



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Jahresbericht 2010, 1. Dezember 2010

Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe durch kontinuierliche Leistungsregelung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Emerson Climate Technologies GmbH, D-13509 Berlin
Ziehl-Abegg Schweiz AG, CH-8957 Spreitenbach

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU T&A)
CC Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch/tevt

Autoren:

Lukas Gasser, Hochschule Luzern, lukas.gasser@hslu.ch
Ivan Wyssen, Hochschule Luzern, ivan.wyssen@hslu.ch
Prof. Dr. Beat Wellig, Hochschule Luzern, beat.wellig@hslu.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Thomas Kopp

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153503 / 102713 / CEP 500120-01

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

Zusammenfassung

In den BFE-Forschungsprojekten LOREF und WEXA wurden wertvolle Erkenntnisse zur Effizienzsteigerung von Luft/Wasser-Wärmepumpen (L/W-WP) gewonnen, welche in diesem Projekt praxisgerecht umgesetzt werden sollen. Das Hauptziel ist, allgemeingültige Auslegungs- und Planungsgrundlagen für die Realisierung effizienter, betriebssicherer und wirtschaftlicher L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung zu erarbeiten. Mit dem Projekt sollen Komponenten- und Anlagenherstellern, Installateuren und Planern neue Impulse für die Weiterentwicklung und Effizienzsteigerung von L/W-WP gegeben werden.

Mittels Simulationen und Experimenten wurde eine Regelung konzipiert und entwickelt werden, welche in Abhängigkeit des Umgebungszustandes und des Heizbedarfs des Gebäudes den Kältemitteldurchsatz und die Ventilatordrehzahl regelt, das jeweils optimale Abtauverfahren auswählt und die Abtauung zum optimalen Zeitpunkt einleitet bzw. abbricht. Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen zeigen, dass bei L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung die Teillastwirkungsgrade des Kompressors und des Ventilators einen grossen Einfluss auf die erreichbaren Jahresarbeitszahlen und die optimale Regelstrategie haben. Zur Bestätigung des Potenzials der Leistungsregelung und zur Überprüfung der entwickelten Regelstrategien wurden drei verschiedene Prototypen leistungsgeregelter L/W-WP realisiert, welchen sich in erster Linie durch die verwendeten Kompressoren unterscheiden. Die Resultate aus den theoretischen und experimentellen Untersuchungen bestätigen das Potenzial der Leistungsregelung von L/W-WP eindrücklich. Bei der Verwendung effizient regelbarer Kompressoren und Ventilatoren liegen die erreichbaren Jahresarbeitszahlen leistungsgeregelter L/W-WP im Bereich von heutigen Ein/Aus-geregelten Sole/Wasser-Wärmepumpen. Im kommenden Jahr werden das wirtschaftliche Potenzial leistungsgeregelter L/W-WP ermittelt, der Schlussbericht erstellt und weitere Fachartikel sowie Beiträge für wissenschaftliche Konferenzen verfasst.

Abstract

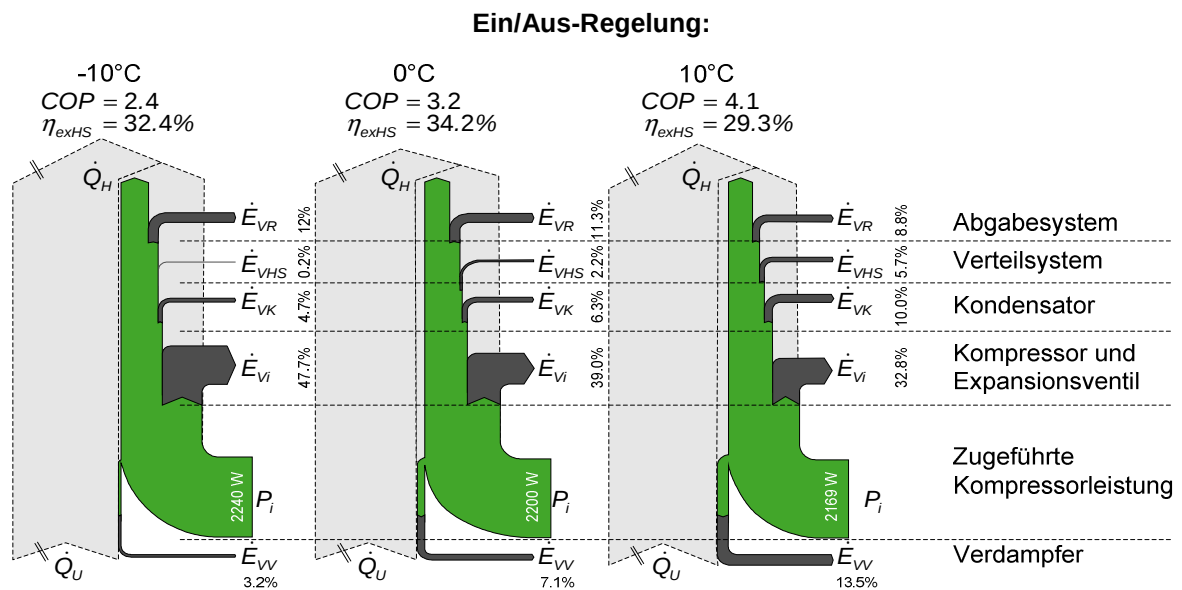
During preceding Swiss Federal Office of Energy research projects “optimisation of fin tube evaporators by reduction of ice and frost formation” and “exergy analysis for increasing the efficiency of air/water heat pumps” valuable findings concerning the increase in efficiency of air/water heat pumps were gained. These findings are now to be implemented in a practical and realistic manner. The aim is to develop universally valid design and planning criteria (“guidance”) for the realisation of efficient, reliable and economic air/water heat pumps with continuous capacity control. The main measure to improve the efficiency of air/water heat pumps is to continuously adapt the generated heating capacity to the heat demand of the building. This study shall provide an incentive for the further development as well as the increase of efficiency of air/water heat pumps, both by heat pump and component manufacturers as well as by designers of building services engineering.

