

## WÄRMEPUMPENTAGUNG IN BURGDORF/SCHWEIZ

# Mehr Wärmepumpen mit verbesserter Effizienz bis 2050

Durch den geplanten Ausstieg der Schweiz aus der Kernkraft bis zum Jahr 2034 rechnen Energiewirtschaftler mit einer Stromlücke von mehr als 20 Prozent. Ziel der neuen Energiestrategie (ES 2050) ist eine weitgehend autonome und wirtschaftliche Stromversorgung, bei der die fossile Stromproduktion auf ein Minimum reduziert werden soll. Der zusätzliche Strombedarf soll unter anderem durch Effizienzmaßnahmen kompensiert werden. Ziel bis zum Jahr 2050 sei eine Jahresarbeitszahl bei Luft/Wasser-Wärmepumpen von 7, bei Sole/Wasser-Wärmepumpen von 8, so die Wissenschaftler. Ein Bericht über die 19. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpe und Kälte des Bundesamtes für Energie, die im Juni 2013 an der Hochschule für Technik und Informatik in Burgdorf stattfand. **Wolfgang Schmid, München**

Aktuell sind in der Schweiz mehr als 200 000 Wärmepumpenanlagen installiert. Allein in den letzten fünf Jahren kamen jährlich rund 20 000 Einheiten hinzu, Tendenz gleichbleibend stabil. Zum Vergleich: In Deutschland wurden 2012 nahezu 60 000 Heizwärmepumpen und über 10 000 Brauchwasserwärmepumpen installiert. Der Bestand liegt bei etwa 500 000 Anlagen (Stand Ende 2012).

### Stephan Renz: „Systeme ganzheitlich optimieren“

Die Wärmepumpe darf künftig nicht mehr ausschließlich als Ersatz für einen konventionellen Wärmeerzeuger angesehen werden, sondern als Teil eines Gesamtsystems mit Schnittstellen zum Gebäude, zum Wärmeverteilsystem, zum Stromnetz, zur Energieerzeugung (konventionell, Photovoltaik), zu unterschiedlichen saisonalen Wärmeangeboten und Wärmesenken, zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und zu verfahrenstechnischen Prozessen.



**Wolfgang Schmid,**  
freier Fachjournalist für  
Technische Gebäudeausrüs-  
tung, München



Blick ins Auditorium während der Vortragsreihe

Stephan Renz, Leiter Forschungsprogramm Wärmepumpen und Kälte des Bundesamtes für Energie, Bern, sieht im gebäudeinternen Abgleich von Temperaturangeboten aus thermischen Solaranlagen und dem Stromangebot aus Photovoltaik- und KWK-Anlagen im Zusammenhang mit der thermischen Speicherung zusätzliche Möglichkeiten, Wärmepumpen ja nach Verfügbarkeit von preiswertem Netzstrom sowie KWK- bzw. PV-

Stromangeboten „intelligent“ zu betreiben. Wärmepumpenanlagen und deren Peripherie ließen sich so zu einer Art Stromspeicher ausbauen.

Vorrangiges Ziel sei deshalb die Entwicklung hocheffizienter Wärmepumpen, die nicht nur im Auslegungspunkt gute Ergebnisse liefern, sondern das ganze Jahr nahe am Optimum arbeiten. Renz nennt folgende technische Ziele für die künftigen Forschungsprojekte, die gleichermaßen für

Wärmepumpen als auch für Kälteanlagen gelten:

- Verbesserung des Gütegrades von heute etwa 50 Prozent auf 65 bis 70 Prozent durch die Reduktion der Kältemittelüberhitzung und Nutzung der Drosselenergie, insbesondere bei CO<sub>2</sub>-Kältemaschinen
- Minimierung der Reibungseffekte und der Temperaturdifferenzen von Kältekreisläufen (Niederhub-Wärmepumpen/-Kältemaschinen)
- bessere regelungstechnische Koordination der Angebots- und Nachfrageseite unter Einbeziehung von Speichertechnologien und Speicherstrategien
- Einbindung der Wärmepumpen in additive Energiesysteme (Solarthermie, PV-Strom, KWK-Anlagen, Speicher)
- Optimierung der Wärmepumpen für Hochtemperatursysteme (Temperaturniveau 80 bis 180 °C), um individuelle Wärme- und Abkühlprozesse zu unterstützen
- Entwicklung und Optimierung von Wärmepumpen und Kältemaschinen großer Leistung für Fernwärmesysteme und Prozesswärme/Prozesskälte
- Einbeziehung von vor- und nachgelagerten Energiesystemen (Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze)
- Verbesserung der nationalen und internationalen Zusammenarbeit sowohl seitens der Hochschulen als auch der Industrie.



