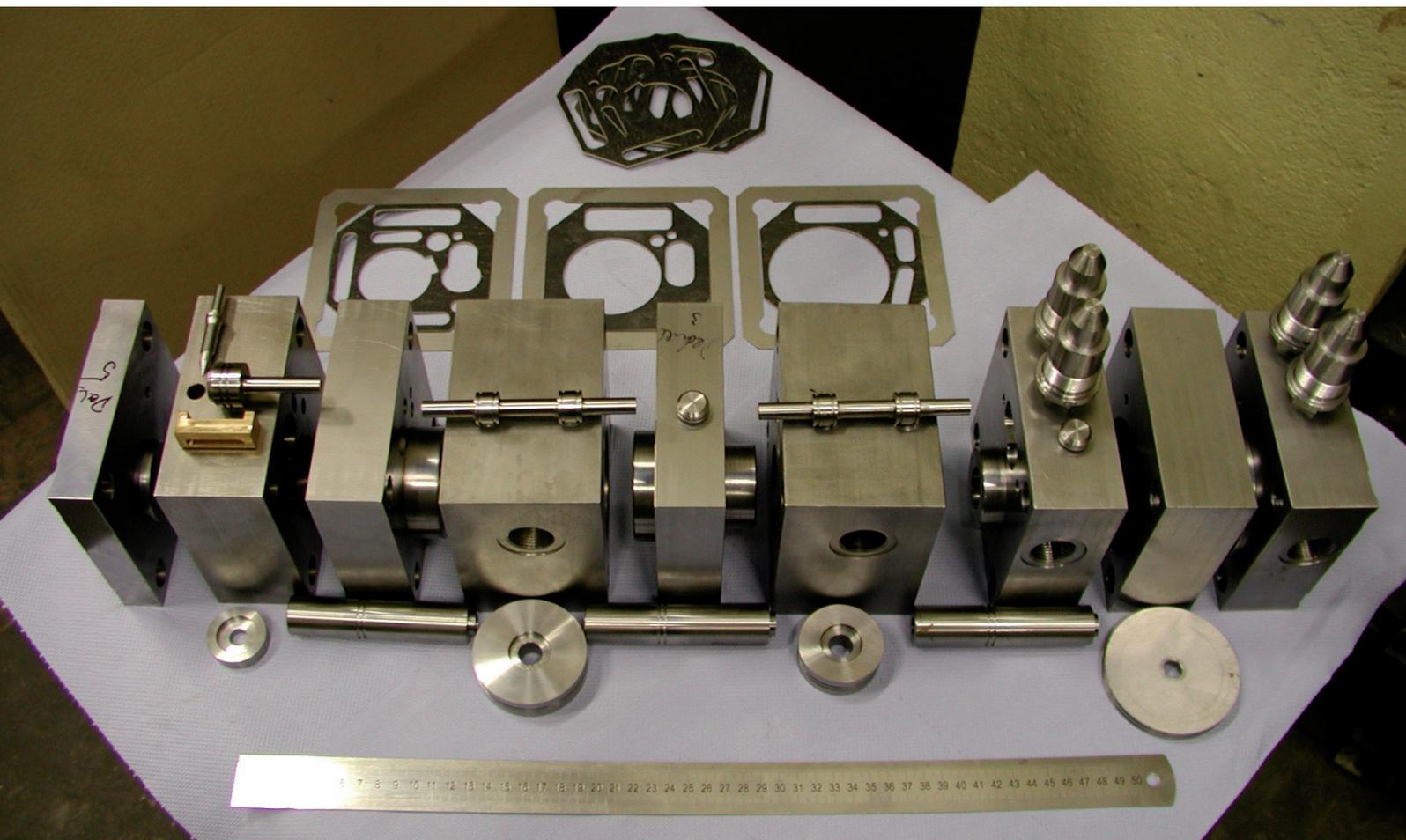


Überblicksbericht 2011

Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft- Kopplung, Kälte



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:

Einzelteile der Expansionsmaschine zur Nutzung der Druckdifferenz zwischen Hoch- und Niederdruck in einer weltweit ersten kommerziellen Pluskühlanlage mit CO₂ als Arbeitsmedium (R. Gerber, Frigo-Consulting AG Gümligen; Zusammenarbeit Frigo-Consulting AG, Gümligen und TU Dresden).

