

# IEA Heat Pump Programme Annex 35: Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen

R. Rieberer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**17/2015**

## **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 Heat Pump Programme

## Annex 35: Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen

Ao.Univ.-Prof. Dr. René Rieberer, DI Gerald Zotter,  
DI David Hannl, DI Dr. Harald Moser, Dr. Oleksander Kotenko  
TU Graz – Institut für Wärmetechnik

DI Andreas Zottel, DI Dr. Thomas Fleckl, DI Ivan Malenkovic  
AIT – Energy Department

Graz, Dezember 2014

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**

**IEA** FORSCHUNGS  
KOOPERATION

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](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Kurzfassung

Das Hauptziel des IEA HPP/IETS Annex 35/13 ist eine größere Verbreitung von Wärmepumpen in Industrie und Gewerbe.

In der Industrie fallen enorme Abwärmemengen bei unterschiedlichsten Produktionsprozessen an, welche leider meist mit zusätzlichem Aufwand „entsorgt“ werden, anstelle diese energetisch zu nutzen. Der Grund liegt i.d.R. im zu geringen Temperaturniveau der Abwärme, wodurch keine direkte Nutzung für die innerbetriebliche Wärmeversorgung möglich ist. Mittels Wärmepumpen kann das Temperaturniveau dieser Abwärmern auf ein nutzbares Niveau angehoben und zur innerbetrieblichen Wärmeversorgung anstelle von Erdgas, Öl und Kohle herangezogen werden. Dadurch kann ein bisher brachliegendes Potenzial zur Energieversorgung der Industrie erschlossen und ein signifikanter Beitrag zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Brennstoffe und CO<sub>2</sub>-Emissionen in einem ökologisch sehr relevanten und brisanten Sektor erreicht werden.

Während die Verkaufszahlen von Warmwasser- und Heizungswärmepumpen stetig steigen, finden Wärmepumpen in der Industrie trotz der enormen Potentiale - vor allem in Österreich – bis dato kaum Einsatz. Eine Ursache dafür liegt maßgeblich in der relativ geringen Verbreitung sowie dem geringem Know-How über Potentiale, Technologien und Anwendungsmöglichkeiten in Österreich. Aus technischer Sicht besteht besonders der Bedarf an Wärmepumpen für höhere Nutztemperaturniveaus (> 80 °C) weiter zu entwickeln, um Abwärme für die innerbetriebliche Prozesswärmeversorgung nutzen zu können. Wärmepumpen in der Industrie sind meist „maßgeschneiderte“ Anlagen und deshalb relativ teuer, weshalb die von der Industrie i.d.R. (sehr) kurzen Amortisationszeiten nur schwer erreicht werden können. Um diese Barrieren zu überwinden, wurde im Zuge des IEA HPP Annex 35 ökologische und ökonomische Vorteile von industriellen Wärmepumpen, sowie internationale Forschungstrends und vielversprechende Anwendungsbeispiele im In- und Ausland aufgezeigt, damit sich auch diese zukunftssträchtige Technologie langfristig in Österreich etabliert.

An diesem Annex nahmen folgende 9 Länder teil: Dänemark, Deutschland (Operating Agent), Frankreich, Japan, Kanada, Korea, Niederlande, Österreich, Schweden. Dazu wurde folgendes Arbeitsprogramm ausgearbeitet, an dem sich auch das österreichische Teilvorhaben stark orientierte:

- Task 1) Marktübersicht und Anwendungsbarrieren
- Task 2) Modellierung und Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Task 3) Wärmepumpentechnologie
- Task 4) Anwendungen und Monitoring
- Task 5) Kommunikation

Durch die Teilnahme am IEA HPP Annex 35 und dem regen Wissensaustausch konnte viel Know-how rund um Hochtemperaturwärmepumpen und deren Potentiale nach Österreich transferiert werden. Dies könnte den notwendigen Anstoß geben, dass mittelfristig ein neuer Markt für die heimischen Wärmepumpenhersteller erschlossen, die Energieeffizienz in der Industrie gesteigert und die Energieimportabhängigkeit Österreichs reduziert wird.

# Abstract

The main objective of the IEA HPP Annex 35 is a further spreading of heat pumps in industry and commerce.

In the industry enormous amounts of waste heat are produced by different production processes, which conventionally have to be "dissipated" with additional effort instead of an energetic use of this heat. The reason is mostly the low temperature level of the waste heat, which does not enable a direct use for the internal heat supply. Using heat pumps offers the possibility to upgrade the temperature level of the waste heat to a usable level for the internal heat supply instead of converting heat from natural gas, oil and coal. This allows a previously untapped potential for the energy supply of the industry, by which a significant contribution to the reduction of fossil fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions can be achieved in an ecologically relevant sector.

While the sales numbers of standardized small-capacity residential heat pumps for space heating and hot water production increased steadily, up to now and against their potential, find heat pumps in the industry hardly usage, particularly in Austria. The reasons are based on the very low distribution and the lack of know-how concerning the potential, the technologies and the application possibilities of industrial heat pumps. Furthermore from a technical point of view, there does still exist a demand to develop more heat pumps for higher application temperatures (> 80 °). As these heat pumps are usually "customized" systems, they are relatively expensive, therefore the (very) short payback times, especially demanded in industry, can hardly be achieved.

To overcome these barriers, the ecologic and economic benefits of industrial heat pumps have been pointed out within this Annex, as well as international R&D-trends and most promising national and international applications have been shown. These activities should establish industrial heat pumps in Austria. The following 9 countries participated in this Annex: Denmark, Germany (Operating Agent), France, Japan, Canada, South Korea, The Netherlands, Austria and Sweden. The Annex work program, on which the Austrian contribution is based, has been defined as following:

- Task 1) Market overview and barriers for application
- Task 2) Modeling calculation and economic models
- Task 3) Technology
- Task 4) Applications and monitoring
- Task 5) Communication

The participation in the IEA HPP Annex 35 enabled an important knowledge and know-how transfer to Austria concerning high temperature heat pumps and their potentials. This should initiate advantages, as opening a new market for Austrian heat pump manufacturer, the increase of energy efficiency in the production and the reduction of the dependency of Austria on energy imports.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	8
1.1	Ausgangssituation/Motivation des Projektes.....	9
1.2	Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet.....	10
1.3	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	10
1.4	Aufbau des Berichtes.....	12
2.	Hintergrundinformation zur österreichischen Beteiligung .....	14
2.1	Ziele und Inhalte des Implementing Agreements: IEA HPP .....	14
2.2	Ziele des HPP Annex 35.....	15
2.3	Angestrebte Ergebnisse des HPP Annex 35.....	16
2.4	Inhalte des HPP Annex 35.....	17
2.5	Struktur des HPP Annex 35.....	17
2.6	Teilnehmer beim Annex 35 (IEA HPP/IETS Annex 35/13) .....	18
2.7	Beschreibung der österreichischen Teilnahme am IEA HPP Annex 35.....	19
2.7.1	Die österreichische Kooperation (Arbeitsgemeinschaft) .....	19
2.7.2	Ziele des Österreichischen Teilprojektes .....	19
2.7.3	Arbeitspakete der österreichischen Beteiligung am HPP Annex 35 .....	19
2.7.4	Beschreibung der verwendeten Methodik, Daten und Vorgangsweise .....	20
2.7.5	Highlights .....	22
3.	Ergebnisse des IEA HPP Annex 35 .....	23
3.1	Markt für Industrie Wärmepumpen – ein Überblick .....	24
3.1.1	Energiesituation der Industrie in Österreich.....	24
3.1.2	Potenzialabschätzung für verschiedene Industrie- und Gewerbebereiche.....	24
3.1.3	Marktübersicht für Industrierärmepumpen in den teilnehmenden Partnerländern.....	36
3.2	Simulationstools .....	39

3.2.1	Simulationsumgebungen zur Kreislaufanalyse .....	39
3.2.2	Simulationstools zur Integration von Wärmepumpen in komplexe Systeme .....	42
3.2.3	Übersicht der Erkenntnisse zu Software aus den teilnehmenden Partnerländern .....	46
3.3	Gerätetechnik .....	49
3.3.1	Industrielle Wärmepumpe .....	49
3.3.2	Wärmequelle: industrielle Abwärme .....	88
3.3.3	Kältemittel für Wärmepumpensysteme in Industrie und Gewerbe.....	89
3.3.4	Stand der Technik in Österreich .....	91
3.3.5	Stand der Forschung und Entwicklung in Österreich .....	95
3.3.6	Übersicht der Erkenntnisse zur Gerätetechnik aus den teilnehmenden Partnerländern...	102
3.4	Systemtechnik .....	107
3.4.1	Anwendungen von Wärmepumpen in Österreichs Industrie und Gewerbe .....	107
3.4.2	Übersicht der Erkenntnisse zur Systemtechnik aus den teilnehmenden Partnerländern..	140
3.4.3	Machbarkeitsstudien (Case studies) für potentielle Anwendungen von industriellen Wärmepumpe in Österreich .....	141
3.5	Kommunikation.....	155
4.	Vernetzung und Ergebnistransfer .....	158
5.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	159
6.	Verzeichnisse .....	162
6.1	Literaturverzeichnis .....	162
6.2	Abkürzungsverzeichnis.....	172
6.3	Tabellenverzeichnis .....	173
6.4	Abbildungsverzeichnis .....	175
7.	Anhang .....	180
7.1	Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 1 – Part 1 .....	180
7.2	Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 1 – Part 2.....	188
7.3	Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 2 .....	202

7.4	Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 3 .....	207
7.5	Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 4 .....	220
7.6	Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 5 .....	254
7.7	International Policy Paper IEA HPP-IETS Annex 35/13 .....	259
7.8	International Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 .....	259
7.9	Publication list - Austria .....	260

# 1. Einleitung

In Industrie- und Gewerbebetrieben fallen meist große Abwärmemengen aus unterschiedlichsten Prozessen an, die aufgrund ihres niedrigen Temperaturniveaus meist nicht (betriebsintern) weiter genutzt werden können und mit zusätzlichem Aufwand „entsorgt“ werden müssen. Durch den Einsatz von Wärmepumpen kann das Temperaturniveau dieser industriellen Abwärmern auf ein nutzbares, höheres Temperaturniveau angehoben und somit in das bestehende Wärmeversorgungssystem des Betriebs integriert werden.

Aus energetischer Sicht ist industrielle Abwärme eine sehr wertvolle Wärmequelle, da ihr Temperaturniveau (ca. 20 bis 60°C) deutlich höher als z.B. jenes von Umgebungsluft oder Erdreich ist. Somit kann durch den Einsatz von Wärmepumpen zur industriellen Wärmerückgewinnung ein großes, bisher brachliegendes Potential zur Abwärmenutzung erschlossen und ein signifikanter Beitrag zur Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen erreicht werden, wie in Abbildung 1 bildhaft verdeutlicht.

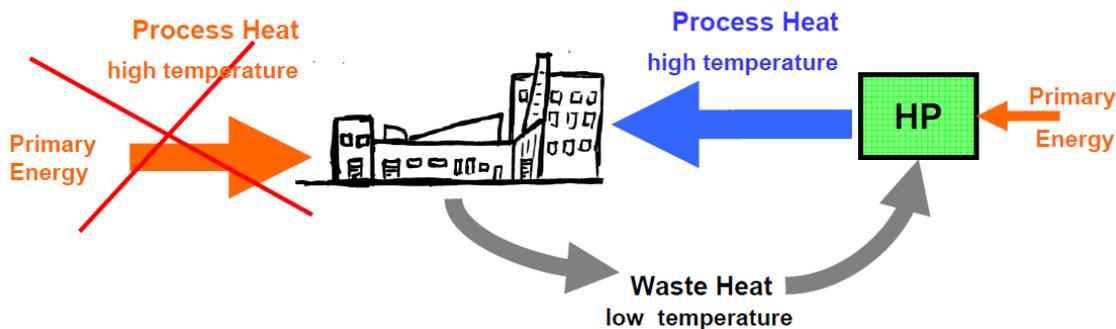


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prinzips der innerbetrieblichen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen (Zotter & Rieberer, 2010)

Im Zeitraum 1992 – 1996 wurde bereits der IEA HPP Annex 21 „Global Environmental Benefits of Industrial Heat Pumps“ abgewickelt, in dem schwerpunktmäßig die ökologischen Vorteile dieser Technologie herausgearbeitet wurden und als Basis des IEA HPP Annex 35 diente. Seit Abschluss des HPP Annex 21 sind einerseits wesentliche Fortschritte in den Bereichen Simulation, Komponentenverfügbarkeit und Kältemittel zu verzeichnen gewesen und andererseits sind die Energiepreise gestiegen und die Auflagen hinsichtlich Emissionen strikter geworden, so dass einem breiteren Einsatz von effizienten und damit umweltschonenden industriellen Wärmepumpen einige Türen geöffnet wurden.

## 1.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

In Österreich ist etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauches (siehe Abbildung 2) dem Industriesektor (inkl. Gewerbe) zuzurechnen. Beinahe die Hälfte dieses Endenergiebedarfs wird aus fossilen Energieträgern, wie Erdgas, Erdöl und Kohle gedeckt (siehe Abbildung 3). Somit zählt die Industrie zu den Hauptemittenten anthropogener, klimarelevanter Treibhausgase in Österreich, ohne die Erzeugung der elektrischen Endenergie ökologisch zu hinterleuchten. Deshalb ist eine Reduktion des Einsatzes von fossilen Energieträgern in diesem Sektor zur Erreichung von Klimazielen mittel- und langfristig unerlässlich. (vgl. Vehovec et al., 2012)

Neben den ökologischen Vorteilen bewirkt eine effiziente und nachhaltige Energieversorgung der österreichischen Industrie auch eine Reduktion der Importabhängigkeit Österreichs an fossilen Brennstoffen und somit einen erheblichen volkswirtschaftlichen Nutzen. Denn lt. Statistik Austria (2010a) wurden im Jahr 2009 ca. 70% aller fossilen Endenergieträger importiert. (vgl. Vehovec et al., 2012)

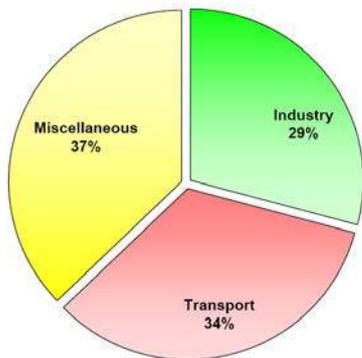


Abbildung 2: Anteil der österreichischen Industriesektoren am energetischen Endverbrauch (Datenquelle: Statistik Austria 2010)

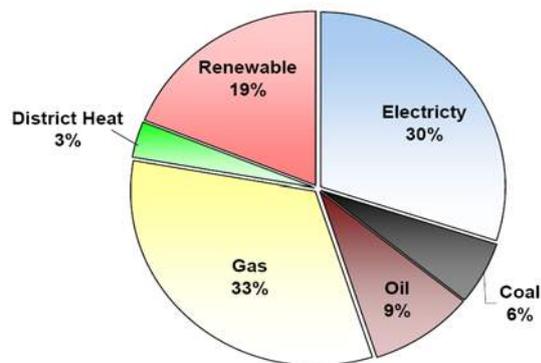


Abbildung 3: Anteil der Endenergieträger in der österreichischen Industrie (vgl. Statistik Austria, 2010b)

Durch den Einsatz von industriellen Wärmepumpen (i.d.R. Groß- bzw. Hochtemperatur-Wärmepumpen) könnte Abwärme für die innerbetriebliche Wärmeversorgung genutzt werden. Damit bieten industrielle Wärmepumpen ein großes Potential zur Reduktion fossiler Energieträger und CO<sub>2</sub>-Emissionen in einem ökologisch relevanten Sektor. Eine Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energieträgern in der Produktion führt zusätzlich zur Senkung von laufenden Energiekosten, auch zur Einsparung von Kosten für CO<sub>2</sub>-Gebühren. Des Weiteren bewirkt eine effiziente und nachhaltige Energieversorgung der österreichischen Industrie auch eine Reduktion der Importabhängigkeit (lt. Statistik Austria (2010a) ca. 70% im Jahr 2009) an fossilen Brennstoffen und somit einen erheblichen volkswirtschaftlichen Nutzen. (vgl. Vehovec et al., 2012)

Trotz dieser ökologischen und ökonomischen Vorteile finden bis dato auch international nur wenige Wärmepumpen zur industriellen Abwärmenutzung Anwendung. Grund dafür sind die geforderten Nutztemperaturniveaus, die meist über 80°C und damit deutlich über denen von konventioneller Heizungs- oder Brauchwasseranwendung liegen. Leider deckt der Markt den Bedarf an diesen so

genannten „industriellen Wärmepumpen“ nur bedingt. Für eine größere Verbreitung von Wärmepumpen zur innerbetrieblichen Abwärmenutzung dürften auch die von der Industrie geforderten (sehr kurzen) Amortisationszeiten und fehlende Erfahrung mit bereits realisierten Anlagen nachteilig sein.

## **1.2 Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet**

Nachdem Österreich weder beim IEA HPP Annex 9 „High Temperature Industrial Heat Pumps“ (1990), noch beim Annex 21 „Global Environmental Benefits of Industrial Heat Pumps“ (1992 -1996), involviert war, gibt es für Österreich bislang keine „offiziellen“ Ergebnisse (abgesehen vom verfügbaren Bericht) aus einer IEA Aktivität für den konkreten Anwendungsfall „Großwärmepumpen“. Durch eine Beteiligung an diesem neuen Annex ergibt sich jedenfalls die Chance, auf vorwiegend informellem Weg, detaillierte Informationen von jenen teilnehmenden Ländern die bereits bei den Vorgänger-Projekten beteiligt waren, nach Österreich zu holen, so dass der abgeschlossene Annex 21 eine solide Startbasis darstellt.

Es gibt derzeit in Österreich keine aktuelle Studie, die sich mit den Potenzialen für den Einsatz von Großwärmepumpen in Industrie und Gewerbe beschäftigt. Bei den realisierten Anlagen handelt es sich im weitesten Sinne um Einzelanlagen, wo z.B. Brüdenverdichter bzw. Turboverdichter in verfahrenstechnische Prozesse (Brauerei, Saline, Papierindustrie etc.) eingesetzt wurden. Die meisten dieser Projekte wurden durch ausländische Unternehmen geplant.

Wie bereits erwähnt, gibt es trotz der ökologischen und ökonomischen Vorteile auch international nur wenige Wärmepumpenanwendungen zur industriellen Abwärmenutzung. Grund dafür sind die geforderten Nutztemperaturniveaus, die meist über 80 °C und damit deutlich über denen von konventionellen Heizungs- oder Brauchwasseranwendung liegen. Daher sind i.d.R. spezielle Hochtemperatur-Wärmepumpen erforderlich. Leider deckt der Markt den Bedarf an geeigneten Hochtemperatur-Wärmepumpen bis dato nur bedingt. Jedoch spiegelt die Vielzahl von wissenschaftlichen Beiträgen bzgl. Hochtemperaturanwendungen, wie z.B. Jensen et al. (2014), Fukuda et al. (2013) etc. in branchenrelevanten Tagungen bzw. Journals, die aktuelle Brisanz dieser Thematik wider.

## **1.3 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema**

Aus Studien über das „Potential von industriellen Wärmepumpen“ in anderen Ländern ist bekannt, dass die Wärmepumpe in den produzierenden Segmenten wie Papier-, Holz-, Metall-, Chemie- oder Lebensmittelindustrie als energiesparende Alternative eingesetzt werden kann. Wenn man sich den Energieverbrauch der österreichischen Industrie ansieht (siehe Abbildung 4) kann man feststellen, dass genau diese Industrie-segmente die größten Energieverbraucher sind.

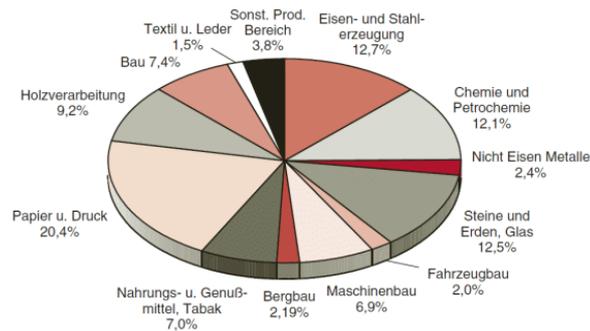


Abbildung 4: Anteil der österreichischen Industriesektoren am energetischen Endverbrauch im produzierenden Bereich 2007. (Quelle: Statistik Austria, 2007)

In einer Studie von Lambauer et al. (2008) mit dem Titel: „Industrielle Großwärmepumpen - Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele“ wurde ausgehend vom Energieverbrauch einzelner Wirtschaftszweige nach dem jeweiligen Nutztemperaturniveau und Einsatzmöglichkeiten das technisch erschließbare Potenzial für den Einsatz von Wärmepumpenanlagen in Industrie und Gewerbe in Deutschland abgeschätzt. Bei einem Nutztemperaturniveau von 70 °C könnte in der deutschen Industrie theoretisch 16% des Nutzwärmebedarfs im Jahr 2006 durch Wärmepumpen zur Verfügung gestellt werden. Falls das Temperaturniveau auf 100 °C angehoben werden kann, steigt das Potenzial auf ca. 30%. Dies entspricht ca. 15% des gesamten Endenergiebedarfs der deutschen Industrie im Jahr 2006. Bisher wird jedoch nur ein sehr geringer Anteil dieses Potenzials genutzt. Dieser deutliche Anstieg des technischen Potenzials unterstreicht die Bedeutung der Weiterentwicklung aktueller Wärmepumpensysteme, um eine Temperatur von 100 °C realisieren zu können. Abbildung 5 zeigt das Potenzial zur Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen bis zu einer Temperatur von 100 °C aufgeschlüsselt nach ausgewählten Branchen für Deutschland.

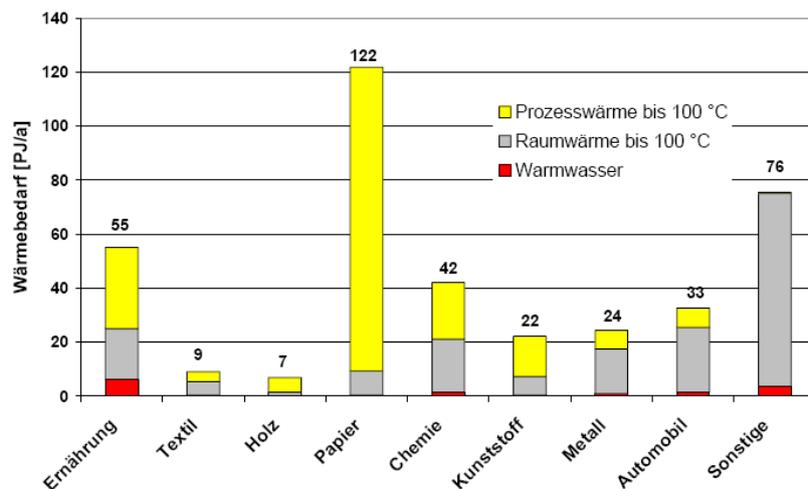


Abbildung 5: Potenzial zur Wärmebereitstellung für ausgewählte Branchen bis 100 °C in Deutschland (Lambauer et al., 2008)

Das ökologische Potential von industriellen Wärmepumpen ist bedeutend. Denn lt. Lambauer et al. (2008) wäre dadurch eine Emissionseinsparung von ca. 6,34 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr möglich. Lt.

dieser Studie sind in Deutschland durch den Einsatz von Wärmepumpen in der Industrie bei unterschiedlichen Anwendungen im Vergleich zu konventionellen Wärmeerzeugern Emissionseinsparungen zwischen 13% und 79%, im Schnitt 49% erzielbar. Dies entspricht 6,2% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Industrie im Jahr 2005.

Diesen Werten liegt der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Strom aus dem deutschen Strom-Mix zugrunde. Da der österreichische Emissionsfaktor für den elektrischen Strom in kg CO<sub>2</sub> pro kWh Strom wesentlich kleiner ist, kann man davon ausgehen, dass das österreichische Einsparpotential höher ist. Da der Energieverbrauch der österreichischen Industrie etwa 30% des gesamten Endenergieverbrauchs darstellt, ist das Potential der Energie- und Emissionseinsparungen entsprechend groß.

In Österreich gibt es in Gewerbe- und größeren Wohngebäuden bislang nur einzelne Anlagen zur Raumkonditionierung. So geht aus der Studie von Fanninger (2007) „Der Wärmepumpenmarkt in Österreich 2006“ hervor, dass im Jahr 2006 in Österreich 7715 Heizungswärmepumpen mit einer Leistung unter 20 kW umgesetzt wurden aber nur 57 Stück mit einer Leistung von über 80 kW.

Aus den ersten Gesprächen mit Industrieunternehmern kristallisierte sich heraus, dass als Marktbarrieren die für Industrieunternehmen unüblich langen Amortisationszeiten von industriellen Wärmepumpen gesehen werden und dass eine gewisse Skepsis hinsichtlich der Zuverlässigkeit derartiger Anlagen besteht, da in Österreich derzeit noch ein Erfahrungsmangel über die Industrielle Wärmepumpe sowohl bei Endkunden als auch bei Planern vorhanden ist. Eine größere Verbreitung von Erfahrungen aus Best-Practise-Beispielen dürfte dieser Skepsis entgegenwirken.

Trotz des geringen Bekanntheitsgrades kann auf mehrere Anfragen von Industrieunternehmen hinsichtlich der verfügbaren Anlagentechnik bezüglich Abwassernutzung, Hochtemperaturanwendung, etc., verwiesen werden. Daraus kann geschlossen werden, dass es Interesse seitens der Industrie an Großwärmepumpen gibt.

## **1.4 Aufbau des Berichtes**

**Kapitel 2** stellt die Ziele und Inhalte des Implementing Agreements und des IEA HPP Annex 35 dar, beschreibt die allgemeine Struktur des internationalen Projektes, gibt eine Übersicht, welche Länder teilnehmen und stellt die Ziele sowie Aufgabenstellung der österreichischen Beteiligung inkl. der verwendeten Methodik dar.

In **Kapitel 3** werden die gesammelten Projektergebnisse aus dem HPP Annex 35 zu den einzelnen Tasks (Markt, Software, Gerätetechnik, Systemtechnik und Kommunikation) zusammengefasst. Neben der Erläuterung der Ergebnisse auf nationaler Ebene beinhaltet dieses Kapitel auch einen Überblick der wichtigsten Erkenntnisse aus den Aktivitäten der teilnehmenden Partnerländer.

**Kapitel 4** beinhaltet eine kurze Darstellung der relevanten österreichischen Zielgruppen, der Vernetzungsstrategie mit diesen und eine Beschreibung des Nutzens der Ergebnisse des vorliegenden IEA HPP Annex 35.

Die aus den gesammelten Projektergebnissen gezogenen Schlussfolgerungen werden in **Kapitel 5** erläutert. Ebenfalls beinhaltet dieses Kapitel einen kurzen Ausblick und Empfehlungen für weiterführende nationale Tätigkeiten.

Das Literatur-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnis sind in **Kapitel 6** aufgelistet.

Im **Anhang 7** befindet sich der österreichische Country bzw. Austrian Team Report, eine Übersicht über relevante Veröffentlichungen aus Österreich und Links zum Policy Paper wie auch zum internationalen Bericht zum IEA HPP Annex 35 (die der Zeit noch nicht frei gegeben sind), welche über das Heat Pump Centre ([www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org)) veröffentlicht werden.

## 2. Hintergrundinformation zur österreichischen

### **Beteiligung** In diesem Kapitel wird kurz der organisatorische Rahmen (Kapitel 0)

beschrieben, in dem die vorliegenden nationalen Projekte (FFG-Nr.: 824966 und 839570) durchgeführt wurden. Dies beinhaltet die Darstellung der Ziele (Kapitel 2.2), angestrebten Ergebnisse (Kapitel 2.3), der Inhalte (Kapitel 2.4) und der Struktur bzw. Gliederung des Annexes in einzelne Task's (Kapitel 2.5) sowie die Vorstellung der teilnehmenden Partnerländer (Kapitel 2.6) des internationalen Kooperationsprojektes IEA HPP Annex 35 Abschließend (Kapitel 2.7) wird die Projektstruktur und Ziele der österreichischen Beteiligung dargestellt.

### 2.1 Ziele und Inhalte des Implementing Agreements: IEA HPP

Der IEA HPP/IETS Annex 35/13: „Application of industrial Heat Pumps“ ist eine Kooperation zweier Implementing Agreements der IEA (‘‘Industrial Energy-related Technologies and Systems’’ - IETS & ‘‘Heat Pump Program’’ – HPP). Die österreichische Beteiligung lief unter dem HPP. Der offizielle Titel des Implementing Agreements lautet:

#### **IEA Implementing Agreement for a programme of research, development, demonstration and promotion of heat pumping technologies**

Kurzformen: ‘‘IEA Heat Pump Program‘‘ oder ‘‘IEA HPP‘‘

Das Wärmepumpenprogramm der IEA entwickelt und verbreitet sachliche und ausgewogene Information zu den Themen Wärmepumpen, Kühlung und Klimatisierung. Dabei sollen die umweltrelevanten und energetischen Potenziale dieser Technologien genutzt werden. Im Rahmen dieses Programms werden gemeinsame Forschungsprojekte, Workshops und Konferenzen sowie ein Informationsservice (IEA-Wärmepumpenzentrum) durchgeführt.

Die Strategien des IEA-Wärmepumpenprogramms (HPP) beinhalten:

- Die Vorteile von Wärmepumpen im Hinblick auf Umwelt und Energieeffizienz zu quantifizieren und publik zu machen.
- Auf die Wärmepumpe auf nationaler und internationaler politischer Ebene aufmerksam zu machen.
- Das Programm an die bestehenden Prioritäten anzupassen, wie beispielsweise die Forderungen von Kyoto.
- Informationen zur Verfügung zu stellen, durch die die Markteinführung von Wärmepumpen unterstützt wird und welche von Planern, Energieversorgern und Politikern genutzt werden können.
- Internationale Zusammenarbeit zu initiieren, durch die Umwelt und Märkte gefördert werden.

- Das Programm in die Richtung zu stärken, dass
  - o die Umweltstrategie unterstützt wird,
  - o auftretende Hindernisse auf dem Markt vermieden werden können, und
  - o internationale Zusammenarbeit gestärkt wird.
- Einen effektiven Informationsfluss zwischen den involvierten Parteien sicher zu stellen.
- Die Entwicklung eines Informations- und Kommunikationsplans, durch den Umwelt, Märkte und Technologien unterstützt werden.

Um die Ziele zu erreichen führt das IEA-Wärmepumpenprogramm zahlreiche Aktivitäten durch. Diese beinhalten:

1. Annexe, internationale Zusammenarbeitsprojekte. Eine Übersicht über abgeschlossene und laufende HPP Annexe ist auf der Homepage des Heat Pump Centres zu finden (<http://www.heatpumpcentre.org>).
2. Eine alle drei Jahre stattfindende Internationale IEA-Wärmepumpenkonferenz, z. B. 1984 in Graz, 2011 in Tokyo (JP) via Web-Konferenz, 2014 in Montreal (CAN).
3. Das IEA Heat Pump Centre (HPC) als Informationsplattform des IEA-Wärmepumpenprogramms (HPP). Das HPC verfolgt folgende Aufgaben:
  - Betreiben der Homepage [www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org)
  - Vierteljährliche Publikation des Newsletters mit Neuigkeiten und Fachartikeln über Entwicklungen in den Bereichen Heizung, Kühlung und Kälte
  - Workshops, ausgerichtet auf aktuelle Themen, oft mit speziellem Bezug auf das Land, in dem der Workshop stattfindet.
  - Die Berichte über Annexe, Workshops und Konferenzen werden in einem einheitlichen Format publiziert, entweder direkt nach Abschluss des Projekts, oder verzögert, um den teilnehmenden Ländern einen gewissen Vorsprung zu geben.
  - Zusammenarbeit mit dem International Institute of Refrigeration (IIR) und der EHPA (European Heat Pump Association) sowie anderen Implementing Agreements und dem IEA-Sekretariat.

## 2.2 Ziele des HPP Annex 35

Das Ziel des vorliegenden Annex ist eine verstärkte Nutzung von Großwärmepumpen (Leistung > ca. 50 kW) und Hochtemperaturwärmepumpen (> 80°C) in Industrie und Gewerbe zu erreichen, den Energieverbrauch sowie die Emission von Treibhausgasen in diesen Sektoren deutlich zu reduzieren. Erreicht werden soll dies durch folgende Maßnahmen gemäß dem „Legal Text“ des IEA HPP Annex 35:

- Generierung von Informationen für politische Entscheidungsträger

- Ausarbeitung und Zurverfügungstellung von Information für Schlüsselpersonen in der Industrie
- Involvierung in wirtschaftliche Entscheidungsprozesse
- Erhöhung des Wissens und der Information über Großwärmepumpen sowie Zurverfügungstellung von bereits vorhandenem Wissen
- Anwendung neuer Technologien und Methoden sowie Identifizierung der Bedürfnisse der Nutzer bezüglich technologischer Entwicklungen
- Schaffung eines Expertennetzwerks
- Aufdeckung von Synergien mit erneuerbaren Energieträgern, um die Flexibilität zu erhöhen

Die Ziele sollen durch die Erstellung von Studien durch die teilnehmenden Institutionen für ihre jeweiligen Länder erreicht werden. Der Schwerpunkt des Annex liegt auf der Darstellung und Aufbereitung der Informationen über industrielle Wärmepumpen, welche zu einem besseren Verständnis der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten sowie der damit verbundenen Reduktion des Energieverbrauchs, von CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Energiekosten führen.

### **2.3 Angestrebte Ergebnisse des HPP Annex 35**

- Website (verlinkt mit den Seiten des Implementing Agreements) mit up-to-date Informationen über: Marktüberblick über mögliche Anwendungen und Beispiele von Demonstrationsprojekten, Tools für die Dimensionierung von industriellen Wärmepumpen und die Kalkulation ihrer energetischen und ökonomischen Leistungsmerkmale, Leitfaden über „Good Practise“ mit der Erfahrung der Endkunden in den verschiedenen Projekten
- Eine Beschreibung eines Standardverfahrens zur Bestimmung von zu erwartender Effizienz
- Überblick über Softwaremodelle
- Online-Datenbank über Komponenten, Material und Kältemittel für industrielle Wärmepumpen
- Handbuch, welches die verschiedenen Wärmepumpensysteme, ihre Anwendung, Softwaretools und ihre Anwendung sowie die Erfahrung der Anwender beinhaltet.
- Fortschrittsberichte für die HPP und IETS Sekretariate viermal jährlich für die Publikation im Newsletter, etc.; jährliche Berichte für die ExCos und einen Endbericht über die im Annex durchgeführten Arbeiten, die Erkenntnisse, eine Beschreibung der Resultate der Fallstudien und Demonstrationsprojekte, eine Zusammenfassung der Workshops und Empfehlungen für weitere Arbeiten.
- Wissenschaftliche Zusammenfassung der Annex-Resultate die frei verteilt werden kann
- Workshops

## 2.4 Inhalte des HPP Annex 35

Um die o.a. Ziele des IEA HPP Annex 35 zu erreichen wurde folgender Aufgabenplan verfolgt:

- a) Sammlung von Informationen über bereits durchgeführte Projekte in den teilnehmenden sowie weiteren Ländern
- b) Aufsetzen und Monitoring von Demonstrationsprojekten oder Feldtests
- c) Evaluierung und Publizierung der Resultate zu Informationszwecken
- d) Erarbeitung von Richtlinien für neue Entwicklungen sowie initiieren von neuen gemeinsamen Projekten
- e) Durchführung regelmäßiger Workshops

## 2.5 Struktur des HPP Annex 35

Die in Kapitel 2.4 angeführten Arbeiten wurden strukturiert in folgenden 5 Tasks behandelt:

**Task 1:** Marktüberblick, Barrieren für Anwendungen

**Task 2:** Modellkalkulation und wirtschaftliche Modelle

**Task 3:** Technologie

- Hochtemperatur-Wärmepumpen
- Prozessintegration
- Kältemittel

**Task 4:** Umsetzung und Monitoring

- Einfach zu installierende „Standard-Anlagen“
- Betriebskosten
- Erfahrungen in der Umsetzung

**Task 5:** Kommunikation

- Wahrnehmung des Potenzials (Strategiepapier)
- Internet
- Datenbank
- Training

## 2.6 Teilnehmer beim Annex 35 (IEA HPP/IETS Annex 35/13)

Folgende 9 Länder (Staaten, siehe Tabelle 1) nehmen mit insgesamt 15 teilnehmenden Organisationen am vorliegenden Annex teil:

*Tabelle 1: Übersicht der Teilnehmer beim IEA HPP Annex 35*

Teilnehmende Staaten	Organisationen	Flagge des Staates (Quelle: welt-blick.de, 2014)
Austria	TU Graz (IWT) & AIT (Energy Department)	
Canada	Hydro-Québec Research Institute & Natural Resources Canada	
Denmark	Danish Technological Institute	
France	EdF R&D France	
Germany	IZW e.V., IER-Uni Stuttgart, thermea GmbH & Emerson Climate Technologies GmbH	
Japan	University of Tsukuba	
The Netherlands:	NL Agency Energy and Climate Change	
South Korea	Korea Institute of Energy Research	
Sweden	Chalmers Industrial Technology & SP Technical Research Institute of Energy Technology	

## **2.7 Beschreibung der österreichischen Teilnahme am IEA HPP Annex 35**

Das österreichische Teilvorhaben zum IEA HPP Annex 35 orientierte sich stark an den internationalen Zielen und der Struktur.

### **2.7.1 Die österreichische Kooperation (Arbeitsgemeinschaft)**

Das vorliegende Vorhaben wurde gemeinsam vom Institut für Wärmetechnik (IWT) der Technischen Universität Graz und dem Energy Department des AITs – Austrian Institute of Technology unter Einbindung nationaler Zielgruppen durchgeführt.

Beide Institute haben umfangreiche Erfahrungen in der Abwicklung von nationalen sowie internationalen Forschungsprojekten und haben bereits seit Jahren in zahlreichen nationalen (z.B. in den FFG-Projekten: InnoGen, NexGen, HyPump) sowie internationalen Forschungsprojekten (z.B. IEA HPP Annexe 34, 41, 43 etc.) erfolgreich zusammen gearbeitet. Diese gute Zusammenarbeit und die jahrelange Erfahrung im Projektmanagement spiegeln sich auch in der reibungsfreien Abwicklung der österreichischen Teilnahme am HPP Annex 35 wider. Es konnten Synergien aus den Kompetenzen beider Partner bestens genutzt werden. So deckt z.B. das IWT viele relevante Aspekte der Grundlagenforschung ab, und lieferte Know-How und relevante Forschungsergebnisse von bereits abgeschlossenen bzw. laufenden Projekten. Das AIT ist durch seinen Zugang zu den Zielgruppen des Annexes ein ausgezeichneter Partner für angewandte bzw. industrielle Forschung, weshalb sich diese auch auf die Recherche der industriellen Problemstellungen bis hin zur Verbreitung der Projektergebnisse fokussierte.

### **2.7.2 Ziele des Österreichischen Teilprojektes**

Die im Rahmen des Annexes verfolgten Ziele sind:

- Erstellung einer Übersicht über mögliche Technologien und deren Besonderheiten
- Potenzialabschätzung für verschiedene Industrie- und Gewerbebereiche (Anwendungsbereiche, Leistungs- bzw. Energiebedarf, Effizienz)
- Übersicht über geeignete Simulationstools für industrielle Anwendungen von Wärmepumpen
- Sammlung von Daten über realisierte Anlagen zur Dokumentation der Zuverlässigkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit
- Transfer des gewonnenen Know-hows auf die nationalen Zielgruppen (Endkunden, Verbände, Planer, Anlagenbauer)
- Sensibilisierung der österreichischen Entscheidungsträger für Energiefragen

### **2.7.3 Arbeitspakete der österreichischen Beteiligung am HPP Annex 35**

Das österreichische Vorhaben gliederte sich in folgende Arbeitspakete (APs):

AP 1) Marktübersicht: Erstellung einer Übersicht über Akteure im Bereich der Industriewärmepumpe, Übersicht über realisierte Anlagen, die Analyse von nicht-technischen Einflussfaktoren (Energiepreise, Erfahrungen, gesetzliche Rahmenbedingungen)

AP 2) Modellierung: Analyse von Softwaretools

AP 3) Gerätetechnik: Darstellung des Entwicklungsstandes und Forschungsaktivitäten ausgewählter Wärmepumpentypen

AP 4) Systemtechnik: Analyse von realisierten Anlagen in verschiedenen Anwendungsbereichen und Dokumentation der Energieeffizienz und Emissionsreduktion, soweit Daten zugänglich sind.

AP 5) Kommunikation: Teilnahme an Annex-Veranstaltungen und Wissensverbreitung in Österreich

#### **2.7.4 Beschreibung der verwendeten Methodik, Daten und Vorgangsweise**

##### **AP 1 Marktübersicht :**

- Ausgehend von der Analyse der Ausgangssituation und insbesondere der Ergebnisse des IEA HPP Annex 21 wurde eine Marktrecherche über Wärmepumpen in Österreichs Industrie und Gewerbe, welche sowohl die Angebots- als auch die Nachfrageseite beleuchtete, durchgeführt. Dabei wurden relevante österreichische Akteure (Komponentenhersteller, Planer, Anlagenbauer, Industrieunternehmer, etc.) erhoben und in Gesprächen potentielle Märkte identifiziert.
- Eine nationale Potenzialabschätzung für verschiedene Industrie- und Gewerbebereiche und Branchen (Endenergiebedarf etc.) basierend auf Auswertung von statistischen Daten wurde erhoben.
- Des Weiteren wurden in dieser Übersicht auch nicht-technische Einflussfaktoren, wie gesetzliche Rahmenbedingungen sowie nationale und auch regionale Förderungsmöglichkeiten für Wärmepumpen in der Industrie erfasst und mögliche Marktbarrieren in Gesprächen mit Industrie- und Gewerbebetrieben erhoben.

##### **AP 2 Modellierung:**

- Großwärmepumpen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Anwendungsgebiete meist keine Standardlösungen ermöglichen. Deshalb ist eine intensive Planungsphase und ggf. Prozesssimulation für den Einsatz von Großwärmepumpen notwendig. Einige potentielle Softwaretools wurden im Rahmen der vorliegenden Projekte erhoben und hinsichtlich Eignung miteinander verglichen.

##### **AP 3 Gerätetechnik:**

- Mittels einer detaillierten Recherche und Kontakte zur österreichischen Wärmepumpenbranche wurde eine Übersicht des nationalen Status über am Markt erhältliche industrielle Wärmepumpen sowie von relevanten nationalen R&D-Projekten zu diesem Thema erstellt.

#### **AP 4 Systemtechnik:**

- Es wurde eine umfangreiche und aufwendige Recherche nach bereits realisierten Wärmepumpenanlagen in der Industrie durchgeführt. Ähnlich wie in anderen teilnehmenden Ländern, stellte sich die Recherche nach „Best-Practise“-Beispielen als aufwendig dar. Vor allem da in Österreich bis dato kaum „Industrielle Wärmepumpensysteme“ installiert sind, war die Erhebung mit einem großen Aufwand verbunden. Um trotzdem erfolgreiche Installationen in verschiedenen Anwendungsbereichen der heimischen Industrie identifizieren zu können, wurden einerseits österr. Wärmepumpenhersteller (z.B.: Ochsner, Cofley, Pink, Frigopol, JCI etc.) und andererseits Nutzer (z.B.: Berglandmilch, Seidel Elektronik, Mohrenbrauerei, RAG, Gebauer & Griller GmbH, MACO, Bioenergie St. Gilgen etc.) kontaktiert. Auch über den Kontakt mit Planern, Energieberatern und relevanten Förderstellen (z.B.: sattler energie consulting gmbh, klima:aktiv etc.) wurde versucht, Daten über bereits realisierte Anlagen zu eruieren. Durch diese sehr umfangreiche Recherche konnten verschiedene Anwendungen eruiert werden: Danach wurde Kontakt mit den Betreibern dieser Anlage aufgenommen, um mögliche Daten und Betriebserfahrungen zu erheben. Anschließend wurden tlw. Anlagen vor Ort besichtigt und mit den Betreibern über Vor- und Nachteile der Anlagen diskutiert. Insgesamt wurden 5 Anlagen besichtigt.
- Wegen mangelnder Monitoring Systeme bzw. aufgrund von Geheimhaltungsgründen sind nur wenige Daten zugänglich. Sofern Daten vorhanden waren bzw. freigegeben wurden, wurden diese in einem Bericht über Anwendungsbeispiele in Österreich zusammengefasst.

