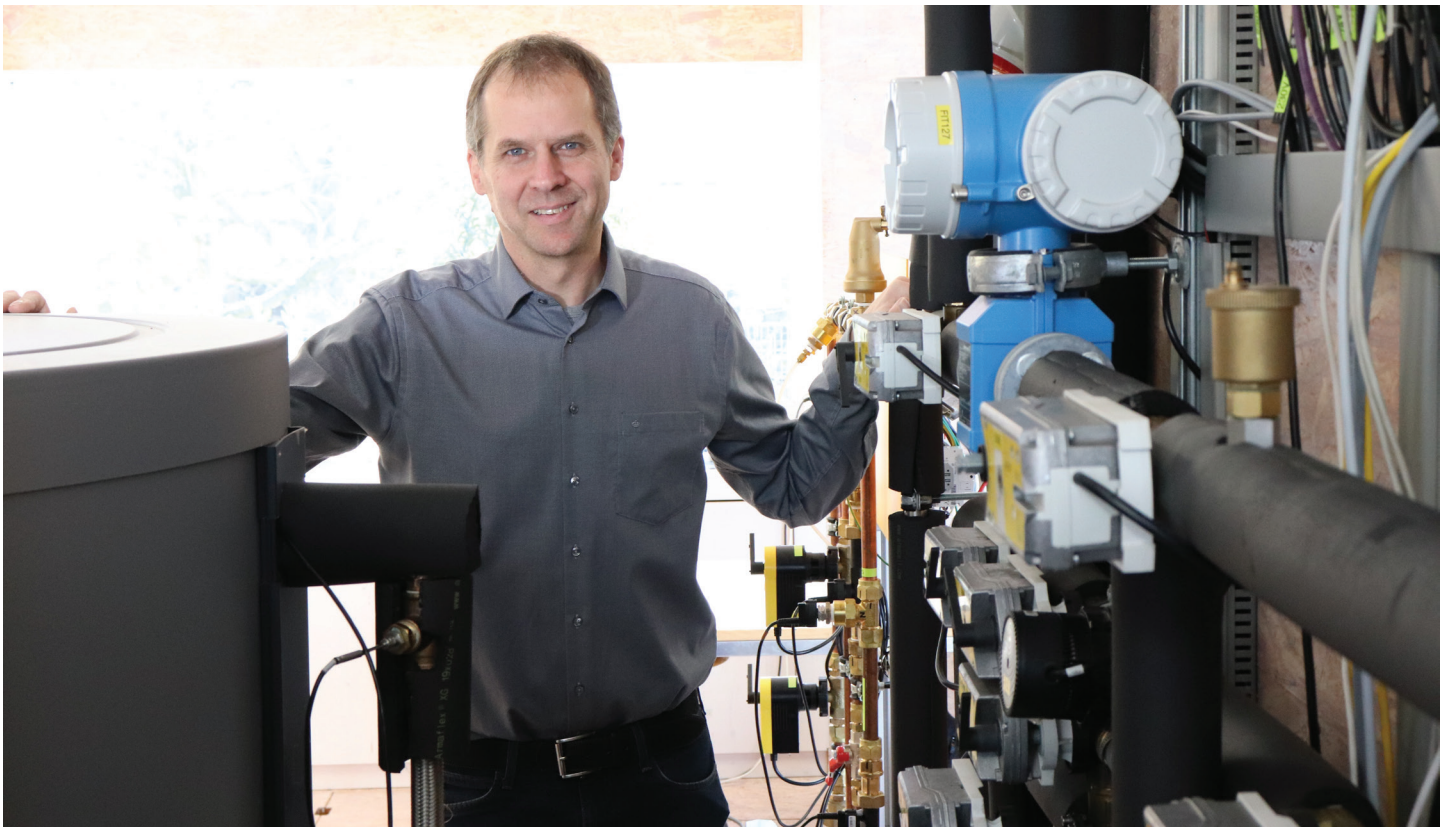
WÄRMEPUMPE FOLGT DEM LAUF DER SONNE

Neubauten werden heute in der Schweiz überwiegend mit einer Wärmepumpe zur Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser ausgerüstet. Bei der Erneuerung von Bestandsbauten kommt in rund jedem vierten Fall ein derartiges Gerät zum Einsatz. Wärmepumpen sind damit die bevorzugte Alternative zu fossil befeuerten Gas- und Ölheizungen. Ein Forschungsprojekt der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) hat nun Varianten untersucht, wie die Wärmeproduktion mit Wärmepumpen in Einfamilien- und kleinen Mehrfamilienhäusern durch Sonnenenergie unterstützt werden kann. Im Trend liegt die Nutzung von selbst produziertem Photovoltaik-Strom.



