogen werden.

Benedikt Vogel, im Auftrag des BFE

■ Wer heute als Hauseigentümer erneuerbare Energien direkt nutzen will, setzt in aller Regel auf die Sonne. Die Nutzung von Solarenergie für die Bereitstellung von Warmwasser ist ein praktikabler und relativ kostengünstiger Weg, um einen Teil der Energieversorgung auf erneuerbare Quellen umzustellen. Das gilt für Neubauten ebenso wie für Modernisierungen. Wer sein Warmwasser mit der Sonne erwärmen will, installiert meist Sonnenkollektoren auf seinem Dach. Doch heute lässt sich mit Photovoltaikanlagen (PV) relativ günstig Solarstrom produzieren. Dieser kann in einer Wärmepumpe zur Erwärmung von Warmwasser genutzt werden. Auf dem Markt wird eine breite Palette von Wärmepumpen-Boilern (zur Erzeugung von Warmwasser) und Wärmepumpen-Kompaktgeräten (zur Erzeugung von Warmwasser und Heizwärme) angeboten. Eine PV-Anlage wird bei diesen Geräten nicht direkt, sondern über das Stromnetz ins System eingebunden.

### Fast gleichwertige Systeme

Welche der beiden Technologien kommt beim Einsatz in Einfamilienhäusern mit einem geringeren Einsatz von (nicht erneuerbaren) Primärenergien aus und ist in diesem Sinn energetisch sinnvoller? Und: Welche Technologie hat bei den Kosten die Nase vorn? Um diese Fragen zu klären, hat das Bundesamt für Energie das Ökozentrum in Langenbruck mit der Erarbeitung einer Studie beauftragt. Michael Sattler vom Ökozentrum bringt das Hauptergebnis der Studie mit folgenden Worten auf den Punkt: «Energetisch und wirtschaftlich spielt es mit einer volkswirtschaftlichen Perspektive keine Rolle, ob das Warmwasser mit einer Kombination aus netzgekoppelter Photovoltaik und Wärmepumpe oder mit Solarthermie erwärmt wird.» Diese Aussage des Diplom-Biologen und Diplom-Umweltingenieurs klingt salomonisch. Trotzdem ist sie von erheblicher Bedeutung. Denn bisher gilt die über Jahrzehnte aufgebaute Solarthermie bei



Michael Sattler vom Ökozentrum Langenbruck (hier bei der Kontrolle der Generatorkennlinien der institutseigenen Photovoltaik-Anlagen) ist Autor der Studie zum Technologievergleich rund um die solare Warmwassererwärmung. (Foto: Ökozentrum)



Regelmässig werden Gebäude mit bestehender Solarthermie-Anlage zusätzlich mit Photovoltaik ausgerüstet. Bei der heutigen Fördersituation fällt der Entscheid, welche Technologie für die Sonnenenergienutzung verwendet werden soll, oft zugunsten der Photovoltaik aus. (Fotos: Ökozentrum)

vielen Anhängern der Sonnenenergie als energetisch klar im Vorteil. Diesen Vorteil konnte die Studie nicht bestätigen. Ihre Hauptaussage lautet vielmehr: Wärmepumpen, welche sich PV-Strom anrechnen können, und Solarthermie-Systeme sind sich heute grundsätzlich praktisch ebenbürtig.

Ebenbürtig – das heisst auch, dass die massiven Vorteile, von denen Promotoren der Wärmepumpen-Systeme gelegentlich reden, von der Studie nicht bestätigt werden. Ökonomisch gesehen ergibt sich für die Wärmepumpen-Systeme allerdings ein «klarer Vorteil», wie Michael Sattler ausführt. Grund ist, dass die Photovoltaik heute stärker gefördert wird als die Solarwärme. Mit diesem Ergebnis sind auch die drei wissenschaftlichen Projektpartner einverstanden, die eine breite Expertise aus beiden Technologien repräsentieren: das Institut für Energiesysteme der NTB (Interstaatliche Hochschule für Technik) in Buchs SG, das SPF Institut für Solartechnik an der Hochschule für Technik Rapperswil und das Beratungsunternehmen Infrass (Zürich).