Stephan Renz

### Beat Wellig:

**„Eine Niederhub-Klimakälteanlage mit 10 K Temperaturdifferenz führt zu einem COP von rund 15“**

Bei Wärmepumpen für die Gebäudeheizung sind heute schon COP-Werte von 9 erreichbar, bei Gebäudekühlsystemen mit niedrigem Temperaturhub und optimierten Rückkühlsystemen sogar COP-Werte von

15. Diese Erkenntnisse stammen aus dem Forschungsprojekt „Verdoppelung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch Ausnutzung eines kleinen Temperaturhubs“ des Bundesamtes für Energie aus dem Jahr 2006, die jetzt experimentell untersucht werden. Der Schlüssel zu hocheffizienten Wärmepumpen und Klimakälteanlagen ist nach Erkenntnissen von Prof. Dr. Beat Wellig, Hochschule Luzern, die konsequente Umsetzung von Niederhub-Temperatursystemen für Heizen und Kühlen. Standardgeräte arbeiten mit Temperaturhuben von 30 bis 60 K, obwohl beispielsweise zum Heizen mit einer Erdwärmesondenanlage ein Temperaturhub von rund 20 K ausreichen würde. Entsprechend optimierte Gebäudekühlsysteme kämen sogar mit 10 K Temperaturhub aus, so Wellig. Wärmepumpen und Klimakälteanlagen müssten deshalb in viel stärkerem Maße auf Niedertemperatur-Heizsysteme bzw. Hochtemperatur-Kühlsysteme abgestimmt werden. Dies erfordere jedoch neue Denkansätze sowohl bei der Auswahl der Komponenten als auch bei der Optimierung des Gesamtsystems. Dazu zählen der Kältemittel-Verdichter (keine Scroll-Verdichter!), die Dimensionierung des für solche Niederhub-Maschinen obligatorischen elektronischen Expansionsventils und die Wahl des Kältemittels. Ziel sei, die Druckverluste in den Kältemittelleitungen und Armaturen zu minimieren. Auch müssten Verdampfer und Kondensator genauer auf den Niederhub-Betrieb abgestimmt werden.

Beim Bau einer Niederhub-Anlage mit Hubkolbenverdichter stellte sich im Rahmen des Forschungsprojekts heraus, dass derzeit keine geeigneten Kompressoren für den Betrieb mit kleinen Temperaturhuben und kleinen Druckverhältnissen am Markt sind. Besser geeignet seien kleine Turboverdichter, da diese ölfrei arbeiten. Marktgängige Turboverdichter seien jedoch derzeit nur in Größen

von über 150 kW Heizleistung verfügbar. Um die Entwicklung von Niederhub-Anlagen voranzutreiben, wurde in Zusammenarbeit mit der Celeroton AG, Zürich, und der ETH Zürich der Prototyp eines Radial-Turboverdichters (Kältemittel Butan, R600) mit einer elektrischen Leistungsaufnahme von 1,5 kW bei einer thermischen Leistung von etwa 10 kW realisiert. Experimentelle Untersuchungen zeigten, dass damit bislang „unerreichbar hohe Gütegrade“ möglich sind mit einem COP Heizen von 9,2 und einem Gütegrad von 59,6 Prozent. Eine für Kühlen ausgelegte Anlage erreichte einen COP von 13,4 bei einem Gütegrad von 58,6 Prozent. Entscheidend für die hohe Energieeffizienz sei, so Wellig, die Abstimmung des Geräts mit dem Heiz- bzw. Kühlsystem sowie die Optimierung der Hilfsaggregate. Die Ergebnisse sind so überzeugend, dass die Entwicklung zusammen mit der BS2 AG, Schlieren-Zürich, fortgesetzt werden soll.



Beat Wellig

### Raphael Gerber: „Beim Kältemittel Wasser gibt es interessante Entwicklungen“

Die Wärmepumpen- und Klimabranche kommt nicht umhin, sich mehr um den Einsatz von natürlichen Kältemitteln zu kümmern. So lautet das Resümee von Raphael Gerber, CTA AG, Klima-Kälte-Wärme, Münsingen. Viele Hürden seien hausgemacht, Havarien bei Anlagen mit natürlichen Kältemitteln würden oftmals dramatisiert. Das größte Hemmnis beim Einsatz natürlicher Kältemittel sei der Ausbildungsstand von Planern und Kälteinstallateuren sowie die eingeschränkte Verfügbarkeit von Komponenten. Gegen die weitere Verwendung von synthetischen Kältemitteln spreche, so Gerber, das hohe Treibhauspotenzial, der Ozonabbau in der Erdatmosphäre durch fluorierte Kältemittel, die drohenden Verwendungsverbote sowie die Verteuerung durch Lenkungsabgaben, wie Steuern und Recyclinggebühren. Allerdings gebe es auch bei den natürlichen Stoffen kein „Allerweltskältemittel“, das alle Bereiche abdecke. Die Probleme wie Brennbarkeit,

hohe Drücke und Toxizität seien nun mal Realität. Dennoch sieht Gerber bei den natürlichen Kältemitteln eher Chancen als Risiken, insbesondere unter den Gesichtspunkten Wirtschaftlichkeit, Verfügbarkeit, Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit. Im Fokus stehe auch das Kältemittel Wasser, da in diesem Bereich vielversprechende Entwicklungen mit Turboverdichtern in Gang gekommen seien.