FHNW-Forscher Ralf Dott (Bild) hat Wärmepumpensysteme nicht nur mit Simulationen, sondern auch im Labor der Fachhochschule in Muttenz untersucht. Dort ist eine Luft/Wasser-Wärmepumpe (6 kWth), ein PV-Anlage (5 kWp) und eine Batterie (5.9 kWh) installiert. Das Aussenaggregat der Wärmepumpe, das der Luft Wärme entzieht, steht im Keller in einem Klimaraum: Dieser erzeugt während den Messperioden die gewünschten Umgebungstemperaturen, wie sie über den Jahresverlauf hinweg herrschen können. Weitere Daten, die für die Untersuchungen nötig sind (Haushaltsstromprofil, Warmwasser-Entnahmeprofil, Wetterdaten), wurden als Randbedingungen emuliert. Foto: B. Vogel

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem Forschungsprojekt im Bereich Wärmepumpen und Kälte, das vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt wurde. Der Beitrag ist unter anderem im Fachmagazin Phase 5 (Ausgabe April 2019) erschienen.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

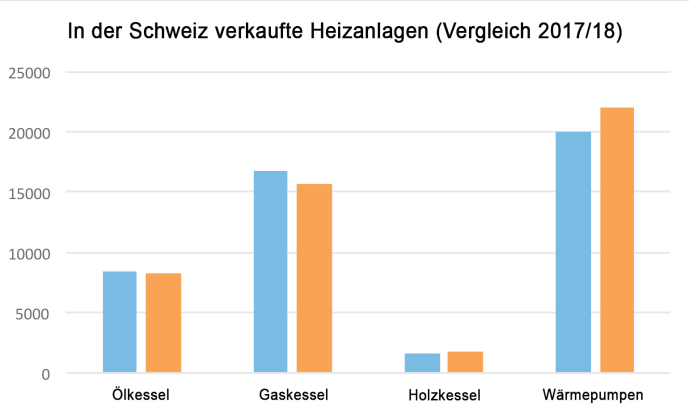
Bundesamt für Energie BFE

Im Mai 2017 haben die Stimmberechtigten dem neuen Energiegesetz zugestimmt. Sie votierten damit für mehr erneuerbare Energien und eine bessere Energieeffizienz. Politische Weichenstellungen entfalten ihre Wirkung in der Regel nach und nach. Im Bereich der Wärmepumpen sind positive Effekte unterdessen greifbar. Wärmepumpen nutzen die in der Luft, dem Erdreich und im Grundwasser enthaltene Wärme, um – unter Verwendung von elektrischem Strom zum Antrieb eines Verdichters – Heizwärme und Warmwasser, aber auch Kühlenergie bereitzustellen. Da sie ohne die fossilen Energieträger Öl und Gas auskommen, entsprechend sie den Zielsetzungen der aktuellen Energiepolitik.

