

SOLAR-EIS-HEIZUNGEN EROBERN DIE SCHWEIZ

Werden Solarkollektoren mit einem Eisspeicher und einer Wärmepumpe kombiniert, entsteht eine Solar-Eis-Heizung. Um dieses Heizkonzept energetisch effizienter und kostengünstiger zu machen, wurde an der Hochschule für Technik Rapperswil ein neuartiger Eisspeicher entwickelt und in den letzten zwei Jahren in einem Wohn- und Geschäftshaus in Jona (SG) einem Praxistest unterzogen. Die Ergebnisse des Monitorings bestätigen die grundsätzliche Funktionstüchtigkeit des Konzepts, auch wenn die Erwartungen an die Effizienz der Wärmegewinnung nicht ganz erfüllt wurden. Die Begleitstudie im Auftrag des Bundesamts für Energie zeigt Optimierungsmöglichkeiten für das Heizsystem auf, das unterdessen landesweit in mehreren Gebäuden zum Einsatz kommt.



Der Eisspeicher befindet sich im Untergeschoss des Wohn- und Geschäftshauses neben der Tiefgarage. Links zwischen Gebäude und Baum ist die quadratische Einstiegs Luke zu sehen, die einen Zugang für Revisionsarbeiten verschafft. Die Wärme bezieht die Liegenschaft aus dem auf dem Dach installierten Kollektorfeld. Foto: EWJR

Im Frühjahr 2014 wurde in der Stadt Genf die Sanierung von zwei achtgeschossigen Blocks mit insgesamt 273 Wohnungen nach dem Minergie P-Standard abgeschlossen. Die Häuser wurden mit unverglasten Solarkollektoren (1680 m²) ausgerüstet, deren solare Gewinne entweder direkt für Heizwärme und Warmwasser genutzt oder mit Wärmepumpen auf die benötigte Temperatur gebracht werden. Die eigentliche Innovation des vom BFE unterstützten Projekts waren zwei Eisspeicher: In den Wassertanks mit je 30 m³ Füllvolumen wird die Wärme aus den Kollektoren zwischengespeichert, bis sie von den Wärmepumpen bezogen wird. Die gespeicherte Wärmemenge reicht aus, um den Energiebedarf der beiden Wohnblocks während eines Tages zu decken.

Eisspeicher neu konzipiert

«Das Sanierungsprojekt «La Cigale» in Genf war nur der Auftakt bei der Nutzung der Eisspeicher. Unterdessen haben die dort eingesetzten Speicher in der Schweiz viele Brüder bekommen», freut sich Wolfgang Thiele, Geschäftsführer und Mehrheitsaktionär der Firma Energie Solaire SA (Siders), welche damals die unverglasten Solarkollektoren und weitere Systemkomponenten für das Genfer Projekt geliefert hat. Energie Solaire stellt unterdessen selber Eisspeicher her und vertreibt komplette Solar-Eis-Heizsysteme. 22 Anlagen mit bis zu 500 kW Heizleistung für Ein- und Mehrfamilienhäuser hat die Walliser Firma in den letzten fünf Jahren schweizweit ausgeliefert, eine weitere in Deutschland. In Genf soll demnächst in einem Quartier mit 44 Mehrfamilienhäusern und 13 Doppel-Einfamilienhäusern eine Solar-Eis-Heizung mit 1400 kW Leistung realisiert werden.

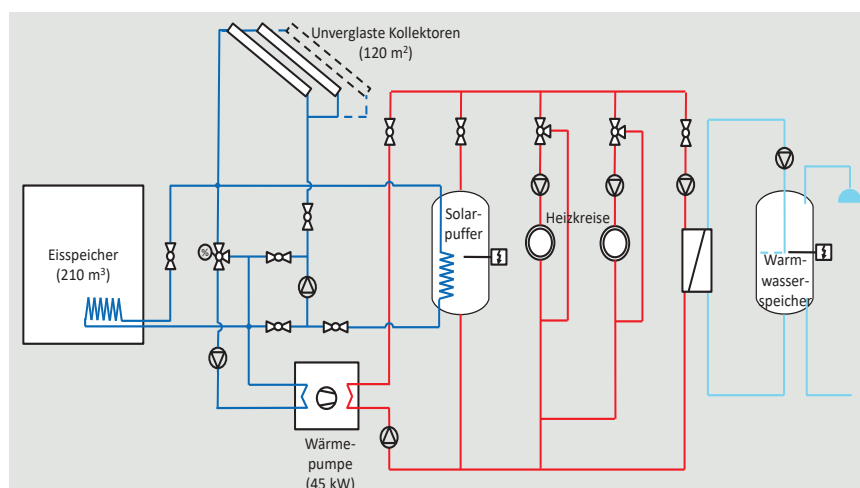
Eisspeicher sind nichts anderes als mit Wasser gefüllte Betonwannen oder Metalltanks. Im Innern befinden sich Wär-