Raphael Gerber

Auch dem Kältemittel CO<sub>2</sub> attestiert Gerber ein sehr hohes Entwicklungspotenzial. Bei gewerblichen Kälteanlagen mittlerer und großer Leistungen gelten CO<sub>2</sub>-Anlagen in der Schweiz als Stand der Technik. Mehrere Hundert Anlagen seien hier bereits installiert. Europaweit seien (Stand Anfang 2012) rund 1200 Lebensmittelmärkte mit transkritischen CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen in Betrieb. Auch hierzu leiste die Schweiz wichtige Entwicklungsarbeiten, beispielsweise mit einem CO<sub>2</sub>-Erdwärmerohr, einer CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe, einem ölfrei arbeitenden Turboverdichter sowie der Integration einer Expansionsmaschine in ein CO<sub>2</sub>-Kältesystem. Nicht zu übersehen sei die Erfolgsgeschichte der in Japan populären CO<sub>2</sub>-Wärmepumpe EcoCute zur Trinkwassererwärmung. Mehr als zwei Millionen Einheiten davon sind weltweit bereits in Betrieb.

Wichtig bei Kälteanlagen mit brennbaren Kohlenwasserstoffen als Kältemittel sei die Minimierung der Kältemittelfüllmenge, beispielsweise durch den Einsatz von Microchannel-Wärmeübertragern. Inzwischen gebe es weltweit mehrere Millionen Fahrzeuge, deren Klimaanlage mit Kohlenwasserstoff gefüllt sind. Hinzu kämen etwa 500 Millionen Haushaltskühlgeräte mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel. Chinesische Hersteller wie Gree, Midea und Haier hätten ihre Produktionslinien mit einer Kapazität von mehreren 100 000 Kleinklimageräten pro Jahr bereits auf das Kältemittel Propan umgestellt.

Unterhalb 5 kg Kältemittel pro Gerät sei der sicherheitstechnische Aufwand bei brennbaren Kältemitteln gut beherrschbar. Allerdings müsse der kältetechnische Teil in einem belüfteten Gehäuse installiert sein. Bei Anlagen mit dem Kältemittel NH<sub>3</sub> gäbe es bereits Aggregate, die mit einer Füllung von unter 0,1 kg pro kW Kälteleistung auskommen; es seien sogar spezifische Kältemittelfüllmengen unter 0,01 kg/kW Kälteleistung möglich, sagt Gerber. Damit könne NH<sub>3</sub> auch in Bereichen eingesetzt werden, die bisher für konventionelle NH<sub>3</sub>-Kältetechnik tabu waren, zum Beispiel in Hotels. Eine NH<sub>3</sub>-Kleinwärmepumpe sei in der Schweiz bereits in Entwicklung.

### Jonas Schönenberger: „Weitere Effizienzsteigerungen bei CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen“

Aufgrund der großen Nachfrage nach transkritischen CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen durch die Schweizer Supermarkt- und Großhandelsketten mit Energieeffizienzsteigerungen von rund 30 Prozent gegenüber konventionellen Kälteanlagen sind parallel dazu neue Anlagenkonzepte mit noch höheren Effizienzgraden entstanden. Als Stand der Technik gilt eine transkritische CO<sub>2</sub>-Anlage mit Boosterfunktion als Ersatz für die heute noch üblichen Kaskaden-Kälteanlagen (Plus- und Minuskühlung) oder für die getrennt arbeitenden Anlagen für den Plus- und Minusbereich. Im Grundsatz handelt es sich bei den innovativen transkritischen CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen um ein Aggregat mit zwei Verdichterstufen für die Plus- und Minuskühlung mit einer dreistufigen Entspannung mit Mitteldrucksammler und Flash-Gas-Bypass. Um die Energieeffizienz bei transkritischen CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen zu erhöhen, sind aus Sicht von Jonas Schönenberger, Frigo Consulting AG, Gümlingen, künftig folgende Anlagenkonzepte denkbar:



Jonas Schönenberger

- | Drosselventil durch arbeitsleistende Expansionsmaschine (ECU) ersetzen. Durch die ECU kann ein Teil des Kältemittels erneut verdichtet werden
  - | Nutzung der Abwärme aus einer Standard-Kälteanlage zum Antrieb eines Adsorptionskälteaggregats. Die zusätzlich generierte Kälte wird dazu genutzt, das CO<sub>2</sub> nach dem Heißgaskühler weiter zu enthitzen. Dadurch steigt die Kälteleistung der CO<sub>2</sub>-Kälteanlage bei gleichzeitiger Senkung des Hochdrucks. Alternativ kann die aus dem Kälteprozess generierte Kälte zur Klimatisierung genutzt werden
  - | Parallelverdichtung aus dem Mitteldruck-Sammler
  - | Reduzieren der Gaskühler-Austrittstemperatur durch eine ergänzende Wärmesenke, z. B. Außenluft, Gebäude-Fortluft, Abwasser, Grundwasser, Flusswasser, Erdsonde oder Erdregister, ggf. gekoppelt mit einer Wärmepumpe
  - | Luft vor dem Eintritt in den Gaskühler adiabatisch kühlen
  - | Einsatz von Zwischenspeichern, die nachts mittels Freecooling regeneriert werden
  - | Enthitzung des CO<sub>2</sub>-Kältekreislaufs durch ein externes Kälteaggregat, z. B. durch Klimakälteanlagen oder Ab-/Adsorptionskältemaschinen
  - | korrekte Fühlerplatzierung zur Minimierung der Regelabweichung
  - | Umpumpsysteme mit überfluteten Verdampfern, um auf eine Überhitzung des Kältemittels verzichten zu können
  - | Stromerzeugung aus der Abwärme von CO<sub>2</sub>-Kälteanlagen
  - | Kälteanlagen nachts mit preisgünstigem Überschussstrom betreiben und Kälte zwischenspeichern
- Derzeit werden die ersten Ergebnisse aus Feldprojekten durch die Frigo-Consulting AG ausgewertet und hinsichtlich Effizienzsteigerung, Marktpotenzial und Umsetzung gegenübergestellt. Konkrete Ergebnisse sollen bis Ende 2013 vorliegen.