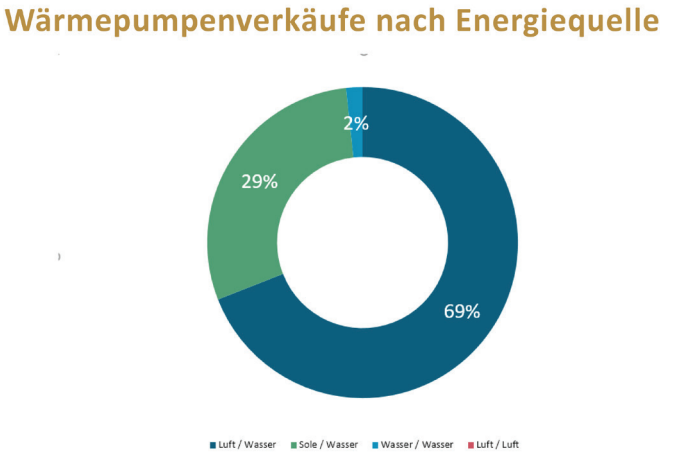
Der Verkauf von Wärmepumpen hat nach dem Abstimmungsjahr 2017 deutlich zugenommen: In der Schweiz wurden 2018 knapp 22'000 Wärmepumpen abgesetzt, rund 10% mehr als im Vorjahr. Das ist bemerkenswert, denn seit dem Rekordjahr 2008 (20'670) hatten die Verkäufe tendenziell abgenommen. «Man kann diese Trendwende wohl nicht auf ein einzelnes Ereignis zurückführen», sagt Stephan Peterhans, Geschäftsführer der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS), «doch die politische Diskussion um das Energie- und das CO_2-Gesetz haben der Nutzung der Wärmepumpen neuen Schub verliehen. Hinzu kommt, dass mittlerweile praktisch alle Kantone Förderprogramme für Wärmepumpen haben.»

Wärmpumpen können mit Solarstrom betrieben werden

Wärmepumpen basieren auf einer bewährten Technologie. Das Potenzial mit Blick auf eine nachhaltige Energieversorgung ist aber noch nicht ausgeschöpft. So kann für den Betrieb von Wärmepumpen ergänzend zu Strom aus dem Netz auch direkt Solarstrom eingesetzt werden. Welche Bedeutung dem Solarstrom dabei zukommen kann, lässt sich mit einem realitätsnahen Beispiel zeigen: Familie Huber braucht in ihrem Einfamilienhaus (150 m^2 Wohnfläche) für Heizwärme und Warmwasser jährlich 10'000 kWh Wärme. Die Wärme wird mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (7 kW Heizleistung) erzeugt, unter Einsatz von 3000 kWh Strom. Das Haus der Hubers ist mit einer Photovoltaik-Anlage (5 kWp) ausgerüstet, die jährlich 5000 kWh liefert, und einer Batterie mit 5 kWh Kapazität. Der erneuerbare Strom wird immer dann zum Betrieb der Wärmepumpe herangezogen, wenn es möglich ist, daneben aber auch für den Haushaltsstrom (Jahresbedarf: 3000 kWh) genutzt.

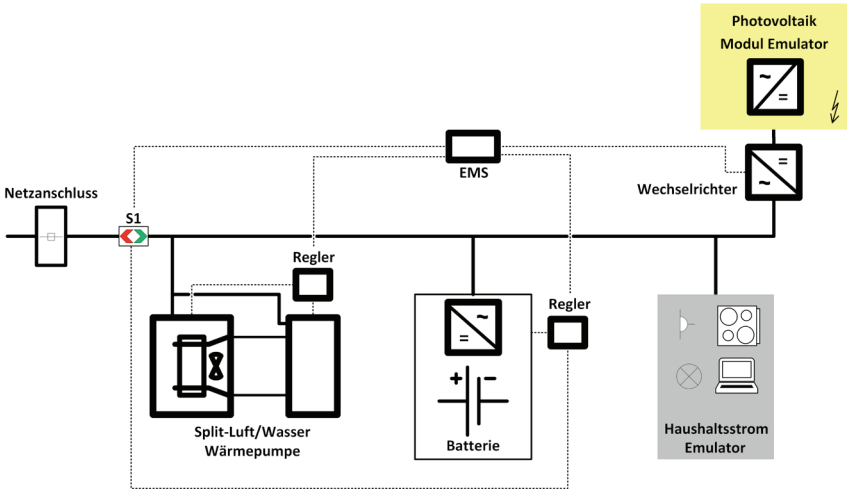


Im Jahr 2018 (orange) hat der Verkauf von Wärmepumpen gegenüber 2017 (blau) um fast 10% zugenommen. Der Absatz von Öl- und Gasheizungen war rückläufig. Grafik: FWS



Gut zwei Drittel der in der Schweiz eingesetzten Wärmepumpen gewinnen die Wärme aus der Luft, knapp ein Drittel aus dem Erdreich. Grafik: FWS