metauscher, die von einem Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel (Sole) durchströmt werden, das dem Wasser Wärme entzieht. Diese Energie wird anschliessend von einer Wärmepumpe genutzt, um Heizwärme und Warmwasser bereitzustellen. Eisspeicher arbeiten im Winterhalbjahr im Bereich von 0 °C: Beim «Laden» nimmt der Eisspeicher Wärme auf, wodurch das Eis im Speicher geschmolzen wird. Beim «Entladen» erfolgt der gegenläufige Prozess: Das Wasser im Eisspeicher gefriert unter Abgabe von Kristallisationswärme, jener Form von Wärme also, die beim Phasenwechsel von nullgrädigem Wasser zu nullgrädigem Eis an die Umgebung (in diesem Fall an die Sole) abgegeben wird.

Bei herkömmlichen Konstruktionsarten füllen die Wärmetauscher den ganzen Eisspeicher aus, und beim Wärmeentzug wächst auf ihnen eine dicke Eisschicht. Im Jahr 2011 haben Wissenschaftler des Instituts für Solartechnik (SPF) der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) einen neuartigen Eisspeicher einschliesslich Steuerung konzipiert, dessen Wärmetauscher während des Betriebs periodisch enteist wird. Auf diesem Weg können die Übertragungsleistung der Wärmetauscher auf hohem Niveau gehalten werden, die Effizienz der Solar-Eis-Heizung erhöht und die Herstellungskosten verringert werden (vgl. Textbox S. 3).

Eisspeicher arbeitet «problemlos»

In Rapperswil-Jona wurde 2012 in einem Kindergarten ein Prototyp der neuartigen Heizanlage in Betrieb genommen. Ein weiter verfeinertes System versorgt seit 2017 eine vierstöckige Liegenschaft mit sieben Wohnungen und einem Gewerbebetrieb (insgesamt 2050 m² Energiebezugsfläche) mit Heizwärme und Warmwasser. Das Heizsystem besteht aus 120 m² unverglasten Solarkollektoren, einer zweistufigen



Hydraulikschema der Solarthermie-Eisspeicher-Heizung (kurz: Solar-Eis-Heizung) in Rapperswil-Jona: Die Solarwärme-Kollektoren liefern zum einen Wärme mit hoher Temperatur an den Solarpufferspeicher, die sich direkt für Heizung und Warmwasser nutzen lässt. Darüber hinaus stellen die Kollektoren die Wärme für die Wärmepumpe bereit – entweder direkt oder aber via Eisspeicher. Der Stromverbrauch der Heizkreispumpen, die die Heizwärme im Haus verteilen, werden bei der Berechnung der Systemarbeitszahl JAZ+ mit berücksichtigt. Grafik: BFE-Schlussbericht

Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 45 kW thermischer Leistung und einem Eisspeicher von 210 m³ Volumen. SPF-Forscher haben die Solar-Eis-Heizung im Zweijahreszeitraum September 2017 bis August 2019 im Rahmen eines BFE-Demonstrationsprojekts evaluiert. Seit kurzem liegt der Schlussbericht mit den Ergebnissen vor.

Gemäss den Auswertungen arbeitet die Enteisung der Wärmetauscher – und damit die eigentliche Innovation der vorliegenden Heizanlage – einwandfrei. «Das System hat in beiden Wintern problemlos funktioniert und ist heute reif für den Markt», sagt SPF-Forscher und Projektleiter Daniel Philippen. Es gibt aber eine Einschränkung: Der Eisspeicher schöpfte in beiden Messjahren sein Potenzial nicht aus, sondern erreichte nur 60% des maximal möglichen Vereisungsgrades. Dies unter anderem deshalb, weil der Wärmebedarf des Gebäudes

geringer ist als angenommen und auch die Witterung und die Verteilung des Heizwärmebedarfs über die Wintermonate zu einem geringeren Wärmeentzug aus dem Eisspeicher geführt haben. Aus diesem Grund konnten die Wissenschaftler nicht überprüfen, ob das Ablösen des Eises von den Wärmetauschern auch bei maximaler Vereisung des Eisspeichers einwandfrei funktioniert.