BFE Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

Überblicksbericht 2011

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Prof. Dr. Thomas Kopp, HSR Hochschule für Technik Rapperswil (tkopp@hsr.ch)

Bereichsleiter BFE:

Andreas Eckmanns (andreas.eckmanns@bfe.admin.ch)

www.energieforschung.ch

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

Einleitung

Das Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte fördert gemäss dem Energieforschungskonzept des Bundes [1] und dem dazugehörigen Detailkonzept [2] die Entwicklung von modernen Heiz- und Kühlsystemen. Eine kurzfristige Reduktion des CO₂-Ausstosses um 50 % im Bereich Gebäudeheizung ist möglich, indem der von mittleren und grösseren Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK-Anlagen) produzierte Strom in dezentralen Wärmepumpen aller Leistungsklassen eingesetzt wird, die dann in den Gebäuden Niedertemperaturheizwärme erzeugen. Mittelfristig soll keine fossile Energie mehr direkt für Heizzwecke eingesetzt werden. Heute wird im Sektor Haushalte immer noch rund 60 % fossile Energie eingesetzt, die vor allem für Heizzwecke dient [3]. Erst ca 15 % des Energieverbrauches der Haushalte stammt aus erneuerbarer Energie. In der Kälteerzeugung und -anwendung ist eine Energieeinsparung von ca. 25 % möglich [4]. 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.

Die Forschungsschwerpunkte 2008 bis 2011 des Programmes sind:

- Verbesserung der Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen;
- Effizienzverbesserungen bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemissionen;
- Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen – WKK – Kälte – Speicherung;
- Hoch effiziente Systeme für Warmwasseraufbereitung;
- Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and play);
- Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen.

IEA Klassifikation: 3.7 Other Renewables

Schweizer Klassifikation: 2.3 Umgebungswärme

Programmschwerpunkte

Gemäss den Programmschwerpunkten wurden im Berichtsjahr fünf Projekte abgeschlossen, sieben sind weiter in Bearbeitung und zwei neue Projekte konnten gestartet werden.

Im Bereich «Verbesserung der Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen» wurden Untersuchungen an drehzahlgeregelten Kompressoren und Ventilatoren [5] durchgeführt (siehe Highlights). Im Sektor Kälteanlagen konnte an einer gewerblichen Kälteanlage mit CO₂ als Kältemittel eine mechanische Expansionsmaschine [6] ausgemessen werden, die in den Highlights dargestellt wird.

Im Bereich «Effizienzverbesserungen bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemission» wurde die Erhöhung des Wirkungsgrades eines Gasmotors durch Erzeugung eines Unterdruckes im Abgasstrang untersucht und das Projekt abgeschlossen [7].

Unter dem Arbeitstitel «Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen – WKK – Kälte – Speicherung» laufen die Arbeiten im IEA-HPP Annex «Solar and Heat Pump Systems» [8], siehe Highlights. Zur erfolgreichen internationalen Kooperation tragen auch die beiden Projekte «SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen» [9] und «Optimierung der Einbindung eines 28-m³-Wasserspeichers in die Beheizung und Warmwasserversorgung eines Einfamilienhauses mit Wasser/Wasser-Wärmepumpe und Solarkollektoren» [10] bei.

Im Zuge der Erneuerung des Gebädeparks mit besser isolierten Gebäuden erhält der Bereich «Hoch effiziente Systeme für Warmwasseraufbereitung» eine erhöhte Wichtigkeit, die mit dem Projekt «Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern» [11] bearbeitet wurde. Nach Durchführung eines Workshops mit Branchenvertreter konnte das Projekt abgeschlossen werden.

Unter dem Arbeitstitel «Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen» wurde ein Turbokompressor für eine Trinkwasser-Wärmepumpe mit CO₂ und einer Leistung im Bereich von 100 kW entwickelt [12].

Rückblick und Bewertung 2011

Im Berichtsjahr 2011 konnten interessante Projekte erfolgreich abgeschlossen werden. Speziell zu erwähnen sind die Projekte «Integration einer Expansionsmaschine in ein CO₂-Kältesystem» [6] und «Xhost Harvester – mehr Effizienz mit dem gleichen Motor» [7]. Obwohl die Entwicklung des ölfreien Turbokompressors für Warmwasser-Wärmepumpen weitergeht, wurde die erste vom BFE unterstützte Entwicklungsphase «Ölfreier CO₂-Kompressor für Grosswärmepumpen zur Warmwassererzeugung» [12] abgeschlossen. Auch das Projekt «Thermally Driven Heat Pump Based on Double Rankine Cycle» [13] wurde abgeschlossen und die Wirkungsweise des kleinen Turboverdichters/-expanders konnte mit Messungen nachgewiesen werden. Schlussendlich wurde im Berichtsjahr der Schlussreport des IEA-HPP Annex 32 «Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses» [14] mit allen internationalen Beiträgen veröffentlicht.