#### Realitätsnahe Annahmen

Nun sind die in der Praxis eingesetzten solaren Warmwassersysteme sehr vielfältig. Entsprechend anspruchsvoll war es für die Verantwortlichen des Projekts «SolVar-BWW», einen fairen Vergleich der beiden Technologien zu erstellen. Die Projektpartner haben zunächst die energetischen und ökonomischen Rand-

bedingungen definiert und die beiden Systeme dann mit umfangreichen Simulationsrechnungen verglichen. «Der Technologievergleich in diesem Projekt basiert auf Systemen für die solare Warmwassererwärmung, wie sie heute

in der Schweiz in Einfamilienhäusern zum Einsatz kommen», beschreibt die Studie den methodischen Ansatz, «bei der Definition der zu vergleichenden Systeme wurden die technischen Parameter so gewählt, dass sie den am häu-

#### Drei Basissysteme, 13 Varianten

Die Untersuchung des Ökozentrums Langenbruck legt dem Vergleich von Solarthermie-System und PV-gespeister Wärmepumpe drei Basissysteme zugrunde:

**Solarthermie-System:** Das Warmwasser wird über einen Flachkollektor mit 5 m<sup>2</sup> Fläche erhitzt. Bei unzureichender Sonneneinstrahlung kann eine Gasheizung zugeschaltet werden. Der Warmwasserspeicher hat ein Volumen von 450 Litern.

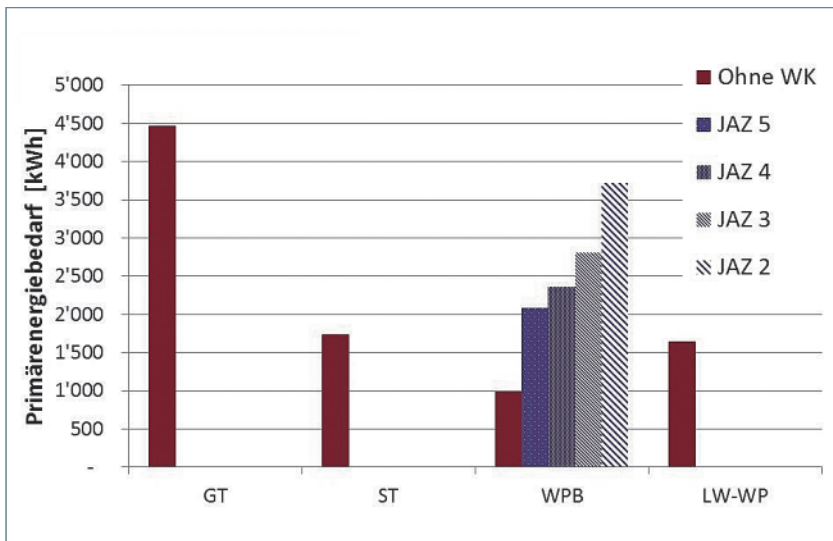
**Wärmepumpen-System 1:** Wärmepumpen-Boiler, der über eine PV-Modulfläche von 5 m<sup>2</sup> (0.75 kWp) mit Solarstrom versorgt wird. Bei unzureichender Sonneneinstrahlung wird der Wärmepumpenboiler mit Strom aus dem Netz betrieben. Der Warmwasserspeicher fasst 300 Liter. Die Wärmepumpe steht in einem Innenraum und nutzt als Wärmequelle die Luft des Aufstellungsraums (Luft-Wasser-Wärmepumpe).

**Wärmepumpen-System 2:** Wärmepumpen-Kompaktgerät, das über eine PV-Modulfläche von 5 m<sup>2</sup> (0.75 kWp) mit Solarstrom versorgt wird. Bei unzureichender Sonneneinstrahlung wird das Kompaktgerät mit Strom aus dem Netz betrieben. Der Warmwasserspeicher fasst 300 Liter. Die Wärmepumpe steht in einem Innenraum und nutzt als Wärmequelle die Luft des Aufstellungsraums (Luft-Wasser-Wärmepumpe). Da das Kompaktgerät auf zwei Temperaturniveaus arbeitet und damit sowohl Warmwasser als auch Heizungswasser für die Raumheizung liefert, wird im oben genannten Technologievergleich zur Warmwassererwärmung die Heizwärme-Komponente herausgerechnet.