An optimised process control strategy depending on the applied control principle of the heat pump has been developed using simulations as well as experiments. To verify the theoretical findings as well as to investigate different control strategies three different heat pump prototypes with capacity control and a test facility for air/water heat pumps have been realised. The investigations show that the optimal control strategy and the efficiency of the capacity controlled heat pump strongly depend upon the partial load efficiencies of the compressor and the fan. The experimental investigations approve the great potential of the capacity control. As a result of the capacity control the seasonal performance factor can be increased by approximately 20–50% compared to air/water heat pumps with on/off control. Therefore, the seasonal performance factors can be even as high as the values of brine/water heat pumps with on/off control.

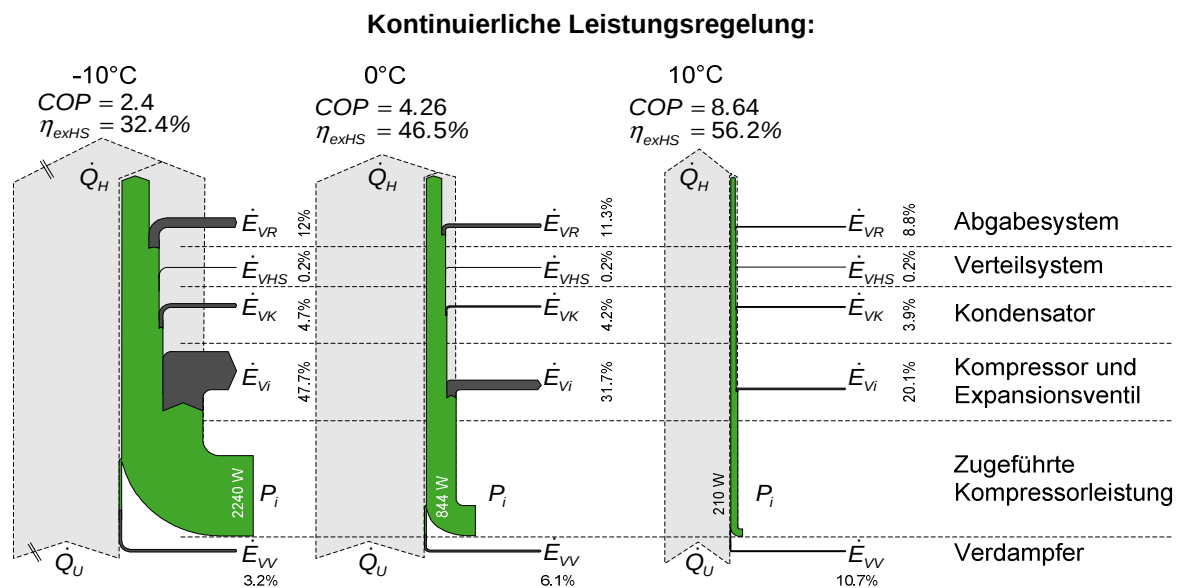
Projektziele

Das Hauptziel des Projekts ist, die in den BFE-Forschungsprojekten LOREF 1, 2 und WEXA 3 gewonnenen Erkenntnisse praxisgerecht umzusetzen und Auslegungs- und Planungsgrundlagen („Wegleitung“) für die Realisierung effizienter und betriebssicherer Luft/Wasser-Wärmepumpen (L/W-WP) mit kontinuierlicher Leistungsregelung zu erarbeiten.