#### **AP 5 Kommunikation:**

Die Kommunikation in diesem Projekt fand auf mehreren Ebenen statt. Es wurde auf den Expertenmeetings neues Wissen generiert, welches über verschiedene Kommunikationskanäle (Direct Mailings, Websites, Workshops etc.) an relevante österreichische Akteure weitergeben wurde. Zu letzterem sind die beiden nationalen Workshops, die im Zuge bzw. im Anschluss an den 9. und 10 Info-Tag für Wärmepumpenhersteller (11.10.2013 und 09.10.2014) am AIT in Wien durchgeführt wurden, anzuführen. Zur größeren Verbreitung der Thematik wurden themenrelevante Veröffentlichungen verfasst, wie z.B. im Rahmen der DKV-Tagung 2013 in Hannover (Zotter & Rieberer, 2013), des 13. Symposiums Energie Innovationen 2014 in Graz (Zotter & Rieberer, 2014a), eines KliEN-Science Brunch am 14.10.2014 (Rieberer et al., 2014). Die ersten Erkenntnisse und Kontakte aus der vorliegenden österr. Annex Beteiligung wurden bereits genutzt, um nationale Forschungsprojekte, wie z.B. „HyPump“ (FFG-Nr.: 834614) oder „ICON“ (FFG-Nr.: 829964) erfolgreich zu initiieren.

### 2.7.5 Highlights

Zum Task 3 „Gerätetechnik“ konnte Österreich einen wesentlichen Beitrag zur Thematik F&E-Aktivitäten im Bereich Hochtemperatur-Wärmepumpen leisten. Dieser erweiterte Beitrag im Task 3 ermöglichte es, den Forschungsstandort Österreich in seiner Kompetenz in der Wärmepumpentechnik international zu stärken.

Auf Basis dieses Projektes wurden gemeinsam mit österreichischen Partnern im Rahmen der 5. Ausschreibung des Programms „Neue Energien 2020“ das kooperative Forschungsprojekt „HyPump“ (FFG Pr. Nr.: 834614) von den Forschungseinrichtungen IWT und AIT mit dem Industriepartner Friogopol und das Projekt ICON (FFG Nr. 829964) von AIT mit dem Industriepartner Ochsner initiiert und erfolgreich beantragt. Detailliertere Informationen zu den Projekten sind im Kapitel 3.3.5 nachzulesen.

### 3. Ergebnisse des IEA HPP Annex 35

Energetisch sind industrielle und gewerbliche Betriebe dadurch charakterisiert, dass neben elektr. Energie auch ein großer Bedarf an Prozesswärme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus für z.B. Trocknungsprozesse, Bäder zum Waschen oder Galvanisieren, Destillationsprozesse usw. besteht. Auf der anderen Seite fallen i.d.R. auch große Abwärmemengen aus unterschiedlichen Prozessen an, welche meist mit zusätzlichem Aufwand „entsorgt“ werden müssen.

Abwärme, die aufgrund ihres Temperaturniveaus nicht direkt genutzt werden kann, könnte mittels Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau für Heizzwecke angehoben bzw. in einer thermisch angetriebenen Kältemaschine für Kühlzwecke genutzt werden. Dadurch kann ein großes, bisher brachliegendes Potential zur Energieversorgung erschlossen und ein signifikanter Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauches bzw. des damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Ausstosses in einem ökologisch sehr relevanten Sektor erreicht werden.

Trotz des enormen ökologischen aber auch ökonomischen Potenzials sind Wärmepumpen in der Industrie, vor allem in Österreich, nur gering verbreitet. Das primäre Ziel des vorliegenden Annexes ist es, die industrielle Wärmepumpe langfristig am Markt zu etablieren, damit diese ihrem ökologischen Potential gerecht werden kann und die heimische Industrie wettbewerbsfähiger wird.

Dieses Kapitel beschreibt die jeweiligen Ergebnisse der einzelnen Tasks des IEA HPP Annex 35, mit einem Focus auf nationale Erkenntnisse, und gibt einen Überblick der Resultate der Partnerländer. Dies gliedert sich, wie folgt:

**Kapitel 3.1** gibt einen Überblick über die Energiesituation in Österreich, das Potenzial der industriellen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen hinsichtlich Temperaturniveaus und CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen, Förderungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen, Marktbarrieren und Gegensteuermechanismen.

**Kapitel 3.2** vergleicht potenzielle Softwaretools zur Planung der Einbindung von industriellen Wärmepumpen in Produktionsprozesse.

**Kapitel 3.3** gibt einen Überblick über potentielle industrielle Wärmepumpen und deren spezielle Anforderungen. Des Weiteren werden notwendige Grundlagen der industriellen Wärmepumpentechnologie erläutert. Ebenfalls wird der Stand der Technik im In- und Ausland beschrieben und aktuelle Forschungstrends zu dieser Thematik dargestellt.

**Kapitel 0** beschreibt bereits installierte Wärmepumpenanlagen in Industrie und Gewerbe aus dem In- und Ausland, sowie deren Vor- und Nachteile. Des Weiteren werden auch Case-Studies von industriellen Wärmepumpen dargestellt, damit mögliche Anwendungen von industriellen Wärmepumpen weiter verdeutlicht werden.

**Kapitel 3.5** beschreibt die Kommunikationsstrategie und Disseminierungsaktivitäten im Zuge des vorliegenden IEA HPP Annex 35. Diese beinhaltet die Kommunikation mit dem Operating Agent, den Austausch mit internationalen Experten, sowie die Verbreitung der wichtigsten

Projektergebnisse an relevante österreichische Akteure über Workshops, Internet und Veröffentlichungen.

## **3.1 Markt für Industrie Wärmepumpen – ein Überblick**

Vor der Teilnahme am IEA HPP Annex 35 gab es in Österreich keinen aktuellen Bericht über Wärmepumpen in Industrie und Gewerbe. Deshalb wurde im Zuge des vorliegenden Annexes eine Studie zur Abschätzung des Potentials für verschiedene Industrie- und Gewerbebereiche in Österreich erarbeitet. Dabei wurden eine Aufstellung des Energiebedarfs im industriellen Sektor und der Wärmebedarf mit den entsprechenden Temperaturniveaus sowie dem verfügbaren Abwärmepotenzial in unterschiedlichen Branchen erstellt. Dieser Bericht (siehe Anhang 7.1 und 7.2) verdeutlicht die Bedeutung des Einsatzes von Wärmepumpen in Österreichs Industrie.

### **3.1.1 Energiesituation der Industrie in Österreich**

Der Energiebedarf der österreichischen Industrie hat sich in den letzten 40 Jahren fast verdoppelt (Statistik Austria, 2010a). Somit zählt die Industrie in Österreich zu den Hauptemittenten von anthropogenen, klimarelevanten Treibhausgasen. Denn etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauches Österreichs ist dem Industriesektor (vgl. Abbildung 2, Kapitel 1.1) zuzurechnen, wobei beinahe die Hälfte davon mit Erdgas, Erdöl und Kohle (vgl. Abbildung 3, Kapitel 1.1) gedeckt wird. Auch ohne den Strom ebenfalls primärenergetisch aufzuschlüsseln, bleibt festzuhalten, dass zur Erreichung von mittel- und langfristigen Klimazielen eine Reduktion des Einsatzes von fossilen Energieträgern in diesem Sektor für Österreich unerlässlich ist.

Der Einsatz von Wärmepumpen in Industrie und Gewerbe kann den Verbrauch an fossilen Brennstoffen deutlich reduzieren. Damit könnte aber auch die Abhängigkeit an Energieimporten, die in Österreich sehr hoch ist, da ca. 70% der fossilen Energieträger importiert werden müssen, maßgeblich gesenkt werden. Wodurch neben den ökologischen Vorteilen auch ein Wettbewerbsvorteil für die Industrie in Österreich geschaffen würde, da die Produktion unabhängiger von Erdgas- & Erdölpreisentwicklungen werden könnte.

Eine detailliertere Darstellung der Endenergieverbräuche einzelner Branchen und Aufschlüsselungen hinsichtlich Endenergieträger können aus im Anhang 7.1 und 7.2 entnommen werden.

### **3.1.2 Potenzialabschätzung für verschiedene Industrie- und Gewerbebereiche**

In österreichischen Industriebetrieben - von KMUs bis zur Großindustrie – ist dahingehend enormes Primärenergieeinsparpotential vorhanden. Im Zuge des vorliegenden Vorhabens wurde eine Abschätzung des Potentials von Wärmepumpen in der Österreichischen Industrie erstellt (siehe Anhang 7.1 und 7.2). Dabei wurde eine Aufstellung des Energiebedarfs im industriellen Sektor und der dazugehörigen Temperaturniveaus erstellt. Neben einer detaillierten Literatur-, Markt- und Internetrecherche wurde dazu eigens ein Fragebogen (leider mit geringer Rücklaufquote) ausgearbeitet, der einer einheitlichen Datenerhebung bezüglich des derzeitigen Energieverbrauchs bzw. des Potentials,

der Akzeptanz und der Entscheidungskriterien für den Einsatz von Wärmepumpen in der heimischen Industrie dienen sollte (siehe Anhang)).

Der Fragebogen wurde in zwei Teile unterteilt:

- Im ersten Teil wurden allgemeine Fragen zur Energieeffizienz im Unternehmen gestellt, inklusive Entscheidungskriterien für den Einsatz von Wärmepumpen und andere Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs;
- Im zweiten Teil wurden die Prozess- und energiespezifischen Daten, inklusive Daten über die eventuell eingesetzten Wärmepumpen, erhoben.

Es wurden insgesamt etwa 360 Unternehmen in ganz Österreich telefonisch kontaktiert. Die Fragebögen wurden an alle Unternehmen ausgeschickt, die sich bereit erklärt haben an der Umfrage teilzunehmen. Die Anzahl der ausgefüllten, retournierten Fragebögen war trotz wiederholter Kontaktaufnahme eher bescheiden (Tabelle 2):

*Tabelle 2: Anzahl der ausgefüllten und retournierten Fragebögen (Teil 1 &2) nach Branchen*

FB Teil 1	Metall	9	Papier	7	Getränke & Lebensmittel	8
	Chemie	9	Textil	7		
FB Teil 2	Metall	3	Papier	3	Kunststoff	1
	Chemie	1	Textil	1		

Durch die relativ geringe Anzahl der Rückmeldungen (insgesamt 40 für Teil 1 und 9 für Teil 2) war eine branchenspezifische Auswertung der Daten nicht möglich. Die Auswertung zeigte aber, dass die Energieeffizienz einen sehr hohen Stellenwert bei den österreichischen Unternehmen einnimmt und dass in fast allen Unternehmen Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs gesetzt wurden. Nichts desto trotz, gaben etwa 90% der Unternehmen an, dass weitere Maßnahmen angedacht sind. Die Amortisationszeit für den Einsatz energiesparender Maßnahmen darf aber bei den meisten Unternehmen maximal 3 Jahre und andern maximal 6 Jahre betragen. Die Wärmepumpe wird als eine interessante Möglichkeit, den Primärenergieverbrauch im Unternehmen zu senken, angesehen. Etwa 23% der antwortenden Unternehmen setzen sie bereits ein, weitere 67% wissen, dass es diese Möglichkeit gibt. Einen hohen Stellenwert bei der Entscheidung über eine Technologie zur Energieeinsparung haben dabei folgende Kriterien: Investitionskosten, Amortisationsdauer, Produktionssicherheit und erzielbares Temperaturniveau. Im Zuge der Befragung wurden die in Tabelle 3 angeführten Kriterien für bzw. wider eine Entscheidung für die Firmen mit hohem Stellenwert gekennzeichnet.

Tabelle 3: Kriterien mit hohem Stellenwert bei der Entscheidung für bzw. gegen eine industrielle Wärmepumpe

Allgemein	Umweltschutz, Bewusstseinsbildung, Gelebte Nachhaltigkeit, Behördliche Aspekte (Infrastruktur, Gemeinde, Abnehmer), Versorgungssicherheit, langfristige Nutzbarkeit, Gleichzeitigkeit von Anfall/Bedarf, Einsetzbarkeit der rückgewonnenen Wärme im eigenen Betrieb, Verkauf der rückgewonnenen Wärme an Dritte
Wärmepumpensystem	Lebensdauer, Wartungsaufwand gering, Geringe laufende Kosten (Wartung, Betrieb, Instandhaltung), Technologiesicherheit/Ausgereiftes System

Aus den Studien in anderen Ländern ist jedoch bekannt, dass Wärmepumpen besonders in den produzierenden Segmenten wie Papier-, Holz-, Metall-, Chemie- oder Lebensmittelindustrie als energiesparende Alternative bereits eingesetzt werden können, die lt. Statistik Austria (2010b) jene Branchen mit dem größten Energieverbrauch in der österreichischen Industrie sind (Abbildung 6).

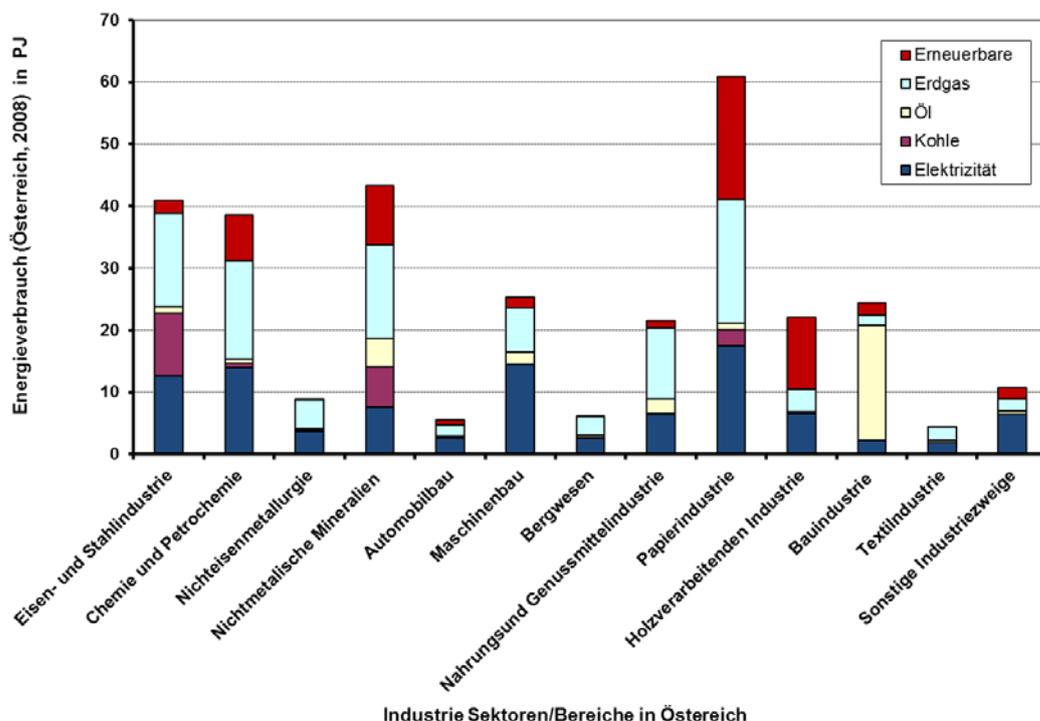


Abbildung 6: Aufstellung des Endenergieverbrauches je Endenergieträger der einzelnen österreichischen Industriebranchen (basierend auf Daten von Statistik Austria, 2010b)

### a. Wärmebedarf in der Industrie

Neben dem Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf besteht in der produzierenden Industrie ein großer Bedarf an Prozesswärme. Die Temperaturniveaus der Prozesswärme unterscheiden sich gemäß Pehnt et al. (2010) für die einzelnen Produktionsprozesse der verschiedenen Branchen sehr, von etwa 60 °C z.B. fürs Reinigen bis weit über 1000 °C, z.B. für Stahl- oder Glaserzeugung. Jedoch liegt das Temperaturniveau für Prozesswärme i.d.R. über 80 °C und damit deutlich über dem Temperaturniveau für Raumheizung oder Warmwasserbereitung. Das Temperaturniveau der jeweiligen Prozesswärme ist aber entscheidend, ob diese mittels Wärmepumpen gedeckt werden kann, oder nicht. Aktuelle am Markt verfügbare (Kompressions-)Wärmepumpen können zum Teil Nutztemperaturniveaus bis 95 °C bereitstellen. Der aktuelle (z.Z. der Berichtslegung) Forschungstrend (Prototypen) geht allerdings bis 150 °C.

Gemäß der Studie von Rieberer et al. (2010b) fallen ca. 30% des Nutzwärmebedarfs (Abbildung 7) mit Nutztemperaturniveaus von bis zu 100°C in Österreichs Industrie an. Somit könnten theoretisch ca. 228 PJ pro Jahr durch Wärmepumpen mit Nutztemperaturniveaus von ca. 100°C in Österreichs Industrie abgedeckt werden.

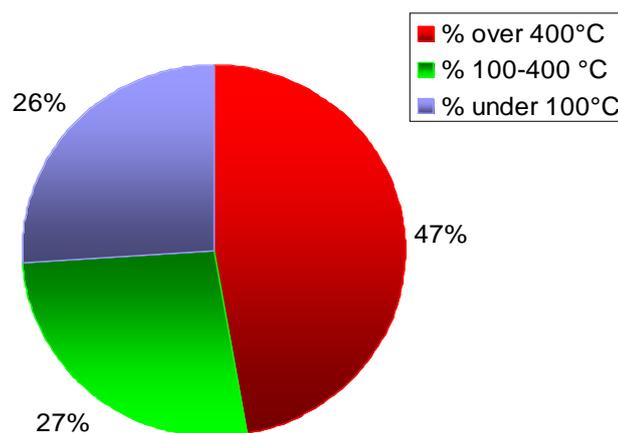


Abbildung 7: Aufteilung des industriellen Wärmebedarfs nach Temperaturniveaus (Prozentsatzermittlung erfolgte gemäß Daten von Euroheat & Power, 2006)

Tabelle 4 gibt einen Überblick, wofür und bei welchen Temperaturen Prozesswärme für unterschiedliche Branchen gebraucht wird, welche zum Teil mittels Wärmepumpen bereitgestellt werden könnten. Wie daraus ersichtlich, erfolgen viele thermische Produktionsprozesse mit Temperaturniveaus unter 100 °C, trotzdem wird die Wärme anstelle von Wärmepumpen dafür meist fossil gedeckt.

*Tabelle 4: Überblick von verschiedenen thermischen Produktionsprozessen mit typischen Prozesswärmemetemperaturlevels für unterschiedliche Produktionsprozesse (Daten gemäß Brunner et al., 2007, Slawitsch et al., 2007, Weiss, 2005 und Solarwärme, 2011)*

<b>Branche</b>	<b>Beispiele für thermische Produktionsprozesse</b>
Lebensmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwärmen (20-60°C),</li> <li>• Pasteurisierung/Sterilisierung (70-120°C)</li> <li>• Kochen (100-240°C)</li> <li>• Destillieren (40-100°C)</li> <li>• Trocknen (40-250°C)</li> <li>• Eindampfen (40-170°C)</li> <li>• Waschen (30-60°C)</li> <li>• Aufkonzentrieren (60-70°C)</li> <li>• Backen (160-260°C)</li> <li>• Reinigung (30-70°C)</li> <li>• Raumheizung (20°C)</li> </ul>
Metall	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galvanik (20-100°C)</li> <li>• Waschen/Beizen (30-60°C)</li> <li>• Trocknen (60-90°C)</li> <li>• Reinigung (30-70°C)</li> <li>• Raumheizung (20°C)</li> </ul>
Papier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwärmen (40-80°C)</li> <li>• Kochen (160°C)</li> <li>• Trocknen (110-240°C)</li> <li>• Reinigung (30-70°C)</li> <li>• Raumheizung (20°C)</li> </ul>
Textil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Färben (40-130°C)</li> <li>• Waschen/Putzen (40-100°C)</li> <li>• Bleichen (60-100°C)</li> <li>• Reinigung (30-70°C)</li> <li>• Raumheizung (20°C)</li> </ul>
Chemie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwärmen (~60°C)</li> <li>• Kochen (95-105°C)</li> <li>• Destillieren (110-300°C)</li> <li>• Thermoumformen (130-160°C)</li> <li>• Aufkonzentrierung, Eindicken (125-130°C)</li> <li>• Reinigung (30-70°C)</li> <li>• Raumheizung (20°C)</li> </ul>
Holz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trocknen (50-80°C)</li> <li>• Verleimen (120-180°C)</li> <li>• Lackieren (50-80°C)</li> </ul>

Neben dem Bedarf an Prozesswärmern benötigen viele Produktionsprozesse bzw. –schritte eine entsprechende Kühlung auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Tabelle 5 gibt einen Überblick dieser

Temperaturniveaus für Kühl- bzw. Kälteanforderungen unterteilt nach unterschiedlichen Branchen der österreichischen Industrie.

*Tabelle 5: Benötigte Temperaturniveaus für Kühlanwendungen in unterschiedlichen österreichischen Industriebranchen (Daten basieren auf ETA ENERGIEBERATUNG, 2008)*

<b>Branche</b>	<b>Temperaturniveaus für Kühlanforderungen</b>
Lebensmittel	-50 bis + 6 °C
Kunststoff	+ 6 °C
Metall	+ 6 °C
Chemie	-50 bis + 6°C
Brauereien	-10 bis 0 °C
Milchproduktion	-10 bis 0°C
Lagerung/Logistik	-30 bis + 6 °C

### **b. Industrielle Abwärme**

In der Industrie fällt Abwärme zB. bei Kaltwassersätzen, Back- und Glühöfen, Druckluftkompressoren, Waschprozessen, Motoren etc. an. Abwärmern, die aufgrund ihres Temperaturniveaus nicht direkt innerbetrieblich genutzt werden können, könnten mittels Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau für Heizzwecke angehoben bzw. in einer thermisch angetriebenen Kältemaschine für Kühlzwecke genutzt werden. Dadurch kann ein großes, bisher brachliegendes Potential zur Energieversorgung erschlossen und ein signifikanter Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauches bzw. des damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Ausstosses in einem ökologisch sehr relevanten Sektor erreicht werden. (Zotter & Rieberer, 2014)

Meist liegt dabei das Temperaturniveau mit ca. 30 bis 60°C (siehe Tabelle 6) deutlich über dem von typischerweise genutzten Wärmequellen von Heizungswärmepumpen (Außenluft, Erdreich oder Grundwasser). Es gibt aber auch Abwärmeströme, wie z.B. Rauchgase aus Öfen, die mit Temperaturen bis zu 400 °C an die Umgebung abgegeben werden, welche auch zum Antrieb von thermischen Kältemaschinen herangezogen werden könnten bzw. sollten.

Tabelle 6: Beispiele von industrieller Abwärme mit typischen Temperaturniveaus

Abwärmequelle	ungefähres Temperaturniveau
Rauchgase	50 bis 400 °C
Kaltwassersätze	20 bis 45 °C
Druckluftkompressoren	30 bis 70 °C
Reinigungsabwässer	30 bis 60 °C
Kochprozesse	bis 100 °C
Antriebe	bis 100 °C
BHKWs	ca. 80 °C
Spritzguss	20 bis 80 °C

Aufgrund des relativ hohen Temperaturniveaus im Vergleich zu konventionellen Wärmequellen stellt industrielle Abwärme für Wärmepumpen aus exergetischer Sicht eine besonders wertvolle Wärmequelle dar.

### c. Ökologische Relevanz der Industriellen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen

Aufgrund des Primärenergie-Einsparungspotenzials, das Wärmepumpen in der Industrie aufweisen, sind sie vor allem aus ökologischen Gesichtspunkten, sprich zur Erreichung von Klimazielen von großer Relevanz. Abbildung 9 verdeutlicht das immense Potential einer – in diesem Fall – elektrisch angetriebenen Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Jahresarbeitszahl (Seasonal Performance Factor – SPF) im Vergleich zu einem gasbefeuerten Kessel. Z.B. wird gegenüber der Wärmebereitstellung mittels Gaskessel (mit einem Kesselwirkungsgrad von 90%) eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 70% erreicht, wenn die Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 3 erreicht. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, ist bei höheren Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen dieses ökologische Potential noch höher. Neben der Jahresarbeitszahl hat insbesondere der Strommix Einfluss auf das Emissionseinsparungspotential (vgl. Abbildung 8 mit Abbildung 9), je mehr regenerative Energieträger für die Stromgenerierung eingesetzt werden, desto höher fällt das Emissionseinsparungspotential aus.

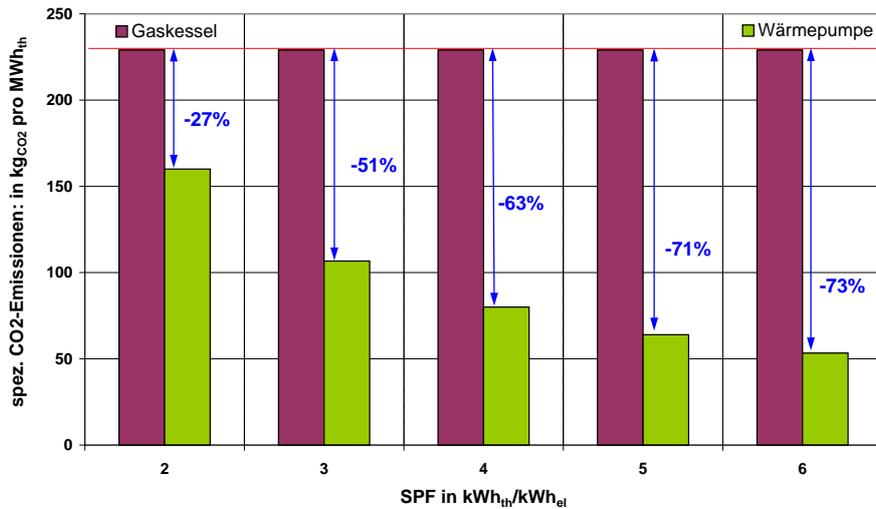


Abbildung 8: CO<sub>2</sub>-Einsparungspotential bei der Wärmeversorgung mit industrieller Wärmepumpe verglichen mit einer konventionellen Gasfeuerung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (SPF) (CO<sub>2</sub>-Emissionen für österr. Strommix von 320 g<sub>CO2</sub> / kWh<sub>el</sub> lt. KPC, 2011)

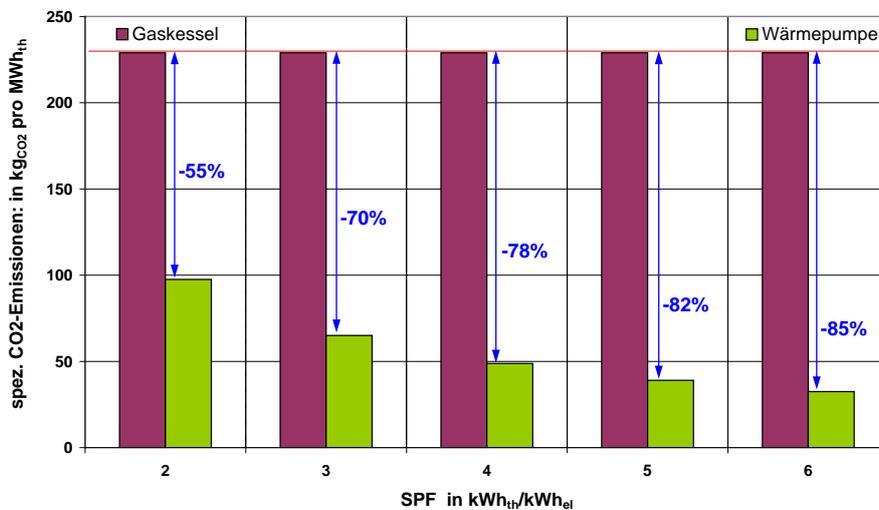


Abbildung 9: CO<sub>2</sub>-Einsparungspotential bei der Wärmeversorgung mit industrieller Wärmepumpe verglichen mit einer konventionellen Gasfeuerung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (SPF) (CO<sub>2</sub>-Emissionen für einen Strommix von 195,16 g<sub>CO2</sub> / kWh<sub>el</sub> lt. E-Control, 2010)

Wenn lediglich 1% des gesamten Wärmebedarfs der österreichischen Industrie durch Wärmepumpen (mit einem SPF von 3) anstelle konventioneller Gasfeuerungen (mit einem Kesselwirkungsgrad von 90%) gedeckt wird, könnten in Österreich pro Jahr über 96.000 Tonnen an CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden. Um nicht nur ein theoretisches sondern auch ein umsetzbares, technisches Potential zu bestimmen, müssen jedoch die unterschiedlichen Produktionsprozesse im Detail betrachtet werden, da

vor allem die zeitliche Deckung des Abwärmeangebots mit dem Prozesswärmebedarf einen maßgeblichen Einfluss auf das nutzbare Potential hat. (Zotter & Rieberer, 2014)

#### **d. Übersicht über verfügbare Industrie Wärmepumpen**

Trotz der breiten Einsatzmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen haben diese Anlagen - mit mittlerer bis großer Leistung (> 100 kW bis 1 MW) - bis heute in Industrie und Gewerbe kaum Verbreitung gefunden, während die Verkaufszahlen von standardisierten Warmwasser- und Heizungswärmepumpen im kleinen Leistungsbereich, d.h. zur Anwendung in Ein- und Zweifamiliengebäuden, seit einigen Jahren steigen. In Österreich gibt es in Gewerbe- und größeren Wohngebäuden bislang nur einzelne Anlagen zur Raumkonditionierung. So geht aus der Studie von Fanning (2007) hervor, dass im Jahr 2006 in Österreich 7715 Heizungswärmepumpen mit einer Leistung unter 20 kW installiert wurden aber nur 57 Stück mit einer Leistung von über 80 kW.

Die Temperaturniveaus liegen bei der Nutzung von Abwärme für die innerbetriebliche Prozesswärmeversorgung deutlich über denen von konventionellen Heizungs- oder Brauchwasseranwendungen, weshalb für Nutztemperaturniveaus über 80°C spezielle „Hochtemperatur-Wärmepumpen“ erforderlich sind. Dabei handelt es sich meist um elektr. angetriebene Kompressionswärmepumpen mit ein- oder mehrstufigen Kaldampfkreisläufen. Bzgl. der Eignung von Kältemitteln ist vor allem die Drucklage bei der Hochtemperaturanwendung entscheidend, da der Kondensationsdruck handelsüblicher Kältemittel bei Temperaturen über 80°C meist zu hoch ist.

Ein im Rahmen des IEA HPP Annex 35 durchgeführtes Technologie-Screening zeigt, dass europäische Hersteller sowohl mechanische Brüdenverdichter als auch Kompressions-Wärmepumpen im großen Leistungsbereich für die industrielle Nutzung anbieten. Im europäischen Raum sind Anlagen mit Nutztemperatur bis ca. 80°C im Leistungsbereich von 100 kW bis in den Megawattbereich erhältlich. Aber auch Anlagen für Nutztemperaturniveaus von 95 °C sind mit neuen Kältemitteln am Markt vereinzelt erhältlich. Auch transkritische Wärmepumpen werden in diesem Leistungsbereich mit Nutztemperaturen bis zu 130°C angeboten. Des Weiteren werden auch s.g. Hybrid-Wärmepumpen (kombinierte Absorption/Kompressions-WP) für Anwendungen mit Nutztemperaturen bis ca. 80 °C in Europa vertrieben.

Der internationale Forschungstrend zeigt, dass auch bald Wärmepumpen für Nutztemperaturniveaus von 150 °C erhältlich sein sollten, da bereits vereinzelt Funktionsmuster für Hochtemperaturanwendungen experimentell untersucht wurden. An dieser Stelle sei auf das Kapitel 3.3 verwiesen, das genauer auf den Stand der Technik und Stand der Forschung bzgl. Industrierärmepumpen eingeht.

#### **e. Förderregulatoren**

Staatliche, finanzielle Förderungen bzw. Subventionen für Installationen von industriellen Wärmepumpen können die Amortisationszeiten dieser erheblich verkürzen und damit den nötigen Anstoß bei der

Entscheidung für eine Industrielle Wärmepumpe geben. In Österreich verwaltet die Kommunalkredit Public Consulting (KPC) das nationale Förderungssystem für ökologisch relevante Investitionen. Industrielle Wärmepumpenanwendungen entsprechen unterschiedlichen Kategorien von Maßnahmen, die gemäß der Richtlinien der KPC (2011a) förderwürdig sind, weshalb dafür potenziell auch folgende Förderprogramme herangezogen werden könnten:

- Förderung für „Energiesparen in Betrieben“ (KPC, 2011d):  
Gefördert werden Wärmerückgewinnungsanlagen in Betrieben mit bis zu max. 30% der Kosten.
- Förderung für „Wärmepumpen < 400kWth“ (KPC, 2011b):  
Gefördert werden Sole/Wasser- oder Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit einem COP > 4 bzw. Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem COP > 3,5 mit max. 30% der „umweltrelevanten“ Investitionskosten.
- Förderung für „Wärmepumpen > 400kWth“ (KPC, 2011b):  
Gefördert werden Sole/Wasser- oder Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit einem COP > 4 bzw. Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem COP > 3,5 mit max. 15% der „umweltrelevanten“ Investitionskosten.

#### f. Marktbarrieren und Möglichkeiten zur Überwindung

Bis dato gibt es trotz der o.a. Vorteile nur sehr wenige realisierte industrielle Anwendungen in Österreich. Die Gründe dafür sind mannigfaltig, dass das Potenzial nur gering genutzt wird. So dürften folgende ökonomische, strukturelle, betriebliche und informationstechnische **Hemmnisse** bis dato einer größeren Verbreitung der industriellen Wärmepumpen entgegen wirken (siehe Pehnt et al., 2010):

- Die Erfahrungen aus der Teilnahme am IEA HPP Annex 35 haben gezeigt, dass obwohl in Österreich nationale und regionale Förder- und Subventionsmaßnahmen für Investitionen von industriellen Wärmepumpen vorgesehen sind, die wirtschaftliche Darstellbarkeit bis dato noch immer als größtes Hemmnis angesehen werden kann. Die relativ hohen Investitionskosten respektive die, für Industrieunternehmen unüblich langen Amortisationszeiten, stellen somit eine wesentliche Marktbarriere dar. Viele der industriellen Anwendungen weisen dynamische Amortisationszeiten unter 7 Jahre auf. Die Industrie fordert i.d.R. jedoch Amortisationszeiten von unter 3 Jahren, obwohl die Lebensdauer solcher Anlagen bis zu 20 Jahre beträgt.
- Auch „wärmelogistische“ Problemstellungen, wie z.B. eine mögliche zeitliche Diskrepanz zwischen Abwärmeangebot und Nutzwärmebedarf sowie die Verteilung der Nutzwärme und die „Anzapfung“ der Abwärme stellen lt. Pehnt et al. (2010) eine Herausforderung dar, die für die Betriebe in einem möglichst kurzen Zeitrahmen, wie z.B. im „Betriebsurlaub“ kaum oder schwierig zu realisieren sind. Die Erfahrungen aus der Teilnahme am IEA HPP Annex 35 zeigten

auch, dass meist Monitoring-Systeme und damit auch die genaue Kenntnis über die „Energieverbräuche“ einzelner Produktionsschritte nicht vorhanden sind. Deshalb haben viele Industriebetriebe keine Kenntnis darüber, warum, wo und wie Energie in den Produktionsprozessen eingespart werden könnte.

- Als weiterer Hemmschuh ist die bestehende Skepsis hinsichtlich der Zuverlässigkeit derartiger Anlagen zu nennen. Grund dafür sind mangelnde Erfahrungen aus bereits installierten Anlagen bzw. die Kenntnis über die Möglichkeiten, sowohl bei Endkunden als auch bei Planern. Weshalb oft ein gewisses Bedenken hinsichtlich der Produktionssicherheit bei den Industriebetrieben besteht.
- Als technische Barrieren sind die erhöhten Anforderungskriterien, z.B. durch die hohen Temperaturniveaus (meist > 80°C) zu nennen und die zum Teil fehlenden Anlagen am Markt. Oft werden maßgeschneiderte Anlagen eingesetzt, die oft aufgrund erhöhter Investitionskosten als unattraktiv erscheinen.
- Weitere Hindernisse für eine Marktetablierung von industriellen Wärmepumpen dürften das fehlende Know-how in Österreich bezüglich der effizienten Umsetzung von derartigen Projekten sowie eine bislang „nachteilige“ Energiepreissituation (Strom- zu Gaspreis-Verhältnis) darstellen.

Um diese Barrieren zu überwinden, müssen Industrielle Wärmepumpen eine ökonomisch-attraktive Alternative zu konventionellen Wärmeerzeugern am Markt darstellen. Wobei eine zu erwartende Steigerung der Preise von fossilen Energieträgern, diese Anforderung bereits ohne Anschaffungskostenreduktion von Industriellen Wärmepumpen mittelfristig abdämpft. Folgende **Maßnahmen** könnten einer **größeren Verbreitung** von industriellen Wärmepumpen nützen:

- Eine Bewusstseinschärfung hinsichtlich der ökonomischen Vorteile der Industriellen Wärmepumpen, hinsichtlich Einsparung von Energiekosten und Gebühren für CO<sub>2</sub>-Zertifikaten könnte die o.a. Hemmnisse ein wenig aufbrechen. Zusätzlich sollte den Industriebetrieben verdeutlicht werden, dass eine Reduktion des Einsatzes von fossilen Energieträgern in der Produktion ihre Waren unabhängiger von internationalen Energiepreissteigerungen und damit langfristig wettbewerbsfähiger macht. Des Weiteren sollten lt. Pehnt et al. (2010) für wirtschaftliche Betrachtungen nicht mehr Amortisationszeiten als Basis sondern vielmehr Rentabilitätsbetrachtungen herangezogen werden.
- Die Einführung von technischen Standards, wie verpflichtende Monitoringsysteme für die Energieverbräuche könnten die Industriebetriebe auf offensichtliche Optimierungspotenziale hin sensibilisieren.
- Eine größere Verbreitung der Erfahrungen aus ausländischen Best-Practise-Beispielen von Wärmepumpen in der Industrie für relevante Akteure, wie nationale Industriellenverbände, könnte die o.a. Skepsis wettmachen und gleichzeitig das Image stärken.

- Eine gezielte Förderung von Forschungs- & Entwicklungsprojekten zu Hochtemperatur-Wärmepumpen und Feldtests dieser, könnte den notwendigen Impuls liefern, um den Mangel an (standardisierten) Anlagen für Hochtemperaturanwendungen schneller auszugleichen. Damit könnte ein neuer Markt für österreichische Wärmepumpenhersteller erschlossen werden.
- Entsprechende Fortbildungen für Planer, Hersteller und Installateure könnten lt. Pehnt et al. (2010) das nötige Know-how für eine erfolgreiche Umsetzung liefern.

### **3.1.3 Marktübersicht für Industriewärmepumpen in den teilnehmenden Partnerländern**

Basierend auf den nationalen Beiträgen der teilnehmenden Länder werden im Folgenden die länderspezifischen Ergebnisse dargestellt. Generell weisen die Wärmepumpenmärkte ein gleichmäßiges Wachstum auf, jedoch liegt in den meisten Ländern der Fokus auf dem Marktsegment für Wohngebäude zur Raumheizung und Brauchwasserbereitung. Während der Wohnungsmarkt mit standardisierten Produkten bedient werden kann, müssen Wärmepumpenanlagen zur Integration in Industrieanwendungen individuell angepasst werden. Obwohl einige Wärmepumpen für den industriellen Einsatz in den teilnehmenden Ländern in den letzten Jahren erhältlich waren, kamen nur sehr wenige zur Anwendung. In den Partnerländern des HPP Annex 35 werden ähnliche Barrieren genannt wie in Österreich.

Die folgende Übersicht basiert auf den Entwurf des internationalen Endberichts zum IEA HPP/IETS Annex 35/13.

#### **Kanada**

Die Industriesektoren in denen bereits industrielle Wärmepumpen eingesetzt werden sind: Holz Trocknung, Nahrungsmittelverarbeitung (Geflügel, Milch und Käse-Verarbeitung), Zellstoff- und Papierherstellung, Eisen- und Stahlindustrie, chemische Produktion und Brauereien. Bei mehr als 90% (oder 295 Einheiten) der realisierten Anlagen handelt es sich um industrielle Anlagen im Bereich der Holz Trocknung.

#### **Dänemark**

Die größten Sektoren, bezogen auf Umwandlung von Energie innerhalb der dänischen Fertigungsindustrie, sind die Bereiche der Lebensmittel, Metall- und Maschinenindustrie. Bezogen auf den Energiebedarf liegen die größten Verbraucher im Bereich der Chemie, Medizin- und Lebensmittelindustrie. Diese Bereiche werden auch für potentielle Wärmepumpenanwendungen als relevant angesehen, wobei bis jetzt sehr wenige Wärmepumpen in der dänischen Industrie eingesetzt werden.

#### **Frankreich**

Der französische Markt für industrielle Wärmepumpenanwendungen umfasst offene (Brüdenverdichter) und geschlossene Kältekreislaufsysteme. Wobei geschlossene Wärmepumpensysteme in letzter Zeit immer häufiger eingesetzt werden, der Markt aber sicher noch nicht vollständig entwickelt ist. Offene Systeme wurden speziell im Agrar-Sektor in den 1980er und 90er Jahren installiert.

Ende der 1980er Jahre wurden einige wenige geschlossene Kältekreislaufsysteme speziell für Trocknungsanwendungen installiert. Heute können Wärmepumpen nicht nur in verschiedenen Agrar- und Lebensmittelsektoren (Fleisch, Milchprodukte, Öl, Brauerei) gefunden werden sondern auch in der Kosmetikindustrie, bei der Herstellung von PC-Prozessoren und einigen anderen Bereichen. Jedoch ist bei den meisten Anwendungen der Nutzen auf die Warmwassererzeugung oder Raumheizung der Gebäude beschränkt. Sobald Wärmepumpen direkt in industrielle Prozesse integriert werden kann das Marktpotential voll ausgeschöpft werden und dieses Potential ist sehr hoch.

## **Deutschland**

Seit kurzem sind in Deutschland Industrie-Wärmepumpen am Markt erhältlich, die sich nicht nur durch mehr Leistung sondern auch durch höhere Temperaturniveaus für die Wärmebereitstellung von konventionellen Geräten für Raumwärmebereitstellung unterscheiden. Es sind verschiedene Konzepte mit verschiedenen Kältemitteln verfügbar, z.B.:

- Elektrische Kompressionswärmepumpen mit Ammoniak erreichen Temperaturen bis zu 90 ° C
- Wärmepumpen mit R245fa oder Mischungen dieses Kältemittels mit ähnlichen Eigenschaften können Temperaturen bis zu 100 °C erreichen. Aktuelle Forschungsprojekte zielen auf noch höhere Temperaturen (bis zu 130 °C) ab.
- CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen können Temperaturen bis zu 90 °C erreichen. In naher Zukunft sollen Systeme für Temperaturen bis 130 °C verfügbar sein.

Obwohl einige Wärmepumpen für den industriellen Einsatz auf dem deutschen Markt in den letzten Jahren verfügbar waren, können nur sehr wenige realisierte Anwendungen gefunden werden.

## **Japan**

In Japan werden Wärmepumpen neben der Industrie in Gewächshäusern, Gartenbau, und für Hydrokulturen eingesetzt und führten auch zu einer Verbesserung der Qualität in der landwirtschaftlichen Produktion. Des Weiteren konnten die Erträge durch den ganzjährigen Anbau durch den Einsatz von Wärmepumpen gesteigert werden. Neben diesen Anwendungen werden Wärmepumpen auch für die Trocknung von landwirtschaftlichen Produkten aus der Fischerei und Holzproduktion eingesetzt. Speziell in der Lebensmittelindustrie können die Vorteile der Wärmepumpe in Form von gleichzeitigem Heiz- und Kühlbetrieb genutzt werden. Wärmepumpen werden für die Kühlung mit 5 bis 10 °C und gleichzeitig für die Heizung mit bis zu 90 °C betrieben. Im Moment arbeiten Hersteller an Geräten die 100 °C für die Erzeugung von Wasserdampf bereitstellen können.

## **Süd Korea**

Die koreanische Industrie kann in die vier Sektoren Landwirtschaft und Fischerei, Bergbau, verarbeitendes Gewerbe und Konstruktion unterteilt werden. Aufgrund des hohen Energiesparpotenzials ist der Wärmepumpenmarkt in den letzten Jahren schnell gewachsen. 2010 wurden im Vergleich zu den 1,2 Millionen Kühlgeräten jedoch nur 157.000 Wärmepumpen für andere Anwendungen (ausgenommen Kühlung) verkauft, dies entspricht einem Marktanteil von 11%. Obwohl die Situation, durch gut ausgebaute Gasnetze und niedrige Energiepreise, nicht günstig für den Wärmepumpenmarkt ist, wird versucht, WP-Anwendungen zu finden. Unter Berücksichtigung hoher Betriebszeiten von industriellen Wärmepumpen, kann mit wirtschaftlichen industriellen Wärmepumpensystemen gerechnet werden.