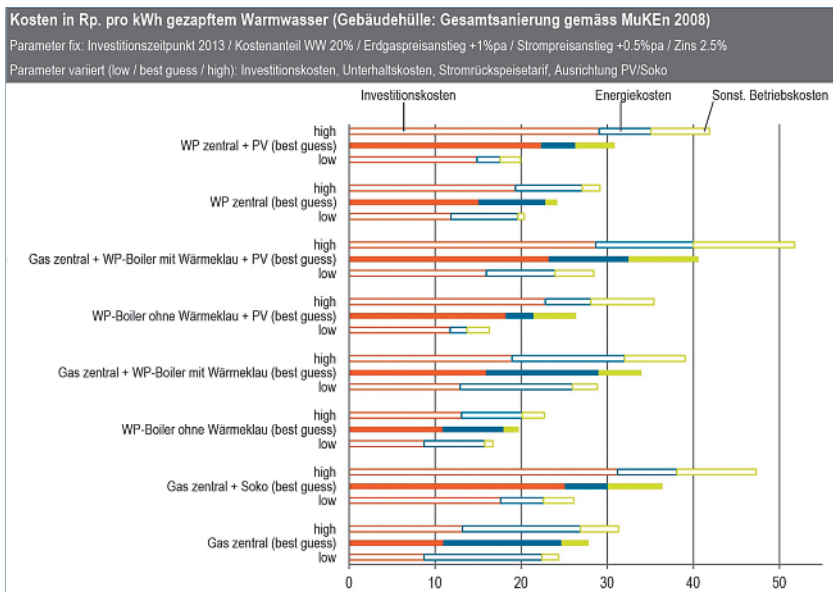
**Gasheizung:** Um die drei Systeme der solaren Warmwassererwärmung mit einer fossilen Warmwassererwärmung vergleichen zu können, wurde eine Gasheizung herangezogen.

Für den Technologievergleich wurden Varianten mit unterschiedlicher Ausrichtung der Kollektoren bzw. PV-Module untersucht. Bei den beiden Wärmepumpen-Systemen wurden zudem Varianten mit maximalem bzw. ohne Wärmeklausur untersucht. So flossen in den Vergleich insgesamt 13 Varianten ein.

Aus praktischer Sicht ist zu bemerken, dass die PV-Modulfläche von 5 m<sup>2</sup> realitätsfern (nämlich zu klein) ist. In der Praxis kommen – oft aufgrund der aktuellen Fördersituation – Flächen von 20 m<sup>2</sup> und mehr zum Einsatz. Die Modulflächen wurden in der Studie so klein angenommen, um die Vergleichbarkeit der Systeme zu gewährleisten. Als Folge dieser Annahmen rechnet die Studie mit einem relativ hohen Preis von Fr. 6000.– pro kWp, während grössere Anlagen auf Einfamilienhäusern heute zur Hälfte des Preises (Fr. 3000.–/kWp) zu bekommen sind. Dieser ökonomische Vorteil grösserer Anlagen dank sinkender Grenzkosten wird in der Studie nicht abgebildet.



Die Grafik zeigt den Primärenergiebedarf der vier verglichenen Systeme (Gasthermie/GT, Solarthermie/ST, Wärmepumpen-Boiler/WPB, Wärmepumpen-Kompaktgerät/LW-WP). Die vorliegende Simulation nimmt an, dass der Wärmepumpen-Boiler die für den Wärmeklaus (WK) benötigte Energie nicht von einer Gasheizung bezieht, sondern von einer Heizungswärmepumpe. Die für diese Heizungswärmepumpe unterstellte Jahresarbeitszahl (JAZ) hat grossen Einfluss auf den Primärenergiebedarf des Wärmepumpen-Boilers. (Grafik: Studie SolVar-BWW)



Die Grafik zeigt die Gesteuerungskosten von Warmwasser für den Fall eines nach MuKEN 2008 sanierten Einfamilienhauses, aufgegliedert in die Investitionskosten, die Energiekosten sowie die sonstigen Betriebskosten (Unterhalt, Grundgebühr Erdgas/Strom). Dargestellt sind acht verschiedene Heizsysteme unter Verwendung einer Heizungswärmepumpe (WP zentral), Photovoltaik (PV), Gaszentralheizung (Gas zentral), Wärmepumpen-Boiler (WP-Boiler) und Solarthermie/Sonnenkollektoren (Soko). (Grafik: Studie SolVar-BWW)

figsten installierten Systemen möglichst entsprechen.»