Ausblick

Das Projekt «Effiziente LW-Wärmepumpen durch kontrollierte Leistungsregelung» [5] soll anfangs 2012 nach Auswertung der zusätzlichen Messungen mit einem von Emerson gelieferten Inverter-Scroll-Kompressor der 2. Generation abgeschlossen werden. Die Jahresarbeitszahl konnte in Abhängigkeit der Heizkurven um 10 bis 40 % gegenüber Luft/Wasser-Wärmepumpen mit EIN/AUS-Regelung verbessert werden. Mit einem leider nicht am Markt erhältlichen Kompressor-Prototyp wurden sogar Verbesserungen von 20 bis 50 % erreicht. In der nahen Zukunft soll das Verbesserungspotenzial von drehzahlgeregelten Wärmepumpen auch für Sole/Wasser-Wärmepumpen untersucht werden.

Auch aus dem Projekt «Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern» [11] sind praxisgerechte Resultate entstanden. Verschiedene bekannte, aber auch neuartige Methoden wurden untersucht. Da die Warmwasser-Bereitung einen zunehmenden Anteil des Energiebedarfs

von modernen Gebäuden einnehmen wird, sollen die Erkenntnisse experimentell verifiziert werden.

Die im Rahmen des IEA Heat Pump Programme laufenden Annex-Projekte 37 «Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings» [15], 38 «Solar and Heat Pump Systems» [8] und 39 «A Common Method for Testing and Rating of Residential Heat Pumps and Air Conditioners Annual/Seasonal Performance (SPF)» [16] werden die ersten Resultate generieren und diese in internationalen Workshops präsentieren.

Ab 2012 wird der Bereich WKK vom Forschungsprogramm Verbrennung betreut werden, weshalb der Name des bisherigen Programms «Wärmepumpen, WKK, Kälte» auf «Wärmepumpen und Kälte» geändert wird.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

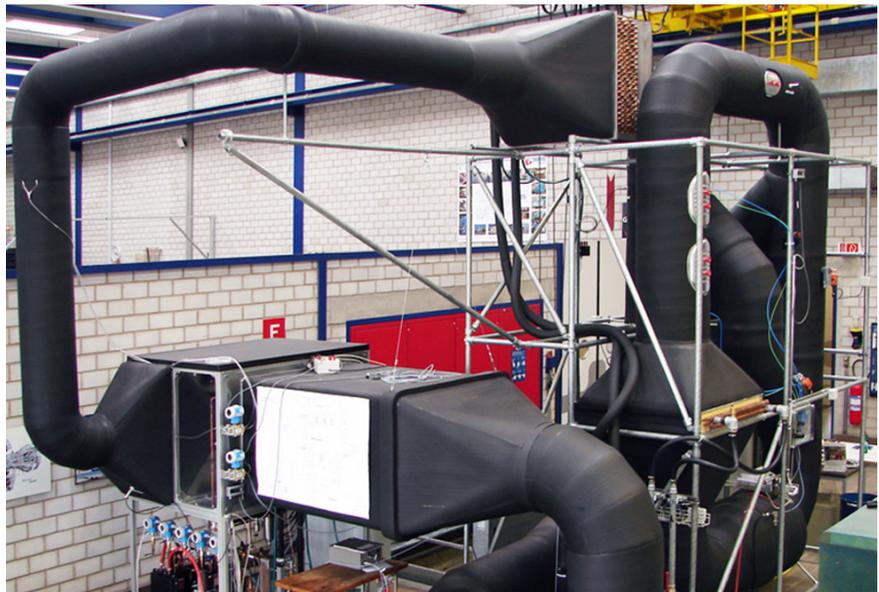
Wärmepumpen mit Drehzahlregelung: Wärmepumpen sollen immer die momentan erforderliche Heizleistung an ein Gebäude abgeben. Arbeiten sie im Ein/Aus-Betrieb produzieren sie in der Arbeitsphase eine zu grosse Leistung, die mit höheren Temperaturgefällen ans Gebäude übertragen wird, wobei höhere Verluste entstehen. Dieser Nachteil kann mit drehzahlgeregelten Kompressoren und Ventilatoren vermieden werden.

Kombination von Solarthermie und Wärmepumpen: Die Kombination von Solarthermie und Wärmepumpe wird von umweltbewussten Bauherrschaften häufig nachgefragt. Die Kombination ist aber technisch nicht einfach und erfordert einen erhöhten Regelbedarf und auch eine systemische Gesamtoptimierung. Da die Fragestellung nicht nur in der Schweiz aktuell ist, hat sich eine von der IEA koordinierte internationale Arbeitsgemeinschaft gebildet.

Turbokompressor und Expansionsmaschine für Wärmepumpen und Kältemaschinen mit CO₂: Das Arbeitsmedium CO₂ ist ein natürliches, umweltfreundliches Kältemittel. Es benötigt aber für Anwendungen im Bereich Wärmepumpen und teilweise auch für Kälteerzeugung sehr hohe Arbeitsdrücke.