In WEXA 3, 4 wurde gezeigt, dass sich durch kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung mittels einer ausgeklügelten Leistungsregelung die Energieeffizienz von L/W-WP markant steigern lässt (Figur 1 und 2). Zusätzliches Potenzial für Effizienzsteigerungen bietet die Abtauung mit Ventilatornachlauf 5, wenn bei geeignetem Zustand der Umgebungsluft (d.h. unter Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit) mit dieser Methode abgetaut wird.



Figur 1: Energie/Exergie-Flussbilder einer L/W-WP mit **Ein/Aus-Regelung** 4 (Energie-Flussbilder nicht massstäblich dargestellt).



Figur 2: Energie/Exergie-Flussbilder einer L/W-WP mit **kontinuierlicher Leistungsregelung** 4 (Energie-Flussbild für -10°C nicht massstäblich dargestellt)

In Anbetracht der immer grösseren Verbreitung von LW-WP lassen sich durch eine markante Effizienzsteigerung grosse Mengen elektrischer Energie einsparen. Das Forschungsprojekt soll zu neuen Impulsen in der Wärmepumpen-Branche führen und effizienten, leistungsgeregelten LW-WP zum Durchbruch verhelfen.

Ziele Gesamtprojekt

- Erarbeitung einer Regelung für eine optimale Prozessführung in Abhängigkeit der gewählten Regelstrategie (z.B. alleinige Regelung des Kältemitteldurchsatzes, simultane Regelung des Kältemitteldurchsatzes und der Ventilatordrehzahl).
- Entwicklung einer praxisreifen Abtauregelung, unter Einbezug der Abtauung mit Ventilatornachlauf sowie der Prozessumkehr, welche den optimalen Zeitpunkt zur Abtauung erkennt, das in Abhängigkeit des Umgebungszustandes optimale Abtauvorgang einleitet und dieses zum richtigen Zeitpunkt wieder abbricht.
- Experimenteller Nachweis der Effizienzsteigerung durch die kontinuierliche Leistungsregelung und die optimierte Abtauregelung gegenüber herkömmlichen LW-WP mit Ein/Aus-Regelung.
- Erstellung von detaillierten Auslegungs- und Planungsgrundlagen („Wegleitung“) für die Dimensionierung und Auswahl sämtlicher Komponenten sowie für die Regelungstechnik effizienter LW-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung.

Ziele 2010

Im Jahr 2010 war die **Durchführung detaillierter Messreihen am Wärmepumpen-Prototyp** bei unterschiedlichen Luftzuständen und Betriebsbedingungen geplant. Um die Anzahl der erforderlichen Messreihen für die Entwicklung der Regelalgorithmen auf ein Minimum zu reduzieren, erfolgt anhand dieser Messreihen die **Validierung und Optimierung des Simulationsprogramms**. Mit Hilfe des optimierten und validierten Simulationsprogramms erfolgt die **Entwicklung der Regelalgorithmen für verschiedene Regelstrategien** (alleinige Regelung des Kältemitteldurchsatzes, simultane Regelung des Kältemitteldurchsatzes und der Ventilatordrehzahl). Die zu entwickelnden Regelalgorithmen sollen zu jedem Zeitpunkt im Betrieb der Wärmepumpe eine optimale Effizienz gewährleisten. Das nächste Arbeitspaket bildet die **Durchführung der Messreihen mit integrierter Regelung von Kältemitteldurchsatz und Ventilatornachlauf**. Dazu werden die entwickelten und in LabView programmierten Regelalgorithmen am Wärmepumpen-Prototyp getestet. Basierend auf den Resultaten der experimentellen Untersuchungen erfolgt die **Abschätzung des wirtschaftlichen Potentials**. Abschliessend erfolgt die **Erstellung detaillierter Auslegung- und Planungsrichtlinien und des Schlussberichtes**.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Realisierung und Inbetriebnahme von zwei weiteren LW-WP-Prototypen

Die experimentellen Untersuchungen des LW-WP-Prototyps mit dem Digital-Scroll Kompressor zeigten bereits früh, dass das Potenzial für Effizienzsteigerungen klein ist. Ursache dafür ist das für Wärmepumpen-Anwendungen ungünstige Teillastverhalten im Betrieb mit der Digital-Modulation. Aufgrund des kleinen Potenzials für Effizienzsteigerungen bei Verwendung eines Digital-Scroll Kompressors wurden in enger Zusammenarbeit mit den Industriepartnern zwei weitere LW-WP-Prototypen entwickelt und realisiert. Diese wurden mit unterschiedlichen Scroll-Kompressoren ausgestattet, welche eine Regelung des Kältemitteldurchsatzes durch Drehzahlvariation mittels Inverter erlauben (Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation, Inverter-Scroll Kompressor der 2. Generation). Die Inverter-Technologie bietet gegenüber der Digital-Modulation den massgeblichen Vorteil, dass die Leistungsregelung mit keinerlei Druckschwankungen im Wärmepumpen-System verbunden ist, was zu einem deutlich besseren Teillastverhalten führt.