Die Zahlen zeigen: Die relativ kleine PV-Anlage produziert über das Jahr gesehen mehr Strom, als die Wärmepumpe verbraucht. Da der Solarstrom aber nicht immer zu den Zeiten produziert wird, wenn die Wärmepumpe gewöhnlich in Betrieb ist, läuft die Wärmepumpe der Familie Huber oft mit Netzstrom. Was heute üblich ist, lässt sich durch ein Energiemanagementsystem ändern: Mit einer intelligenten Regelung könnte man den Eigenverbrauch von PV-Strom steigern, indem man die Betriebszeiten der Wärmepumpe auf Zeiten mit PV-Ertrag legt. Was solche Energiemanagementsysteme bewirken und von welchen Randbedingungen sie beeinflusst werden – das hat nun ein Team des Instituts Energie am Bau (IEBau) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) untersucht. Die vom Bundesamt für Energie unterstützte Studie wurde Ende 2018 abgeschlossen.

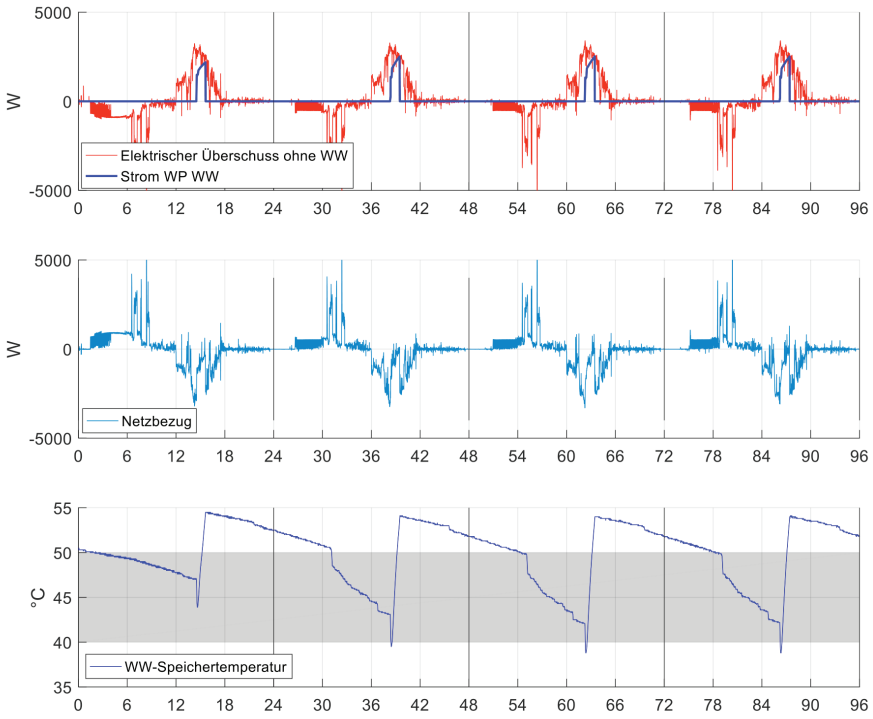


Prinzipienschema des Messaufbaus für ein Gesamtsystem aus einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, die (unter anderem) von einer Photovoltaik-Anlage mit Strom versorgt wird, und emulierten elektrischen Haushaltslasten unter Einbezug einer Batterie zur Pufferung des PV-Stroms. EMS steht für das Energiemanagementsystem, das die Wärmepumpe abhängig von der PV-Strom-Produktion regelt. Grafik: Schlussbericht LEWASEF