Wärmepumpen mit Drehzahlregelung

Moderne Wärmepumpen sollten immer die gefragte aussentemperaturabhängige Heizleistung abgeben. Wärmepumpen mit Ein/Aus-Regelung können das aber aus technischen Gründen nicht. Wenn eine Wärmepumpe im Ein-Modus arbeitet, dreht der Kompressor mit einer Fixdrehzahl. Das angesaugte Arbeitsmedium hat dabei eine Dichte, die von der Verdampfer-temperatur abhängt. Diese wiederum hängt bei Luft/Wasser-Wärmepumpen von der Aussentemperatur ab. Je tiefer die Aussentemperatur, desto tiefer der Verdampfendruck und damit desto tiefer die Dichte. Damit fördert der Kompressor weniger Arbeitsmedium. Zudem wird das Fördervolumen bei Kolbenkompressoren auch durch höhere Rückexpansion verkleinert. Die



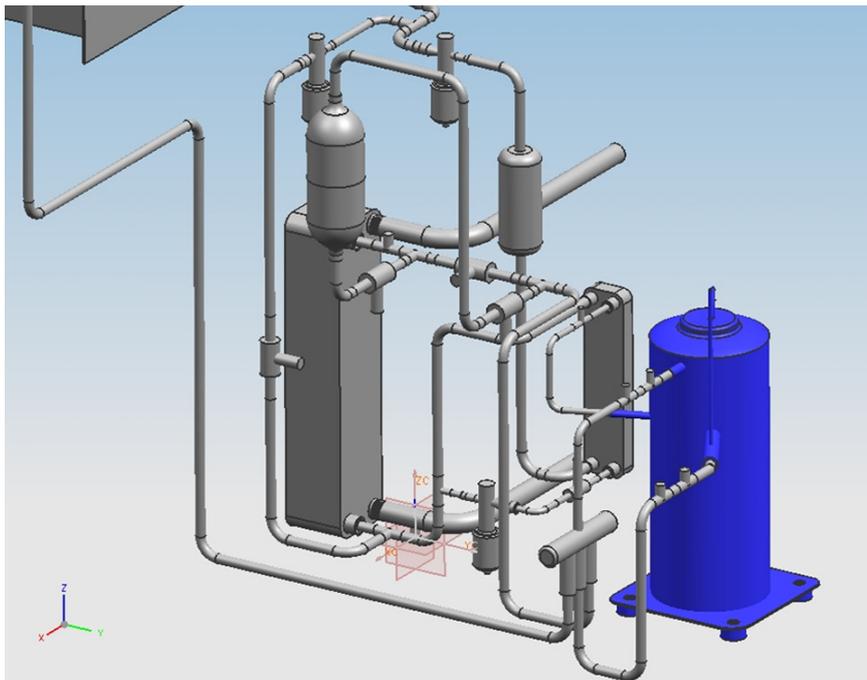
Figur 1: Versuchsanlage der HTA Luzern zur Untersuchung von drehzahlvariablen Luft/Wasser-Wärmepumpen [5]. Sowohl der Kompressor wie auch der Ventilator werden drehzahl geregelt.

Wärmepumpe kann also bei tieferen Aussentemperaturen und konstanter Drehzahl weniger Wärme abgeben. Das Gebäude, das sich wie ein grosser Wärmetauscher verhält, benötigt aber bei tieferen Aussentemperaturen eine höhere Heizleistung. Dieses Dilemma wurde bisher so gelöst, dass die Wärmepumpe auf die tiefste Aussentemperatur dimensioniert wurde und bei höheren Aussentemperaturen im Ein/Aus-Modus taktweise arbeitete. Dadurch fördert sie aber im Teillastbereich immer höhere Wärmeströme, als das Gebäude effektiv im Zeitmoment verlangt. Diese höheren Wärmeströme führen zu höheren Temperaturdifferenzen in den Wärmetauschern und verringern dadurch die Effizienz. Eine technisch saubere Lösung liegt in der Regelung der Drehzahl des Kompressors und bei Luft/Wasser-Wärmepumpen (LW-WP) auch des Ventilator, der die Aussenluft durch den Verdampfer fördert. Die Umsetzung dieses Konzepts wird im Projekt «Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe durch kontinuierliche Leistungsregelung» [5] untersucht. 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. Durch die ermutigenden Resultate bei LW-WP sollen die Un-

tersuchungen von drehzahlgeregelten Wärmepumpen in einem Folgeprojekt auch auf Sole/Wasser-Wärmepumpen ausgedehnt werden.