Die Studie fokussiert dabei auf das Warmwasser. Dort wo Warmwasser und Heizungswasser für die Raumheizung mit einer einzigen Anlage erwärmt werden, wie in Neubauten heute üblich, wird das Heizwasser herausgerechnet. Das Studiendesign vergleicht im Kern drei Anlagen zur Warmwassererwärmung in marktüblichen Grössen-

ordnungen (vgl. Kasten). Nach den Vorgaben der Studie darf für den Betrieb der Wärmepumpe während eines bestimmten Tages nur immer so viel PV-Strom angerechnet werden, wie in denselben 24 Stunden tatsächlich erzeugt wurden (Bilanzierungszeitraum = 24 Stunden). Das ist nötig, weil ein Bilanzierungszeitraum von z. B. einem Jahr die PV-Wärmepumpen-Systeme ungenügend rechtfertigen würde, da das

Stromnetz dann als unentgeltlicher Speicher betrachtet wird (was es ja in Wirklichkeit nicht ist). Auch in der vorliegenden Simulation verwendet das PV-Wärmepumpen-System das Stromnetz innerhalb des Bilanzierungszeitraums als Speicher, was bei der Solarthermie nicht der Fall ist. «Unsere Annahme eines Bilanzierungszeitraums von 24 Stunden ist dennoch sehr realitätsnah, denn in der Realität kann man die Betriebszeiten so steuern, dass die PV-Tagesproduktion zu einem grossen Teil genutzt werden kann», sagt Sattler.

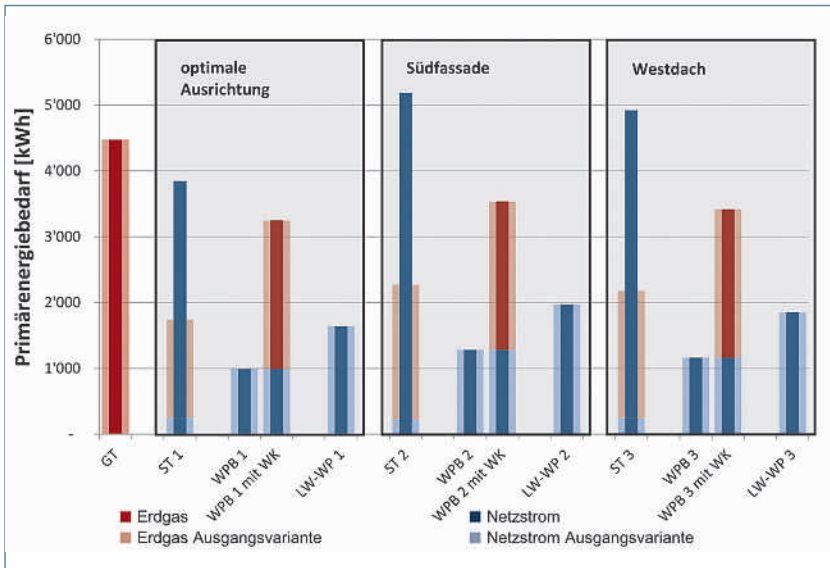
### Wärmeklaus und andere Stolpersteine

Die Studie ist interessant in ihrer Gesamtaussage, und sie wartet mit interessanten Detailerkennnissen zum Verhältnis der verschiedenen Warmwassersysteme auf. Eine davon betrifft die erwünschte Zieltemperatur: «Wenn im Speicher hohe Temperaturen gefordert sind (>60°C), liegt der Primärenergiebedarf der Systeme mit Photovoltaik und Wärmepumpe höher als beim System mit Solarthermie», hält die Untersuchung fest.