Beim Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation handelt es sich um einen Prototyp von Emerson Climate Technologies GmbH, welcher nicht speziell für Wärmepumpen-Anwendungen optimiert wurde. Aufgrund des grossen zulässigen Drehzahlbereiches von 1800 min^{-1} bis 7000 min^{-1} ist die kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung grundsätzlich über einen weiten Bereich möglich. Im Gegensatz zum Inverter-Scroll der 1. Generation handelt es sich beim Inverter-Scroll Kompressor der 2. Generation um einen speziell für Wärmepumpen-Anwendungen optimierten Kompressor mit einem zulässigen Drehzahlbereich von 1800 min^{-1} bis 7000 min^{-1} . Zur Erreichung einer einwandfreien Funktion im Betrieb bei hohen Kondensationstemperaturen sowie zur Verbesserung der Effizienz im Betrieb bei hohen Temperaturhüben verfügt dieser Kompressor über eine zuschaltbare Dampfeinspritzung. Beide Kompressoren wurden mit umfangreicher Messtechnik, welche eine detaillierte Bewertung und Interpretation des Wärmepumpen-Prozesses erlauben, ausgestattet. In den Figuren 3 und 4 sind die Inverter-Scroll Kompressoren der 1. Generation und der 2. Generation abgebildet.



Figur 3: Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation mit aufgebautem Inverter im L/W-WP-Prototyp



Figur 4: Inverter-Scroll Kompressor der 2. Generation im L/W-WP-Prototyp

Durchführung detaillierter Messreihen an den Wärmepumpen-Prototypen

Sämtliche L/W-WP-Prototypen wurden umfangreichen Messreihen bei unterschiedlichen Luftzuständen (Temperatur und Feuchtigkeit) und Betriebsbedingungen der Wärmepumpe für die im Arbeitspaket „Definition der Wärmequelle und -senke“ festgelegten Heizkurven unterzogen. Untersucht wurden jeweils der Betrieb mit konstanter Einstellung des Kompressors und konstanter Ventilator Drehzahl (Ein/Aus-Betrieb), der Betrieb mit alleiniger Regelung des Kältemitteldurchsatzes und konstanter Ventilator Drehzahl sowie der Betrieb mit der simultanen Regelung von Kältemittelmassenstrom und Ventilator Drehzahl.

Validierung und Optimierung des Simulationsprogramms

Das in LOREF 1, 2 erarbeitete und durch die Abtauung mit Ventilator nachlauf und Prozessumkehr sowie durch die Regelung der Ventilator Drehzahl und des Kältemitteldurchsatzes erweiterte Simulationsprogramm wurde für die verschiedenen Wärmepumpen-Prototypen validiert und optimiert. Dabei wurde auf die durchgeführten Messreihen am Wärmepumpen-Prototyp mit Digital-Scroll Kompressor, mit dem Inverter-Scroll der 1. Generation sowie mit dem Inverter-Scroll der 2. Generation zurückgegriffen. Die notwendigen Anpassungen und Ergänzungen, wie z.B. die Ergänzung der Dampfeinspritzung, wurden im Simulationsprogramm vorgenommen. Dieser Schritt war notwendig, damit die Anzahl der erforderlichen Messreihen für die Entwicklung der Regelalgorithmen auf ein Minimum reduziert werden konnte.

Entwicklung der Regelalgorithmen für verschiedene Regelstrategien

Mit Hilfe des Simulationsprogramms und der durchgeführten Messreihen wurden geeignete Regelstrategien bzw. Regelalgorithmen für die alleinige Regelung des Kältemitteldurchsatzes sowie für die simultane Regelung des Kältemitteldurchsatzes und der Ventilator-drehzahl entwickelt. Die Regelung soll zu jedem Zeitpunkt eine optimale Effizienz der Wärmepumpe gewährleisten. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes konnten allgemeingültige Ansätze bezüglich der optimalen Regelung des Kältemitteldurchsatzes und der Ventilator-drehzahl erarbeitet werden, welche für die zukünftige Entwicklung effizienter L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung von grossem Nutzen sein werden.

Durchführung der Messreihen mit integrierter Regelung von Kältemitteldurchsatz und Ventilatornachlauf