Kombination von Solarthermienutzung und Wärmepumpe

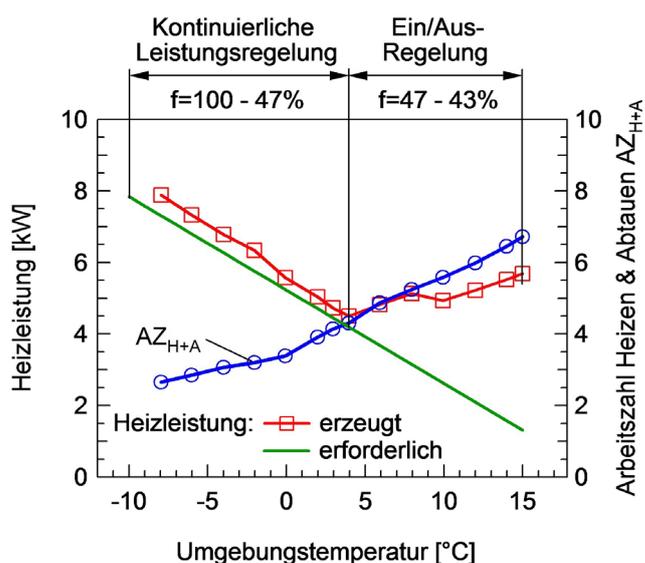
Die Kombination von Solarthermie und Wärmepumpe wird von umweltbewussten Bauherrschaften häufig nachgefragt. Die Kombination ist aber technisch nicht einfach umsetzbar. So wurden in Einzelfällen auch ineffiziente Anlagen gebaut, die wegen einer schlechten Regelung in der Nacht mit der Wärmepumpe Wärme auf die Solarkollektoren geführt hatten, die dann den Nachthimmel «erwärmte». Selbstverständlich wurden auch gut funktionierende Anlage-Kombinationen gebaut. Die Problematik stiess international auf grosses Interesse. Deshalb wurde in den beiden IEA-Implementing Agreements SHC (Solar Heating and Cooling) und HPP (Heat Pump Programme) ein gemeinsames internationales Projekt «Solar + Heat Pump Systems» [8] gestartet, welches bis 2014 läuft. Daran beteiligen sich mehr als 10 Länder mit 30 Forschungsteams. Aus der Schweiz werden im Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte zwei Projekte beigesteuert.



Figur 2: 3-D-Ansicht des CAD-Modells des Luft/Wasser-Wärmepumpen-Prototyps mit Digital-Scroll-Kompressor [5]

Das Projekt «Optimierung der Einbindung eines 28-m³-Wasser-Speichers in die Beheizung und die Warmwasserversorgung eines Einfamilienhauses mit Wasser/Wasser-Wärmepumpe und Solarkollektoren» [10] untersucht die Kombination Wärmepumpe und Solarthermie unter Einbezug einer Wär-

mespeicherung in einem gossen Tank. Der Tank stammt in dieser Anlage von einem ausrangierten Sattelschlepper-Auflieger, der für Milchtransporte eingesetzt wurde. Er wurde vom Auflieger abmontiert und noch während der Rohbauphase im Keller des Hauses installiert. Es entstehen durch die Anzahl



Figur 3: Erforderliche (grün) und erzeugte (rot) Heizleistung sowie Arbeitszahl Heizen & Abtauen (in blau) des Luft/Wasser-Wärmepumpen-Prototyps mit Inverter-Scroll Kompressor mit Dampfeinspritzung für die Heizkurve «hochwertig sanierter Altbau» (35 °C Rücklauftemperatur, 41 °C Vorlauftemperatur bei -10 °C Umgebungstemperatur) ohne Berücksichtigung der Eis- und Frostbildung.

der Komponenten dieser Anlage nun natürlich viele Regelungsmöglichkeiten, die im Projekt optimiert wurden. Auch wenn das Grundkonzept dieser Anlage etwas aussergewöhnlich ist, werden doch klare Aussagen zum Wiederholungspotenzial dieses Konzepts erwartet. Die Kernfrage ist, in wie weit sich grössere Speichermöglichkeiten energetisch aber auch kommerziell lohnen. Das Projekt soll in der ersten Hälfte 2012 abgeschlossen werden, es werden gemäss einer Zwischenbilanz Einsparungen von 17 % Stromkosten und 6,5 % Primärenergie erwartet.

Der andere Beitrag aus der Schweiz stellt das Projekt «SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen» [9] dar. Es ist auf Gebäude mit geringem Energiebedarf ausgerichtet, untersucht aber generell die Vor- und Nachteile von Kombinationen verschiedener Energiesysteme. Es ist zum Beispiel schon lange bekannt, dass gekühlte PV-Kollektoren einen besseren Wirkungsgrad aufweisen. Welches ist nun die geschickteste Art der Kühlung und wohin soll die Kühlwärme optimal geleitet werden?