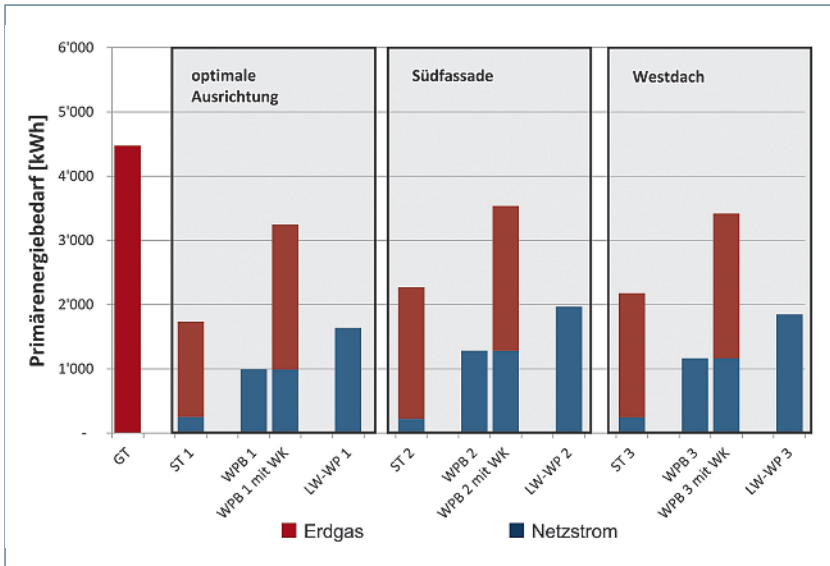
Eine erhebliche Bedeutung im Technologievergleich bekommt der sogenannte Wärmeklaus: Wärmepumpen-Boiler verwenden die Wärme aus der Raumluft des Aufstellungsraums. Für ihre energetische Effizienz ist es bedeutsam, woher diese Wärme ursprünglich stammt. Ist der Wärmeklaus (z. B. bei einer benachbarten Ölheizung) sehr gross, kann dies den energetischen Vorteil gegenüber einer Situation ganz ohne Wärmeklaus ins Gegenteil verkehren, wie die Untersuchung feststellt: «Der Wärmepumpen-Boiler benötigt ohne Wärmeklaus deutlich weniger und mit maximalem Wärmeklaus deutlich mehr Primärenergie als die Systeme mit Solarthermie/Erdgas oder PV/Luft-Wasser-Wärmepumpe.»

Wichtig ist daher, dass der Aufstellungsraum der Wärmepumpe gut gegen geheizte Räume, jedoch nicht oder kaum gegen Erdreich oder Aussenluft isoliert ist. Damit wird sichergestellt, dass die Wärme von ausserhalb der beheizten Gebäudehülle nachfliesst und nicht von den Verlusten der Gebäudeheizung oder von einem beheizten Raum gespeist wird. «Dem Aufstellungsort muss viel Beachtung geschenkt werden», betont Michael Sattler.

Energetisch sehr ungünstige Auswirkungen hat auch der Einsatz eines Elektroheizstabs, der bisweilen verwendet wird, um ein Solarthermie-System im Winter nachzuheizen, der aber auch in Wärmepumpen-Systemen manchmal anzutreffen



Die Grafik zeigt für drei verschiedene Kollektorausrichtungen (optimal, Südfassade, Westdach) den Primärenergiebedarf der drei verglichenen Anlagentypen: Solarthermie-Anlage (ST), Wärmepumpen-Boiler (WPB) und Wärmepumpen-Kompaktgerät (LW-WP). Für diese Simulation wird bei der Solarthermie-Anlage ein Elektro-Heizstab zur Nachheizung eingesetzt, was den Primärenergieverbrauch dieses Systems markant erhöht. Beim Wärmepumpen-Boiler zeigt die linke Säule jeweils den Primärenergieverbrauch unter der Annahme eines gänzlich fehlenden Wärmeklaues, die rechte Säule den Primärenergieverbrauch bei maximalem Wärmeklaue. Zum Vergleich die Säule ganz links: Primärenergieverbrauch einer Gastherme (GT). Im Hintergrund ist transparent jeweils zum Vergleich die Variante ohne Elektro-Heizstab (dafür mit Erdgas) für die Nachheizung abgebildet. (Grafik: Studie SolVar-BWW)