## **Niederlande**

In den Niederlanden werden Industrie-Wärmepumpen in vielen Bereichen, von der Destillation in der chemischen Industrie, für die Milchverarbeitung, für den Anbau von Tomaten in Gewächshäusern bis hin zur Dampferzeugung für die Papier- und Zellstoffherstellung, angewendet.

Bis vor kurzem wurde Wärme in vielen Industriebereichen als Nebenprodukt der Stromerzeugung gehandelt. Aufgrund der starken Konkurrenz der Wärmebereitstellung mittels Wärme aus industriellen KWK-Anlagen wurden in den letzten 15 Jahren nur wenige Wärmepumpen installiert, mit Ausnahme von Dampfkompensation in Destillationskolonnen. Darüber hinaus waren Kompressionswärmepumpen für Temperaturen höher als 80 °C nicht verfügbar. Zurzeit gibt es eine Reihe von Entwicklungen (neue Kältemittel für Hochtemperaturanwendungen, mehrstufige Kompression, thermochemische und thermoakustische Wärmepumpen) die erweiterten Einsatzmöglichkeiten für die industrielle Wärmepumpen bieten.

## **Schweden**

Die energieintensiven Industrie-Sektoren in Schweden sind internationalem Wettbewerb ausgesetzt, dies führt zu einem verstärkten Streben die Energieeffizienz zu erhöhen. Die Trocknungsanlagen im Holzverarbeitenden Gewerbe repräsentieren eine interessante Quelle für Wärmerückgewinnung, jedoch stellt der nicht kontinuierliche Betrieb ein großes Hindernis für einen wirtschaftlichen Betrieb dar. Ähnliche Probleme gibt es in der pharmazeutischen Industrie, in der oft Batch-Prozesse mit begrenztem Wärmerückgewinnungspotenzial laufen. Insbesondere für kleine und mittelgroße Unternehmen ist die Menge der überschüssigen Wärme oft zu klein oder den Unternehmen fehlt die Kenntnis über das Potential der Wärmerückgewinnung. Steigende Energiepreise können dazu beitragen, dass WP zukünftig verstärkt eingesetzt werden.

## 3.2 Simulationstools

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über potenzielle Softwaretools zur Integration von Industriellen Wärmepumpen.

Für diese Recherche wurden verfügbare Programme für die Berechnung und Auslegung von Großwärmepumpen sowie Softwaretools zur Integration von Wärmepumpen in komplexe Systeme erhoben und auf ihre Anwendbarkeit analysiert. Der Fokus lag dabei auf Softwarelösungen, die auch in den Industriebetrieben eingesetzt werden können. D.h., dass keine aufwendige Modellentwicklung nötig ist, technische und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden können.

Da die Finanzierung des nationalen Vorhabens keine Kosten für die Anschaffung von Softwarelizenzen vorsah, beschränkte sich die Recherche auf kostenlose oder bereits vorhandene Software. Es wurde versucht Demo-Versionen zu erhalten, um die Software hinsichtlich der Anwendbarkeit zu analysieren. Ziel war eine qualitative Bewertung der verfügbaren Software, die sowohl für die Forschung als auch für die Industrie von Nutzen sein könnte. Die Analyse beinhaltete folgende Punkte:

- Für welche Anwendungen ist die Software geeignet?
- Welche Wärmepumpen-Typen können simuliert werden?
- Wie flexibel ist die Software hinsichtlich der Systemabbildung?
- Ist die Software eher für die Forschung oder für die Planung und Berechnung von realen Systemen gut geeignet?

### 3.2.1 Simulationsumgebungen zur Kreislaufanalyse

Mittels in diesem Kapitel beschriebenen Simulationsumgebungen können unterschiedlichste Wärmepump-Kreisläufe mit verschiedenen Kältemitteln ausgelegt und hinsichtlich der zu erwartende Effizienz untersucht werden. Anhand der gesammelten Erfahrung wurde die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen bzw. der Anpassung von bestehenden Tools und Modellen beurteilt. Diesbezüglich wurden auch die Simulationsumgebungen (EES, ASPEN Plus und CoolPack), die üblicherweise für Wärmepumpenkreisläufe herangezogen werden, für die Eignung zur Systemintegration hinterleuchtet.

#### EES

Das Programm „Engineering Equal Solver“ der Fa. F-Chart Software (2013), kurz EES ist ein numerischer Gleichungslöser, mit dem eine Vielzahl an miteinander verknüpften Gleichungen simultan gelöst werden kann, darunter auch Differentialgleichungen. Da in EES eine sehr umfangreiche und detaillierte Datenbank an thermodynamischen Zustandsgrößen und Transportgrößen für viele verschiedene Fluide (Kältemittel) hinterlegt ist, eignet es sich damit unter anderem auch zur detaillierten Kreislaufanalyse von Wärmepumpprozessen. EES ermöglicht eine relativ einfache Parameterstudie

mittels Parametertabellen und dementsprechende Aufarbeitung der Simulationsergebnisse mit dem im Programm vorhandenen Diagramm-Tool. Voraussetzung dafür ist aber ein fundiertes Fachwissen über Thermodynamik, Wärmeübertragung und Wärmepumpentechnik, da solche Modelle eigens erstellt (programmiert) werden müssen. EES enthält dabei keine vorgefertigten Wärmepumpenkreisläufe bzw. Modelle von diversen Komponenten.

### CoolPack

Das Softwareprogramm „CoolPack“ findet große Verbreitung bei der Auslegung verschiedener Kälteprozesse. Hauptsächlich wird dieses Programm zur Analyse und Auswertung von Kälteprozessen verwendet. Dafür verfügt „CoolPack“ über folgende drei Programm-Ebenen:

- Kälte-Dienstprogramme: Zustandsdiagramme für versch. Kältemittel, h, x – Diagramm, usw.
- EESCoolTools: Berechnung von Kälteprozessen (Abbildung 10);
- Dynamik: Berechnung der Abkühlung eines Objektes.

Mittels „Kälte-Dienstprogrammen“ können die Eigenschaften von primären und sekundären Kältemitteln, die Druckverluste in Rohrleitungen und die Eigenschaften der feuchten Luft berechnet werden.

Die Gruppe „EESCoolTools“ dient zur Simulation verschiedener ein- und zweistufiger Kälteprozesse und Auslegung ihrer Komponenten. Mit der Gruppe „Dynamik“ kann das Abkühlen eines Objektes unter versch. Bedingungen thermodynamisch simuliert werden. Das Programm „CoolPack“ ist frei zugänglich und kann unter folgender Adresse heruntergeladen werden:

<http://en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx>

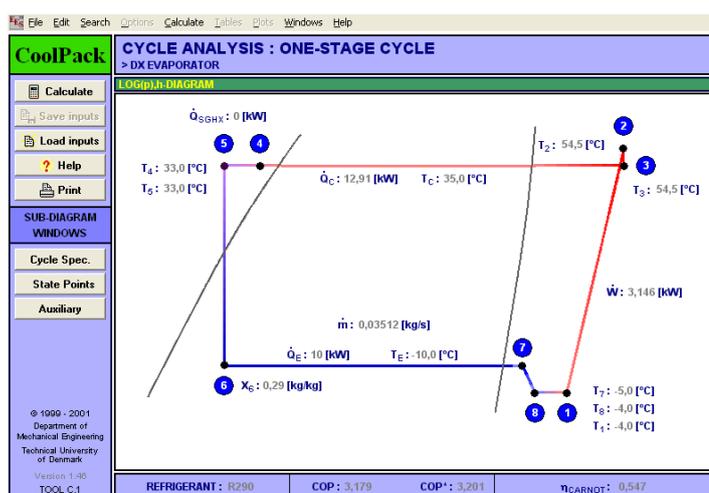


Abbildung 10: Berechnung einer einstufigen Kompressions-Wärmepumpe in CoolPack

## ASPEN Plus

ASPEN Plus™ (2013) ist ein umfangreiches Simulationstool mit einer breiten Palette an Werkzeugen zur Modellierung von thermodynamischen und chemischen Prozessen, wobei vor allem physikalische Stoffeigenschaften von Mehrphasen- und Mehrkomponentengemischen berechnet werden können. Diese Software findet Großteils Einsatz in der chemischen und verfahrenstechnischen Chemie, um Anlagen auszulegen und zu optimieren. In den letzten Jahren findet ASPEN Plus™ auch Einsatz zur Analyse von Wärmepumpenprozessen vor allem wenn Kreisläufe mit binären oder ternären Gemischen untersucht werden sollen. Die Software hat Modelle von verschiedenen verfahrenstechnischen Komponenten, die auch in Wärmepumpenkreisläufen verwendet werden, bereits integriert. ASPEN Plus ermöglicht z.B. den Aufbau eines Simulationsmodells einer Absorptionswärmepumpe mit deren verfügbaren Komponenten, wie z. B. Rektifikationssäule, Ab- und Desorber, Wärmetauscher, Pumpe, Ventil, usw. zusammensetzen. Ein Beispiel einer konventionellen  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  AWP ist in Abbildung 11 dargestellt.

Viele Kältemittel und Arbeitsstoffgemische sind mit den dazugehörigen Stoffeigenschaften bereits in der ASPEN-Bibliothek integriert. Zur Simulation anderer Arbeitsstoffgemische kann auf berechnete binäre Parameter durch Regression von experimentellen Daten zurückgegriffen werden. Jede Komponente des Kreislaufes kann für die benötigten Randbedingungen definiert und mittels verschiedener Sensitivitätsanalysen detailliert untersucht werden. Die Simulationsergebnisse können in Form von Tabellen oder in Diagrammen dargestellt werden.

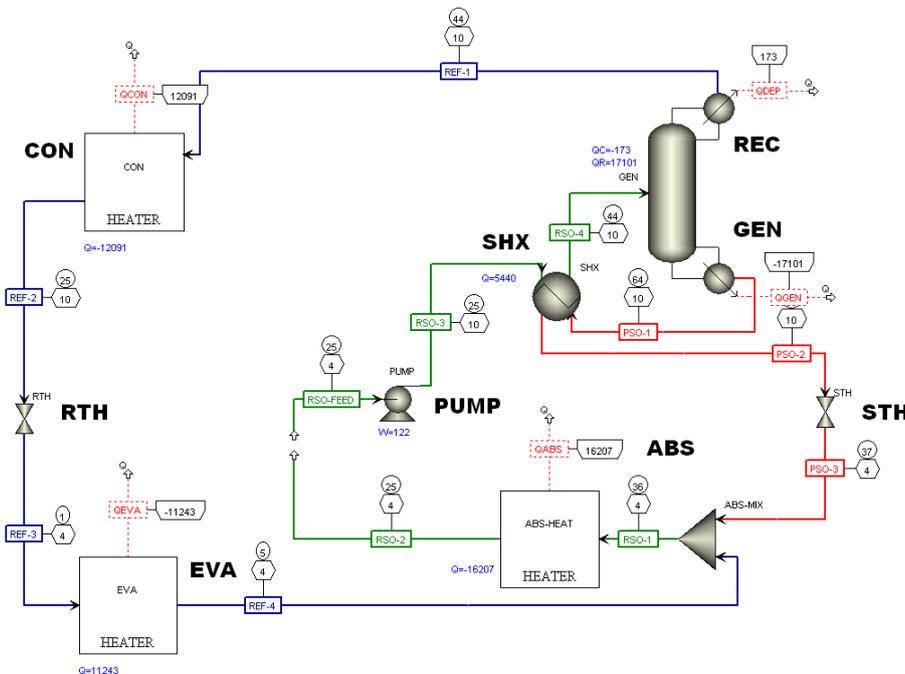


Abbildung 11: ASPEN-Simulation-Fließbild für eine  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ -Absorptionswärmepumpe

ASPEN Plus™ eignet sich zur (theoretischen) Analyse von komplexen Wärmepumpenkreisläufen, vor allem wenn Mehrstoffgemische oder alternative Arbeitsmittel, für die noch keine Stoffdaten vorliegen,

eingesetzt werden sollen. Eine einfache Dateneingabe und Bedienbarkeit ist aber nicht gegeben, da für den jeweiligen Wärmepumpenkreislauf ein eigenes Modell aufgebaut bzw. die entsprechenden thermodynamischen Zustandsgleichungen bestimmt werden müssen, was einiges an fundiertem Fachwissen über (chemische) Thermodynamik voraussetzt. Es können keine wirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt oder Jahressimulationen durchgeführt werden.

### 3.2.2 Simulationstools zur Integration von Wärmepumpen in komplexe Systeme

Die in diesem Abschnitt angeführten Simulationstools eignen sich zur Analyse der Integration von Wärmepumpen in Produktionsprozessen oder betrieblichen Systemen. Die Recherche beschränkte sich auf kostenlose Software. So wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes die zwei Softwaretools „Top-Energy“ & „Einstein“ zur Analyse und Optimierung von Energiesystemen, inklusive der Integrationsmöglichkeit von Wärmepumpen, ausfindig gemacht und detaillierter beschrieben.

#### TOP-Energy



Das TOP-Energy Softwarepaket (2012) wurde vom Lehrstuhl für Technische Thermodynamik an der RWTH Aachen entwickelt, um die Analyse und Optimierung von Energiesystemen softwaretechnisch zu unterstützen. Die Software besteht aus mehreren Modulen, die an ein gemeinsames Framework gebunden sind. Das Framework stellt Basisfunktionalitäten, wie Projekt öffnen/speichern/exportieren zur Verfügung, während die Module

eine konkrete ingenieurwissenschaftliche Aufgabenstellung erfüllen. Derzeit existieren die Module eNtry zur Erstanalyse, eSim zur Simulation von Energiesystemen, eVariant zur Bewertung verschiedener Varianten sowie eValuate zum Vergleich der Varianten.

Das TOP-Energy (2012) Framework ist ein Software-Werkzeug, welches eine gezielte Anwendungsstruktur vorgibt, um Projekte zur Analyse und Optimierung energietechnischer Problemstellungen in der Industrie durchzuführen. Dabei wird die Durchführung der Aufgabenstellungen durch implementierte Anwendungsmodul unterstützt, die durch das Framework gesteuert und kontrolliert werden.

Die energieorientierten Analysen werden mit dem Modul eNtry - Erstanalyse durchgeführt und nutzen zur Datenerfassung spezielle Fragebögen. Das Modul prüft die eingegebenen Daten auf Plausibilität, berechnet eine Reihe betrieblicher Energiekennzahlen und stellt sie typischen Branchenwerten gegenüber. Die Ergebnisse der Auswertung werden in Diagrammen und Tabellen übersichtlich dargestellt und können in einen Bericht exportiert werden.

Die Optimierung von Energieanwendungen in der Industrie wird durch das Simulationsmodul eSim (Simulator und den Flusschema-Editor) bestimmt, dabei werden sowohl energetische als auch ökonomische und ökologische Kenngrößen ermittelt.

Eine vergleichende ökonomische Bewertung von Varianten zur Energieanwendung wird mit dem Modul eValuate realisiert.

**Auslegungsgrößen (Nominalwerte)**

Kälteleistung	-1.000,00 [kW]	=	-1.000,00	[kW]
Antriebsleistung (therm.)	-1.500,00 [kW]	=	-1.500,00	[kW]
Abwärmeleistung	2.500,00 [kW]	=	2.500,00	[kW]
Minimale Teillast	20,00 [%]	=	20,00	[%]

Kaltwasser-Eintrittstemperatur	null [°degC]	=	null	[°degC]
Kaltwasser-Austrittstemperatur	null [°degC]	=	null	[°degC]
Heizwasser-Eintrittstemperatur	null [°degC]	=	null	[°degC]
Heizwasser-Austrittstemperatur	null [°degC]	=	null	[°degC]
Kühlwasser-Eintrittstemperatur	null [°degC]	=	null	[°degC]
Kühlwasser-Austrittstemperatur	null [°degC]	=	null	[°degC]

**Teillastverhalten**

CharacteristicThermalPowervsRefrigerationCapacity

relative Kälteleistung [%] in [%]	Relative thermische Antriebsleistung eines Absorbers im Vgl. zur Nominalleistung [%] in [%]
100,00 [%]	100,00 [%]
90,00 [%]	88,00 [%]
75,00 [%]	70,00 [%]
50,00 [%]	40,00 [%]
20,00 [%]	15,00 [%]

Abbildung 12: Eingabemaske für Plandaten der Kältemaschinen in TOP-Energy 1.1.9 (TOP-Energy, 2012)

Zwei Typen von Wärmepumpen sind als Modelle vorhanden:

- Kompressionswärmepumpe ist als Komponentenvorlage "Wärmepumpe mechanisch" gegeben. Sie dient in TOP-Energy der Modellbeschreibung eines Wärmepumpen-Prozesses, der mechanisch angetrieben wird. Neben den technischen Eingabedaten besteht auch die Möglichkeit wirtschaftliche Daten anzugeben wie z.B. die kapitalgebundenen oder die betriebsgebundenen Kosten der Komponente. Diese Angaben dienen dazu, die Wirtschaftlichkeit von Energiesystem-Varianten mit dem TOP-Energy Modul eValuate zu vergleichen.
- Modell einer Absorptionskältemaschine (AKM) beschreibt das thermische Verhalten einer thermisch angetriebenen Wärmepumpe, die für die Kälteproduktion eingesetzt wird.

Elektrische Hilfsantriebe, z.B. für die Lösungsmittelpumpe zwischen Ab- und Desorber, sind hier nicht modelliert und werden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Die AKM benötigt vom Anwender Eingaben zur Maschinengröße. Dazu gehören die Nenn-Kälteleistung sowie Leistungsaufnahme (thermisch) und Abwärmestrom. Des Weiteren können Temperaurniveaus für das Kältenetz, für die Rückkühlseite und für die Antriebsseite vom Benutzer vorgegeben werden, Abhängigkeiten zwischen den Temperaturniveaus und dem Verhalten der Kältemaschinen sind in dieser Komponente noch nicht implementiert. Über eine Charakteristik kann ein Teillastverhalten für die AKM vorgegeben werden. Im simpelsten Fall ist dabei eine lineare Kennlinie von 0 bis 100% der Nennleistung hinterlegt. Das Eingabeformular für eine Kältemaschine ist in Abbildung 12 und für eine Wärmepumpe in Abbildung 13 dargestellt.

The screenshot shows the 'TOP-Energy' software interface for configuring a heat pump. The 'Typische Eingabedaten (technisch)' tab is active. The 'Vorgabe Betriebszustand' section contains two input fields: 'Vorlauftemperatur' set to 40.00 [degC] and 'Wärmequelletemperatur' set to 7.00 [degC]. The 'Parametrierung Kennfeld' section provides instructions and defines two operating points. Operating Point 1 (W0/W35) has a source temperature of 0 [degC], a COP of 3.500, and a heating capacity of 560.00 [kW] / 3.00. Operating Point 2 (W7/W35) has a source temperature of 7.00 [degC], a COP of 3.800, and a heating capacity of 630.00 [kW] / 3.00. The 'Hydraulisches Betriebsverhalten' section includes 'Nennvolumenstrom' at 1.00 [l/s] and 'Druckverlust bei Nennvolumenstrom' at 0 [Pa].

Abbildung 13: TOP-Energy-Eingabemaske für Plandaten der Wärmepumpe (TOP-Energy, 2012)

## EINSTEIN



Das kostenlose, open-source Software Tool EINSTEIN (Expert System for an Intelligent Supply of Thermal Energy) ermöglicht die Entwicklung von Strategien zur Reduktion des Energiebedarfs und der Betriebskosten in Unternehmen. Berücksichtigt werden dabei Wärmerückgewinnung, Prozessintegration und eine intelligente Kombination von wirtschaftlichen Wärme- und Kälteversorgungstechnologien.

Die Software resultiert gemäß Brunner et al. (2010) aus dem kooperativen Projekt EINSTEIN der Kollaborationspartnern: Joanneum Research (Österreich), Sapienza University of Rome (Italien) und energyXperts.NET (Spanien) und wird von der der Intelligent Energy Europe (IEE) unterstützt.

EINSTEIN bietet eine Methode zur Einführung eines ganzheitlichen und integrierten Ansatzes für thermische Energie Audits sowohl für Industrie als auch Krankenhäuser, Bürogebäude oder Sporthallen. EINSTEIN berechnet den thermischen Energiebedarf, bewertet Einsparmöglichkeiten durch Wärmetausch mit Hilfe der Pinch-Analyse, zeigt technische Alternativen für die Integration von energieeffizienten und erneuerbaren Energieversorgungssystemen auf und bewertet diese. Der Anwender wird durch den gesamten Auditablauf von der Datenerhebung bis hin zur Erarbeitung von alternativen technologischen Lösungen geführt (*Abbildung 14*). Das Tool zielt insbesondere auf Sektoren mit einem hohen Anteil an Nieder- und Mitteltemperaturwärme, wie z.B. die Nahrungsmittel- oder die Papierindustrie.

Das Software Tool weist dabei konkrete Zahlenangaben für energetische und ökonomische Einsparpotenziale aus, die durch ein saniertes Wärmeversorgungssystem erzielt werden. Die Alternativen umfassen alle wesentlichen Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz oder die Einbindung von erneuerbaren Energieträgern, wie z.B.: Wärmerückgewinnung, KWK, Wärmepumpen, Solarthermie oder Biomasse.



Abbildung 14: Elemente des EINSTEIN Auditinstruments (EINSTEIN, 2013)

### 3.2.3 Übersicht der Erkenntnisse zu Software aus den teilnehmenden Partnerländern

Von den teilnehmenden Ländern wurden verfügbare Methoden, Tools und Programme recherchiert mit denen der Einsatz von Industrie-Wärmepumpen besser beurteilt werden kann. Die meisten Tools basieren dabei auf einer Pinch-Analyse. Die Pinch-Analyse ist eine Methode zur Minimierung des Energieverbrauchs von verfahrenstechnischen Prozessen, bei der thermodynamisch minimale Energieverbräuche berechnet werden und gibt an, wie diese erreicht werden können, indem Wärmeübertragernetzwerke zur Wärmerückgewinnung, Energieversorgung und Prozessbedingungen aufeinander abgestimmt werden. Die Pinch-Temperatur hat eine große Bedeutung für die richtige Integration von Wärmepumpen in Prozessen, da mit ihr die Wärmequelle und -senke in 2 Teile geteilt werden. Des Weiteren können so Regeln definiert werden wo Wärme sinnvollerweise zu und abgeführt wird (Abbildung 15).

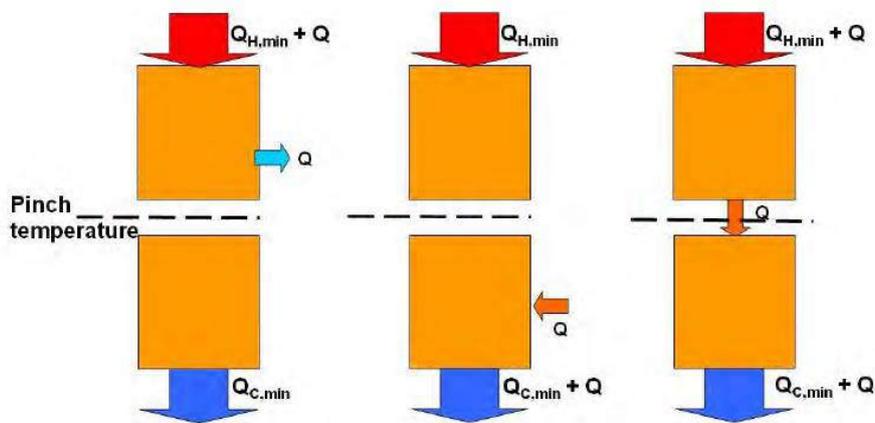


Abbildung 15: Pinch-Regeln und Temperatur (IEA HPP Annex 35, 2014)

Die Analysen zeigen, dass die reinen Pinch-Modelle und komplexe mathematische Optimierungsmodelle in Softwareanwendungen zusammen geführt wurden, Beispiele für bekannte Systeme sind: STAR, SPRINT, Pinchlight, OSMOSE, Thermoptim, CERES, Pro\_Pi, PinCH, Hint, Einstein, SuperTarget und AspenEnergyAnalyzer.

Die Programme STAR und Sprint sind für die Öl- und chemische Industrie erstellt worden und beinhalten nicht die Möglichkeit Wärmepumpen in das System zu integrieren.

Pinchlight basiert auf einem Webinterface, das auf einen Server zurückgreift auf dem die multifunktionale Plattform OSMOSE läuft, ist jedoch nicht benutzerfreundlich aufgebaut. Abbildung 16 zeigt die Darstellung von Prozessen in Pinchlight.

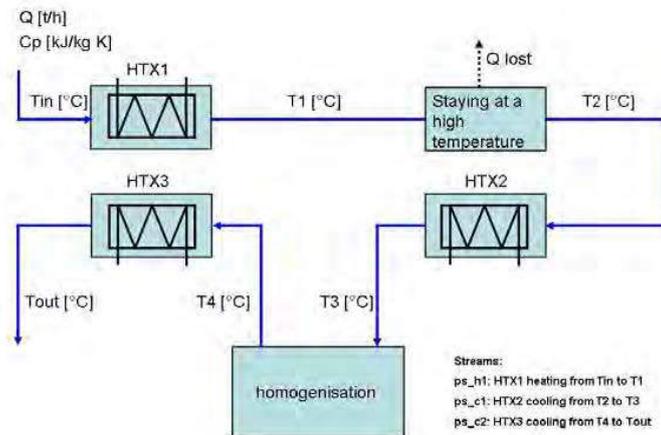


Abbildung 16: Prozess in Pinchlight (IEA HPP Annex 35, 2014)

Für OSMOSE Abbildung 17 wurden spezielle Berechnungsmethoden entwickelt, die die Integration von Wärmepumpen in industrielle Prozesse erlauben. Das Tool basiert auf proprietärer Software (wie z.B.: Matlab, Belsim,...) die Lizenzkosten verursachen, darüber hinaus ist OSMOSE schwierig zu bedienen und benötigt eine zeitintensive Einarbeitung.

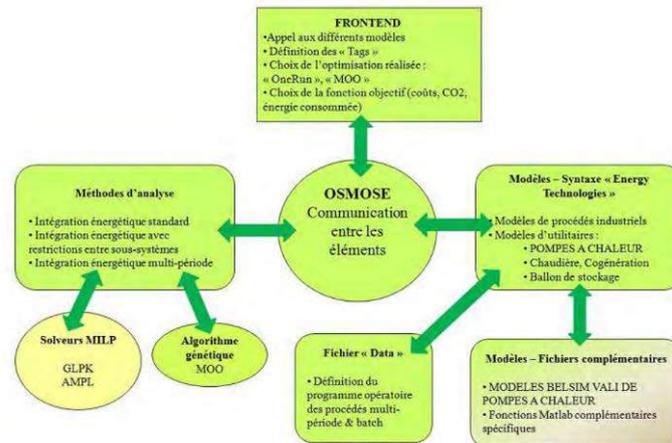


Abbildung 17: OSMOSE Workflow (IEA HPP Annex 35, 2014)

CERES wurde entwickelt um Strategien zur Wärmerückgewinnung bzw. Weiterverwendung von Abwärme in industriellen Prozessen ausarbeiten zu können. Die CERES Plattform (Abbildung 18) und die Modellbibliothek, die auch Kompressionswärmepumpen beinhaltet, sollen in Modelica frei verfügbar sein, um somit einen breiten Zugang zu finden.

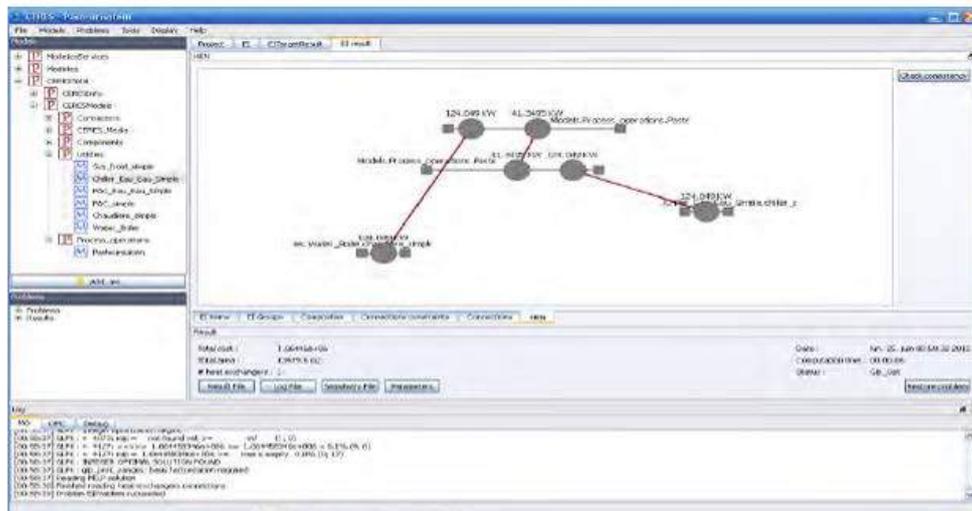


Abbildung 18: CERES Arbeitsplattform (IEA HPP Annex 35, 2014)

Die Software SuperTarget stellt den Anspruch, das führende Tool die Analyse industrieller Prozesse zu sein und stellt damit den Benchmark für andere Tools dar. Die Funktionen sind sehr komplex und eher für die chemische und petrochemische Industrie ausgelegt. Des Weiteren ist eine Integration von Wärmepumpen nicht angedacht.

AspenEnergyAnalyzer ist Teil der AspenONE Software-Suit und ist für Anwendungen der Pinch-Methode ausgelegt. Das Tool beinhaltet ähnliche Funktionen wie SuperTarget.

Es ist eine große Vielfalt an Tools als Freeware und kaufbare Software erhältlich. Jedoch beinhalten nur wenige dieser Tools die Möglichkeit die Integration von Wärmepumpen direkt in den/die Produktionsprozesse wirtschaftlich und energetisch zu beurteilen.

### 3.3 Gerätetechnik

Dieses Kapitel gibt einen technologischen Einblick in das Thema industrielle Wärmepumpentechnik (Typen, eingesetzte Kältemittel etc.). Dies beinhaltet auch den aktuellen Stand der Technik sowie Stand der Forschung und Entwicklung in Punkto industrielle Wärmepumpen in Österreich. Final wird ein kurzer Überblick über die Ergebnisse aus den teilnehmenden Ländern gegeben.

#### 3.3.1 Industrielle Wärmepumpe

Als „Industriewärmepumpe“ bzw. „industrielle Wärmepumpe“ oder auch „Großwärmepumpe“ werden meist „maßgeschneiderte“ Wärmepumpen größerer Leistung und höherem Nutztemperaturniveau bezeichnet, die in Industrie und Gewerbe in der Regel zur innerbetrieblichen Nutzung von Abwärme eingesetzt werden. Auch der Begriff der s.g. „Hochtemperaturwärmepumpe“ ist dabei ein sehr häufig verwendeter Begriff. Vor allem bei der Nutzung von Abwärme für die innerbetriebliche Prozesswärmeversorgung, da das Nutztemperaturniveau und auch das Temperaturniveau der Wärmequelle dabei deutlich über dem von standardisierten Warmwasser- und Heizungswärmepumpen im Wohnbereich liegen.

Sich auf eine eindeutigere Begriffsdefinition festzulegen ist schwierig, da sich diese auch in der Literatur z.T. voneinander unterscheiden. Im deutschsprachigen Raum werden häufig folgende 2 unterschiedliche Definitionen verwendet.

- Gemäß Jakobs (2010) sind Industriewärmepumpen:

*„Wärmepumpen für höhere Temperaturen im mittleren und hohen Leistungsbereich, zur Wärmerückgewinnung und Temperaturerhöhung in industriellen Prozessen, die aber auch zum Heizen, Kühlen und Klimatisieren in industriellen und gewerblichen Gebäuden sowie im Geschoßwohnungsbau und zur Fernwärme Bereitstellung eingesetzt werden.“*

- Das Bundesamt für Energie der Schweiz (BFE, 2006) bezieht sich bei seiner Kategorisierung einerseits auf die Leistungsklasse der Wärmepumpenanlage andererseits auch darauf, dass es maßgeschneiderte Anlagen sind: *„Kleinwärmepumpen sind serienmäßig hergestellte Wärmepumpen, die schlüsselfertig angeliefert werden und mittels Standardschaltungen ins Wärmeverteilsystem eingebunden werden. Normalerweise wird kein spezielles Engineering benötigt. Ihr Leistungsspektrum reicht bis etwa 100 kW.*

*Wärmepumpen mittlerer Leistungsgröße, d. h. im Leistungssegment von etwa 50 kW bis 150 kW, können Serienprodukte sein, können aber von der Einbindung her bereits komplexeren Anforderungen unterworfen sein, und bedürfen einer versierten Planung.*

*Als Großwärmepumpen betrachten wir Anlagen mit mehr als 150 kW Heizleistung. Sie unterscheiden sich nicht vorwiegend über deren Leistung von den beiden anderen Segmenten, sondern vielmehr durch die komplexeren Ansprüche, die auf das Objekt zugeschnittenen konzeptionellen Lösungen und durch kleine Losgrößen.“*

Folgende unterschiedliche Wärmepumpensysteme und –kreisläufe können (theoretisch) eingesetzt werden, um industrielle Abwärme für die innerbetriebliche Wärme- bzw. auch Kälteversorgung nutzbar zu machen (vgl. IEA HPP Annex 35, 2010):

→ **elektrisch bzw. mechanisch angetriebene Wärmepumpprozesse, wie:**

- ein- und mehrstufige Kompressionswärmepumpenkreisläufe (Kaldampfkreisläufe),
- Kaskaden-Kompressions-Wärmepumpenkreisläufe,
- Add On-Kompressions-Wärmepumpenkreisläufe
- Joule/Brayton-Prozesse (Kaltgaskreisläufe),
- „Hybrid-Wärmepumpe“ (Kompressions/Absorptionskreislauf)
- mechanische Brüdenverdichter,

→ **als auch thermisch angetriebene Wärmepumpprozesse, wie:**

- Ab- und Adsorptionskreisläufe,
- Resorptionsanlagen,
- Wärmetransformatoren,
- thermische Brüdenverdichter (Thermokompression, Dampfstrahlverdichter).

Wie bereits erwähnt, können einige der o.a. thermisch angetriebenen Wärmepumpenprozesse, wie Ab-, Adsorptions- oder Dampfstrahlkältemaschinen bzw. auch Wärmetransformatoren sowohl zur Wärmeversorgung in der Produktion als auch zur Generierung von „Kälte“ aus der industriellen Abwärme eingesetzt werden. Dafür sollte das Temperaturniveau der Abwärme möglichst hoch sein (min. > 70°C), um diese als Antriebsenergie von thermisch angetriebenen Kältemaschinen nutzen und aus Abwärme Prozesskälte bereitstellen zu können.

Eine energetisch und ökonomisch sehr interessante Möglichkeit stellt für industrielle Wärmepumpen die Variante der so genannten „Bi-Generation“ dar. D.h. gleichzeitig Prozesskälte und –wärme aus einer Wärmepumpenanlage bereitzustellen. Aufgrund der dabei sehr unterschiedlichen Temperaturniveaus von „Prozesskälte“ und Prozesswärme stellen bei dieser Anwendung die technischen Anforderungen an die Anlage zum Teil Herausforderungen dar. Besonders für thermisch angetriebene Bi-Generations-Wärmepumpensysteme muss das verfügbare Temperaturniveau der Abwärme dafür ausreichend hoch sein.

## Grundlagen zu Wärmepump-Prozessen

Wärmepumpen (WP) „entziehen“ einer Wärmequelle Wärme auf tieferem Temperaturniveau ( $T_0$ ) und heben diese auf ein höheres Temperaturniveau ( $T_H$ ) an, um diese Wärme an die s.g. Wärmesenke abzugeben. Dieser Prozess der Temperaturerhöhung einer Wärme wird auch als „Wärmepumpprozess“ bezeichnet und bedingt die Zufuhr von höherwertiger Energie (sprich Exergie), welche über elektrische (siehe Pkt. a) oder thermische Energie (bei entsprechendem Temperaturniveau – siehe Pkt. b) erfolgen kann.

Bei gleichzeitigem Bedarf von Wärme und „Kälte“ könnten Wärmepumpen auch im s.g. „Bi-Generations“-Betrieb (siehe Pkt. c) betrieben werden, sprich man nützt sowohl die kalte als auch die warme Seite einer WP (Doppelnutzen)

### a. Elektrisch angetriebene Wärmepumpenprozesse

Abbildung 19 stellt die prinzipielle Arbeitsweise sowie die Energieflüsse einer elektrisch bzw. mechanisch angetriebenen Wärmepumpe dar. Elektrisch angetriebene Wärmepumpen (in diesem Fall handelt es sich i.d.R. um eine Kaltdampf-Kompressionswärmepumpe, kurz KWP) arbeiten prinzipiell gemäß dem Wärmepumpprozess zwischen 2 Temperaturniveaus ( $T_0$  und  $T_H$ ) und benötigen dafür die Zufuhr von elektrischer Antriebsleistung ( $P_{el}$ ).

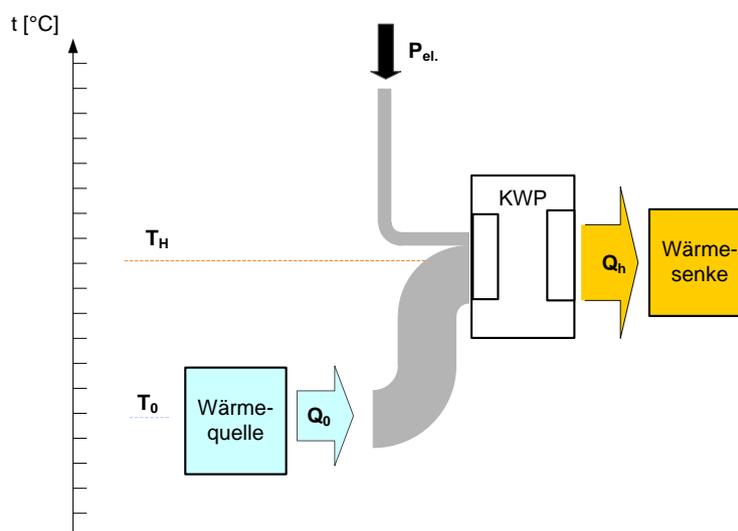


Abbildung 19 Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer mechanisch bzw. elektrisch angetriebenen Wärmepumpe (KWP) arbeitend nach dem Wärmepumpprozess zwischen 2 Temperaturniveaus

Das (momentane) Verhältnis aus der abgegebenen Wärmeleistung ( $Q_h$ ) zur aufgenommenen elektr. Antriebsleistung ( $P_{el}$ ) - in einem bestimmten Betriebspunkt - wird als sogenannte Leistungszahl ( $\epsilon$ ) bzw. aus dem englischen Sprachgebrauch kommend als  $\text{COP}_H$  (Coefficient of Performance für den Heizfall)

bezeichnet (siehe Gl.(1)).<sup>1</sup> Der  $COP_H$  ist somit das Verhältnis aus Nutzen zu Aufwand und damit das Maß für die Effizienz einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe für einen bestimmten Betriebspunkt. (vgl. Cube, 1981 und Rieberer et al., 2009)

$$COP_H = \epsilon_H = Q_h / P_{el} \quad (1)$$

Der  $COP_H$  wird maßgeblich vom Wärmesenken- ( $T_H$ ) und Wärmequellentemperaturniveau ( $T_0$ ) bestimmt. Eine reversible KWP arbeitet gemäß dem „linksläufigen“ Carnot-Prozess, bestehend aus einer isothermen Wärmeaufnahme, einer isentropen Kompression, einer isothermen Wärmeabgabe und einer isentropen Expansion. Der linksläufige Carnot-Prozess stellt somit den Idealprozess einer KWP dar, sofern Wärmequelle und –senke mit konstanter Temperatur vorliegen (siehe Abbildung 20). Gemäß Carnot (1824) hängt der theoretisch maximal erreichbare  $COP_{H,rev.}$  einer reversiblen KWP - wie in Gl. (2) definiert - ausschließlich von den Temperaturniveaus der Wärmesenke und -quelle ( $T_H$  und  $T_0$ ) ab.

$$COP_{H,rev.} = \frac{T_H}{T_H - T_0} \geq COP_H \quad (2)$$

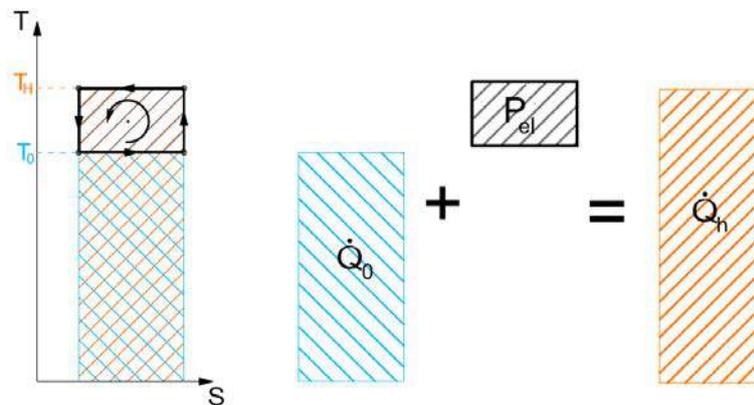


Abbildung 20: Wärmepumpprozess zwischen 2 Temperaturniveaus einer reversiblen KWP gemäß Carnot im Temperatur/Entropie (T/s) –Diagramm (vgl. Rieberer et al., 2009)

Wie in Abbildung 21 dargestellt, hat gemäß Carnot somit auch das Temperaturniveau der Wärmequelle einen relevanten Einfluss auf den  $COP_{H,rev.}$  einer reversiblen Kompressionswärmepumpe. Je höher das Temperaturniveau der Wärmequelle desto höher ist der theoretisch erreichbare  $COP_{H,rev.}$  bei gleichem Temperaturhub (Differenz zwischen  $T_H$  und  $T_0$ ).

<sup>1</sup> Gemäß DIN EN 255 bzw. der aktuellen Zertifizierungsnorm DIN EN 14511 werden beim  $COP_H$  neben dem elektrischen Leistungsbedarf des Verdichters auch tlw. die Hilfsantriebe als Aufwand mitbilanziert.

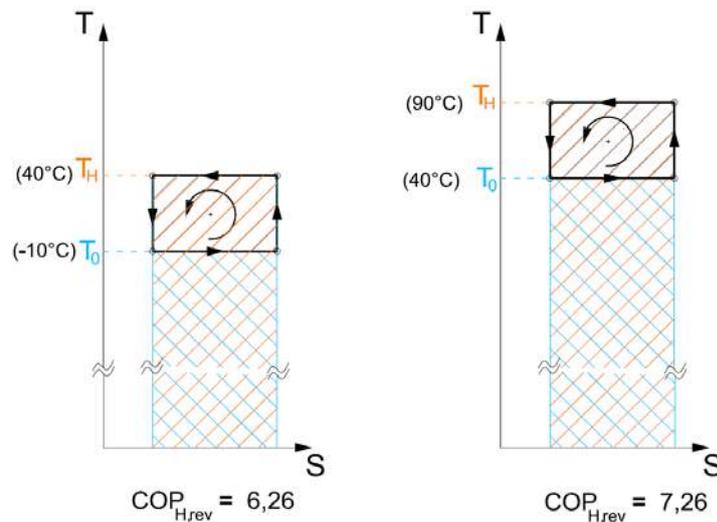


Abbildung 21: Reversibler Wärmepumpprozess einer KWP zwischen 2 Temperaturniveaus im T/s –Diagramm für zwei unterschiedliche Anwendungen bei gleichem Temperaturhub  
 Links: für Heizungsanwendung mit  $T_0 = -10^\circ\text{C}$ ,  $T_H = 40^\circ\text{C}$   
 Rechts: für innerbetriebliche Abwärmenutzung mit  $T_0 = 40^\circ\text{C}$ ,  $T_H = 90^\circ\text{C}$  (Zotter, 2014)

Das Verhältnis zwischen dem  $\text{COP}_H$  der realen KWP und der praktisch nicht erreichbaren Effizienz des reversiblen Idealprozesses ( $\text{COP}_{H,\text{rev}}$ ) wird durch den exergetischen Güte- bzw. Wirkungsgrad ( $v_{\text{ex}}$ ) der Anlage bestimmt.  $v_{\text{ex}}$  hängt lt. Gl. (3) vom Wärmepumpprozess selbst, dem eingesetzten Arbeitsmittel und der exergetischen Effizienz jeder einzelnen Komponente der Wärmepumpe ab (Rieberer et al., 2009).

$$\text{COP}_H = v_{\text{ex}} \cdot \text{COP}_{H,\text{rev}} \quad (3)$$

Für den Effizienzvergleich unterschiedlicher Wärmepumpen miteinander müssen die  $\text{COP}_H$ 's von verschiedenen Anlagen bei gleichen und konstanten Betriebsbedingungen erfasst werden. Die Betriebsbedingungen für industrielle Wärmepumpen variieren je nach Anwendung und Einsatz sehr stark, weshalb es nicht sinngemäß wäre, exakte Normbedingungen für Industriewärmepumpen festzulegen. Denn selbst wenn die Eintrittstemperatur von Wärmequelle und -senke bei unterschiedlichen Anwendungen ident wären, hätte auch das jeweilige Wärmeträgermedium und der Massenstrom der Quelle und Senke einen maßgeblichen Einfluss auf die erreichbare Effizienz.