Turbokompressor und Expansionsmaschine für Wärmepumpen und Kältemaschinen mit CO₂

Im neuen Projekt «Effizienzsteigerung von transkritischen CO₂-Kälteanlagen» [17] sollen Methoden zur Effizienzsteigerung von transkritischen Kälteanlagen eruiert werden. Dabei werden 3 Prinzipien in kommerziell ausgeführten Anlagen bewertet:

- Integration einer Expansionsmaschine in eine CO₂-Kälteanlage
- Kombination von CO₂-Kälteanlage und Adsorptionskälteanlage
- Transkritische CO₂-Kälteanlage mit Parallelkompression

Im Jahr 2012 sollen dann auch noch nicht umgesetzte Potenziale und Methoden untersucht und an einem konkreten P&D-Objekt ausgemessen werden. Dabei sollen natürlich auch Vergleiche mit den bekannten Prinzipien angestellt werden.

Nationale Zusammenarbeit

Durch die Mitarbeit von privaten Firmen in den meist sehr anwendungsnahe Projekten beteiligt sich die Privatwirtschaft intensiv an der Forschungstätigkeit. Das Engagement reicht dabei von der Mitarbeit in einer Begleitgruppe bis zur Beisteuerung erheblicher finanzieller und personeller Beiträge. Da die Projektleiter häufig in einer Hochschule oder Fachhochschule tätig sind, besteht zu diesen Institutionen eine besonders intensive Beziehung. Die Projektthemen wirken sich dabei auch auf den Unterricht aus, denn innerhalb der Projekte können auch kostengünstige Studienarbeiten integriert werden. Viele Institute an den Fachhochschulen bilden eigentliche Kompetenzzentren, auch wenn sie im Sinne der offiziellen Bezeichnung für Kompetenzzentren zu klein sind. Dafür wird an diesen Instituten ohne grossen Overhead sehr effizient gearbeitet.

Nebst dem BFE engagieren sich im Programmbereich Wärmepumpen, WKK, Kälte auch andere Förderorganisationen. So bestehen Kontakte zum Forschungsfonds der Gaswirtschaft (Foga, www.erdgas.ch), dem Axpo

Naturstromfonds (www.axpo.ch), zu SwisselectricResearch (www.swisselectric-research.ch) und zu verschiedenen kantonalen und städtischen Ämtern. Mit den Branchenverbänden besteht ein institutionalisierter Informationsaustausch, denn alle wesentlichen Verbände sind in der Programm-Begleitgruppe vertreten. Dies sind der FWS (Fachverband Wärmepumpen Schweiz), der WKK-Fachverband der SVK (Schweizerischer Verein für Kältetechnik) und der SWKI (Schweizerischer Verein der Gebäudetechnik). Kontakt besteht auch zu V3E (Verein Effiziente Energie-Erzeugung).

Mit den BFE-Programmen «Solarwärme und Wärmespeicherung» sowie «Energie in Gebäuden» besteht eine intensive Zusammenarbeit, da diese Programme ebenfalls vom gleichen Bereichsleiter (Andreas Eckmanns) geleitet werden. Mit den Programmen «Verbrennung», «Biomasse (ohne Holz)», «Holzenergie», «Geothermie» und «Elektrizitätstechnologien und -anwendungen» wird auf Projektebene ebenfalls zusammengearbeitet.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit erfolgt vor allem durch eine aktive Mitarbeit im Heat Pump Programme HPP (www.heatpumpcentre.org) der IEA. 2010 konnte der IEA-HPP-Annex 38 «Solar and Heat Pump Systems» als gemeinsamer Annex der Implementing Agreements «Heat Pumping Technologies HPP» und «Solar Heating and Cooling SHC» [8] gestartet werden, der nun im Jahr 2011 in vier Sub-Projects die Arbeiten weiterführt. Operating Agent für diesen Joint-Annex ist der Forschungsprogrammleiter Jean-Christophe Hadorn. Im HPP-Annex arbeiten die Länder Deutschland, Finnland, United Kingdom und die Schweiz zusammen. Die Schweiz steuert je ein Projekt der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) und der FH Fribourg bei. Im Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP-Annex 32 «Economic Heating and Cooling for Low Energy Houses» [14] stellt die FHNW ebenfalls den Operating Agent (Carsten Wemhöner) und steuert ein nationales Projekt bei. In diesem Annex bearbeiteten Forscherteams aus 10 Ländern die Entwicklung von multifunktionalen Wärmepumpen mit einer Leistung zwischen 3 und 5 kW, den dazugehörigen Feldtests und der Ableitung von Empfehlungen für die Praxis (www.annex32.org). Ende 2011 konnten alle erarbeiteten Abschluss-Dokumente auf der Webseite des BFE aufgeschaltet werden.