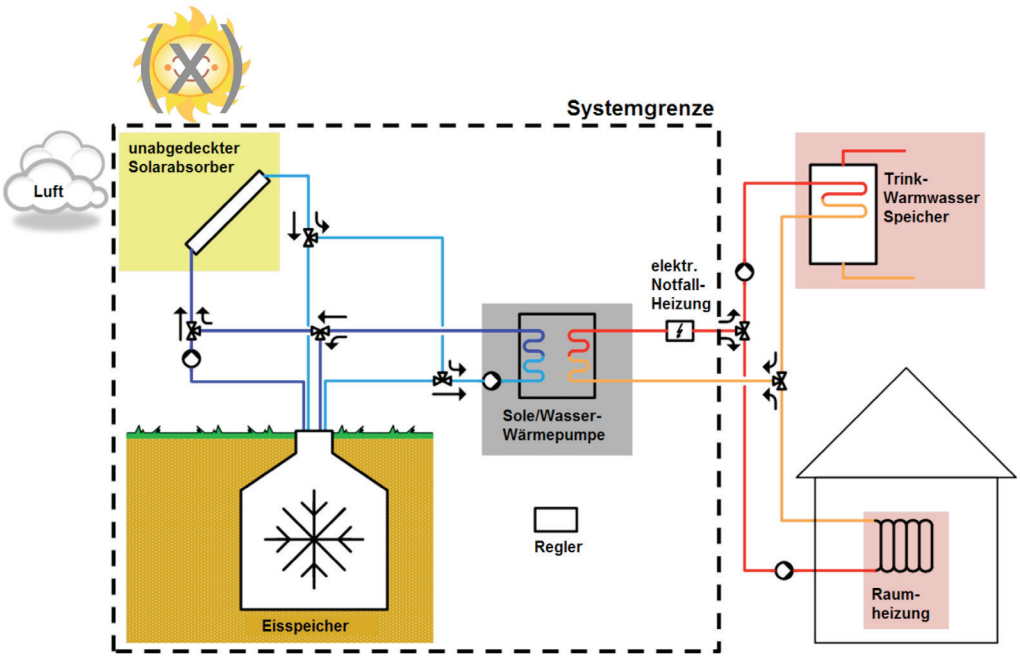
Intelligente Steuerung senkt Netzbezug

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung: Wird die Wärmepumpe durch intelligente Regelung dann betrieben, wenn PV-Strom produziert wird, kann der Bezug von Netzstrom im Haus insgesamt durch den geänderten Wärmepumpen-Betrieb um bis zu 3 Prozentpunkte vermindert werden. Auf diesem Weg steigt der Eigendeckungsgrad durch PV-Strom von 47 auf 50%. Mit Bezug zum oben genannten Beispiel bedeutet das in absoluten Zahlen: Statt 2820 kWh stammen neu 3000 kWh der 6000 kWh Strom, die der Haushalt über das Jahr hinweg braucht, aus der PV-Anlage. Um diese Steigerung der Eigenverbrauchsquote zu erreichen, wird unter anderem der Warmwasserspeicher bei ergiebiger Solarstrom-Produktion etwas stärker erhitzt als gewöhnlich (55 statt 50 °C), womit man sich allerdings auch etwas höhere Wärmeverluste und einen schlechteren Wirkungsgrad der Wärmepumpe einhandelt.

«Aus Sicht des Stromkunden ist eine Reduktion des Netzbezugs um 3% relativ wenig und schafft keinen wirksamen monetären Anreiz», sagt Studienleiter Ralf Dott und ergänzt: «Anders präsentiert sich die Lage aus anderen Blickwinkeln, beispielsweise aus Sicht des Netzbetreibers: Steigert eine grosse Zahl von Haushalten den Eigenverbrauch, kann daraus

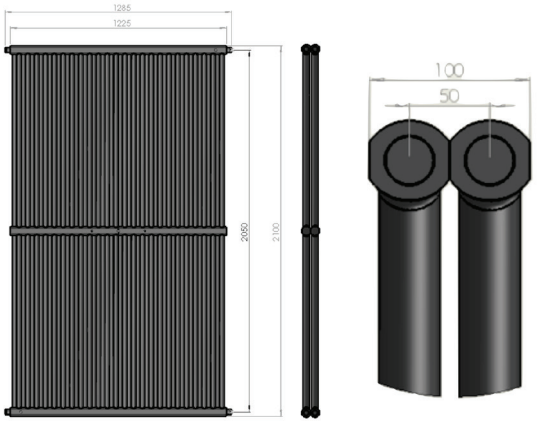


Daten der viertägigen Messkampagne eines Heizsystems, dessen Wärmepumpe unter anderem mit Solarstrom gespeist wird: Die oberste Grafik zeigt, dass die PV-Anlage während der Nachmittagsstunden mehr Strom erzeugt, als im Haushalt gebraucht wird (rote Kurve). Ein Teil dieses Stroms wird dann zum Betrieb der Wärmepumpe genutzt (blaue Kurve). Die mittlere Grafik zeigt, dass die PV-Anlage in den Nachmittagsstunden Strom ins Netz einspeist – und dies auch dann noch, wenn der PV-Strom für den Betrieb der Wärmepumpe genutzt wird. Grafik: Schlussbericht LEWASEF



Versuchsanordnung, bei der die FHNW-Wissenschaftler die Wärmepumpe mit Wärme aus einem Solarabsorber (ungedeckter Röhrenabsorber) und einem Eisspeicher versorgen, wobei der Eisspeicher gleichzeitig als Wärmespeicher für Solarwärme fungiert. Illustration: Schlussbericht LEWASEF

eine spürbare Entlastung des Verteilnetzes resultieren.» Nach Aussage des FHNW-Forschers ist die Studie aussagekräftig für Einfamilienhäuser, aber auch für kleinere Mehrfamilienhäuser mit bis zu zehn Wohneinheiten. In Häusern mit mehreren Wohnparteien ist die Steigerung des Eigenverbrauchs tendenziell einfacher und grösser, weil das Warmwasser dank der Vielzahl der Nutzer über die Zeit hinweg ausgeglichener gebraucht wird, sagt Dott.

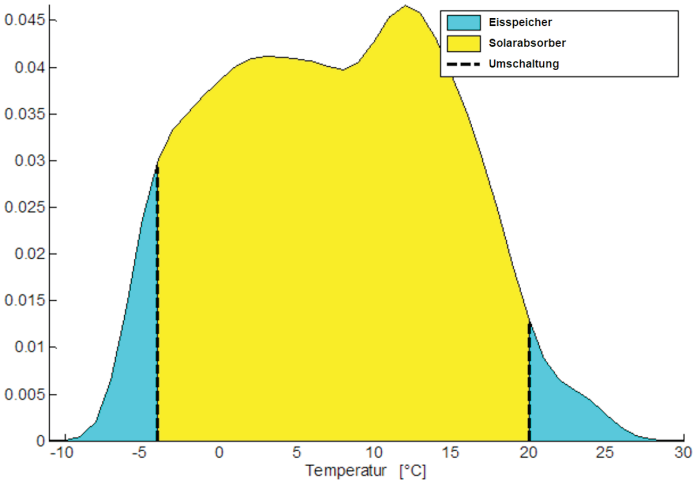


Der in der Studie verwendete Solarabsorber besteht aus einem Röhrensystem aus Plastik. Der Absorber nimmt in erster Linie durch Konvektion Wärme aus der Umgebungsluft auf, nur zu einem kleineren Teil die Wärme aus der Sonneneinstrahlung. Illustration: Schlussbericht LEWASEF

Fragezeichen zum Eisspeicher

Im zweiten Teil der Studie untersuchte das FHNW-Forscherteam ein Heizsystem, bei dem die Wärmepumpe Solarwärme nutzt. Die Wärmepumpe wird dabei zugleich von einem röhrenförmigen Solarabsorber und einem Eisspeicher mit Wärme versorgt – ein System, das in der Realität erst in Einzelfällen zum Einsatz kommt. Der Solarabsorber nimmt über Konvektion Wärme aus der Umgebungsluft auf, während der Eisspeicher überschüssige Wärme aus dem Solarabsorber zwischenspeichert und darüber hinaus Wärme in erheblichem Masse aus dem ihn umgebenden Erdreich aufnimmt (vgl. dazu Textbox S. 5).

Ein Eisspeicher kann beim Phasenübergang von Eis zu Wasser (Schmelzvorgang) viel Wärme aufnehmen. Umgekehrt kann man einem Eisspeicher viel Wärme entnehmen, während sein Wasser gefriert. Vor dem Hintergrund dieser physikalischen Besonderheit wird seit längerem der Einsatz von Eisspeichern als Speicher für Solar- und Erdwärme diskutiert, wobei diese Wärme dann bei Bedarf in einer Wärmepumpe genutzt werden kann. Die FHNW-Forscher warnen nun vor überzogenen Erwartungen. So wird die Bedeutung des Eisspeichers relativiert durch die Tatsache, dass ein grosser Teil der Wärme, die die Wärmepumpe aufnimmt, gar nicht im Eisspeicher gepuffert wird, sondern aus der Umgebungsluft über die Solarabsorber direkt in die Wärmepumpe gelangt (vgl. Grafik S. 5). Bei der Wärme, die tatsächlich aus dem Eisspeicher stammt,