Verbesserungspotenzial bei der JAZ

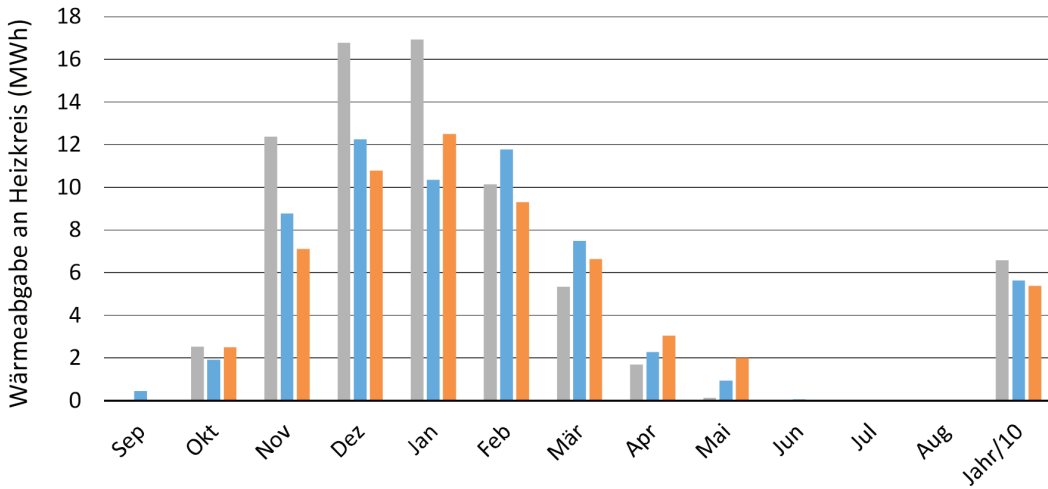
Da eine Solar-Eis-Heizung die Solarerträge auch auf hoher Temperatur direkt für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser nutzt, wird für das gesamte Heizsystem eine hohe energetische Effizienz des in der Wärmepumpe eingesetzten Stroms erwartet. Im vorliegenden Fall wurde der Planwert für die Systemjahreszahl (JAZ+), welche auch den Stromverbrauch für die Pumpen der Wärmeverteilung ein-

EISSPEICHER MIT ENTEISUNGSFUNKTION

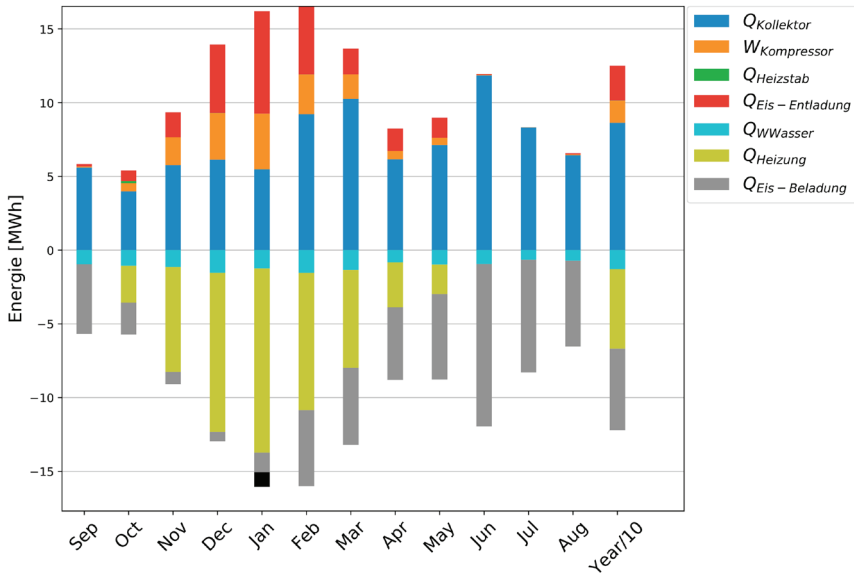
Auch wenn ein Eisspeicher im Grunde nichts anderes ist als ein mit Wasser gefüllter Behälter, hält die technische Umsetzung etliche Herausforderungen bereit. Von zentraler Bedeutung ist die Art und Weise, wie die Wärmetauscher, die dem Wasser Wärme entziehen, innerhalb des Eisspeichers angeordnet werden. Bei üblichen Eisspeicher-Modellen nehmen die Wärmetauscher innerhalb des Speichers viel Raum ein. Anders bei der Neuentwicklung durch SPF-Forscher, die nun in Rapperswil-Jona realisiert wurde: Hier sind die 62 cm hohen Wärmetauscher auf kompaktem Raum am Boden des Speichers installiert (siehe Foto). Auf den Wärmeübertragern entsteht bei Wärmeentzug unter Gefrierpunkt Eis, das periodisch abgelöst wird, indem warme Sole (aus den Kollektoren oder aus dem Pufferspeicher) durch die Wärmeübertrager gepumpt wird, während die Wärmepumpe ausgeschaltet ist. Die Eisplatten lösen sich von den Wärmetauschern und steigen auf zur Wasseroberfläche. Dort befüllen sie den Eisspeicher schrittweise von oben her.