Das IEA Heat Pump Programme organisiert verschiedene internationale, gemeinsame Aktivitäten im Rahmen von Annexen. Ende 2010 konnten die Annexe IEA-HPP-An-

nex 37 «Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings» [15] und IEA-HPP-Annex 39 «A Common Method for Testing and Rating of Residential Heat Pumps and Air Conditioners Annual and Seasonal Performance (SPF)» [16] mit aktiver Beteiligung der Schweiz gestartet werden. 2011 lieferten die Forscher aus der Schweiz zahlreiche Beiträge an Workshops.

Im Berichtsjahr 2011 wurden auch die letzten Vorbereitungen für die 10th International Heat Pump Conference vom 17. bis 19. Mai 2011 in Tokyo vom Programmleiter koordiniert, der die Funktion des Chairman des internationalen Konferenzkomitees IOC einnahm. Leider musste die Konferenz infolge des Tsunami vom 11. März 2011 in einer Web-Konferenz durchgeführt werden. Trotzdem wurden 7 Grussadressen, 14 Keynotes und 191 Papers präsentiert. 377 Teilnehmer nahmen an der Web-Konferenz teil. Die Schweiz hat diese Konferenz als Country-Sponsor unterstützt. Von Forschern aus der Schweiz wurden 16 Papers und eine Keynote-Präsentation publiziert. Obwohl eine Web-Konferenz natürlich wegen wegfallendem Reiseaufwand eine sehr umweltfreundliche Durchführungsart ist, fehlen leider doch die individuellen Gespräche und Diskussionen mit den Vortragenden und unter den Teilnehmern. Die nächste, 11. IEA Heat Pump Konferenz wird im Mai 2014 in Montreal stattfinden.

Referenzen

- [1] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Bundesamt für Energie (2007).
- [2] Th. Kopp und A. Eckmanns: Detailkonzept des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte für die Jahre 2008 bis 2011, BFE (2009).
- [3] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010: Bundesamt für Energie (2011).
- [4] Thomas Lang, Basler&Hofmann, Zürich: Workshop Lücken zwischen den Gewerken, Kälte-Forum 2008.
- [5] L. Gasser, M. Albert, M. Häusermann und B. Wellig: Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung, BFE-Schlussbericht (2012).
- [6] R. Gerber: Effiziente Kälteerzeugung – Integration einer Expansionsmaschine in ein CO₂-Kältesystem, BFE-Schlussbericht (2011).
- [7] M. Schmid, M. Vögeli: Xhost Harvester – Mehr Effizienz mit dem gleichen Motor, BFE-Schlussbericht (2011).
- [8] IEA-HPP-Annex 38 «Solar and Heat Pump Systems», (www.heatpumpcentre.org and www.iea-shc.org/task44).
- [9] R. Dott, Th. Afjei: SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen, BFE-Jahresbericht (2011).
- [10] P. Kurmann, T. Mesot, T. Ursenbacher: Optimierung der Einbindung eines 28-m³-Wasserspeichers in die Beheizung und die WW-Versorgung eines EFH mit W/W-Wärmepumpe und Solarkollektoren, BFE-Schlussbericht (2011).
- [11] B. Vetsch, A. Gschwend, St. Bertsch: Warmwasserbereitstellung mittels Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern, BFE-Schlussbericht (2011).
- [12] D. Uhlenhaut, J. Vega Völk: Ölfreier CO₂-Kompressor für Grosswärmepumpen zur Warmwassererzeugung, BFE-Schlussbericht (2011).
- [13] J. Demierre, D. Favrat: Thermally Driven Heat Pump Based on double Rankine Cycle, BFE-Schlussbericht (2011).
- [14] C. Wemhöner et al.: Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses, BFE-Schlussbericht (2011) und international Reports und Factsheets, www.annex32.net und www.heatpumpcentre.org .
- [15] IEA-HPP-Annex 37, «Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings», (www.heatpumpcentre.org).
- [16] IEA-HPP-Annex 39 «A common method for testing and rating of residential heat pumps and air conditioners annual/seasonal performance (SPF)», (www.heatpumpcentre.org).
- [17] R. Gerber, J. Schönenberger: Effizienzsteigerungen von transkritischen CO₂-Kälteanlagen, BFE-Jahresbericht (2011).