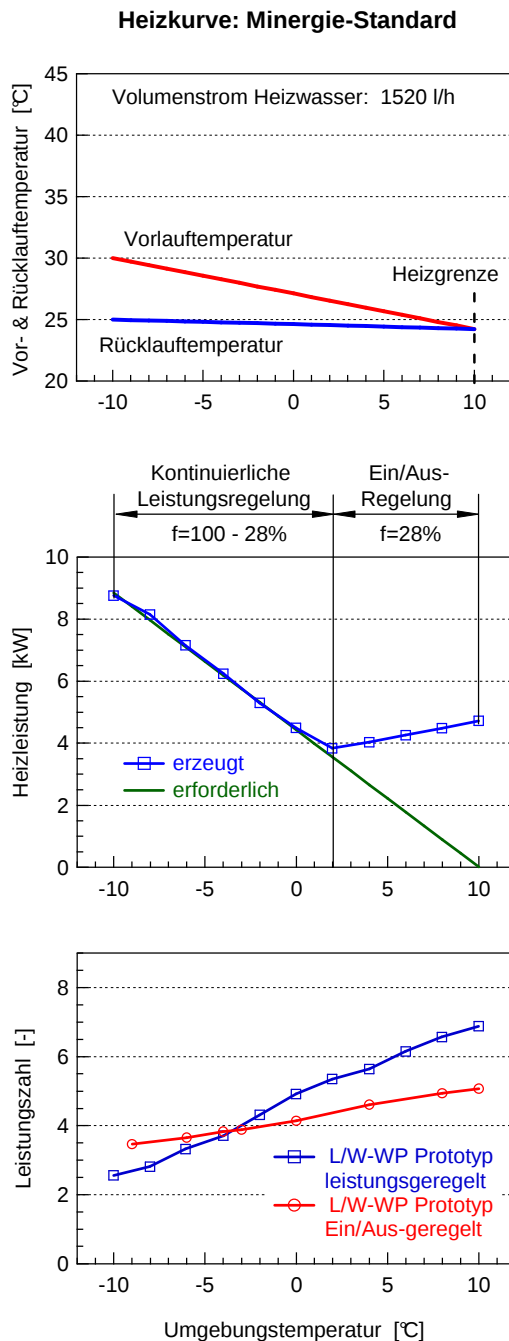
Die entwickelten und in LabView programmierten Regelalgorithmen wurden an den drei verschiedenen Wärmepumpen-Prototypen in umfangreichen Messreihen getestet. Im Heizbetrieb wurden dabei entweder nur der Kältemitteldurchsatz oder aber der Kältemitteldurchsatz und die Ventilator-drehzahl simultan geregelt. Die experimentellen Untersuchungen bestätigen das Potenzial der Leistungsregelung eindrucklich. Bei der Verwendung des leistungsgeregelten L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation in einem sanierten Altbau kann die Jahresarbeitszahl im Vergleich zur L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung, welche in LOREF 1, 2 untersucht wurde, um rund 58% verbessert werden. Auch bei der Verwendung in einem Gebäude im Minergie-Standard kann die Jahresarbeitszahl gegenüber sehr guten L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung um rund 20% erhöht werden. Nachfolgend werden beispielhaft die Resultate aus den experimentellen Untersuchungen des L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation bei einer simultanen Regelung des Kompressors und Ventilators dargestellt und diskutiert.

Figur 5 zeigt die gemäss der Heizkurve „Minergie-Standard“ erforderliche Heizleistung und die mit dem L/W-WP-Prototyp mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation erzeugte Heizleistung in Funktion der Umgebungstemperatur. Wird die Wärmepumpe so geregelt, dass die Effizienz stets maximal ist, kann die erzeugte Heizleistung für Umgebungstemperaturen im Bereich zwischen -10°C und 2°C kontinuierlich der erforderlichen Heizleistung angepasst werden. Dazu wird das Teillastverhältnis des Kompressors von 100% (Volllast) bei -10°C auf rund 28% bei 2°C Umgebungstemperatur reduziert. Gleichzeitig wird die Ventilator-drehzahl mit steigender Umgebungstemperatur von -10°C bis 2°C linear reduziert. Für Umgebungstemperaturen über 2°C werden sowohl das Teillastverhältnis des Kompressors als auch die Ventilator-drehzahl nicht weiter reduziert, da die Effizienz sonst abnehmen würde. Die L/W-WP wird bei Umgebungstemperaturen oberhalb 2°C bei stark reduzierter Leistung (Teillastverhältnis Kompressor $f = 28\%$) mit Ein/Aus-Regelung betrieben. Dies hat zur Folge, dass die erzeugte Heizleistung oberhalb 2°C Umgebungstemperatur leicht ansteigt (Betriebscharakteristik von L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung).

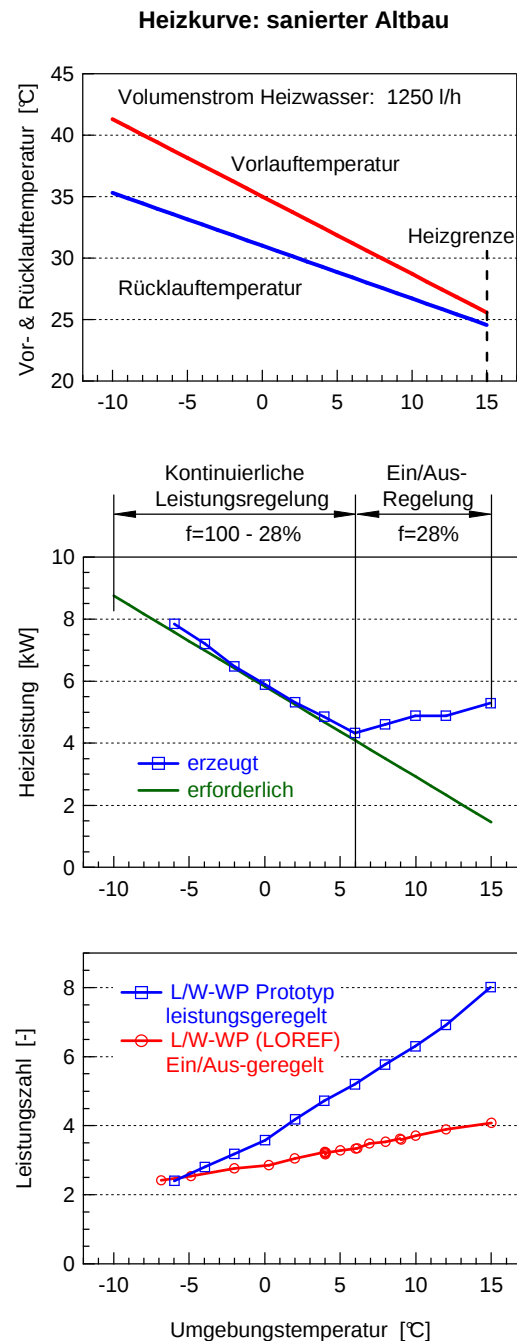
Figur 6 zeigt die gemäss der Heizkurve „sanierter Altbau“ erforderliche Heizleistung und die mit dem L/W-WP-Prototyp mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation erzeugte Heizleistung in Funktion der Umgebungstemperatur. Für diese Heizkurve gelingt die kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung für Umgebungstemperaturen im Bereich zwischen -10°C und 6°C. Zur Erreichung bestmöglicher Leistungszahlen muss die L/W-WP bei Umgebungstemperaturen oberhalb 6°C bei reduzierter Leistung (Teillastverhältnis Kompressor $f = 28\%$) mit Ein/Aus-Regelung betrieben werden.

Die mit dem L/W-WP-Prototyp mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation erreichbaren Leistungszahlen (mit Berücksichtigung der Ventilatorleistung) für die Heizkurve „Minergie-Standard“ sind in Figur 5 dargestellt. Mit Leistungsregelung nimmt die Leistungs-

zahl von 2.6 bei -10°C auf 6.9 bei 10°C Umgebungstemperatur zu. Die im Ein/Aus-Betrieb resultierenden Leistungszahlen des L/W-WP-Prototyps mit dem Digital-Scroll Kompressor sind ebenfalls in Figur 5 dargestellt. Die im leistungsgeregelten Betrieb resultierenden Leistungszahlen liegen bei tiefen Umgebungstemperaturen unterhalb denjenigen des Ein/Aus-Betriebs, werden aber mit steigender Umgebungstemperatur gegenüber der Ein/Aus-Regelung zunehmend besser. Bei 10°C Umgebungstemperatur ist die im leistungsgeregelten Betrieb erreichbare Leistungszahl des L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation rund 36% höher als diejenige des L/W-WP-Prototyps mit dem Digital-Scroll Kompressor im Ein/Aus-geregelten Betrieb.



Figur 5: Heizleistung und Leistungszahl (COP, inkl. Ventilator) für Heizkurve „Minergie-Standard“



Figur 6: Heizleistung und Leistungszahl (COP, inkl. Ventilator) für Heizkurve „sanierter Altbau“

In Figur 6 sind die resultierenden Leistungszahlen des L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation im leistungsgeregelten Betrieb (mit Berücksichtigung der Ventilatorleistung) für die Heizkurve „sanierter Altbau“ dargestellt. Die Leistungszahl

nimmt von 2.4 bei -6°C auf 8.0 bei 15°C Umgebungstemperatur zu. Diese Werte liegen deutlich über denjenigen von L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung. Figur 6 zeigt zum Vergleich zusätzlich die Leistungszahl einer L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung, welche im Rahmen von LOREF 1, 2 für die Heizkurve „sanierter Altbau“ ausgemessen wurde. Die Leistungszahl des leistungsgeregelten L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation ist bei 15°C Umgebungstemperatur doppelt so hoch wie diejenige der L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung.

In Tabelle 1 sind die erreichbaren Jahresarbeitszahlen des leistungsgeregelten L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll der 1. Generation, des L/W-WP-Prototyps mit dem Digital-Scroll Kompressor im Ein/Aus-Betrieb sowie der L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung, welche im Rahmen von LOREF 1, 2 untersucht wurde, für die Heizkurven „Minergie-Standard“ und „sanierter Altbau“ zusammengefasst. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl nach der Methode von v. Böckh 6, erfolgte für die Summenhäufigkeitsverteilung der Umgebungstemperaturen von Zürich (siehe WEXA 3). Bei dieser Methode wird der Einfluss der Frostbildung und der damit notwendigen periodischen Abtauungen nicht berücksichtigt. Die für die Heizkurve „sanierter Altbau“ resultierenden Leistungszahlen des L/W-WP-Prototyps sowie der L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung bei -10°C Umgebungstemperatur wurden für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen extrapoliert.

Der leistungsgeregelte L/W-WP-Prototyp mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation erreicht sehr hohe Jahresarbeitszahlen, welche mit 5.0 für die Heizkurve „Minergie-Standard“ und 4.9 für die Heizkurve „sanierter Altbau“ im Bereich von heutigen Ein/Aus-geregelten Sole/Wasser-Wärmepumpen liegen.

Heizkurve	Minergie-Standard		Sanierter Altbau	
Wärmepumpe	L/W-WP Prototyp mit Inverter-Scroll der 1. Generation	L/W-WP Prototyp mit Digital-Scroll	L/W-WP Prototyp mit Inverter-Scroll der 1. Generation	L/W-WP (LOREF)
Regelstrategie	Leistungsregelung	Ein/Aus-Regelung	Leistungsregelung	Ein/Aus-Regelung
Jahresarbeitszahl [-]	5.0	4.2	4.9	3.1

Tabelle 1: Jahresarbeitszahlen des leistungsgeregelten L/W-WP-Prototyps mit dem Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation, des L/W-WP-Prototyps mit dem Digital-Scroll Kompressor im Ein/Aus-Betrieb und einer L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung für die Heizkurven „Minergie-Standard“ und „sanierter Altbau“

Zurzeit erfolgt die experimentelle Untersuchung der L/W-WP-Prototypen unter Anwendung der simultanen Regelung von Kompressor und Ventilator sowie unter Anwendung der optimierten Abtauregelung. Nach Abschluss dieser Messreihen werden die Jahresarbeitszahlen unter Berücksichtigung des Einflusses der Eis- und Frostbildung und der damit erforderlichen Abtauprozesse ermittelt.

Internationale Zusammenarbeit

In diesem Projekt arbeitet die HSLU T&A mit folgenden Partnern zusammen:

- Emerson Climate Technologies GmbH, Holzhauser Strasse 180, D-13509 Berlin
- Ziehl-Abegg Schweiz AG, Limatstrasse 12, 8957 Spreitenbach

Das Projektteam wird von beiden Industriepartnern mit modernster Technologie und Know-how unterstützt. Die Emerson Climate Technologies GmbH unterstützte das Projektteam bei der Entwicklung der Wärmepumpen-Prototypen intensiv und stellte drei moderne Kompressoren inkl. Steuergeräte, elektronische Expansionsventile und weitere Hardware zur

Verfügung. Die Ziehl-Abegg Schweiz AG lieferte die Ventilatoren der Luftaufbereitungsanlage sowie zwei verschiedene Ventilatoren für die Wärmepumpen-Prototypen.

Bewertung 2010 und Ausblick 2011

In diesem Jahr konnten vier der sechs vorgesehenen Arbeitspakete erfolgreich bearbeitet werden. In einem ersten Schritt wurde der L/W-WP-Prototyp mit dem Digital-Scroll Kompressor einer detaillierten Messreihe unterzogen. Aufgrund des für Wärmepumpen-Anwendungen ungünstigen Teillastverhaltens dieses Kompressors ist das Potenzial für Effizienzsteigerungen gering. Aus diesem Grund wurden im Jahr 2010 zwei weitere L/W-WP-Prototypen aufgebaut. Diese wurden mit unterschiedlichen Scroll-Kompressoren ausgestattet, welche eine Regelung des Kältemitteldurchsatzes durch Drehzahlvariation mittels Inverter erlauben (Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation, Inverter-Scroll Kompressor der 2. Generation). An sämtlichen L/W-WP-Prototypen wurden detaillierte Messreihen durchgeführt. Die zwei zusätzlichen L/W-WP-Prototypen führten zu einem deutlich höheren Aufwand bei den experimentellen Untersuchungen. Mit den Messresultaten wurde das Simulationsprogramm validiert und weiter ausgebaut. Mit Hilfe des Simulationsprogramms und den gewonnen Erkenntnissen aus den experimentellen Untersuchungen wurden geeignete Regelstrategien für die alleinige Regelung des Kompressor sowie für simultane Regelung von Kompressor und Ventilator entwickelt. Diese wurden an den verschiedenen Wärmepumpen-Prototypen erfolgreich überprüft. Durch die konsequente Anwendung der entwickelten Regelstrategien kann die Effizienz von L/W-WP deutlich gesteigert werden.

Die Darstellung des wirtschaftlichen Potenzials von L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung konnte noch nicht vollständig abgeschlossen werden. Die Erarbeitung der detaillierten Auslegungs- und Planungsgrundlagen sowie die Erstellung des Schlussberichts befinden sich in der Schlussphase. Im aktuellen Jahr wurden bereits verschiedene Beiträge für wissenschaftliche Konferenzen im Bereich der Wärmepumpen-Technologie 7, 8, 9 sowie ein Fachartikel 10 verfasst.

Ausblick 2011

Für das Jahr 2011 sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen.

1. Abschätzung des wirtschaftlichen Potentials

Das wirtschaftliche Potenzial von L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung wird abgeschätzt und für Hersteller sowie Nutzer transparent dargestellt. Es wird aufgezeigt wie hoch die Mehrinvestitionen im Vergleich zu „herkömmlichen“ Ein/Aus-geregelten L/W-WP sind. Ebenfalls ausgewiesen werden die Amortisationszeit und das resultierende Einsparpotenzial, welche wichtige Verkaufsargumente darstellen.

2. Erstellung detaillierter Auslegungs- und Planungsgrundlagen und Schlussbericht

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit werden im Schlussbericht dokumentiert. Dabei wird besonders auf die Planungsgrundlagen zur Realisierung von leistungsgeregelten L/W-WP eingegangen. Eine einfach verständliche „Wegleitung“ für die Dimensionierung und Auswahl sämtlicher Komponenten, sowie bezüglich der Regelung effizienter L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung wird erstellt. Diese einfach verständliche „Wegleitung“ soll speziell auf die Bedürfnisse der Branche zugeschnitten sein. Die Zusammenhänge bezüglich der optimalen Regelung von Kompressor und Ventilator sollen mit aussagekräftigen Messungen bestätigt und untermauert werden. Dies ist für die Industrie von grossem Nutzen

und äusserst wertvoll für zukünftige Entwicklung effizienter LW-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung. Abschliessend werden weitere Beiträge für wissenschaftliche Konferenzen im Bereich der Wärmepumpen-Technologie sowie geeignete Fachartikel verfasst.

Referenzen

1. L. Berlinger, M. Imholz, M. Albert, B. Wellig, K. Hilfiker: LOREF – Lamellenluftkühler-Optimierung mit Reduktion von Eis- und Frostbildung: Optimierung des Lamellenluftkühlers/Verdampfers von Luft/Wasser-Wärmepumpen – Teil 1: Theoretische und experimentelle Untersuchungen, Bundesamt für Energie, 2008.
2. R. Sahinagic, L. Gasser, B. Wellig, K. Hilfiker: LOREF – Lamellenluftkühler-Optimierung mit Reduktion von Eis- und Frostbildung: Optimierung des Lamellenluftkühlers/Verdampfers von Luft/Wasser-Wärmepumpen – Teil 2: Mathematisch-physikalische Simulation des Lamellenluftkühlers mit Kondensat- und Frostbildung, Bundesamt für Energie, 2008.
3. L. Gasser, B. Wellig, K. Hilfiker: WEXA – Exergie-Analyse zur Effizienzsteigerung von Luft/Wasser-Wärmepumpen, Bundesamt für Energie, 2008.
4. L. Gasser, B. Wellig: Exergie-Analyse: Wegweiser zu effizienten Heizsystemen mit Wärmepumpen, 15. Status-Seminar „Energie- und Umweltforschung im Bauwesen“, Zürich, 2008.
5. B. Wellig, M. Imholz, M. Albert, K. Hilfiker: Defrosting of FinTube Evaporators for Air/Water Heat Pumps by Ambient Air, 9th IEA Heat Pump Conference, Zurich, 2008.
6. P. von Böckh, H.J. Eggenberger, M. Borer, T. Borer: Geregelte Wärmepumpe Pionier – Geregelte Luft/Wasser-Wärmepumpe für Sanierungen von Öl- und Elektroheizungen, Bundesamt für Energie, 2005.
7. L. Gasser, M. Albert, B. Wellig: Exergy efficient heating systems with capacity controlled air/water heat Pumps, 10th REHVA World Congress, Antalya, May 9-12, 2010.
8. L. Gasser, B. Wellig: Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpe, 16. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte des BFE, 2010.
9. L. Gasser, B. Wellig: Luft/Wasser-Wärmepumpen – genauso effizient wie Sole/Wasser-Wärmepumpen?, 16. Schweizerisches Status-Seminar „Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt“, Zürich, 2./3. Sept. 2010.
10. L. Gasser, B. Wellig: Effizienter durch Leistungsregelung, TGA Fachplaner, Heft 10, 24-28, Okt. 2010.

Anhang

-