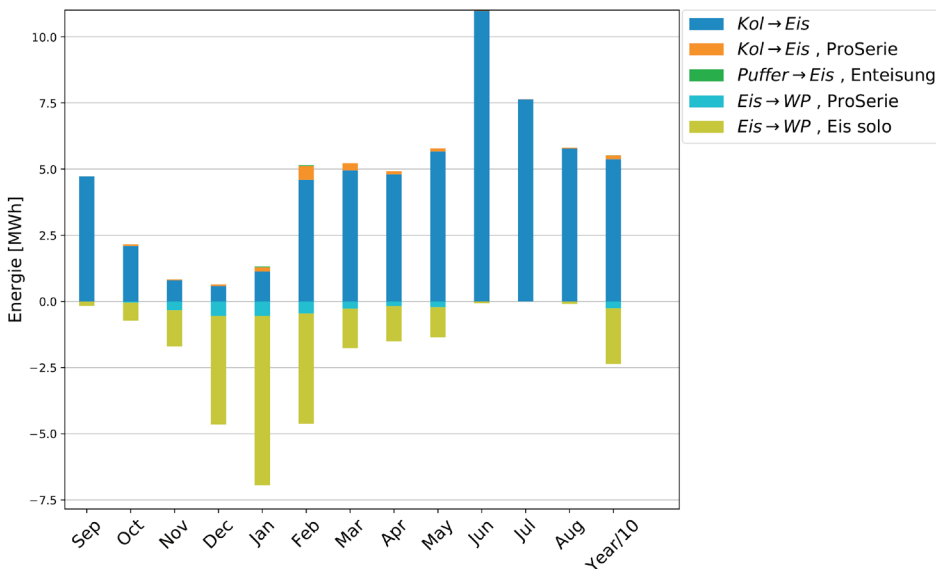
Zum Nutzen dieser Konstruktionsweise des Eisspeichers schreiben die Wissenschaftler im Schlussbericht: «Durch das Enteisen bleibt die Entzugsleistung der Wärmeübertrager hoch und die benötigte Wärmeübertragerfläche kann gegenüber herkömmlichen Eisspeicher-Wärmeübertragern, auf denen dicke Eisschichten anwachsen, stark reduziert werden. Zudem muss wegen dem Auftreiben der Eisplatten nicht das gesamte Volumen des Eisspeichers mit dem Eisspeicherwärmetauscher erschlossen werden, um dem Speicherwasser seine Latentwärme entziehen zu können. Als Folge wird der Material- und Installationsaufwand für die Wärmeübertrager reduziert. Durch die Reduktion der maximalen Eisdicke auf wenige Zentimeter können auch während der Eisbildung hohe Quelltemperaturen nahe 0 °C für die Wärmepumpe bereitgestellt werden. Das wirkt sich positiv auf den COP (coefficient of performance; i.e. die momentane Effizienz der Wärmepumpe) der Wärmepumpe aus.» BV



Die Wärmeabgabe an die Heizung lag in den Heizperioden 2017/18 und 2018/19 deutlich unter dem Auslegungswerten. Grafik: BFE-Schlussbericht



