



EFFIZIENTE LUFT/WASSER- WÄRMEPUMPEN DURCH KONTINUIERLICHE LEISTUNGSREGELUNG

Jahresbericht 2008

Autor und Koautoren beauftragte Institution	Maik Albert, Lukas Gasser, Dr. Beat Wellig Hochschule Luzern - Technik & Architektur (HSLU T&A) CC Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik
Adresse	Technikumstrasse 21, 6048 Horw
Telefon, E-mail, Internetadresse	041 349 32 57, beat.wellig@hslu.ch , www.hslu.ch/tevt
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	102713/153503
BFE-Projektbegleiter	Th. Kopp, externer F&E-Programmleiter Ressortforschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte
Dauer des Projekts (von – bis)	Juni 2008 – Mai 2010
Datum	05.12.2008

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. Mittels Simulationen und Experimenten soll eine Regelung konzipiert und entwickelt werden, welche in Abhängigkeit des Umgebungszustandes und des Heizbedarfs des Gebäudes den Kältemitteldurchsatz und die Ventilator Drehzahl regelt, das jeweils optimale Abtauverfahren auswählt und die Abtaugung zum optimalen Zeitpunkt einleitet bzw. abbricht. Zur Untersuchung der entwickelten Regelstrategien wird ein Prototyp einer leistungsgeregelten L/W-WP realisiert. Mit dem Projekt sollen Komponenten- und Anlagenherstellern, Installateuren und Planern neue Impulse für die Weiterentwicklung und Effizienzsteigerung von L/W-WP gegeben werden.

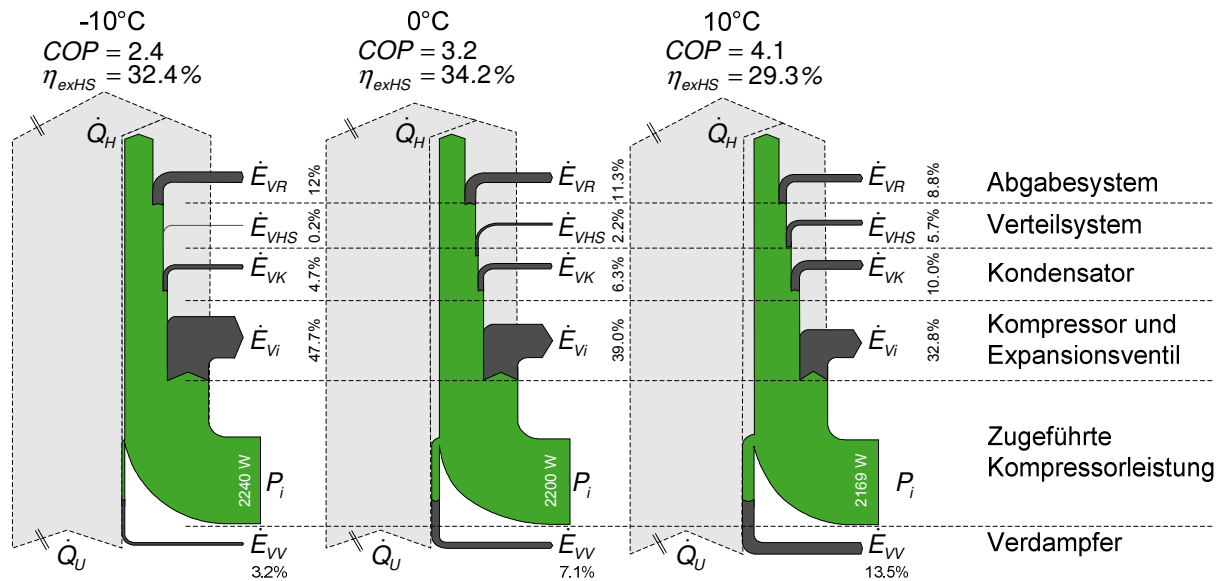
Am Kick-off-Meeting mit den Industriepartnern wurden die Randbedingungen für die Wärmequelle (klimatische Bedingungen) und Wärmesenke (Gebäude) definiert sowie die Anforderungen und Zielsetzungen an die kontinuierliche Leistungsregelung spezifiziert. Durch den Einbezug verschiedener Klimabedingungen ist es möglich, den Einfluss der Auslegung der Wärmepumpe selber und der Regelstrategie auf die Effizienz hin zu untersuchen. Zur Gewährleistung einer möglichst effizienten Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wurde der Zeitplan des Gesamtprojektes sowie der einzelnen Arbeitspakete aktualisiert und detailliert. Mit einer Literaturrecherche wurde ein Überblick zum Stand der Forschung geschaffen. Weiter ist das an der HSLU entwickelte „Wärmemodul“ zur Simulation von Wärmequelle und -senke betriebsbereit. Im kommenden Jahr wird der Wärmepumpen-Prüfstand umgebaut, die Komponenten der leistungsgeregelten L/W-WP ausgelegt und ein Prototyp realisiert.

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.

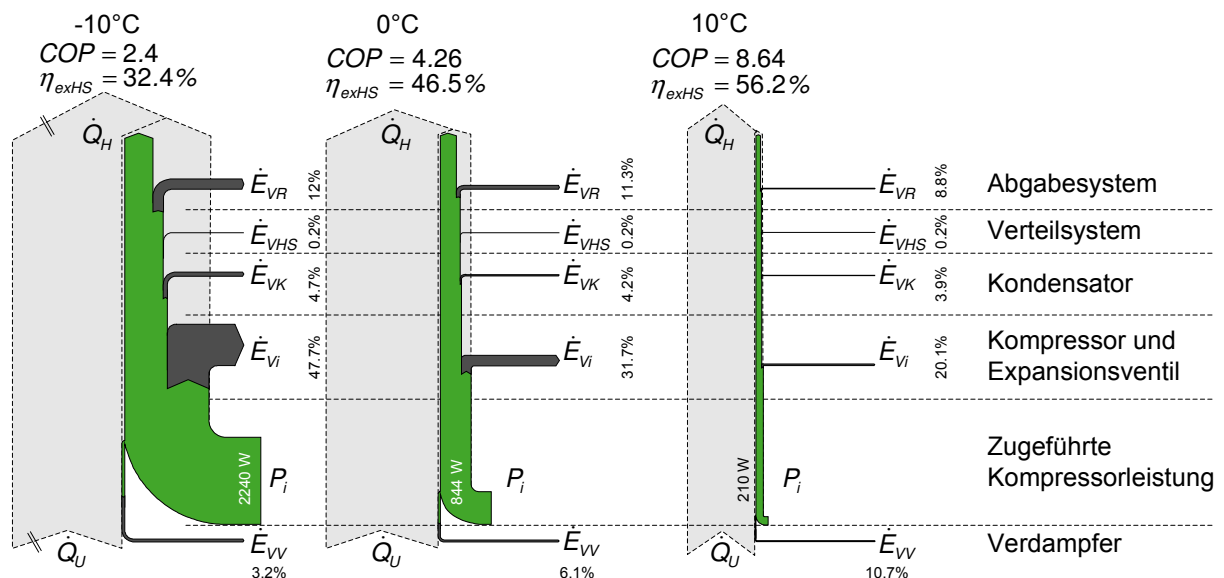
In WEXA [3] [4] konnte eindrücklich gezeigt werden, dass sich durch kontinuierliche Anpassung der erzeugten an die erforderliche Heizleistung mittels einer ausgeklügelten Leistungsregelung die Energieeffizienz von L/W-WP markant steigern lässt (Figur 1 und 2). Zusätzliches Potenzial für Effizienzsteigerungen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

Ein/Aus-Regelung:



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

Kontinuierliche Leistungsregelung:



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 L/W-WP lassen sich durch eine markante Effizienzsteigerung grosse Mengen elektrischer Energie einsparen. Das Forschungsprojekt soll zu neuen Impulsen in der Wärmepumpen-Industrie führen und effizienten, leistungsgeregelten L/W-WP zum Durchbruch verhelfen.

Ziele Gesamtprojekt

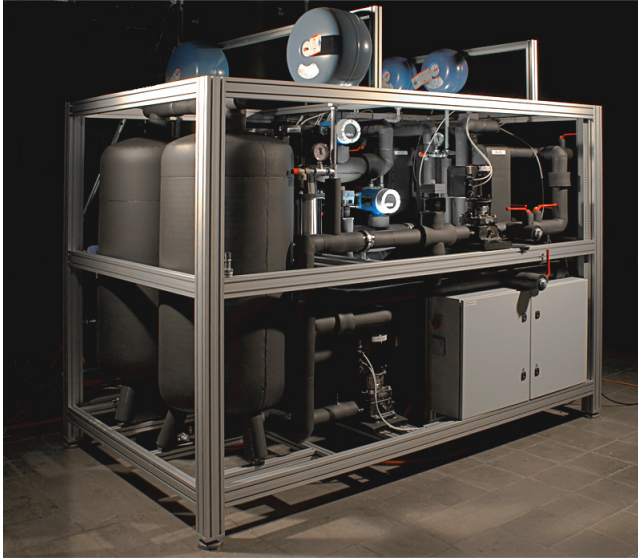
- Entwicklung einer praxisreifen Abtauregelung, unter Einbezug der Abtauerung mit Ventilatornachlauf sowie der Prozessumkehr, welche den optimalen Zeitpunkt zur Abtauerung erkennt, das in Abhängigkeit des Umgebungszustandes optimale Abtaureverfahren einleitet und dieses zum richtigen Zeitpunkt wieder abbricht.
- 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).
- Experimenteller Nachweis der Effizienzsteigerung durch die kontinuierliche Leistungsregelung und die optimierte Abtauregelung gegenüber handelsüblichen L/W-WP mit Ein/Aus-Regelung.
- Erstellung von detaillierten Auslegungs- und Planungsgrundlagen („Wegleitung“) für die Dimensionierung und Auswahl sämtlicher Komponenten sowie für die Regelungstechnik effizienter L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung.

Ziele 2008

Für das aktuelle Jahr war der Projektstart mit der **Definition der Randbedingungen** für Wärmequelle und -senke geplant. Dazu müssen verschiedene Standorte mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, unterschiedliche Referenzgebäude ausgewählt und die entsprechenden Daten beschafft werden. Die **Spezifikation der Anforderungen und die Auswahl der Komponenten** für einen Wärmepumpen-Prototyp erfolgt mit Hilfe des Simulationsprogramms aus LOREF [2], welches vorgängig angepasst werden muss. Im Zentrum steht dabei die Auslegung des Systems „Verdampfer-Ventilator“ unter Berücksichtigung der Eis- und Frostbildung. Parallel dazu war die **Entwicklung einer praxisreifen Abtauregelung für L/W-WP** geplant. Auch dazu soll das vorhandene Simulationsprogramm eingesetzt werden, wobei ebenfalls verschiedene Modifikationen erforderlich sind. Zur Validierung des Simulationsprogramms sind zusätzliche Messungen an der bestehenden Versuchsanlage vorgesehen. Die Abtauregelung soll in der Lage sein, den optimalen Zeitpunkt für die Abtauerung sowie das jeweils optimale Abtaureverfahren auszuwählen und die Abtauerung im richtigen Moment zu beenden.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Neben den Erkenntnissen aus LOREF [1], [2] und WEXA [3] wurden im Rahmen eines HSLU-internen Projektes weitere wichtige Grundlagen für die erfolgreiche Durchführung dieses Projektes geschaffen. Von besonderer Bedeutung ist dabei das fertig erstellte und betriebsbereite „Wärmemodul“ (Figur 3). Dieser mobile Prüfstand besitzt zwei beliebig konditionierbare Medienkreisläufe, mit denen die Wärmequelle und -senke von Wärmepumpen (oder Kälteanlagen) „simuliert“ werden. Mit dem Prüfstand können Sole/Wasser-, Wasser/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen betrieben werden. Für die Untersuchung von L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung wird der Prüfstand von grossem Nutzen sein.



Figur 3: Wärmemodul zur Simulation der Wärmequelle und -senke von Wärmepumpen

Literaturrecherche

Mit einer Literatur- und Internetrecherche wurde ein Überblick über die Forschungslandschaft auf dem Gebiet von leistungsgeregelten Wärmepumpen gewonnen. Forschungsergebnisse liegen hauptsächlich für Sole/Wasser und Wasser/Wasser-Wärmepumpen vor, wobei die Arbeiten von Karlsson [6], [7] besonders hervorzuheben sind. Im deutschsprachigen Raum werden bereits heute von Viessmann und Heliotherm leistungsgeregelte L/W-WP angeboten, welche wesentlich höhere Arbeitszahlen aufweisen als herkömmliche Ein/Aus-geregelte Anlagen. Weiter werden durch andere Unternehmen auch leistungsgeregelte Anlagen von Mitsubishi vertrieben.

Kick-off-Meeting mit Industriepartnern

An der Chillventa in Nürnberg erfolgte das Kick-off-Meeting, an welchem die Industriepartner *Emerson Climate Technologies GmbH* und *Ziehl-Abegg Schweiz AG* teilnahmen. Im Rahmen dieses Meetings wurden gemeinsam die Randbedingungen bezüglich Wärmequelle und -senke definiert. Zudem wurde nochmals über die exakten Zielsetzungen und Anforderungen an die zu entwickelnde Regelung diskutiert, was zu wertvollen Inputs geführt hat.

Definition der Wärmequelle und -senke

In Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wurden die Randbedingungen für die Wärmequelle (Klimabedingungen) und Wärmesenke (Gebäude) definiert. Die detaillierte Auswahl erfolgte anschliessend durch die HSLU T&A. Die Randbedingungen bezüglich Wärmequelle und -senke bestimmen massgeblich die Anforderungen an die Komponenten der Wärmepumpe. Es wurden drei unterschiedliche, für Mitteleuropa typische Klimaszenarien festgelegt. Für jedes dieser Szenarien sollen die Anlage selber und die Regelung der Wärmepumpe optimiert werden. Damit soll aufgezeigt werden, wie die Regelstrategie zur Erreichung einer hohen Effizienz dem Klima am Aufstellungsort anzupassen ist.

Zeitplan

Für eine effiziente Zusammenarbeit mit den Industriepartnern wurde der Zeitplan des Gesamtprojektes sowie der einzelnen Arbeitspakete aktualisiert und detailliert. Dies erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Industriepartnern.

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

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der Emerson Climate Technologies GmbH und der Ziehl-Abegg Schweiz AG konnten Werksbesichtigungen und Diskussionen mit Entwicklungsingenieuren durchgeführt werden. Von beiden Unternehmen erfolgten konkrete Produktvorschläge für die Umsetzung eines Wärmepumpen-Prototyps. Beide Industriepartner sind daran interessiert, das Projektteam mit modernster Technologie und Know-how zu unterstützen. Ein erstes Treffen mit den Industriepartnern hat anlässlich der Chillventa in Nürnberg stattgefunden, welches sehr positiv verlaufen ist. Der Entscheid, mit den Herstellern der Hauptkomponenten, anstelle eines Wärmepumpen-Herstellers, zusammen zu arbeiten, bestätigt sich hier.

Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Bewertung 2008

Der Projektstart ist sehr positiv verlaufen, insbesondere die gute Zusammenarbeit mit den Industriepartnern ist hier zu erwähnen. Der Projektstart erfolgte aufgrund von Verzögerungen später als geplant. Aus diesem Grund konnte die geplante Spezifikation der Komponenten für den Wärmepumpen-Prototyp noch nicht durchgeführt werden. Die Entwicklung der Abtauregelung wurde ebenfalls verschoben, damit diese im kommenden Jahr zusätzlich durch eine Masterarbeit unterstützt werden kann. Bei der Definition der Randbedingungen wurden hingegen die Ziele erreicht.

Ausblick 2009

Für das Jahr 2009 sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

1. Modifikation des Simulationsprogramms aus LOREF

Das in LOREF [2] erarbeitete Simulationsprogramm wird durch die Abtauerung mit Ventilatornachlauf sowie mit Prozessumkehr erweitert und anschliessend validiert. Dabei kann massgeblich auf bereits durchgeführte Messreihen zurückgegriffen werden. Diese Modifikation ist erforderlich für die spätere Entwicklung einer praxisreifen Abtauregelung, da durch die konsequente Anwendung des Simulationsprogramms die Zahl der erforderlichen Messreihen deutlich reduziert werden kann.

2. Umbau des Wärmepumpen-Prüfstandes

Der bestehende Prüfstand zur Konditionierung verschiedener Luftzustände und zur experimentellen Untersuchung von L/W-WP wird modifiziert mit dem Ziel, die Dynamik der Luftkonditionierung zu erhöhen. Dies ist erforderlich für die experimentelle Untersuchung der Abtauprozesse. Bei diesen Untersuchungen ist es wichtig, dass der Luftzustand beim Umschalten vom Heizbetrieb auf den Abtaubetrieb konstant gehalten werden kann, was eine hohe Dynamik bedingt.

3. Spezifikation der Komponenten und Auslegung des Wärmepumpen-Prototyps

Nach der Modifikation des Simulationsprogramms wird mit der Spezifikation der Komponenten und der Auslegung des Wärmepumpen-Prototyps begonnen. Dieses Arbeitspaket erfolgt in enger Zusammenarbeit mit den Industriepartnern.

4. Realisierung und Inbetriebnahme des Wärmepumpen-Prototyps

Der Prototyp wird realisiert und in Betrieb genommen. Die Bereitstellung der Wärmequelle und -senke erfolgt dabei mit dem vorne beschriebenen „Wärmemodul“ (Figur 3). Erste Testmessungen und weitere Modifikationen zur Erreichung einer zuverlässigen Funktion und hohen Betriebssicherheit werden durchgeführt.

5. Entwicklung einer praxisreifen Abtauregelung

Mit Hilfe der Messungen und des Simulationsprogramms wird eine praxisreife Abtauregelung für L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung sowie mit Ein/Aus-Regelung konzipiert. Die Abtauregelung muss in der Lage sein, den optimalen Zeitpunkt zur Einleitung der Abtauung zu erkennen, das optimale Abtauverfahren einzuleiten und die Abtauung zum optimalen Zeitpunkt zu beenden. Diese Regelung wird anschliessend im Prototyp verwendet. Dieses Arbeitspaket wird zusätzlich durch eine Masterarbeit unterstützt.

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] F. Karlsson, P. Fahlen: Capacity-controlled ground source heat pumps in hydronic heating systems, International Journal of Refrigeration-Revue 30 (2): 221–229, 2007.
- [7] F. Karlsson: Capacity control of residential heat pump heating systems, International Journal of Refrigeration 30 (2): 221–229, 2007.

Anhang

-