Da der  $\text{COP}_H$  – Wert damit nur eine Momentaufnahme für einen stationären Betriebspunkt darstellt, hat er wenig Aussagekraft über die Effizienz der Wärmepumpen bei realen und damit schwankenden Betriebsbedingungen. Deshalb wird die so genannte Arbeitszahl ( $\beta$ ) bzw. der SPF (Seasonal Performance Factor) zur energetischen Bewertung der Effizienz einer Wärmepumpe während einer definierten Periode verwendet, siehe Gl. (4). Bei einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe ist der

SPF<sub>H</sub> (SPF für den Heizfall) das Verhältnis von gelieferter Nutzwärmeenergie (Q<sub>h</sub>) zur verbrauchten elektrischen Antriebsenergie (W<sub>el</sub>) während einer Heizsaison oder eines Jahres.<sup>2</sup>

$$\beta = \text{SPF}_H = Q_h / W_{el} \quad (4)$$

Der SPF berücksichtigt auch Teillast-, An- und Stillstandsverluste der Anlage während der Messperiode, im Gegensatz zum COP, der ein momentaner Effizienzwert der Anlage in einem bestimmten Betriebspunkt ist. Der SPF kann exakt nur über ein geeignetes Monitoring nach erfolgter Installation der Anlage messtechnisch erfasst werden, oder vorab auf Basis von COPs hochgerechnet werden, wobei der mittlere COP mathematisch nicht dem SPF entspricht (Zotter, 2014).

Folgend werden die unterschiedlichen elektrisch bzw. mechanisch angetriebenen Wärmepumpenprozesse kurz erläutert:

### **Kaltdampfprozess:**

Der Kaltdampfprozess einer KWP läuft prinzipiell zwischen zwei Temperaturen bzw. zwischen zwei Druckniveaus ab, wobei die Wärmeaufnahme bzw. -abgabe hauptsächlich im Zweiphasengebiet (Nassdampfgebiet) des Arbeitsfluides (Kältemittel) erfolgt. Der Kaltdampfprozess beruht auf dem Effekt, dass die Siedetemperatur eines Fluides vom Druck abhängig ist, je höher die Siedetemperatur desto höher der Siededruck und dass beim Verdampfen Wärme aufgenommen und beim Kondensieren Wärme abgegeben wird. Ein reversibler Kaltdampfprozess einer KWP gemäß Carnot bedingt eine Kompression von Nassdampf (siehe Abbildung 22 links), was aufgrund von Flüssigkeitsschlägen im Verdichter aus technischer Sicht nicht möglich ist. Daher muss die Verdampfung auf dem niedrigen Temperaturniveau mindestens bis zur „oberen Grenzkurve“ (oder auch Taulinie genannt) erfolgen, um trockenen Dampf ohne Flüssigkeitsanteil verdichten zu können. Bei Kältemitteln mit s.g. „trockenem Verhalten“ endet die Verdichtung – auch bei isentroper Verdichtung - im Bereich der Überhitzung, weshalb die „Verdichteraustrittstemperatur“ bei gleichem Druck höher als die Kondensationstemperatur ist (siehe Abbildung 22). Nach der Verflüssigung (Kondensation) des Kältemittels auf Hochdruckniveau müsste gemäß Carnot (1824) die Entspannung in einer Expansionsmaschine isentrop erfolgen, wobei die generierte Expansionsenergie dem Verdichter zugeführt und die notwendige, restliche Verdichterarbeit verringert wird. Die gewinnbare Arbeit ist lt. Pohlmann (2010) sehr gering und der Aufwand für die Expansionsmaschine, die flüssiges Kältemittel möglichst reibungsfrei ins Nassdampfgebiet expandiert, sehr hoch. Deshalb wird in der Praxis ein einfaches Drosselventil verwendet, bei dem das Kältemittel bei konstanter Enthalpie entspannt.

---

<sup>2</sup> Auch beim SPF ist darauf zu achten, wo die Systemgrenzen bei der messtechnischen Erfassung dieses gezogen werden, um einen fairen Vergleich bzgl. Antriebsenergien der Hilfsaggregate zu erhalten (vgl. Miara et al., 2010).

Ferner kann die theoretische zurückgewinnbare Expansionsenergie nicht genutzt werden und wird in der Drossel vollständig in Wärme dissipiert und vom Fluid aufgenommen. Dadurch verringert sich die nutzbare Verdampfungswärme bei der Wärmeaufnahme. Der aus den realen Anforderungen an reale Kältemittel resultierende Vergleichsprozess für Kaltdampf-KWP's ist der Perkins-Evans-Prozess (siehe Abbildung 22 links). (vgl. Rieberer et. al, 2009)

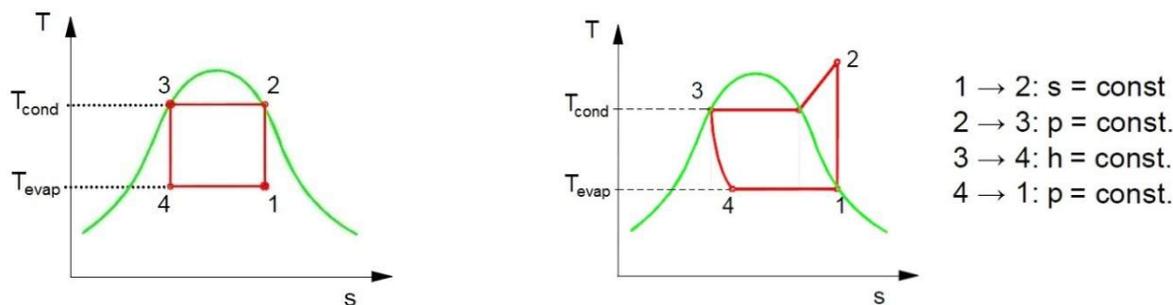


Abbildung 22: Wärmepumpenvergleichsprozess Links: Linksläufiger Carnot-Prozess und Rechts: Perkins-Evans-Cycle (Rieberer, et al., 2009)

Der Perkins-Evans-Prozess ist, wie auch der Carnot-Prozess, von Kondensation- ( $T_{\text{cond}}$ ) und Verdampfungstemperaturniveau ( $T_{\text{evap}}$ ) abhängig, jedoch berücksichtigt der Perkins-Evans-Prozess auch Kältemiteleigenschaften, wie die Form der Dampfdruckkurve und das Ausmaß der Überhitzung des Kältemittels nach der Verdichtung. Damit kommt der Perkins-Evans-Prozess dem realen Kaltdampf-Kompressionswärmepumpprozess wesentlich näher als der vom Kältemittel unabhängige Carnot-Prozess (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 24). Daher wird der Perkins-Evans-Prozess als praktischer Vergleichsprozess herangezogen. (vgl. Rieberer et. al, 2009)

Das Verhältnis der Leistungszahlen des praktischen Vergleichsprozesses ( $\text{COP}_{\text{H,PE}}$ ) und des Carnot-Prozesses ( $\text{COP}_{\text{H,rev}}$ ) wird als Prozess-Gütegrad ( $v_{\text{G,PE}}$ ) definiert, siehe Gl. (5)  $v_{\text{G,PE}}$  gibt damit Aufschluss über die Eignung des jeweiligen Kältemittels hinsichtlich der maximal erreichbaren Effizienz bei definierten Temperaturniveaus ( $T_{\text{cond}}$  und  $T_{\text{evap}}$ ).

$$v_{\text{G,PE}} = \frac{\text{COP}_{\text{H,PE}}}{\text{COP}_{\text{H,rev}}} \quad (5)$$

Das Verhältnis der COP's der realen KWP und Perkins-Evans-Prozess ist der Anlagengütegrad ( $v_{\text{G,A}}$ ), siehe Gl. (6) & Gl. (7). Dieser gibt Aufschluss über die exergetische Qualität der realen Anlage selbst. Im Speziellen beeinflussen Irreversibilitäten der Wärmetauscher und des Kompressors den  $v_{\text{G,A}}$ .

$$v_{\text{G,A}} = \frac{\text{COP}_{\text{H}}}{\text{COP}_{\text{H,PE}}} \quad (6)$$

$$V_{\text{ex}} = V_{G,A} \cdot V_{G,PE}$$

(7)

### Einstufiger Kaldampfkreislauf:

Abbildung 23 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer einstufigen mechanisch bzw. elektrisch angetriebenen Kaldampf-KWP, bestehend aus Verdichter (Kompressor), Kondensator, Hochdrucksammler, Expansionsventil (Drossel) und Verdampfer.

Bei der einstufigen Kaldampf-KWP nimmt Kältemittel Wärme aus einer Quelle im Verdampfer auf niedrigem Temperaturniveau bei konstantem Niederdruck (Vernachlässigung von Druckverlusten im Verdampfer) auf. Das großteils flüssige Kältemittel wird im Verdampfer durch Wärmeaufnahme aus der Quelle verdampft und i.d.R. weiter auf die Sauggastemperatur überhitzt. Das nun dampfförmige (und meist leicht überhitzte) Kältemittel aus dem Verdampfer wird im Verdichter auf ein höheres Druck- und damit Temperaturniveau angehoben. Die „angehobene“ Wärme wird gemeinsam mit der Verdichterarbeit an eine Senke durch Enthitzung, Kondensation und ggfs. durch Unterkühlung des Kältemittels bei konstantem Druck (Vernachlässigung von  $\Delta p$  im Kondensator) abgegeben. Anschließend wird das Kältemittel wieder auf das niedrige Druck- bzw. Temperaturniveau entspannt bzw. adiabot gedrosselt.

In Abbildung 24 ist der entsprechende Kaldampfprozess der einstufigen KWP beispielhaft für das Kältemittel R134a für eine industrielle Anwendung bei einer Verdampfungstemperatur ( $T_{\text{evap}}$ ) von 40°C und einer Kondensationstemperatur ( $T_{\text{evap}}$ ) von 80°C im T, s – Diagramm mit folgenden Vereinfachungen dargestellt: Etwaige Druckverluste in den Wärmetauschern wurden vernachlässigt, weshalb die Wärmeaufnahme bei konstantem Niederdruck (sowohl Verdampfung als auch Überhitzung) und die Wärmeabgabe bei konstantem Hochdruckniveau (sowohl Enthitzung als auch Kondensation und ggfs. Unterkühlung) erfolgt. Die Irreversibilitäten während der Verdichtung im Kompressor werden über den sogenannten isentropen Kompressorwirkungsgrad ( $\eta_{\text{is-K}}$ , siehe Gl. (8)) berücksichtigt, da diese neben anderen Parametern einen wesentlichen Einfluss auf die Verdichteraustrittstemperatur und auf den COP der Wärmepumpen haben. (Zotter, 2014)

$$\eta_{\text{is-K}} = \frac{\Delta h_{\text{is}}}{\Delta h_{\text{ef}}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} ; (h_{2s} = h(s_1, p_2)) \quad (8)$$

Durch die Vereinfachungen gleicht der „vereinfachte reale Prozess“ bis auf die nicht isentrope Verdichtung und die Überhitzung dem Perkins-Evans-Prozess.

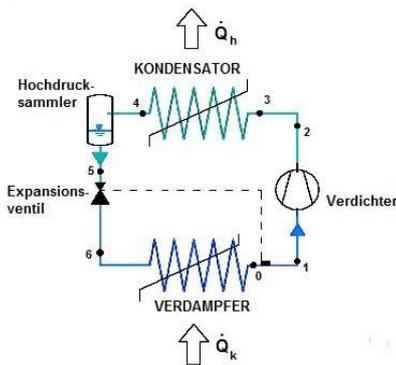


Abbildung 23: Schema einer einstufigen Kaldampf-Kompressions-Wärmepumpe

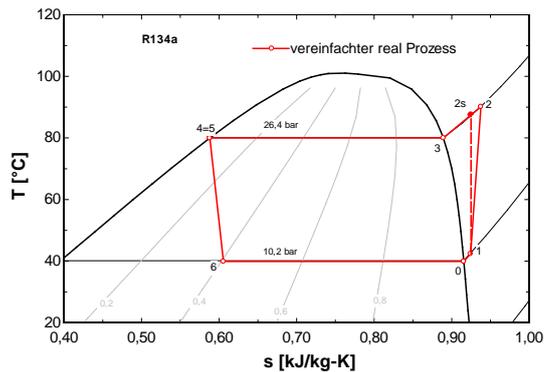


Abbildung 24: Kreisprozess einer einstufigen Kaldampf-Kompressions-wärmepumpe im T/s – Diagramm ( $\eta_{is-K} = 0,8$ ;  $T_{evap} = 40^\circ\text{C}$ ;  $T_{cond} = 80^\circ\text{C}$ )

Abbildung 25 zeigt sowohl den vereinfachten Real-Prozess sowie auch den realen Prozess mit Druckverlusten und thermischer Masse des Kompressors im  $\log(p)/h$ -Diagramm. Beim realen Prozess hat das Kältemittel beim Ansaugen eine niedrigere Temperatur als die Zylinderwand ( $T < T_{\text{adiabater Punkt}}$ ), weshalb es Wärme vom Kompressor aufnimmt. Infolge der Verdichtung nimmt die Kältemitteltemperatur weiter zu, bis diese höher als die Temperatur der Zylinderwand ist ( $T > T_{\text{adiabater Punkt}}$ ) und das Kältemittel gibt Wärme an den Kompressor ab. Bis zum adiabaten Punkt kommt es während der Verdichtung zur Entropiezunahme (Wärmeaufnahme) und danach zur Entropieabnahme (Wärmeabgabe). (Pohlmann, 2010)

Sowohl die Druckverluste im Verdampfer und Kondensator als auch der Wärmeaustausch zwischen Zylinderwand und Kältemittel werden für Prozessanalysen oft vernachlässigt.

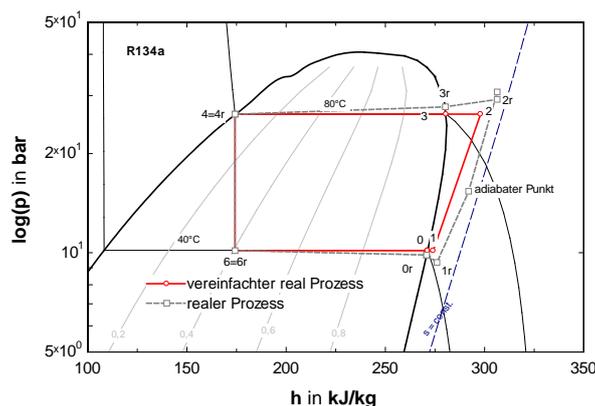


Abbildung 25: Verlauf des Realprozesses und des vereinfachten realen Kreisprozesses ohne Druckverluste und ohne thermische Masse des Kompressor einer Kaldampf-Kompressionswärmepumpe ( $\eta_{is-K} = 0,8$ ;  $T_{evap} = 40^\circ\text{C}$ ;  $T_{cond} = 80^\circ\text{C}$ ) (Zotter, 2014 vgl. mit Pohlmann, 2010)

## Mehrstufige Kaltdampfkreisläufe:

Zur Verbesserung der Effizienz - speziell bei hohen Druckverhältnissen (i.d.R. bei hohen Temperaturhüben) - werden Kompressions-Wärmepumpen (Kaltdampfprozess) nicht nur einstufig sondern auch mehrstufig ausgeführt. Dabei wird die Druckerhöhung auf zwei Verdichtungsstufen aufgeteilt und die daraus resultierende „Carnotisierung“ des Kreislaufes die Effizienz verbessert (Rieberer et al., 2009). In Abbildung 26 ist ein Anlagenvergleich mit den entsprechenden Kreisprozessen im T/s-Diagramm für folgende Kompressions-Kaltdampfkreisläufe dargestellt:

- 1-stufig,
- Economizer-Schaltung
- 2-stufig

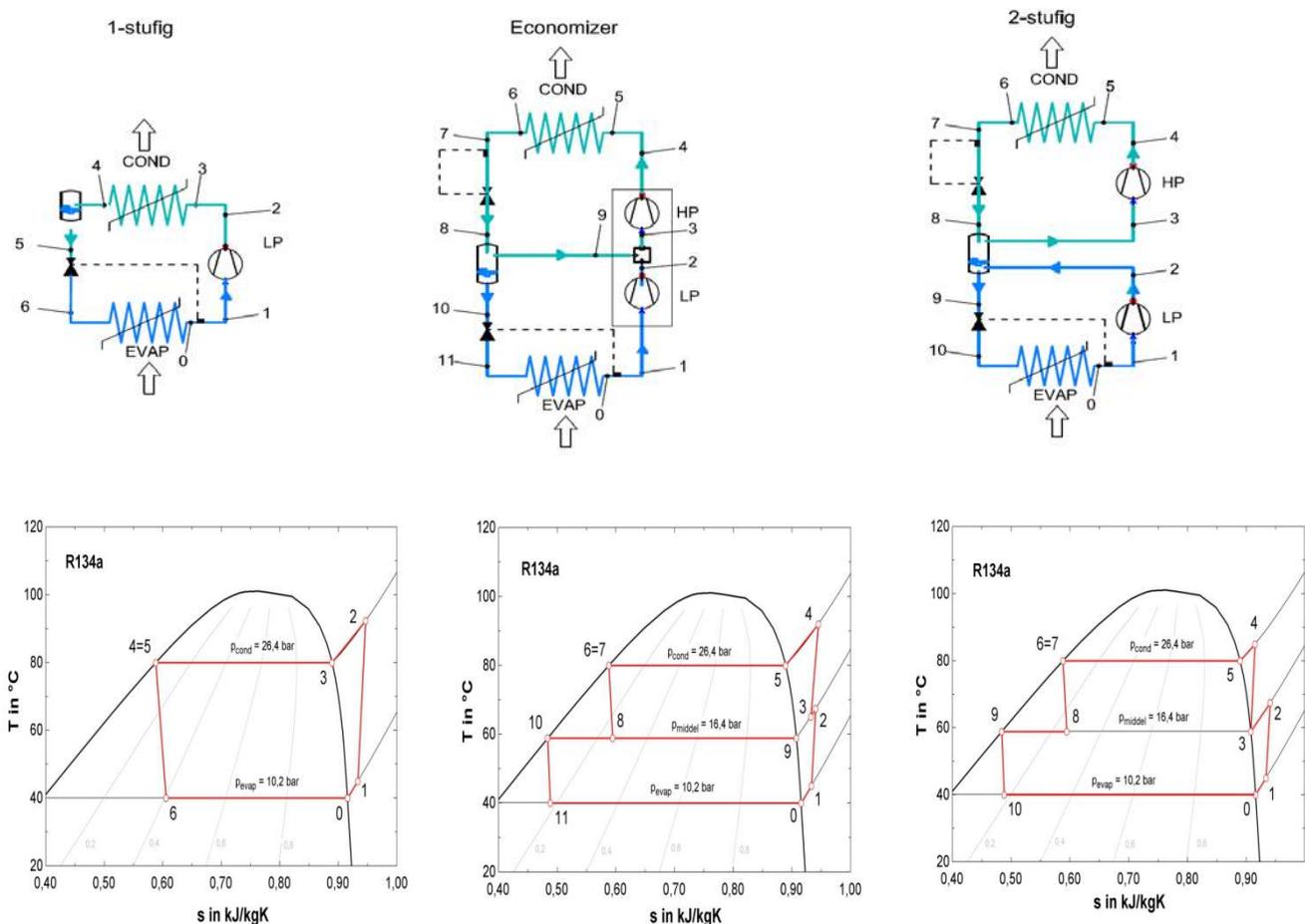


Abbildung 26 Anlagenschema einer 1-stufigen, Economizer- und 2-stufigen Kompressions-WP inkl. dazu gehörige Kreisläufe für R134a in T/s – Diagramm (Zotter, 2014)

Zusätzlich zur höheren Effizienz sind die Verdichteraustrittstemperaturen beim **2-stufigen** im Vergleich zum 1-stufigen Kreislauf niedriger. Dies ist vor allem bei Hochtemperaturanwendungen ein wesentlicher Vorteil, da aufgrund der hohen Drucklagen eine zu hohe Verdichteraustrittstemperatur meist eine

limitierende Größe darstellt, da hohe Verdichteraustrittstemperaturen einerseits eine hohe thermische Bauteilbelastung des Kompressors bedeuten und andererseits kaum Kompressor-Öle für diesen Temperaturbereich am Markt erhältlich sind. Aufgrund der zwei benötigten Verdichter ist der 2-stufige Kreislauf aber komponentenintensiv und daher relativ teuer in der Anschaffung im Vergleich zum einstufigen Kreislauf.

### **Absorptions-/Kompressions-Wärmepumpprozess**

Die „Hybrid-Wärmepumpe“ ist prinzipiell eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe, stellt aber hinsichtlich des verwendeten Prozesses eine Kombination von Absorptions- (siehe auf S. 63ff) und Kaltdampfkompresseionskreislauf dar. In Abbildung 27 ist schematisch ein 1-stufiger Kreislauf, der s.g. Osenbrück-Cycle (1895), dargestellt. Auch in der Hybrid-WP wird Kältemitteldampf mittels eines Verdichters von Niederdruck auf Hochdruck komprimiert. Jedoch wird zusätzlich zum Kältemittel auch ein Lösungsmittel eingesetzt, sprich anstelle eines Verdampfers wird Wärme auf niederem Temperaturniveau in einem Desorber von der Wärmequelle aufgenommen und nach der Druckerhöhung anstelle eines Kondensators über einen Absorber die Wärme bei deutlich höherem Temperaturniveau an die Wärmesenke wieder abgegeben. Die für die Temperaturerhöhung notwendige Druckerhöhung erfolgt mittels eines elektrisch angetriebenen Kompressors und einer Lösungsmittelpumpe.

Im Zuge der Tätigkeiten des IEA HPP Annex 35 wurden Simulationsmodelle für verschiedene „hybride“ Absorptions/Kompressions-Wärmepumpenkreisläufe für das Arbeitsstoffpaar Ammoniak/Wasser am Institut für Wärmetechnik erstellt. Abbildung 28 zeigt die Abhängigkeit des  $COP_H$  (siehe Gl.(9)) und des Hochdrucks ( $p_{high}$ ) eines 1-stufigen Osenbrück-Kreislauf (siehe Abbildung 27) vom spezifischen Lösungsumlaufes ( $f$ , siehe Gl.(10)). Wie in Abbildung 28 ersichtlich, kann durch den Einsatz des Lösungsmittels die Hochdrucklage für ein bestimmtes geforderte Temperaturniveau gesenkt werden, wodurch sich Hybrid-Wärmepumpen besonders für die Hochtemperaturanwendung eignen.

$$COP_H = Q_{ABS} / (P_{Compressor} + P_{Solution Pump}) \quad (9)$$

$$f = m_{Solution Pump} / m_{Compressor} \quad (10)$$

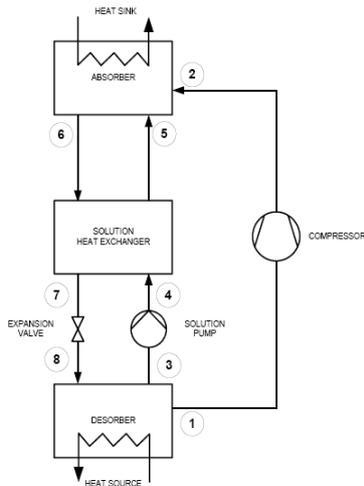


Abbildung 27: Fließschema einer Hybrid-Wärmepumpe, der s.g. Osenbrück-Cycle (Nordtvedt, 2005)

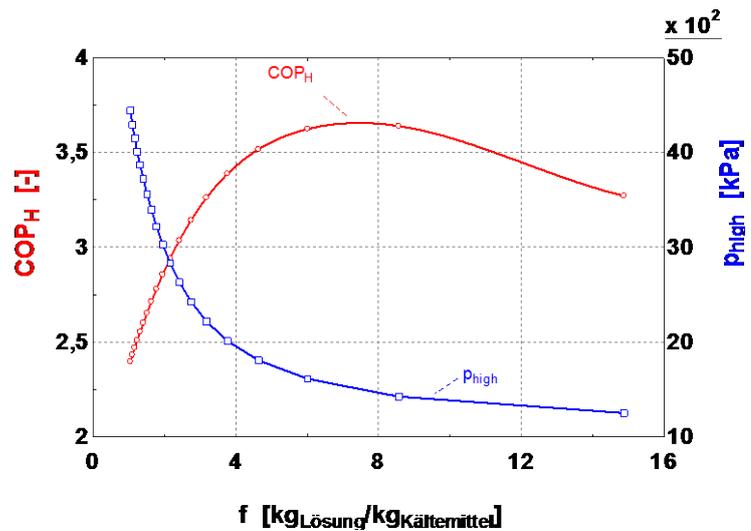


Abbildung 28: Simulationsergebnisse -  $COP_H$  &  $p_{high}$  vs.  $f$  für eine Hybrid-Wärmepumpe (Osenbrück-Cycle) @  $p_{low} = 2 \text{ bar}$ ,  $t_{source,in} = 40^\circ\text{C}$ ,  $t_{sink,out} = 85^\circ\text{C}$  (Vehovec et al., 2015)

Ein weiterer Vorteil ist der Temperaturgleit beim De- bzw. Absorptionsvorgang, wodurch sich der Kreislauf gut an die Wärmequelle bzw. -senke anpassen lässt, siehe Abbildung 29.

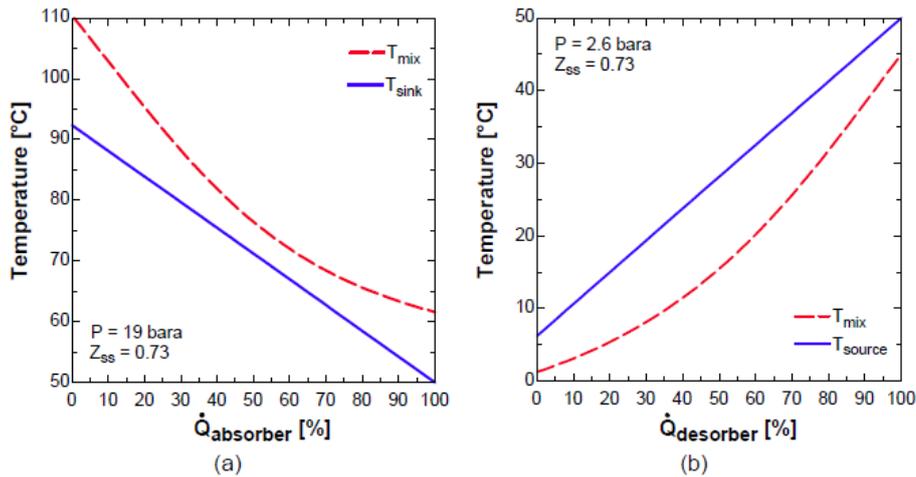


Abbildung 29: Temperatur des Arbeitsstoffpaares und des a) Wärmesenkenmediums bzw. b) Wärmequellenmediums versus der a) der Heizleistung und b) der Wärmequellenleistung (Nordtvedt, 2005)

## Mechanische Brüdenverdichter

Als Brüden wird lt. Stephan et al. (2010) der entstehende Abdampf beim Eindampfen von Lösungen, Suspensionen oder Emulsionen, wie beispielsweise zum Konzentrieren von Milch, Orangensaft, Salz- oder Zuckerlösungen, bezeichnet. Das Eindampfen gehört zu den thermischen Trennprozessen. Um den Energiebedarf für das Eindampfen zu verringern, werden s.g. thermische (siehe unter Pkt. b n diesem Kapitel) oder mechanische Brüdenverdichter (siehe Abbildung 30) eingesetzt. Der mechanische Brüdenverdichter arbeitet prinzipiell nach dem offenen Wärmepumpenkreislauf (siehe Abbildung 31).

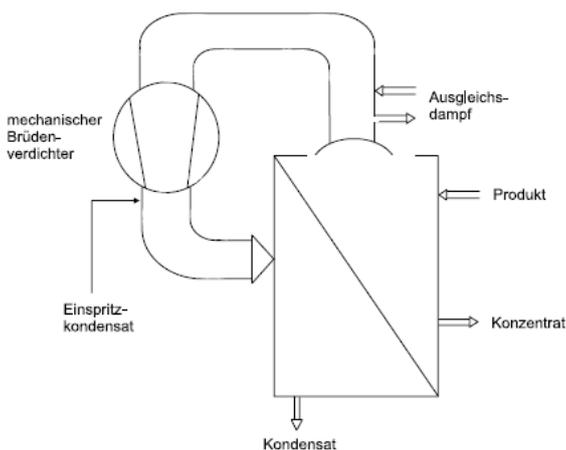


Abbildung 30: Anlagenschaltbild eines mechanischen Brüdenverdichters (Stephan et al., 2010)

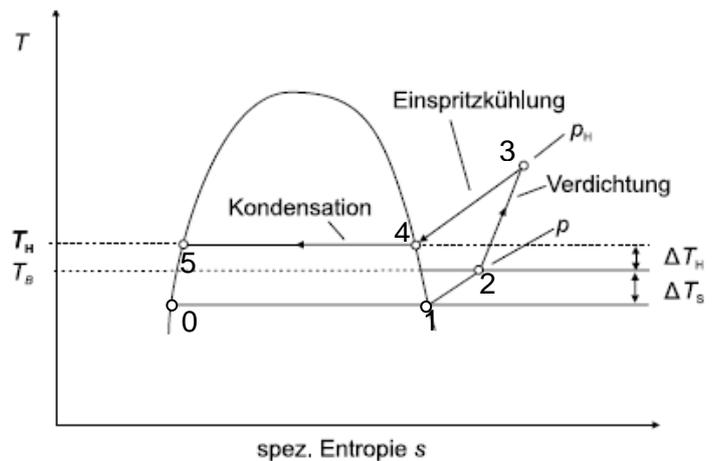


Abbildung 31: Prinzip der Brüdenverdichtung im  $T, s$  - Diagramm (basierend auf Stephan et al., 2010)

Die benötigte Energie zum Eindampfen wird beim mechanischen Brüdenverdichter über den abzuführenden Abdampf bereitgestellt, indem dieser über einen Kompressor, z.B. Radial-, Axial-, Schraubenverdichter etc., zur Erhöhung der Sättigungstemperatur auf einen höheren Druck verdichtet wird. Anschließend wird der verdichtete Brüdendampf auf Hochdruckniveau auf der Heizseite des Eindampfkessels wieder kondensiert. Die freiwerdende Kondensationswärme dient zum Eindampfen der Lösung. (siehe Stephan et al., 2010)

Bei Lösungen werden die Brüden meist, wie in Abbildung 31 ersichtlich, leicht überhitzt ( $\Delta T_s$  von 1 auf 2) bevor sie aus dem Produktraum abgesaugt werden. Danach wird der Brüdendampf im Verdichter polytrop von Niederdruck ( $p$  = Druck im Produktraum) auf Hochdruck ( $p_H$ ) verdichtet (2 auf 3), wobei sich der Brüden abhängig vom Kompressionsverhältnis und dem Verdichterwirkungsgrad überhitzt. Sofern die Überhitzung nicht zu hoch ist, wird der Brüden direkt dem Heizraum des Produktraums zugeführt, wo er kondensiert und die notwendige Wärme zum Eindampfen abgibt (3 auf 4 auf 5). Bei höheren Überhitzungen wird - zum thermischen Bauteilschutz - dem Brüden vor der Kondensation (4 auf 5) noch Kondensat zur Kühlung des überhitzten Brüdendampfes eingespritzt, wodurch dieser isobar bis auf ca. Kondensationstemperatur abkühlt (3 auf 4). Um die Energiebilanz des Verdampfens zu schließen und somit konstante Betriebsbedingungen zu gewähren, sind meistens geringe Mengen an

Überschusswärme abzuführen oder kleine Mengen an Ausgleichsdampf einzuspeisen. (siehe Sattler, 2001 und Stephan et al., 2010)

Die Brüdenverdichtung kann sowohl ein- als auch mehrstufig ausgeführt werden und ermöglicht eine erhebliche Fremddampfersparnis und somit Energieeinsparung. Die Leistungsklassen solcher Anlagen liegen i.d.R. im MW-Bereich und finden vor allem in der Lebensmittel-, Chemieindustrie und bei der Salzgewinnung Einsatz.

### Kaltgasprozess:

Beim Kaltgasprozess (Joule-Brayton Prozess) bleibt das Kältemittel stets gasförmig. Als Kältemittel werden Wasserstoff, Helium, Luft (Kaltluftmaschine) u. a. verwendet. Die Funktion der Kaltgasmaschine (Gaskältemaschine) beruht auf der Expansion in einer arbeitsleistenden Maschine und der gleichzeitigen Abkühlung von Gasen, die vorher mechanisch komprimiert wurden. Gaskältemaschinen wurden ursprünglich für die Erreichung sehr tiefer Temperaturen eingesetzt. Wenn Temperaturen unter  $-100\text{ °C}$  erzeugt und aufrechterhalten werden sollen sind Gaskältemaschinen den Dampfkältemaschine überlegen. Bei höheren Temperaturen werden Kaltgasmaschinen nur für Sonderaufgaben wie Flugzeug- und Eisenbahnklimatisierung etc. verwendet. Da Luft, Wasserstoff und Helium als Kältemittel bezüglich der Ozonschicht und des Treibhauseffektes unschädlich sind, ist eine zunehmende Nutzung wahrscheinlich und auch der Einsatz als Wärmepumpe denkbar (Langeheinecke et al., 2008).

Das Kältemittel wird verdichtet (2–3, siehe Abbildung 32) und soweit abgekühlt, wie es die Wärmesenke ermöglicht (3–4). In der Expansionsmaschine kühlt sich das Medium durch Arbeitsabgabe bis auf die tiefste Temperatur im Prozess ab (4–1). Bei der folgenden Wärmeaufnahme (1–2), also bei steigender Temperatur, wird Wärme von der Wärmequelle bzw. dem zu kühlenden Medium aufgenommen. Im Gegenteil zum Kaltdampfprozess, bei dem die Kälteleistung bei konstanter Verdampfungstemperatur zur Verfügung steht, werden beim Kaltgasprozess Wärmequellen und –senken mit großen Temperaturspreizungen eingesetzt, da die Wärmeabgabe bzw. Wärmeaufnahme nicht bei konstanten Temperaturen erfolgt.

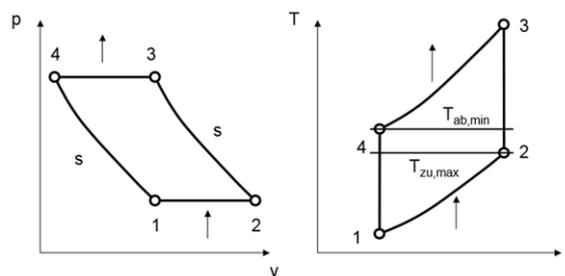


Abbildung 32:  $p,v$ - und  $T,s$ -Diagramm des linksläufigen Joule-Brayton Prozesses (Sattelmayer, 2014)

Die Effizienz des Joule-Brayton Prozesses ist stark vom isentropen Wirkungsgrad der Verdichtung abhängig. Für einen sinnvollen Einsatz sollte der isentrope Wirkungsgrad höher 95 % und das Druckverhältnis nicht zu groß sein. Bei höheren Druckverhältnissen müssen eventuell mehrere

Druckstufen realisiert werden. In der folgenden Abbildung 33 ist die Abhängigkeit des  $COP_K$  für den Kühlbetrieb vom Druckverhältnis und vom isentropen Wirkungsgrad im Betriebspunkt  $T_2 = -30\text{ °C}$  und  $T_4 = +20\text{ °C}$  mit Luft als Kältemittel, dargestellt.

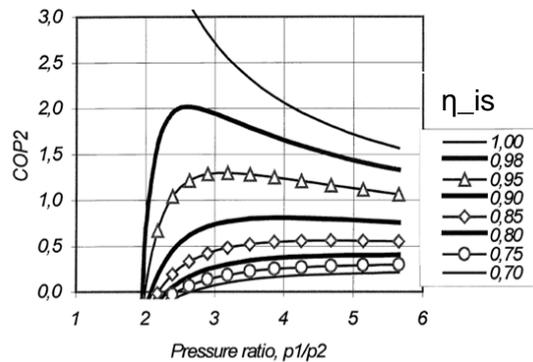


Abbildung 33: COP im Kühlbetrieb eines Joule-Brayton Prozesses mit Luft als Kältemittel (Granryd et al., 2005)

Durch den Einsatz von Kältemitteln mit besseren thermodynamischen Eigenschaften z.B Helium, kann der COP weiter gesteigert werden.

Das österreichische Unternehmen ECOP hat eine Wärmepumpe nach dem Kaltgasprozess entwickelt, mit dem Abwärme in industriellen Prozessen genutzt werden soll und Temperaturen auf der Wärmeabgabeseite bis zu  $150\text{ °C}$  bereitgestellt werden können (siehe Kapitel 3.3.4).

### Transkritischer Wärmepumpprozess

Die Technologie der  $CO_2$ -Wärmepumpen hat bereits die Marktreife erreicht und immer mehr Komponentenhersteller bieten ihre Produkte für transkritische  $CO_2$  Anwendungen an. Trotzdem ist die Auswahl an Komponenten und Systemen – verglichen mit der konventionellen Kältetechnik- und Wärmepumpenindustrie – relativ gering.

Wegen der spezifischen Stoffeigenschaften von  $CO_2$  unterscheiden sich transkritische  $CO_2$ -Kälteprozesse von den konventionellen, unterkritischen Kälteprozessen sowohl thermodynamisch als auch konstruktiv. Die transkritischen  $CO_2$ -Kälteprozesse weisen einen hohen Wirkungsgrad bei großen Temperaturspreizungen auf der Wärmesenkenseite auf, aber nur bei ausreichend niedriger Rücklauftemperatur bzw. bei niedrigem Dampfgehalt des Kältemittels am Eintritt in den Verdampfer. Eine weitere Besonderheit dieser Prozesse ist das Auftreten hoher Arbeitsdrücke.

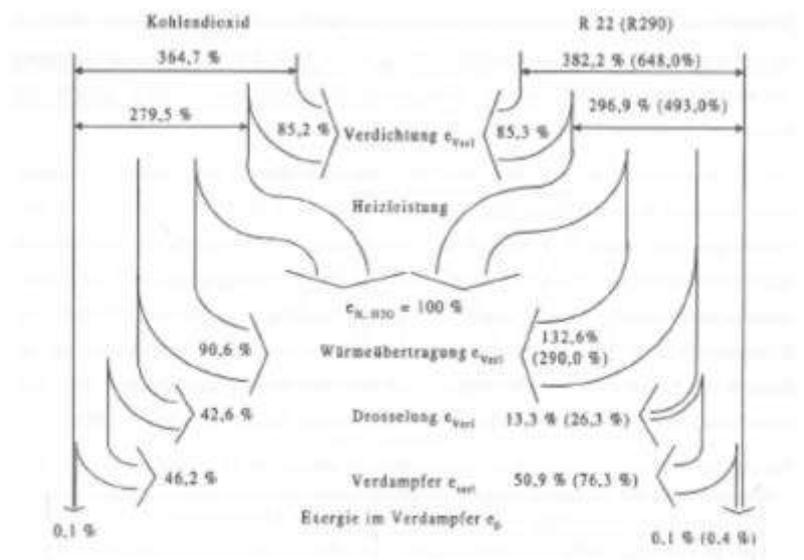


Abbildung 34: Exergieschaubild des transkritischen CO<sub>2</sub>- und des unterkritischen R22 bzw. R290-Prozesses für eine Wärmepumpe zur Warmwassererwärmung von 10°C auf 60°C (Heyl, 2000)

Eine Exergieanalyse (Abbildung 34) zeigt, dass die größten Exergieverluste des transkritischen CO<sub>2</sub>-Prozesses im Vergleich mit einem unterkritischen Prozess mit anderen Kältemitteln bei der Expansion des Kältemittels auftreten, wobei dies maßgeblich von der Temperaturspreizung der Wärmesenke abhängt. Des Weiteren wird, auf Grund der thermodynamischen Eigenschaften von CO<sub>2</sub>, die Effizienz maßgeblich durch das Temperaturniveau des Kältemittels am Austritt aus dem Gaskühler beeinflusst.

Die meisten Verbesserungsansätze, die zum Ziel eine Effizienzsteigerung des CO<sub>2</sub>-Kältekreis haben, nehmen als Ausgangspunkt folgende Ansätze:

- Verwendung eines internen Wärmeübertragers (Sauggaswärmeübertrager) zur Senkung der Drossel Eintrittstemperatur und des optimalen Hochdruckes im System.
- Mehrstufige Verdichtung mit oder ohne Zwischenkühlung.
- Nichtadiabate bzw. arbeitsleistende Entspannung zur Verminderung der Drosselverluste.
- Einsatz eines Ejektors (Dampfstrahlpumpe).

Diese Verbesserungsansätze werden im Folgenden kurz beleuchtet.

#### Interner Wärmeübertrager (Sauggas-Wärmeübertrager)

Um der negativen Auswirkung von hohen Temperaturen des CO<sub>2</sub> vor der Entspannung auf die Effizienz des transkritischen Kältekreis entgegenzuwirken, wurde von Lorentzen und Pettersen (1993) der Einsatz eines internen Wärmeübertragers vorgeschlagen. Durch einen Teil des internen Wärmeübertragers (auch Sauggas-Wärmeübertrager genannt) fließt das aus dem Verdampfer kommende Kältemittel auf Niederdruckniveau und wärmt sich auf. Im anderen Teil des

Wärmeübertragers fließt das aus dem Gaskühler kommende, Kältemittel auf Hochdruckniveau und wird abgekühlt. Abbildung 35 zeigt das Schema des Kältekreislaufes und den Prozess im T-s Diagramm.

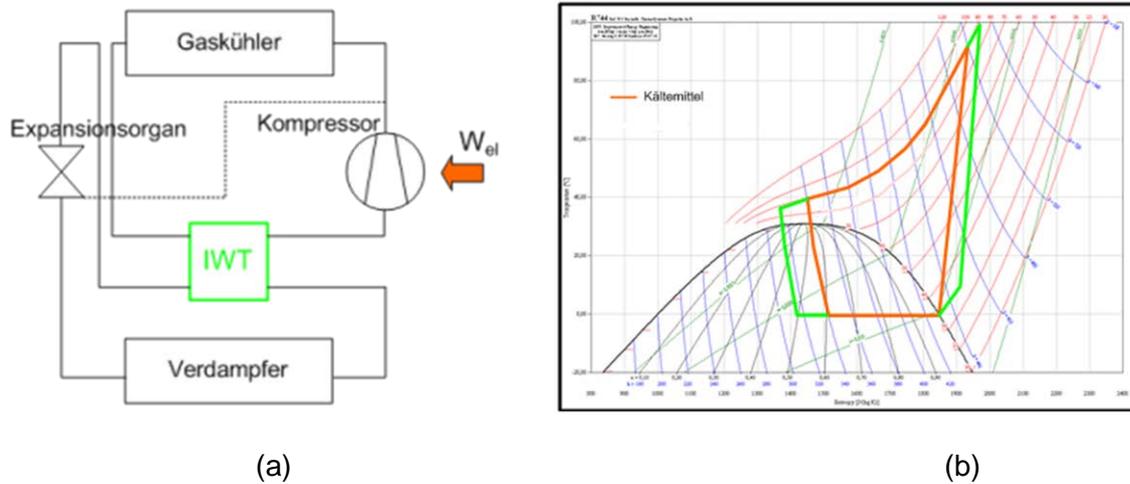


Abbildung 35: Kältekreislauf mit internem Wärmeübertrager (a) und das T-s Diagramm des Prozesses (b)

Der interne Wärmeübertrager hat dabei zwei Hauptfunktionen:

- Er stellt sicher, dass das in der Saugleitung vor dem Verdichter befindliche Kältemittel genügend überhitzt ist und damit keine flüssige Phase im Kältemittelstrom auftritt. Das ist wichtig bei einigen Verdichtertypen (z.B. Kolbenverdichter) um Flüssigkeitsschläge im Zylinderraum und damit eine Beschädigung des Verdichters zu vermeiden.
- Eine Kühlung des Kältemittels bis nahe der Verdampfungstemperatur vor der Expansion führt zu einem geringeren Dampfgehalt nach der Expansion. Dadurch wird die Effizienz des Kältekreislaufes gesteigert, bzw. die Irreversibilität während der adiabaten Drosselung reduziert.