Monatliche Wärmebilanz der Solar-Eis-Heizung für das zweite Messjahr (September 2018 bis August 2019): Die roten Balken zeigen den Wärmeertrag aus dem Eisspeicher. Grafik: BFE-Schlussbericht



Die Wärmeentnahme aus dem Eisspeicher erfolgte im zweiten Messjahr (Abbildung) schwergewichtig in den Monaten Dezember bis Februar. Bereits ab Februar wird der Eisspeicher aus den Kollektoren wieder mit massgeblichen Wärmeeinträgen beladen. Da die Betonwanne des Eisspeichers nur gebäudeseitig wärmegeklämt ist, entstehen hohe Wärmeverluste ans umgebende Erdreich. Die Wissenschaftler haben sie mit 57% berechnet. Ein Teil dieser Verluste (nicht messbar) kommt im Winter allerdings wieder dem Speicher zugute, wenn er kälter als das Erdreich wird. Grafik: BFE-Schlussbericht

bezieht, mit 4.3 berechnet. Im zweijährigen Monitoring ermittelten die Wissenschaftler nun eine JAZ+ von 3.5; diese liegt somit markant unter dem Auslegungswert. Die Forscher sehen dafür zwei wichtige Gründe: Zum einen musste die ursprüngliche Heizkurve erhöht werden, um Probleme bei der Heizwärmeverteilung auszugleichen. Zum anderen arbeitet die Wärmepumpe weniger effizient als vom Hersteller versprochen.

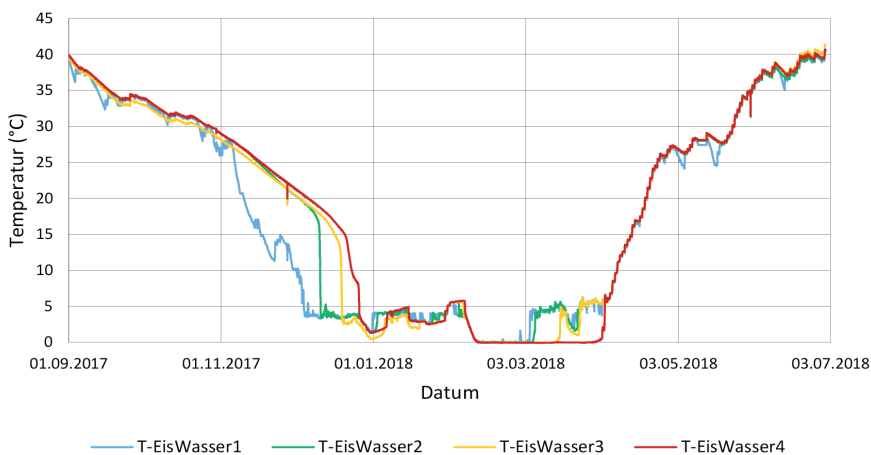
Die Forscher sehen ein Optimierungspotenzial im weiteren Betrieb, wie sie im Schlussbericht festhalten: «Die Simulationen zeigen, dass mit einer Anhebung der durchschnittlichen Quelltemperatur der Wärmepumpe (Reduktion der Kollektornutzung unterhalb 0 °C), mit einer geringeren Beladung des Eisspeichers im Sommer (verringerte Laufzeit der Solarkreispumpe) und einer Absenkung der Heizkurve um 3 Kelvin gesamthaft eine Anhebung der JAZ+ auf 4.0 möglich ist.» Die Absenkung der Heizkurve wird in Zukunft möglich sein, weil die Probleme bei der Heizwärmeverteilung unterdessen behoben werden konnten.

Eine weitere Erkenntnis der Studie betrifft den Warmwasserkreislauf: In der Liegenschaft wurde zur Temperaturhaltung in den Warmwasserrohren eine elektrische Begleitheizung verbaut, wie das weit verbreitet ist. Wird dieser Stromverbrauch berücksichtigt, sinkt die JAZ+ von 3.5 auf 2.2. Die Forscher raten daher «dringend», auf solche Heizungen zu verzichten, wenn die Wärmeversorgung eines Gebäudes mit geringem Stromeinsatz erfolgen soll. Die Temperaturhaltung sollte besser mit einer Zirkulationsleitung gewährleistet werden, da dann die Solarwärmekollektoren und die Wärmepumpe die Energie hierfür liefern können.