Die Grafik zeigt, dass der Eisspeicher die Wärmepumpe nur bei sehr kalter und relativ warmer Umgebungsluft mit Wärme speist. Den Grossteil der Wärme bezieht die Wärmepumpe aus dem Solarabsorber. Grafik: Schlussbericht LEWASEF

kommt nur ein kleiner Teil direkt aus dem Vereisungvorgang; der grössere Teil gelangt aus dem Erdreich direkt – also ohne Pufferung im Eisspeicher – in die Wärmepumpe.

Stellen die Muttenzer Forscher den Eisspeicher grundsätzlich in Frage? Soweit will Ralf Dott nicht gehen: «Ein Wärmepumpen-System mit Nutzung eines Eisspeichers ist etwa gleich effizient wie ein System, das die Erdwärme mit Erdsonden nutzt, unter anderem weil der Eisspeicher eine minimale Quellentemperatur sicherstellt. Eisspeicher können daher in Gebieten sinnvoll sein, wo keine Erdsonden-Bohrungen möglich sind. Voraussetzung ist, dass der Eisspeicher mit vertretbaren Kosten gebaut werden kann.» Das sei in Deutschland möglich, sagt Dott, in der Schweiz aber schwierig.

PV-Lösungen liegen im Trend

Die FHNW-Studie hat Wärmepumpen in Verbindung mit PV-Anlagen, Sonnenkollektoren und PVT-Kollektoren (gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom) untersucht. In der breiteren Öffentlichkeit dürften vor allem die Erkenntnisse zum Einsatz von Solarstrom Beachtung finden. Der Einsatz von PV-Strom zum Betrieb von Wärmepumpen liege im Trend, sagt FWS-Geschäftsführer Stephan Peterhans: «Unsere Fachvereinigung startet zur Zeit ein Projekt, mit dem wir Systemlösungen unter Einbezug von Solarstrom, Batterien und Energiemanagementsystemen zur Regelung des PV-Stroms unterstützen und entsprechende Planungs- und Handlungsempfehlungen erarbeiten wollen.»

EISSPEICHER

Der Eisspeicher, den die Forscher der Fachhochschule in Muttenz ihrer Untersuchung zugrunde legten, besteht aus einem ins Erdreich eingelassenen Wassertank mit 10 m^3 Fassungsvermögen. Die Wassertemperatur schwankt im Betrieb zwischen den Werten 0 bis 15 °C. Normalerweise herrschen im Eisspeicher allerdings Temperaturen um 0 °C, denn die Grundidee des Speichers besteht in der Nutzung des Phasenwechsels, also der physikalischen Gesetzmässigkeit, dass Wasser beim Schmelzen viel Wärme aufnehmen und – umgekehrt – beim Vereisen viel Wärme abgeben kann. Beim Vereisungsvorgang entsteht im Eisspeicher nicht ein geschlossener Eisblock, sondern es bilden sich Eiskristalle an einem Rohrsystem, das in den Eisspeicher eingelegt ist.

Denkbar wäre, einen Eisspeicher nicht mit Wasser zu betreiben, sondern stattdessen mit einem Medium, das einen höheren Schmelzpunkt hat als Wasser, z.B. Salzhydrate oder Paraffine (Schmelzpunkt 2 oder 5 °C). Die Wissenschaftler der Fachhochschule Nordwestschweiz sehen darin allerdings keinen Vorteil: Die Verwendung eines anderen Mediums ermögliche für diesen Anwendungsfall keine höhere Systemeffizienz, weil ein Grossteil der Wärme aus dem umgebenden Erdreich stammt und nicht aus dem Phasenübergang von Eis zu Wasser, machen sie in ihrer Untersuchung geltend. Wähle man ein Medium mit einem Schmelzpunkt über 0 °C, könnten weniger Wärmegewinne aus dem Erdreich abgeschöpft werden. BV

- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilt Stephan Renz (info[at] renzconsulting.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wärmepumpen und Kälte finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/ec-wp-kaelte.

Autor: Dr. Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)
Stand: Mai 2019