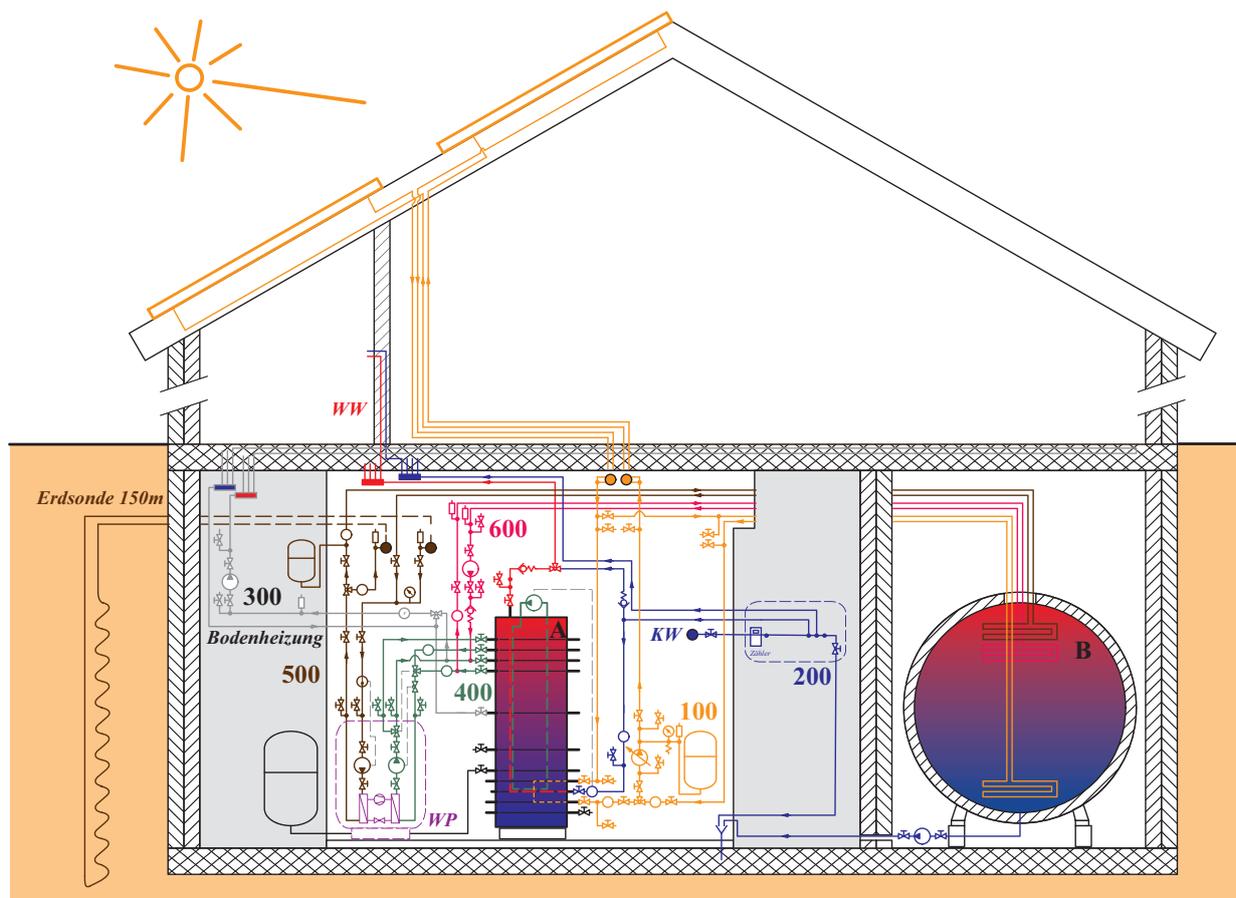


Überblicksbericht 2012

Forschungsprogramm Wärmepumpen und Kälte



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:

Solarkollektoren und Wärmepumpen mit 28 m³-Speicher im Praxistest

Trotz hoher Qualität der Einzelkomponenten funktionieren kombinierte Systeme in der Praxis mit konventioneller Heizungssteuerung nicht effizient. Die Voraussetzungen für einen optimalen Abgleich der Systeme wurde im Projekt *OPTIGEN* [8] untersucht. Das Titelbild zeigt das hydraulische Schema der technischen Anlage des Pilotobjekts. Gelb: Solarkreislauf; blau: Kaltwasser; pink: Saisonspeicher «B» zu Nutzspeicher «A»; braun: Vom Saisonspeicher zur Wärmepumpe; grün: Von der Wärmepumpe zum Nutzspeicher (zwei Schichthöhen); grau: Bodenheizung; rot: sanitäres Warmwasser.

BFE Forschungsprogramm Wärmepumpen und Kälte

Überblicksbericht 2012

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Stephan Renz, Beratung Renz Consulting (renz.btr@swissonline.ch)

Bereichsleiter BFE:

Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

<http://www.bfe.admin.ch/forschungwkk>

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Einleitung

Wärmepumpen werden als hoch effiziente Energieanlagen in zig-tausend Anwendungen eingesetzt. Aktuell sind in der Schweiz über 200'000 Wärmepumpen installiert. Jährlich werden rund 20'000 Stück verkauft. Einen sehr hohen Anteil und auch einen starken Zuwachs weisen Wärmepumpen im Bereich der Gebäudebeheizung auf. So wurden in der Schweiz 2012 insgesamt 19'443 Wärmepumpen neu installiert. Dies entspricht ungefähr dem durchschnittlichen jährlichen Zubau der letzten 5 Jahre [1]. Es entstehen jedoch zunehmend höhere Anforderungen an die Effizienz und die Flexibilität der Systeme. Durch die Zielsetzung, den Stromverbrauch zu reduzieren, müssen die Systeme möglichst über das ganze Einsatzprofil eine hohe Leistungsziffer ausweisen. Die Energieversorgung der Gebäude erfolgt vielfach durch mehrere Energiesysteme und es entstehen Kombinationen von Wärmepumpen mit Solarthermie oder auch mit Fotovoltaik. Die Effizienz der Wärmepumpenanlage hängt auch von den Eigenschaften der Wärmequelle und der Wärmesenke ab. Diese werden durch den Standort des Gebäudes (welche Wärmequelle ist verfügbar?) und die Art des Gebäudes (Art der Beheizung, Leistungsbedarf und Temperaturbedarf) bestimmt. Es geht also darum, bestmögliche Installations- und Betriebskonzepte zu finden und diese im Markt zur Anwendung bringen.