## Peter Hubachers Empfehlungen für Bestanlagen\*

### Wärmequelle

- ▮ Erdwärmesonden-Entzugsleistung 35 bis 40 W/m (nach SIA-Norm 384/6)
- ▮ möglichst lange Erdwärmesonden (EWS)
- ▮ EWS richtig dimensionieren: DN 32 mm bis zu einer maximalen EWS-Länge von 150 m, DN 40 mm bis max. 250 m
- ▮ Abstand zwischen EWS 7,5 bis 10 m
- ▮ Sole/Wasser-Gemisch-Konzentration möglichst knapp wählen (Angaben der WP-Lieferanten liegen bei 25 Prozent)
- ▮ möglichst Sole/Wasser-Fertigmischungen verwenden oder mit einem mechanischen Mischgerät (Dosiergerät) aufbereiten; auf gute Durchmischung achten
- ▮ wenn möglich, statt Sole/Wassergemisch reines Wasser wählen, dadurch deutlich höhere EWS-Effizienz erreichbar. Vorteil: dauerhaft niedrige Betriebskosten. Nachteil: längere EWS-Bohrung erforderlich (höhere Investitionskosten).

### Wärmeerzeugung

- ▮ Umwälzpumpen mit maximalem Energieeffizienzindex (EEI) verwenden; Drehzahl sollte einstellbar oder regulierbar sein
- ▮ Kältemittel der Wärmepumpe auf die voraussichtliche Heizwassertemperatur abstimmen. R 134 a ist nur dann notwendig, wenn Heizwassertemperaturen über 60 °C erforderlich sind
- ▮ auf Speicher möglichst verzichten; Fußbodenheizung ist bestens als „Speicher“ geeignet; bei Radiatorenheizsystemen wird ein Speicher zur Erhöhung des Wasserinhalts der Anlage empfohlen
- ▮ Anlagen möglichst monovalent betreiben; bivalente Kleinanlagen sind regelungstechnisch aufwendig und stör anfällig
- ▮ witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Raumtemperaturkompensation einsetzen (selbstadaptiv); nur die Wärme produzieren, die tatsächlich gebraucht wird
- ▮ unkontrolliertes Mitlaufen von Elektroregistern muss sicher verhindert werden
- ▮ Wärmepumpe bei Neubauprojekten und größeren Sanierungen eher knapp dimensionieren; bei Altbauten Wärmebedarf sorgfältig nachrechnen
- ▮ auf hydraulisch komplexe Anlagen verzichten, da schwierig zu regeln
- ▮ Massenströme auf der Wärmequellen- und Heizungsseite richtig einstellen (mehrstufige oder regelbare Umwälzpumpen)

- ▮ Parameter für die Inbetriebnahme vorgeben (Heizkurve, Warmwasserladetemperatur, Ladezeitfenster, Massenströme)
- ▮ Inbetriebnahme-Parameter nach einer gewissen Zeit – möglichst während der Heizperiode – nochmals prüfen
- ▮ Anlage mit folgender Dokumentation ausstatten: Inbetriebnahmeprotokoll, Bedienungsanweisung, technische Datenblätter, Anlagenprinzipschema, Angaben über Erdwärmesonden (Anzahl, Länge, Dimension, Bohrbewilligung), Informationen über Störungsbehebung

### Wärmeverteilung

- ▮ bei bestehenden Gebäuden zuerst Gebäudehülle energetisch verbessern, dann Wärmepumpe installieren
- ▮ bei Neuanlagen Fußbodenheizung auf maximal 30 °C Vorlauftemperatur auslegen. Bei bestehenden Gebäuden Zieltemperaturen zwischen 35 bis 45 °C anstreben. Auch punktuelle Verbesserungen des Wärmeschutzes in Erwägung ziehen
- ▮ bei Raumheizungsanlagen mit Einzelraumregelung Überstromventil oder Parallelspeicher einbauen

### Trinkwassererwärmung

- ▮ Massenstrom für die Beladung des Trinkwassererwärmers genügend groß dimensionieren ( $\Delta T$  ca. 5 K); genügend große interne Heizregister wählen, Richtgröße 0,4 m<sup>2</sup>/kW Heizleistung
- ▮ maximal zwei Ladefenster vorgeben (abends und nachts, damit der Speicher am Morgen aufgeladen ist)
- ▮ Nacherwärmung mittels Elektroregister für höhere Warmwassertemperaturen mit Ladezyklus der Wärmepumpe abstimmen; in jedem Fall muss vermieden werden, dass die elektrische Direktheizung die Vorerwärmung mit übernimmt.
- ▮ Vorschriften zur Sicherstellung der Warmwassertemperatur beachten (Legionellenschaltung)
- ▮ Thermosyphon am Speicher einbauen, damit keine unkontrollierte Zirkulation entsteht

\* Diese Erkenntnisse resultieren zum Teil aus den Erfahrungen des IEA-Wärmepumpenprojekts Annex 37 „Demonstration of field measurements of heat pump systems in buildings – good examples with modern technology“. Projektteilnehmer sind Schweden, die Schweiz und Großbritannien. Die Laufzeit des Projekts endet im Herbst 2013. Projektteilnehmer aus der Schweiz sind Hubacher Engineering, Engelburg und Planair SA, La Sague.

## Peter Hubacher: „Lernen von den besten Wärmepumpenanlagen“

Woran liegt es, dass manche Wärmepumpenanlagen höchste Jahresarbeitszahlen erzielen, andere Anlagen dagegen energetisch total abfallen? Sicher ist, dass die Ursache in den wenigsten Fällen beim Wärmepumpengerät liegt, sondern im Zusammenspiel von Wärmepumpe, Wärmeverteilungssystem und Gebäude. Kriterien für Best-Practice-Wärmepumpensysteme werden

derzeit im Rahmen des IEA-Wärmepumpenprogramms Annex 37 festgelegt, international ausgearbeitet und demnächst als Best-Practice-Katalog mit Empfehlungen an die Fachbranche veröffentlicht.

Im Rahmen des nationalen Projektes der Schweiz wurden zehn Wärmepumpenanlagen mit Erdwärmesonden, eine Anlage mit Erdkollektor



Peter Hubacher

und fünf Anlagen mit Außenluft als Wärmequelle analysiert. Die Luft/Wasser-Anlagen erreichten eine durchschnittliche Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,45, die Sole/Wasser-Anlage eine JAZ von 4,87, gemessen ohne Trinkwassererwärmung (TWE). Mit TWE-Berücksichtigung liegt die JAZ bei den Sole/Wasser-Anlagen um 16,3 Prozent, bei den Außenluft/Wasser-Anlagen um 7,3 Prozent niedriger. Peter Hubacher, Hubacher Engineering, Engelburg, auch bekannt als Schweizer Wärmepumpendoktor, stellte bei seinen Messungen fest, dass selbst Best-Practice-Anlagen noch Potenzial für Ver-

besserungen haben. Typisch sei eine oftmals zu hohe Heiztemperatur, obwohl durch die energetische Qualität der Gebäudehülle niedrigere Vorlauftemperaturen möglich gewesen wären.

### **Lukas Gasser: „Höhere JAZ durch optimiertes Teillastverhalten und richtige Regelstrategie“**

Bei den vielen Erkenntnissen rund um die Entwicklung von Wärmepumpengeräten sowie bei der Dimensionierung und Anlagenkonzeption stellt sich dem Beobachter die Frage, warum viele dieser seit Langem bekannten Schwachstellen von der Industrie nur schleppend umgesetzt werden. So verdeutlichte das FAWA-Programm (Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen) des Bun-

desamtes für Energie aus den Jahren 1996 bis 2003, dass installierte Luft/Wasser-Wärmepumpen im Durchschnitt nur auf eine Jahresarbeitszahl von 2,6 kommen (gemessen ohne Speicher). Auch die im Jahr 2011 vorgestellte Studie des Fraunhofer-Instituts ISE, Freiburg, an ausgeführten Anlagen bestätigt mit einer durchschnittlichen JAZ von 2,95 (inklusive TWE) die offensichtlichen Know-how-Defizite bei der Dimensionierung, Montage und Regelung.

Umso interessanter sind die Untersuchungen von Lukas Gasser, André Brun und Beat Wellig von der Hochschule Luzern über den JAZ-Zuwachs leistungsgeregelter Wärmepumpen, der bei Luft/Wasser-Wär-



Lukas Gasser

mepumpen um 70 Prozent (!) und bei Sole/Wasser-Wärmepumpen um 5 bis 10 Prozent höher liegt als bei Ein/Aus-geregelten Wärmepumpengeräten. Das beachtliche Potenzial für Effizienzsteigerungen liegt nach Auffassung der Autoren verschiedener Studien in der intelligenten Verknüpfung drehzahlregelbarer Kältekompressoren, Ventilatoren und Pumpen. Voraussetzung sei allerdings, dass die Regelkurve die Diskrepanz zwischen der steigenden Heizleistung bei steigenden Heiztemperaturen und den diametral entgegengesetzten Wärmequellentemperaturen ausgleicht. Wegen der speziellen Charakteristika von Kompressoren und Ventilatoren bei Teillast und Volllast bedarf es einer genauen Abstimmung der Komponenten für Luft/Wasser-Wärmepumpen. Im Rahmen des Projektes „WEXA – Exergie-Analyse zur Effizienzsteigerung von Luft/Wasser-Wärmepumpen“ stellte sich heraus,

dass mit den heute zur Verfügung stehenden Komponenten eine kontinuierliche Leistungsregelung nur bis zu einer Außentemperatur von etwa 0°C sinnvoll ist. Bei höheren Außentemperaturen bringt die Ein/Aus-Regelung bessere COP-Werte.