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: 2008–2011

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.
- EFFIZIENTE KÄLTEERZEUGUNG – INTEGRATION EINER EXPANSIONSMASCHINE IN EIN CO₂-KÄLTESYSTEM** R+D 7.2

Lead: Frigo-Consulting AG	Funding: BFE
Contact: Raphael Gerber r.gerber@frigoconsulting.ch	Period: 2009–2011

Abstract: Das Kältemittel CO₂ kommt in stationären Kälteanlagen vermehrt zum Einsatz. Die relativ schlechte Leistungszahl des Kaltdampfprozesses mit CO₂ kann mit einer arbeitsleistenden Entspannung thermodynamisch verbessert werden. In einer realen Anlage im Feld ist eine Expansions-Kompressions-Maschine in Betrieb genommen worden. Die Hubkolbenmaschine mit Verdichtungs- und Expansionsteilen und variabler Förderleistung wurde in Zusammenarbeit mit der TU Dresden entwickelt.
- XHOST HARVESTER – MEHR EFFIZIENZ MIT DEM GLEICHEN MOTOR** R+D 7.2

Lead: Ökozentrum Langenbruck	Funding: BFE
Contact: Martin Schmid, Markus Vögeli martin.schmid@oekozentrum.ch	Period: 2010–2011

Abstract: Xhost Harvester ist eine patentierte Vorrichtung, welche einen kleinen Teil der Abgas-Abwärme eines thermischen Prozesses benutzt, um einen Unterdruck im Abgasstrang zu erzeugen. Dieser Unterdruck bewirkt eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades. In diesem Projekt wird dieses Konzept an einem Erdgas-BHKW getestet. Die gemessene Effizienzsteigerung betrug 2.6 % bei 16 hPa Unterdruck. Erwartet waren 6 % bei einem Unterdruck von bis zu 65 hPa. Theorie und Praxis korrespondieren dennoch gut.
- IEA-HPP-ANNEX 38: SOLAR AND HEAT PUMP SYSTEMS** R+D 7.2

Lead: IEA Heat Pump Programme	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. Die Resultate werden den Herstellern offengelegt und die aufgezeigten Verbesserungen sollen in der Praxis umgesetzt werden.
- SOFOWA – KOMBINATION VON SOLAROTHERMIE, FOTOVOLTAIK UND WÄRMEPUMPEN** R+D 7.2

Lead: Fachhochschule Nordwestschweiz	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.
- WARMWASSERBEREITSTELLUNG MITTELS WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN** R+D 7.2

Lead: Hochschule für Technik Buchs	Funding: BFE
Contact: Stefan Bertsch stefan.bertsch@ntb.ch	Period: 2010–2011

Abstract: Das Ziel ist die Untersuchung der Zirkulationsverluste in Wohnanlagen mit zentraler Brauchwarmwasser-Aufbereitung. Die Zirkulation wird vornehmlich in Mehrfamilien-Überbauungen, Hotels und Spitälern eingesetzt, um die geforderte Mindesttemperatur an der Zapfstelle garantieren zu können. Diese Mindesttemperatur wiederum wird benötigt, um einen wirkungsvollen Legionellenschutz zu gewährleisten. Es werden die optimalsten technischen Möglichkeiten evaluiert und mehrdimensional bewertet.

- ÖLFREIER CO₂-KOMPRESSOR FÜR GROSSWÄRMEPUMPEN ZUR WARMWASSERERZEUGUNG**

R+D 7.2

Lead:	awtec AG	Funding:	BFE
Contact:	Dirk Uhlenhaut, Josephine Vega Völk Dirk.Uhlenhaut@awtec.ch	Period:	2009–2011

Abstract: Das Projektziel ist die Entwicklung eines Verdichters für das natürliche Kältemittel CO₂ für Grosswärmepumpen, v.a. für Warmwasserbereitung. Aus Gründen der erforderlichen Lebensdauer soll der Kompressor schmierstofffrei ausgeführt werden, wozu sich ein Turbokompressor aufgrund der geringen Querkräfte in den Rotorlagern anbietet. Weitere Vorteile der Ölfreiheit sind die daraus resultierende Vereinfachung des Systems sowie die potentiell höheren Wirkungsgrade in den Wärmetauschern.
- THERMALLY DRIVEN HEAT PUMP BASED ON DOUBLE RANKINE CYCLE**

R+D 7.2

Lead:	LENI-EPFL	Funding:	BFE
Contact:	Jonathan Demierre, Daniel Favrat daniel.favrat@leni.epfl.ch	Period:	2008–2011

Abstract: Eine thermisch angetriebene Wärmepumpe wurde theoretisch und experimentell untersucht. Das ORC-ORC-System beinhaltet einen einstufigen Radialkompressor, der durch eine einstufige Radialturbine angetrieben wird. Die Drehzahlen liegen im maximum bei 170'000 rpm. Es wurden Leistungszahlen zwischen 1.3 und 2.19 erreicht.
- 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	Funding:	BFE, FOGA
Contact:	Capezzali Massimiliano 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.
- ZWEIFHASENKOMPRESSOR 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 Satttdampf-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 berücksichtigten 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 frequenzgeregelt Wärmepumpen oder CO₂-Wärmepumpen nicht genügend abbilden.