Wärmepumpen können jedoch auch in vielen Industrieanwendungen eingesetzt werden und helfen den Energieverbrauch zu senken. In der Industrie, im Gewerbe und teilweise in Dienstleistungsbetrieben werden auch Kältemaschinen benötigt. Sie dienen zur Kühlung von Räumen, Medien und Produkten bis zu tiefsten Temperaturen. Auch hier gelten die gleichen Herausforderungen wie bei Wärmepumpen: hohe Effizienz und optimale Einbindung in die Prozesse.

Ein besonders Augenmerk gilt den Kältemitteln. Zu beachten sind die Eigenschaften, die für das vorgesehene Einsatzgebiet der Wärmepumpen oder der Kältemaschinen erforderlich sind sowie das Umweltschädigungs- und Gefahrenpotenzial der Kältemittel. Eine kritische Grösse ist deren Treibhausgaspotenzial.

Werden die vorgenannten Herausforderungen der Wärmepumpen beherrscht, können diese einen wichtigen Betrag zur Energiestrategie 2050 des Bundes leisten und den Verbrauch an fossilen Energieträgern senken.

In der Schweiz sind zahlreiche Firmen vorhanden, welche in der Entwicklung und in der Herstellung von Komponenten sowie in der Fertigung von Serienprodukten aber auch von Anlagen tätig sind. Damit wird ein Leistungsspektrum vom Kilowatt bis zum Multi-Megawatt-Bereich abgedeckt. Hinzu kommt ein hoher Wissenstand in Entwicklungsbü-

ros sowie in der Lehre und in der Forschung an Hochschulen. Dies zeigt sich beispielsweise auch in der Mitarbeit und der Leitung von Forschungsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) durch Schweizer Forschende.

Das Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt zahlreiche Projekte, welche die vorgenannten Herausforderungen angehen. Die Ziele der Forschungsunterstützung sind im Detailkonzept des Forschungsprogramms *Wärmepumpen und Kälte* festgelegt [2].

Im vorliegenden Jahresbericht informieren wir über unsere Forschungsziele und Schwerpunkte sowie einige Highlights aus laufenden Forschungsprojekten. Eine Zusammenstellung sämtlicher Forschungsprojekte ist am Schluss aufgelistet und Berichte über die Projekte sind auf der Website des BFE [3] verfügbar.

IEA Klassifikation: 3.7 Other Renewables

Schweizer Klassifikation: 2.3 Umgebungswärme

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm *Wärmepumpen und Kälte* fördert gemäss dem Energieforschungskonzept des Bundes [4] und dem dazugehörigen Detailkonzept [2] die Entwicklung von modernen Heiz- und Kühlsystemen. Mittelfristig soll keine fossile Energie mehr direkt für Heizzwecke eingesetzt werden. Heute wird im Sektor Haushalte immer noch rund 60 % fossile Energie vor allem für Heizzwecke eingesetzt [5]. Erst ca 15 % des Energieverbrauches der Haushalte stammt aus erneuerbarer Energie. In der Kälteerzeugung und -anwendung ist eine Energieeinsparung von ca. 25 % möglich [6]. Diese Ziele können über eine verbesserte Effizienz der Komponenten und eine optimierte Systemintegration erreicht werden. Kostenreduktionen sind Voraussetzungen, um eine rasche Marktpenetration zu erreichen. Diese können durch Standardisierung der Komponenten und Systeme erreicht werden.

Schwerpunkte der Periode 2008 bis 2012

- Verbesserung der Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen;
- Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen und Kälteanlagen auch bezüglich Integration mit Solaranlagen und Speicher;
- Hocheffiziente Systeme für Warmwasseraufbereitung;
- Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and heat);
- Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen.

Rückblick und Bewertung 2012

Verschiedene Projekte konnten erfolgreich abgeschlossen werden. So das Projekt *Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung* [7] indem die Grundlagen für die kontinuierliche Leistungsregelung L/W-WP erarbeitet und experimentell überprüft wurden. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) wurde um 20–50 % verbessert und erreichte mit 4,4 ein Wert für gute Sole/Wasser-Wärmepumpen. In einem Folgeprojekt werden nun die Möglichkeiten der Leistungsregelung von Sole/Wasserwärmepumpen untersucht. Im ebenfalls beendeten Projekt *OPTIGEN* [8] konnte der Nutzen und die Voraussetzungen für die Einbindung eines Saisonspeichers von 28 m² in eine Wärmepumpe-Solar Kollektor-Anlage an einem realen Beispiel erprobt werden. Interessante Ergebnisse zeigte auch das abgeschlossene Projekt *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen* [9]. Durch theoretische Abklärungen wurde ein Konzept für den Beginn der Kompression im Zweiphasengebiet erarbeitet, also dort, wo das Kältemittel im gasförmigen und flüssigen Zustand ist. Erwartet wird eine Verbesserung der Leistungsziffer von 20 %. In einem nächsten Projekt soll die Theorie nun experimentell überprüft werden.

Wiederum sehr erfolgreich konnte die 18. Wärmepumpentagung in Burgdorf durchgeführt werden. Sie ist der Treffpunkt der Schweizer Fachleute aus dem Wärmepumpen- und Kältemaschinenbereich.

Mitte 2012 wechselte die Programm- und die Bereichsleitung des BFE-Forschungsprogramms *Wärmepumpen und Kälte* von Thomas Kopp (Hochschule Rapperswil) und Andreas Eckmanns (BFE) an Stephan Renz (Beratung Renz Consulting) und Martin Pulfer (BFE).

Ausblick

Mit Interesse wird die Auswertung der Messergebnisse der Feldtestanlagen im Projekt *Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen* [10] erwartet. Gewerbliche Kälteanlagen bewirken einen grossen Anteil des Stromverbrauchs in Supermärkten und im Lebensmittel-grosshandel. Die Verbesserung der Effizienz kann deshalb einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des Stromverbrauchs dieser Branche leisten. Erste Ergebnisse werden auch vom Ende 2012 gestarteten Projekt *Sole/Wasserwärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung* [11] erwartet. Abgeschlossen wird der Annex 37 *Demonstration of Field Measurements of Heat Pump Systems in Buildings – Good Examples with Modern Technology* [12] des IEA Heat Pump Programme (HPP), zu dem die Schweiz ebenfalls einen Beitrag geleistet hat. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen möglichst rasch in die Praxis umgesetzt werden. Hierzu wird eine Zusammenarbeit mit EnergieSchweiz und dem Fachverband Wärmepumpen Schweiz (FWS) erfolgen. Das IEA HPP hat neue Annexes gestartet und vorgeschlagen. So den Annex 40 *Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings*, der von C. Wemhöner von der Hochschule Rapperswil (HSR) geleitet wird sowie den Annex 41 *Cold Climate Heat Pumps*. Im Frühjahr 2013 wird zudem der Annex 42 *Heat Pumps in Smart grids* gestartet werden. Eine Beteiligung von Schweizer Forschenden in diesen Projekten wird 2013 geprüft werden.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen

Der Kreisprozess einer Wärmepumpe weicht in der Praxis in vielen Bereichen vom idealen Carnotprozess ab und erreicht deshalb nur etwa die Hälfte der theoretischen Effizienz. Neben diversen Verlusten (Wärme, Reibung) spielt vor allem die Abweichung bei der Kompression des Kältemittels eine wichtige Rolle. In der Kompressionsmaschine darf keine Flüssigkeit vorhanden sein, sondern das zu verdichtende Medium muss jederzeit gasförmig sein. Die Kompression erfolgt deshalb erst nach der vollständigen Verdampfung des Kältemittels und erreicht eine weitaus höhere Temperatur als für die Kondensation notwendig (Fig. 1). Dafür ist zusätzliche Arbeit erforderlich, welche schlussendlich verloren ist.

Im Projekt *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen* der HSR [9] wurden vorerst auf theoretischer Basis Verbesserungsmöglichkeiten untersucht. Die Idee ist, noch vor der vollständigen Verdampfung das Kältemittel – also im Zweiphasengebiet – mit der Kompression zu beginnen und am Ende ein vollständig gasförmiges Medium zu erreichen. Damit keine Beschädigung des Kompressors durch Flüssigkeitstropfen entsteht, soll das Zweiphasengemisch durch eine Zerstäubung auf Tropfen von maximal $1\ \mu\text{m}$ bis $4\ \mu\text{m}$ begrenzt werden. Dies soll durch die Eindüsung von Flüssigkeit, die vor der Drossel entnommen wird, in das aus dem Verdampfer strömende gesättigte Gas erfolgen. Die sehr kleinen Tropfen verdampfen während der Kompression vollständig, womit das Ziel, ein gesättigtes Gas am Kompressoraustritt zu erreichen, erfüllt wird. Die thermodynamischen Analysen dieses Prozesses ergaben eine Effizienzsteigerung von 20 % gegenüber heutigen Wärmepumpen. Damit bestehende Kompressoren genutzt werden können, soll die Zerstäubung durch ein vorgeschaltetes Gerät erfolgen. Die Herausforderung wird sein, die Tropfen in der gewünschten Feinheit zu erzeugen und zu gewährleisten, dass im Kompressor in keinem Betriebszustand Flüssigkeit in der Form von grösseren Tropfen entsteht. In der nächsten Projektphase soll das theoretisch erarbeitete Konzept experimentell überprüft werden.

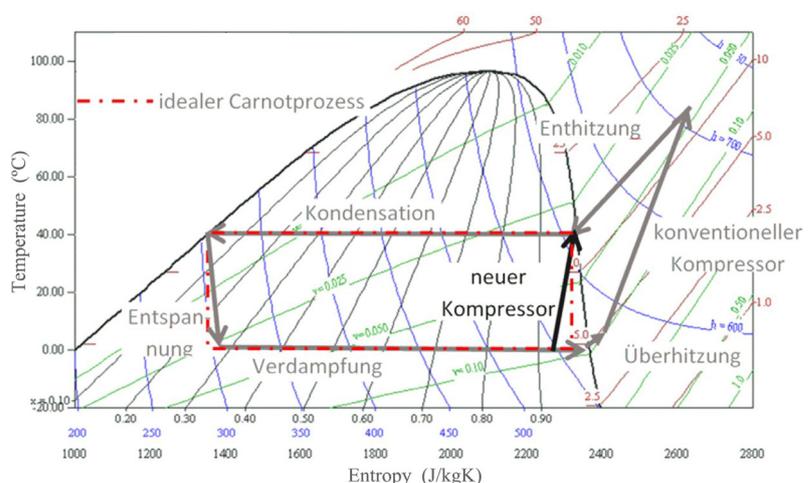
Leistungsregelung – ein Schlüssel zur Effizienzsteigerung

Der grösste Wärmeleistungsbedarf eines Gebäudes entsteht bei der tiefsten Aussentemperatur, die im Winter zu erwarten ist. Obschon dieser maximale Bedarf in der Regel kaum oder nur wenige Stunden pro Jahr benötigt wird, muss ein Heizsystem für diese Situation ausgelegt werden. Mit 50 % der maximal erforderlichen Heizleistung können rund 80 % des jährlichen Wärmebedarfs abgedeckt werden. Bei monovalenten Heizsystemen mit Wärmepumpen bedeutet dies, dass deren maximale Leistung selten kontinuierlich benötigt wird und diese vorwiegend Ein/Aus geschaltet wird. Bei jedem Einschalten müssen die maximalen Kältemittel- sowie Wärmequellen- und Wärmesenken-Massenströme gefördert werden. Dies ist insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen problematisch, weil im Auslegungspunkt des Ventilators, also bei sehr tiefen Aussentemperaturen, sehr grosse Luftmengen gefördert werden müssen. Dies führt beispielsweise bereits bei Aussentemperaturen im Plusbereich zur Vereisung des Verdampfers.

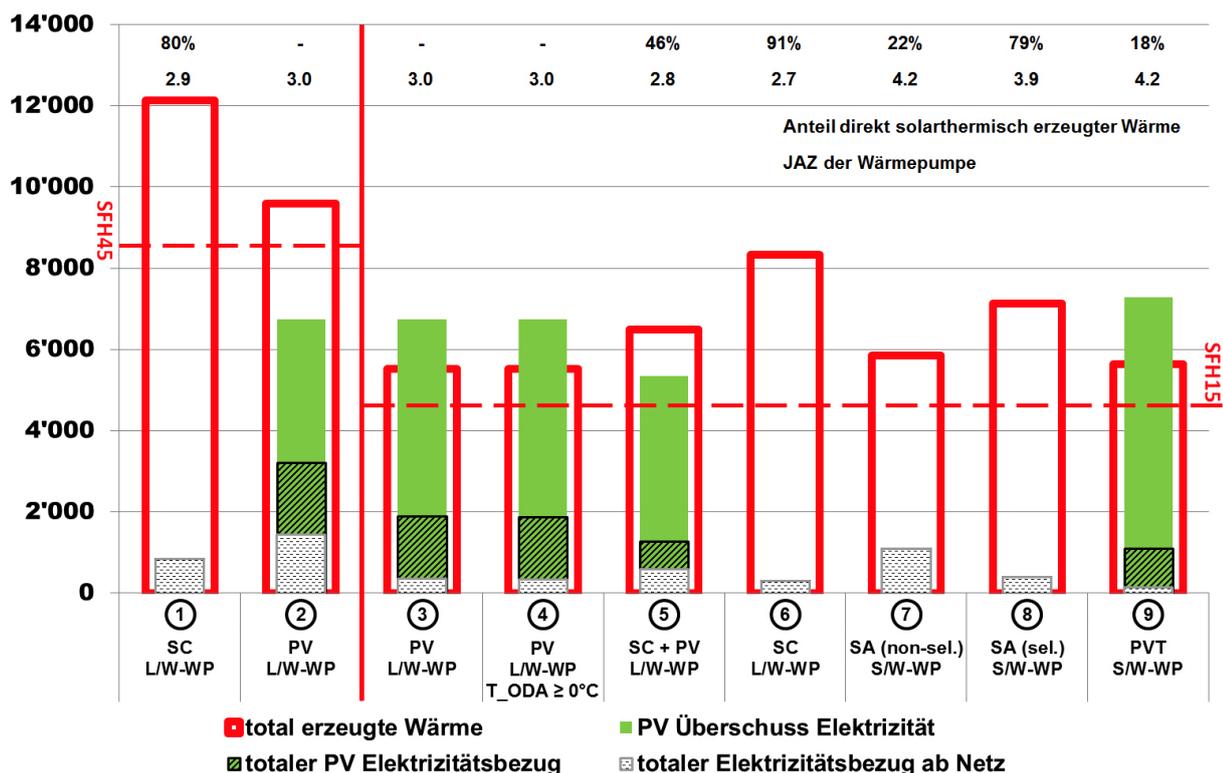
Viel effizienter ist der kontinuierliche Betrieb von Kompressor und Ventilator

der Luft/Wasser-Wärmepumpe im Teillastbereich, also mit deutlich geringeren Massenströmen. Zu berücksichtigen ist jedoch der Teillastwirkungsgrad der diversen Komponenten, welcher ab einer gewissen Last erheblich absinken kann.

Im abgeschlossenen Projekt *Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe durch kontinuierliche Leistungsregelung* wurden dazu an der Hochschule Luzern [7] theoretische und experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurden die Teillastwirkungsgrade des Kompressors und des Ventilators ausgemessen und die Ergebnisse als Kennfeld für eine optimale Regelung eingesetzt. Untersucht wurden drei verschiedene Prototypen von Luft/Wasser-Wärmepumpen: Digital-Scroll-Kompressor, Inverter-Scroll-Kompressor ohne Dampfeinspritzung sowie Inverter-Scroll-Kompressor mit Dampfeinspritzung. Wegen dem schlechten Teillastverhalten für Wärmepumpe-Anwendungen erlaubt der Digital-Scroll-Prototyp keine signifikante Effizienzsteigerung im Vergleich zur Ein/Aus-Regelung. Beim Inverter-Scroll-Kompressor ohne Dampfeinspritzung wurde eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl um rund 20–50 % erreicht. Dieses System ist jedoch nicht geeignet für Gebäude mit höheren Heizwassertemperaturen. Mit dem Inverter-Scroll-Kompressor



Figur 1: Temperatur-Entropie-Diagramm am Beispiel des Arbeitsmediums R290 (Propan). Eingezeichnet ist die Prozessführung in einem Betriebspunkt (Verdampfungstemperatur $0\ ^\circ\text{C}$, Kondensationstemperatur $40\ ^\circ\text{C}$) mit konventionellem Kompressor, mit dem neuen Kompressor und ein idealer Carnotprozess [9].



Figur 2: Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Systemsimulationen [14].

mit Dampfeinspritzung wurde eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4.4 für ein Gebäude mit Minenergie-Standard und 3,8 für einen sanierten Altbau erreicht. Damit wird eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu Ein/Aus-geregelten Systemen erreicht und dies insbesondere auch für sanierte Altbauten. Die positiven energetischen Ergebnisse wirken sich auch günstig auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen aus, zumal der Mehraufwand für die Leistungsregelung gering ist. Im 2012 gestarteten Nachfolgeprojekt *Sole/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung* [11] sollen die gewonnenen Erkenntnisse auch für diese Anlagenkonfiguration angewendet werden können.

Kombination von Wärmepumpen und Solartechnik

Für die Energieversorgung neuer aber auch bestehender Gebäude werden in zunehmender Anzahl Solaranlagen installiert. Dazu gehören solarthermische Kollektoren und seit der Förderung durch die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) in grösserem Umfang auch Fotovoltaikanlagen. Interessant ist nun die Kombination der Solartechnik mit Wärmepumpen und dabei die Frage nach den Voraussetzungen für bestmögliche Systeme. Ein Beispiel ist die optimale Abstimmung der Systeme zwischen Tag- und Nachbetrieb unter der Berücksichtigung von geeigneten Energiespeichern. Die Problematik wurde auch international erkannt und führte beispielsweise zu einem gemeinsamen Projekt *Solar and Heat Pumpen Systems* [13] der beiden Implementing Agreements Solar Heating and Cooling (SHC) sowie Heat Pump Programme (HPP) der IEA. Daran beteiligen sich 12 Länder mit 30 Forscherteams. Bei zwei Projekten arbeiten Schweizer Forscherteams mit.

Im Projekt *Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen* der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) [14] wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Kombinationen dieser unterschiedlichen Energiesysteme untersucht. Basis für den Systemvergleich sind Einfamilienhäuser mit einem Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²/a und 45 kWh/m²/a. Für die solare Energiequelle wurde eine südorientierte Dachfläche von 50 m² angenommen. Insgesamt wurden 9 verschiedene Varianten mit Luft/ Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpen, solare Wärme- und Stromerzeugung sowie Kombinationen davon untersucht. Hinzu kamen diverse Grössen der Wärmespeicher. In Figur 2 sind die Ergebnisse der Systemsimulationen dargestellt. Varianten 1 und 6 sind mit hocheffizienten Solarkollektoren sowie einem saisonalen Wärmespeicher ausgerüstet und erzeugen die grössten Wärmemengen. Wegen den saisonalen Schwankungen muss dennoch ein Teil der Wärme mittels Wärmepumpe erzeugt werden. Deren Strombedarf

ist zwar sehr gering, er muss aber vollständig aus dem Netz bezogen werden. Obschon mit den Fotovoltaikanlagen in Variante 2 bis 4 Überschussstrom produziert wird, muss im Winter teilweise Strom aus dem Netz bezogen werden und zwar mehr als in den vorgenannten Varianten 1 und 6. In Variante 5 wurden 42 m² Fotovoltaik sowie 8 m² Solar Kollektoren eingesetzt. Bei geringerem Stromüberschuss der Fotovoltaikanlage ist der Strombedarf aus dem Netz grösser als bei der reinen Fotovoltaik-Lösung. Interessant ist Variante 9 mit fotovoltaisch-thermischen Kollektoren. Dies führt zum insgesamt geringsten Netz-Strombezug bei gleichzeitig höchstem Elektrizitätsüberschuss. Die Simulationsergebnisse werden in den weiteren Arbeiten mit Systemtests validiert und die Regelungsstrategien werden untersucht werden. Zudem werden Abschätzungen über die Wirtschaftlichkeit der diversen Varianten durchgeführt werden. Bei diesen Ergebnissen ist zu beachten, dass diese für Gebäude mit sehr geringem Wärmebedarf gelten.

Effizienzsteigerung von CO₂-Kälteanlagen

In der Grossgewerbekälte gewannen Kälteanlagen, die das natürliche Kältemittel CO₂ nutzen, stark an Bedeutung. Schweizer Supermarkt- und Grosshandelsketten installieren vorwiegend transkritische CO₂-Kälteanlagen. Die Anlagen sind heute robust, erreichen sehr gute Leistungsziffern und haben den Vorteil, dass kein synthetisches Fluor-Kohlenwasserstoff-(FKW)-Kältemittel eingesetzt wird. Die speziellen Eigenschaften der CO₂-Anlagen wie hohe Drücke und hohe Temperaturen erfordern auch besondere Massnahmen, um einen möglichst effizienten Betrieb zu gewährleisten. Im Projekt *Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen* untersucht Frigo-Consulting AG [10] entsprechende Methoden. Basis bilden drei Feldtestanlagen, in denen eine integrierte Expansionsmaschine, die Kombination aus einer CO₂-Kälteanlage und einer Adsorptionskälteanlage sowie eine CO₂-Kälteanlage mit Parallelkompressi-



Figur 3: Transkritische CO₂-Kälteanlage der Migros Ebikon. Anlage mit 10 Verdichtern, wovon 5 für die Pluskühlung (170 kW), 4 für die Minuskühlung (40 kW) und 1 als Parallelverdichter eingesetzt werden [10].

on (Figur 3) untersucht werden. Zudem werden weitere Methoden zur Effizienzsteigerung evaluiert. Daraus sollen zwei bezüglich Einspar- und Marktpotenzial erfolgversprechende Methoden konkretisiert werden. Aus dem Projekt werden ein systematisches Auswahlverfahren für die Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen resultieren sowie von drei bereits realisierten Methoden anhand von Messresultaten das effektive Einsparpotenzial validiert sein. Zur Effizienzsteigerung werden folgende Methoden untersucht:

- Reduktion der Drosselverluste (Expansionsmaschine, Parallelverdichtung);
- Reduktion der Wärmesenktemperatur (andere Wärmesenke, adiabatische Kühlung, Speicher und nächtliche Abkühlung);
- Externe Unterkühlung (mit Gebäudeklimaanlage, Ab-/Adsorberkältemaschine);
- Optimierte Regelungstechnik (Hochdruckregelung, Gaskühler-Austrittstemperatur);

- Saugdruck erhöhen (CO₂-Umpumpsystem, Ejektor);
- Abwärme in Strom umwandeln (Rankine-Prozess, Stirling-Motor);
- Energiespeicherung (Kältespeicherung und Betrieb bei günstigem Strom oder Nachts bei tieferen Rückkühltemperaturen).

Neben den in den vorgenannten Feldtestanlagen untersuchten Methoden, wird die *Optimierung der Regelungstechnik sowie die adiabatische Kühlung* bezüglich Effizienzverbesserung und Marktakzeptanz als vielversprechend weiterverfolgt.

Nationale Zusammenarbeit

Die Teams der Schweizer Wärmepumpen- und Kältemaschinen-Forschung sind gut vernetzt und pflegen eine Zusammenarbeit auch zwischen der Hochschul- und der Industrieforschung. Hinzu kommen die Kontakte zu den Umsetzungspartnern wie Architekten und Planern sowie zu den Nutzern. Dies manifestiert sich an der jährlich vom BFE organisierten Wärmepumpentagung, an der sich in Burgdorf jeweils rund 300 Personen aus Forschung, Herstellung, Umsetzung und Anwendung treffen. Durch Projektbegleitgruppen mit Industrievertretern erfolgt der notwendige Praxisbezug in von Hochschulen bearbeiteten Projekten. So wurde das eher grundlagenorientierte Projekt *Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen* der HSR [9] durch Spezialisten der Firmen Burckhardt Compression, Haug Kompressoren, DUAP Einspritzsysteme sowie Hoval Wärmepumpen begleitet. Im Projekt *Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen* [10] erfolgt eine Zusammenarbeit mit Prodega Basel und Prodega St. Blaise so-

wie Migros Ebikon, die als Anwender ihre Kälteanlagen für Feldtests zur Verfügung stellen. Zahlreiche Fachhochschulen arbeiten im Projekt *Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen* [14] zusammen. Dazu gehören die Institute IEBau (FHNW), SPF (HSR), HEFR (Fribourg), LESBAT (HEIG-VD) und FOREL (Universität Genf).

Mit den Branchenverbänden besteht ein Informationsaustausch, so zum Fachverband Wärmepumpe Schweiz (FWS), Schweizer Verein für Kältetechnik (SVK) sowie Schweizer Verein für Gebäudetechnik-Ingenieure (SWKI). Im Rahmen der BFE-Forschungsprogramme besteht vor allem eine Zusammenarbeit mit den Programmen *Solarwärme und Wärmespeicherung*, *Energie in Gebäuden*, *Elektrizitätstechnologien und -anwendungen* sowie *Verfahrenstechnik*.

Zudem bestehen Kontakte zu anderen Forscherorganisationen wie SwisselectricResearch sowie zu kantonalen Ämtern.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit erfolgt vor allem durch eine aktive Mitarbeit im IEA HPP. Schweizer Forschende arbeiteten 2012 in 4 Projekten (Annexes) des IEA HPP mit. Im Annex 37 *Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings* [12] sind Forschende aus 4 verschiedenen Ländern engagiert, wobei die Schweizer Vertreter ein Teilprojekt (Task) bearbeiten. Eine sehr umfassende internationale Zusammenarbeit findet im Annex 38 *Solar and Heat Pump Systems* [13] statt, der gemeinsam mit dem Annex 44 das IEA Implementing Agreement Solar Heating and Cooling bearbeitet wird. In dieser Kooperation sind 12 verschiedene Länder involviert und sie wird von der Schweizer Vertretung geleitet. Die Schweiz steuert je ein Projekt der FHNW und der FH Fribourg bei. Im Annex 39 *A common method for testing and rating of residential heat pumps and air conditioners annual/seasonal performance (SPF)* [15] an dem 8 verschiedene Länder beteiligt

sind, bearbeitet die FHNW mit dem Projekt *Effizienz kombinierter Systeme mit Wärmepumpen* [16] ein Teilprojekt. Hier findet auch eine Zusammenarbeit mit dem deutschen Bundesverband Wärmepumpen (bwp) statt. Der 2012 neu gestartete Annex 40 *Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings* [17] wurde auf Initiative des IET der HSR gestartet und wird von diesem geleitet. Zur Zeit arbeiten darin 6 verschiedene Länder zusammen.

Die Berichte aus den IEA HPP Annexes werden jeweils auf der Website des Heat Pump Centres publiziert und sind für die Mitglieder zugänglich. Dadurch wird ein breit abgestütztes Wissen zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Projektarbeit organisiert das IEA HPP zahlreiche Workshops. Alle drei Jahre wird eine internationale Wärmepumpenkonferenz durchgeführt. Die nächste wird 2014 in Montreal stattfinden.

Referenzen

- [1] Wärmepumpenstatistik 2012, Fachverband Wärmepumpen Schweiz (FWS)
- [2] Th. Kopp, A. Eckmanns: Detailkonzept des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte 2008–2011, BFE (2009)
- [3] BFE, Forschungsprogramm Wärmepumpen und Kälte, <http://www.bfe.admin.ch/forschungwkk/>
- [4] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008–2011, BFE (2007)
- [5] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010, BFE (2011)
- [6] Thomas Lang, Basler & Hofmann: Workshop Lücken zwischen den Gewerken, Kälte-Forum 2008
- [7] L. Gasser, M. Albert, M. Häusermann, B. Wellig: Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung, BFE-Schlussbericht (2012)
- [8] P. Kurmann, T. Mesot, T. Ursenbacher: OPTIGEN Optimierung der Einbindung eines 28-m³-Wasserspeichers in die Beheizung und die WW-Versorgung eines EFH mit WW-Wärmepumpe und Solarkollektoren, BFE-Schlussbericht (2012)
- [9] M. Friedel, Th. Wüst: Zweiphasenkompressor für Wärmepumpen, BFE-Schlussbericht (2012)
- [10] J. Schönenberger: Effizienzsteigerungen von transkritischen CO₂-Kälteanlagen, BFE-Jahresbericht (2012)
- [11] I. Wyssen, A. Brun, L. Gasser, B. Wellig: Sole/Wasser-Wärmepumpen mit kontinuierlicher Leistungsregelung, BFE-Jahresbericht (2012)
- [12] IEA-HPP-Annex 37: Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings, (www.heatpump-centre.org)
- [13] IEA-HPP-Annex 38: Solar and Heat Pump Systems, (www.heatpumpcentre.org)
- [14] R. Dott, Th. Afjei: SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen, BFE-Jahresbericht (2012)
- [15] IEA-HPP-Annex 39: A common method for testing and rating of residential heat pumps and air conditioners annual/seasonal performance, (www.heatpumpcentre.org)
- [16] A. Generkinger, Th. Afjei: EFKOS - Effizienz kombinierter Systeme mit Wärmepumpen, BFE Jahresbericht (2012)
- [17]] IEA-HPP-Annex 40: Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings, (www.heatpumpcentre.org)

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- EFFIZIENTE LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPEN DURCH KONTINUIERLICHE LEISTUNGSREGELUNG**

R&D 7.2*

| | |
|---|-------------------|
| Lead: Hochschule Luzern – Technik und Architektur | Funding: BFE |
| Contact: Beat Wellig beat.wellig@hslu.ch | Period: 2008–2012 |

Abstract: Als Ziel sollen Auslegungs- und Planungsgrundlagen für LW-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung erarbeitet werden. Das Potenzial der Leistungsregelung wurde durch drei verschiedene Prototypen leistungsgeregelter LW-WP bestätigt. Bei der Verwendung effizient regelbarer Kompressoren und Ventilatoren liegen die erreichbaren Jahresarbeitszahlen leistungsgeregelter LW-WP im Bereich von heutigen Ein/Aus-geregelten Sole/Wasser-Wärmepumpen.
- IEA-HPP-ANNEX 38: SOLAR AND HEAT PUMP SYSTEMS**

R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: IEA Heat Pump Programme, Borås, Sweden | Funding: BFE |
| Contact: www.heatpumpcentre.org | Period: 2010–2014 |

Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 38 hat das Ziel, die Einsatzmöglichkeiten der Kombination von Wärmepumpen und Solarthermie zu evaluieren und zu optimieren. Dazu werden existierende Systeme bewertet und heutige Testmethoden verglichen. Simulationen von heutigen Systemen und ergänzenden neuen Komponenten sollen das erreichbare Potenzial aufzeigen.
- SOFOWA – KOMBINATION VON SOLAROTHERMIE, FOTOVOLTAIK UND WÄRMEPUMPEN**

R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut am Bau | Funding: BFE |
| Contact: Ralf Dott, Thomas Afjei thomas.afjei@fhnw.ch | Period: 2010–2014 |

Abstract: Niedrigenergiehäuser sind durch die Verschärfung der Energievorschriften zum Standard für Neubauten geworden. Nach gängiger Definition gehen Netto-Nullenergiehäuser meist mit einer gebäudeintegrierten Solartechnik einher. Ziel des Projekts ist mittels Simulation erfolgversprechende Kombinationen von Wärmepumpe und Solartechnik zu identifizieren, die Praxistauglichkeit mit einem Feldtest zu verifizieren und einen Leitfaden zu erstellen.
- OPTIMIERUNG DER EINBINDUNG EINES 28 M3 WASSER SPEICHERS IN DIE BEHEIZUNG UND DIE WW-VERSORGUNG EINES EFH MIT W/W-WÄRMEPUMPE UND SOLARKOLLEKTOREN**

R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: EIA-FR Ecole d'ingénieurs et d'architectes | Funding: BFE |
| Contact: Peter Kurmann peter.kurmann@hefr.ch | Period: 2010–2012 |

Abstract: Simulationen und Messungen in einem EFH mit 185m² EBF, gebaut nach SIA380/1:2009, mit Solarkollektoren (40m²), einer W/W Wärmepumpe (6.4kW) mit einer Erdsonde (150m) sowie zwei thermischen Speicher mit Wasser (1: ungeschichtet, 28m³, 2: geschichtet, 1.65m³) sollen das Potenzial des Gesamtsystems aufzeigen. Bisher wurden die technischen Einrichtungen während mehreren Tagen mit und ohne Heizlast simuliert und mit realen Messdaten validiert.
- UTILISATION DE GÉOTHERMIE PROFONDE POUR LE CHAUFFAGE DE GRANDS BÂTIMENTS AVEC DES POMPES À CHALEUR À TRÈS HAUTES PERFORMANCES**

R&D 7.2

| | |
|--|-------------------|
| Lead: Planair SA | Funding: BFE |
| Contact: Fabrice Rognon fabrice.rognon@planair.ch | Period: 2010–2012 |

Abstract: Das Projekt hat das Ziel, Sonden mit Längen zwischen 300 und 800 m zu beurteilen und mit klassischen Sonden und Sondenfeldern zu vergleichen. Untersucht wird das Leistungsvermögen und die Wirtschaftlichkeit. Das Projekt läuft in Zusammenarbeit mit dem BFE-Programm Geothermie.
- MEU - INSTRUMENTS INNOVANTS DE PLANIFICATION ET DE MANAGEMENT DE SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES EN ZONES URBAINES**

R&D 7.2

| | |
|--|--------------------|
| Lead: EPFL - Energy Center, CREM, EPFL - LESO-PB, EPFL LENI, HES-SO Valais | Funding: BFE, FOGA |
| Contact: M. Capezzali massimiliano.capezzali@epfl.ch | Period: 2008–2012 |

Abstract: Das Ziel des Projektes ist eine Software, die die Planung von Energienetzen vereinfachen soll. Vier Städte, Lausanne, Martigny, Neuchâtel und La-Chaux-de-Fonds unterstützen das Projekt durch aktive Mitarbeit und durch Analyse von konkreten Situationen. Das Projekt soll anfangs 2012 abgeschlossen werden.
- ZWEIPHASENKOMPRESSOR FÜR WÄRMEPUMPEN - PHASE 1: KONZEPT**

R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: IPEK-HSR | Funding: BFE |
| Contact: Theodor Wüst, Markus Friedl twuest@hsr.ch | Period: 2011–2012 |

Abstract: In diesem Projekt soll ein Kompressionsvorgang untersucht werden, der mit einem zweiphasigen Gas-Flüssigkeits-Gemisch startet und möglichst in der Nähe des Satteldampf-Grenzlinie endet. Damit soll eine Ueberhitzung des Mediums vermieden werden. Ein Konzept für einen realen Prototyp wird erarbeitet.

- **IEA-HPP-ANNEX 37: DEMONSTRATION OF FIELD MEASUREMENTS ON HEAT PUMP SYSTEMS IN BUILDINGS** R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: IEA Heat Pump Programme | Funding: BFE |
| Contact: www.heatpumpcentre.org | Period: 2011–2013 |

Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 37 hat das Ziel, das Potenzial von Wärmepumpen für den Einsatz in verschiedenen Gebäuden ausgehend von existierenden Feldmessungen aufzuzeigen. Es sollen nur die besten technischen Lösungen einbezogen werden. Die Feldmessungen werden auf gleichartige Auswertungsmethodik verglichen und Unterschiede sollen quantifiziert werden. Hier wird auch ein Vergleich zum SEPOMO-Projekt gemacht.
- **IEA-HPP-ANNEX 39: A COMMON METHOD FOR TESTING AND RATING OF RESIDENTIAL HEAT PUMPS AND AIR CONDITIONERS ANNUAL/SEASONAL PERFORMANCE (SPF)** R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: IEA Heat Pump Programme | Funding: BFE |
| Contact: www.heatpumpcentre.org | Period: 2010–2013 |

Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 39 hat das Ziel, eine international anerkannte Methode zur Berechnung von SPF (Seasonal Performance Factor) aus gemessenen Momentanwerten COP (Coefficient of performance) für verschiedene Wärmepumpentypen zu evaluieren. Bisher angewendete Methoden können neuere Wärmepumpen, wie zum Beispiel frequenzgeregelte Wärmepumpen oder CO₂-Wärmepumpen nicht genügend abbilden.
- **EFFIZIENTE KÄLTEERZEUGUNG VON TRANSKRITISCHEN CO₂-KÄLTEANLAGEN** R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: Frigo-Consulting AG, Gümligen | Funding: BFE |
| Contact: J. Schöneberger j.schoenebergerr@frigoconsulting.ch | Period: 2011–2013 |

Abstract: Das Kältemittel CO₂ kommt in stationären Kälteanlagen vermehrt zum Einsatz. Die relativ schlechte Leistungszahl des Kaltampfprozesses mit CO₂ kann mit einer arbeitsleistenden Entspannung thermodynamisch verbessert werden. Drei verschiedene Varianten (Expansionsmaschine, Adsorptionskälte, Parallelkompression) werden in Feldtests und weiter theoretisch untersucht.
- **SOLE/WASSER-WÄRMEPUMPEN MIT KONTINUIERLICHER LEISTUNGSREGELUNG** R&D 7.2

| | |
|---|-------------------|
| Lead: Hochschule Luzern – Technik und Architektur | Funding: BFE |
| Contact: Beat Wellig beat.wellig@hslu.ch | Period: 2012–2014 |

Abstract: Als Ziel sollen Auslegungs- und Planungsgrundlagen für S/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung erarbeitet werden. Für LW-WP konnte gezeigt werden, dass mit kontinuierlicher Leistungsregelung die Jahresarbeitszahl erheblich (bis zu 50%) verbessert werden kann. Bei S/W-WP ist die Wärmequellentemperatur zwar eher konstant, Temperatur- und Leistungsbedarf der Abnehmerseite schwankt jedoch identisch.
- **IEA-HPP-ANNEX 40: HEAT PUMP CONCEPTS FOR NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS (OPERATING AGENT)** R&D 7.2

| | |
|--|-------------------|
| Lead: Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Energietechnik | Funding: BFE |
| Contact: Carsten Wemhöner carsten.wemhoener@hsr.ch | Period: 2012–2015 |

Abstract: Der sehr geringe Energiebedarf von neuen Gebäuden stellt auch besondere Herausforderungen an die Wärmepumpen. In einem internationalen Rahmen sollen der Stand der Technik und die Definition von «Nearly Zero Emission Buildings» erfasst werden. Zudem werden vielversprechende Wärmepumpnekonzepte analysiert und Fragen zu Netzurückwirkungen und Speicherintegration untersucht.