Der Einfluss des internen Wärmeübertragers wurde bereits, sowohl theoretisch als auch experimentell detailliert untersucht (z.B. Boewe et al, 2001, Chen und Gu, 2005, Kim et al., 2005). Alle Untersuchungen zeigten eine Steigerung der Effizienz durch die Integration des IWT in den Kältekreislauf. Die maximale Steigerung variiert zwischen 10% (Aprea und Maiorino, 2009) und 25% (Boewe et al., 2001). Neben der Verringerung des Dampfgehaltes am Eintritt in den Verdampfer, bewirkt der IWT auch eine Verminderung des optimalen Hochdruckes sowie ein Aneinanderrücken des optimalen Hochdruckes und des Hochdruckes, der für den Kältekreislauf die höchste Leistung aufweist. Niedrigere Hochdrücke bedeuten auch kleinere Kompressionsleistung, da der IWT keinen maßgeblichen Einfluss auf den Niederdruck hat und der Druckverlust im Wärmeübertrager eher gering ist. Boewe et al. (2001) haben des Weiteren gezeigt, dass der Einfluss des IWTs bei hohen Wärmesenkeneintrittstemperaturen am größten ausfällt.

### Zweistufige Prozesse

Zweistufige Kompression hat zum Ziel die internen Verluste in dem Verdichter, die primär von der Sauggas-Temperatur und dem Verdichtungsverhältnis abhängig sind, zu minimieren. Das Verdichtungsverhältnis pro Verdichtungsstufe wird kleiner, was eine positive Auswirkung auf den

isentropen Wirkungsgrad des Kompressors hat. Dazu wurden in der Vergangenheit eine Reihe von Kältekreisen entworfen und untersucht.

Beispiele für zwei- und mehrstufige Kältekreisconfigurationen sind in der Abbildung 36 dargestellt.

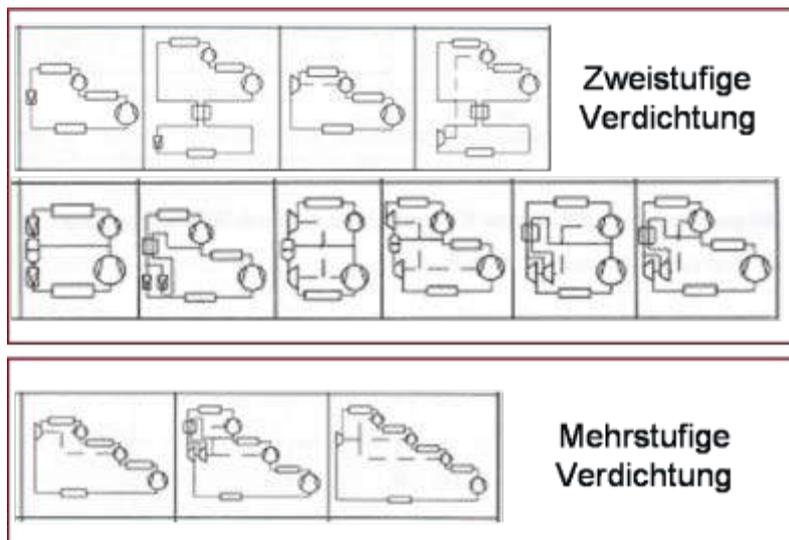


Abbildung 36: Ausgewählte zwei- und mehrstufige Kältekreisconfigurationen. (Heyl, 2000)

Es gab einige Untersuchungen über die Auswirkung „modifizierter“ Kältekreise auf die Effizienz des Systems. Die meisten publizierten Artikel beziehen sich auf theoretische Analysen, einige beinhalten aber auch theoretische und experimentelle Untersuchungen (zB.: Elbel & Hrnjak, 2004).

#### Rückgewinnung der Kompressionsarbeit

Wie bereits erwähnt, ist die Drosselentspannung bei Temperaturen (weit oberhalb von der Verdampfungstemperatur) vor der Drosselung mit großen Verlusten im transkritischen CO<sub>2</sub>-Grundkältekreis verbunden. Um dem entgegenzuwirken, liegt es nahe die relativ hohe Druckdifferenz, die zwischen dem Hoch- und Niederdruck in transkritischen Kälteprozessen vorkommt, für die Rückgewinnung eines Teils der Kompressionsarbeit zu verwenden. Einige wissenschaftliche Gruppen haben in den letzten Jahren versucht, diesen Ansatz für die Entwicklung von arbeitsleistenden Entspannungsorganen zur Steigerung der Prozesseffizienz zu nutzen.

Heyl (2000) hat eine Verdichtungs-Expansions-Maschine vorgeschlagen. Diese Maschine wurde als Freikolbenmaschine mit doppelwirkenden Kolben konzipiert, Abbildung 37. Die Einheit besteht aus zwei doppelt wirkenden Kolben, die mittels einer Kolbenstange miteinander verbunden sind. Die Austrittsdichte des expandierenden bzw. die Eintrittsdichte des verdichtenden Kältemittelstromes entscheidet über die Anordnung der Arbeitsräume. Die Kältemittelströme werden gleichzeitig

komprimiert bzw. entspannt. Der Vorteil dieser Bauweise ist, dass die gewonnene Expansionsarbeit direkt für die Verdichtung verwendet werden kann. Des Weiteren sind die kompakte Bauweise, die einfache Einbindung in das System, sowie der Entfall einer zusätzlichen Schmierung von Vorteil.

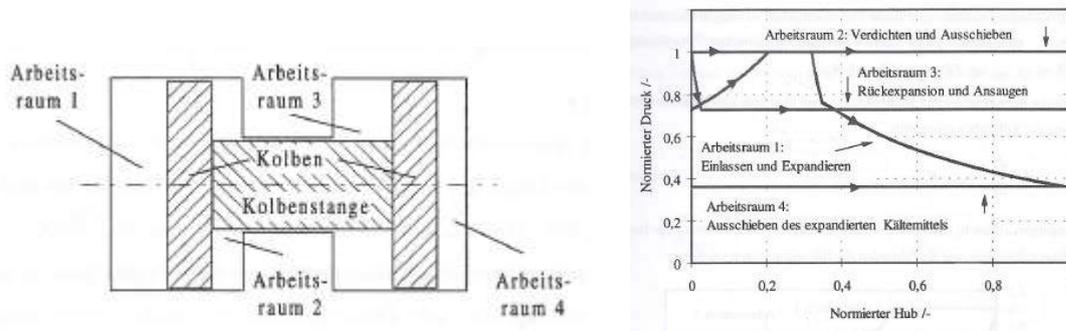


Abbildung 37: Prinzip der Expansions-Kompressionsmaschine in Freikolbenbauweise. (Heyl, 2000)

Die Tests an einem Prüfstand konnten eine Verbesserung der Leistungszahl – verglichen mit dem Grundkältekreis – um 30 % bei gleichen Betriebsbedingungen erzielen. Gemäß den Experimenten sind als nachteilig Geräusch- und Schwingungsentwicklungen zu nennen.

Weitere theoretische und praktische Arbeiten auf dem Gebiet haben z.B. Nickl et al. (2005), Zhang et al. (2007), und Hua et al. (2010) durchgeführt.

### Ejektor

Ein weiterer Ansatz um die Drosselverluste zu minimieren ist die Verwendung eines Ejektors (Dampfstrahlpumpe) anstelle einer Drossel, wie in der Abbildung 38 dargestellt. Im Ejektor wird das Kältemittel auf Hochdruckniveau auf ein mittleres Druckniveau entspannt. Bei der Entspannung in einer Venturi-Düse wird Druckenergie in kinetische Energie umgewandelt und dabei das Kältemittel aus dem Verdampfer angesaugt. Beide Kältemittelströme werden vermischt und gelangen nach einem Diffusor, in dem kinetische wieder in Druckenergie umgewandelt wird, in einen Behälter, in dem die zwei Phasen voneinander getrennt werden. Die flüssige Phase wird dem Verdampfer über ein Expansionsventil zugeführt, die gasförmige Phase wird im Verdichter komprimiert.

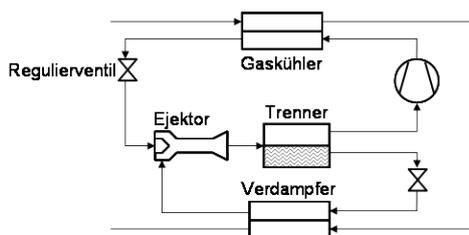
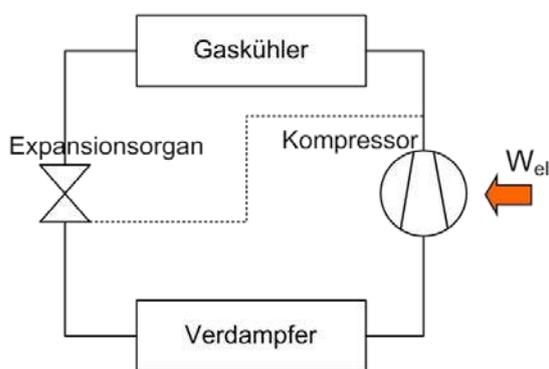


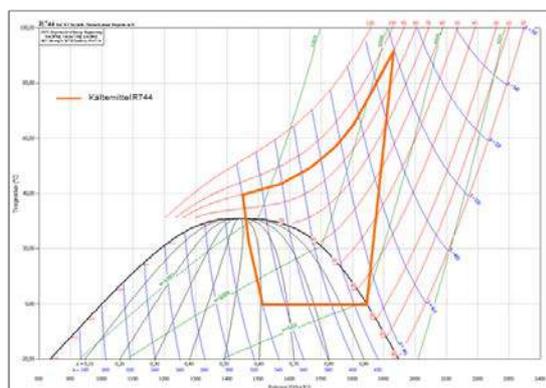
Abbildung 38: Darstellung eines Kältekreislaufes mit dem Ejektor

Die Vorteile des Ejektor-Kältekreises ergeben sich aus dem etwas höheren Niederdruck in der Saugleitung und besserer Ausnutzung von der Verdampferfläche, da der Dampfgehalt am Eintritt niedriger ist. Es wurden einige Studien über die Vorteile des Ejektors im transkritischen CO<sub>2</sub>-Kältekreis publiziert. So haben z.B. Ozaki et al., 2004 mit einem Prototyp eines Pkw-Klimageräts über eine Verbesserung des Wirkungsgrades um 20 % berichtet. Elbel und Hrnjak, 2008 haben ein experimentelles System gebaut und konnten eine Steigerung des Kälte-Wirkungsgrads von 7 % nachweisen.

Die Japanische Firma Denso hat bereits vor einigen Jahren eine Eco-Cute-Wärmepumpe mit einem patentierten Ejektor-Kältekreislauf auf den Markt gebracht. In Japan bieten über 20 Hersteller CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen im Heizleistungsbereich von einigen bis zu 100 kW an. Die meisten davon sind Luft-Wasser-Wärmepumpen, die hauptsächlich zur Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung dimensioniert sind. Sie verfügen in der Regel über einen Wasserspeicher, in dem ein zusätzliches, elektrisches Heizungselement untergebracht ist. Die meisten Hersteller verwenden die einfachste Kältekreislaufkonfiguration, wie in Abbildung 39 (a) dargestellt. Es gibt jedoch einige Hersteller, die auch zweistufige Prozesse (Sanyo, Hitachi) oder Ejektor-Wärmepumpen (Denso, Corona) anbieten. Die höchsten Vorlauftemperaturen bei den meisten Produkten erreichen 90°C.



(a)



(b)

Abbildung 39: Typischer Kältekreis einer CO<sub>2</sub> transkritischen Wärmepumpe

Die meisten Kompressoren im unteren Leistungsbereich sind hermetische Scroll- oder Rollkolbenverdichter, im mittleren und oberen Bereich halb-hermetische Kolbenverdichter.

Die Wärmeübertrager sind wegen den hohen auftretenden Drücken hauptsächlich Koaxiale- oder Rohrbündel-Wärmeübertrager. Einige Firmen, darunter SWEP, Alfa-Laval und SPIREC haben auch Platten- oder Spiralwärmeübertrager speziell für transkritische CO<sub>2</sub>-Anwendungen entwickelt.

Vor allem in der Kältebranche und insbesondere im Segment der Supermärkte, gewinnt CO<sub>2</sub> wegen seiner guten Eigenschaften und Unbedenklichkeit immer mehr an Bedeutung.

Marktrecherche transkritische CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen für den industriellen und gewerblichen Einsatz

Transkritische CO<sub>2</sub> Prozesse werden sowohl für die Heizung als auch für die Kühlung verwendet. Der größte und am besten entwickelte Markt ist Japan, wo die sogenannten EcoCute Wärmepumpen, die hauptsächlich zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung verwendet werden, Verkaufszahlen von über einer Million Einheiten erreicht haben. Es gibt jedoch nur wenige Produkte im etwas größeren Leistungsbereich, die auch für gewerbliche oder industrielle Zwecke geeignet sind.

In Europa wird Kohlendioxid als Kältemittel primär in den Supermärkten für die Lebensmittelkühlung in unterkritischen Kaskadensystemen eingesetzt. Erst in den letzten Jahren wurden transkritische Wärmepumpen auch im größeren Leistungsbereich angeboten und in Industrieprozesse integriert.

Die Recherche nach vorhandenen Produkten für industriellen und gewerblichen Einsatz lieferte einige Hersteller und Produkte, die in Kürze vorgestellt werden.

#### Thermea, Deutschland

Thermea bietet transkritische CO<sub>2</sub>-Hochtemperaturwärmepumpen (Abbildung 40) für den industriellen Einsatz im Heizleistungsbereich von 45 bis 1000 kW an. Die Baureihe thermeco<sub>2</sub> HHR ist mit Hubkolbenkompressoren, die thermeco<sub>2</sub> HHS mit Schraubenkompressoren ausgestattet. Mit beiden Ausführungen sind maximale Vorlauftemperaturen von etwa 90°C bei Quellentemperaturen von 8 – 40°C erreichbar.



(a)



(b)

Abbildung 40: Ansicht der Baureihen HHR (a) und HHS (b) der Thermea thermeco<sub>2</sub> Wärmepumpen.  
(Thermeco<sub>2</sub>, 2014)

#### Advansor, Dänemark

Advansor hat sich in den letzten Jahren auf Produktion von Wärmepumpen und Kältemaschinen mit Kohlendioxid als Kältemittel spezialisiert. Alle Produkte sind für den gewerblichen bzw. industriellen Einsatz entwickelt worden.

Die Baureihe compHEAT ist je nach Modell mit 2 bis 16 Hubkolbenkompressoren ausgestattet (Abbildung 41 und Tabelle 7). Bei jeder Einheit wird zumindest ein Kompressor drehzahl geregelt um die Effizienz im Teillastbereich zu erhöhen. Die Heizleistung der angebotenen Modelle reicht von 100 kW bis zu über 2 MW.

Tabelle 7: Spezifikation der Advansor compHEAT Baureihe. (Advansor, 2014)

Model	S	L	XL
Compressors	2-3	4-8	9-16
Heating capacity [kW]	100-350	350-700	700-2000+
Cooling capacity [kW]	80-280	300-560	560-1600

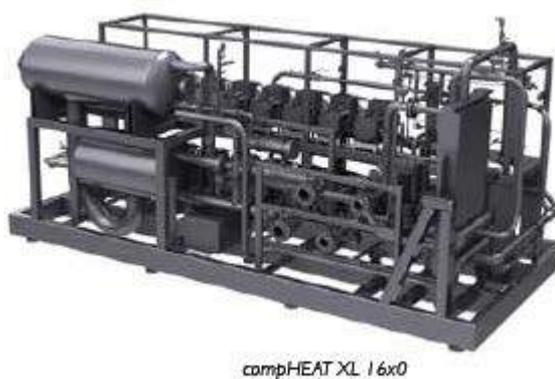


Abbildung 41: Ansicht der Advansor compHEAT Baureihe. (Advansor, 2014)

#### Green&Cool, Schweden

Green&Cool bietet drei Baureihen von Kältemaschinen/Wärmepumpen mit Kohlendioxid als Kältemittel für den industriellen und gewerblichen Einsatz (Abbildung 42). Die Baureihen unterscheiden sich durch die Anzahl der unterschiedlichen Temperaturniveaus bzw. Verdampfeinheiten auf der Quellenseite. Alle Modelle können optional mit einem luft- oder einem flüssiggekühlten Gaskühler oder Verdampfer ausgestattet werden.

Die Mistral Baureihe kann bis zu 6 Hubkolbenkompressoren beinhalten und für Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturanwendungen verwendet werden.

Die Crystal Baureihe kann gleichzeitig Kälte auf zwei Temperaturniveaus bereitstellen: Hoch/niedrig oder mittel/niedrig.

Die Sirocco Baureihe kann gleichzeitig Kälte auf allen drei Temperaturniveaus bereitstellen, z.B. Tiefkühlung, Kühlung, Klimatisierung.



Modell Mistral



Modelle Crystal, Scirocco

Abbildung 42: Ansicht der Green&Cool Baureihen. (Greeandcool, 2014)

#### Japanische Hersteller (EcoCute)

EcoCute ist ein Sammelbegriff für transkritische CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen, die für Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung in Einfamilienhäusern angeboten werden. Mehr als 20 japanische Firmen bieten EcoCute Produkte an, darunter Sanyo, Denso, Hitachi, Mayekawa, Itomic usw. Der Heizleistungsbereich reicht von etwa 10 kW (inklusive Heizstab) bis zu über 100 kW. Die meisten Modelle sind Luft-Wasser Geräte. Bei den größeren Wärmepumpen werden auch flüssige Wärmeträger als Energiequelle verwendet.

Produkte von zwei Herstellern im Bereich über 20 kW werden im Folgenden vorgestellt, die für den gewerblichen und industriellen Einsatz entwickelt wurden.

Mayekawa unimo ist eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer nominellen Heizleistung von etwa 74 kW bei einer Vorlauftemperatur von 65°C, einer Quelltemperatur von 16°C (Austritt 12°C) und einer Wassertemperatur am Eintritt in den Gaskühler von 17°C. Der COP-Wert für diese Betriebsbedingung beträgt 4,2. Diese Werte gelten für den „Energy Saving“ Betriebsmodus. Technische Spezifikationen für andere Betriebsbedingungen sind aus der Abbildung 43 ersichtlich. Die maximale Vorlauftemperatur beträgt 90°C.



Type		Heat pump type water heater					
Model		HE-HWA-2HTC					
Power supply		3-phase 400V AC 50Hz/60Hz					
Performance	Ambient temp.	16°C		25°C <sup>*4</sup>		7°C <sup>*5</sup>	
	Operation mode <sup>*1</sup>	Energy-saving /nominal	power	Energy-saving /nominal	power	Energy-saving /nominal	power
Hot water temp. (65°C)	Heating capacity (kW)	74,0	81,4	83,3	92,3	58,8	77,4
	Absorbed power (kW)	17,7	20,0	18,8	21,6	16,1	25,1
	COP	4,2	4,1	4,4	4,3	3,7	3,1
Hot water temp. (90°C)	Heating capacity (kW)	72,0	78,5	81,8	90,2	59,8	73,9
	Absorbed power (kW)	21,3	23,5	23,2	25,7	19,0	27,5
	COP	3,4	3,3	3,5	3,5	3,1	2,7
Keep temp. (ring back) capacity <sup>*2</sup>	Heating capacity (kW)	41,3	45,7	47,9	52,2	29,8	46,1
	Absorbed power (kW)	22,8	25,4	23,7	26,3	20,0	31,7
	COP	1,8	1,8	2,0	2,0	1,5	1,5

Abbildung 43: Spezifikation der Mayekawa unimo Wärmepumpe. (Mayekawa unimo; 2014)

Mayekawa HeatCOM ist für Heizung und Kühlung mit flüssigen Wärmeträgern konzipiert. Für eine Wärmequellentemperatur von 12°C (mit 5 K Temperaturspreizung) und einer Vorlauftemperatur von 65°C mit Wassereintrittstemperatur in den Gaskühler von 15°C hat die HeatCOM eine Heizungsennleistung von 84,8 kW und einen COP-Wert von 3,6. Weitere technische Daten sind in Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 8: Spezifikation der Mayekawa HeatCOM Wärmepumpe – Einsatzgrenzen (Mayekawa HeatCOM; 2014)

ITEM	UNIT	OPERATING CONDITION		
Heat Exchanger	-	Water heater	Water cooler	
Type	-	-	Brine Cooling	Water Cooling
Fluid	-	Water	Brine	Brine or Water
Inlet Temperature	°C	5 to 50 <sup>1)</sup>	-5 to 37	10 to 37
Outlet Temperature	°C	65 / 90	-9 to 32	5 to 32
Inlet Pressure	MPaG	0.15 to 0.49		
Flow Rate	L/min	8 to 35	100 to 300	

<sup>1)</sup> Upper limit of inlet temperature condition depends on flow rate of both water heat exchanger side and temperature condition

Tabelle 9: Spezifikation der Mayekawa HeatCOM Wärmepumpe – Wärmesenke 65 °C (Mayekawa HeatCOM; 2014)

65 °C HOT WATER SUPPLY TEMPERATURE							
Heat Source °C		Capacity (kW)	Inlet water Temperature				
Inlet	outlet		10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
37	32	Heating	119.7	115.8	-	-	-
		Cooling	103.5	94.5	-	-	-
		Power	22.6	23.2	-	-	-
22	17	Heating	104.4	101.2	98.0	94.0	-
		Cooling	82.5	78.5	74.8	69.8	-
		Power	24.0	24.8	25.6	26.4	-
12	7	Heating	87.5	84.8	81.9	78.7	75.5
		Cooling	66.5	63.2	59.7	56.1	52.4
		Power	22.9	23.5	24.1	24.7	25.2
-5	-9	Heating	51.4	49.9	48.0	46.3	-
		Cooling	35.0	33.4	31.6	29.7	-
		Power	17.8	17.9	18.0	18.1	-

Tabelle 10: Spezifikation der Mayekawa HeatCOM Wärmepumpe – Wärmesenke 90 °C (Mayekawa HeatCOM; 2014)

90 °C HOT WATER SUPPLY TEMPERATURE							
Heat Source °C		Capacity (kW)	Inlet water Temperature				
Inlet	outlet		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
37	32	Heating	110.0	103.0	95.0	82.7	60.6
		Cooling	86.2	79.5	71.0	58.8	35.6
		Power	25.7	25.8	25.9	26.0	26.1
22	17	Heating	97.7	92.3	85.8	77.1	65.9
		Cooling	72.8	67.0	60.2	51.7	40.1
		Power	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9
12	7	Heating	83.2	78.6	72.8	65.9	-
		Cooling	59.9	55.1	49.3	42.1	-
		Power	25.4	25.5	25.6	25.7	-
-5	-9	Heating	52.2	48.8	44.8	-	-
		Cooling	35.6	28.2	28.2	-	-
		Power	18.0	18.3	18.3	-	-

\*This unit has the upper limit of the amount of inlet water and the min. limit of chilled water to protect heat exchangers.

\*The numbers in ( ) shows the reference values because of the operation with water limitation.

\*The values above are simulation values when the difference temperature between inlet water and outlet water without the upper limit of the amount of inlet water.

Itomic EcoCute ist eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und speziell für den gewerblichen Verbrauch entwickelt worden. Das Standardsystem besteht aus der Wärmepumpe und einer Speichereinheit (500 – 3000 l). Die maximale Leistung für 50 Hz Stromnetze liegt bei 26 kW, für Außenlufttemperatur 7°C und eine Vorlauftemperatur von 65°C mit Wassereintrittstemperatur in den Gaskühler von 9°C, Abbildung 44. Der Cop unter diesen Betriebsbedingungen liegt bei 4,0.



*Abbildung 44: Itomic industrial use EcoCute Wärmepumpe. (Itomic, 2014)*

#### Andere Hersteller

Auch andere japanische Hersteller bieten transkritische CO<sub>2</sub> Wärmepumpen in der Leistungsklasse über 30 kW an: z.B. Mitsubishi, Hitachi und Showa. Leider konnten verlässliche Produktdaten von diesen Herstellern nicht gefunden werden.

## b. Thermisch angetriebene Wärmepumpprozesse

Thermisch angetriebene Wärmepumpprozess (TWP) „entziehen“ einer Wärmequelle Wärme auf tieferem Temperaturniveau ( $T_0$ ) und heben diese auf ein höheres Temperaturniveau ( $T_H$ ) an, um diese Wärme an die s.g. Wärmesenke abzugeben. Wird solch ein Prozess für Heizzwecke genutzt, spricht man von thermisch angetriebenen Wärmepumpen für Kühlzwecke von thermisch angetriebenen Kältemaschinen (TKM). Bei beiden handelt es sich um den gleichen Prozess, jedoch liegt der Unterschied im Nutzen. Zum Antrieb des Prozesses, der zwischen drei Temperaturniveaus arbeitet, nützt man die Exergie einer heißeren Wärmequelle auf s.g. Antriebstemperaturniveau, die vom Antriebstemperaturniveau ( $T_A$ ) abhängt.

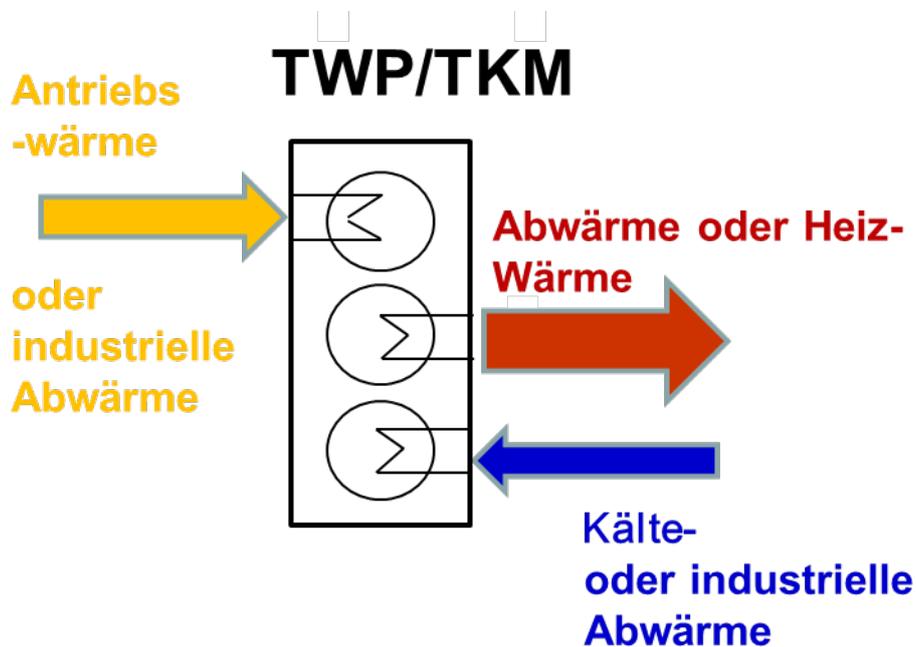


Abbildung 45: Prinzip-Darstellung eines thermisch angetriebenen Wärmepumpprozesses zum Heizen und/oder Kühlen

Thermisch angetriebene Wärmepumpprozesse, wie z.B. Ab-, Adsorptions- oder Dampfstrahlmaschinen etc., können auch zur Generierung von „Kälte“ aus industrieller Abwärme (siehe Abbildung 46) genutzt werden. Voraussetzung dabei ist, dass die industrielle Abwärme ein ausreichend hohes Temperaturniveau ( $> \text{ca. } 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) aufweist, um als Antriebsquelle für die o.a. Kälteprozesse genutzt werden zu können. Die Effizienz für thermisch angetriebene Kältemaschinen wird mit dem aus dem Englischen stammenden Energy Efficiency Ratio (EER) oder mit dem thermischen COP fürs Kühlen ( $\text{COP}_{\text{TH}_0}$ ) bezeichnet. Dieser EER ist das (momentane) Verhältnis aus Nutzleistung, sprich der Kälteleistung ( $Q_0$ ) zur Antriebswärmeleistung ( $Q_{\text{Antrieb}}$ ) gemäß Gl. (11).

$$EER = COP_{TH_0} = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{Q}_{\text{Antrieb}}} \quad (11)$$

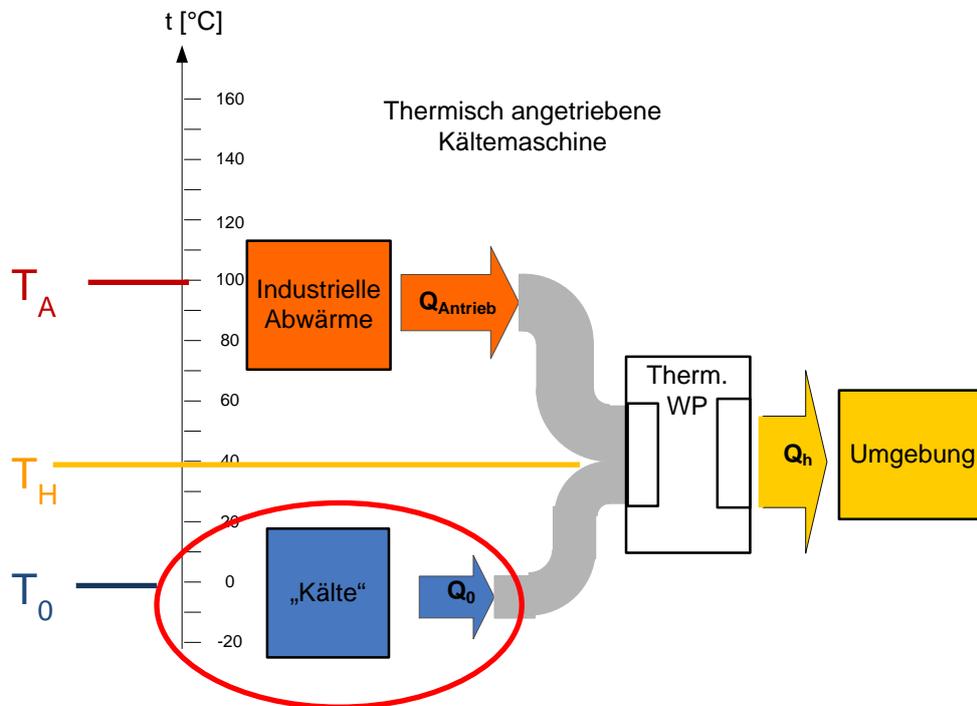


Abbildung 46: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse mit industrieller Abwärme angetriebenen Kältemaschine

Der maximale EER ( $EER_{\text{rev.}}$ ) einer thermisch angetriebenen Kältemaschine wird durch 2 Carnotprozesse zwischen 3 Temperaturniveaus gemäß Gl. (12) bestimmt, der sich aus einem rechtsdrehenden Wärmekraftprozess und einem linksdrehenden Wärmepumpprozess zusammensetzt (siehe Abbildung 48, links).

$$EER_{\text{rev.}} = \frac{T_0}{T_H - T_0} \cdot \left(1 - \frac{T_H}{T_A}\right) \geq EER \quad (12)$$

Zur Bewertung der Energetischen Effizienz über eine bestimmte Periode oder ein Jahr wird auch hier aus dem Englischen stammend der Seasonal Energy Efficient Ratio für thermische Kältemaschinen ( $SEER_{\text{TH}}$ ) gemäß Gl. (13) herangezogen.

$$SEER_{\text{TH}} = \frac{Q_0}{Q_{\text{Antrieb}}} \quad (13)$$

Thermisch angetriebene Wärmepumpen können auch zum Anheben des Temperaturniveaus von industrieller Abwärme auf ein nutzbares Temperaturniveau (z.B. Prozesswärme) eingesetzt werden, sprich für Heizzwecke genutzt werden (siehe Abbildung 47). Dafür muss das Antriebstemperaturniveau i.d.R. über 140 °C liegen, dies hängt im speziellen vom Temperaturhub ab. Der  $COP_{TH,H}$  dieser Anwendung bestimmt sich gemäß Gl. (14).

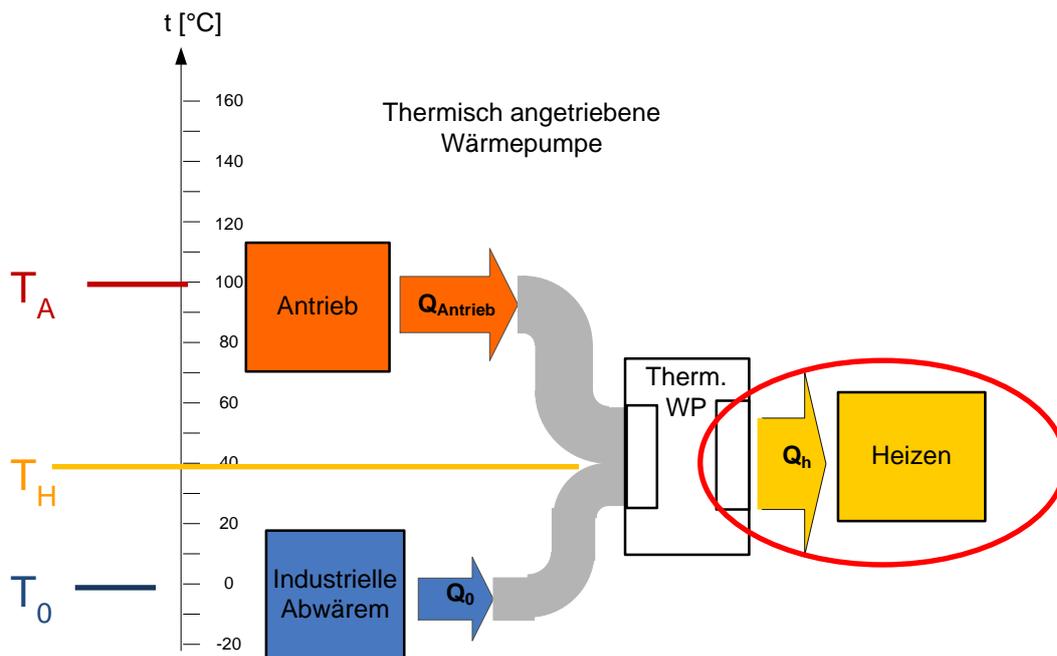


Abbildung 47: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer thermisch angetriebenen Wärmepumpe um Abwärme für Heizzwecke (rote Ellipse) zu nutzen

$$COP_{TH,H} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_{Antrieb}} \quad (14)$$

Der maximale  $COP_{TH,H,rev.}$  einer thermisch angetriebenen Wärmepumpe gemäß Carnot, lässt sich lt. Gl. (15) ermitteln, wobei sich auch dieser gemäß Abbildung 48 (rechts) aus einem rechtsdrehenden Wärmekraftprozess und einem linksdrehenden Wärmepumpprozess zusammensetzt.

$$COP_{TH,H,rev.} = \frac{T_H}{T_H - T_0} \cdot \left( 1 - \frac{T_0}{T_A} \right) \geq COP_{TH,H} \quad (15)$$

Zur Bewertung der Energetischen Effizienz für thermische Wärmepumpen über eine bestimmte Periode oder ein Jahr wird auch hier der Seasonal Performance Factor ( $SPF_{TH,H}$ ) lt. Gl. (16) herangezogen.

$$SPF_{TH_0} = \frac{Q_H}{Q_{Antrieb}} \quad (16)$$

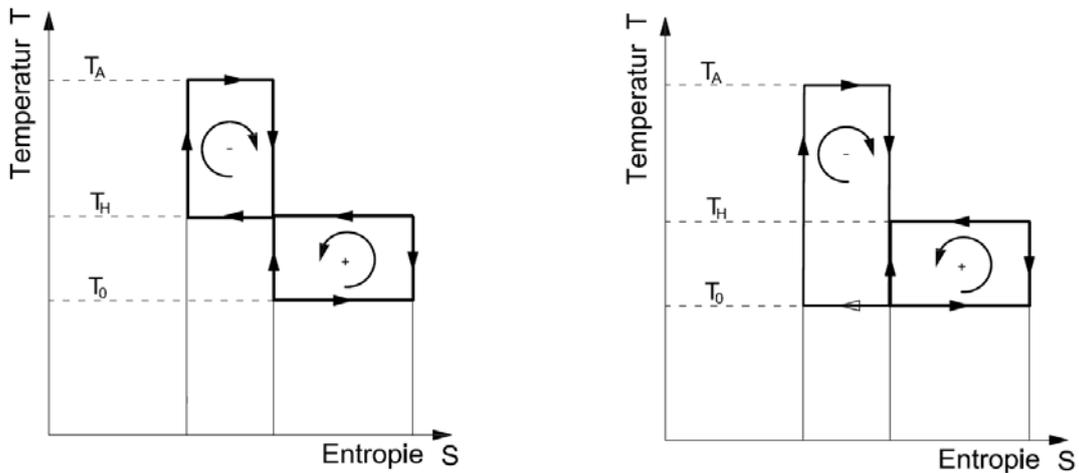


Abbildung 48: links) thermischer Kälteprozess zwischen 3 Temperaturniveaus gemäß Carnot und rechts) thermischer Wärmepumpprozess zwischen 3 Temperaturniveaus gemäß Carnot, im T/S-Diagramm (Zotter, 2014)

Auch thermisch angetriebene Wärmepumpprozesse können im s.g. Bi-Generation, sprich zum gleichzeitigen Nutzen zur „Kälte“- und Wärmebereitstellung herangezogen werden (siehe Pkt. c). (vgl. Zotter, 2014)

Abbildung 49 zeigt einen Überblick von unterschiedlichen thermischen Wärmepumpprozessen, wobei in der Industrie häufig Ab-, Adsorptions- oder Dampfstrahlmaschinen bzw. thermische Brüdenverdichter eingesetzt werden, weshalb sich dieses Kapitel auf diese beschränkt.

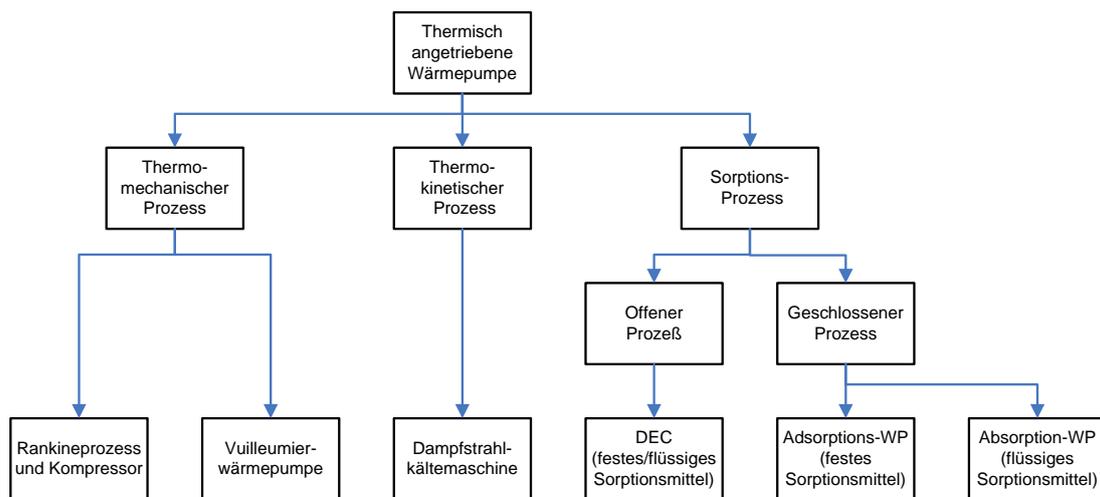


Abbildung 49: Übersicht thermisch angetriebener Wärmepumpprozesse (Rieberer et al., 2009)

## Absorptionswärmepumpprozess

Bei der Absorptionswärmepumpe handelt es sich um einen thermisch angetriebenen Wärmepumpprozess, wobei es sich indirekt auch um einen Kaltdampfprozess handelt, da das Kältemittel im Zweiphasengebiet verdampft bzw. kondensiert wird, jedoch wird der mechanische Verdichter durch einen sogenannten thermischen Verdichter ersetzt.

Der prinzipielle Unterschied zwischen dem Kompressions- und dem Absorptionswärmepumpprozess ist, wie bereits oben erwähnt, die Art der Verdichtung (siehe Abbildung 50 & Abbildung 51), weshalb zusätzlich zum Kältemittel auch ein Lösungsmittel eingesetzt wird. D.h. als Arbeitsmedium wird ein Stoffpaar verwendet, das eigentliche Kältemittel (Sorbit) und das Lösungsmittel (Sorbens). I.d.R. werden als Stoffpaare Ammoniak/Wasser für Verdampfungstemperaturen unter 0°C und Wasser/Lithiumbromid für über 0°C eingesetzt. (Rieberer et al., 2009)

Eine Absorptionswärmepumpe (Abbildung 51) kann in Kältemittelkreislauf, bestehend aus Verflüssiger (Kondensator), Drossel und Verdampfer (ident mit Kompressionswärmepumpe) und dem s.g. Lösungsmittelkreislauf (auch als "thermischer Verdichter" bezeichnet), bestehend aus Absorber, Austreiber (Generator), Pumpe, und der Lösungsmitteldrossel (entspricht dem Verdichter einer Kompressionswärmepumpe) unterteilt werden.

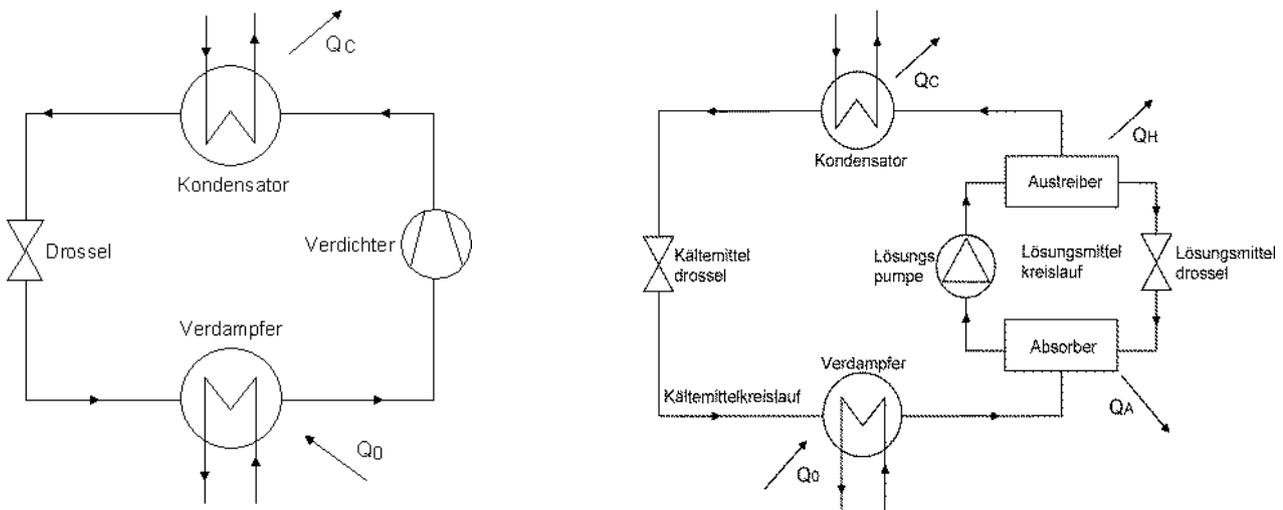


Abbildung 50: Vergleich einer Kompressionswärmepumpe mit einer Absorptionswärmepumpe (Rieberer et al., 2009)

Abbildung 51 zeigt den Prozessverlauf im s.g. Lösungsfeld. Der Prozess der einstufigen Absorptionswärmepumpe läuft zwischen drei Temperaturen bei zwei Druckniveaus ab. Verdampfer und Absorber arbeiten auf dem niedrigen Druckniveau  $p_0$ , Austreiber und Kondensator auf dem hohen Druckniveau  $p$ .

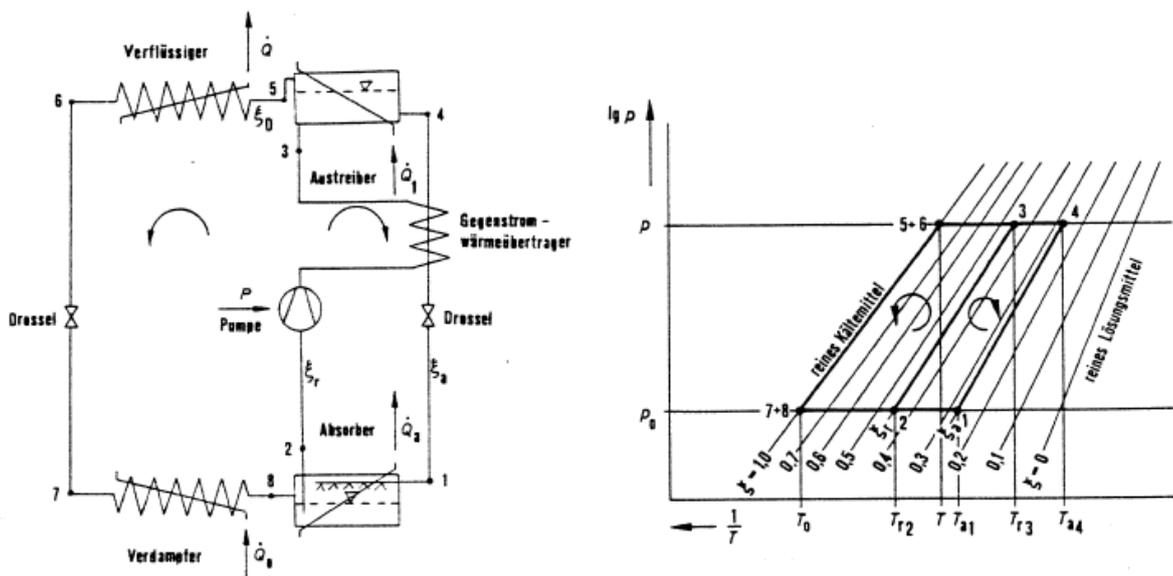


Abbildung 51: Schema der Absorptionswärmepumpe und Prozess im Lösungsfeld ( $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ ) (Cube, 1981)

## Adsorptionswärmepumpprozess

Auch der Adsorptionswärmepumpprozess arbeitet auch zwischen 3 Temperaturniveaus und kann sowohl zum Heizen und/oder Kühlen verwendet werden.

Unter dem Begriff Adsorption versteht man die Bindung von Gasen und Dämpfen (z.B.  $H_2O$ ) an hochporöse feste Stoffe an ihrer Oberfläche. Da es sich um feste Stoffe handelt, erfolgt der Gesamtprozess i.d.R. diskontinuierlich, sprich abwechselnd wird der Feststoff, z.B. Silicagel, einem Adsorptions- und einem Regenerationsvorgang unterzogen. (Rieberer et al., 2009)

Der Aufbau einer Adsorptions-Kältemaschine bzw.- Wärmepumpe mit dem Stoffpaar Silicagel/Wasser ist in Abbildung 52 zu sehen.

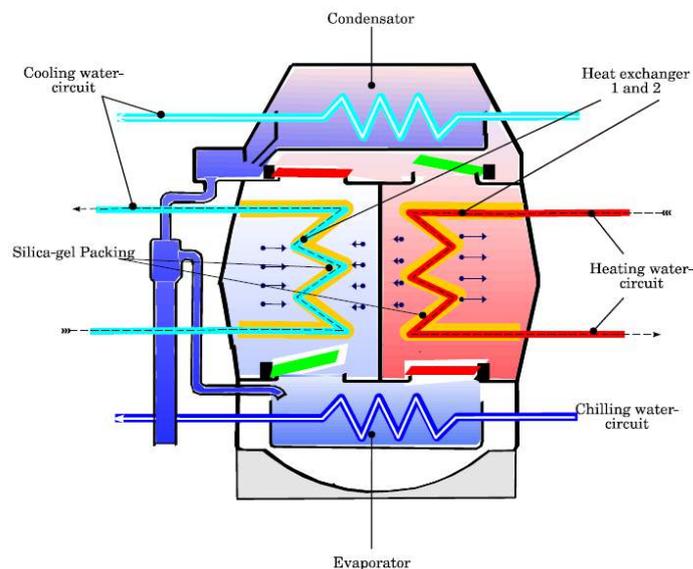


Abbildung 52: Schematischer Aufbau der Adsorptionskältemaschine – NAK Adsorption Chiller (GBU, 1995)

Die Maschine besteht im Wesentlichen aus einem Vakuumbehälter, der in vier Kammern unterteilt ist:

- untere Kammer: Verdampfer
- mittlere Kammern: Adsorber/Desorber
- obere Kammer: Kondensator

Adsorber bzw. Desorber sind jeweils über Klappenventile mit Kondensator bzw. Verdampfer verbunden. In allen vier Kammern befinden sich Wärmetauscher, von denen die beiden mittleren in Silicagel-Granulat gepackt sind. Das im Kondensator verflüssigte Kältemittel wird mit Hilfe einer Pumpe abgesaugt und in den Verdampfer eingespritzt. Zur Aufrechterhaltung bzw. erstmaligen Entfernung des Fremdgases ist eine Vakuumpumpe installiert. Die Betätigung der Klappenventile erfolgt über pneumatische Stellantriebe.

Das diskontinuierliche Funktionsprinzip der Adsorptionskältemaschine ist in Abbildung 53 dargestellt.

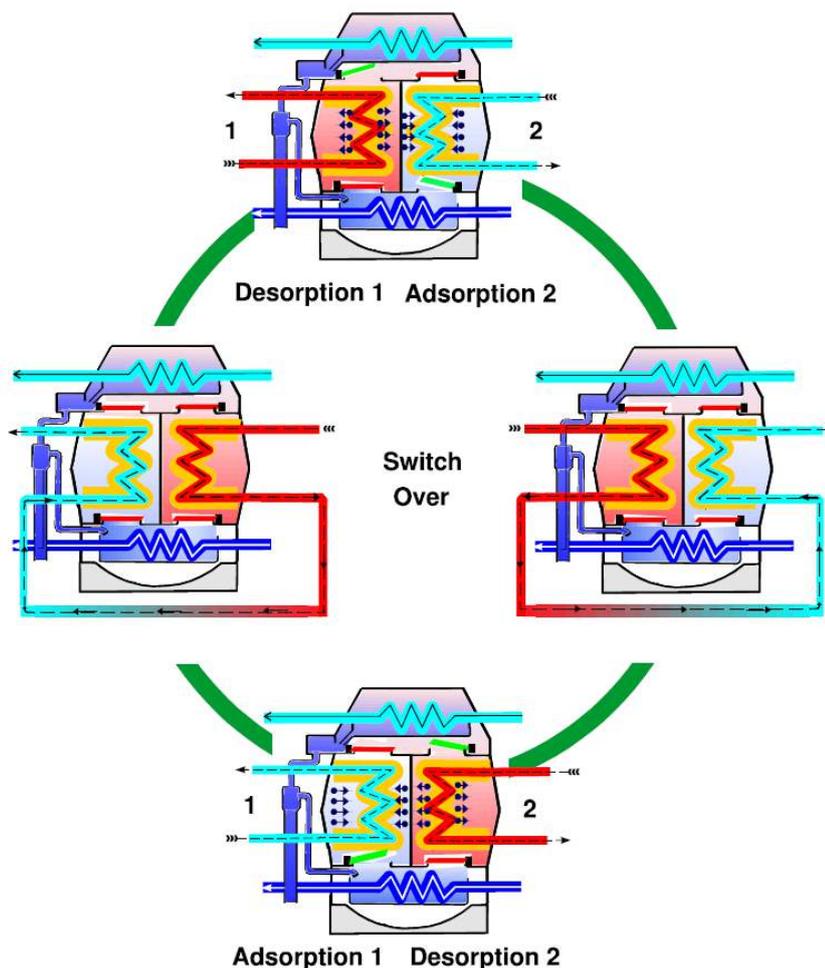


Abbildung 53: Funktion der Adsorptionskältemaschine (GBU, 1995)

Im ersten Schritt wird das Kältemittel (meist Wasser) in den Verdampfer eingespritzt, wobei das Kältemittel verdampft und dabei dem s.g. Kaltwasserkreis Wärme entzieht. Einer der beiden mittleren Wärmetauscher arbeitet abwechselnd als Adsorber, der andere als Desorber. Im Adsorber wird das verdampfte Wasser adsorbiert, während die Adsorptionswärme über das Kühlwasser abgeführt wird. Währenddessen wird im Austreiber durch Zufuhr von Heißwasser das adsorbierte Kältemittel aus dem Silicagel ausgetrieben und damit das Silicagel regeneriert. Im letzten Schritt wird der aus dem Austreiber abziehende Wasserdampf im Kondensator verflüssigt, das flüssige Kältemittel gelangt zurück in den Verdampfer und schließt somit den Kreislauf. Die freiwerdende Kondensationswärme wird dabei ebenfalls vom Kühlwasser abgeführt.

Im Adsorber kann nur so lange Wasserdampf adsorbiert werden, bis das Silicagel vollständig beladen ist und danach keinen weiteren Wasserdampf mehr aufnehmen kann. Folglich muss dieser wieder

regeneriert werden, weshalb Austreiber und Adsorber nach einer gewissen Zyklusdauer abwechselnd ihre Funktion tauschen.

### Dampfstrahlwärmepumpprozess

Abbildung 54 (links) zeigt die schematische Darstellung einer Dampfstrahlwärmepumpe bzw. -kältemaschine. Das T, s-Diagramm in Abbildung 54 (rechts) verdeutlicht die Verknüpfung eines rechtsdrehenden Antriebsprozesses mit dem linksdrehenden Wärmepumpprozess.

In einem Kessel wird Kältemittel unter Wärmezufuhr bei hohem Druck verdampft, und dieser Dampf wird als Treibdampf dem Dampfstrahlapparat zugeführt. Der Strahlapparat ersetzt so zu sagen den mechanischen Verdichter einer Kompressionsanlage. Der auf dem hohen Druckniveau (Treibdampfdruck) befindliche Treibdampf wird in einer Düse entspannt, wobei sich seine Druckenergie in Geschwindigkeitsenergie umsetzt. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit des Treibampfes im Strahlapparat sinkt der statische Druck ab (siehe Abbildung 54 von Zustand 1 auf 2) und saugt den im Verdampfer bei niedrigem Druck erzeugten Kältemitteldampf (6 auf 0) ab. Anschließend mischen sich die beide Massenströme (0 + 2 auf 3), wobei der Treibdampf durch Impulsaustausch und durch Verdichtungsstöße Energie an den Niederdruckdampf abgibt, bevor im nachgeschalteten Diffusor auf das Mitteldruckniveau (durch Überführung der kinetischen Energie in Druckenergie) verdichtet wird. Auch dieser Prozess läuft zwischen drei Temperaturniveaus ab. (siehe Cube, 1981 und Sattler, 2001)

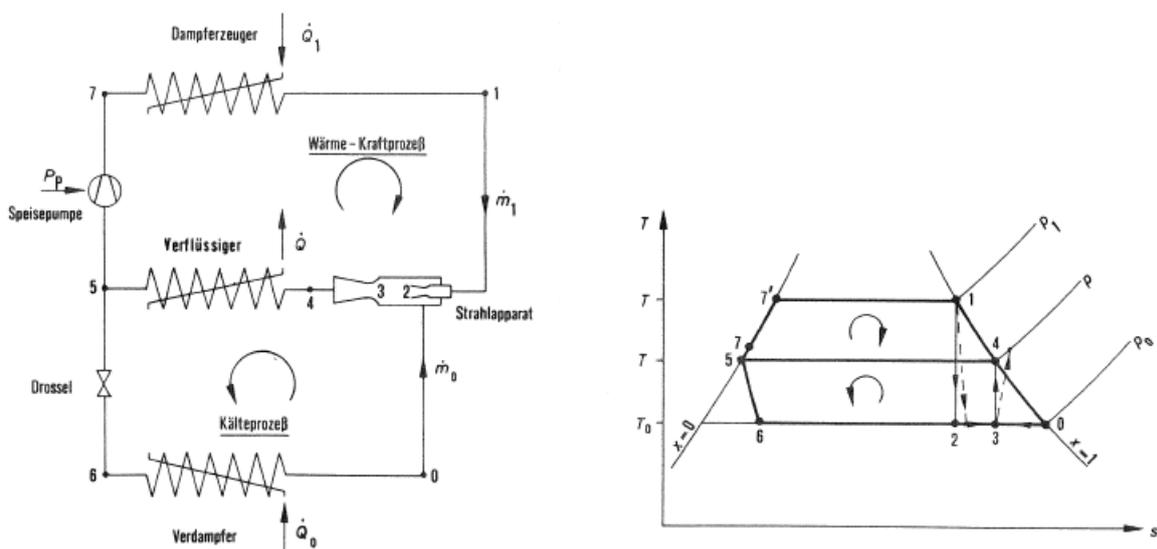


Abbildung 54: Dampfstrahl-Wärmepumpe bzw. -Kältemaschine (Cube, 1981)

Dampfstrahlwärmepumpen können je nach Nutzung der aufgewärmten Wärmesenke oder der abgekühlten Wärmequelle zum Heizen und/oder Kühlen verwendet werden.

## Thermischer Brüdenverdichter

Dieser Prozess gleicht der o.a. Dampfstrahlkälteanlage und nützt ebenso einen Strahlapparat, arbeitet aber im Gegensatz dazu gemäß eines offenen Wärmepumpprozesses mit Brüden dampfen für Eindampfzwecke (siehe auch unter Pkt. a in diesem Kapitel bei „mechanische Brüdenverdichter“).

Wie auch beim mechanischen Brüdenverdichter, wird die Energie zum Eindampfen von z.B. Lösungen, Suspensionen oder Emulsionen, großteils über den abzuführenden Abdampf bereitgestellt, indem dieser über einen Dampfstrahlapparat zur Erhöhung des Temperaturniveaus auf einen höheren Druck verdichtet wird (Stephan et al., 2010). Abbildung 55 zeigt einen schematischen Vergleich des thermischen mit dem mechanischen Brüdenverdichter.

Als Antrieb dient lt. Sattler (2001) ein Treibdampf (auf hohem Temperaturniveau), um den Brüden dampf von Produktdruck (auf tiefes Temperaturniveau) zu verdichten, bevor beide Dampfströme auf mittlerem Temperaturniveau kondensieren, und dabei über einen Wärmetauscher die zum Eindampfen des Produktes notwendige Wärme abgeben wird. Wieviel Treibdampf notwendig ist hängt von den drei Druckniveaus und der Ausführung (Irreversibilität) des Strahlapparates ab. Die Funktion deckt sich dabei mit dem einer Dampfstrahlanlage (siehe oben). Die Überschusswärme (aufgrund des zusätzlichen Treibdampfes steht mehr Wärme auf mittlerem Temperaturniveau zur Verfügung als zum Eindampfen benötigt), muss zusätzlich über Kühlwasser abgeführt oder der nächsten Stufe zugeführt werden (Stephan et al., 2010). Die abzuführende Energie des Überschussbrüdens entspricht in erster Näherung der Energie des eingesetzten Treibdampfmassenstromes (GEA, 2009).

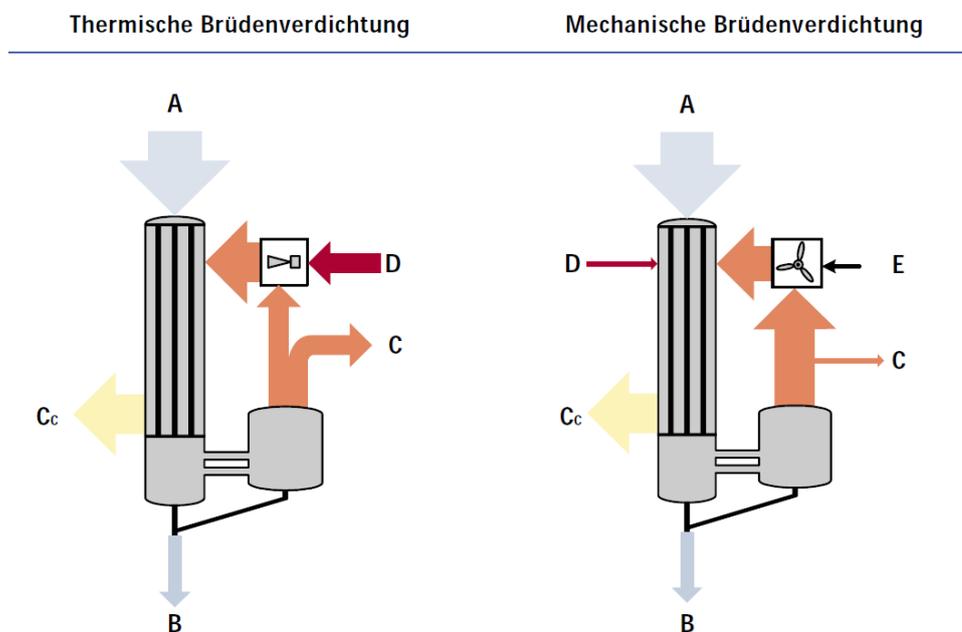


Abbildung 55: Schematische Darstellung eines thermischen (links) und eines mechanischen Brüdenverdichters (rechts) (GEA, 2009)

### c. Wärmepumpenprozesse im Bi-Generation Betrieb:

In der Industrie besteht oft gleichzeitig Bedarf an Prozesskälte und –wärme, weshalb besonders für diesen Sektor der Einsatz von Wärmepumpen zur Bi-Generation Anwendung eine ökonomisch und ökologisch sehr interessante Möglichkeit darstellt. Bei Bi-Generation Anwendungen liegt der Nutzen nicht nur in der Bereitstellung von Wärme sondern auch in der Bereitstellung von Kälte. Der Coefficient of Performance für elektrisch angetriebene Wärmepumpen (siehe Abbildung 56) im Bi-Generation Betrieb ( $COP_{H,0}$ ) ist in Gl. (17) definiert und der Seasonal Performance Factor für den Bi-Generation Betrieb von elektr. Wärmepumpen ( $SPF_{H,0}$ ) in Gl. (18).

$$COP_{H,0} = (Q_h + Q_0) / P_{el} \quad (17)$$

$$SPF_{H,0} = (Q_h + Q_0) / W_{el} \quad (18)$$

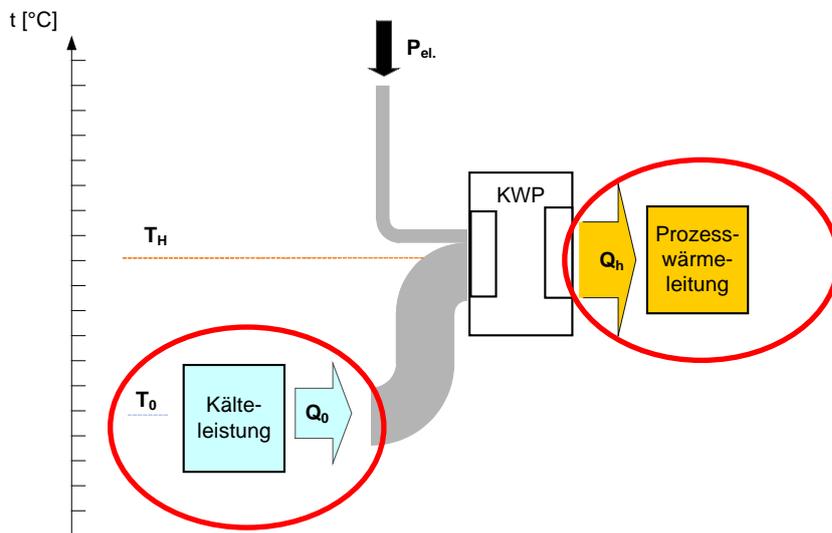


Abbildung 56: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer elektrischen angetriebenen Wärmepumpe für den Bi-Generationsbetrieb (rote Ellipsen)

Für thermisch angetriebene Wärmepumpen im Bi-Generation Betrieb (siehe Abbildung 57) ist der Coefficient of Performance für elektrisch angetriebene Wärmepumpen im Bi-Generation Betrieb ( $COP_{TH-H,0}$ ) in Gl. (19) definiert und der Seasonal Performance Factor ( $SPF_{TH-H,0}$ ) in Gl. (20).

$$COP_{TH-H,0} = (Q_h + Q_0) / Q_{Antrieb} \quad (19)$$

$$SPF_{TH-H,0} = (Q_h + Q_0) / Q_{Antrieb} \quad (20)$$

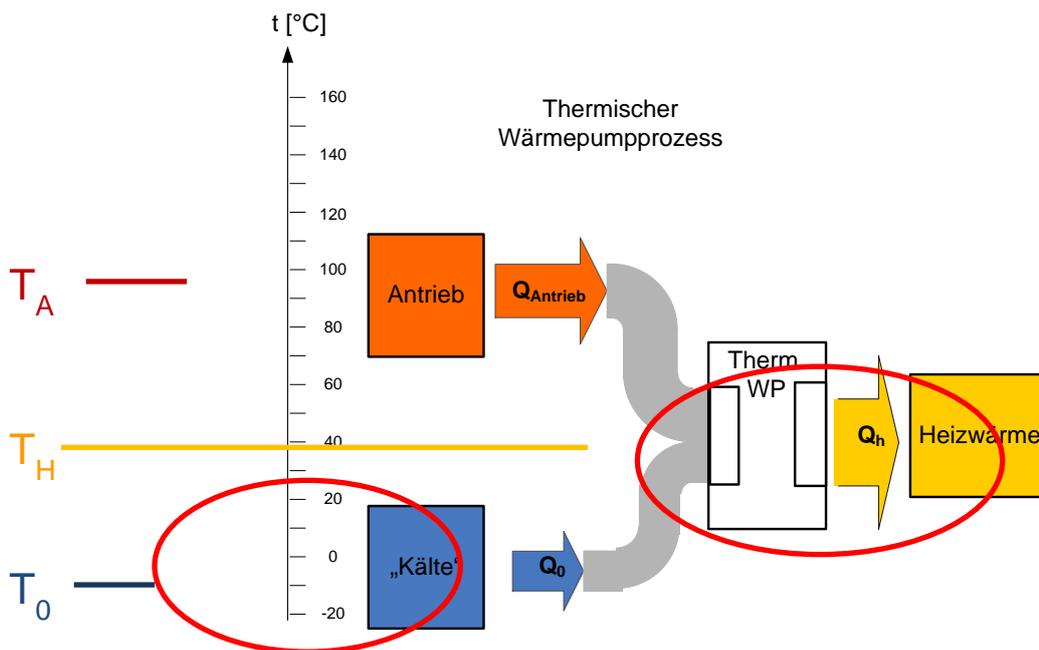


Abbildung 57: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer thermisch angetriebenen Wärmepumpe für den Bi-Generationsbetrieb (rote Ellipsen)

Zwar ist der Coefficient of Performance einer Wärmepumpe im Bi-Generations Betrieb ( $COP_{H,0}$ ) im theoretischen Vergleich mit dem COP fürs Heizbetrieb ( $COP_H$ ) fast doppelt so hoch, sowohl bei elektrisch- (siehe Gl. (21)) wie auch thermisch angetriebenen Wärmepumpen (siehe Gl. (22)). Der notwendige Temperaturhub zwischen Wärmesenke und -quelle ist jedoch für eine Bi-Generations Anwendung meist wesentlich höher als vergleichsweise bei reiner Anhebung des Temperaturniveaus von Abwärme. Daher kann aufgrund des i.d.R. größeren Temperaturhubes die theoretische Effizienzsteigerung nicht erreicht werden, aber es ist trotzdem meist eine höhere Effizienz erreichbar als beim singulären Kälte- oder Wärmebetrieb einer Wärmepumpe.

$$COP_{H,0} = 2 \cdot COP_H - 1 \quad (21)$$

$$COP_{TH,0} = 2 \cdot COP_H - 1 \quad (22)$$

So beträgt der  $COP_{H,rev}$  einer reversiblen elektrisch angetriebenen Wärmepumpe 8,8, um Abwärme z.B. mit einem Temperaturniveau von 40 °C auf 80 °C anzuheben. Um neben 80 °C grädiger Nutzwärme auch Prozesskälte mit z.B. 0°C aus einer reversiblen elektrisch angetriebenen Wärmepumpe in Bi-Generation bereitzustellen, würde diese trotz des „Doppelnutzens“ (gemäß Gl. (23) aufgrund des höheren Temperaturhubes in diesem Betriebspunkt) nur einen  $COP_{H,0, rev}$  von 7,8 aufweisen. (Zotter, 2014)

$$\text{COP}_{\text{H},0,\text{rev.}} = \frac{T_{\text{H}} + T_0}{T_{\text{H}} - T_0} \geq \text{COP}_{\text{H},0} \quad (23)$$

Der COP eines thermisch angetriebenen Bi-Generations-Wärmepumpensystemes ( $\text{COP}_{\text{TH}_H,0,\text{rev.}}$ ) kann gemäß Carnot nach Gl. (24) bestimmte werden (Zotter, 2014).

$$\text{COP}_{\text{TH}_H,0,\text{rev.}} = \frac{T_{\text{H}} + T_0}{T_{\text{H}} - T_0} - \frac{T_{\text{H}}}{T_{\text{H}} - T_0} \cdot \frac{2 \cdot T_{\text{H}}}{T_{\text{A}}} \quad (24)$$

Bei thermisch angetriebenen Bi-Generations-Wärmepumpensystemen muss das verfügbare Temperaturniveau der Antriebswärme aufgrund des hohen benötigten Temperaturhubs ( $T_{\text{H}} - T_0$ ) ausreichend hoch sein, wofür das Temperaturniveau von Abwärme meist nicht ausreicht (Zotter, 2014). Daher kommt die Antriebswärme dafür meist aus der Feuerung fossiler Brennstoffe. Der energetisch günstigste Fall stellt jener dar, wenn eine industrielle Abwärme mit ausreichend hohem Temperaturniveau zum Antrieb des thermischen Wärmepumpprozesses vorhanden ist, und man sowohl die kalte wie auch die warme Seite nutzen kann.

### 3.3.2 Wärmequelle: industrielle Abwärme

Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen nutzen in der Regel regenerative Wärmequellen, wie Umgebungsluft, Erdwärme oder Grundwasser. Die Nutzung von Abwärme aus industriellen Fertigungsprozessen mittels Wärmepumpen ist aus ökologischer und exergetischer Sicht, wie bereits in Kapitel 3.1.2 (Pkt. b) erwähnt, aufgrund der deutlich höheren Temperaturniveaus (meist 30 bis 60°C) besonders interessant. Bei Temperaturen über 70 °C, wie z.B. Rauchgas aus Backofen, kann die industrielle Abwärme auch zum Antrieb einer thermischen Kältemaschine zum Kühlen, von z.B. Lebensmitteln, herangezogen werden.

Abbildung 58 zeigt den Verlauf von  $COP_{H,rev}$  für eine Hochtemperatur-Kaldampfkompansionswärmepumpe bei veränderlichen Wärmequellen- bzw. Nutztemperaurniveaus. Somit lassen sich für industrielle Abwärmennutzungen mittels Wärmepumpen – bei gleichem Temperaturhub ( $\Delta T$  entspricht der Differenz zwischen Nutz- und Wärmequellentemperatur) - aufgrund der höheren Temperaturniveaus der Abwärme theoretisch höhere  $COP_{H,rev}$  erzielen, als bei der Nutzung konventioneller Wärmequellen, wie Umgebungsluft oder Erdwärme.

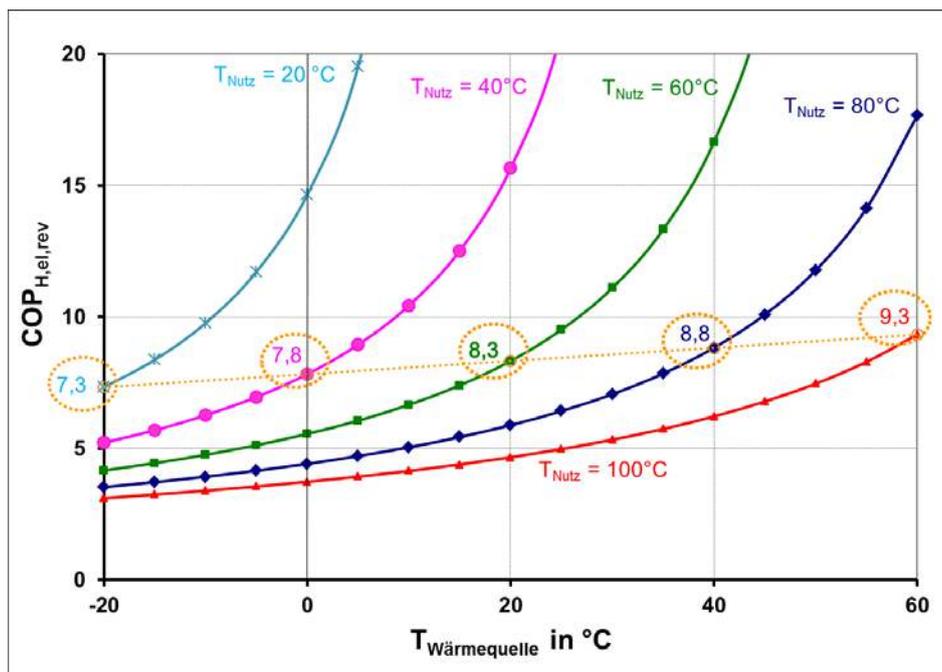
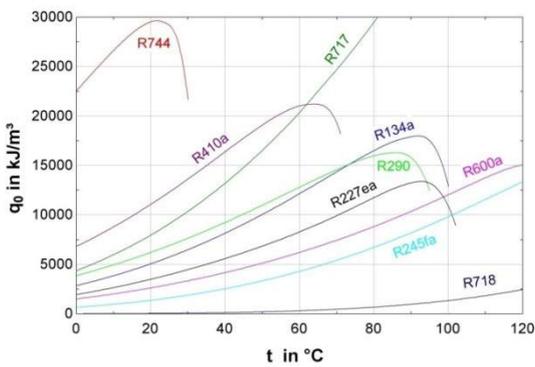


Abbildung 58: Verlauf des  $COP_{H,rev}$  als Funktion der Nutz- ( $T_{Nutz}$ ) und der Wärmequellentemperatur ( $T_{Wärmequelle}$ ) – Markierte Werte des  $COP_{H,rev}$  bei gleichem Temperaturhub von 40 K (vgl. mit Vehovec et al., 2012)

Die Erschließung dieser ist zwar meist mit Investitionen verbunden, allerdings steht sie im Betrieb, wie auch die konventionellen Wärmequellen meist „kostenlos“ zur Verfügung. Vielmehr entfallen i.d.R. Betriebskosten für die „Abwärmeentsorgung“, wie z.B. für den Betrieb von Ventilatoren einer Rückkühlanlage (Zotter & Rieberer, 2013a).

### 3.3.3 Kältemittel für Wärmepumpensysteme in Industrie und Gewerbe

Eine im Rahmen des IEA HPP Annex 35 erstellte Übersicht von Kältemitteln in Kompressions-Wärmepumpen für die Hochtemperaturnutzung zeigt, dass für eine Wärmesenktemperatur  $> 65^{\circ}\text{C}$  sowohl einige natürliche Kältemittel als auch wenige teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) verwendet werden können. HFKW beinhalten kein Chlor und haben deshalb auch keine negative Auswirkung auf die Ozonschicht. Im Falle von Leckagen haben einige aber einen wesentlichen Einfluss auf den Treibhauseffekt (großes GWP, Global Warming Potential). In Abbildung 59 ist zum Vergleich die volumetrische Kälteleistung ( $q_0$ ) verschiedener Kältemittel in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt.



Die sinkenden Äste der Kurven gehen mit dem „Verschwinden“ des Zwei-Phasen-Gebietes einher und das darauf folgende Ende entspricht der kritischen Temperatur des jeweiligen Mediums. Eine höhere volumetrische Kälteleistung ist für den Einsatz in Wärmepumpen mit z.B. Hubkolbenkompressoren vorteilhaft, da ein geringes Hubvolumen bei gegebener Leistung benötigt wird.

Abbildung 59: Volumetrische Kälteleistung verschiedener Kältemittel (Hoff, 2011)

Neben der volumetrischen Kälteleistung ist aber vor allem die Drucklage bei der Hochtemperaturanwendung entscheidend, da der Kondensationsdruck bei Temperaturen von  $80^{\circ}\text{C}$  von handelsüblichen Kältemitteln meist zu hoch ist (siehe Abbildung 60).

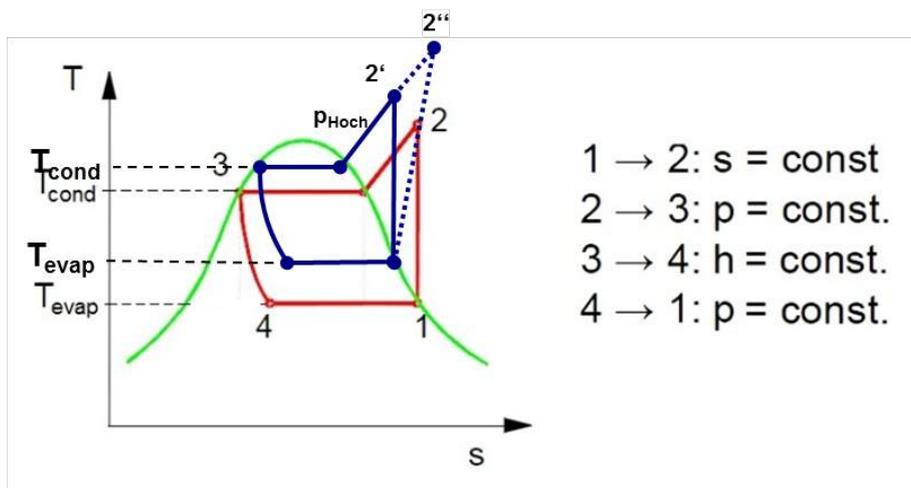


Abbildung 60: Perkins/Evans-Prozess und „realer Prozess,“ (gestrichelt) im  $T, s$ -Diagramm bei konventionellen Anwendungen (rot) und Hochtemperaturanwendungen (blau) (vgl. Rieberer et al., 2009)

Die Anforderungen sind umfangreich, so soll die kritische Temperatur des Fluides möglichst hoch sein, die Drucklagen so, dass der Hochdruck nicht zu hoch (i.d.R. ca. < 30 bar) und der Niederdruck (auch im Stillstand) nicht unter dem atmosphärischen Druck liegt, damit Fremdgaseintrag vermieden wird. Des Weiteren sollten die Kältemittel unbedenklich für die Umwelt (kein Potenzial zum Abbau der Ozonschicht) und wenn möglich, bei Emission dieser in die Atmosphäre wenig Treibhaus wirksam sein (kleine GWP). Aus sicherheitstechnischen Aspekten wäre ein nicht brennbares und ungiftiges Kältemittel von Vorteil.

Für Anwendungen in industriellen Prozessen ist es oftmals notwendig Wärmesenktemperaturen größer 90 °C zu erreichen, damit müssen Kältemittel die in Kaltdampfprozessen eingesetzt werden dementsprechend kritische Temperaturen über 100 °C aufweisen. Besonders HFKWs neuerer Generation, wie R227ea (Heptafluorpropan) und R245fa (Pentafluorpropan) aber auch R365mfc eignen sich aufgrund ihrer thermodynamischen Eigenschaft für Hochtemperaturanwendungen, wobei ihr großes Treibhauspotential nachteilig ist. Um diesem Problem auszuweichen, können natürliche Kältemittel, wie Iso-Butan (R600a) oder n-Butan (R600) oder CO<sub>2</sub> (R744) eingesetzt werden, welche praktisch kein Treibhauspotential besitzen. Aufgrund der hohen Entzündlichkeit sind allerdings spezielle Sicherheitsvorschriften bei Kohlen-Wasserstoff-Verbindungen (R600, R600a) einzuhalten. Für den Temperaturbereich bis 80°C eignet sich Ammoniak (R717) besonders wegen der hohen volumetrischen Kälteleistung. Aufgrund der Giftigkeit von Ammoniak müssen aber gewisse Sicherheitsvorkehrungen berücksichtigt werden. Ein weiteres potentiell Kältemittel für Hochtemperaturanwendungen aus anderen internationalen Forschungsprojekten die im Zuge des IEA HPP Annex 35 eruiert wurden ist z.B.: R236fa. Von großem Interesse sind auch ganz neue Kältemittel, wie z.B. das sich noch in der Entwicklung befindliche DR-2 (HFO-1336mzz-Z). Der Arbeitsstoff DR-2 weist eine geringere volumetrische Wärmeleistung und eine flachere Dampfdruckkurve R114 auf und eignet sich daher nicht als „Drop-In“ Alternative für bestehende Wärmepumpen. Vorteile des neu entwickelten Kältemittels sind die hohe kritische Temperatur von 171,3 °C bei einem niedrigen kritischen Druck von 2,9 bar, eine geringe erwartete Gefährdungsklasse (A1) und ein GWP < 10. Tabelle 11 zeigt einen kleinen Überblick über potentielle Hochtemperatur-Kältemittel.

Ein weiteres potentiell Hochtemperaturkältemittel, das nicht in Tabelle 11 angeführt ist, ist das Kältemittel R-1234ze(Z), worüber (zum Zeitpunkt der Berichtslegung) noch relativ wenige Informationen bekannt sind. Details siehe unter Brown et al. (2010b) und Brown et al. (2010c). Kritische Temperatur und Druck wurden in der Literatur ausgehend vom bekannten Siedepunkt berechnet. Auch kann die Toxizität und Brennbarkeit zurzeit nicht eingeschätzt werden. Gesicherte Werte sind auch für den GWP und ODP noch nicht vorhanden. Der Vergleich mit anderen fluorierten Propen-Isomeren lässt aber einen GWP<10 und einen ODP=0 vermuten. Auf den ersten Blick erscheinen die thermodynamischen Eigenschaften vielversprechend. Negative Erfahrungen bei der Verwendung des chemisch verwandten Arbeitsstoffs R-1234yf im Brandfall (u.a. Bildung von Flusssäure) lt. Janssen et al. (2010) & Ittershagen et al. (2010) und den wenig bekannten Fakten lassen auch diesen Arbeitsstoff nicht als unbedingt optimal erscheinen.

Weitere Kältemittel mit günstigen thermodynamischen Eigenschaften für die Anwendung in Hochtemperatur-Wärmepumpen sind R1233zd(E), R600a, R365mfc und SES36 eine Weiterentwicklung von R365mfc, das einen GWP <10 aufweist.

Tabelle 11: Übersicht möglicher Hochtemperatur-Kältemittel – kein Anspruch auf Vollständigkeit (Wohl & Fahl, 2012)

Name	Zusammensetzung	Verhältnis	ODP *	GWP *	NBP *	T <sub>krit</sub>	P <sub>krit</sub>	Sicherheitsgruppe
		[m %]			[° C]	[° C]	[bar]	
R114	C <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> F <sub>4</sub> <sup>a</sup>	-	1 <sup>a</sup>	9800 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	145.7 <sup>a</sup>	32.6 <sup>a</sup>	A1 <sup>b</sup>
R410A	R32/R125 <sup>a</sup>	50/50 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	1730 <sup>b</sup>	-51.6 <sup>a</sup>	72.6 <sup>b</sup>	49.0 <sup>b</sup>	A1 <sup>g</sup>
R134a	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> <sup>a</sup>	-	0 <sup>a</sup>	1300 <sup>a</sup>	-26.1 <sup>a</sup>	101.0 <sup>a</sup>	40.6 <sup>a</sup>	A1 <sup>g</sup>
R245fa	C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> F <sub>5</sub> <sup>a</sup>	-	0 <sup>c</sup>	950 <sup>c</sup>	15.3 <sup>a</sup>	154.0 <sup>c</sup>	36.4 <sup>c</sup>	B1 <sup>e</sup>
R600	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> <sup>b</sup>	-	0 <sup>b</sup>	< 1 <sup>b</sup>	-0.5 <sup>b</sup>	152.0 <sup>b</sup>	38.0 <sup>b</sup>	A3 <sup>b</sup>
R717	NH <sub>3</sub> <sup>g</sup>	-	0 <sup>g</sup>	0 <sup>g</sup>	-33.0 <sup>g</sup>	133.0 <sup>g</sup>	114.2 <sup>a</sup>	B2 <sup>g</sup>
R744	CO <sub>2</sub> <sup>g</sup>	-	0 <sup>g</sup>	1 <sup>g</sup>	-57.0 <sup>g</sup>	31.0 <sup>g</sup>	73.8 <sup>a</sup>	A1 <sup>g</sup>
SES36	R365mfc/PFPE <sup>f</sup>	65/35 <sup>f</sup>	0 <sup>f</sup>	low <sup>f</sup>	35.6 <sup>f</sup>	177.6 <sup>f</sup>	28.5 <sup>f</sup>	unbekannt
DR-2	unbekannt	-	0 <sup>d</sup>	9,4 <sup>d</sup>	33.4 <sup>d</sup>	171.3 <sup>d</sup>	29.0 <sup>d</sup>	A1 (expected) <sup>d</sup>

\*) ODP: Ozone Depletion Potential    GWP: Global Warming Potential    NBP: Normal Boiling Point

Quellen:  
a) IFA, b) Solvay Fluor GmbH 2010, c) Honeywell International Inc. 2010, d) Kontomaris 1/10/2011, e) Klein 2009, f) Riva et al. 2006, g) Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH 2010

Kältemittel müssen vielen Anforderungen genügen. Daher hat die Auswahl des optimalen Kältemittels immer unter Berücksichtigung des Anwendungsfalles und der ökonomischen und ökologischen Aspekte zu erfolgen.

### 3.3.4 Stand der Technik in Österreich

Um den aktuellen Stand der Technik zum Thema „industrielle Wärmepumpen“ zu beschreiben, wurde im Zuge des IEA HPP Annex 35 ein Screening des österreichischen Marktes durchgeführt. Dieses Screening zeigte, dass diverse österreichische Wärmepumpenhersteller sowohl maßgeschneiderte als auch in (Klein-) Serie produzierte Kompressions-Wärmepumpen im Leistungsbereich von 50 bis zu 1000 kW meist für Nutzttemperaturen bis zu 65°C bzw. vereinzelt auch bis zu 95°C für die Wärmerückgewinnung in Industrie und Gewerbe anbieten. Tabelle 12 gibt einen beispielhaften Überblick der industriellen Wärmepumpen österreichischer Hersteller (diese Tabelle erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)

Tabelle 12: Übersicht von Industriellen Wärmepumpen österreichischer Hersteller (Daten lt. IDM, 2013; OCHSNER, 2013a & 2014a, HELIOTHERM 2013, COFELY 2013a, Pink 2014) (ohne Gewähr auf Vollständigkeit)

Hersteller	Type	Leistungs- klasse	Kälte- mittel	max. Nutz- temperatur
IDM-Energiesysteme GmbH	Terra Max	50 – 500 kW	R134a	65 °C
OCHSNER Wärmepumpen GmbH	Diverse	100 - 960 kW	„Öko1“	98 °C
HELIOTHERM Wärmepumpen GmbH	Diverse	49 – 134 kW	k.A.	60°C
FRIGOPOL	Maßgeschneidert	Bis 1 MW	Divers	< 80°C
COFELY	Diverse	50 kW bis zu 3,5 MW	R134a, R717, etc.	< 80°C
PINK GmbH	Absorptionskälte- maschine	20 kW	NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	Antrieb ca. 80 °C

**IDM Energiesysteme GmbH** bietet in ihrem Sortiment auch die Groß-Wärmepumpe TERRA MAX (Abbildung 61: Aufbau der Terra Max 130 (IDM, 2013)) an. Diese Kompressionswärmepumpe (mit zwei oder drei Scroll-Verdichtern) ist für einen Leistungsbereich von 50 – 500 kW erhältlich und arbeitet mit den Kältemitteln R407C oder R134a.

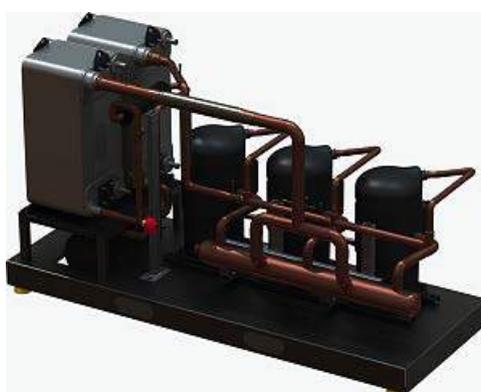


Abbildung 61: Aufbau der Terra Max 130 (IDM, 2013)

Für verschiedene Anwendungen in Gewerbe und Industrie bietet die **OCHSNER Wärmepumpen GmbH** eine Baureihe mit halbhermetischen Kompakt-Schraubenverdichtern für Leistungen von 100 bis 960 kW an. Für Nutztemperaturniveaus bis 65 °C werden die Kältemittel R134a bzw. alternativ auch R407C eingesetzt. Des Weiteren bietet die Fa. Ochsner seit kurzem eine neue Hochtemperatur-Wärmepumpe für einen externen Temperaturhub von 40 auf 98 °C eine Hochtemperatur-Ausführung (Abbildung 62) mit dem zurzeit firmenintern bezeichneten Kältemittel Öko1 an.



*Abbildung 62: Hochtemperatur-Wärmepumpe (Ochsner, 2013)*

HELIO THERM **Wärmepumpen GmbH** bietet standardisierte Wärmepumpe (Abbildung 63) für Industrie und Gewerbe mit Nutztemperaturen bis zu 60 °C mit Leistungen von ca. 50 bis 150 kW an.



*Abbildung 63: Heliotherm's Wärmepumpe für Industrie und Gewerbe (Heliotherm, 2013)*

**Frigopol Energieanlagen GmbH** produziert Kompressoren und maßgeschneiderte Wärmepumpensystem mit den Kältemitteln R717, R723 oder anderen Kältemitteln. Die Leistungsklasse dieser Anlagen deckt – je nach Kompressortype - dabei eine Breite von einigen kW bis 1 MW ab. Z.B. hat Frigopol (2013) eine maßgeschneiderte Anlage mit einer Heizleistung von 1 MW für eine zentrale Wärmeversorgung ausgeliefert. Die Anlage (Abbildung 64) arbeitet mit dem Kältemittel R236fa. Des Weiteren ist Frigopol auch in einem innovativen Forschungsprojekt betreffend neuer Hochtemperatur-Wärmepumpen (für Nutztemperaturen über 100°C) involviert.



Abbildung 64: Industrielle Wärmepumpe (Frigopol, 2013)

Die **Cofely Kältetechnik GmbH** (2013a) bietet für Industrie und Gewerbe sowohl Serien produzierte wie auch maßgeschneiderte Wärmepumpenanlagen mit Scroll-, Schrauben- oder Turboverdichtern an. Die Anlagen arbeiten je nach eingesetzten Kompressoren mit verschiedenen marktüblichen Kältemitteln, wie R134a, R717 etc.. Je nach Wärmequellentemperatur und Kältemittel können Wärmesenktemperaturen bis zu 80°C abgedeckt werden. Für diese hohen Nutztemperaturniveaus werden meist Schraubenverdichter eingesetzt. Für Heizleistung bis zu 3,5 MW werden öl-freie Turboverdichter verwendet, wobei die Nutztemperaturniveaus dieser Anlagen geringer sind als jene bei Schraubenverdichter.

Der österreichische Absorptionskältemaschinen-Hersteller **PINK GmbH** bietet mit seinem PinkChiller (Abbildung 65) neben der „solaren Kühlung“ auch die Möglichkeiten zur Bereitstellung von „Kälte“ aus industrieller Abwärme an.



Abbildung 65: PinkChiller PC 19 (Pink, 2013)

### 3.3.5 Stand der Forschung und Entwicklung in Österreich

Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse und Erkenntnisse aus relevanten, nationalen und aktuellen Forschungsprojekten zum Thema industrielle Abwärmenutzung flossen in den IEA HPP Annex 35 mit ein, um den aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung in Österreich zu diesem Thema zu verdeutlichen. Z.B. entwickelt die Fa. **ECOP** (2014) eine Kaltgasmaschine für Anwendungen bis 150 °C, mit einem neuartigen Verdichter-Konzept (Abbildung 66). Lt. Adler et al. (2011) erfolgt die Verdichtung dabei über die Zentrifugalkraft bei der rotierenden Anlage.



Abbildung 66: Kaltgaswärmepumpe (ECOP, 2014)

Weitere relevante F&E-Projekte in Österreich:

- a. **(Hybride) Kompressions/Absorptions-Wärmepumpe – Projekt: „HyPump“** (FFG Nr. 834614, Status: laufend): „Hocheffiziente Hybrid-Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung in der Industrie“ (kursiv direkt zitiert aus Rieberer et al., 2014)

*„Im Rahmen des derzeit laufenden nationalen Forschungsprojekts „HyPump“ wird vom IWT gemeinsam mit dem AIT und der Frigopol Kälteanlagen GmbH eine Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe für die industrielle Hochtemperaturanwendung simulationstechnisch und experimentell untersucht (siehe Abbildung 68). Das Konzept einer Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe (auf Grund der Prozessführung auch „hybride“ Wärmepumpe genannt) ist seit dem späten 19.ten Jahrhundert bekannt. Wegen einiger technischer Schwierigkeiten und wegen ökonomischer Rahmenbedingungen konnte das Konzept lange nicht kommerziell angewendet werden.*

*Ein vereinfachtes Kreislaufschema einer Hybrid-Wärmepumpe ist in Abbildung 67 dargestellt. Der gezeigte Kreislauf kann bei geeigneter Wahl des verwendeten Arbeitsstoffgemisches, als Kältemittel/Lösungsmittel wurde im Projekt „HyPump“  $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$  gewählt, für Hochtemperaturanwendung genutzt werden. Da anstelle des reinen Kältemittels ein Stoffgemisch verwendet wird, kann das Druckniveau bei der Absorption und Desorption mittels Variation der Lösungskonzentration in Abhängigkeit vom Wärmesenken- und Wärmequellentemperaturniveau eingestellt werden.*

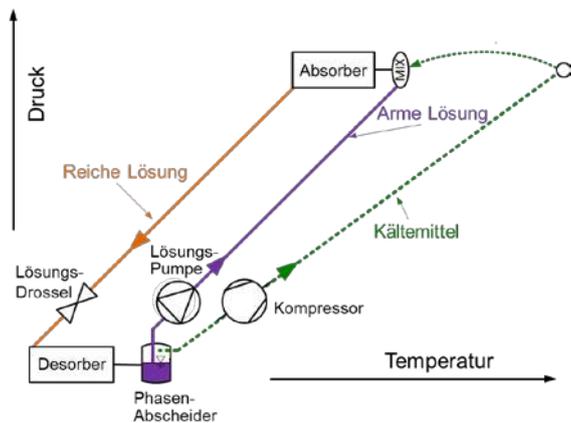


Abbildung 67: Schematische Darstellung des Absorptions/Kompressions-Wärmepumpenkreislaufs (Moser et al., 2011)

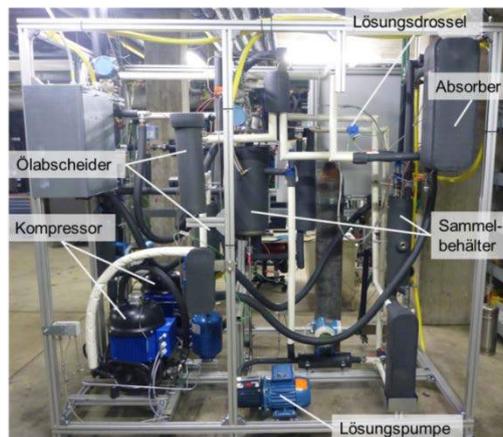


Abbildung 68: Bild des Funktionsmusters der Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe am IWT (Rieberer et al., 2014)

Folgende Vorteile ergeben sich für den gezeigten Absorptions/Kompressions-Kreislauf im Vergleich zum konventionellen Kompressionskreislauf:

- Hohe Wärmesenken-Austrittstemperaturen können bei moderaten Druckniveaus erreicht werden. Beispielsweise ist es mit dem Arbeitsstoffgemisch  $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$  möglich, Austrittstemperaturen über  $100^\circ\text{C}$  – bei gleichzeitiger Begrenzung des Hochdruckniveaus auf max. 20 bar – zu erreichen.
- Die Heizleistung kann bei gleichbleibenden Temperaturniveaus mit Hilfe der Druckniveaus im Absorber und Desorber bzw. mit Hilfe der Konzentrationen von armer und reicher Lösung verändert werden.
- Eine Annäherung an den sogenannten „Lorenz“-Prozess kann erreicht werden, da die gleitende Sättigungstemperaturen bei der Ab- bzw. Desorption, d.h. der Temperaturleit der Lösung, bei der Aufwärmung der Wärmesenke bzw. Abkühlung der Wärmequelle ausgenutzt werden kann. Dadurch ergeben sich Vorteile hinsichtlich des exergetischen Wirkungsgrades der Wärmeübertragung.

Am Markt erhältliche Hybrid-Wärmepumpen verwenden üblicherweise  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  als Arbeitsstoffgemisch. Der Nachteil besteht aber darin, dass das dampfförmige Kältemittel, welches großteils aus der leichter siedenden Komponente Ammoniakf besteht, aufgrund des nicht vernachlässigbaren Dampfdrucks des Wassers - wenn auch nur zu einem sehr geringen Anteil von ca. 1 % - auch etwas Wasserdampf beinhaltet. Dies kann Probleme mit den Kompressor-Ölen, wie Aufschäumen, Emulsionsbildung etc., verursachen, weshalb entweder i.d.R. teure öl-frei Kompressoren oder alternative Lösungsmittel ohne relevanten Dampfdruck zum Einsatz kommen sollten. Im Zuge des Projektes „HyPump“ wurde ein Standardkompressor mit Öl-Schmierung verwendet, weshalb aber nach einem alternativen

Lösungsmittel für  $\text{NH}_3$  geforscht wurde. Im Speziellen wurde das Stoffgemisch  $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$  im Vergleich zu anderen als Arbeitsstoffpaar ausgewählt. Nähere Details können aus Hannl & Rieberer (2014) entnommen werden.

*Nach eingehender Untersuchung unterschiedlicher Kreislaufvarianten im Rahmen von Simulationsstudien am IWT wurde ein passender Kreislauf für das Stoffgemisch  $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$  gewählt. Am AIT erfolgten Voruntersuchungen zur optimalen Konstruktion der Einströmgeometrie und Ammoniakverteilung am Eintritt in den Absorber. Bei Frigopol wurde ein existierender  $\text{NH}_3$ -Trennhauptkompressor für das Funktionsmuster adaptiert. Nach umfangreichen Vorarbeiten erfolgte der Aufbau des Funktionsmusters am IWT, welches in Abbildung 68 dargestellt ist.*

*Derzeit erfolgt die detaillierte experimentelle Analyse des Funktionsmusters. Die bisher gewonnenen Messergebnisse zeigen noch Optimierungsbedarf: z.B. beim Absorberdesign, bei der elektr. Leistungsaufnahme und bei der Verschleppung des Lösungsmittels in den Kältekreislauf.*

*Mit dem Funktionsmuster sollen noch weitere Messungen durchgeführt und die Ergebnisse tiefergehend analysiert werden. In weiterer Folge wird das entwickelte Simulationsmodell mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Messungen „verfeinert“ und abschließend für Simulationsstudien zur wirtschaftlichen Umsetzung des Konzepts herangezogen.“*

b. **Rauchgaskondensation mittels Kompressionswärmepumpen – Projekt „ICON“** (FFG Nr.: 829964, Status abgeschlossen): „Rauchgaskondensation der Zukunft mit hohem Jahresnutzungsgrad durch Kombination mit einer Industrierärmepumpe“

Ziel des 2014 abgeschlossenen FFG Projektes ICON (FFG Nr.: 829964, Leitung AIT, Projektpartner: BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, OCHSNER Wärmepumpen GmbH, Scheuch GmbH) ist die Erhöhung der Wärmeausbeute aus Rauchgaskondensationsanlagen von Biomasseverbrennungsanlagen durch die effiziente Nutzung der Kondensationswärme über eine Wärmepumpenintegration mit Direktverdampfung. Rauchgaskondensationsanlagen für Biomasseverbrennungsanlagen sind eine bekannte Technologie für die Anwendung im Bereich Wärmerückgewinnung, Staubreduktion und Entschwadung des Rauchgases, wie sie typischerweise ab Biomassekesselleistungen von ca.  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$  sinnvoll eingesetzt werden können. In der Praxis ist die sinnvolle Nutzung von Niedertemperaturwärme leider meist sehr eingeschränkt, da der zur Kühlung des Rauchgases verfügbare Heizungsrücklauf (50 und  $60^\circ\text{C}$ ) häufig zu hohe Temperaturen aufweist, um das Rauchgas deutlich unter dessen Wassertaupunkt (ebenfalls im Bereich 50 und  $60^\circ\text{C}$ ) abkühlen zu können. Durch Integration einer Industriekompressionswärmepumpe können die Rauchgaskondensationsanlagen effizient und ganzjährig nutzbar gemacht werden, indem die Niedertemperaturwärme des Rauchgases auf ein Temperaturniveau angehoben wird, das direkt in konventionellen Heizungsrückläufen von Fern- bzw. Prozesswärmesystemen genutzt werden kann. Dadurch soll die Effizienz von Kondensationsanlagen laut derzeitigem Stand der Technik verdoppelt, entsprechende Emissions- und  $\text{CO}_2$ -Einsparungen (Reduktion von rund 10 bis 15% des erforderlichen Brennstoffeinsatzes und damit verbundener Emissionen) erreicht, der Stromaufwand für die

Rauchgasentschwadung reduziert und somit die Gesamtwirtschaftlichkeit derartiger Anlagen erhöht werden.

Dafür ist die Entwicklung eines für das Arbeitsmittel der Wärmepumpe geeigneten Rauchgaskondensators erforderlich, welcher im Rahmen dieses Projektes neu entwickelt wird. Das höchste Entwicklungs- und Optimierungspotenzial wird dabei in der direkten Einbindung der Wärmepumpe (Rauchgaskondensator = Kältemittelverdampfer) in die Rauchgaskondensationsanlage, in der richtigen Kältemittelwahl und in der Verbesserung der Kondensatorauslegung, die mit den derzeitigen Methoden nur relativ ungenau möglich ist, gesehen. Die Kondensatorentwicklung erfolgt dabei in einer 1. Stufe durch entsprechende Berechnungen und Simulationen und in einer 2. Stufe im praktischen Test an einer Versuchsanlage (*Abbildung 69*). Das erarbeitete Konzept enthält die Auslegung der Kondensationsanlage und der Wärmepumpe selbst als auch ihrer Komponenten sowie die optimierte Systemeinbindung, welche energetisch, ökologisch und ökonomisch bewertet werden kann.



*Abbildung 69: Aufbau einer Versuchsanlage zur experimentellen Validierung der Kondensationsmodelle in den Klimakammern des AIT (Seichter et al., 2013)*

- c. **Absorptions-Kältemaschine – Projekt: „IonA“** (FFG-Nr.: 825477, Status abgeschlossen): Realisierungspotential von Absorptionswärmepumpen mit ionischen Flüssigkeiten (Inhalt basiert auf Rieberer et al., 2011)

Zur Kälteerzeugung mittels Abwärme in Industrie und Gewerbe können Absorptions-Wärmepump (AWP) - Prozesse verwendet werden. Neben der Prozessführung und den eingesetzten Komponenten selbst spielt die Wahl des Arbeitsstoffgemisches eine zentrale Rolle für die Effizienz und Kosten eines AWP-Prozesses. Aus vielen bis jetzt untersuchten Arbeitsstoffgemischen haben sich nur zwei am Markt durchgesetzt:  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ . Beim ersten Stoffpaar handelt es sich meist um Anwendungen mit Verdampfungstemperaturen unter  $0^\circ\text{C}$  und beim zweiten ausschließlich um Anwendungen über  $0^\circ\text{C}$ . Da die Prozesskühlung in Gewerbe und Industrie oft Verdampfungstemperaturen im Bereich zwischen  $0 / -10^\circ\text{C}$  benötigt, wurde am IWT (TU Graz) das Potential von AWP-Prozessen mit dem Stoffgemisch  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  für diese Anwendung abgeschätzt.

Abbildung 70 zeigt den einstufigen  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  AWP-Prozess im Druck/Temperatur Diagramm. Die Leistungszahl im Kühlbetrieb (EER oder  $\text{COP}_C$ ) wird als Verhältnis der Verdampfer-Leistung zur Summe der Austreiber-Leistung und Pumpen-Leistung berechnet.

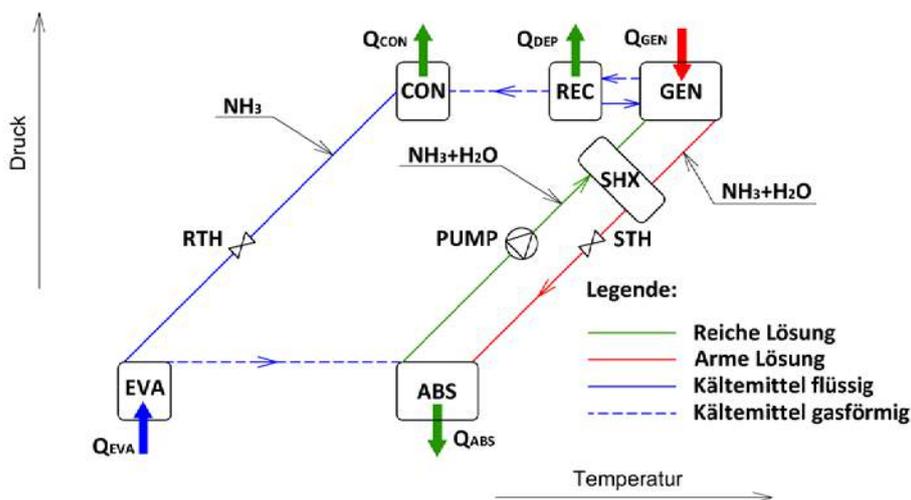


Abbildung 70: Einstufiger  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  AWP-Prozess im Druck / Temperatur Diagramm (Kotenko, 2012)

Normalerweise liegt die Temperatur der Abwärme (Antriebsenergie im Austreiber) im Bereich von ca. 60-100°C. Die Wärme auf mittlerem Temperaturniveau (Kondensator, Absorber und Dephlegmator) wird in diesem Prozess an das Kühlwasser bei Temperaturen von ca. 20-30°C abgeführt. Es wurde eine Analyse des in Abbildung 70 dargestellten  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  AWP-Prozesses für die Kälteerzeugung aus industrieller Abwärme mittels thermodynamischer Simulationen in ASPEN Plus durchgeführt. Der Prozess wurde bei Kühlwassereintritts-/Austrittstemperaturen von 20/25°C und 25/30°C und bei Soleeintritts-/Austrittstemperaturen von +2/-1°C simuliert. Dies entspricht den folgenden internen Temperaturen: Temperatur der reichen Lösung am Austritt aus dem Absorber von 27°C und 32°C; Temperatur vom Kältemittel am Austritt aus dem Verdampfer von -3°C. Die Dampfzahl am Austritt aus dem Verdampfer beträgt 0,99 und die Ammoniak-Konzentration im ausgetriebenen Kältemittel-Dampf 99,9w%.

Die berechneten EER-Werte (in der Abbildung 71 mit  $\text{COP}_C$  bezeichnet) für Kühlbetrieb sind in Abhängigkeit der Austreiber-Austrittstemperatur (Temperatur der armen Lösung am Austritt aus dem Austreiber) in Abbildung 71 dargestellt. Ersichtlich ist, dass bei kleinem Temperaturhub (blaue Linie), der maximale COP-Wert ca. 0,69 (bei  $t_{\text{GEN\_OUT}} = 80-100^\circ\text{C}$ ) beträgt. Bei großem Temperaturhub (grüne Linie) sinkt der maximale  $\text{COP}_C$  auf ca. 0,62 und wird bei einer Austreiber-Temperatur von ca. 95-100°C erreicht. Wird die Abwärme bei Temperaturen von ca. 80-85°C zur Verfügung gestellt, ist die Verwendung des  $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$  AWP-Prozesses nur noch bei kleinem Temperaturhub effizient.

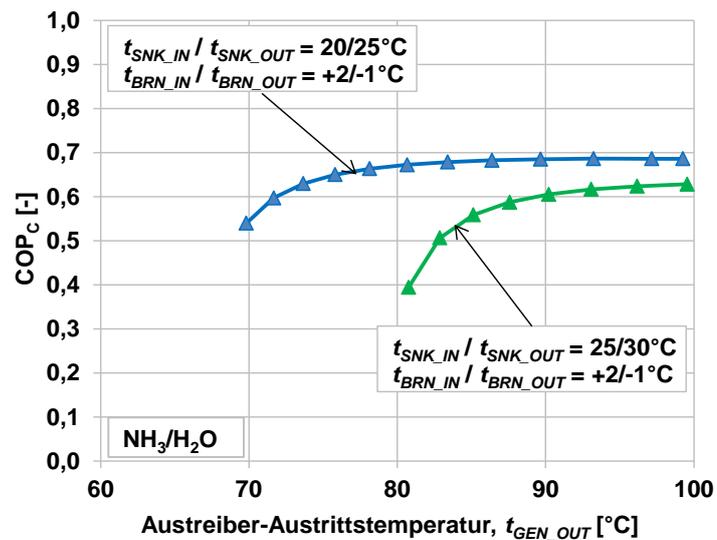


Abbildung 71: Berechnete  $COP_c$  vom  $NH_3/H_2O$  AWP-Prozess bei Kühlwassereintritts- / Austrittstemperaturen von 20/25°C und 25/30°C und Soleeintritts- / Austrittstemperaturen von +2/-1°C

In den letzten Jahren wurde versucht die Nachteile des  $NH_3/H_2O$  Gemisches (hoher Rektifikationsbedarf) durch den Einsatz von Ionischen Flüssigkeiten (IF) zu überwinden. Als IF werden Flüssigkeiten bezeichnet, die, wie Salze, nur aus Ionen (Kationen und Anionen) bestehen und ihre Schmelztemperatur unter 100°C liegt. Am IWT (TU Graz) wurde der  $NH_3/IF$  AWP-Prozess mit zwei ionische Flüssigkeiten ( $[bmim][BF_4]$ ,  $[bmim][PF_6]$ ) zur Kälteerzeugung aus Abwärme analysiert und mit dem oben beschriebenen  $NH_3/H_2O$  AWP-Prozess verglichen. Die berechneten  $COP_c$ -Werte sind in Abbildung 72 dargestellt. Die Effizienz des AWP-Prozesses mit den beiden IF ist im untersuchten Bereich der Austreibertemperaturen niedriger als diese des konventionellen AWP-Prozesses. Auffallend bei den Gemischen mit IF im Vergleich zum  $NH_3/H_2O$  ist, dass der  $COP_c$  bei niederen Austreiber-Austrittstemperaturen stark abnimmt. Dies geschieht aufgrund der geringeren Entgasungsbreite (Unterschied zwischen  $NH_3$ -Konzentrationen in der reichen und armen Lösung) und des damit verbundenen höheren notwendigen Lösungsumlaufes (Verhältnis des Durchflusses der reichen Lösung zum Durchfluss des Kältemittels).

Allgemein kann gesagt werden, dass die untersuchten  $NH_3/IF$  AWP-Prozesse zurzeit für die industrielle Kälteerzeugung mittels der Abwärme im Vergleich zum konventionellen  $NH_3/H_2O$  AWP-Prozess nicht konkurrenzfähig sind.

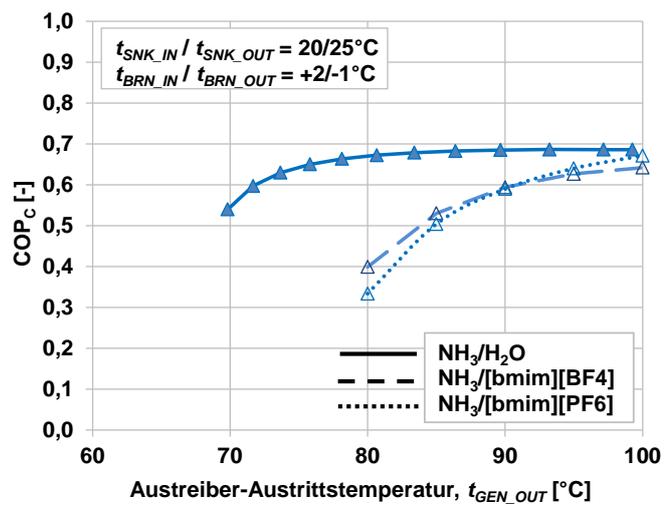


Abbildung 72: Vergleich der berechneten COP von den AWP-Prozessen mit  $NH_3/H_2O$ ,  $NH_3/[bmim][BF_4]$  und  $NH_3/[bmim][PF_6]$  Arbeitsstoffgemischen in Abhängigkeit von der Austreiber-Austrittstemperatur

### 3.3.6 Übersicht der Erkenntnisse zur Gerätetechnik aus den teilnehmenden Partnerländern

Die in der Industrie anfallende Abwärme stellt ca. 25 % des Gesamtenergieverbrauches in der Produktion dar, jedoch können am Markt erhältliche Wärmepumpen Wärme meist nicht die geforderten Temperaturen bereitstellen. Daher ist es von großer Bedeutung, dass Forschungsarbeiten auf Wärmepumpen fokussiert werden, die es ermöglichen Niedertemperaturabwärme (bis ca. 40 °C) auf Temperaturen größer 100 °C anzuheben. Um dieses Ziel zu erreichen, liegen die Forschungsschwerpunkte in den teilnehmenden Ländern in unterschiedlichen Schwerpunkten, wie z.B.: Optimierung des thermodynamischen Kreislaufs, Einsatz neuer Kältemitteln und Untersuchung neuer Prozesse.

#### Kanada:

Die F&E-Projekte in Kanada sind auf die Wärmerückgewinnung von Niedertemperaturabwärme (- 5°C bis 35 °C) in kleinen bis mittelgroßen Industriebetriebe konzentriert, um die Wärme (85 °C bis 90 °C) für Heizungszwecke, Brauchwasserbereitung und zur Verwendung in industriellen Prozessen nutzbar zu machen. Die Hauptaugenmerke liegen auf der richtigen Planung, Integration und dem effizienten Betrieb von unterschiedlichen Industrierärmepumpen in energieintensiven Industrieprozessen. Zusätzlich werden der Einsatz von natürlichen Kältemittel (Abbildung 73) und die Anwendung optimierter thermodynamischer Kreisläufe untersucht.

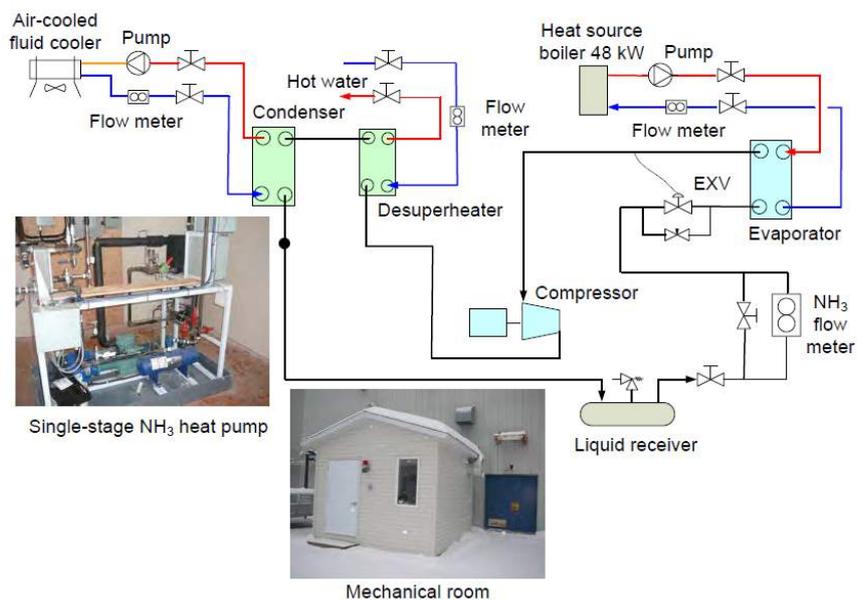


Abbildung 73: Versuchsaufbau einer einstufigen Ammoniak-Wärmepumpe (Minea & Richard, 2011; Minea, 2013)

#### Dänemark

In Dänemark werden für den Großteil der möglichen Wärmepumpenanwendungen Temperaturen unter 100 °C benötigt, daher sollte damit keine technische Barriere vorhanden sein. Des Weiterén zeigen Untersuchungen, dass für einige Anwendungen der Temperaturhub nur bei 20 K liegt und somit mit

hohen COPs zu rechnen ist. Die notwendige thermische Leistung liegt im Megawattbereich, das Potential für Wärmepumpen im kleineren Leistungsbereich (kleiner 1 MW) ist sehr gering.

In den vergangenen Jahren wurden einige Demoanlagen realisiert, die meistens als transkritische CO<sub>2</sub> oder Hochdruck Ammoniak Wärmepumpen ausgeführt wurden. Im Moment wird am Einsatz von Anlagen mit Wasser als Kältemittel und Ammoniak/Wasser Hybrid-Wärmepumpen (Abbildung 74) geforscht.

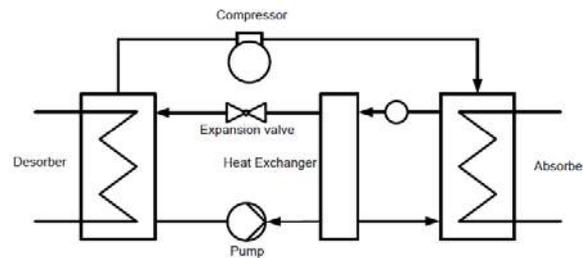


Abbildung 74: Schema eines Hybrid-Wärmepumpenprozesses (IEA HPP Annex 35, 2014)

### Frankreich:

In den letzten Jahren ist in Frankreich ein starkes Interesse an Wärmepumpen für industrielle Anwendungen entstanden. Jüngste Entwicklungen liegen im Bereich von Industrierärmepumpen (> 100 kWth) für hohe (> 80 °C) und sehr hohe Temperaturen (> 100 °C) (Abbildung 75). Derzeit sind nur wenige Anlagen installiert, das Interesse in der Industrie ist aber steigend. Es wird erwartet, dass in Frankreich bis 2020 mindestens 1.500 industrielle Hochtemperatur-Wärmepumpen installiert werden.

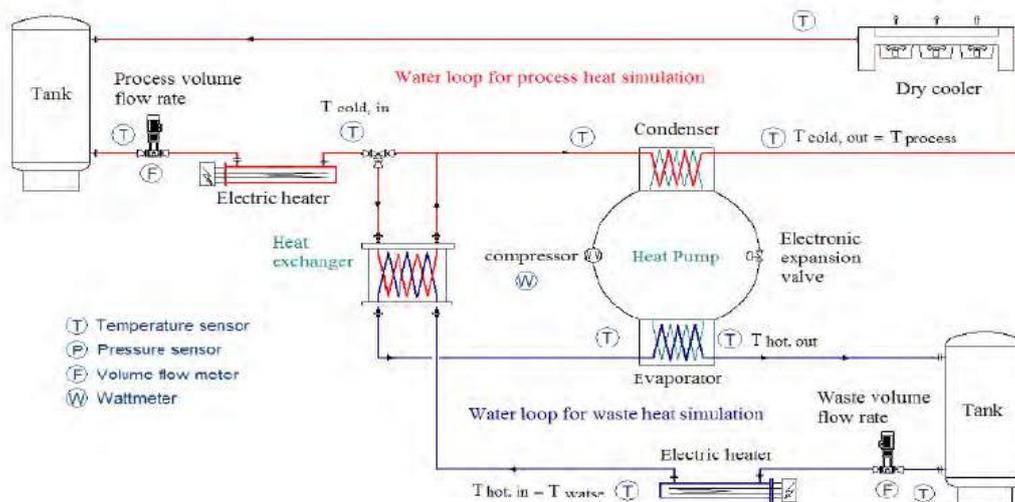


Abbildung 75: Prüfstand für Hochtemperatur-WP bis 150 °C Senktemperatur (IEA HPP Annex 35, 2014)

## Deutschland:

In Deutschland konnten diverse Projekte, die sich mit der Integration von Wärmepumpen in industrielle Anwendungen beschäftigen, aufgefunden werden. Der Leistungsbereich der eingesetzten Wärmepumpen reicht von 50 kW bis zu 14 MW in einem Temperaturbereich von 90 °C bis zu 120 °C. Der Fokus liegt im Moment auf mehrstufigen-, transkritischen CO<sub>2</sub>- und Hochdruck Kompressions-Systemen. Die eingesetzten Kältemittel sind ebenfalls breit gefächert, von HFKWs (Abbildung 76) über CO<sub>2</sub> zu brennbaren natürlichen Kältemitteln, wie z.B. R600, R600a, R717 etc..

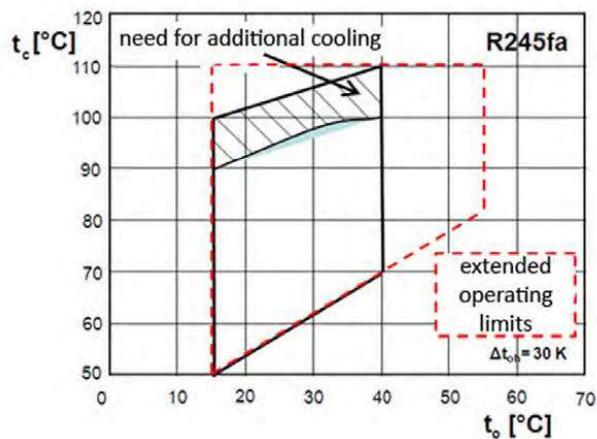


Abbildung 76: Einsatzgrenzen eines R245fa Hubkolbenverdichters (IEA HPP Annex 35, 2014)

## Japan:

Wie auch in den meisten anderen Partnerländern, werden in Japan als industrielle Wärmepumpen sowohl geschlossene mechanisch/thermische Kreisläufe und offene mechanische/thermische Kreisläufe verwendet. Transkritische CO<sub>2</sub> Luft/Wasser Wärmepumpen mit einer Wärmeleistung von 72,0 kW, die Warmwasser von 90 °C bereitstellen können, sind am Markt erhältlich und wurden nicht nur in Japan sondern auch in Südkorea, Taiwan, Indonesien usw. verkauft. Des Weiteren wurden transkritische CO<sub>2</sub> Wärmepumpen mit Wasser als Wärmequelle zur Bereitstellung von 100 °C Heißluft mit einer thermischen Leistung von 110 kW auf den Markt gebracht (Abbildung 77). Zusätzlich wird in Japan an den Einsatzmöglichkeiten von Kältemitteln mit niedrigem GWP geforscht.

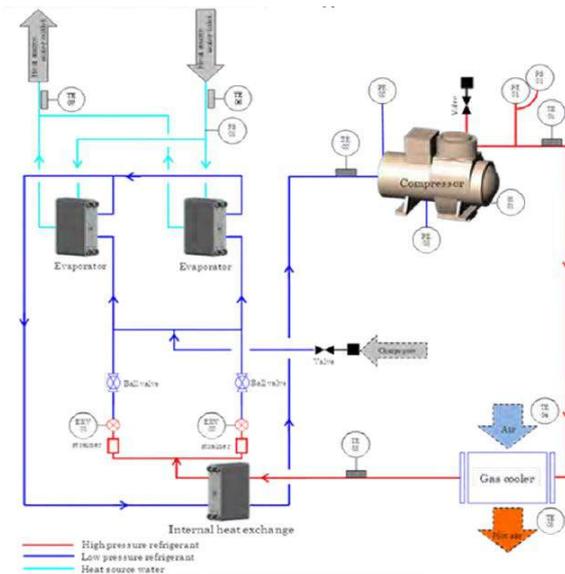


Abbildung 77: Schema einer CO2 Wärmepumpe zur Luftaufheizung (IEA HPP Annex 35, 2014)

## Süd Korea:

In den vergangenen 3 Jahren wurden im Bereich der Industriewärmepumpen einige F&E Projekte mit den Schwerpunkten Hybridwärmepumpen (Abbildung 78), Rauchgaskondensation, Trocknungsprozesse, Absorptionswärmepumpen und Geothermie-Anwendungen durchgeführt. Die thermische Leistung der untersuchten Systeme liegt dabei zwischen 13 kW bis über 1MW. Für die Hybridwärmepumpen wurde als Arbeitsmittel Ammoniak/Wasser verwendet. Bei den geothermischen Anwendungen sind HFKWs wie z.B. R410A zur Anwendung gekommen.



Abbildung 78: Prototyp einer Hybridwärmepumpe (IEA HPP Annex 35, 2014)

## Niederlande:

In den Niederlanden liegt der Fokus der momentanen Forschungsprojekte auf Thermoakustischen Systemen (Abbildung 79), Adsorptionswärmepumpen und Kompression/Resorptions-Wärmepumpen (entspricht Absorption/Kompressions-Wärmepumpe). Die neuen Entwicklungen sollen zu ökonomischeren und besser integrierbaren Systemen führen. Die zukünftigen Systeme sollen im Nutzttemperaturen zwischen 100 °C und 250 °C ermöglichen und dabei Temperaturhübe von 50 bis 100 K bewerkstelligen. Untersuchungen haben gezeigt, dass für Anwendungen im Bereich von Destillationskolonnen die gesamte thermische Leistung bei ca. 2,4 GW liegt und der durchschnittliche Temperaturhub ca. 60 K beträgt.

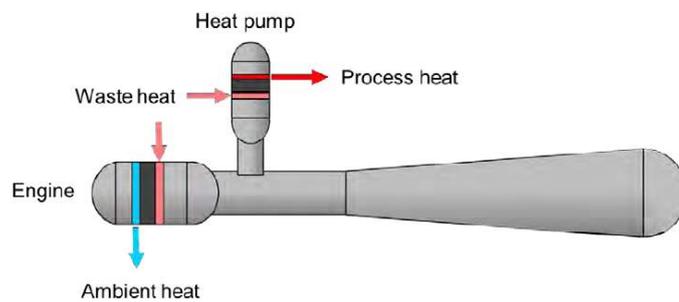


Abbildung 79: Schema eines Thermoakustischen Systems (IEA HPP Annex 35, 2014)

## 3.4 Systemtechnik

Um industrielle Wärmepumpen langfristig zu etablieren und weiter zu promoten, dürfte die Verbreitung der Erfahrungen aus bereits eingesetzten Wärmepumpen führend sein. Dadurch könnte diese Möglichkeit weiter publik werden, Skepsis über die Zuverlässigkeit wettgemacht werden und des Weiteren möglichen Anwendungen für relevante Akteure aufgezeigt werden.

In Kapitel 3.4.1 sind einige Anwendungen von industriellen Wärmepumpen in Österreich beschrieben und Kapitel 3.4.2 gibt einen Überblick über installierte Wärmepumpen in der Industrie aus den Partnerländern des IEA HPP Annex 35. In Kapitel 3.4.3 werden noch Case-Studies von industriellen Wärmepumpen aus Österreich vorgestellt.

### 3.4.1 Anwendungen von Wärmepumpen in Österreichs Industrie und Gewerbe

Es wurde eine umfangreiche und aufwendige Recherche nach bereits realisierten Wärmepumpenanlagen in der Industrie durchgeführt. Die Recherche nach „Best-Practise“ Beispielen über bereits installierte industrielle Wärmepumpenanwendungen in Österreich stellte sich als wesentlich aufwendiger dar, als ursprünglich vermutet wurde. Einer der Hauptgründe dafür lag in der geringen Anzahl an bereits realisierten Wärmepumpenanwendungen in Österreichs Industrie. Es wurde mit diesen Unternehmen Kontakt aufgenommen, um - falls vorhanden - notwendige Daten (Effizienz, Kosten, Störungen, usw.) über diese Anlage zur Verfügung gestellt zu bekommen. Um einen Überblick über bereits installierte Wärmepumpen in Österreichs Industrie zu erheben, wurden branchenbekannte Planer und Wärmepumpenhersteller kontaktiert, eine detaillierte Internetrecherche durchgeführt und ein Fragebogen an die österreichische Industrie gesandt. Über diesen Weg konnten einige Anwendungen von industriellen Wärmepumpen erhoben werden. Es konnten zwar im Zuge der aufwendigen Recherche einige Anwendungen von innerbetrieblicher Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen in Österreichs Industrie eruiert werden, jedoch waren für viele Anlagen notwendige Daten nur bedingt oder unzureichend vorhanden, weshalb nicht alle erhobenen Anlagen (entweder aufgrund eines fehlenden Monitorings oder aus Gründen von Geheimhaltung) vollständig dokumentiert werden konnten. Anschließend wurden die Anlagen Vorort besichtigt und mit den Betreibern über Vor- und Nachteile der Anlagen diskutiert und sofern Daten vorhanden waren, wurden diese in einem Bericht über Best-Practise-Beispiele aus Österreich zusammengefasst (siehe Anhang 7.5).

Tabelle 13 gibt einen Überblick der Anlagen, die im Zuge der österreichischen Beteiligung am IEA HPP Annex 35 erhoben und dokumentiert wurde. Darunter befinden sich sowohl Brüdenverdichter (z.B. Bergbau-Unternehmen) sowie auch Kompressions-Wärmepumpenanlagen (z.B. in der Lebensmittel- oder Mineralölindustrie) und Absorptionskältemaschinen (welche z.B. mit Rauchgasen aus Öfen zur Klimatisierung angetrieben werden).

Tabelle 13: Überblick ausgewählter Anlagen in Österreich.

Anlage	Nutzung	Heizen	Kühlen	WQA	WNA	Zusatzsystem	Einsparungen	Amortisation	Inbetriebnahme
Absorptionswärmepumpe in der Holzverarbeitenden Industrie (Fa. fibre)	Abwärmenutzung / Fernwärme	7,5 MW	3,0 MW	50 °C	95 °C	Biomasse Dampfkessel	15,000 MWh/a	-	2006
Wärmepumpe mit Tiefenerdwärmesonde im Fernwärmenetz (Fa. RAG)	Tiefengeothermie / Fernwärme	0,35 MW	-	50 °C	70 °C	keines	-	-	2012
Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe in der Kabelfertigung (Fa. Gebauer&Griller)	Prozesswärme- Aluziehen / Raumheizung	0,14 MW	-	25 °C	55 °C	keines	60 t CO <sub>2</sub> /a 19.000 €/a	-	2009
Optimierte Kälte und Wärmepumpenanlage in der Fleischverarbeitung (Fa. efef Fleischwaren GmbH)	Abwärme von Kältemaschinen + Druckluft / Brauchwassererwärmung + Raumheizung	0,26 MW	-	30 °C	55 °C	Gaskessel	ca. 75 % CO <sub>2</sub> Emissions-einsparung	-	-
Add On Wärmepumpe zu einem Kaltwassersatz (Kunsteisbahn Gmunden)	Abwärme von Kältemaschinen / Raumheizung	0,41 MW	-	25 °C	60 °C	keines	ca. 75 % CO <sub>2</sub> Emissions-einsparung	-	-
Kompressionswärmepumpe und Absorptionskältemaschine in der Elektroindustrie (Fa. Seidel Elektronik)	Abwärmenutzung zur Kälteerzeugung / Antrieb AWP + Heizung	-	-	-	75 °C	Gaskessel	169 MWh/a 16.800 €/a	< 8 a	2011
Kompressionswärmepumpe in einer Brauerei (Mohrenbrauerei)	Abwärme von Kältemaschinen / Brauwassererwärmung + Raumheizung	0,37 MW	-	-	77 °C	Gaskessel	1430 MWh/a 64.000 €/a	5,7 a	2012
Optimierung Kältezentrale und Wärmerückgewinnung für Heizzwecke (Fa. Daily Service)	Abwärme von Kältemaschinen / Raumheizung	-	0,31 MW 0,41 MW	-38 °C -10 °C	-5 °C 35 °C	keines	370 MWh/a 39.600 €/a	5,4 a	2011
Kompressionswärmepumpe für Wärmerückgewinnung in der Automobilindustrie (Magna Auteca AG)	Abwärme von Kältemaschinen / Raumheizung	-	0,29 MW	-	-	keines	445 MWh/a 21.000 €/a	13,6 a	2012
Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen eines Bürogebäudes - STRABAG AG	Heizen und Kühlen	3,1 MW	2,1 MW	-	55 °C	keines	80.700 €/a	3,4 a	2003
Absorptionskältemaschinen zum Kühlen mittel Abwärme	Kühlen	div.	div.	div.	div.	div.	div.	div.	div.