Bei einem leistungsgeregelten Luft/Wasser-Wärmepumpen-Prototyp mit Inverter-Scroll-Verdichter mit Kältemittel-Dampfeinspritzung wurden (bezogen auf eine Außentemperatur von -10°C) folgende Jahresarbeitszahlen (inklusive Abtauenergie) gemessen:

- I Minergiegebäude: JAZ = 4,41 bei 30/25°C-Heizsystem
- I hochwertig sanierter Altbau: JAZ = 4,40 bei 41/35°C-Heizsystem
- I sanierter Altbau: JAZ = 3,79 bei 46/38°C- Heizsystem

Gasser betonte mehrfach, dass bei sanierten Altbauten das Energieeinsparpotenzial leistungsgeregelter Luft/Wasser-Wärmepumpen besonders hoch sei.

### Carsten Wemhöner: „Hoher Bedarf an integrierten Systemen für Null-Energiehäuser“

Ab 2021 müssen Neubauten laut EU-Gebäudeenergieeffizienz-Richtlinie (EPBD) den Standard „Nearly Zero Energy Building“ (NZEB) aufweisen. Das bedeutet, dass „Gebäude sich ganzjährig möglichst selbst mit Wärme sowie mit einem angemessenen Anteil Strom versorgen“, so die Definition der Konferenz der kantonalen Energiedirektoren (EnDK) der Schweiz. Obwohl es sich hierbei formal um ein Niedrigst-Energiegebäude handelt, werde das EU-Ziel auch mit „Netto-Null-Energie-Gebäude“ interpretiert, so Prof. Dr. Carsten Wemhöner, Hochschule für Technik, Rapperswil. Auch wenn noch keine präzise Definition des Standards und der Systemgrenzen für die Netto-Null-Bewertung vorliege, zeichne sich ab, dass mit Einführung dieses Energie-



Carsten Wemhöner

standards die Wärmepumpe das dominante Heiz- und Kühlsystem sein werde. Eine Auswertung von 200 nach Minergie-A-Standard zertifizierten Gebäuden in der Schweiz – Wärmekennzahl 0 kWh/(m<sup>2</sup>/a) – nach Heizsystemen ergab, dass 80 Prozent der zertifizierten Häuser mit Wärmepumpen und PV-Modulen ausgerüstet sind.

Im Rahmen des Wärmepumpenprogramms der Internationalen Energieagentur (IEA) soll nun im Projekt Annex 40 untersucht werden, welche Wärmepumpenlösung für Netto-Null-Energie-Gebäude in den teilnehmenden Ländern (Japan, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz und USA) schon eingesetzt und welche Anforderungen künftig an solche Systeme gestellt werden. Folgende Entwicklungspotenziale sind von den teilnehmenden Ländern bereits definiert:

- I Integration von Wärmepumpen mit solaren Technologien in die Gebäudehülle
- I Systemauslegung unter den Randbedingungen der Netto-Null-Energie-Bilanz
- I Regelungsverfahren im Zusammenspiel und der Optimierung des „Load Match“ (Charakteristik von Bedarf und Erzeugung)
- I direkte elektrische Kopplung von PV und Wärmepumpe (denkbar ist beispielsweise eine Gleichstrom-Klein-Wärmepumpe)
- I Leistungsbereich und Leistungsregelung von Wärmepumpen
- I angepasster Temperaturhub
- I Einsatz natürlicher Kältemittel
- I effizienter Warmwasserbetrieb mit solarem Deckungsanteil
- I Mehrquellensysteme zur Nutzung des saisonal am besten verfügbaren Quellentemperaturniveaus

Wie eine integrierte Wärmepumpen-Systemlösung künftig aussehen könnte, verdeutlicht eine vom US-amerikanischen Oak Ridge National Laboratory entwickelte Erdreich/Luft-Wärmepumpe mit integriertem Luftbehandlungsgerät, Wärmerückgewinnung, Luftentfeuchtung und Trinkwassererwärmung. Durch den Einsatz leistungsgeregelter Komponenten und die Integration mehrerer Funktionen könnten Einsparpotenziale von rund 50 Prozent gegenüber der marktverfügbaren Standardtechnologie erreicht werden, so Wemhöner.

### Jean-Christophe Hadorn: „Solar gestützte Wärmepumpensysteme werden favorisiert“

„Speziell optimierte Wärmepumpen-Heizsysteme für Nahezu-Null-Energie-Gebäude sind am Markt derzeit noch nicht von der Stange zu haben.“ Jean-Christophe Hadorn, Base Consultants S.A., Genf, und Leiter Schweiz des IEA-Programms Solar Heating and Cooling TASK 44 sowie des Heat Pump Program Annex 38, räumt ein, dass der Markt auf die künftigen Herausforderungen der europäischen Gebäudeenergieeffizienz-Richtlinie praktisch noch nicht reagiert hat. Als Leitlinie für die Entwicklung von Wärmepumpensystemen für Nahezu-Null-Energie-Gebäude im Leistungsbereich von 5 bis 20 kW Nennwärmeleistung definiert TASK 44/Annex 38 die folgenden vier Gattungen von Wärmepumpensystemen:



Jean-Christophe Hadorn

- I Das parallele Konzept: Wärmepumpe und Solarthermieanlagen arbeiten separat; beide Systeme sind über einen Wärmespeicher miteinander verbunden.
- I Das serielle Konzept: Solarthermiekollektoren liefern Wärme an den Verdampfer der Wärmepumpe. Genutzt wird sowohl die solare Strahlungswärme als auch die Umgebungswärme.
- I Das regenerative Konzept: Im Sommer wird die Wärme aus der Solarthermieanlage in den Erdwärmespeicher (Erdwärmesonde, Erdwärmekollektor) eingespeichert. Dieses Konzept eignet sich insbesondere für Anlagen mit eher knapp bemessenen Erdwärmesonden. Damit lassen sich diese regenerieren und Energie auf Vorrat einspeichern.
- I Das komplexe Konzept: Solare Wärme aus den Kollektoren wird in einem Pufferspeicher als primäre Wärmequelle für die Wärmepumpe zwischengespeichert.

Dadurch steht der Wärmepumpe eine Wärmequelle mit vergleichsweise hohem Temperaturniveau zur Verfügung. Reicht die Temperatur nicht aus, kann auf die Erdwärmesonde umgeschaltet werden.

Aktuell erfolgt im Rahmen des IEA-Programms die messtechnische Auswertung von 37 Anlagen. Alle Ergebnisse stehen Ende 2013, das finale Handbuch 2014, zur Verfügung. Weitere Informationen unter [www.task44.iea-shc.org](http://www.task44.iea-shc.org)

### Michel Haller: „Gute Komponenten machen noch kein gutes System“

Wie sehr es bei Solar-Wärmepumpenanlagen mit Kombispeichern auf hydraulische Details, Platzierung von Temperaturfühlern und Regelungsstrategien ankommt, ver-

deutlichen Untersuchungen an der Hochschule für Technik, Rapperswil. Dr. Michel Haller und sein Team fanden aufgrund von Labormessungen sowie Simulationsrechnungen heraus, dass bei einer Wärmepumpenanlage aus ein und denselben Komponenten – einmal mit ungünstiger Hydraulik und Regelungsstrategie und einmal mit optimalen Verknüpfungen – der Stromverbrauch um bis zu 47 Prozent abweichen kann, das entspricht mehr als 1000 kWh/a. Entscheidend für eine hohe Anlageneffizienz seien:

- eine ausreichende Distanz zwischen dem Warmwassersensor und der Raumwärmezone des Kombispeichers



Michel Haller

- eine klare Trennung der Speicherzonen „Trinkwassererwärmung“ und „Raumwärme“

- eine gute Speicherschaltung

Zu den typischen Problemen in Kombispeichern zählt die Verfrachtung von Energie aus der Trinkwarmwasserzone mit etwa 50°C in die Heizzone mit etwa 35°C. Dadurch müsse die Wärmepumpe unnötig hohe Temperaturen aufbringen, die zu einem schlechteren COP führen, so Haller. Seine Empfehlungen:

- der Abstand des Temperatursensors Warmwasserzone zur Raumwärmezone soll mindestens 20 cm betragen; Schichtungsverhalten des Kombispeichers beachten

- Speicheranschluss des Rücklaufs zur Wärmepumpe im Warmwasserbetrieb oberhalb der Raumwärmezone ansetzen. Prüfen, ob es nicht sinnvoller

ist, den Speicher bei Betrieb der Wärmepumpe im Raumwärmemodus ganz zu umgehen

- I hohe Fließgeschwindigkeiten durch Beladevolumenströme vermeiden
- I bei modulierenden Wärmepumpen und Raumheizsystemen mit garantiertem Mindestdurchfluss den Speicher hydraulisch umfahren. Speicher nur bei Nutzung von Solarwärme oder zur Verlängerung der Wärmepumpen-Laufzeiten aktivieren.

### Thomas Afjei: „Kombination von PVT-Kollektor und Wärmepumpe bietet höchsten spezifischen Energieertrag“

Die künftigen Null- oder Plus-Energiehäuser werden unzweifelhaft durch eine Kombination aus Wärmepumpe, Solarthermie, Photovoltaik und ggf. auch Eisspeicher, Erdwärmesonden oder Erdregister temperiert. Welches Systemkonzept für welchen Gebäudedämmstandard geeignet ist, wurde im Rahmen des Projektes SOFAWA (Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen) an der Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz, von Prof. Dr. Thomas Afjei und Team simuliert.

Untersucht wurden sechs Wärmeversorgungssysteme mit solarer Wärme- und Stromversorgung. Das Vergleichsobjekt ist ein Einfamilienhaus in den drei Dämmklassen 15 kWh/(m<sup>2</sup>/a), 45 kWh/(m<sup>2</sup>/a) und 100 kWh/(m<sup>2</sup>/a).

Folgende Systeme wurden untersucht

- I System 1 (Referenzhaus): Luft/Wasser-Wärmepumpe, PV-Anlage mit 50 m<sup>2</sup>
- I System 2: Luft/Wasser-Wärmepumpe, 8 m<sup>2</sup> Solarthermiekollektoren, Kombispeicher, PV-Anlage mit 42 m<sup>2</sup>
- I System 3: Luft/Wasser-Wärmepumpe, 50 m<sup>2</sup> Solarthermiekollektoren, 10 m<sup>3</sup> große Pufferspeicher, keine PV-Anlage
- I System 4: Wasser/Wasser-Wärmepumpe, 50 m<sup>2</sup> Solarmodule für die kombinierte Strom- und Wärmezeugung (PVT-Module), warmer Pufferspeicher mit 4 m<sup>3</sup> für die direkte Nutzung der

Solarwärme, kalter Pufferspeicher (600 Liter) als Wärmequelle für die Wasser/Wasser-Wärmepumpe

- I System 5: wie System 4, jedoch mit unverglasten Kunststoffabsorbieren, keine PV-Anlage
- I System 6: wie System 5, jedoch mit selektiv beschichteten unverglasten Kissenabsorbieren

Aus den detailliert vorliegenden Ergebnissen zieht Prof. Afjei folgende Schlussfolgerungen:

- I eine parallele Wärmeerzeugung mit solarthermischen Kollektoren und einer Wärmepumpe kann den Strombedarf der Wärmepumpe bei steigendem solarthermischen Anteil minimieren. Das System lässt sich effizient und technisch robust umsetzen
- I die Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaik ist technisch einfach und flexibel umsetzbar. Der Strombezug aus dem Netz lässt sich bei optimierter PV-Stromnutzung deutlich senken
- I die Kombination Wärmepumpe und PVT-Kollektor erzielt den höchsten Energieertrag pro Quadratmeter Kollektorfläche. Gegenüber einer rein solarthermischen Systemlösung wird ein zusätzlicher sommerlicher PV-Stromüberschuss erzielt

Eine Simulationsrechnung mit einem Solar-Eis-System, nicht abgedeckten Absorbieren und Sole/Wasser-Wärmepumpe für die vorgenannten Dämmklassen 15/45/100 kWh/(m<sup>2</sup>/a), ergab folgendes Bild:

- I das Solar-Eis-System eignet sich nicht für Ein- und Zweifamilienhäuser mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf. Das mag auch daran liegen, dass es derzeit noch kein „passendes“ Wärmepumpengerät gibt. Die simulierte 6-kW-Wärmepumpe war um den Faktor 2 bis 3 zu groß (JAZ = 3,73). Auch war der Anteil der Hilfsenergien für Pumpen vergleichsweise hoch

- I die höchste JAZ wurde für das Gebäude mit dem spezifischen Heizwärmebedarf von 45 kWh/(m<sup>2</sup> a) erzielt (JAZ = 4,23)
- I bei Gebäuden mit 100 kWh/(m<sup>2</sup> a) Heizwärmebedarf führte eine höhere Vorlauftemperatur (Annahme Bestandsgebäude) zu einer Verschlechterung der JAZ (4,02).

#### Fazit

Wärmepumpen spielen bei der Umsetzung der Energiewende eine maßgebliche Rolle. Forschungsprojekte in der Schweiz deuten darauf hin, dass noch signifikante Effizienzreserven bei Wärmepumpen vorhanden sind, insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Mit dem Umbau der Stromnetze ergeben sich wirtschaftlich interessante Schnittstellen zum öffentlichen Netz, aber auch zu PV-Anlagen, die einen „intelligenten“ Betrieb der Wärmepumpe zulassen. Mit der Einführung von Nahezu-Null-Energie-Gebäuden bedarf es neuer Wärmepumpengeräte kleiner Leistung, die solarthermische, photovoltaische und geothermische Energieangebote gleichermaßen nutzen können. Wesentliche Effizienzverbesserungen bei Wärmepumpen sind durch die Einführung von leistungsgeregelten Niederhub-Wärmepumpen sowie von Mini-Turboverdichtern zu erwarten.

Auf der Kältemittelseite gewinnen die natürlichen Stoffe weiter an Bedeutung, zumal der Wechsel von synthetischen zu natürlichen Kältemitteln meist auch mit einem Effizienzgewinn verbunden ist. Wichtig bei künftigen Wärmepumpenkonzepten ist die Minimierung der Kältemittelfüllmenge, egal ob es sich um synthetische (Kostensteigerung) oder natürliche Kältemittel (Sicherheitsaspekt) handelt. Als sogenanntes „reifes Wärmepumpenland“ nimmt die Schweiz bei der Entwicklung innovativer Wärmepumpen- und Kälteanlagenkonzepte eine Führungsrolle ein. Die Best-Practice-Initiative der Schweizer hat deshalb auch für deutsche TGA-Fachplaner, SHK-Fachbetriebe, Kältefachfirmen und HLK-Anlagenbauer eine Vorbildfunktion. ■



Thomas Afjei