Die unverglasten Solarkollektoren sind standardmässig mit einer rückseitigen Wärmedämmung versehen, die Wärmeverluste bei hohen Temperaturen reduzieren soll. Die SPF-Forscher (im Bild: Projektleiter Daniel Philippen) konnten in ihrer Studie nachweisen, dass ein Verzicht auf die Wärmedämmung die JAZ+ nur unwesentlich verringert, aber den Vorteil hat, dass das Kollektorfeld kleiner – und damit günstiger – gebaut werden kann. Foto: B. Vogel

Dr. Elimar Frank, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Solarthermie und Wärmespeicherung, zieht eine positive Bilanz des Demonstrationsprojekts in Jona: «Die detaillierte Auswertung der Anlage hat gezeigt, dass solare Eisspeicher-Systeme einen Beitrag zur effizienten Wärme- und Kälteversorgung von Mehrfamilienhäusern leisten können, insbesondere wo andere Technologien nicht eingesetzt werden können oder sollen. Bei der weiteren Verbreitung der Technologie sind u.a. der Umgang mit Verbrauchsdaten, die von den Planungswerten abweichen, und die Optimierung des Stromverbrauchs von Hilfsaggregaten zu beachten.»



Temperatur im Eisspeicher im Jahresverlauf, gemessen auf vier unterschiedlichen Höhen. Messsonde 1 befindet sich am Boden, Messsonde 4 oben an der Wasseroberfläche. Da die Wärmetauscher am Boden installiert sind, entsteht im Herbst durch den Wärmeentzug eine Temperaturschichtung. Der grösste Vereisungsgrad war Anfang März. Grafik: BFE-Schlussbericht

Neue Einsatzfelder für Wärmepumpen

Das Patent für die Solar-Eis-Heizung mit enteisbarem Eisspeicher hält die Elektrizitätswerk Jona-Rapperswil AG (EWJR). Die EWJR hatte die Entwicklung der Hochschule für Technik Rapperswil seinerzeit finanziert. Dieses Patent nutzt die Energie Solaire SA seit 2018. Die Walliser Firma hat seither landesweit fünf Anlagen realisiert. «Eine besondere Chance hat dieses Heizsystem – sofern Platz für den Eisspeicher vorhanden ist – in Innenstädten, wo günstigere Alternativen wie Erdwärmesonden oder die Nutzung der Umgebungsluft mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe nicht erlaubt bzw. erwünscht ist und der Einsatz einer Gasheizung wegen der Klimaproblematik ausgeschlossen wird», sagt EWJR-Geschäftsführer Michael Bätcher.

Die SPF-Forscher sehen weitere Anwendungen für Eisspeicher. Eine Option bei grossen Projekten besteht darin, die Spitzenlasten durch einen Gaskessel abzudecken oder in besonders kalten Wintern das Eis im Speicher durch den Einsatz einer mobilen Holzpellets-Heizung zu reduzieren, wodurch sich die Solar-Eis-Heizung kleiner und kostengünstiger bauen liesse. Weiter denkbar ist der Einsatz von Hybridkollektoren, die neben Wärme auch Strom bereitstellen. Die Wissenschaftler treiben zudem ihre Forschung in einem neuen BFE-Projekt mit dem Namen «Big-Ice» weiter. Sie untersuchen mittels Simulationen, ob es möglich wäre, das Eis im Eisspeicher in den Sommer zu retten und dann für Kühlzwecke zu nutzen.

- Den **Schlussbericht** zum Projekt «Niedertemperatur Eisspeicher-Heizung mit thermischer Enteisung» unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=37867>
- Weitere Informationen zum **Projekt Big-Ice** unter: www.spf.ch/bigice
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilen Daniel Philippen (daniel.philippen[at]spf.ch) vom Institut für Solartechnik der HSR und Dr. Elimar Frank (elimar.frank[at]frank-energy.com), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Solarthermie und Wärmespeicherung.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Solarthermie und Wärmespeicherung finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/ec-solar.

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURMPROJEKTE DES BFE

Die Begleitforschung der Hochschule für Technik Rapperswil zur Solar-Eis-Heizung in Rapperswil-Jona ist ein Demonstrationsprojekt, mit dem das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der nicht amortisierbaren, anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

➤ www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration