

IEA Wärmepumpenprogramm Annex 33: Kompakte Wärme- übertragertechnologien in Wärmepumpenanwendungen

M. Monsberger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

59/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Wärmepumpenprogramm Annex 33: Kompakte Wärme- übertragertechnologien in Wärmepumpenanwendungen

DI Dr. Michael Monsberger, Dong-Seong Kim, PhD.,
Immacolata Moretti, Ing. Heinrich Huber, MSc.
Austrian Institute of Technology (AIT)
Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum
Arsenal Gesellschaft mbH

Wien, Juni 2010

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	4
2	Einleitung	6
	2.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes	6
	2.2 Stand der Technik sowie Potenziale im Forschungsgebiet	6
	2.3 Gliederung dieses Endberichts.....	9
3	Überblick über den IEA HPP Annex 33.....	9
	3.1 Inhalt und Zielsetzung von Annex 33	9
	3.2 Partnerländer im Annex 33.....	10
	3.3 Struktur und Inhalte des IEA HPP Annex 33	11
	3.4 Überblick über die österreichischen Beiträge zum Annex 33	12
4	Ergebnisse des nationalen Projektes	14
	4.1 Beitrag zu Task 1: Market research.....	14
	4.1.1 Überblick über den österreichischen Wärmepumpenmarkt	14
	4.1.2 Marktüberblick über Wärmeübertragerhersteller in Österreich	22
	4.2 Beitrag zu Task 2: Evaluierung der Performance von WÜ für WP	24
	4.2.1 Sichtung und Aufarbeitung des vorhandenen Datenmaterials.....	24
	4.2.2 Festlegung und Implementierung der Datenstruktur	26
	4.2.3 Thermodynamische Modellierung des Kältekreises	29
	4.2.4 Auswertung und Analyse	34
5	Detailangaben in Bezug auf die Forschungsk Kooperation IEA	42
	5.1 Relevanz der Projektergebnisse aus der Teilnahme an Annex 33	42
	5.2 Einbindung der Stakeholder	43
6	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	44
	6.1 Ergebnisse aus dem Wissenstransfer im Annex Konsortium	44
	6.2 Ergebnisse des nationalen Annex Workshops	45
	6.3 Ergebnisse aus der Befragung österreichischer Wärmeübertragerhersteller ..	46
	6.4 Ergebnisse aus der Evaluierung der Messdaten von Wärmepumpen.....	46
7	Ausblick und Empfehlungen	47
8	Verzeichnisse.....	48
	8.1 Literaturverzeichnis	48
	8.2 Abbildungsverzeichnis.....	49
	8.3 Tabellenverzeichnis.....	50
	8.4 Abkürzungsverzeichnis	50
9	Anhang	51
	9.1 Präsentation vom nationalen Annex 33 Workshop am AIT	51

1 Kurzfassung

Der IEA HPP Annex 33 wurde mit der Zielsetzung durchgeführt, potentielle Einsatzmöglichkeiten von kompakten Wärmeübertragertechnologien (Compact Heat Exchangers – CHE) in Wärmepumpenanwendungen zu evaluieren und zu untersuchen. Der Einsatz innovativer Kompaktwärmeübertrager bringt - je nach Art der Wärmepumpe - verschiedenste Vorteile mit sich, wie beispielsweise die Steigerung der Effizienz, die Reduktion von Kältemittelfüllmengen oder die Minimierung des Materialeinsatzes in der Wärmepumpe. Somit kann durch den Einsatz kompakter Wärmeübertrager eine weitere Steigerung des Potentials von Wärmepumpen sowohl in ökologischer als auch ökonomischer Hinsicht erreicht werden. Beispielhaft seien in diesem Zusammenhang natürliche Kältemittel genannt. Des Weiteren spielen neue Wärmeübertragertechnologien auch bei der Entwicklung und Etablierung alternativer Wärmepumpen wie der Sorptionswärmepumpe eine zentrale Rolle.

Inhaltlich wurden die Arbeiten im Annex in vier Subtasks bearbeitet: Marktstudie, Evaluierung der Leistungsfähigkeit von Kompaktwärmeübertragern in Wärmepumpen, Untersuchung der Eigenschaften und Einsatzgrenzen kompakter Wärmeübertrager sowie Dissemination der Ergebnisse. Im Rahmen der Aktivitäten wurden von den Projektpartnern vielseitige Beiträge und Projektbeispiele in den Annex eingebracht, die von grundlegenden Forschungsarbeiten bis hin zu Marktrecherchen reichten. Die Ergebnisse von Annex 33 geben damit einen umfangreichen Überblick über internationale Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesen Themenbereich und zeigen zukünftige Perspektiven und Möglichkeiten für den Einsatz dieser Wärmeübertragertechnologien in Wärmepumpen auf. Hervorzuheben wären beispielsweise Forschungsarbeiten im Bereich von Wärmeübergangsprozessen in Mikrokanalströmungen oder die Entwicklung von Hochleistungswärmeübertragern für natürliche Kältemittel.

Im Rahmen der österreichischen Beiträge wurden zunächst Daten zum österreichischen Wärmepumpenmarkt in den Annex eingebracht. Des Weiteren wurde in einer Umfrage unter österreichischen Wärmeübertragerherstellern erhoben, in wie weit Wärmepumpenanwendungen für ihr Produktportfolio von Relevanz sind. Der Schwerpunkt des österreichischen Beitrags lag in weiterer Folge in der Evaluierung umfangreicher Wärmepumpen-Messdaten, die Aufschluss über die derzeitige Performance von Wärmepumpen und deren Wärmeübertragern geben und damit als Referenz bei der Entwicklung neuer Wärmeübertrager-Technologien herangezogen werden können.

Es ist zu erwarten, dass die im Annex aufgezeigten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu Innovationen bzw. einer technologischen Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie führen werden. Für österreichische Unternehmen und Forschungsinstitutionen bilden die Ergebnisse von Annex 33 eine Basis, um aktuelle technologische Trends zu evaluieren bzw. um gezielt Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aufgreifen zu können. Daraus resultierende Innovationen bieten neue Möglichkeiten und Marktperspektiven für österreichische Unternehmen im Bereich der Entwicklung und Produktion von Wärmepumpen und Wärmeübertragern, womit ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Stärkung dieser Branchen und damit zur Steigerung der Wertschöpfung in Österreich geleistet werden kann.

2 Abstract

The aim of the IEA HPP Annex 33 was to evaluate and analyse the potential use of compact heat exchanger technologies (CHE) in heat pumps. The benefits of innovative compact heat exchangers include increased efficiency, reduced quantity of refrigerant needed or minimized material content for example, depending on the different types of heat pumps. The use of CHE will therefore further increase the potential of heat pumps in both ecological and economical terms. The application of natural refrigerants is one example in this context. In addition, new CHE are of importance in developing and establishing alternative heat pump systems like sorption heat pumps.

Annex 33 involved the following four subtasks: market research, evaluation of the performance of CHE relevant to heat pumps, evaluation of properties and operating limits of such equipment as well as information sharing. The project partners contributed various projects and other inputs ranging from basic research to market research activities. The results of Annex 33 thus provide an extensive overview of international research and development activities in the topic concerned and highlight future perspectives and possibilities for the use of compact heat exchangers in heat pumps. This includes for examples research in the area of heat transfer processes in micro channel flows or the development of high performance heat exchangers for natural refrigerants.

The Austrian project team initially provided common market data on the national heat pump market. Furthermore a survey was undertaken amongst the Austrian producers of heat exchangers in order to gather information on the relevance of heat pump systems for their product portfolio. However, the Austrian contribution focused on the evaluation of extensive measured heat pump data, which indicate the current performance of heat pumps and their heat exchangers. The results may thus be used as a reference in developing new heat exchanger technologies.

It is expected that the research and development activities undertaken and compiled in Annex 33 will lead to further innovation and technological advancements in the heat pump technology. For Austrian companies and research institutes, its results are a basis for evaluating new technological trends and for initiating specific research and development activities. Resulting innovations will offer new opportunities and market perspectives for Austrian companies involved in the development and production of heat pumps and heat exchanger technologies, thus strengthening the sectors involved and leading to an increase in the Austrian value added.

3 Einleitung

3.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Wärmepumpen-Prozesse werden in großem Umfang und in verschiedenster Form in Anwendungen der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik eingesetzt. Neben dem Bereich der Wohnraumkühlung und Klimatisierung, wo die nach dem Wärmepumpenprinzip arbeitende Kompressionskältemaschine die Standardtechnologie darstellt, werden elektrisch betriebene Wärmepumpen in zunehmendem Maße auch bei der Wohnraumbeheizung, Brauchwasserbereitung und Wohnraumbelüftung mit Wärmerückgewinnung eingesetzt. Die letzten zwei Dekaden waren durch signifikante technologische Entwicklungen und Veränderungen auf dem Gebiet der Wärmepumpen- bzw. der Kälte- und Klimatechnik gekennzeichnet. Ein mitunter maßgebender Treiber für diese Entwicklungen waren ökologische Fragestellungen, wie insbesondere die Verwendung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) als Kältemittel in derartigen Anlagen. Die Tatsache, dass die Freisetzung von FCKW in die Atmosphäre maßgeblich mitverantwortlich für den Abbau der Ozonschicht ist, führte zur Entwicklung neuer Kältemittel und zu einem Verbot von FCKW, das in vielen Ländern der Welt bereits umgesetzt ist. Mit der Entwicklung von Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) stehen heute Kältemittel zur Verfügung, die kein Ozon-Abbaupotential (Ozone Depletion Potential, kurz ODP) mehr aufweisen. Während der letzten Jahre rückte jedoch das Treibhauspotential (Global Warming Potential, kurz GWP) häufig verwendeter FKW-Kältemittel ins Zentrum der Diskussion. Durch die Notwendigkeit der signifikanten Reduktion des Treibhauseffektes ist mittelfristig mit einem Ausstieg aus FKW durch die Einführung entsprechender gesetzlicher Maßnahmen zu rechnen (EG Verordnung Nr. 842/2006, 2006). Dies macht zukünftig die Entwicklung bzw. Verwendung alternativer Kältemittel notwendig.

Im Sinne einer Lebenszyklusbetrachtung spielt der Materialeinsatz in Wärmepumpen bzw. in Kälte- und Klimaanlage eine wichtige Rolle (Prek, 2004). Dies betrifft besonders den notwendigen Materialeinsatz zur Realisierung großer wärmeübertragender Flächen in Wärmeübertragern und hier insbesondere die Herstellung von Luftwärmeübertragern, die als besonders materialintensiv gelten. Neben ökologischen Aspekten stehen - über den Lebenszyklus betrachtet - aufgrund steigender Rohstoffpreise zunehmend auch ökonomische Fragestellungen im Vordergrund. Die Minimierung des Materialeinsatzes durch Einsatz neuer, technologisch weiterentwickelter Wärmeübertrager ist daher ein wichtiger Faktor zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Wärmepumpentechnologie.

3.2 Stand der Technik sowie Potenziale im Forschungsgebiet

Die Entwicklung und der Einsatz kompakter Wärmeübertrager (Compact Heat Exchanger bzw. kurz CHE) spielt bei der Weiterentwicklung von Wärmepumpen in Bezug auf die zuvor genannten Fragestellungen eine wichtige Rolle. Zusätzlich ergeben sich auch in anderen Technologiebereichen, insbesondere der Kälte- und Klimatechnik sowie der chemischen und thermischen Prozesstechnik, aber auch der Mikroelektronik, neue Möglichkeiten und Perspektiven. Die nachfolgend zusammengefassten Aspekte

zum Einsatz von CHE geben einen Überblick über relevante Fragestellungen in Hinblick auf die Entwicklung und den Einsatz von CHE in Wärmepumpen (Reay et al., 2009).

Reduktion von Kältemittelfüllmengen

Die Reduktion von Kältemittelfüllmengen ist ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung zukünftiger Wärmepumpen. Dies bedingt, dass der Kältekreis der Wärmepumpe ein möglichst kleines Volumen aufweisen muss. Ein signifikanter Volumensanteil einer Kompressionswärmepumpe kann - neben dem Sammler - dem Verdampfer bzw. Kondensator zugeordnet werden. Im Falle einer Absorptionswärmepumpe müssen zusätzlich der Absorber sowie der Generator berücksichtigt werden. Eine Reduktion der Kältemittelfüllmenge ist daher auch eine Aufgabe der Reduktion des Volumens und damit der Konstruktion der verwendeten Wärmeübertrager. Die Vorteile, die sich aus einer Reduktion der Kältemittelfüllmenge ergeben, sind teilweise unabhängig von der Art des eingesetzten Kältemittels, da kleinere Wärmeübertragervolumen automatisch auch zu einer Verringerung der Baugröße und damit des Materialeinsatzes führen. Bei GWP relevanten Kältemitteln wird durch die Reduktion der Kältemittelmenge gleichzeitig die Leckrate reduziert, was sich positiv im Sinne der Umweltbelastung auswirkt. Bei der Verwendung natürlicher Kältemittel kommt der Füllmengenreduktion, wie nachfolgend dargestellt, eine besondere Bedeutung zu.

Einsatz natürlicher Kältemittel

Aufgrund des Treibhauspotentials konventioneller Kältemittel wurde während der letzten Jahre der Einsatz natürlicher Kältemittel in Wärmepumpen sowie in kälte- und klimatechnischen Anlagen inklusive dem Bereich der mobilen Kühlung und Klimatisierung vor allem in Europa intensiv diskutiert. Potentielle Kandidaten sind Kohlendioxid, Kohlenwasserstoffe und Ammoniak. Der Vorteil natürlicher Kältemittel besteht in ihrer hervorragenden Umweltverträglichkeit (extrem niedriges GWP und kein ODP) sowie in deren natürlichem Vorkommen und damit einfachen Herstellungsverfahren. Obwohl natürliche Kältemittel technologisch prinzipiell handhabbar sind, weisen sie gegenüber den heute in überwiegendem Maß verwendeten Sicherheitskältemitteln (FKW) Nachteile auf, die bis dato den Durchbruch dieser Technologien verhindert haben. Im Falle von Kohlenwasserstoffen ist deren Brennbarkeit zu nennen, bei Ammoniak dessen Toxizität und im Falle von Kohlendioxid die thermodynamisch bedingten hohen Betriebsdrücke im System. Hinzu kommt der Umstand, dass insbesondere im Fall von transkritischen CO₂-Prozessen herkömmliche Kältekreis Komponenten nicht verwendet werden können, da diese nicht für die notwendigen Betriebsdrücke geeignet sind. Die Entwicklung kompakter Wärmeübertrager bietet - wie zuvor erwähnt - die Möglichkeit, die absolute Füllmenge brennbarer oder toxischer Kältemittel im Gerät idealerweise auf ein unbedenkliches Minimum zu reduzieren. Dies würde die Einsatzmöglichkeiten sowie die Akzeptanz von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln substantiell erhöhen.

Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Verringerung der Kältemittelfüllmenge

Eine Herausforderung, die sich aus der Verringerung von Kältemittelfüllmengen ergibt, ist die Beibehaltung bzw. die Steigerung der Effizienz des Systems. Bei der Verringerung der Baugröße von Wärmeübertragern in Wärmepumpen ist darauf zu achten, dass dies nicht zu größeren Temperaturspreizungen und damit zu

Effizienzeinbußen führt. Eine Möglichkeit, dies zu bewerkstelligen besteht beispielsweise darin, den kältemittelseitigen Kanalquerschnitt, d.h. den hydraulischen Durchmesser, zu verkleinern. Dies führt bei gleicher Temperaturspreizung und gleichen Massen- und Wärmeströmen in der Regel zu einer Erhöhung des Wärmeübergangskoeffizienten. Somit kann durch diese Maßnahme aufgrund der höheren Wärmeübertragung entweder der Wärmeübertrager bei gleich bleibender Systemeffizienz kleiner gebaut werden oder es kann bei gleicher Baugröße eine Erhöhung der Effizienz erzielt werden. Die Möglichkeit der Reduktion des Kanalquerschnitts ist daher eine wirksame Methode, auf deren Basis kompakte Wärmeübertragerkonzepte (z.B. Microchannel heat exchangers) entwickelt werden können.

Schnittstellen zu anderen Technologiebereichen

Neben alternativen Anwendungen im Bereich der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik (z.B. in Frischwassermodule von Solarsystemen) sind kompakte Wärmeübertrager auch in anderen Anwendungsgebieten von Relevanz. Zu nennen sind der Bereich der Kühlung mikroelektronischer Komponenten (z.B. Mikroprozessoren), wo beispielsweise Mikrokanäle zur Aufnahme eines Wärmeträgermediums in die Struktur der Komponenten eingearbeitet werden. Alternativ werden in diesem Bereich auch Kühlplatten mit Mini-Kanälen und Mini-Heatpipes eingesetzt. Im Bereich der automotiven Klimatechnik finden Multikanal-Wärmeübertrager aus Aluminium Anwendung als Kondensatoren. Weiters zu erwähnen ist die Entwicklung von Mikrokanal-Lamellenwärmeübertragern für Split-Klimageräte. Daneben wird die Entwicklung von CHE auch im Bereich der chemischen und thermischen Prozesstechnik, beispielsweise im Bereich der Prozessintensivierung aber auch der Reaktortechnik vorangetrieben, insbesondere in Prozessen, bei denen gefährliche Stoffe gehandhabt werden müssen. Wichtig für die Entwicklung von CHE sind jedoch auch Fortschritte im Bereich der Materialwissenschaften, insbesondere in der Entwicklung neuer Fertigungsverfahren, welche die Herstellung feiner Strukturen und kleinster Kanäle mit großer Präzision und in großen Mengen bei gleichzeitig niedrigen Herstellungskosten, ermöglichen.

Einsatz von CHE in Absorptionswärmepumpen und Absorptionskältemaschinen

Im Falle von Absorptionswärmepumpen spielen kostengünstige und effiziente Stoff- und Wärmeübertrager eine besonders wichtige Rolle, da in einer Absorptionswärmepumpe vier Stoff-/Wärmeübertrager zum Einsatz kommen (Generator, Absorber, Kondensator, Verdampfer). Absorptionswärmepumpen werden derzeit hauptsächlich in großtechnischen Anlagen verwendet. Im kleinen Leistungsbereich konnte sich diese Technologie aufgrund ihrer im Vergleich zur Kompressionstechnologie höheren Komplexität noch nicht am Markt durchsetzen, obwohl es für diese Technologie interessante, potenzielle Anwendungen wie „Solares Kühlen“ oder „dezentrales Kühlen mit Fernwärme“ gibt. Die Entwicklung von leistungsfähigen und kompakten Stoff- und Wärmeübertragern ist mitentscheidend für die Etablierung dieser Technologie am Markt.

Reduktion von Entsorgungskosten

Als abschließender Punkt seien die Entsorgungskosten von Wärmepumpensystemen angeführt. Aufgrund der zuvor genannten Vorteile kann davon ausgegangen werden,

dass sich der Einsatz von CHE aus ökologischer Sicht durchgängig positiv bei der Entsorgung von Wärmepumpen, aber auch von Geräten im Bereich der Kälte- und Klimatechnik auswirkt, unabhängig davon, um welche Art von Gerät es sich handelt bzw. unabhängig von den eingesetzten Materialien.

3.3 Gliederung dieses Endberichts

Den Ausgangspunkt dieses Berichts bildet ein Überblick über die Struktur, die konkreten Inhalte sowie die Zielsetzungen von Annex 33. In diesem Zusammenhang werden auch die österreichischen Beiträge vorgestellt. Die Ergebnisse der österreichischen Projektbeiträge werden in Kapitel 4 präsentiert. Die Zielsetzung dieser Beiträge war es, die aktuelle Entwicklung des heimischen Wärmepumpenmarktes mit seinen Besonderheiten in den Annex einzubringen, sowie einen Überblick über österreichische Unternehmen im Bereich der Wärmeübertragerherstellung im Rahmen des Country Reports zu geben. Den Schwerpunkt der Arbeiten bildete in weiterer Folge die Analyse von umfangreichen Messdaten von Wärmepumpen mit der Zielsetzung, die Charakteristika der zurzeit in Wärmepumpen eingesetzten Wärmeübertrager sowie das Potential für zukünftige Entwicklungen aufzuzeigen. In Kapitel 5 wird auf die Forschungsk Kooperation mit der Internationalen Energieagentur eingegangen, bevor in Kapitel 6 die wesentlichen Erkenntnisse aus der Teilnahme im Annex zusammengefasst werden.

4 Überblick über den IEA HPP Annex 33

4.1 Inhalt und Zielsetzung von Annex 33

Der IEA HPP Annex 33 wurde ins Leben gerufen, um CHE-Technologien für Wärmepumpen zu identifizieren, wobei sowohl existierende als auch noch im Entwicklungsstadium befindliche Technologien betrachtet wurden. Durch die Aktivitäten im Annex soll der Einsatz von CHE in Wärmepumpenanwendungen vorangetrieben werden. Die Hauptarbeitsbereiche im Annex lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Dokumentation internationaler Aktivitäten im Bereich der Entwicklung und Anwendung kompakter Wärmeübertrager
- Evaluierung der Leistungsfähigkeit von CHE in Wärmepumpen
- Untersuchung und Angabe von Betriebs- und Einsatzgrenzen von CHE

Ganz allgemein sollte der Annex dazu beitragen, eine Verbesserung der Umweltfreundlichkeit und Effizienz der Wärmepumpentechnologie zu bewirken. Konkret wurden dabei folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Identifikation geeigneter CHE-Technologien für den Einsatz in Wärmepumpen
- Minimierung von Umweltauswirkungen durch Herstellung, Betrieb und Entsorgung von Wärmepumpen
- Minimierung von Kältemittelfüllmengen in Wärmepumpen durch den Einsatz von CHE
- Minimierung des Materialeinsatzes in Wärmepumpen

- Identifikation, Entwicklung und Dokumentation von Methoden zur Charakterisierung und Berechnung von CHE
- Aufzeigen von Synergieeffekten mit anderen Industriezweigen bei der Verwendung und Entwicklung von CHE
- Aufzeigen von Betriebs- und Einsatzgrenzen von CHE in Wärmepumpen
- Dissemination: Publikation bzw. Weitergabe und Verbreitung der Ergebnisse und Erkenntnisse des Annex

4.2 Partnerländer im Annex 33

Am IEA HPP Annex 33 nahmen fünf Partnerländer teil: Großbritannien (Operating Agent), Japan, Österreich, Schweden und die USA. Die Laufzeit betrug insgesamt 3 Jahre, das Abschlussmeeting fand im September 2009 in London statt. Österreich trat dem Annex im Juli 2008 bei und war somit nur für die Dauer von 15 Monaten Partner im Annex. Die Partnerländer waren durch folgende Institutionen vertreten:

Großbritannien (Operating Agent):

David Reay & Associates
Kontakt: Prof. David Reay

Heriot-Watt University
School of Engineering & Physical Sciences
Kontakt: Dr. Peter Kew

Brunel University
School of Engineering and Design
Kontakt: Prof. Tassos G. Karayiannis

Schweden (Vice Operating Agent)

KTH, Royal Institute of Technology
Department of Energy Technology
Kontakt: Prof. Bjorn Palm

Japan

Kyushu University
Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences
Kontakt: Prof. Shigeru Koyama

Österreich

Austrian Institute of Technology (AIT)
Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.
Kontakt: Dr. Michael Monsberger

USA

University of Illinois at Urbana-Champaign
Kontakt: Prof. Clark Bullard

4.3 Struktur und Inhalte des IEA HPP Annex 33

Der IEA HPP Annex 33 ist in die nachfolgend kurz dargestellten 4 Tasks untergliedert:

- Task 1: Market research
- Task 2: Evaluation of the performance of compact heat exchangers relevant to heat pumps
- Task 3: Evaluation of properties and operating limits of such equipment
- Task 4: Information sharing

Task 1: Market research

Das Ziel dieses Tasks bestand darin, bereits kommerziell erhältliche, kompakte Wärmeübertrager zu identifizieren sowie internationale Trends und Marktentwicklungen in der Wärmepumpenindustrie aufzuzeigen. Es sollte identifiziert werden, wo potentielle Einsatzmöglichkeiten liegen. Dabei wurden auch Sektoren abseits der Wärmepumpenindustrie einbezogen.

Task 2: Evaluation of the performance of compact heat exchangers relevant to heat pumps

Inhalt dieses Tasks war das Sammeln, Entwickeln bzw. Dokumentieren von Methoden zur Beurteilung der Performance von CHE (z.B. Wärmeübergang, Druckverlust, Dampfqualität,...). Zu diesem Zweck wurden Methoden und Berechnungsvorschriften gesammelt, die aus der wissenschaftlichen Literatur bekannt sind oder von Herstellern zur Auslegung von Wärmeübertragern veröffentlicht wurden. Insbesondere wurde bereits vorhandenes Datenmaterial aus Projekten in den einzelnen Partnerländern in den Annex eingebracht, welches Rückschlüsse auf die Performance von Wärmeübertragern in Wärmepumpenanwendungen ermöglicht.

Task 3: Evaluation of properties and operating limits of such equipment

In diesem Task sollten Einsatzgrenzen von CHE in Wärmepumpen in Bezug auf Druck- und Temperaturniveaus, Materialkompatibilität, Minimierung von Kanalgrößen sowie Produktionsmöglichkeiten aufgezeigt und untersucht werden. Ein möglicher Technologietransfer von anderen Industriesektoren, wo CHE teilweise schon eingesetzt werden (z.B. Automobilindustrie), wurde evaluiert.

Task 4: Information sharing

Die Aufarbeitung der gesammelten Informationen bzw. Erkenntnisse war Inhalt von Task 4. Die Zielsetzung bestand in der Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Endbericht (Reay et al., 2009), der in weiterer Folge als Informationsquelle von Stakeholdern der Wärmepumpenindustrie (und Kälte- und Klimaindustrie) genutzt werden kann. Dieser Bericht kann dabei als Leitfaden bei der Entwicklung von neuen umweltfreundlichen Produkten mit geringen Kältemittelfüllmengen und hoher Effizienz durch Einsatz von CHE herangezogen werden. Der Endbericht wurde vom Operating Agent basierend auf den Inputs der nationalen Projektteams verfasst. Der internationale Endbericht des IEA HPP Annex 33 (Reay et al., 2009) ist über das IEA Heat Pump Centre¹ verfügbar.

¹ www.heatpumpcentre.org, Stand Juni 2010

Des Weiteren waren die Durchführung der Annex Meetings sowie internationaler und nationaler Workshops integraler Bestandteil dieses Tasks. Es wurden insgesamt vier Annex Meetings (Stockholm, Zürich, Chicago, London) sowie drei international besetzte Workshops im Rahmen der Meetings in Stockholm, Zürich und Chicago durchgeführt. Zusätzlich wurde ein nationaler Workshop in Wien abgehalten. Die Impulspräsentation des Workshops ist diesem Bericht als Anhang beigelegt.

Es wurde außerdem eine Webpage für Annex 33 eingerichtet, auf der die Aktivitäten des Annex zusammengefasst sind und auch Präsentationen aus den internationalen Workshops zum Download zur Verfügung stehen (www.compactheatpumps.org, Stand April 2010).

Aus den durchgeführten Arbeiten und Recherchen in den einzelnen Tasks liegen umfangreiche Ergebnisse vor, die detailliert im internationalen Annex 33 Endbericht (Reay et al., 2009) zusammengefasst wurden. Neben den im Rahmen des Annex erarbeiteten Beiträgen stellen die von den nationalen Teams eingebrachten Projekte, die im Annex Endbericht zusammenfassend dargestellt und referenziert sind, einen wichtigen Bestandteil dar. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Resultate aus der internationalen Kooperation im Annex ist in Kapitel 6 dieses Berichts enthalten. Eine detaillierte Beschreibung und Diskussion sämtlicher eingebrachten internationalen Projekte und Beiträge zum Annex würden den Rahmen dieses nationalen Berichts sprengen. Diesbezüglich kann nur auf den Endbericht des Annex verwiesen werden (Reay et al., 2009). Der Schwerpunkt des vorliegenden Berichts liegt auf der Darstellung der österreichischen Beiträge zum Annex.

4.4 Überblick über die österreichischen Beiträge zum Annex 33

Die inhaltlichen Schwerpunkte der österreichischen Beiträge zum Annex 33 lagen in den Tasks 1 und 2. Im Rahmen von Task 4 nahm Österreich bei den Annex Meetings teil und hielt Vorträge bei den assoziierten Workshops. Zusätzlich wurde ein nationaler Workshop abgehalten. In Task 3 wurde das nationale Forschungsprojekt „CoolPlate“ (FFG Projekt Nr. 813254) in den Annex eingebracht. Nachfolgend sind die Inhalte und Ziele der österreichischen Beiträge zu den einzelnen Tasks zusammengefasst.

Beiträge zu Task 1: Market research

Der nationale Beitrag zu diesem Task beinhaltet einen Überblick über Entwicklungen auf dem österreichischen Wärmepumpenmarkt sowie einen Überblick über österreichische Wärmeübertragerhersteller. Im Rahmen des Überblicks über die Marktentwicklung in Österreich soll anhand der Daten aufgezeigt werden, in welche technologische Richtung (d.h. Marktanteil verschiedener Systeme wie z.B. Wasser/Wasser, Sole/Wasser, Luft/Wasser, Direktverdampfer,...) sich der Markt entwickelt. Dies ist insofern von Relevanz, als unterschiedliche Wärmepumpentypen unterschiedliche Wärmeübertragertypen bedingen. Die Marktentwicklungen sind dabei eine Randbedingung für die Abschätzung des Marktpotentials bestimmter Entwicklungen und damit auch ein Faktor, der bei der Wahl von Forschungsschwerpunkten in diesem Bereich berücksichtigt werden sollte.

Die Zielsetzung des zweiten Teils der Marktstudie bestand in der Erhebung österreichischer Wärmeübertragerhersteller sowie in der Identifikation der Technologie- und Marktsegmente, in denen diese Hersteller operieren. Es sollte erhoben werden, in wie weit österreichische Wärmeübertragerhersteller bereits Produkte für Wärmepumpen herstellen bzw. inwiefern österreichische Hersteller im Bereich kompakter Wärmeübertrager aktiv sind.

Beiträge zu Task 2: Evaluation of the performance of compact heat exchangers relevant to heat pumps

Den Schwerpunkt der Beiträge zu diesem Task bildete eine thermodynamische Analyse von Messdaten in Hinblick auf die Performance von Wärmeübertragern in Wärmepumpen. Als Basis dienten anonymisierte Messdaten, die am AIT aus unterschiedlichen Wärmepumpenmessungen vorhanden sind. Es wird erwartet, dass die Analyse dieses umfangreichen Datenmaterials den derzeitigen Stand der Performance von Wärmeübertragern widerspiegelt. Die Analyse stellt somit einen Referenzfall dar, anhand dessen die Potentiale, die sich durch die Nutzung verschiedener CHE-Technologien in Wärmepumpen ergeben, aufgezeigt werden. Dazu waren konkret folgende Arbeiten notwendig:

- Sichtung und Aufarbeitung des Datenmaterials
- Festlegung und Implementierung einer Datenstruktur
- Thermodynamische Modellierung des Kältekreis
- Auswertung und Analyse

In einem ersten Schritt war es notwendig, die aus Messungen vorhandenen Rohdaten geordnet in einen gemeinsamen Datenpool zu übertragen. Dies war insofern unabdingbar, als die Datensätze der unterschiedlichen Messungen in Einzeldateien vorlagen, was eine Verknüpfung der Datensätze zur Analyse nicht gestattete. In einem zweiten Schritt musste ein einheitliches Datenformat gefunden werden. Diese Festlegung erwies sich insofern als aufwändig, als für unterschiedliche Wärmepumpentypen unterschiedliche Messkonfigurationen vorlagen. Für die Auswertung und Analyse der Daten wurde ein thermodynamisches Modell entwickelt und eingesetzt. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abschnitt 4 zusammenfassend dargestellt.

Beitrag zu Task 3: Evaluation of properties and operating limits of such equipment

In Task 3 wurde das Forschungsprojekt „CoolPlate“, beim Annex 33 Workshop in Chicago vorgestellt. Das Projekt zielt darauf ab, möglichst kostengünstige, kompakte Wärmeübertrager für Absorptionsmaschinen im kleinen Leistungsbereich zu entwickeln, um diese Technologie attraktiver zu gestalten.

Beiträge zu Task 4: Information sharing

Aktivitäten in diesem Task beinhalteten die Teilnahme an den Annex Meetings und Workshops, das Verfassen des Country Reports als Beitrag zum Endbericht des Annex sowie die Durchführung eines nationalen Workshops.

5 Ergebnisse des nationalen Projektes

Nachfolgend sind die Ergebnisse der österreichischen Beiträge zu den Tasks 1 und 2 dargestellt.

5.1 Beitrag zu Task 1: Market research

5.1.1 Überblick über den österreichischen Wärmepumpenmarkt

Nachfolgend werden kurz die in Österreich üblichen Wärmepumpentechnologien vorgestellt sowie die Entwicklung des nationalen Wärmepumpenmarktes präsentiert.

5.1.1.1 Wärmepumpentechnologien in Österreich

Sole/Wasser-Systeme (indirekte Systeme)

Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen wird die Wärmequellenanlage in Form eines sole-durchflossenen Erdabsorbers ausgeführt. Der Erdabsorber ist in der Regel horizontal als Flachkollektor oder vertikal als Erdsonde ausgeführt. Alternative Ausführungsformen sind der Künnetten- bzw. Grabenkollektor. Als Rohrmaterial im Erdabsorber kommt Polyethylen (PE) zum Einsatz. Die Sole, ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel, wird durch den Absorber gepumpt, wobei sie dem Untergrund Wärme entzieht. Das Funktionsschema einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit einem Flachkollektor ist beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt.

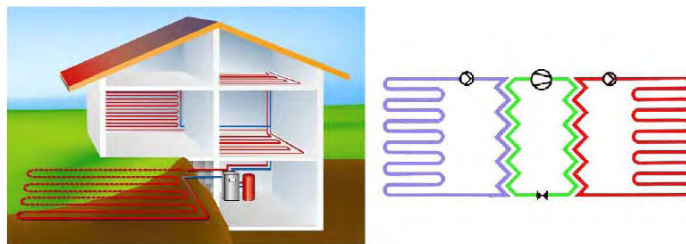


Abbildung 1: Funktionsschema einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit einem horizontalen Einzelschleifen-Wärmeübertrager (Böswarth et al., 2006)

Erdsonden gewinnen zunehmend an Beliebtheit, da aufgrund der vertikalen Anordnung der Bohrungen großräumige Ausgrabungen des Gartens und Frostaufbrüche vermieden werden können (Böswarth et al., 2006).

Direktverdampfersysteme

Bei Direktverdampfersystemen zirkuliert das Kältemittel des Systems direkt durch den Kollektor, in dem es unter Wärmeaufnahme verdampft. Nachdem der Wärmeübertrager zwischen Sole- und Kältemittelkreislauf und die Soleumwälzpumpe eingespart werden können, kommt es zu höheren Leistungszahlen. Diese Systeme basieren üblicherweise auf horizontalen Flachkollektoren, die dann Verdampfungsschleifen genannt werden. Nachfolgende Abbildung zeigt eine beispielhafte Anordnung der Wärmequelle und Wärmesenke einer Direktverdampferwärmepumpe sowie eine einfache Prinzipdarstellung einer Direktverdampferwärmepumpe.



Abbildung 2: Direktverdampferwärmepumpe
a) Beispiel für die Anordnung einer Direktverdampferwärmepumpe; b) Prinzipdarstellung einer Direktverdampferwärmepumpe (Böswarth et al., 2006)

Die Kollektorverrohrung besteht üblicherweise aus Kupferrohren mit einer Polyethylenummantelung (Böswarth et al., 2006). Direktverdampferwärmepumpen sind typisch für den österreichischen Markt.

Wasser/Wasser-Systeme

Das Prinzip von Wasser/Wasser-Systemen (Abbildung 3) besteht darin, Grundwasser, das aus einem Förderbrunnen gewonnen wird, durch den Verdampfer oder einen zwischengeschalteten Wärmeübertrager zu pumpen und über einen Sickerbrunnen wieder dem Boden zurückzuführen. Der Vorteil dieses Systems besteht darin, dass aufgrund der relativ hohen Temperatur des Grundwassers eine hohe Leistungszahl erreicht werden kann (Böswarth et al., 2006).



Abbildung 3: Prinzip der Wasser/Wasser-WP (Böswarth et al., 2006)

Die durchschnittliche Grundwassertemperatur in Mitteleuropa, die bis in Tiefen von 10 Meter nur wenig variiert, liegt bei ungefähr 10 °C. Anstelle von Grundwasser kann grundsätzlich auch Oberflächenwasser, z.B. aus dem Meer, als Wärmequelle verwendet werden (Böswarth et al., 2006).

Luft/Wasser- und Luft/Luft-Systeme

Luft/Wasser- und Luft/Luft-WP können sowohl Innen- als auch Außenluft als Wärmequelle nutzen. Sinkt die Außentemperatur, so steigt gleichzeitig die Heizlast des Gebäudes während die Heizkapazität der Wärmepumpe geringer wird, was bei der Auslegung der Wärmepumpe zu berücksichtigen ist. Kompakte Luft-Wärmepumpen

beinhalten alle Wärmepumpen-Komponenten in einem Gehäuse. Der notwendige Luftstrom wird durch Zentrifugalventilatoren bereitgestellt.

5.1.1.2 Marktentwicklung in Österreich

Die Geschichte des österreichischen Wärmepumpen-Marktes reicht zurück bis ins Jahr 1976, als zu Beginn der damaligen Energiekrise die ersten Wärmepumpen eingeführt wurden. Die Technologie erfuhr bis 1987 hohe jährliche Wachstumsraten, sowohl für die Bereitstellung von Warmwasser als auch zur Raumheizung. Von 1987 bis 2000 entwickelten sich die Verkaufszahlen von Wärmepumpen antizyklisch zum Verlauf der Energiepreise. Durch die Einführung von energiepolitischen Rahmenbedingungen im Zusammenhang mit Umweltschutz und der Förderung von effizienten und erneuerbaren Energietechnologien², in Kombination mit substantiellen Fördermitteln im Wohnbau, erfuhr das Segment der häuslichen Wärmepumpe in Österreich seit dem Jahr 2000, als die Energiepreise wieder zu steigen begannen, stetige Wachstumsraten. Diese Verbreitung wurde hauptsächlich durch die wachsende Nachfrage an Wärmepumpen für die Raumheizung ausgelöst, wie nachfolgende Abbildung darstellt.

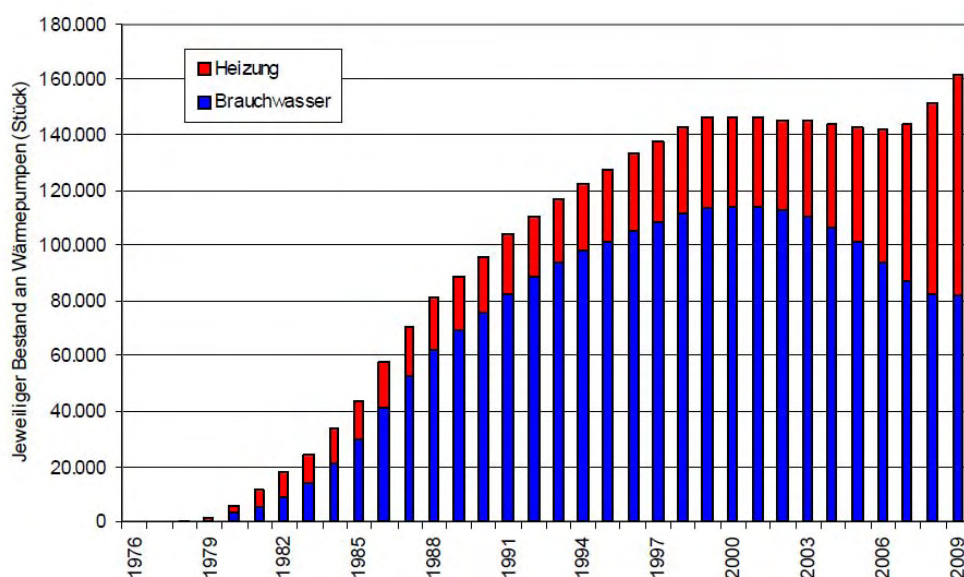


Abbildung 4: Entwicklung des häuslichen WP-Marktes in Österreich von 2000 bis 2009
(Biermayr et al., 2010)

Der österreichische Markt verhält sich sprunghaft, was die bevorzugten Wärmepumpen-Typen betrifft. Während Direktverdampfersysteme in den 90er Jahren am populärsten waren, hat sich der Fokus seither in Richtung Sole/Wasser-Wärmepumpen verschoben, die 2008 einen Marktanteil von 45 % erreicht haben. Den zweiten Platz hinsichtlich der Verkaufszahlen belegen die Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem Marktanteil von 30.9 %. Von 2007 auf 2008 verzeichnete dieser Typ sogar einen Zuwachs von 92.3 %.

²Energieeffizient betriebene Wärmepumpen sind als nachhaltige Heizsysteme eingestuft und Teil der Klimainitiative der österreichischen Regierung.

Wie nachfolgende Abbildung zeigt weisen Luft/Luft Systeme in Österreich zurzeit den geringsten Anteil auf.

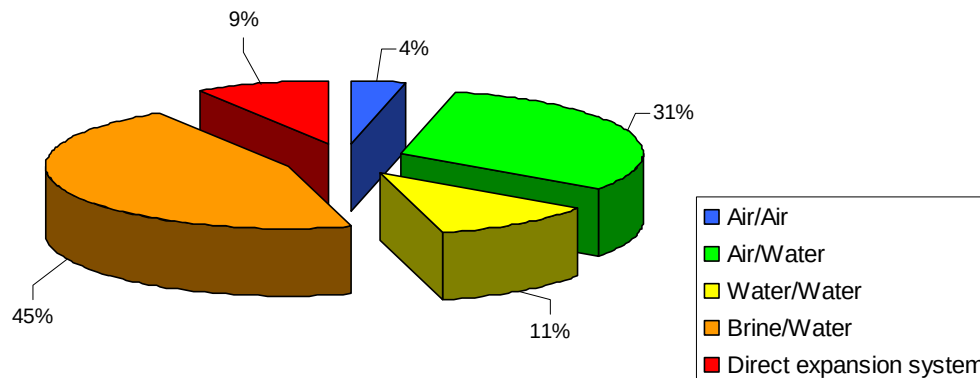


Abbildung 5: Typen an verkauften Wärmepumpen, 2008 in % an Marktanteilen
(Biermayr et al., 2009)

Wärmepumpen in Betrieb

2008 waren ungefähr 156.500 Wärmepumpen in Österreich in Betrieb. Sie werden/wurden für die folgenden Anwendungen verwendet (Biermayr et al., 2009):

- 82.500 für Warmwasserbereitung
- 68.800 für Raumheizung
- 2.900 für Belüftung
- 2.300 für Entwässerung von Swimmingpools

Obwohl die Zahlen für Neuinstallationen von Wärmepumpen immer noch hoch sind, erfährt der österreichische Markt für Wärmepumpentechnologie derzeit einen vorübergehenden leichten Rückgang in der Anzahl der gesamten installierten Systeme. Diese Entwicklung kann durch die Verkaufszahlen der Vergangenheit erklärt werden: Die meisten der in den 1980ern und frühen 1990ern verkauften Wärmepumpen wurden für Warmwasser eingesetzt. Unter der Annahme einer Lebenserwartung von 20 Jahren werden diese Systeme seit 2000 nach und nach außer Betrieb genommen, was zu einer Abnahme der in Betrieb befindlichen Warmwasser-Wärmepumpen führt.

Produktion, Import und Export

2007 wurde etwa ein Drittel der 12.778 in Österreich produzierten Wärmepumpen exportiert. 2008 stieg dieser Anteil auf 39,87 %, 2009 lag er bei 40,38 %. Dieser Anstieg von 2007 auf 2008 ist vor allem auf die steigende Nachfrage nach österreichischen Wärmepumpen für Raumheizung zurückzuführen. Die bevorzugten Exportmärkte sind (Biermayr et al., 2010):

1. Deutschland
2. Italien
3. Slowenien
4. Andere: Irland, Ungarn, Polen, Griechenland, Rumänien, Liechtenstein, Frankreich, Schweiz, Spanien (Biermayr et al., 2010)

Österreich importiert andererseits Wärmepumpen bzw. Wärmepumpen-Komponenten aus den folgenden Ländern, geordnet nach Wichtigkeit für die österreichische Wärmepumpenindustrie (Biermayr et al., 2010):

1. Deutschland
2. Italien
3. Schweiz
4. Andere: Schweden, Tschechien, Dänemark, USA

Stand der Technik

Wärmepumpen für Heizzwecke können folgendermaßen klassifiziert werden:

- Split Luft-Wasser Wärmepumpen
- Kompakte Luft/Wasser-Systeme
- Externe Luft-Wärmepumpen mit Vorerwärmung der Luft im Boden
- Sole/Wasser-Erdsonden-Wärmeübertrager
- Sole/Wasser- und Direktverdampfungssysteme mit Flachkollektoren
- Wasser/Wasser-Systeme

Seit 1989 werden Daten bezüglich der Wärmequelle von Wärmepumpen gesammelt. Sole/Wasser-Wärmepumpen konnten ihren Marktanteil kontinuierlich erhöhen, während Luft/Wasser-Wärmepumpen erst in den letzten Jahren an Bedeutung gewannen. Der Anstieg der Verkaufszahlen letzterer Systeme ist zum Teil durch die wachsende Zahl an Gebäudesanierungen, wo Luft oft die einzige nutzbare Wärmequelle für eine Wärmepumpe darstellt, verursacht (Biermayr et al., 2008).

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der verschiedenen Wärmequellensysteme für bei Raumheizung eingesetzte Wärmepumpen seit 1990.

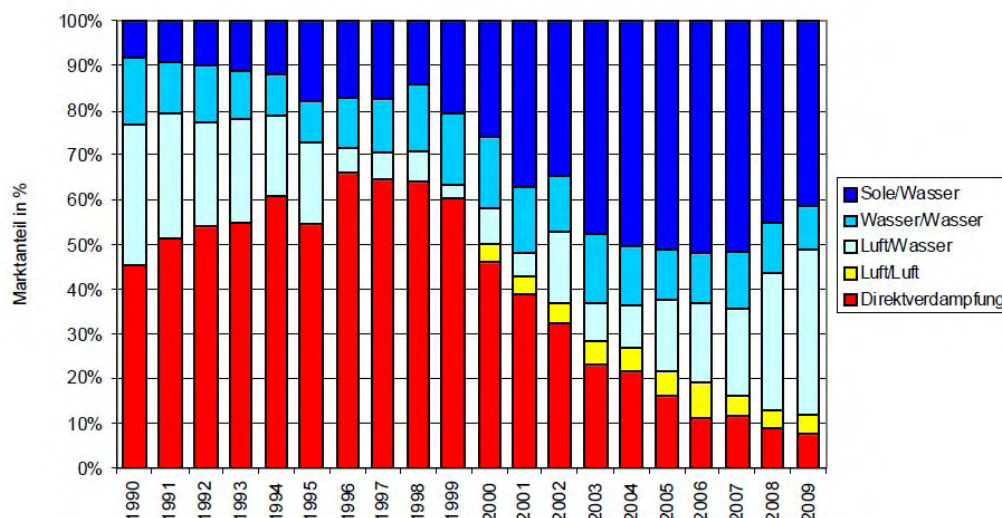


Abbildung 6: Marktanteile von Direktverdampfer- und Sole/Wasser-WP bei Raumheizung (Biermayr et al, 2010)

Offensichtlich verloren Direktverdampferwärmepumpen seit 1996 immer mehr an Bedeutung, während sich Sole/Wasser-Systeme zunehmender Beliebtheit erfreuen. Diese Entwicklung wurde durch die Verbreitung von vertikalen Erdsonden und das breite Angebotsspektrum ausgelöst (Biermayr et al, 2008). Ein weiterer wichtiger Faktor für die Entscheidung zur passenden Wärmepumpe ist die so genannte Jahresarbeitszahl, kurz JAZ (englisch: seasonal performance factor, SPF).

Abbildung 7 zeigt den Zusammenhang zwischen JAZ und Auslegungstemperatur für verschiedene Wärmequellensysteme.

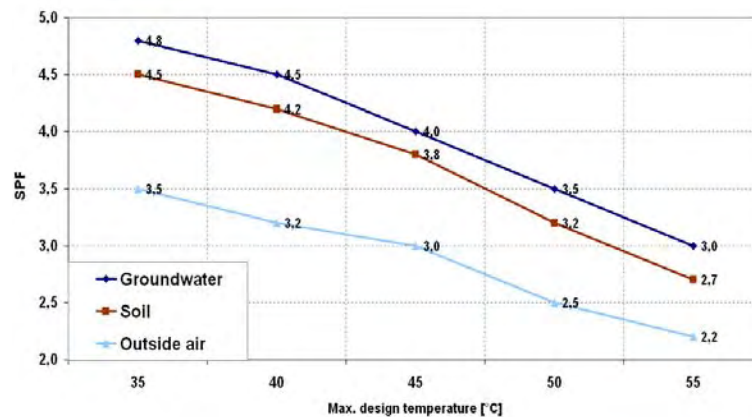


Abbildung 7: WP für Raumheizung in Österreich; JAZ in Abhängigkeit von Wärmequelle (Grundwasser, Boden, Umgebungsluft) und maximaler Auslegungstemperatur des Heizsystems (Faninger, 2007)

Es ist ersichtlich, dass die Wärmequelle Grundwasser die höchste JAZ erreicht, gefolgt von erdreich- bzw. luftgekoppelten Systemen. Alle Systeme erreichen ihre höchste JAZ bei der niedrigsten untersuchten Auslegungstemperatur von ca. 35°C, eine Erhöhung dieser Temperatur führt zu einer fortlaufenden Reduktion der JAZ bei allen Varianten. Wie Abbildung 8 zeigt, erreichen über die Jahre Direktverdampfer-Wärmepumpen die beste JAZ gefolgt von Wasser/Wasser-Systemen, Sole/Wasser-Wärmepumpen und Luft/Wasser-Wärmepumpen.

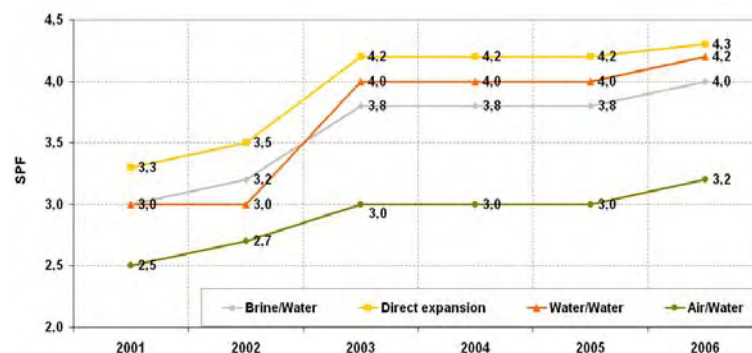


Abbildung 8: Entwicklung der JAZ der verschiedenen Wärmequellen/-pumpensysteme, 2001 bis 2006 (Faninger, 2007)

Technologische Trends

Wie bereits erwähnt, konzentriert sich der Markt im Bereich des Wohnbaus auf die Verwendung von Wärmepumpen für Raumheizung, Warmwasser und kombinierte Systeme. Am weitesten verbreitet ist hierbei die Kompressions-Wärmepumpe in Verbindung mit Flachkollektoren, Erdsonden-Wärmeübertragern, Grundwasserbrunnen oder Luft/Wärmeübertragern als Wärmequelle. Nachdem die Nachfrage nach Klimatisierung stetig im Steigen begriffen ist, wird erwartet, dass die Verkaufszahlen von Hybridsystemen, die sowohl Heizung als auch Kühlung bereitstellen, steigen werden. Als weiterer, bereits zu erkennender Trend, zeichnet sich der zunehmende Verkauf von Wärmepumpen mit Luft als Wärmequelle ab. Diese Systeme erfüllen die Anforderungen an Wärmepumpen bei nachträglichem Einbau (z.B. im Falle von Sanierung), ein zukünftiges Marktsegment, am besten. Außerdem ist es höchst wahrscheinlich, dass Erdgas und andere energetisch nutzbare Gase an Bedeutung gewinnen werden, sowohl für Systeme mit hoher Kapazität als auch mit einer Leistung um 10 kW (Biermayr et al., 2008). Dies kann eine Marktdurchdringung von Sorptionswärmepumpen als Nachfolge-technologie von Brennwertkesseln stimulieren. Die Sorptionswärmepumpen-Technologie ist auch in Anwendungen des thermischen Kühlens einsetzbar.

Vergleich des österreichischen mit anderen europäischen Wärmepumpenmärkten

Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, ist Schweden das Land mit den meisten erdreichgekoppelten Wärmepumpen (Ground sourced heat pumps kurz GSHP) pro Kopf, gefolgt von Finnland, Schweiz und Österreich. Bei einer flächenbezogenen Berechnung sieht die Rangfolge etwas anders aus. Hier liegt die Schweiz vor Schweden, Österreich und Deutschland.

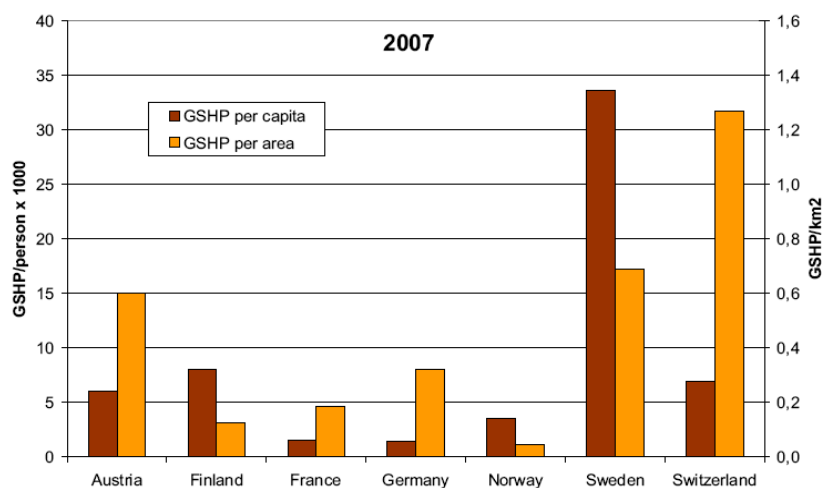


Abbildung 9: Anzahl existierender, erdreichgekoppelter WP (ground sourced heat pumps, GSHP) im Jahr 2007, pro Kopf und pro Fläche (Sanner, 2008)

Die Statistiken der europäischen Wärmepumpenvereinigung EHPA zeigen, dass Direktverdampfer- bzw. Direktkondensations-Wärmepumpen nur in drei europäischen Ländern existieren: Österreich, Frankreich und Deutschland. Die Bedeutung bezüglich der Marktdurchdringung variiert zwischen diesen Staaten: während Österreich und Frankreich relativ hohe Anteile aufweisen, kann der Einfluss in Deutschland als gering

angesehen werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die EHPA Statistik von 2005 bis 2008.

All 2005–2008	Austria	Finland	France	Germany	Italy	Norway	Sweden	Switzerland
Heating only HP (excluding exhaust air HPs)	37.974	16.650	40.520	129.629	5.267	16.985	158.192	56.041
air/water	8.652	3.350	520	63.585	2.767	10.685	55.656	36.342
water/water	4.558	0	3.396	9.723	0	0	0	937
brine/water	19.394	13.300	11.605	52.535	2.500	6.300	102.536	18.762
dir. expansion/water or dir. condensation	5.370	0	5.967	3.028	0	0	0	0
dir. exp./dir. cond.	0	0	19.032	0	0	0	0	0
others	0	0	0	758	0	0	0	0
Exhaust air HP	7.021	8.381	0	20.451	0	2.450	67.623	416
Tap water HP	17.352	0	5.400	41.819	0	0	0	426
Reversible HP	598	133.000	240.870	2.865	86.391	227.830	195.040	0
Total HP 2005–2008	62.945	158.031	286.790	194.764	91.658	247.265	420.855	56.883

Abbildung 10: Verkaufszahlen nur für Heizung (ausgenommen Abluft-WP) 2008 (EHPA, 2009)

5.1.1.3 Wärmepumpen mit CO₂-Wärmerohr (heat pipe) in Österreich

Das CO₂-Wärmerohr kann am besten als vertikaler Kollektor beschrieben werden, der aus einem Kupferrohr mit einem Durchmesser von 15 Zentimeter und einer Tiefe von 70 bis 100 Meter besteht, welches mit CO₂ unter einem Druck von etwa 45 bar gefüllt ist. Das verflüssigte Gas fließt nach unten, verdampft und entzieht damit dem Boden thermische Energie. Der Dampf steigt in der Mitte des Rohres nach oben und kondensiert am Verdampfer der Wärmepumpe, um die Wärme wiederum an diese abzugeben. Während die Wärmepumpe das Temperaturniveau des Verdampfers auf das gewünschte, nutzbare Temperaturniveau anhebt, fließt das kondensierte CO₂ im Wärmerohr zurück nach unten, um den Kreislauf zu schließen. Die Bodentemperatur wird durch absorbierte Sonneneinstrahlung, Regen- und Grundwasser und, in tieferen Schichten, durch geothermische Energie regeneriert. Durch den sich selbst aufrechterhaltenden CO₂-Kreislauf wird keine Pumpenergie benötigt, allerdings ist dieser Mechanismus nicht für Kühlzwecke einsetzbar. Der linke Teil der nachfolgenden Abbildung zeigt das Funktionsprinzip eines CO₂-Wärmerohrs, während der rechte Teil das Flussdiagramm des Kältekreislaufes darstellt.

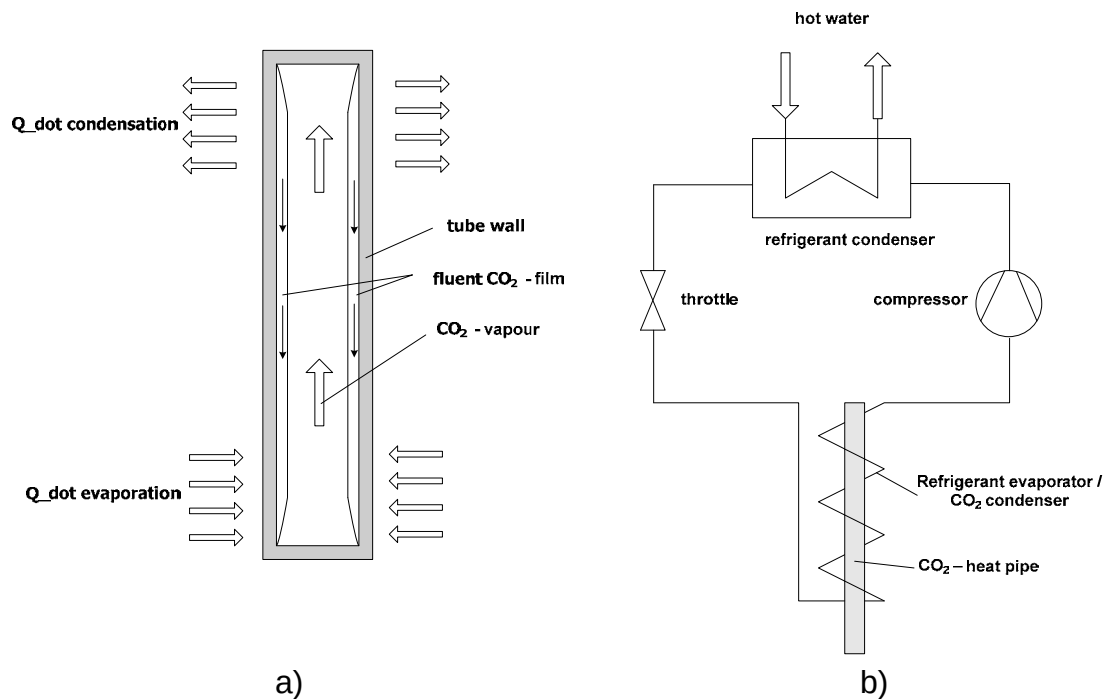


Abbildung 11: CO₂-Wärmerohr

a) Funktionsprinzip des CO₂-Wärmerohrs, b) Flussdiagramm des Kältekreislaufes (M-TEC, 2008)

Über 500 Projekte mit Jahresarbeitszahlen bis zu 5,5 wurden in Österreich bisher mit CO₂-Wärmerohren realisiert. Aufgrund des steigenden Preises für Kupferrohre finden vermehrt auch Edelstahlrohre Verwendung (Faninger, 2007).

5.1.2 Marktüberblick über Wärmeübertragerhersteller in Österreich

Bestandsaufnahme österreichischer Wärmeübertragerhersteller

Die folgenden Daten geben einen Überblick über die von österreichischen Herstellern³ produzierten Typen von Wärmeübertragern. Dabei wurden Firmen einbezogen, die ihren Firmensitz in Österreich haben sowie ausländische Firmen mit einem Produktionsstandort in Österreich. Es wurden insgesamt zwanzig Hersteller befragt. Die Informationen wurden mittels Telefoninterviews und Internetrecherche im November und Dezember 2008 erhoben; die Ergebnisse sind anschließend anonymisiert zusammengefasst. Die nachfolgenden Grafiken machen deutlich, wie viele der zwanzig interviewten Firmen bestimmte Wärmeübertragertypen erzeugen. Die meisten der interviewten in Österreich produzierenden Firmen stellen hauptsächlich Rohrbündel-Wärmeübertrager her, die in etwa ein Drittel des Marktes ausmachen (siehe Abbildung 13). Absolute Produktionszahlen der Hersteller bzw. die Marktanteile österreichischer Hersteller in diesen Segmenten konnten im Rahmen dieses Projektes nicht erhoben werden.

³ Einige Firmen beteiligten sich nicht an der Bestandsaufnahme

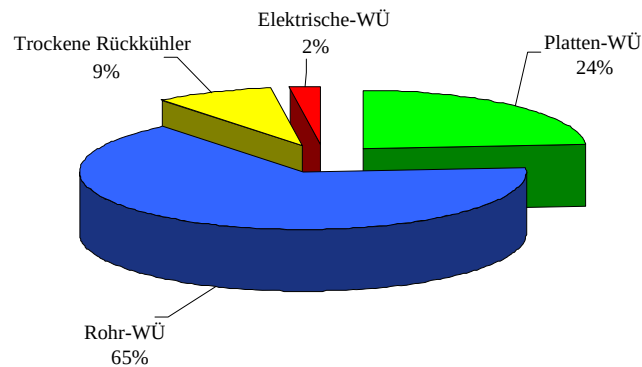


Abbildung 12: Übersicht über die von österreichischen Firmen produzierten Wärmeübertragertypen

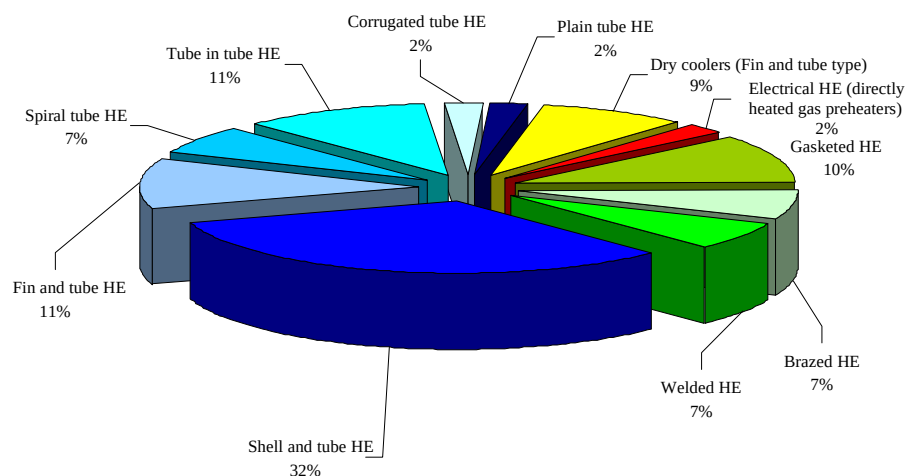


Abbildung 13: Detailaufschlüsselung der Wärmeübertragertypen (Heat Exchangers - HE) aus Abb. 12

Abbildung 14 zeigt, an welche Branchen die österreichischen Wärmeübertraghersteller ihre Produkte vertreiben. Laut der Erhebung produzieren 95 % der österreichischen Hersteller Wärmeübertrager für den Anlagenbau. Näher betrachtet geben 80 % der befragten Unternehmen an, Produkte für die Nahrungsmittel- und chemische Industrie zu produzieren, gefolgt von der Kraftwerks- und biotechnologischen Industrie mit 75 % bzw. 70 %. All diese Bereiche benötigen maßgeschneiderte Wärmeübertrager mit großen Kapazitäten. Zwischen 40 % und 50 % der Hersteller geben außerdem an, für den Heizungs-, Kühlungs- und Klimatisierungsbereich (HVAC) zu produzieren. Nur drei der zwanzig befragten Unternehmen gaben an, explizit auch Wärmeübertrager für die Wärmepumpenbranche herzustellen. Diese drei Hersteller produzieren generell ein breit gefächertes Portfolio an Wärmeübertragern für zumindest zehn verschiedene Industriezweige, die in zwei Fällen auch alle anderen relevanten HVAC Sektoren umfassen. Es wurde ein innovatives österreichisches Unternehmen gefunden, dass sich mit der Entwicklung von Mikrokanal-Wärmeübertragern für die Fahrzeugindustrie beschäftigt.

Die allgemeinen Schlussfolgerungen aus dem Marktüberblick sind in Abschnitt 6 zusammengefasst.

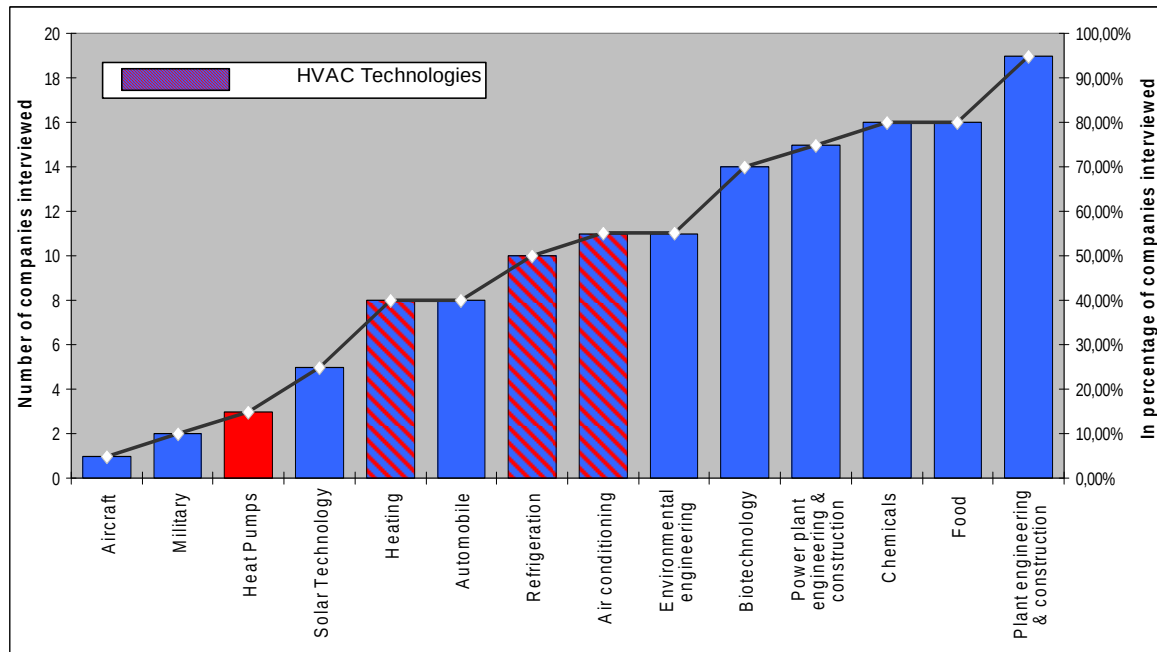


Abbildung 14: Übersicht über die von den interviewten WT-Herstellern versorgten Industrien

5.2 Beitrag zu Task 2: Evaluierung der Performance von Wärmeübertragern für Wärmepumpen

5.2.1 Sichtung und Aufarbeitung des vorhandenen Datenmaterials

Für die vorliegende Untersuchung wurden anonymisierte Daten von 134 verschiedenen Wärmepumpen analysiert, die im AIT Labor zwischen 2000 und 2008 vermessen wurden. Die dabei gewonnenen Daten wurden bis dato nicht geordnet in einer gemeinsamen Datenbank erfasst, was die Durchführung systematischer Untersuchungen nur sehr schwer ermöglichte. Im Rahmen dieses Projektes wurde daher eine Aufarbeitung des Datenmaterials durchgeführt, um dieses für Analysezwecke zugänglich zu machen. Eine erste thermodynamische Studie des Datenmaterials in Hinblick auf die in den Wärmepumpen eingesetzten Plattenwärmeübertrager wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes durchgeführt und wird in diesem Bericht präsentiert.

Das aus den Messungen vorhandene Rohdatenmaterial umfasst Daten von Sole/Wasser-, Direktverdampfer- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen, die alle Platten-Wärmeübertrager beinhalten, was dem Stand der Technik bei kompakten Wärmeübertragern entspricht. Die Resultate einer Datenanalyse in Hinblick auf diese Wärmeübertrager sind daher eine nützliche Ausgangsbasis bzw. ein Benchmark für Vergleiche mit neuen Technologien. Nachfolgende Tabelle zeigt, welche Materialien in den vermessenen Wärmepumpen für den Verdampfer bzw. Kondensator verwendet wurden.

Heat exchanger	Evaporator		Condenser
	Plate heat exchangers	Collector line	Plate heat exchangers
Material	Stainless steel	Stainless steel	Stainless steel
		Copper	

Tabelle 1: Wärmeübertragertypen und verwendete Materialien für Verdampfer und Kondensator bei den untersuchten WP

Bei Direktverdampfer-Wärmepumpen werden meist Flachkollektoren aus ummantelten Stahl- oder Kupferrohren als Verdampfer verwendet, während Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen verdampferseitig mit Platten-Wärmeübertragern aus Edelstahl ausgestattet sind. Alle Wärmepumpen verwenden Platten-Wärmeübertrager als Kondensator die Edelstahl hergestellt sind. Die Wärmeübertrager von in Österreich produzierten Wärmepumpen stammen großteils aus Schweden oder Deutschland.

Die Wärmepumpen wurden Messungen mit verschiedenen Kombinationen von Quellen- und Senktemperaturen unterzogen, wobei eine Untersuchung in Summe aus bis zu acht verschiedenen Temperaturbedingungen besteht, wie Tabelle 2 beispielhaft zeigt.

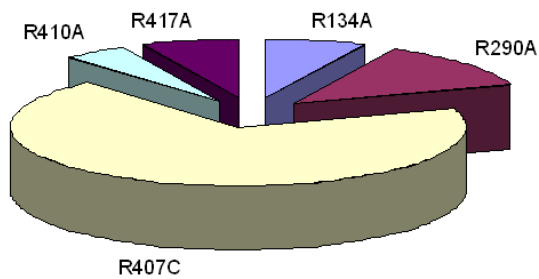
	mittlere Heizleistung [kW]	mittlere Leistungsaufnahme [kW]	Leistungszahl	Unsicherheit Heizleistung [± kW]
B0/W35 *	14.456	3.622	4.0	0.219
B5/W35	16.447	3.789	4.3	0.222
B-5/W35	12.218	3.490	3.5	0.215
B0/W45	12.896	4.142	3.1	0.216
B5/W45	14.994	4.378	3.4	0.220
B-5/W45	10.749	3.798	2.8	0.213
B0/W55	11.293	4.422	2.6	0.213
B5/W55	13.387	4.818	2.8	0.217

* WNA $\Delta T = 5 \text{ K}$

Tabelle 2: Beispiel einer kompletten Messung

Bei der in Tabelle 2 dargestellten Wärmepumpe handelt es sich um eine Sole/Wasser-Wärmepumpe (S/W-WP). Die Testbedingungen sind in der ersten Spalte angegeben, wobei die Quelltemperatur die Zahl nach „B (Brine)“ und die Senktemperatur jene nach „W (Water)“ ist. Zum Beispiel bedeutet B-5/W45 eine Quelltemperatur von -5 °C und eine Wärmesenke mit einer Temperatur von 45 °C. Von links nach rechts sind in den anschließenden Spalten die durchschnittliche Heizleistung, die elektrische Leistungsaufnahme, die Leistungszahl (Coefficient of Performance – COP) und die Unsicherheit bei der Messung der Heizleistung angeführt.

Insgesamt wurden fünf verschiedene Kältemittel verwendet, nämlich R134A, R290A, R407C, R410A, und R417A. Wie in Abbildung 15 gezeigt, wurde bei der Mehrheit der untersuchten Wärmepumpen R407C als Kältemittel benutzt.

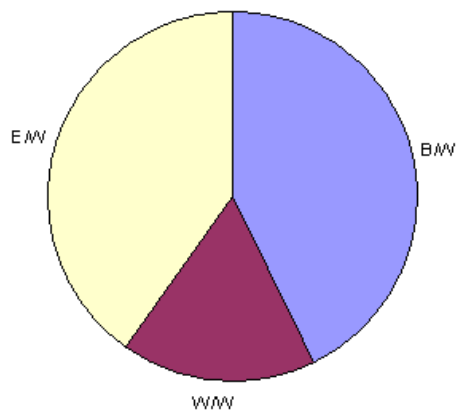


Refrigerant	No of cases
R134A	34
R290	61
R407C	324
R410A	23
R417A	33
Total No of cases	475

Abbildung 15: Verwendete Kältemittel

Die Zahlen in Abbildung 15 entsprechen der Anzahl der Messpunkte, nicht der Anzahl der gemessenen Wärmepumpen. Entsprechend den Anforderungen an die Messung, wurden die verschiedenen Wärmepumpen zwischen zwei (Minimum) und acht (Maximum) Messungen mit verschiedenen Messpunkten unterzogen.

Die Verteilung der Wärmepumpentypen ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. S/W und D/W (Sole/Wasser- und Direktverdampfung) sind annähernd gleich oft vertreten, W/W (Wasser/Wasser) Varianten sind am schwächsten vertreten. Es ist anzumerken, dass keine der D/W-WP R134a oder R417A verwenden.



Refrigerant	Source type
R134A	B/W: 26 cases
	W/W: 8
R290A	B/W: 18
	E/W: 43
R407C	B/W: 140
	W/W: 59
	E/W: 125
R410A	E/W: 23
R417A	B/W: 19
	W/W: 14

Abbildung 16: Typen an berücksichtigten Wärmequellen (B/W=brine/water=S/W, E/W=expansion/water=D/W)

5.2.2 Festlegung und Implementierung der Datenstruktur

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Darstellung aller Messpunkte einer Messung. Nur der stationäre Teil der Messung wird zeitgemittelt aufgezeichnet und in solch einer Darstellung wiedergegeben. Im Rahmen des Projektes mussten die Daten aus derartigen Darstellungen in eine einheitliche Datenbasis übertragen werden. Dazu mussten die für Analysen notwendigen Daten identifiziert und ein einheitliches Format festgelegt werden. Die für Analysezwecke relevanten Daten sind nachfolgend beschrieben.

- 7→1: Tatsächliche Kompression
- 7→2: Isentrope Kompression
- 1→3: Wärmetransport aus der Primärseite im Kondensator
- 3→4: Wärmetransport aus dem flüssigen Kältemittel im internen Wärmeübertrager
- 4→5: Isenthalpische Expansion
- 5→6: Wärmetransport zur Primärseite im Verdampfer
- 6→7: Wärmetransport zum gasförmigen Kältemittel im internen Wärmeübertrager
- 8→9: Wärmetransport zur Sekundärseite im Kondensator
- 10→11: Wärmetransport aus der Sekundärseite in den Verdampfer

Die thermodynamische Analyse erfordert die Kenntnis von Temperatur und Druck an jedem Punkt der Primärseite und von Temperatur und Durchflussrate auf der Sekundärseite. Allerdings sind nicht all diese Parameter als gemessene Größen vorhanden. Der primärseitige Kältemitteldruck wird üblicherweise nur an zwei Punkten um den Kompressor, d.h. an den Punkten 7 und 1, gemessen. T5 (die Temperatur bei Punkt 5) wird nicht immer gemessen und T2 kann nur aus Berechnungen geschlossen werden. Die Punkte 3 und 6 existieren nicht, falls kein interner Wärmeübertrager vorhanden ist; in solchen Fällen müssen sinnvolle Annahmen getätigt werden. Tabelle 3 zeigt eine Liste sowie eine Kurzbeschreibung der aus den Messungen für diese Analyse extrahierten Daten.

	Parameters	Description
1	date	Test date
2	test name	Sink/Source + temperature difference on hot water side
3	type _{ref}	Refrigerant name
4	cnfg	With Internal heat exchanger → 1 Without internal heat exchanger → 0
5	ref _{chrg} [Kg]	Filled quantity of the refrigerant
6	W _{el} [kW]	Total active power consumption (excl. circulation pumps)
7	Q _{con} [kW]	Heating power (User Side)
8	Q _{eva} [kW]	Cooling power (Source Side)
9	Δp _{con} [kPa]	Pressure difference heat exchanger (User Side)
10	Δp _{eva} [kPa]	Pressure difference heat exchanger (Source Side)
11	Wp _{con} [kW]	Circulation pump work user side
12	Wp _{eva} [kW]	Circulation pump work source side
13	p ₁ [bar]	Pressure after compressor
14	p ₃ [bar]	Pressure after condenser, if available
15	p ₆ [bar]	Pressure after evaporator, if available
16	p ₇ [bar]	Pressure before compressor
17	m ₈ [kg/s]	Secondary mass flow rate into condenser
18	m ₁₀ [kg/s]	Secondary mass flow rate into evaporator, if available
19	T ₁ [°C]	Temperature after compressor
20	T ₃ [°C]	Temperature after condenser
21	T ₄ [°C]	Temperature before expansion valve
22	T ₆ [°C]	Temperature after evaporator
23	T ₇ [°C]	Temperature before compressor

	Parameters	Description
24	T_8 [°C]	Secondary inlet temperature condenser
25	T_9 [°C]	Secondary outlet temperature condenser
26	T_{10} [°C]	Secondary inlet temperature evaporator
27	T_{11} [°C]	Secondary outlet temperature evaporator

Tabelle 3: Relevante Messdaten für die Analyse

5.2.3 Thermodynamische Modellierung des Kältekreis

Charakterisierung des Kältekreis einer Wärmepumpe

Abbildung 19 zeigt das Ts-Diagramm eines Wärmepumpen-Prozesses mit den wesentlichen Parametern, die alle bis auf T_2 und T_5 aus Tabelle 3 erlangt werden können.

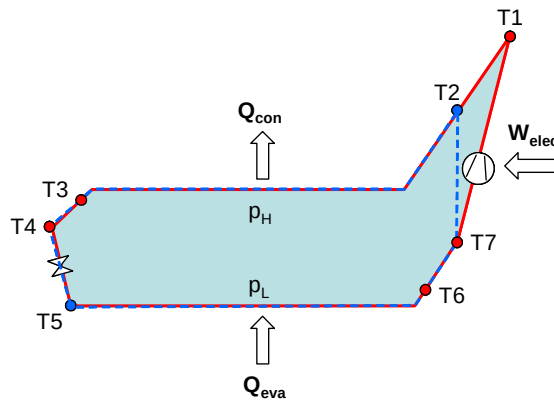


Abbildung 19: T-s-Diagramm eines WP-Zyklus

Der thermodynamische Zustand und andere Größen können an jedem Punkt (außer 2 und 5) anhand der gemessenen Temperaturen und Drücke bestimmt werden. Die Größen für die Punkte 2 und 5 werden aus der Annahme isentroper bzw. isenthalper Prozesse von den Punkten 7 bzw. 4 aus berechnet. Zum Beispiel werden T_2 und T_5 durch

$$T_2 = T(p_H, s_2) \quad (1)$$

und

$$T_5 = T(p_L, h_5) \quad (2)$$

bestimmt, wobei p_H der hochdruckseitig gemessene Druck (p_1 in Tabelle 6), $s_2=s_7$ die als gleich wie an Punkt 7 angenommene Entropie, p_L der gemessene Ansaugdruck (p_7 in Tabelle 3 falls p_6 nicht verfügbar) und $h_5=h_4$ die als gleich wie in Punkt 4 angenommene Enthalpie ist. Sind alle thermodynamischen Zustände gegeben, kann die Wärmepumpe durch die folgenden Parameter charakterisiert werden. Der elektrische COP (Leistungszahl) einer Wärmepumpe wird durch

$$COP_{el} = \frac{Q_{con}}{W_{el}} \quad (3)$$

berechnet, wobei die Heizleistung Q_{con} und die elektrische Leistungsaufnahme W_{el} aus Tabelle 3 zur Verfügung stehen. Die isentrope Effizienz eines Kompressors ist gegeben durch:

$$\eta_{is} = \frac{h_2 - h_7}{h_1 - h_7} \quad (4)$$

Die Wärmepumpeneffizienz nach dem zweiten Hauptsatz (exergetischer Wirkungsgrad) erhält man durch

$$\eta_{2nd} = \frac{COP_{el}}{COP_{Carnot}} \quad (5)$$

wobei die Carnot-Leistungszahl COP_{Carnot} durch

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{sink}}{T_{sink} - T_{source}} \quad (6)$$

definiert ist. In (6) bezeichnet T_{sink} die Senkentemperatur, welche das arithmetische Mittel der sekundären Temperaturen im Kondensator ist, also $T_{sink} = (T_8 + T_9)/2$, und T_{source} ist dieselbe Größe im Verdampfer, $T_{source} = (T_{10} + T_{11})/2$. Der so genannte Temperaturhub ΔT_{lift} ist ein gebräuchlicher Parameter bei Untersuchungen von Wärmepumpen und definiert durch

$$\Delta T_{lift} = T_{bub,con} - T_{bub,eva} \quad (7)$$

wobei $T_{bub,con}$ die Kondensationstemperatur des Kältemittels ist, welche in Abhängigkeit vom gemessenen Druck berechnet werden kann:

$$T_{bub,con} = T_{bub}(p_H) \quad (8)$$

Analog stellt $T_{bub,eva}$ die Verdampfungstemperatur dar,

$$T_{bub,eva} = T_{bub}(p_L) \quad (9)$$

Charakterisierung von Wärmeübertragern einer Wärmepumpe

Der Kondensator und der Verdampfer einer Wärmepumpe sind wie folgt charakterisiert: Abbildung 20 zeigt zwei Temperaturprofile in einem Kondensator, ein tatsächliches und ein vereinfachtes. Das tatsächliche, in Abbildung 20a dargestellte Profil wird dadurch komplex, dass der Kondensator drei verschiedene Regionen mit Wärmetransport

aufweist, nämlich den „Überhitzungsbereich“, in dem überhitztes Gas abgekühlt wird, den „Sättigungsbereich“, in dem die Kondensation stattfindet und den „Unterkühlungsbereich“, in dem das Kondensat weiter abgekühlt wird. Die Analyse dieses Wärmeübertragers wird weiters dadurch erschwert, dass sich das gasförmige Kältemittel im Sättigungsbereich nicht im Gleichgewicht mit dem Kondensat befindet. Deshalb werden die Temperaturprofile wie in Abbildung 20b gezeigt vereinfacht.

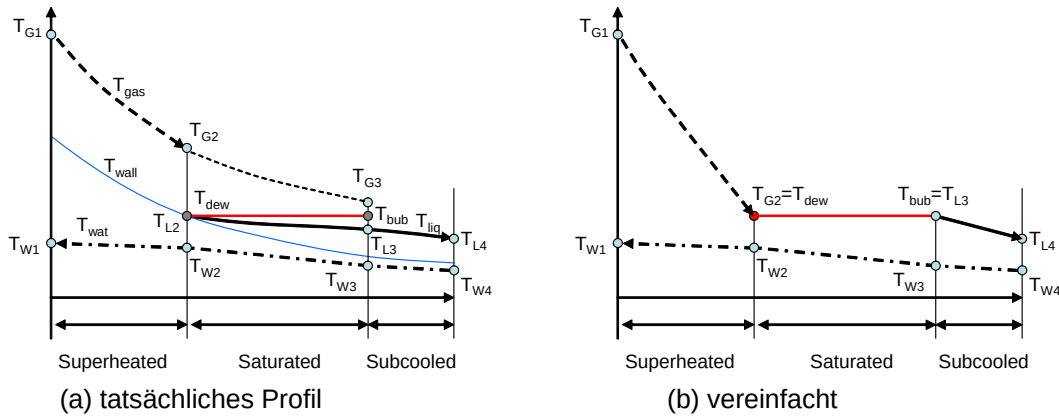


Abbildung 20: Temperaturprofile im Kondensator

In Abbildung 20b wird angenommen, dass sich das gasförmige Kältemittel mit dem Kondensat zu Beginn der Kondensation im Gleichgewicht befindet, weshalb die Gastemperatur zu Beginn der Kondensation T_{G2} gleich der Taupunkttemperatur beim gemessenen Druck gesetzt wird, $T_{G2} = T_{dew}$. Weiters wird angenommen, dass die Kondensattemperatur am Einlass des Unterkühlungsbereichs gleich der Siedetemperatur ist, $T_{L3} = T_{bub}$. Die entsprechenden sekundären Temperaturen T_{W2} und T_{W3} werden wie folgt berechnet. In Tabelle 3 sind die primären und sekundären Temperaturen an beiden Enden des Kondensators, T_{G1} (T_1 in Tabelle 3), T_{L4} (T_3), T_{W1} (T_9) und T_{W4} (T_8), dokumentiert.

Der Massenfluss des Kühlmittels kann durch

$$m_{ref} = \frac{Q_{con}}{h_1 - h_3} \quad (10)$$

abgeschätzt werden, womit man, ebenfalls näherungsweise,

$$T_{W2} = T_{W1} - \frac{Q_{sup}}{m_8 C_{p_8}} \quad (11)$$

erhält, wobei

$$Q_{sup} = m_{ref} C_{p_{gas}} (T_{G1} - T_{dew}) \quad (12)$$

die sensible Wärme des Überhitzungsvorganges ist. In ähnlicher Weise verläuft die Abschätzung

$$T_{W3} = T_{W4} + \frac{Q_{\text{sub}}}{m_8 C_{p8}} \quad (13)$$

mit der sensiblen Wärme des Unterkühlungsvorganges

$$Q_{\text{sub}} = m_{\text{ref}} C_{p\text{liq}} (T_{\text{bub}} - T_{L4}). \quad (14)$$

Daraus kann der so genannte UA-Wert, das Produkt aus Wärmetransportkoeffizient und Oberfläche von Kondensator und Verdampfer, für jede Region bestimmt werden. Im Überhitzungsbereich ist er durch

$$UA_{\text{sup}} = Q_{\text{sup}} / LMTD_{\text{sup}} \quad (15)$$

gegeben, wobei die mittlere logarithmische Temperaturdifferenz

$$LMTD_{\text{sup}} = \frac{(T_{G1} - T_{W1}) - (T_{G2} - T_{W2})}{\ln \left[(T_{G1} - T_{W1}) / (T_{G2} - T_{W2}) \right]}, \quad (16)$$

im Unterkühlungsbereich wird er mittels

$$UA_{\text{sub}} = Q_{\text{sub}} / LMTD_{\text{sub}} \quad (17)$$

bestimmt, wobei

$$LMTD_{\text{sub}} = \frac{(T_{L3} - T_{W3}) - (T_{L4} - T_{W4})}{\ln \left[(T_{L3} - T_{W3}) / (T_{L4} - T_{W4}) \right]}. \quad (18)$$

Im Sättigungsbereich wiederum kann er mit Hilfe von

$$UA_{\text{sat}} = Q_{\text{sat}} / LMTD_{\text{sat}} \quad (19)$$

berechnet werden, wobei $Q_{\text{sat}} = Q_{\text{con}} - Q_{\text{sup}} - Q_{\text{sub}}$ und

$$LMTD_{\text{sat}} = \frac{(T_{G2} - T_{W2}) - (T_{L3} - T_{W3})}{\ln \left[(T_{G2} - T_{W2}) / (T_{L3} - T_{W3}) \right]}. \quad (20)$$

Man beachte, dass Druckverluste bei diesen Betrachtungen vernachlässigt wurden, der Druck im Kondensator wird als konstant und gleich dem Kältemitteldruck am Kompressorausstritt (p_1 in Tabelle 3) angenommen.

Der Verdampfungs-Prozess wird auf ähnliche Weise vereinfacht. Abbildung 22 zeigt wieder das entsprechende Temperaturprofil. Zweiphasiges Kältemittel tritt von links ein, die Flüssigkeit verdampft im Sättigungsbereich und das gasförmige Kältemittel wird im

Überhitzungsbereich überhitzt. Es wird angenommen, dass die Gastemperatur beim Einlass in den Überhitzungsbereich der Taupunkttemperatur beim gemessenen Druck entspricht, d.h. $T_{G2}=T_{dew}$.

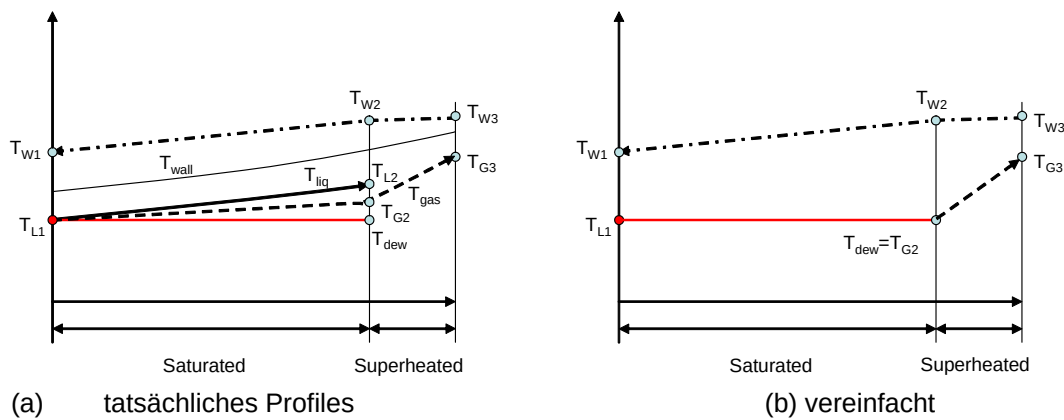


Abbildung 21: Temperaturprofile in einem Verdampfer

Die sekundären Temperaturen an beiden Enden des Verdampfers, T_{W1} (T_{11} in Tabelle 3) und T_{W3} (T_{10}), sind aus der Messung gegeben. Die Gastemperatur am Auslass, T_{G3} (T_6), ist ebenfalls in Tabelle 6 festgehalten, wie auch T_{L1} (T_5), allerdings wird T_{L1} aus Gleichung (2) berechnet, da dessen Wert entweder nicht verfügbar oder ungenau ist.

Analog zu den Berechnungen beim Kondensator erhält man

$$T_{W2} = T_{W3} - \frac{Q_{sup}}{m_{10} C_{p10}} \quad (21)$$

mit der sensiblen Wärme im Überhitzungsbereich

$$Q_{sup} = m_{ref} C_{p_{gas}} (T_{G3} - T_{dew}). \quad (22)$$

Die UA-Werte werden wieder wie folgt berechnet:

$$UA_{sup} = Q_{sup} / LMTD_{sup} \quad (23)$$

mit

$$LMTD_{sup} = \frac{(T_{W2} - T_{G2}) - (T_{W3} - T_{G3})}{\ln[(T_{W2} - T_{G2}) / (T_{W3} - T_{G3})]} \quad (24)$$

sowie

$$UA_{sat} = Q_{sat} / LMTD_{sat} \quad (25)$$

mit $Q_{sat} = Q_{eva} - Q_{sup}$ und

$$LMTD_{\text{sat}} = \frac{(T_{W1} - T_{L1}) - (T_{W2} - T_{G2})}{\ln \left[(T_{W1} - T_{L1}) / (T_{W2} - T_{G2}) \right]}. \quad (26)$$

Druckverluste wurden wieder vernachlässigt, innerhalb des Verdampfers wird der Druck als konstant und gleich dem gemessenen Druck (p_7 in Tabelle 3) angenommen. Da die Verdampfer von Direktverdampfer-Wärmepumpen keine Plattenwärmeübertrager sind, werden diese Systeme bei der Analyse der Wärmeübertrager nicht berücksichtigt.

5.2.4 Auswertung und Analyse

Bevor die Resultate präsentiert werden, sollen einige nützliche, fundamentale Aspekte der Thermodynamik von Wärmepumpen betrachtet werden.

Unter Berücksichtigung von $Q_{\text{con}} = Q_{\text{eva}} + W_{\text{el}}$ kann COP_{el} aus Gleichung (3) auch ausgedrückt werden durch

$$COP_{\text{el}} = 1 + \frac{Q_{\text{eva}}}{W_{\text{el}}}. \quad (27)$$

Es ist zu erwarten, dass die Kühlleistung Q_{eva} proportional zu m_{ref} und indirekt proportional zu Kompressionsverhältnis oder Temperaturhub ΔT_{lift} ist, d.h.

$$Q_{\text{eva}} = c_1 \times m_{\text{ref}}^{f_9} \times (\Delta T_{\text{lift}})^{m_1} \quad (28)$$

Andererseits ist ebenfalls anzunehmen, dass die elektrische Leistungsaufnahme W_{el} sowohl zu m_{ref} als auch ΔT_{lift} proportional ist,

$$W_{\text{el}} = c_2 \times m_{\text{ref}} \times (\Delta T_{\text{lift}})^{m_2} \quad (29)$$

Damit kann Gleichung (27) zu

$$COP_{\text{el}} = c \times (\Delta T_{\text{lift}})^m + d \quad (30)$$

umgeschrieben werden, worin c , m und d Funktionen von anderen Parametern sind, welche im engen Arbeitsbereich in guter Näherung als konstant angesehen werden können.

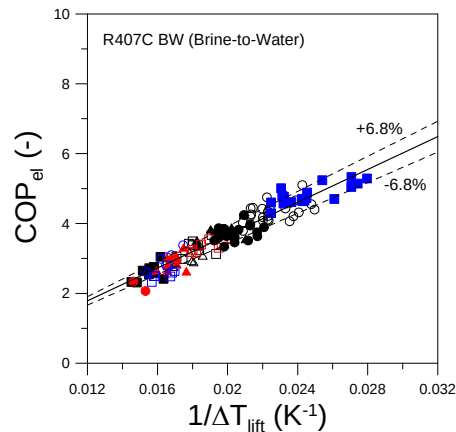


Abbildung 22: COP_{el} vs. ΔT_{lift} für R407C S/W-WP

Thermodynamische Evaluierung des Kältekreises der vermessenen Wärmepumpen

In Abbildung 22 ist die Leistungszahl COP_{el} der vermessenen R407C S/W-Wärmepumpen gegen ΔT_{lift} aufgetragen. Die durchgehende Linie ist eine lineare Fitkurve, deren Fehlergrenzen anhand der Standardabweichung von $\pm 6.8\%$ strichliert eingezeichnet sind. Ein vernünftiger Wert für den Exponenten in Gleichung (30) ist offensichtlich $m=-1$. Man beachte, dass ΔT_{lift} , definiert in Gleichung (7), keine Information über die Sekundärseite enthält, weshalb Abbildung 22 keine explizite Information über Wärmeübertrager liefert. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die analogen Resultate für D/W- und W/W-WP.

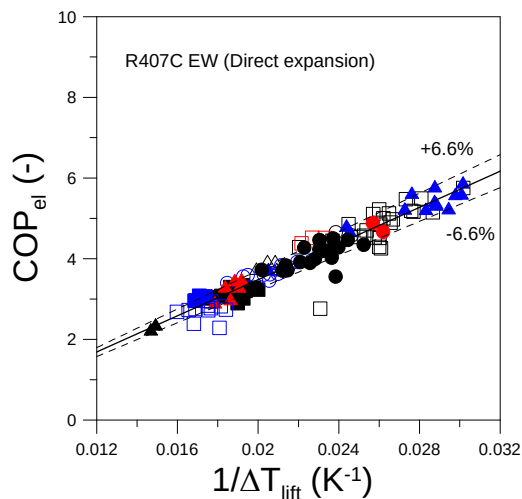


Abbildung 23: COP_{el} vs. ΔT_{lift} für R407C D/W

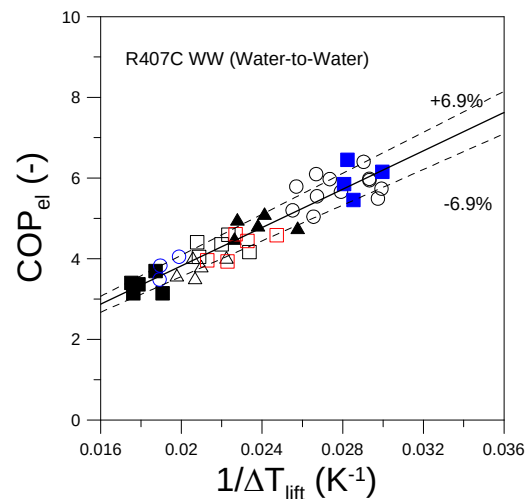


Abbildung 24: COP_{el} vs. ΔT_{lift} für R407C W/W

Tabelle 4 fasst die Informationen zu den linearen Interpolationen in den Abbildungen 23 bis 25 zusammen.

	c	m	d	Standardabweichung (±%)
S/W	235.1	-1	- 1.036	6.8
D/W	224.2	-1	- 1.004	6.6
W/W	237.6	-1	- 0.929	6.9

Tabelle 4: Konstanten in Gleichung (30) für R407C Wärmepumpen

Ein Vergleich dieser Fitkurven kann Aufschlüsse über das Verhältnis zwischen dem COP_{el} für die verschiedenen Wärmepumpen-Typen geben, Abbildung 25 zeigt die drei linearen Fitkurven.

Wie von den gut übereinstimmenden Werten für Parameter c zu erwarten, liegen die drei Gerade annähernd parallel zueinander. Bei gegebenem Temperaturhub ΔT_{lift} ist COP_{el} für W/W-Wärmepumpen (WW in der Abbildung) am höchsten und bei D/W-Wärmepumpen (EW) am niedrigsten. Bei zwei benachbarten Geraden ist die jeweils andere zwar nahe aber immer außerhalb der Standardabweichung angesiedelt, was impliziert, dass die COP_{el} -Differenz einen merkbaren Effekt darstellt. Obwohl die genauen Gründe noch unklar sind, ist der hohe COP_{el} von W/W-Wärmepumpen möglicherweise darauf zurückzuführen, dass Wasser als sekundäres Mittel eine bessere Performance aufweist. Der niedrigere COP_{el} von D/W-Wärmepumpen könnte durch höhere Druckverluste in den Kollektorrohren hervorgerufen werden.

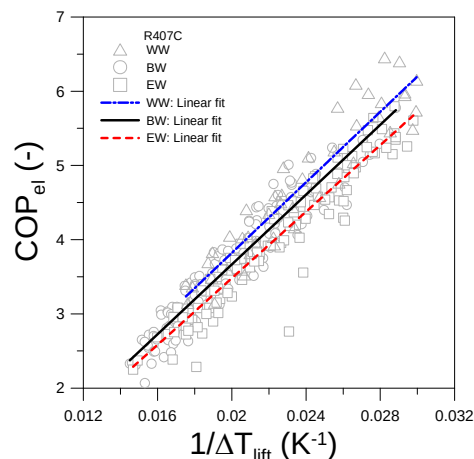


Abbildung 25: COP_{el} vs. ΔT_{lift} für verschiedene Typen von R407C-WP

Man beachte, dass der niedrigere Wert für COP_{el} bei Direktverdampfer-Wärmepumpen nicht bedeutet, dass dieser Typ in der Realität eine schlechtere Performance aufweist. Eine Direktverdampfer-Wärmepumpe ist dazu gedacht, den sekundären Kreislauf zwischen der Wärmepumpe und dem Erdreich und damit einen zusätzlichen mit Verlusten verbundenen Wärmeübergang zu vermeiden, was die Effizienzverringerung durch Druckverlust mehr als ausgleicht. Es ist auch von Interesse, verschiedene Kältemittel in Bezug auf den COP_{el} zu untersuchen. Dazu werden alle Daten von Wärmepumpen mit unterschiedlichen Kältemitteln unabhängig vom Typ zusammen linear interpoliert, wie für R407C in Abbildung 26 dargestellt. Die durchgehende Linie in der Abbildung interpoliert die Daten mit einer Standardabweichung von $\pm 7.5\%$. Dieselben Schritte wurden für alle anderen Kältemittel durchgeführt, die Resultate sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

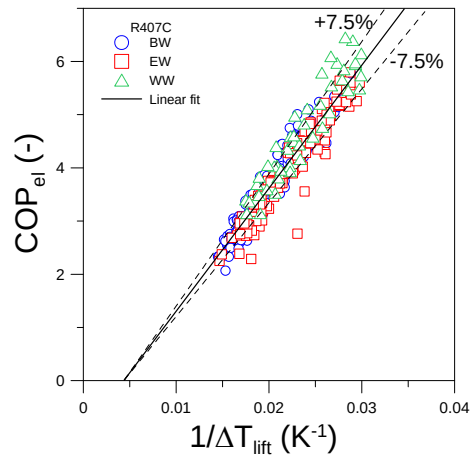


Abbildung 26: COP_{el} vs. ΔT_{lift} für alle R407C Daten

	c	m	d	Standardabweichung ($\pm\%$)	Anz. d. Daten
R407C	231.2	-1	- 1.008	7.5	324
R290	177.2	-1	+ 0.016	5.2	61
R134A	214.5	-1	- 0.998	9.3	34
R417A	220.3	-1	- 0.714	2.5	33
R410A	204.8	-1	- 0.646	3.1	23

Tabelle 5: Konstanten in Gleichung (30) für die verschiedenen Kältemittel

Abbildung 27 stellt eine graphische Veranschaulichung von Tabelle 5 dar. Es ist deutlich erkennbar, dass R407C und R417A die höchsten COP_{el} -Werte erzielen, während R134A und R410A am unteren Rand rangieren, wobei R410A etwas besser als R134A ist. Bemerkenswert ist, dass R290 im Bereich niedriger Temperaturhübe (großes $1/\Delta T_{lift}$) den niedrigsten COP_{el} -Wert aufweist, hingegen bei hohen Temperaturhüben (kleines $1/\Delta T_{lift}$) zu den besten Kältemitteln zählt.

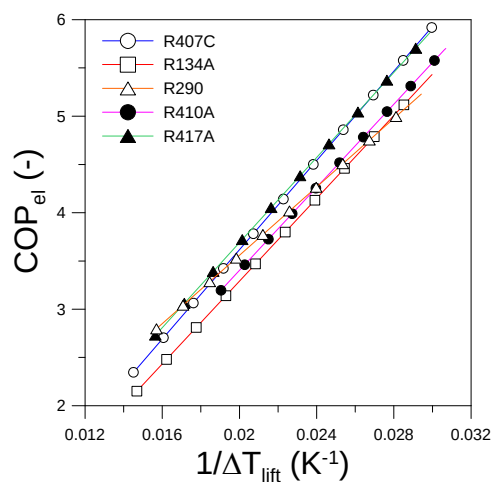
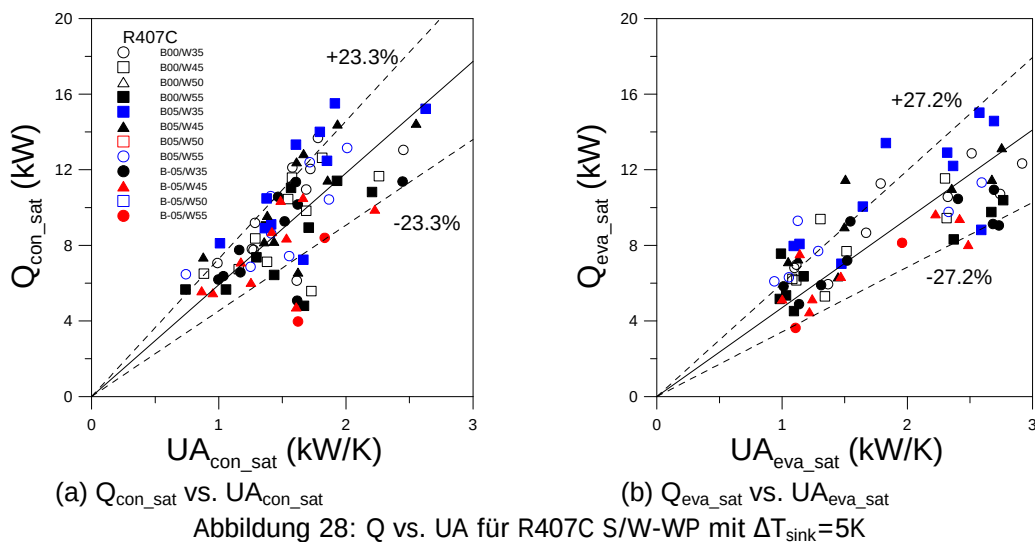


Abbildung 27: COP_{el} vs. ΔT_{lift} für alle getesteten Kältemittel

Analyse der Messdaten in Hinblick auf die eingesetzten Wärmeübertrager

Wie bereits beschrieben, werden Kondensatoren in Überhitzungs-, Sättigungs- und Unterkühlungsbereich unterteilt und die UA-Werte sind für jeden dieser Bereiche verfügbar. Verdampfer werden in zwei Regionen unterteilt und die entsprechenden UA-Werte für den Sättigungs- bzw. Überhitzungsbereich stehen ebenfalls zur Verfügung. Jedoch, anders als bei der zuvor präsentierten Relation von COP_{el} vs. ΔT_{lift} , zeigen die erhaltenen UA-Werte aus Messungen von Wärmepumpen, die nicht auf R407C basieren, große Schwankungen, wenn sie gegen die Performance-Größen wie Heizleistung Q_{con} und COP_{el} aufgetragen werden. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich in der kleinen Zahl an verfügbaren Messungen. Daher wurde in der folgenden Analyse nur auf Daten mit R407C als Kältemittel zurückgegriffen. Verschiedene Wärmepumpen sind mit unterschiedlichen Kombinationen von Wärmeübertragern ausgestattet und arbeiten unter unterschiedlichsten Betriebsbedingungen aufgrund von Änderungen der Umgebungsbedingungen und der entsprechenden Reaktionen der Regelung. Daher ist es sehr schwierig, die Wärmeübertrager der vermessenen Wärmepumpen anhand einiger weniger, einfacher Parameter zu charakterisieren wie es in der vorliegenden Analyse gewünscht ist. Dennoch seien einige Ergebnisse der Auswertung gezeigt. Die Effizienzen von Wärmepumpen hängen, falls die Kompressoreffizienz als konstant angesehen werden kann, hauptsächlich von den UA-Werten von Kondensator und Verdampfer ab, da diese wesentlich für die Bestimmung des Systemdrucks und damit der Kompressorleistung sind. Der UA-Wert eines Wärmeübertragers ist allerdings keine konstante Größe, sondern aufgrund von Änderungen der Betriebsbedingungen wie z.B. den primären und sekundären Durchflussraten entsprechenden Schwankungen unterlegen. Deshalb kann der UA-Wert einen Wärmeübertrager nicht ausreichend beschreiben. Ausgehend davon, dass die Wärmetransferrate und damit der Wärmedurchgangskoeffizient proportional zum Kältemittelfluss ist, wurde entschieden, den Zusammenhang zwischen Wärmetransferrate und UA-Wert zu untersuchen, mit der Absicht eine aussagekräftige Relation zu finden. Abbildung 28 zeigt die Wärmetransferrate gegen den UA-Wert der Sättigungsregionen in den Kondensatoren und Verdampfern von R407C Sole/Wasser Wärmepumpen. Die sekundäre Durchflussrate wurde in den Messungen so eingestellt, dass sich eine konstante Differenz von 5 K zwischen Ein- und Auslass am Kondensator einstellt, d.h. $\Delta T_{\text{sink}}=5\text{K}$.



Die durchgezogene Linie stellt wieder die lineare Fitkurve

$$Q = c \times UA \quad (31)$$

dar, wobei c wiederum eine Konstante ist. Der Wert $c=5.91$ in Gleichung (31) reproduziert die Daten in Abbildung 28a mit einer Standardabweichung von $\pm 23.3\%$, $c=4.7$ in Abbildung 28b mit $\pm 27.2\%$. Nach Gleichung (31) ist c äquivalent zu LMTD (logarithmische mittlere Temperaturdifferenz), welche oft zur Charakterisierung von Wärmeübertragern benutzt wird und als mittlere Temperaturdifferenz zwischen der Primär- und Sekundärseite des Wärmeübertragers angesehen werden kann. Nähert man wie dargestellt Q und UA im Sättigungsbereich des Kondensators mit einer linearen Relation an, so stellt c näherungsweise die durchschnittlich auftretende LMTD im Kondensator sämtlicher vermessenen R407C Wärmepumpen dar. Dieselbe Auswertung wurde auch für Verdampfer durchgeführt, die gesamten Interpolationsergebnisse sind in den beiden nachfolgenden Tabellen zusammengefasst.

Typ	ΔT_{sink}^* (K)	c	Standardabweichung ($\pm\%$)
S/W	5	5.91	23.3
D/W	5	5.15	24.0
W/W	5	6.79	17.9
S/W	10	6.17	20.0
D/W	10	6.33	24.8
W/W	10	7.35	23.0

* Die Durchflussrate wurde so geregelt, dass die Temperaturdifferenz des sekundären Mediums im Kondensator während der Messung konstant blieb.

Tabelle 6: Interpolationsergebnisse von Q gegen UA mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Kondensatoren von R407C Wärmepumpen

Typ	ΔT_{sink}^* (K)	c	Standardabweichung ($\pm\%$)
S/W	5	4.70	27.2
W/W	5	5.44	23.5
S/W	10	5.07	24.3
W/W	10	4.96	32.9

* Die Durchflussrate wurde so geregelt, dass die Temperaturdifferenz des sekundären Mediums im Verdampfer während der Messung konstant blieb.

Tabelle 7: Interpolationsergebnisse von Q gegen UA mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Verdampfern von R407C Wärmepumpen

In Tabelle 6 und Tabelle 7 ist zu erkennen, dass die c -Werte beim Kondensator im Bereich 5.2 K bis 7.4 K schwanken und damit relativ weit gestreut sind, während jene beim Verdampfer nur im Bereich zwischen 4.7 K und 5.4 K liegen. Außerdem ist festzustellen, dass bei den Kondensatoren von W/W-Wärmepumpen generell ein höherer c -Wert als bei anderen Typen auftritt. Die Unsicherheit der numerischen Ergebnisse ist durch die Standardabweichung gegeben und liegt zwischen 18 % und 33 %.

Des Weiteren sollte der Einfluss des Wärmeübertragers auf die Performance einer Wärmepumpe untersucht werden. Es ist wichtig, passende Parameter zu wählen, die diesen Einfluss abbilden. Wie in Abbildung 22 sowie in Tabelle 5 ersichtlich steht COP_{el} in einem klaren Zusammenhang mit dem Temperaturhub ΔT_{lift} . ΔT_{lift} selbst allerdings enthält keine explizite Information über den Wärmeübertrager, nachdem es nur auf Messungen des Drucks basiert. Daher ist es kaum möglich, den Wärmeübertragereinfluss in der COP_{el} vs. ΔT_{lift} Relation zu sehen, weshalb es notwendig ist, andere Parameter, die den Zusammenhang expliziter beinhalten, zu wählen. Dazu wird der exergetische Wirkungsgrad η_{2nd} , definiert in Gleichung (5), als Repräsentant für die Effizienz der Wärmepumpe und LMTD für den Wärmeübertrager herangezogen. Per Definition enthält η_{2nd} Informationen sowohl über die primären als auch sekundären Temperaturen, was die Vermutung nahe legt, dass diese Größe einen bestimmten Trend mit LMTD, welche die Wärmeübertragerkapazität durch Temperaturdifferenzen zwischen primärem und sekundärem Fluss darstellt, zeigt. Abbildung 31 zeigt η_{2nd} gegen $LMTD_{sat_con}$ (LMTD des Sättigungsbereiches im Kondensator) für R407C S/W-Wärmepumpen getestet mit $\Delta T_{sink}=5K$. Die Daten zeigen, dass η_{2nd} indirekt proportional zu $LMTD_{sat_con}$ ist. Dieses Resultat ist zu erwarten, da ein großer UA-Wert (und daher kleine LMTD) ΔT_{lift} bei gegebenen Senken- und Quellentemperaturen verringert und in der Folge COP_{el} erhöht (Abbildung 22 bis Abbildung 27), was wiederum zu einem erhöhten η_{2nd} führt.

In Abbildung 29b sind entsprechende Resultate für den Verdampfer dargestellt, die einen ähnlichen Trend zeigen. Analog zu Gleichung (30), kann η_{2nd} durch

$$\eta_{2nd} = c \times LMTD^m + d \quad (32)$$

ausgedrückt werden. Die durchgehenden Linien in Abbildung 29a und Abbildung 29b sind lineare Interpolationen ($m=1$) mit Standardabweichungen von $\pm 8.5\%$ bzw. $\pm 6.8\%$. Eine lineare Interpolation wird für die vorliegende Analyse als ausreichend angesehen.

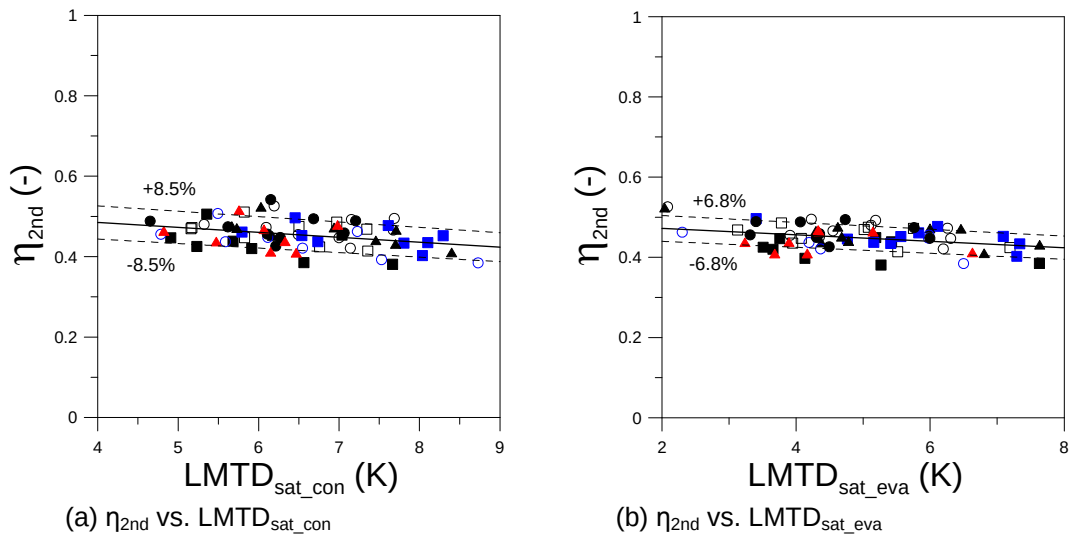


Abbildung 29: η_{2nd} vs. LMTDs für R407C S/W-WP mit $\Delta T_{sink}=5K$

Tabelle 8 fasst die Interpolationsresultate von η_{2nd} gegen $LMTD_{sat_con}$ für alle Wärmepumpentypen zusammen.

Typ	* ΔT_{sink} (K)	c	d	Standardabweichung (±%)
S/W	5	-0.0123	0.534	8.5
D/W	5	-0.0099	0.490	7.3
W/W	5	-0.0122	0.521	6.9
S/W	10	-0.0049	0.469	6.4
D/W	10	-0.0162	0.502	8.7
W/W	10	-0.0204	0.554	9.5

* Die Durchflussrate wurde so geregelt, dass die Temperaturdifferenz des sekundären Mediums im Kondensator während der Messung konstant blieb.

Tabelle 8: Interpolationsergebnisse von η_{2nd} gegen LMTD mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Kondensatoren bei R407C WP (m=1)

Die Steigung c reicht von -0.0204 bis -0.0049, die Verschiebung d liegt zwischen 0.469 und 0.554. Die Standardabweichungen der Interpolationen sind im Bereich von ± 6.4 bis ± 9.5 % und damit vergleichbar zu jenen in Tabelle 5. Physikalisch bedeuten die c-Werte in Tabelle 9, dass eine Absenkung der $LMTD_{sat_con}$ um 1 K η_{2nd} um ca. 0.005 bis 0.02 erhöht. Tabelle 9 fasst die Interpolationsresultate für η_{2nd} gegen $LMTD_{sat_eva}$ für alle Wärmepumpentypen zusammen.

Typ	* ΔT_{sink} (K)	c	d	Standardabweichung ($\pm\%$)
S/W	5	-0.0080	0.488	6.8
W/W	5	-0.0140	0.515	6.6
S/W	10	-0.0098	0.486	5.8
W/W	10	-0.0228	0.528	8.1

* Die Durchflussrate wurde so geregelt, dass die Temperaturdifferenz des sekundären Mediums im Verdampfer während der Messung konstant blieb.

Tabelle 9: Interpolationsergebnisse von $\eta_{2\text{nd}}$ gegen LMTD mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Verdampfern bei R407C WP ($m=1$)

Die c-Werte in Tabelle 9 liegen im selben Bereich wie die beim Kondensator in Tabelle 8, was wiederum bedeutet, dass je 1 K Absenkung der $\text{LMTD}_{\text{sat_eva}}$ die Effizienz $\eta_{2\text{nd}}$ um ca. 0.008 bis 0.023 steigt. Aus den obigen Resultaten scheint der Einfluss von Verdampfer und Kondensator auf die Systemperformance klar ersichtlich. Nichtsdestotrotz ist $\text{LMTD}_{\text{sat_eva}}$ nicht konstant, wenn $\eta_{2\text{nd}}$ mit $\text{LMTD}_{\text{sat_con}}$ in Abbildung 29a interpoliert wird, und vice versa in Abbildung 29b. Dies bedeutet, dass die Einflüsse von Verdampfer und Kondensator weder in Tabelle 8 noch in Tabelle 9 getrennt identifizierbar sind. Berücksichtigt man, dass $\text{LMTD}_{\text{sat_con}}$ und $\text{LMTD}_{\text{sat_eva}}$ grundsätzlich voneinander unabhängige Variablen mit vergleichbar großem Einfluss auf $\eta_{2\text{nd}}$ sein sollten, erkennt man die Notwendigkeit, diese Einflüsse voneinander zu trennen. Einige Ansätze zu solch einer Trennung wurden untersucht, führten aber bisher zu keinem endgültigen Ergebnis. Es stellte sich heraus, dass dafür intensivere Untersuchungen an einem geeigneten Modell notwendig und daher für die Zukunft vorgesehen sind. Eine abschließende Zusammenfassung der durchgeführten Analysen ist in Kapitel 6 gegeben.

6 Detailangaben in Bezug auf die Forschungskooperation Internationale Energieagentur (IEA)

6.1 Relevanz der Projektergebnisse aus der Teilnahme an Annex 33

Die Ergebnisse aus Annex 33 richten sich in erster Linie an österreichische Wärmepumpen- und Wärmeübertragerhersteller sowie an Forschungsinstitutionen und öffentliche Einrichtungen. Insbesondere für Wärmepumpenhersteller ist es wichtig, internationale Trends in der Entwicklung neuer Wärmeübertrager zu verfolgen, um Technologien frühzeitig in ihre Produkte integrieren zu können. Die im Rahmen von Annex 33 zusammengeführten Informationen (Reay et al., 2009) sind dafür eine wertvolle Basis, da sowohl ein Überblick über die bereits verfügbaren sowie derzeit entwickelten CHE-Technologien als auch über Methoden und Daten zu deren Auswahl und Auslegung gegeben wird. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse des Annex auch für österreichische Firmen im Bereich der Kälte- und Klimatechnik von Relevanz.

Eine weitere wichtige Zielgruppe sind österreichische Hersteller von Wärmeübertragern. Die im Rahmen des Annex präsentierten Forschungsaktivitäten könnten Impulsgeber für die Erweiterung des Produktportfolios in Richtung kompakter Wärmeübertragertechnologien sein. Insbesondere würde sich für österreichische Firmen die Möglichkeit

eröffnen, mit neuen technologischen Ansätzen das derzeit schwach von österreichischen Herstellern besetzte Segment der Wärmepumpe zu erschließen. Interessante Bereiche könnten neben Kompaktwärmeübertragern auch Wärmeübertrager für Spezialwärmepumpen sein (z.B. Großwärmepumpen/Industriewärmepumpen), sowie Luftwärmeübertrager für Luftwärmepumpen.

Die Ergebnisse des Annex richten sich auch an Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Arbeitsgruppen in den klassischen Bereichen Wärmepumpentechnik, Kälte- und Klimatechnik, Stoff- und Wärmeübertragung, Strömungslehre, aber auch an Arbeitsgruppen im Bereich der chemischen und thermischen Prozesstechnik sowie der Materialwissenschaften. Wichtige Anknüpfungspunkte im Materialbereich sind:

- Einsatz neuer Werkstoffe (z.B. Polymere)
- Beschichtungstechnik
- Neue Fertigungsverfahren und Fügetechniken (z.B. Schweißen, Löten, Kleben)

Vor allem jenen Fachbereichen, die nicht unmittelbar mit Wärmepumpen- bzw. Kälte- und Klimatechnik in Verbindung stehen, geben die im Annex zusammengefassten Informationen einen grundlegenden Einblick in dieses Themengebiet, sodass Experten aus diesen Fachbereichen mögliche Synergien bzw. Anwendungsmöglichkeiten von vorhandenem Know-how erkennen können.

Weitere Zielgruppen umfassen öffentliche Stellen, für die die Ergebnisse des Annex als Basis für Einschätzungen des Standes der Technik bzw. von technologischen Entwicklungen dienen können, sowie Vertreter anderer Industriezweige (z.B. aus dem Bereich erneuerbarer Energien, wo Wärmeübertrager ebenfalls eine wichtige Rolle spielen, aber auch der chemischen und thermischen Prozesstechnik sowie der Automobilindustrie).

6.2 Einbindung der Stakeholder

Die Einbindung der Zielgruppen erfolgte im Rahmen von Interviews im Zuge der Marktrecherche sowie durch die Organisation eines Workshops, auf welchem nicht nur die Bedürfnisse der heimischen Industrie erhoben, sondern auch die internationalen Ergebnisse präsentiert wurden.

7 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die wichtigsten Erkenntnisse, die sich aus der Teilnahme am IEA HPP Annex 33 im Rahmen des vorliegenden Projektes ergeben, lassen sich wie folgt gliedern:

1. Erkenntnisse aus dem Wissenstransfer innerhalb des Annex Konsortiums (Task 4)
2. Relevanz des Themas Kompaktwärmeübertrager für die österreichische Wärmepumpenbranche (Task 4, Ergebnis des nationalen Workshops)
3. Überblick über Aktivitätsfelder österreichischer Wärmeübertragerhersteller (Task 1)
4. Ergebnisse aus der Evaluierung der im Projekt entwickelten Datenbasis in Hinblick auf Plattenwärmeübertrager (Task 2)

7.1 Ergebnisse aus dem Wissenstransfer im Annex Konsortium

Die Zielsetzung im Annex bestand in der Erfassung und Dokumentation von Einsatzmöglichkeiten von Kompaktwärmeübertragern in Wärmepumpenanwendungen. Diese Arbeiten umfassten das Aufzeigen bestehender sowie sich im Entwicklungsstadium befindlicher Technologien sowie die Dokumentation von Methoden und Daten zur Beurteilung und Auslegung der Wärmeübertragertechnologien.

Die Ergebnisse des Annex und der eingebrachten Projekte sind vielseitig und reichen von grundlegenden Studien zum Blasensieden in engen Kanälen bis zu Leitfäden für die Auswahl und Benutzung kompakter Wärmeübertrager. Der internationale Endbericht von Annex 33 (Reay et al., 2009) und die dort angeführten Referenzen beinhalten sowohl Marktdaten als auch die Beschreibung neuer Wärmeübertragerkonzepte inklusive der Verwendung neuer Materialien.

Von den Projektpartnern wurden verschiedenste Aktivitäten berichtet, die den internationalen Stand der Entwicklung im Bereich kompakter Wärmeübertrager repräsentieren. Insgesamt wurden von den fünf Annex Partnern 33 nationale Projekte in den Annex eingebracht und vorgestellt, darunter allein 20 aus Japan. Diese Projekte sind im Endbericht von Annex 33 angeführt. Die Schwerpunkte der eingebrachten Projekte lagen bei folgenden Themen:

- Wärmeübertrager für CO₂-Wärmepumpen
- Kompaktwärmeübertrager für Wärmepumpen
- Mikrokanal-Wärmeübertrager
- Herstellung von Wärmeübertragern
- Neue Materialien für Wärmeübertrager
- Markt- und Potentialstudien

Folgende Aspekte sind aus den Ergebnissen des Annex hervorzuheben:

- Es gibt reges Interesse in der Verwendung von CO₂ als Kältemittel in Wärmepumpen. Dies zeigt sich in der Entwicklung von Hochdruckwärmeübertragern (z.B. Projektbeiträge von Schweden) als auch in den zahlreichen Forschungsaktivitäten im Rahmen der japanischen Projektbeiträge.
- Es finden umfangreiche Forschungsaktivitäten im Bereich der Wärmeübertragung und Strömungsmechanik in Mikrokanälen statt. Insbesondere hervorzuheben sind dabei die Projektbeiträge aus Schweden, Japan und den USA.
- Der Beitrag Großbritanniens zeigt das Potential der Verwendung von Wärmepumpen in industriellen Prozessen auf. In solchen Anwendungen spielen kurze Amortisationszeiten eine wichtige Rolle. In dieser Hinsicht stellt der Einsatz von Kompaktwärmeübertragern eine interessante Perspektive dar.
- Der Wärmepumpenindustrie müssen Informationen und Daten über die Möglichkeiten des Einsatzes von Kompaktwärmeübertragern in Wärmepumpen zur Verfügung gestellt werden (z.B. Möglichkeiten und Einsatzgrenzen unterschiedlicher Arten von Kompaktwärmeübertragern). Die im Rahmen des Annex 33 Endberichts präsentierten Informationen stellen einen ersten wichtigen Schritt in diese Richtung dar.

7.2 Ergebnisse des nationalen Annex Workshops

Für die österreichische Wärmepumpenindustrie, die strukturell von Klein- und Mittelbetrieben geprägt ist, wird es zunächst wichtig sein, die im Annex aufgezeigten Neuentwicklungen zu verfolgen und neue Technologien frühzeitig in ihre eigenen Produkte einzubinden. Aus diesem Grund wurde der nationale Annex 33 Workshop im Rahmen des jährlich am AIT veranstalteten Wärmepumpen-Herstellertages durchgeführt, um dort direkt die gewonnenen Erkenntnisse aus der Teilnahme am Annex an die Branche weiterzukommunizieren und auf internationale Entwicklungen aufmerksam zu machen. Im Rahmen der Diskussion beim Workshop, bei der Geschäftsführer und Entwicklungsleiter der österreichischen Wärmepumpenhersteller vertreten waren, wurde die Bedeutung dieser Aktivitäten unterstrichen. Als kritisch identifiziert wurde insbesondere die Tatsache, dass Wärmeübertrager für praktisch alle Hersteller zugekaufte Komponenten darstellen. Dies bedeutet, dass die Entwicklung neuer Wärmepumpen-Produkte basierend auf verbesserten Wärmeübertragern von der Verfügbarkeit dieser Wärmeübertrager am Markt abhängt.

Im Bereich der Wärmeübertragerentwicklung wurde im Rahmen des Workshops festgestellt, dass insbesondere Potential bei der Entwicklung hocheffizienter Luft-Wärmeübertrager besteht. Im Hinblick auf die technologische Reife besteht hierbei Nachholbedarf im Vergleich zu Plattenwärmeübertragern. Ziel dieser Entwicklungstätigkeit sollte es sein, die Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen um 10 bis 15 % zu steigern. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Reduktion der Vereisung von Verdampfern als auch die Verbesserung des Wärmeübergangs von der Lamelle in das Kältemittel bzw. in das Wärmeträgermedium. Plattenwärmeübertrager werden heute standardmäßig in Wärmepumpen eingesetzt, wobei mit dem Stand der Technik sehr

gute Effizienzen erreicht werden. Als wichtige Forschungsmaßnahmen im Bereich kompakter Plattenwärmeübertrager wurden diskutiert:

- Entwicklung von Hochdruck-Plattenwärmeübertragern
- Reduktion des Materialbedarfs (d.h. Reduktion der wärmeübertragenden Flächen) durch Steigerung des Wärmeübergangskoeffizienten
- Verwendung neuer Materialien (z.B. Aluminium)

Die identifizierten Forschungsmaßnahmen im Rahmen des Workshops decken sich vielfach mit den in Annex 33 bearbeiteten Fragestellungen. Die Verfügbarkeit von Hochdruck-Plattenwärmeübertragern ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von Hochtemperatur-Wärmepumpen und damit für die Erschließung neuer Anwendungsbereiche (z.B. Wärmerückgewinnung in industriellen Prozessen, Altbausanierung,...). Die Reduktion des Materialeinsatzes und die Verwendung neuer Materialien sind von Bedeutung, um einerseits die Baugröße und damit die Kosten von Wärmepumpen zu senken und andererseits Kältemittelfüllmengen zu reduzieren.

7.3 Ergebnisse aus der Befragung österreichischer Wärmeübertragerhersteller

Es zeigte sich, dass österreichische Unternehmen alle gängigen Arten von Wärmeübertragern herstellen, wobei die Märkte dieser Unternehmen im Bereich der Prozess- und Verfahrenstechnik liegen (z.B. Kraftwerke, Lebensmittelindustrie, chemische Industrie, Umwelttechnologien,...). Die Marktausrichtung der Unternehmen legt den Schluss nahe, dass es sich hierbei um spezialisierte Unternehmen handelt, die dementsprechend in spezialisierten technologischen Bereichen agieren. Immerhin geben 50 % der befragten Unternehmen an, auch im Bereich Klimatisierung und Kühlung tätig zu sein. Nur drei der befragten Unternehmen führten an, auch Wärmeübertrager für Wärmepumpenanwendungen zu fertigen. Aus den Ergebnissen der Umfrage kann geschlossen werden, dass in Österreich zwar vielseitiges Know-How im Bereich der Wärmeübertragerherstellung vorhanden ist, dieses großteils jedoch in spezialisierten Märkten, die flexible Lösungen erfordern, eingesetzt wird. Impulse im Bereich der Forschung und Entwicklung neuer Wärmeübertragertechnologien könnten innovativen Unternehmen eine Möglichkeit bieten, verstärkt in den Wärmepumpenmarkt einzutreten. Interessante Bereiche wären beispielsweise Luft-Wärmeübertrager, Mikrokanalwärmeübertrager, aber auch Wärmeübertrager für Großwärmepumpen (z.B. Industriewärmepumpen oder Wärmepumpen für den mehrgeschossigen Büro- und Wohnbau).

7.4 Ergebnisse aus der Evaluierung der Messdaten von Wärmepumpen

Im Rahmen des vorliegenden nationalen Annex Projektes wurden Messdaten von insgesamt 134 verschiedenen Wärmepumpen erfasst und in Hinblick auf die thermodynamische Charakteristik der Wärmepumpen und den darin enthaltenen Wärmeübertragern analysiert. Die Analyse hat klar die Abhängigkeit der Leistungszahl sowie des exergetischen Wirkungsgrads vom Temperaturhub und den LMTDs der Wärmeübertrager gezeigt.

Aus den Resultaten können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Leistungszahl COP_{el} ist linear vom reziproken Temperaturhub abhängig, der lineare Zusammenhang konnte für alle Wärmepumpen-Typen bestimmt werden.
- COP_{el} ist am höchsten für W/W-Wärmepumpen, gefolgt von S/W-Wärmepumpen und D/W-Wärmepumpen.
- Unter den Kältemitteln liefert R407C den besten COP_{el} .
- Alle Platten-Wärmeübertrager in R407C Wärmepumpen wurden mit einer Genauigkeit von 30 % durch die LMTD angenähert charakterisiert.
- Die LMTDs von Wärmeübertragern stehen mit dem exergetischen Wirkungsgrad der Wärmepumpe im Zusammenhang. Dieser wurde mit einem linearen Zusammenhang beschrieben.
- Der Einfluss des Verdampfers auf den exergetischen Wirkungsgrad der Wärmepumpen wurde nicht von dem des Kondensators getrennt und vice versa. Diese Aufgabe erfordert weitere Anstrengungen und bleibt zukünftigen Projekten vorbehalten.

8 Ausblick und Empfehlungen

Der IEA HPP Annex 33 hat aktuelle internationale Trends im Bereich der Forschung und Entwicklung von Wärmeübertragertechnologien in Hinblick auf deren Einsatz in Wärmepumpen aufgezeigt. Diese Trends reichen von der Entwicklung neuer Hochleistungswärmeübertrager für natürliche Kältemittel über die Verwendung von Mikrokanalstrukturen bis hin zu neuen Wärmeübertragermaterialien. Der Einsatz neuer Wärmeübertragertechnologien lässt weitere Effizienzsteigerungen (insbesondere bei Luftwärmepumpen) bzw. eine Reduktion des Materialeinsatzes und damit der Kosten sowie eine Reduktion von Kältemittelfüllmengen erwarten.

Für österreichische Unternehmen der Wärmepumpenbranche wird es strategisch wichtig sein, diese technologischen Trends aufzugreifen und durch gezielte Innovationen und Entwicklungen in neuen Produkten umsetzen. Der Entwicklung und dem Einsatz neuer Wärmeübertragertechnologien wird dabei eine besondere Bedeutung zukommen. Insbesondere im Bereich hocheffizienter Luftwärmepumpen bzw. beim Einsatz von Mikrokanalwärmeübertragern könnten österreichische Unternehmen technologische Akzente setzen.

In diesem Zusammenhang sollten die Möglichkeiten, die sich aus dem Einsatz neuer Wärmeübertragertechnologien ergeben, im Rahmen von Forschungsprojekten untersucht und umgesetzt werden, wobei dabei Synergien mit anderen technologischen Bereichen wie beispielsweise dem Automobil-Sektor, der Materialwissenschaft inklusive der Fertigungs- und Fügetechnologie sowie Beschichtungstechnik, der Kälte- und Klimatechnik oder der Verfahrenstechnik genutzt werden sollten.

Generell bilden die Erkenntnisse aus dem IEA HPP Annex 33 eine wichtige Grundlage für zukünftige Forschungsaktivitäten am Austrian Institute of Technology (AIT). Des Weiteren sollen die Ergebnisse Hersteller von Wärmepumpen und Wärmeübertragern sowie andere Forschungsinstitutionen zu neuen Entwicklungsaktivitäten anregen.

9 Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

- Biermayr, P., Weiss, W., Bermann, I. (2008). Erneuerbare Energie in Österreich. Marktentwicklung 2007, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 19/2008, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)
- Biermayr, P., Weiss, W., Bermann, I. (2009). Erneuerbare Energie in Österreich. Marktentwicklung 2008, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 16/2009, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)
- Biermayr, P., Ehrig R., Strasser, C., Wörgetter M., Prüggl N., Fechner, H., Nurschinger, M., Weiss, W., Eberl, M. (2010). Innovative Energietechnologien in Österreich - Marktentwicklung 2009, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 15/2010, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)
- Böswarth, R., Höller, M., Coevet, M., Dubuisson, X., Remec, J., Sandström, B., Brown, R., Lyssoudis, A. (2006). EU Certified Heat Pump Installer, Manual prepared within the Project "EU-Cert.HP", EC Contract 4.1021/Z/02-074/2002, Intelligent Energy Europe (IEE)
- EG (2006). EG Verordnung Nr. 842/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase, 14.6.2006
- EHPA (2007). EHPA Heat Pump Statistics 2006: Sales Figures Heating Only, presented to the EHPA Strategy Committee, 5th July 2007, Karlsruhe, verfügbar unter <http://www.ehpa.org/heat-pump-statistics/2006/>, aufgerufen am 10. Oktober 2008
- EHPA (2009). Outlook 2009, European Heat Pump Statistics, verfügbar unter <http://www.ehpa.org/heat-pump-statistics/2008/>, aufgerufen am 22. April 2010
- Faninger, R. (2007). Aktueller Stand der Wärmepumpen-Technik in Österreich, Internationales Wärmepumpen-Symposium des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins (DKV), 18th and 19th September 2007, Nürnberg
- Faninger, R., Biermayr, P. (2007). Der Wärmepumpenmarkt in Österreich 2006, Erhebung für die Internationale Energieagentur (IEA) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), März 2007
- M-TEC Mittermayr GmbH (2008). CO₂ Tiefensonde, http://www.m-tec.at/unternehmen/patente_co2sonde.asp, aufgerufen am 10. Oktober 2008
- Prek, M. (2004). Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study, Energy and Buildings 36/10, pp. 1021 -1027
- Reay, D.A., et al. (2009). Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment, Final Report of the IEA Annex 33 (IEA Heat Pump Program), September 2009⁴
- Sanner, B. (2008). Overview of ground-source heat pump market in Europe, ASTECH Workshop, Bilbao, 5.11.2008, verfügbar unter http://www.eve.es/jornadas/jornada_intercambioGeotermico.asp, aufgerufen am 22. April 2010

Link zu Taskwebsite: <http://www.compactheatpumps.org/>

⁴ Dieser Endbericht ist über das IEA Heat Pump Centre (www.heatpumpcentre.org) verfügbar, Stand Juni 2010

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsschema einer Sole/Wasser-Wärmepumpe mit einem horizontalen Einzelschleifen-Wärmeübertrager; (Böswarth et al., 2006)	14
Abbildung 2: Direktverdampferwärmepumpe	15
Abbildung 3: Prinzip der Wasser/Wasser-WP	15
Abbildung 4: Entwicklung des häuslichen WP-Marktes in Österreich von 2000 bis 2009	16
Abbildung 5: Typen an verkauften Wärmepumpen des Jahres 2008 in % Marktanteilen	17
Abbildung 6: Marktanteile von Direktverdampfer- und Sole/Wasser-WP bei Raumheizung	18
Abbildung 7: WP für Raumheizung in Österreich; JAZ in Abhängigkeit von Wärmequelle	19
Abbildung 8: Entwicklung der JAZ der verschiedenen Wärmequellen/-pumpensysteme von 2001 bis 2006; (Faninger, 2007)	19
Abbildung 9: Anzahl existierender, erdreichgekoppelter WP (ground sourced heat pumps, GSHP) im Jahre 2007, pro Kopf und pro Fläche; (Sanner, 2008)	20
Abbildung 10: EHPA Outlook 2009: Verkaufszahlen nur für Heizung	21
Abbildung 11: CO ₂ -Wärmerohr	22
Abbildung 12: Übersicht über die von österreichischen Firmen produzierten Wärmeübertragertypen (AIT, 2008)	23
Abbildung 13: Detailaufschlüsselung der Wärmeübertragertypen aus Abbildung 12	23
Abbildung 14: Übersicht über die von den interviewten WT-Herstellern versorgten Industrien	24
Abbildung 15: Verwendete Kältemittel	26
Abbildung 16: Typen an berücksichtigten Wärmequellen	26
Abbildung 17: Typische Konfiguration und Messung einer WP	27
Abbildung 18: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe im Ts-Diagramm	27
Abbildung 19: T-s-Diagramm eines WP-Zyklus	29
Abbildung 20: Temperaturprofile im Kondensator	31
Abbildung 21: Temperaturprofile in einem Verdampfer	33
Abbildung 22: COP _{el} vs. ΔT_{lift} für R407C S/W-WP	35
Abbildung 23: COP _{el} vs. ΔT_{lift} für R407C D/W	36
Abbildung 24: COP _{el} vs. ΔT_{lift} für R407C W/W	35
Abbildung 25: COP _{el} vs. ΔT_{lift} für verschiedene Typen von R407C-WP	36
Abbildung 26: COP _{el} vs. ΔT_{lift} für alle R407C Daten	37
Abbildung 27: COP _{el} vs. ΔT_{lift} für alle getesteten Kältemittel	37
Abbildung 28: Q vs. UA für R407C S/W-WP mit $\Delta T_{\text{sink}}=5\text{K}$	38
Abbildung 29: $\eta_{2\text{nd}}$ vs. LMTDs für R407C S/W-WP mit $\Delta T_{\text{sink}}=5\text{K}$	41

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmeübertragertypen und verwendete Materialien für Verdampfer und Kondensator bei den geprüften WP	25
Tabelle 2: Beispiel einer kompletten Prüfung.....	25
Tabelle 3: Relevante Messdaten für die Analyse.....	29
Tabelle 4: Konstanten in Gleichung (30) für R407C Wärmepumpen.....	35
Tabelle 5: Konstanten in Gleichung (30) für die verschiedenen Kältemittel	37
Tabelle 6: Interpolationsergebnisse von Q gegen UA mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Kondensatoren von R407C WP	39
Tabelle 7: Interpolationsergebnisse von Q gegen UA mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Verdampfern von R407C WP	39
Tabelle 8: Interpolationsergebnisse von η_{2nd} gegen LMTD mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Kondensatoren bei R407C WP (m=1)	41
Tabelle 9: Interpolationsergebnisse von η_{2nd} gegen LMTD mit Gleichung (31) für die Sättigungsbereiche in den Verdampfern bei R407C WP (m=1)	42

9.4 Abkürzungsverzeichnis

CHE	Compact Heat Exchanger
COP	Coefficient of Performance
GSHP	Ground Sourced Heat Pumps
GWP	Global Warming Potential
JAZ	Jahresarbeitszahl
LMTD	Logarithmic Mean Temperature Difference
ODP	Ozone Depletion Potential
WP	Wärmepumpe

10 Anhang

10.1 Präsentation vom nationalen Annex 33 Workshop am AIT

 IEA HPP Annex 33 Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment Workshop 28. Oktober 2009 Dr. Michael Monsberger, Ing. Heinrich Huber BSc. Energy Department Sustainable Thermal Energy Systems	 Inhalte des Workshops ▪ International Energy Agency (IEA) ▪ Struktur und Ziele des IEA HPP Annex 33 ▪ Bisherige Beiträge und Ergebnisse ▪ Diskussion
 Ziele des Workshops ▪ Überblick über internationale Projekte und Aktivitäten im Bereich Wärmeübertrager für Wärmepumpen ▪ Diskussion und Erörterung der Relevanz dieses Themengebietes für Forschung und Industrie	 International Energy Agency (IEA) ▪ 1974 als zwischenstaatliche Organisation gegründet mit derzeit 28 Mitgliedsstaaten ▪ Ziel: Verminderung der Öl-Importabhängigkeit der Mitgliedsstaaten durch Entwicklung alternativer Energiequellen und Steigerung der Energieeffizienz ▪ IEA agiert als „Energy Policy Advisor“ für die Mitgliedsstaaten in den Punkten: ▪ Energiesicherheit ▪ Wirtschaftliche Entwicklung ▪ Umweltschutz
 International Energy Technology Cooperation der IEA ▪ Internationale Netzwerke und Kooperationen im Rahmen von gemeinsamen Projekten bilden eine wichtige Säule der IEA ▪ Realisierung mittels so-genannter Implementing Agreements, die den rechtlichen Rahmen der Kooperation bilden und denen Mitgliedsstaaten beitreten können ▪ Derzeit laufen 42 Implementing Agreements - Österreich ist an 17 beteiligt ▪ In den Implementing Agreements werden Einzelprojekte in Form so-genannter Annexe bzw. Tasks durchgeführt ▪ Typische Aktivitäten: ▪ Technologiebeurteilung, Machbarkeitsstudien, Marktanalysen ▪ Gemeinsame Forschungsprojekte ▪ Informationsaustausch in Programmen; z.B.: Förderungsprioritäten, Forschungsaktivitäten, Modellierung ▪ Verbreitung von Ergebnissen und Erfahrungen	 IEA Heat Pump Programme (HPP) ▪ Das IEA Heat Pump Programme ist ein Implementing Agreement, das sich spezifisch mit Wärmepumpentechnologien auseinandersetzt ▪ Derzeit laufen in diesem Implementing Agreement 6 Projekte (Annexes): 29 Ground-Source Heat Pumps Overcoming Market and Technical Barriers 30 Retrofit Heat Pumps for Buildings 31 Advanced Modeling and Tools for Analysis of Energy Use in Supermarkets 32 Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses 33 Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment 34 Thermally Driven Heat Pumps for Heating and Cooling ○ Derzeitige Österreichische Beteiligung (www.heatpumpcentre.org)

IEA HPP Annex 33

Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment

IEA HPP Annex 33

- Titel des Annex: Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment
- Laufzeit: 1. Oktober 2006 – 30. September 2009

Staat	Kontakt	Institution
United Kingdom (Operating Agent)	Prof. David Reay Dr. Peter Kew Prof. Tassos G. Karayannis	David Reay & Associates Heriot-Watt University Edinburgh Brunel University London
Sweden (Vice Operating Agent)	Prof. Björn Palm	Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) Stockholm
Austria	Dr. Michael Monsberger	Austrian Institute of Technology (AIT)
Japan	Prof. Shigeru Koyama	Kyushu University
USA	Prof. Clark Bullard	University of Illinois at Urbana-Champaign

Zielsetzung und Struktur IEA HPP Annex 33

Zielsetzungen des Annex:

- Forcierung des Einsatzes neuer, kompakter Wärmeübertrager in Wärmepumpen
- Effizienzsteigerung, Minimierung des Kältemittelsatzes, Reduktion des Materialeinsatzes bzw. der Baugröße
- Aufzeigen von Möglichkeiten und Optionen neuer Wärmeübertragertechnologien in Wärmepumpen
- Identifikation und Dokumentation von Methoden zur Abschätzung von Wärmeübergang, Druckverlust und Dampfgehalt

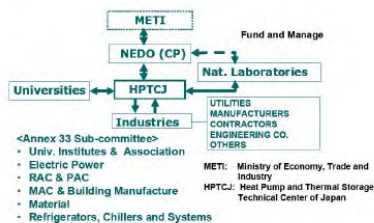
Arbeitspakete:

- AP 1: Market research
- AP 2: The evaluation of the performance of compact heat exchangers relevant to heat pumps
- AP 3: The evaluation of properties and operating limits of such equipment
- AP 4: Information sharing

Überblick Beiträge Japan

Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment

Organisationsstruktur Japan National Team



Quelle: S. Koyama, A. Miyara, H. Asano, K. Hashimoto, M. Tono, National Activity of Annex 33 in Japan, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org

Steering Committee und Mitglieder im Team

Member	Institution
Prof. S. Koyama	Kyushu University
Prof. A. Miyara	Saga University
Prof. H. Asano	Kyushu University
Dr. K. Hashimoto	KREPI
Prof. A. Hibara	The University of Tokyo
Prof. T. Katsuki	Kyushu University
Prof. M. Katsura	Waseda University
Dr. F. Takemura	AIST
Dr. H. Seshimo	JRMA
Mr. M. Tono	HPTCJ

Steering Committee

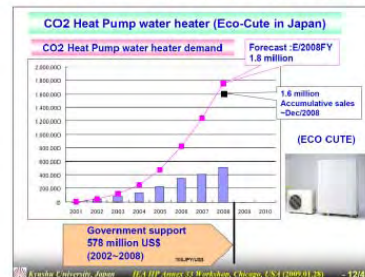
Universities:	6	Teilnehmende Institutionen und Firmen
Research Institutes:	2	
Associations:	1	
RAC & PAC Companies:	7	
MAC & Vending Machines:	5	
Electric Power:	3	
Refrigeration, Chillers, Systems:	5	
Material:	6	

Quelle: S. Koyama, A. Miyara, H. Asano, K. Hashimoto, M. Tono, National Activity of Annex 33 in Japan, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org

Beiträge Japans zum IEA HPP Annex 33

- Marktübersicht Japan (Wärmepumpe, Air Conditioning, Chiller)
- Bedarfsanalyse F&E für Wärmeübertrager
- F&E an Wärmeübertragern relevant für CO₂ Brauchwasserwärmepumpen
- F&E an kompakten Wärmeübertragern für Wärmepumpen
- Manufacturing und Materialien

Marktentwicklung von CO₂ Wärmepumpen in Japan



F&E Bedarfsanalyse für Wärmeübertrager in Japan

Es wurde eine Umfrage durchgeführt, in der 8 Punkte im Bereich HEX Forschung auf deren Relevanz evaluiert wurden:

Item No.	Content
1	Refrigerant Types (Next Generation Refrigerant, Future Refrigerant, Refrigerant Mixture and Other Perspectives)
2	Refrigerant Side Heat Transfer Processes (Condensation, Evaporation, Absorption, Adsorption and Other Perspectives)
3	Heat Transfer Surface (Surface Type and Geometry, Copper Tube, Aluminum Tube, Micro Channel and Other Perspectives)
4	Secondary Refrigerant Side Heat Transfer for Air and Brine (Heat Transfer of Fins, Frosting, Defrosting, Mist and Other Perspectives)
5	Heat Exchanger (Heat Exchanger Type, Distribution of Refrigerant, Performance Improvement, Compactness and Other Perspectives)
6	New Research Field Related to Heat Exchanger Technology
7	Applied Technologies such as Nano Technology
8	Other Problems not Mentioned in Items 1 to 7

Quelle: S. Kojima, A. Miyata, H. Asano, K. Hashimoto, M. Tono, National Activity of Annex 33 in Japan, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org

Ergebnis der Bedarfsanalyse

Selected Important Subjects

Subjects to be Investigated within One Year

Subjects (Item No.)

(1) Effects of Oil on CO₂ Heat Transfer (2/2)

(2) Establishment of Correlation of CO₂ Heat Transfer at Super-critical Condition(2/4)

Subjects to be Investigated within Three Years

Subjects (Item No.)

(1) Heat Transfer in Nano-ordered Tube(7/3)

(2) In- and Out-tube Heat Transfer of Natural Refrigerants (3/9)

(3) Properties of Pure Component Natural Refrigerants (1/1)

(4) Refrigerant Distribution in Heat Exchangers (5/7)

(5) Selection Methodology of Suitable Refrigerants Based on Academic Viewpoints (1/6)

(6) New Fluoro-nated Alternative Refrigerants Based on Ethers, Olefin etc. (1/9)

(7) Performance Improvement of Fin & Tube Heat Exchangers (5/6)

(8) Miniaturation and Optimization of Grooved Tubes for CO₂ (3/5)

(9) Heat Transfer in Non-circular Tubes (2/6)

Quelle: S. Kojima, A. Miyata, H. Asano, K. Hashimoto, M. Tono, National Activity of Annex 33 in Japan, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org

Ergebnis der Bedarfsanalyse

Subjects to be Investigated within around Five Years

Subjects (Item No.)

(1) Visualization and Numerical Simulation of Two Phase Flow (2/5)

(2) Refrigerant Distribution in Heat Exchangers (5/2)

(3) Nano-scale Heat Transfer and Its Applications for Heat Transfer Enhancement (7/8)

(4) Nano-scale Phase Change Phenomena (7/2)

Universal Subject

Exploring New Alternative Refrigerants and Evaluation of Their Applicability

Relation between Importance and Time for Research Subjects

- In case of important subject, the higher the rank is, the shorter the time schedule is.
- Lower ranked subjects have longer time schedule.
- (It may be noted that lower ranked subjects do not mean their un-necessaries in a long run.)

Quelle: S. Kojima, A. Miyata, H. Asano, K. Hashimoto, M. Tono, National Activity of Annex 33 in Japan, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org

Strömungsvisualisierung in kommerziellen Plattenwärmeübertragern mittels Neutronenradiographie

- Ziel:** Visualisierung der Verteilung siedender Strömungen in kommerziellen Plattenwärmeübertragern
- Untersucht wurden Einzelplatten sowie ein gesamtes Paket
- Experiment mit Einzelplatten
 - Untersuchung der Strömungsrichtung auf die Effizienz der Verdampfung und Visualisierung der Flüssigkeitsverteilung im Wärmeübertrager
- Experimente mit gesamtem Wärmeübertragerpaket
 - Einfluss des Strömungszustandes am Eintritt auf die Phasenverteilung in den Einzelkanälen

Visualisierung

Downward Flow

Upward Flow

Bedingung am Eintritt:
2 Phasenströmung am Eintritt (Kältemittel nicht unterkühlt)

Dunkle Stellen: Hoher Flüssigkeitsanteil

Quelle: S. Kojima, A. Miyata, H. Asano, K. Hashimoto, M. Tono, National Activity of Annex 33 in Japan, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org

Übersicht der japanischen Annexbeiträge

Insgesamt wurde im Annex über 18 Forschungsprojekte berichtet:

- Wärmeübertragung und HEX Entwicklung für CO₂ Wärmepumpen: Effekt von Öl, Oberflächenstrukturierung, Kompaktwärmeübertrager (5 Projekte)
- Wärmeübergang bei Lamellenwärmeübertragern (3 Projekte)
- Mikro-Kanal Wärmeübertrager: PCB Design, Mikrostrukturierungen (3 Projekte)
- Material und Herstellungsverfahren (3 Projekte)
- Plattenwärmeübertrager: Strömungsvisualisierung, neue Designs (2 Projekte)
- Wärmeübertrager für natürliche Kältemittel (1 Projekt)
- Numerische Simulation von 2-Phasenströmungen (1 Projekt)

Überblick Beiträge Schweden

Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment

Nationaler Kontakt:

Professor Björn Palm
Kungliga Tekniska Högskolan, KTH - Stockholm
Department of Energy Technology
Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration

Übersicht der schwedischen Beiträge

- Drei Forschungsprojekte an der KTH im Bereich kompakter Wärmeübertrager:**
 - Micro-Channel Heat Transfer
 - Compact Water/Water Heat Exchanger
 - Compact Plate Heat Exchanger evaporator with porous surface
- Marktrecherche zu kompakten Wärmeübertragern**
 - Alfa Laval
 - Swep
 - Tranter
 - Multichannel









Alpha Laval

- Gelötete Wärmeübertrager für hohe Drücke (R410A und CO₂).
Z.B. CBXP52 für Drücke bis 70 bar
- Equalancer-System für gleichmäßige Beaufschlagung paralleler Kanäle in Plattenwärmeübertragern
Zweiphasenströmung am Eintritt wird zwei Mal vermischt, um eine gleichmäßige Verteilung zu garantieren.
Z.B. AC-130 für 60 bis 200 kW
- Entwicklung von Wärmeübertragern für transkritische CO₂ Systeme

Quellen:
Björn Palm, Compact Heat Exchangers in Theory and Practice – A Scandinavian Perspective, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org
www.alpha-laval.com (Oktober 2009) – Brazed Heat Exchangers for Refrigeration



SWEP

- B16DW-U Plattenwärmeübertrager
- Maximaldrücke bis 140 bar
- Anwendungen:
 - Gas Cooler in CO₂ Wärmepumpen (z.B. für Supermärkte)
 - Kaskadenwärmeübertrager mit synthetischen Kältemitteln und R744

Quellen:
www.swep.se (Oktober 2009)











Tranter

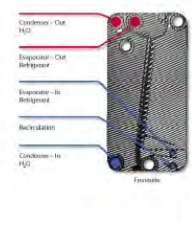
- SuperMax
- Shell-and-Plate-Design
- Maximaldrücke bis 70 bar
- Anwendungen:
 - Niedrigtemperatur CO₂ Wärmepumpen
- Vorteile gegenüber Shell-and-Tube-Design:
 - Höhere Effizienz (besserer U-Wert)
 - Weniger Platzbedarf
 - Geringer Isolierungsbedarf
 - Bessere Fouling Eigenschaften

Quellen:
Björn Palm, Compact Heat Exchangers in Theory and Practice – A Scandinavian Perspective, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org
www.tranter.com (Oktober 2009)



Multichannel AB

Plattenwärmeübertrager Typ EC 59



Externe



Externe



Quellen:
Björn Palm, Compact Heat Exchangers in Theory and Practice – A Scandinavian Perspective, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org
www.multichannel.se (Oktober 2009)

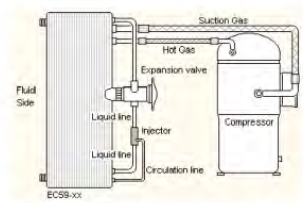








Multichannel AB



Betriebsdruck: Max. 30 bar
Max. Anzahl von Platten: 200

Wärmepumpensystem basierend auf EC 59

Quellen:
Björn Palm, Compact Heat Exchangers in Theory and Practice – A Scandinavian Perspective, IEA HPP Annex 33 Workshop, Chicago, 28-31-2009, www.compactheatpumps.org
www.multichannel.se (Oktober 2009)

Überblick Beiträge USA

Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment

Nationaler Kontakt:
Professor Clark Bullard
University of Illinois at Urbana-Champaign









Übersicht der US Beiträge

- Sechs Forschungsprojekte – Ein Forschungsprojekt im Bereich Performance gesamter Wärmeübertrager und fünf Forschungsprojekte zu grundlegenden Effekten bei der Wärmeübertragung in Wärmeübertragern:

- HIGH PERFORMANCE HEAT EXCHANGERS FOR AIR-CONDITIONING AND REFRIGERATION APPLICATIONS (NON-CIRCULAR TUBES)
A. M. Jacobi, Y. Park, Y. Zhong, G. Mishra, and Y. Xia
Air Conditioning and Refrigeration Center (ACRC)
University of Illinois at Urbana-Champaign
- HIGH CONDENSING TEMPERATURE HEAT TRANSFER PERFORMANCE OF LOW CRITICAL TEMPERATURE REFRIGERANTS
Dr. Srinivas Gannella
George W. Woodruff School of Mechanical Engineering
Georgia Institute of Technology

Übersicht der US Beiträge

- NEAR-CRITICAL/SUPERCRITICAL HEAT TRANSFER MEASUREMENTS OF R-410A IN SMALL DIAMETER TUBE
Dr. Srinivas Gannella
George W. Woodruff School of Mechanical Engineering
Georgia Institute of Technology
- NOVEL MATERIALS FOR HEAT EXCHANGERS
Anthony M. Jacobi (PI), Xiaohong Han, Young-Gil Park, Andrew Sommers, Christophe T. J. Qin, Qin Wang
Air Conditioning and Refrigeration Center
University of Illinois at Urbana-Champaign
- MODELING AND ANALYSIS OF A HEAT EXCHANGER WITH CARBON-FIBER FIN STRUCTURES
D. G. Walker, E. A. Vineyard, R. Linkous, J. Henrick
*Department of Mechanical Engineering
Vanderbilt University Nashville
*Oak Ridge National Laboratory
- VOID FRACTION MEASUREMENT AND MODELING FOR CONDENSING REFRIGERANT FLOWS IN SMALL DIAMETER TUBES
Timothy A. Shedd
Department of Mechanical Engineering
University of Wisconsin

Überblick Beiträge UK

Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment

Nationaler Kontakt:

Professor David Reay

David Reay & Associates, Whitley Bay, Tyne & Wear

Dr. Peter Kew

School of Engineering & Physical Sciences, Heriot-Watt University Edinburgh

Professor Tassos G. Karayiannis

School of Engineering and Design, Brunel University London

Übersicht der UK Beiträge

- Technische Zusammenfassung basierend auf UK Good Practice Guides und Compact Heat Exchanger (CHE) Training Package
- Marktübersicht (inklusive einer Übersicht des Marktpotentials für Industriewärmepumpen und die Rolle kompakter Wärmeübertrager für diese Anwendung)
- Ergebnisse des UK-Forschungsprojekts – Boiling and Condensation in Micro-Channels
- Koordination der Berichtslegung

CHE Guidance

- Dieser Beitrag wird Beschreibungen von relevanten CHE Typen, Kosten, Auslegungsdaten bzw. Kommentare zur Berechnung der Performance beinhalten
- Der Beitrag umfasst plate-fin heat exchangers, printed circuit heat exchangers und plate heat exchangers
- Basierend auf UK Good Practice Guides und einem CHE Training Package

Überblick Beiträge Österreich

Compact Heat Exchangers in Heat Pumping Equipment

Nationaler Kontakt:

Dr. Michael Monsberger

Austrian Institute of Technology (AIT)

Energy Department

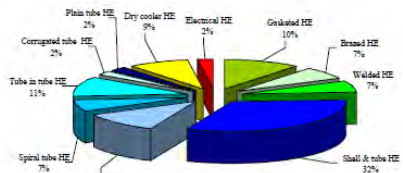
Sustainable Thermal Energy Systems

Überblick Beiträge Österreich

- Recherche bezüglich Wärmeübertragerhersteller in Österreich
- Abschätzung des Einflusses von Wärmeübertragern auf die Effizienz von Wärmepumpen

Recherche bezüglich Wärmeübertragerhersteller in Österreich

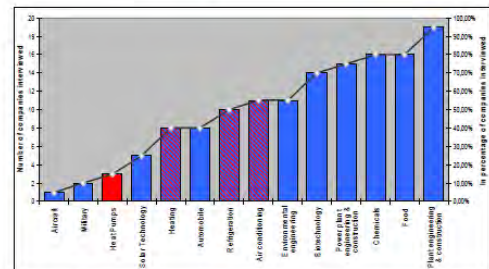
In Österreich produzierte Wärmeübertrager – Typen (2)



Overview of types of heat exchangers (HE) produced by Austrian companies (AIT, 2009)

Basierend auf einer Umfrage im Dezember 2009 die 19 Österreichische Unternehmen umfasst, die Wärmeübertrager produzieren. Die Auswertung beinhaltet nur jene Unternehmen, die Auskunft über ihr Produktportfolio gegeben haben und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

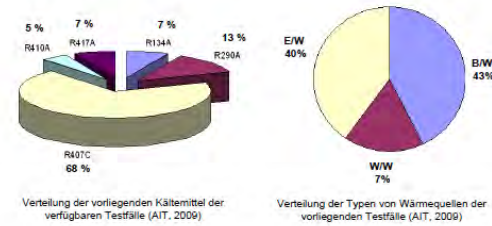
Österreichische Wärmeübertragerhersteller – Anwendungen der Produkte



Overview of industries supplied by interviewed Austrian companies, AIT, 2008

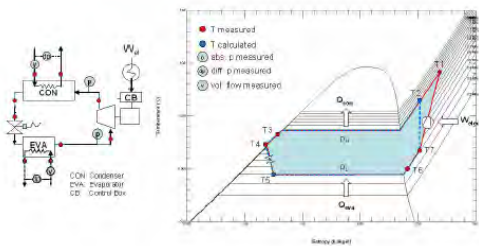
Abschätzung des Einflusses von Wärmeübertragern auf die Effizienz von Wärmepumpen

Experimentelle Daten



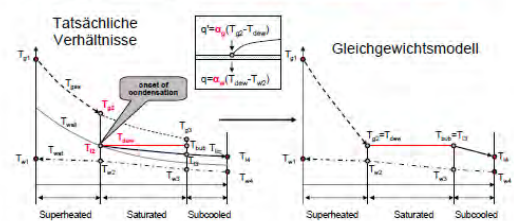
Anzahl der betrachteten Messpunkte (gesamt): 475

Methodik der Analyse

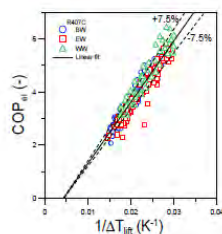


Vereinfachtes Wärmeübertragermodell (Bsp. Kondensator)

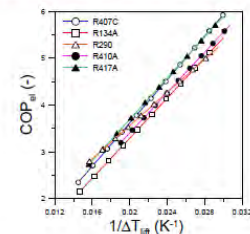
Der Kondensator wird mit 3 Regionen modelliert: **superheated, saturated and subcooled**.



Thermodynamische Performance (1)

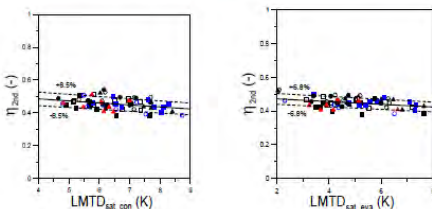


Thermodynamische Performance (2)



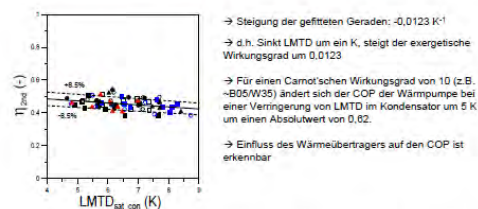
COP_{el} vs. ΔT_{1st} für verschiedene Kältemittel

HEX Performance – Exergetischer Wirkungsgrad



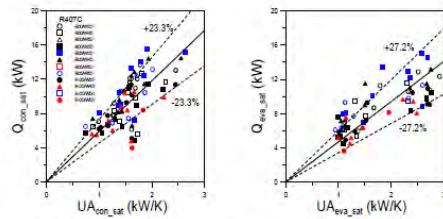
Exergetischer Wirkungsgrad: η_{2nd} vs. LMTDs für R407C BW $\Delta T_{sink} = 5K$ für das Nassdampfgebiet für Kondensator und Verdampfer

HEX Performance – Exergetischer Wirkungsgrad



Exergetischer Wirkungsgrad: η_{2nd} vs. LMTDs für R407C BW $\Delta T_{sink} = 5K$ für das Nassdampfgebiet für Kondensator und Verdampfer

Performance Wärmeübertrager



Q vs. UA für R407C BW mit $\Delta T_{\text{sink}}=5\text{K}$ für den Nassdampfgebiet
in Kondensator und Verdampfer

Zusammenfassung

- Österreich beteiligt sich im Rahmen des IEA Heat Pump Programme (HPP) an internationalen Projekten und Netzwerken im Bereich Wärmepumpentechnologien
- Im IEA HPP Annex 33 wurden spezifisch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an neuen insbesondere kompakten Wärmeübertragern für Wärmepumpenanwendungen behandelt
- Es wurde von Forschungsprojekten aus den Ländern UK, Schweden, Japan, USA und Österreich berichtet, wobei klare Schwerpunkte bei den Themen natürliche Kältemittel (z.B. CO₂ in Japan), Mikrokanal-Wärmeübertrager, Untersuchung des Wärmeüberganges (Steigerung der Effizienz und Verkleinerung) und Materialien erkennbar wurden
- Der Schwerpunkt der österreichischen Wärmeübertrager-Produzenten liegt derzeit nicht im Bereich der Wärmepumpentechnologie
- Im Beitrag Österreichs zum Annex wurde weiters der Einfluss des Wärmeübertragers auf die Effizienz der Maschine abgeschätzt, wobei die Analyse auf einen klar erkennbaren Einfluss aufzeigt

Dieses Projekt wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperationen finanziert.

Kontakt und weitere Informationen

Weitere Informationen zu Annex 33:

michael.monsberger@ait.ac.at

IEA HPP Annex 33 Homepage:

www.compactheatpumps.org

IEA Heat Pump Programme:

www.heatpumpcentre.org

Informationen zur IEA und zu österreichischen Aktivitäten:

www.iea.org

www.energytech.at