Die Grafik zeigt für drei verschiedene Kollektorausrichtungen (optimal, Südfassade, Westdach) den Primärenergiebedarf der drei verglichenen Anlagentypen: Solarthermie-Anlage (ST), Wärmepumpen-Boiler (WPB) und Wärmepumpen-Kompaktgerät (LW-WP). Beim Wärmepumpen-Boiler zeigt die linke Säule jeweils den Primärenergieverbrauch unter der Annahme eines gänzlich fehlenden Wärmeklaues, die rechte Säule den Primärenergieverbrauch bei maximalem Wärmeklaue (WK). Zum Vergleich die Säule ganz links: Primärenergieverbrauch einer Gastherme (GT). (Grafik: Studie SolVar-BWW)

fen ist. «Wird im System mit Solarthermie der Speicher in den Wintermonaten mit einem Elektro-Heizstab nachgeheizt, erhöht sich der Primärenergiebedarf auf Werte, die über allen PV-Wärmepumpen-Systemen liegen», so die Untersuchung unter der Federführung des Ökozententrums Langenbruck.

### PV-Systeme im Kostenvorteil

Um die Kosten der verschiedenen Technologie-Systeme vergleichen zu können, wurde den Berechnungen jeweils ein realitätsnaher Standardwert der einschlägigen Kostenparameter zugrunde gelegt und dann auch untersucht, wie sich die Kosten verändern, wenn die Parameter

alternativ mit einem Tiefst- oder einem Höchstwert angesetzt werden. «Die ökonomischen Betrachtungen erfolgten mit einer volkswirtschaftlichen Perspektive und somit ohne Einbezug von Förderungen», hält die Studie fest. Es konnte gezeigt werden, dass die Variante Photovoltaik mit Wärmepumpe gegenüber der Variante mit Solarthermie leichte Kostenvorteile aufweist. Beim System mit Wärmepumpen-Boiler wird die Kostenbilanz stark durch den Anteil Wärmeklaue ab Heizsystem bestimmt. «Bezieht man die aktuelle Förderung mit ein, dann entsteht für die Kombination aus netzgekoppelter Photovoltaik und Wärmepumpe ein deutlicher Kostenvorteil», wie Michael Sattler festhält.

Wenn die Studie Warmwassersysteme auf Basis von PV-Stromproduktion und Wärmepumpe sowohl in der Energiebilanz als auch bei den Kosten als ebenbürtig mit der Solarthermie bezeichnet, entspricht das einem Paradigmenwechsel. «Die Photovoltaik verdrängt die Solarthermie-Systeme zunehmend», sagt Michael Sattler, «das ist bitter für die Pioniere der Solarthermie, die der Nutzung der Sonnenenergie überhaupt erst zum Durchbruch verholfen haben.» Zugleich gibt dieser Trend auch Anstoss zu der Fortentwicklung der Solartechnologien, darunter die Entwicklung von solaren Warmwassersystemen, in welchen der PV-Strom nicht wie in der vorliegenden Studie ins Netz eingespiesen und über eine Tagesbilanz der Wärmepumpe wieder gutgeschrieben wird, sondern direkt in einer modulierenden, lastmanagement-tauglichen Warmwasser-Wärmepumpe vor Ort verwendet wird. Solche Systeme sind vor allem aus ökonomischer Sicht für einen Besitzer eines Einfamilienhauses interessant, auch wenn sie wie in der Studie erwähnt, aus volkswirtschaftlicher Perspektive kaum Vorteile haben.

Den Schlussbericht zum Projekt findet man unter: [www.bfe.admin.ch/forschung/SolVar-BWW](http://www.bfe.admin.ch/forschung/SolVar-BWW)

Weitere Auskünfte zu dem Projekt erteilt Rolf Moser ([moser@enerconom.ch](mailto:moser@enerconom.ch)), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Energie in Gebäuden.