**a. Absorptionswärmepumpe in der Holzverarbeitenden Industrie zur Rauchgaskondensation**

Tabelle 14 gibt einen Überblick der wichtigsten Daten zu dieser industriellen Wärmepumpenanwendung in einem österreichischen Holzverarbeitenden Industriebetrieb. (Anm.: kursiv gestellter Text wurde direkt aus Zotter & Rieberer (2014) zitiert)

*Tabelle 14: Projektdaten – Rauchgaskondensation in der Holzverarbeitenden Industrie*

Firma	Salzburg AG Energie, Verkehr und Telekommunikation Bayerhamerstraße 16, 5020 Salzburg, Austria
Standort	Salzachtalstraße 88, 5400 Hallein – Austria
Nutzung/Anwendung	Biomasse Kraftwärme-Kopplung
Wärmepumpen-Typ	Absorptionswärmepumpe
Leistung	Heizleistung ca. 7.5 MW
Betriebsstunden	Ca. 7 500 h/a
Inbetriebnahme	Seit 09/2006
Primärenergieeinsparung	Ca. 15,849 MWh
Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emission	6,000 tons/a
Hersteller/Lieferant	INVEN Absorption GmbH
Amortisation	Gemäß der Salzburg AG läuft die AWP profitabel
More information/contact	Dipl. Ing. (FH) Thomas Bergthaller Salzburg AG, Elisabethkai 52, 5020 Salzburg, Austria Tel. +43/662/8884-8862 Fax +43/662/8884-170-8862 thomas.bergthaller@salzburg-ag.at www.salzburg-ag.at

Beim Zellstoffproduzenten Schweighofer Fiber GmbH in Hallein (siehe Abbildung 80) dient ein Biomasseheizkraftwerk zur energetischen Verwertung von Reststoffen und Biomasse. Dabei hebt eine Absorptionswärmepumpe (AWP), welche von der Salzburg AG betrieben wird, das Temperaturniveau der Rauchgas-kondensationswärme im Biomassekraftwerk von ca. 50°C auf 95°C an, um eine Nutzung dieser - ansonsten über den Schornstein abgeführten - Abwärme für die Fernwärmeversorgung zu ermöglichen. (Klima:aktiv, 2009)



Abbildung 80: Die Niederlassung der Schweighofer Fiber GmbH in Hallein (Schweighofer, 2013)

Das Biomasseheizkraftwerk mit einer Leistung von  $5 \text{ MW}_{el}$  und  $30 \text{ MW}_{th}$  nutzt eine AWP zur Rauchgasabwärme-Rückgewinnung. Die AWP ermöglicht, wie bereits erwähnt, die Nutzung der Kondensationswärme des im Rauchgas enthaltenen Wasserdampfes für die Fernwärme, obwohl die Fernwärmerücklauftemperatur über der Taupunktstemperatur des Rauchgases liegt.

Bei einer Verdampfungstemperatur der AWP unter dem Taupunkt des Rauchgases kondensiert das Wasser im Rauchgas aus. Die dabei freiwerdende Kondensationswärmeleistung im Rauchgas von ca.  $3 \text{ MW}_{th}$  wird im Verdampfer der AWP bei ca. 50°C aufgenommen und durch die AWP (siehe Abbildung 81) auf ein für die Fernwärme nutzbares Temperaturniveau von ca. 95°C angehoben.

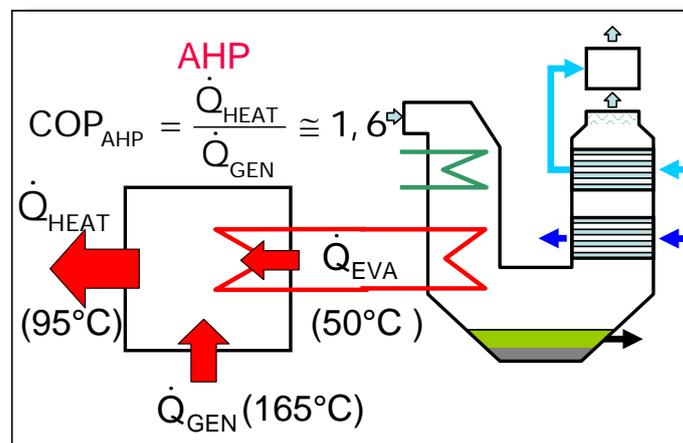


Abbildung 81: Prozessschema der Absorptionswärmepumpe im Biomassekraftwerk Hallein (Rechberger, 2012)

Die nominelle Heizleistung der 2006 installierten der einstufigen Wasser/Lithiumbromid-Anlage (mit Lösungsmittelwärmetauscher) beträgt 7,5 MW (über den Absorber und den Kondensator abgegeben). Als Antrieb der AWP dient Prozessdampf aus dem Biomassekraftwerk mit einem Temperaturniveau von ca. 165°C. Neben den  $4 \text{ MW}_{th}$  an thermischer Antriebswärmeleistung benötigt die AWP noch ca.  $20 \text{ kW}_{el}$

an elektrischer Antriebsleistung für die Lösungsmittelpumpe (Klima:aktiv, 2009, Laucher, 2009 und Bergthaller, 2013)

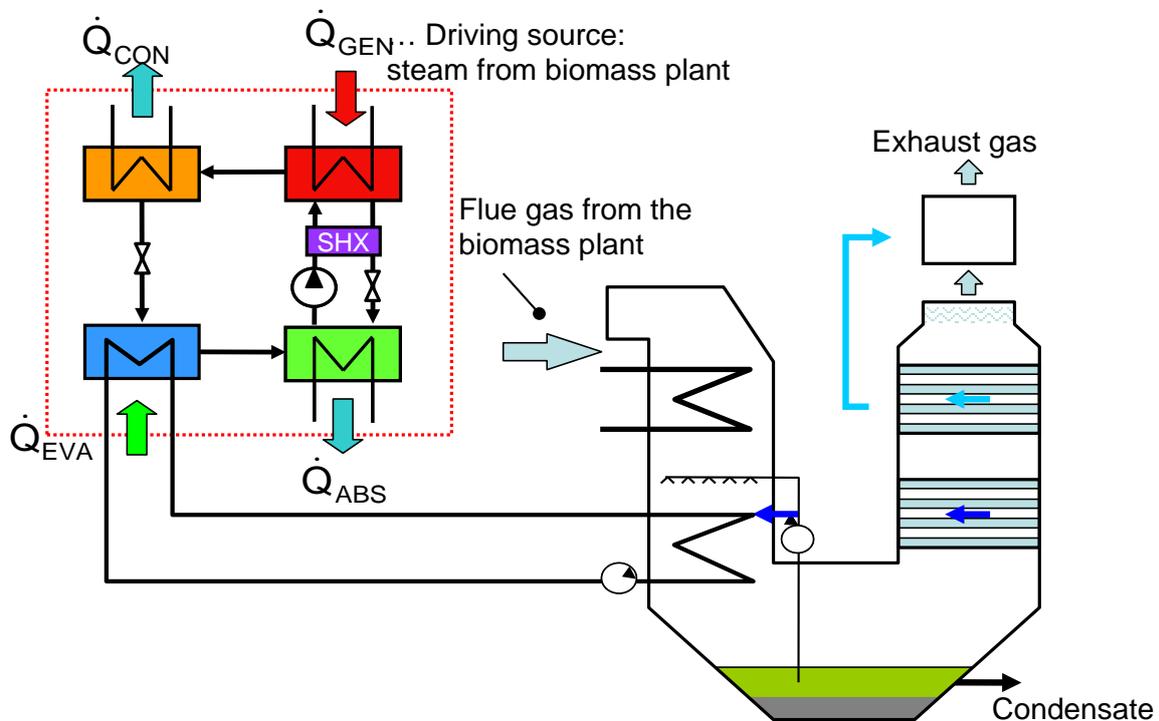


Abbildung 82: Anlagenschema der Absorptionswärmepumpe im Biomassekraftwerk Hallein (Rechberger, 2012)

Lt. dem Betreiber (Bergthaller, 2013) arbeitet die AWP (siehe Tabelle 15) gemäß dem existierenden Monitoringsystem mit einer Jahresarbeitszahl ( $SPF_{th,H}$ ) von 1,6. Durch die zusätzliche Nutzung der Rauchgaskondensationswärme kann jährlich ca. 16.000 MWh an Brennstoffenergie und damit bis zu 6.000 Tonnen an  $CO_2$  pro Jahr bzw. 140 kg an  $CO_2$  pro MWh an gelieferte Heizwärme eingespart werden (Bergthaller, 2013). Aufgrund der hohen Auslastung der AWP von ca. 6.200 Volllaststunden im Jahr, weist diese Anlage aus Sicht des Betreibers (Bergthaller, 2013) ein hohes wirtschaftliches Potential auf. Denn neben der Brennstoffersparnis entfallen lt. Laucher (2009) auch Kosten für die Rauchgasentschwäfung, die Brennstofflagerung und –manipulation.

Diese Anwendung einer Absorptionswärmepumpe in einem Biomasseheizkraftwerk ermöglicht die Rauchgaskondensationswärme auch bei Temperaturniveaus über dem Taupunkt nutzen zu können, und damit nicht nur  $CO_2$ -Emissionen und Brennstoffkosten, sondern auch z.B. Kosten für die Entschwäfung einzusparen (siehe Tabelle 16).

Tabelle 15: Wärmepumpendaten (IEA HPP Annex 35 ,2014)

Type	1-stufige H <sub>2</sub> O/LiBr - Absorptionswärmepumpe	
Heizleistung	Ca. 7.5 MW bei ca. 95 °C (@ Vollast)	
Verdampferleistung	Ca. 3.0 MW bei ca. 50 °C (@ Vollast)	
Antriebsleistung	Ca. 4.5 MW <sub>th</sub> bei ca. 165 °C (@ Vollast) Ca. 20 kW <sub>el</sub> für die Lösungsmittelpumpe (@ Vollast)	
Wärmequelle	Rauchgas	Temp.: 50 °C
Antriebsquelle	Prozessdampf	Temp.: 165 °C
Wärmesenke	Fernwärme	Temp.: 95 °C
Kältemittel	Wasser	
Lösungsmittel	Wasser/LiBr	
SPF	Ca. 1.6	
Betriebsstunden	In Summe 37.000 h ; jährlich ca. 7.500 h/ a	
Wärmespeicher	Keiner (Anm.: Fernwärmenetz)	
Wärmepumpenhersteller	INVEN Absorption GmbH	

Tabelle 16: Erfahrungen, Einsparungen, Potenziale etc. (IEA HPP Annex 35 ,2014)

Energiekosteneinsparung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brennstoffkosten werden verringert</li> <li>- Minimierung der Brennstofflagerkosten</li> <li>- Verringerung der Kosten für die Ascheentfernung</li> </ul>
Energieeinsparung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ca. 15.000 MWh/a</li> </ul>
Erfahrungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Effizienz</li> </ul>
Einsatzmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KWKs und Heizkraftwerke</li> </ul>
Alternativen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwei-stufige Absorptionswärmepumpe</li> <li>- Kompressionswärmepumpe</li> </ul>
Weitere Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Entschwadung notwendig</li> </ul>

## b. Wärmepumpe mit Tiefenerdwärmesonde im Fernwärmenetz – RAG

Mit dem Projekt „Tiefe Erdwärmesonde Mühlleiten“ wurde ein für die Rohstoffförderung nicht geeignetes Bohrloch zur Wärmebereitstellung (siehe Abbildung 83) in einem Nahwärmenetz realisiert und 2012 in Betrieb genommen (siehe Tabelle 17). Mit einer Tiefentemperatur von 105 °C in 2.850 Meter Tiefe ist die Bohrung geeignet für die Gewinnung von Erdwärme, dazu wurde die Bohrung zu einer „Tiefen Erdwärmesonde“ (TEWS) ausgebaut. Wie bei oberflächennahen Erdwärmesonden bei Einfamilienhäusern wird dabei Erdwärme aus dem Untergrund gewonnen. In einem geschlossenen System wird die im Gestein enthaltene Wärme mit aufbereitetem Wasser an die Oberfläche gefördert. Im Verdampfer der Wärmepumpe wird dem erwärmten Wasser die Wärme entzogen. Aufgrund der höheren Gesteinstemperaturen in 2.850 Meter Tiefe ist die Effizienz der mit der Geothermie betriebenen Wärmepumpe wesentlich höher, da die Austrittstemperatur aus der TEWS mit 50 °C relativ hoch ist. Für einen effizienten Betrieb der Anlage war es essentiell, eine Wärmepumpe zu installieren, die direkt die hohen Wärmequellentemperaturen und damit hohe Verdampfungstemperaturen nutzen kann, dazu wird eine Ammoniak Kompressionswärmepumpe mit einer thermischen Leistung von max. 450 kW betrieben (siehe Abbildung 84).



Abbildung 83: Tiefe Erdwärmesonde Mühlleiten (Foto: RAG, Josef Reiter)



Abbildung 84: NH<sub>3</sub> Kompressionswärmepumpe (Foto: AIT, Andreas Zottl)

Die Wärmepumpe wird mit Strom aus einem Gas-BHKW mit einer max. elektrischen Leistung von 100 kW betrieben, dessen Abwärme ebenfalls in das Fernwärmenetz eingespeist wird. In Abbildung 85 ist das Anlagenschema der TEWS 002 Mühlleiten dargestellt. Die Wärmepumpe hebt die Wärme aus der TEWS mit einer Temperatur von 50 °C auf 70 °C an. Der Austritt aus der Wärmepumpe ist zur Kühlung mit dem Gas-BHKW verbunden. Durch die Nutzung der Abwärme wird der Vorlauf der Wärmepumpe auf 80 °C angehoben. Nach 2 Jahren Betriebserfahrung hat sich gezeigt, dass die Wärmepumpe im Schnitt mit COPs zwischen 5 und 7 betrieben werden kann, womit ein ökologischer und ökonomischer Betrieb der Anlage gewährleistet ist (Doppelreiter, 2014).

Tabelle 17: Projektdaten zur Wärmepumpe mit Tiefenerdwärmesonde

Unternehmen	RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft Schwarzenbergplatz 16 A-1015 Wien <a href="http://www.rag-austria.at">www.rag-austria.at</a>
Standort	Neukirchen a.d. Vöckla
Anwendung	Fernwärme
Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Therm. Leistung	ca. 450 kW
Inbetriebnahme	2012
Weitere Informationen / Kontakt	Dipl. Ing. David Doppelreiter RAG Rohöl-Aufsuchungs Aktiengesellschaft Schwarzenbergplatz 16 A-1015 Wien <a href="http://www.rag-austria.at">www.rag-austria.at</a>  Andreas Zottl AIT Austrian Institute of Technology GmbH Giefinggasse 2, 1210 Vienna, Austria <a href="mailto:andreas.zottl@ait.ac.at">andreas.zottl@ait.ac.at</a> <a href="http://www.ait.ac.at">http://www.ait.ac.at</a>

Jährlich wird ca. 1 GWh Wärme an die Bioenergie Neukirchen geliefert, die in Neukirchen an der Vöckla ein Biomasseheizwerk samt Nahwärmenetz betreibt (Doppelreiter, 2013). Durch den Abschluss eines Abkommens mit der RAG werden 1/3 der Wärme für die Kunden aus der Tiefen Erdwärmesonde bereitgestellt. Damit kann die wirtschaftliche Effizienz der Biomasse-Anlage erhöht und das Nahwärmenetz um 1.000 Meter erweitert werden und es wird verhindert, dass Brennstoff für das Biomasseheizwerk außerhalb der Region zugekauft werden muss.

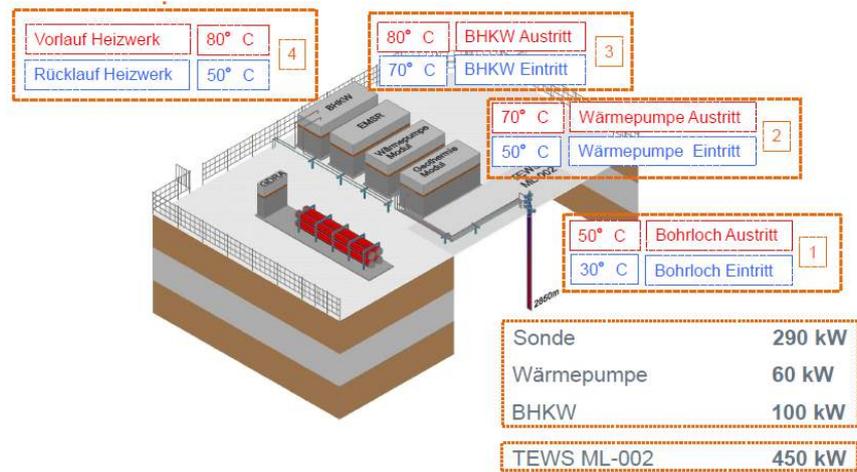


Abbildung 85: Konzept TEWS Mühlleiten (Doppelreiter, 2014)

### c. Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe in der Kabelfertigung - Gebauer&Griller

Im Werk Poysdorf der Gebauer & Griller Kabelwerke Gesellschaft m.b.H. wird Prozessabwärme aus dem Ziehen von Aluminium genutzt, um mit einer Wärmepumpe mit 140 kW Heizleistung die Beheizung von zwei Produktionshallen inklusive Büros zu unterstützen (siehe Tabelle 18). Die Wärmepumpe (siehe Abbildung 86) wurde so in die bestehende Anlage integriert, dass die Wärmepumpe nur betrieben wird, wenn in den Gebäuden Heizbedarf vorhanden ist. Die Kühlung im Sommer erfolgt ausschließlich über die Verdunstungskühler. Somit wurde die Wärmepumpe auf die notwendige Heizlast dimensioniert, um den Betrieb der bestehenden Öl-Kessel (für andere Betriebsgebäude) zu reduzieren.

*Tabelle 18: Projektdaten: Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe in der Kabelfertigung*

Unternehmen	Gebauer & Griller Kabelwerke Ges.m.b.H. Laaer Straße 145 2170 Poysdorf
Standort	Poysdorf
Anwendung	Drahtziehen
Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Therm. Leistung	ca. 140 kW
Inbetriebnahme	2009
CO <sub>2</sub> -Einsparung	60 t CO <sub>2</sub> /a
Kosteneinsparung	19.000 EUR/a
Investitionskosten	365.000 EUR
Weitere Informationen / Kontakt	OCHSNER Wärmepumpen GmbH Ochsner-Straße 1 A 3350 Haag Tel. +43 (0)5 04245 - 8 Fax +43 (0)5 04245 - 349  Andreas Zottl AIT Austrian Institute of Technology GmbH Giefinggasse 2, 1210 Vienna, Austria <a href="mailto:andreas.zottl@ait.ac.at">andreas.zottl@ait.ac.at</a> <a href="http://www.ait.ac.at">http://www.ait.ac.at</a>



Abbildung 86: Ochsner Wärmepumpe – Gebauer & Griller (Foto: Ochsner, 2009)

Die Wärmepumpe nutzt auf der Wärmequellenseite die Prozesswärme bei einem Temperaturniveau von ca. 25 °C und unterstützt die Heizung mit Vorlauftemperaturen von ca. 55 °C (siehe Abbildung 87). Damit sind die Rahmenbedingungen für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb geschaffen. Teilweise werden die Kühlbecken der Drahtziehanlage mit höheren Temperaturen betrieben, die Abwärme kann aber nur auf einem Temperaturniveau von max. 25 °C von der Wärmepumpe genutzt werden und muss daher auf ein für die Wärmepumpe nutzbares Niveau reduziert werden. Hier liegt sicher ein Effizienzsteigerungspotential der Anlage. Durch die Integration der Wärmepumpe spart Gebauer & Griller jährlich ca. 19.000 EUR Heizkosten durch den reduzierten Ölverbrauch ein und kann damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 60 t/a senken.

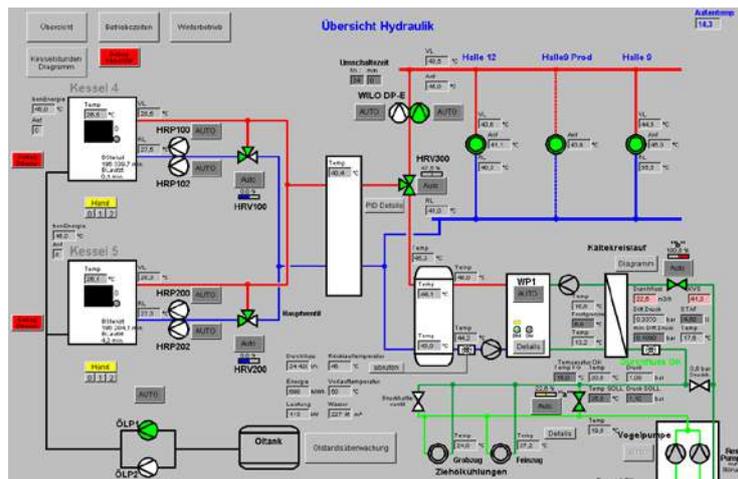


Abbildung 87: Anlagen Schema – Gebauer & Griller

**d. Optimierte Kälte und Wärmepumpenanlage in der Fleischverarbeitung - efef Fleischwaren GmbH**

Der Lebensmittelindriebetrieb efef **Fleischwaren GmbH** (REWE Austria Fleischwaren GmbH) verarbeitet Rohprodukte von Schlachthöfen zu Frischfleisch, Räucher- und Wurstwaren und beliefert sowohl den Einzel- wie auch den Großhandel in ganz Österreich mit ihren Produkten (siehe Abbildung 88). Gegenwärtig werden um die 150 Mitarbeiter beschäftigt. (Cofely, 2013b)



*Abbildung 88: Bilder der efef Fleischwarenfabrik in Hohenems (efef, 2013)*

In Tabelle 19 sind die wichtigsten Übersichtsdaten gelistet. In den Jahren 1995/96 hat efef ihre Niederlassung in Hohenems mit dem Focus eines möglichst geringen Energiebedarfs erweitert. Unter diesem Aspekt wurde auch eine elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpe zur Nutzbarmachung von Abwärme aus den lokalen Kältemaschinen und Druckluftkompressoren für die Wärmeversorgung vorgesehen, siehe Abbildung 89. Diese industrielle Wärmepumpe hebt das Temperaturniveau der Abwärme von ca. 30 °C auf ein nutzbares von ca. 55 °C für Raumheizung, Prozesswärmeversorgung (Wurstreifung) und Waschwassererwärmung an. Ebenfalls wurde zur zeitlichen Entkoppelung des Abwärmeangebots und des Wärmebedarfs ein ausgeklügeltes Speichersystem für den maximalen Tagesbedarf ausgeführt. Die Wärmepumpe besteht aus zwei separaten Kondensatoren, einer für die Raum- und einer Prozessheizung und der andere für die Waschwassererwärmung. (Cofely, 2013b)

*Tabelle 19: Projektdaten: Wärmerückgewinnung in der Fleischverarbeitung (Cofely, 2013b)*

Betrieb	efef Fleischwaren GmbH (REWE Austria Fleischwaren GmbH)
Niederlassung	Schweizer Straße 75, 6845 Hohenems, Austria
Anwendung	Wurstherstellung
Art der Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Heizleistung	ca. 257 kW
CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktion	75% (der von der Wärmepumpe gelieferten Wärme)
Lieferant/Hersteller	Cofely Kältetechnik GmbH
Amortisation	Keine Daten vorhanden
Kontaktperson	Jürgen Furtner Cofely Kältetechnik GmbH, Langegasse 19, 6923 Lauterach; Österreich - Austria Tel.: +43-5574 6705-14 Fax: +43 5574 6705-22 Juergen.Furtner@cofely.info www.cofely.info

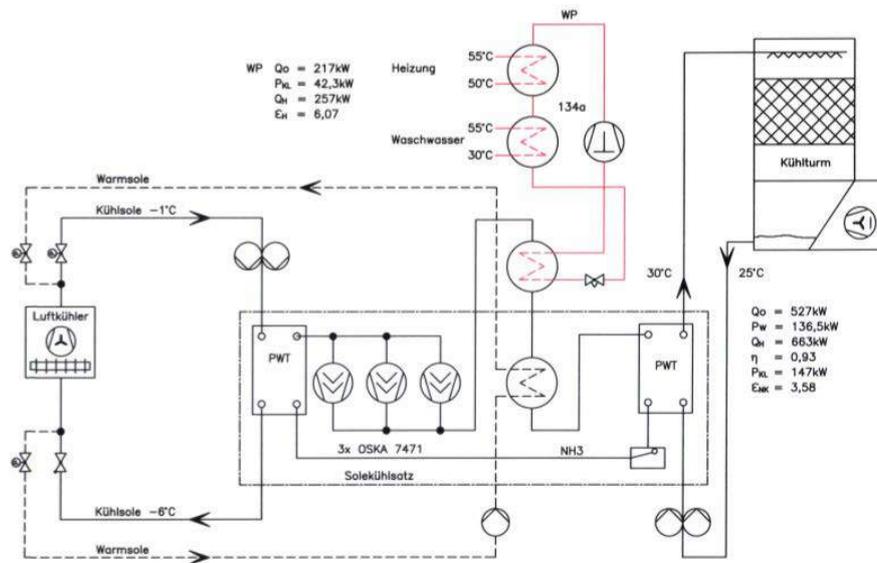


Abbildung 89: Anlagenprozess-Fließschema der industriellen Wärmepumpe (inkl. der Abwärmequelle) @ efef Hohenems (COFELY, 2012)

Die Wärmepumpe (genauere Spezifikationen in Tabelle 20) arbeitet lt. Cofely (2013) zur vollen Kundenzufriedenheit. Die benötigten 100 m<sup>3</sup> an Brauchwasser pro Tag werden zu 50% über die bereits erwähnte Wärmepumpe zur Abwärmenützung und die anderen 50% über einen Gas befeuerten Dampfkessel gedeckt. (Cofley, 2013b)

Tabelle 20: Wärmepumpenspezifikationen für die Wärmerückgewinnung in der Fleischverarbeitung (Cofely, 2012)

Type	1-stufige R 134 a Kompressionswärmepumpe	
Heizleistung	Ca. 257 kW (ca. 55 °C)	
Vedampferleistung	Ca. 217 kW (ca. 26 °C)	
Leistungsaufnahme	Ca. 42 kW <sub>el</sub>	
Wärmequelle	Abwärme der drei im Werk befindlichen Druckluftkompressoren und der Kondensationswärme der Kaltwassersätze	Temp.: 26 °C
Wärmesenke	Raumheizung, Wurstreifung und Waschwassererhitzung	Tem.: 55 °C
Kältemittel	R 134 a	
Kompressortype	Semi-hermetischer Kolbenkompressor	
COP	Ca. 6.1	
Speicher	Ja (Tagesspeicher mit Wasser als Speichermedium)	
Wärmepumpenhersteller	COFELY GmbH	

**e. Add On Wärmepumpe zu einem Kaltwasserwassersatz - Kunsteisbahn Gmunden**

Das Sportzentrum von Gmunden betreibt auch eine Kunsteisbahn (Abbildung 90).



Abbildung 90: Bild der Kunsteisbahn in Gmunden (Gmunden, 2013)

Wie in Abbildung 91 dargestellt, wird die Abwärme die bei der mit Ammoniak (NH<sub>3</sub>) betriebenen Kältemaschine der Kunsteisbahn (Tabelle 21) in Gmunden über eine so genannte Add on-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 413 kW genutzt oder an die Umgebung abgeführt. (COFELY, 2012)

Die Kunsteisbahn in Gmunden wird mit Ammoniak gekühlt, wobei es sich gemäß Abbildung 91 (Cofely, 2012) ein überfluteten Direktverdampfer eingesetzt wird. Die beiden Verdichter der Kältemaschine verdichten das dampfförmige Ammoniak aus dem Niederdruckabscheider und fördern dieses entweder zur Kondensation in einen Kühlturm (Regelung gemäß Abbildung 91 (Cofely, 2012) über Motorstellventile) oder in den Mitteldruckabscheider der Add on-Wärmepumpe.

Tabelle 21: Projektdaten der Add on-Wärmepumpe in der Kunsteishalle in Gmunden (Cofely, 2012)

Betrieb	Eislaufbahn Gmunden www.sportzentrum.gmunden.at
Niederlassung	Fliegerschulweg 44, 4810 Gmunden– Austria
Anwendung	Abwärmenutzung der Kältemaschine einer Kunsteisbahn
Art der Wärmepumpe	Add-on Kompressionswärmepumpe
Heizleistung	ca. 257 kW
CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktion	75%
Lieferant/Hersteller	Cofely Kältetechnik GmbH
Amortisation	Keine Daten verfügbar
Kontaktperson	Jürgen Furtner Cofely Kältetechnik GmbH, Langegasse 19, 6923 Lauterach; Österreich - Austria Tel.: +43-5574 6705-14 Fax: +43 5574 6705-22 Juergen.Furtner@cofely.info www.cofely.info

Der eingesetzte Kolbenkompressor der Add on-Wärmepumpe - mit einer maximalen elektrischen Leistungsaufnahme von 71 kW - saugt dabei Ammoniak direkt aus einem Mitteldruckabscheider. Das "Wärmequellentemperaturniveau" der realisierten Add on-Wärmepumpe (siehe Tabelle 22) beträgt somit ca. 25°C und entspricht dem Kondensationstemperaturniveau der Kältemaschine. Ein Pufferspeicher mit einem Temperaturniveau von 60 °C (in Abbildung 91: Heizungsspeicher) dient als Wärmesenke der Add on-Wärmepumpe zur Deckung des Heizungswärmebedarfs.

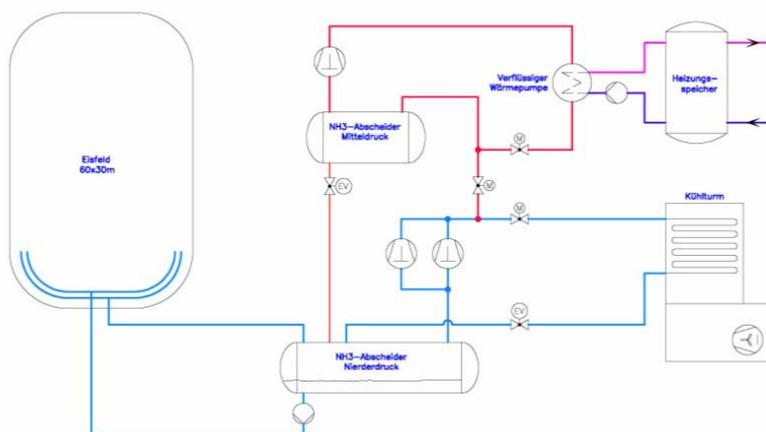


Abbildung 91: Anlagenfließschema der Add on-Wärmepumpe inkl. Kältemaschine der Kunsteisbahn Gmunden (Cofely, 2012)

Tabelle 22: Wärmepumpenspezifikationen Add on-Wärmepumpe (Cofely, 2012)

Type	1-stufige Add On - Kompressionswärmepumpe	
Heizleistung	Ca. 413 kW	
Vedampferleistung	Ca. 347 kW	
Leistungsaufnahme	Ca. 71 kW <sub>el</sub>	
Wärmequelle	Abwärme der elektrisch angetriebenen Kältemaschine. Ammoniakdampf vom Kondensator der Kältemaschine.	Temp.: ca. 25 °C
Wärmesenke	Heizungspufferspeicher	Temp.: ca. 60 °C
Kältemittel	R 717	
Kompressorart	Kolbenkompressor	
COP	Ca. 5.8	
Speicher	Ja	
Wärmepumpenhersteller	COFELY GmbH	

**f. Kompressionswärmepumpe und Absorptionskältemaschine in der Elektroindustrie – Seidel**

Mit rd. 350 Mitarbeitern und einer Produktionsfläche von 7 200 m<sup>2</sup> am Standort Deutschlandsberg ist SEIDEL Elektronik ein Kompetenzzentrum für elektronische und mechatronische Baugruppenfertigung, sowie für Komplettgeräte-Montage und auch Distribution. Bevor Maßnahmen gesetzt wurden, um den Energieverbrauch an diesem Standort zu reduzieren, betrug der jährliche elektrische Energieverbrauch nur für Kühlzwecke ca. 450 MWh und ca. der gleiche Energiebedarf von rd. 460 MWh wurde jährlich an Gas für Heizzwecke benötigt. (Klima:aktiv, 2011)



Abbildung 92: Seidel Elektronik in Deutschlandsberg (Seidel, 2013)

Um diese Situation ökologisch zu verbessern, wurden unterschiedliche Gegenmaßnahmen in diesem Betrieb beschlossen und gesetzt, wie z.B. eine Kompressionswärmepumpe, deren Antrieb nur mehr mit Strom aus Wasserkraft erfolgt, und eine Abwärme angetriebene Absorptionskältemaschine einzusetzen (siehe Tabelle 23). Die erwähnte Kompressionswärmepumpe wird im Sommer auch zu Kühlzwecken genutzt. (Klima:aktiv, 2011)

Tabelle 23: Projektdaten: Kompressionswärmepumpe und Absorptionskältemaschine in der Elektroindustrie – Seidel Elektronik (Klima:aktiv, 2011)

Firma/Betrieb	Seidel Elektronik www.seidel.at
Standort	Frauentalerstr. 100, 8530 Deutschlandsberg– Austria
Anwendung/Einsatz	Elektroindustrie
Wärmepumpenart	Absorptionskältemaschine und Kompressionswärmepumpe
Jahr der Umsetzung/Installation	2011
Primärenergieeinsparung	168 627 kWh/a (40% des Gasverbrauches - abgeschätzt)
Hersteller/Lieferant	Frigopol (Kompressions-WP) Yazaki (AKM)
Amortisationszeit	7.9 a (berechnet)
Kontaktperson	DI (FH) Karin Kölblinger sattler energie consulting gmbh Krottenseestr. 45, 4810 Gmunden + 43 (0) 7312 / 73799 office@energie-consulting.at



Abbildung 93: Absorption chiller @ Seidel, Deutschlandsberg (Klima:aktiv, 2011)

Im Sommer wird die Abwärme dieser zur Kälteversorgung eingesetzten Kompressionswärmepumpe sowie auch weitere innerbetriebliche Abwärme von Druckluftkompressoren zum Antrieb einer Absorptionskältemaschine (Abbildung 93) genutzt. Beide liefern Kälte in den installierten Kältespeicher zur notwendigen Kühlung und Klimatisierung. Zusätzlich wurden die Klimaschränke von Luft- auf Wasserkühlung umgebaut, um den Wärmeeintrag dieser zu verringern. (Klima:aktiv, 2011)

Die Wärmerückgewinnung der Druckluftkompressoren wird das ganze Jahr genutzt, wobei dadurch Wärme bei einem Temperaturniveau von ca. 75 °C zur Verfügung steht. (Klima:aktiv, 2011)

In der Übergangszeit wird die Wärmesenke der o.a. Kompressionswärmepumpe soweit benötigt zur Gebäudebeheizung eingesetzt, wobei überschüssige Energie bei Rücklauftemperaturen über 70 °C wiederum zum Antrieb der Absorptionskältemaschine für Prozesskühlung eingesetzt wird. (Klima:aktiv, 2011)

Im Winter ist die Absorptionskältemaschine außer Betrieb, wobei die installierte Kompressionswärmepumpe (Abbildung 94) sowohl Kälte für die Prozesskühlung als auch Wärme für Heizzwecke liefert. Die Abwärme der Druckluftkompressoren wird zur Gänze für die Hallenheizung genutzt und erst wenn diese nicht ausreicht, schaltet sich ein Heizkessel zu. (Klima:aktiv, 2011)

Seit der Inbetriebnahme der Kompressionswärmepumpe und der Absorptionskältemaschine konnte der Verbrauch an Erdgas um ca. 40% (Seidel, 2012a) gesenkt werden. Dadurch dürfte gemäß einer Abschätzung von Seidel (2012b) eine Energiekostensparnis von 16 000 bis 18 000 € pro Jahr erzielbar sein. Vergleichsdaten waren nicht vorhanden.

Seidel Electronic verfolgt eine "Grüne Vision", so sind weitere Maßnahmen für eine langfristige CO<sub>2</sub>-neutrale Produktion in Deutschlandsberg geplant (Seidel, 2012b).



Abbildung 94: Kompressionswärmepumpe @ Seidel, Deutschlandsberg (Klima:aktiv, 2011)

### **g. Kompressionswärmepumpe in einer Brauerei – Mohrenbrauerei**

Die Mohrenbrauerei (siehe Abbildung 95) ist die älteste (aber zugleich eine moderne) Brauerei in Vorarlberg. Das traditionsreiche Unternehmen in Dornbirn ist seit 1834 im Besitz der Familie Huber. Heute ist es bereits die 6. Generation, die den Betrieb führt und jährlich ca. 218.000 hl Getränke erzeugt. Bei 3,5 Fülltagen sind das ungefähr 600.000 bis 700.000 Flaschen pro Woche. Die Produktpalette umfasst Bier, Radler, Limonaden und Whiskey. Zur Komplettierung der Produktpalette handelt Mohrenbräu auch mit Wein, Wasser, Limonaden und Säften österreichischer und internationaler Hersteller. Energieeffizienz und Ressourcenschonung haben im Unternehmen einen großen Stellenwert. Die Unternehmensführung und die Mitarbeiter sind in die Erarbeitung von Lösungen und in die Umsetzung der Energieeffizienz- Maßnahmen eingebunden. In den letzten Jahren wurden bereits Optimierungsmaßnahmen in den Bereichen Heizungsregelung, Standby bei PC-Geräten und Zubehör und bei der Druckluftanlage durchgeführt. Es werden auch Überlegungen zur Nutzung alternativer Energien zum Beispiel Solaranlage für Warmwasser angestellt.



*Abbildung 95: Mohrenbrauerei in Dornbirn (klima:aktiv, 2012)*

Anfänglich wurde in der Brauerei eine Dampfkesselanlage mit einem jährlichen Erdgasverbrauch von 4.700 MWh/a und einem Heizkessel mit 900 MWh/a Erdgasverbrauch betrieben um den Wärmebedarf der Anlage zu decken (Klima:aktiv, 2012). Die abzuführende Wärmemenge aus der Kälteanlage wurde über Luftkondensatoren an die Umgebung abgegeben.

Die Wärmeversorgung wurde nun um eine Hochtemperatur-Wärmepumpe zur Nutzung der Abwärme der Kälteanlage mit einer maximalen Heizleistung von 370 kW erweitert (siehe Tabelle 24). Die Heizleistung der Anlage ist auf die während der Heizperiode verfügbare Abwärme aus der Ammoniak-Kälteanlage abgestimmt und kann die, bisher mit Erdgas erzeugten, Wärme für die Gebäude- und Betriebsheizung abdecken. Zusätzlich wird für das betriebliche Warmwassernetz Wasser auf 63 °C erwärmt. Je nach den betrieblichen Anforderungen (Brauwassertemperatur) kann bei bis zu 80°C kondensiert werden und Warmwasser bis auf ca. 77°C erwärmt werden. Eine möglichst effiziente Nutzung der Abwärme, insbesondere außerhalb der Heizperiode, macht die Installation zusätzlicher

Wärmespeicher für das Brauwasser und den Heizungskreis erforderlich. Der Einbindung in die bestehende Wasser- und Wärmeversorgung eines Lebensmittelbetriebes kommt hierbei aus qualitativer Sicht eine besondere Bedeutung zu. (Klima:aktiv, 2012)

*Tabelle 24: Projektdaten: Kompressionswärmepumpe in einer Brauerei*

Unternehmen	Mohrenbrauerei August Huber Dr.-Waibel-Str. 2, 6850 Dornbirn, <a href="http://www.mohrenbrauerei.at">www.mohrenbrauerei.at</a>
Standort	Dornbirn
Anwendung	Brauerei
Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Therm. Leistung	ca. 370 kW
Inbetriebnahme	2012
Primärenergieeinsparung	1.426.000 kWh/a
Kosteneinsparung	64.067 EUR/a
Investitionskosten	365.000 EUR
Anlagenbauer	COFELY GmbH (WKÖ, 2012)
Amortisation	5,7 Jahre
Weitere Informationen / Kontakt	Ralf Freitag Mohrenbrauerei August Huber Dr.-Waibel-Str. 2, 6850 Dornbirn, +43 (0) 5572 3777 <a href="mailto:leitung-produktion@mohrenbrauerei.at">leitung-produktion@mohrenbrauerei.at</a> , <a href="http://www.mohrenbrauerei.at">www.mohrenbrauerei.at</a>  sattler energie consulting gmbh DI (FH) Martin Hinterndorfer Krottenseestr. 45, 4810 Gmunden, +43 (0) 7612 737 99 <a href="mailto:Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at">Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at</a>

Mit dieser Anwendung können in der Mohrenbrauerei 1.844.000 kWh/a Erdgas, bei einem Energiebedarf der Wärmepumpe von 418.000 kWh/a, eingespart werden, was einer Kosteneinsparung von 60.000 €/a entspricht. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe liegt bei 4,4 und bestätigt damit einen effizienten Betrieb. Durch den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage liegt die Amortisationszeit bei unter 6 Jahren. (Klima:aktiv, 2012)

## **h. Optimierung Kältezentrale und Wärmerückgewinnung für Heizzwecke - Daily Service**

Die Daily Service Tiefkühllogistik GmbH & Co KG (siehe Abbildung 96) gehört zur Unternehmensgruppe der Vivatis Holding AG. Daily Service ist ein handels- und herstellernerutrales Logistikdienstleistungsunternehmen und versorgt den österreichischen Markt mit Tiefkühlprodukten. Via Daily Service Logistiksysteme kann jeder Hersteller, Händler sowie Spediteur seine Tiefkühlprodukte an den Lebensmitteleinzelhandel und an Großverbraucher liefern, ohne selbst in Logistikinfrastruktur zu investieren (Klima:aktiv, 2012b). Das Erreichen ökonomischer und ökologischer Vorteile für Handels- und Industriekunden ist ein wesentliches Element der Unternehmensstrategie. Seit 2005 verbessert das Unternehmen schon mit unterschiedlichen Maßnahmen seine Energieeffizienz. 2007 wurde eine neue Tiefkühlagerhalle mit einer effizienten Ammoniak/CO<sub>2</sub> Kaskade errichtet (siehe Tabelle 25). Die Abwärme dieser Kälteanlage wird für Heizzwecke genutzt (Klima:aktiv, 2012b).



*Abbildung 96: Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG in Asten (Klima:aktiv, 2012b)*

Der Verbrauch an elektrischer Energie im Jahr 2010 beträgt ca. 7,34 GWh, der Wärmeverbrauch 1,03 GWh/a. Die Daily Services GmbH hat vier verschiedene Kältebereiche die rund um die Uhr gekühlt werden müssen. Die Kälte für die Sortierhalle und für das Hochregallager wird einerseits durch die NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> Kaskade, andererseits durch eine R22-Kälteanlage bereitgestellt. Der Verbrauch der beiden Kälteanlagen für die adaptierten Bereiche beläuft sich auf insgesamt ca. 3,87 GWh Strom pro Jahr. Beide Kältezentralen sind mit Wärmerückgewinnungen ausgestattet, welche insgesamt ca. 906.072 kWh/a Wärme auskoppeln. Diese Wärme wird für Heizzwecke in den Verwaltungsgebäuden, Werkstätten, Büros, der Produktion und für den Unterfrierschutz der Fundamente genutzt. Die darüber hinaus für die Raumheizung benötigten ca. 119.923 kWh/a müssen mit dem Elektroheizstab nachgeheizt werden. Die Abtaufunktion der Verdampfer der R22 Anlage benötigt ebenfalls Wärme. Die Verdampfer der R22 Maschine werden elektrisch abgetaut. Der Verbrauch für die Verdampfer, welche still gelegt werden, beträgt ca. 7.045 kWh/a (Klima:aktiv, 2012b).

Die bestehende R22 Maschine wird aufgrund des schlechten COPs entlastet und die Last auf die noch nicht voll ausgelastete NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> Kaskade verlagert. Im Zuge dessen werden zwei neue Verdampfer eingebaut und gleichzeitig vier Stück bestehende Verdampfer der R22 Maschine still gelegt. So entfällt das elektrische Abtauen und der Kältemittelverlust, welcher durch die Leckagen an den alten Verdampfern entstand. Durch die Verlagerung der Kälteerzeugung von der R22 Maschine auf die

NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> Kaskade werden ca. 244.720 kWh/a Strom eingespart. Die neuen Verdampfer werden mit eigener Abwärme abgetaut und benötigen daher keine zusätzliche elektrische Leistung. Die Strom-Einsparung beträgt hier ca. 7.045 kWh/a. Die Leckageverluste an der R22 Maschine bzw. am gesamten R22-Leitungssystem reduzieren sich aufgrund der Verlagerung von Kältemittel R22 auf Kältemittel NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>. Die Reduktion des äquivalenten CO<sub>2</sub> Ausstoßes beträgt ca. 227.300 kg pro Jahr(=152 kg R22 /Jahr).

Tabelle 25: Projektdaten: Optimierung Kältezentrale und Wärmerückgewinnung für Heizzwecke (Klima:aktiv, 2012b).

Unternehmen	Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG Gewerbestr. 6, 4481 Asten www.daily.at
Standort	Asten
Anwendung	Tiefkühlagerhaus
Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Inbetriebnahme	2011
Energieeinsparung	371.800 kWh/a
Kosteneinsparung	39.620 EUR/a
Investitionskosten	215.000 EUR
Amortisation	5,4 Jahre
Weitere Informationen / Kontakt	Andreas Schilde Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG Gewerbestr. 6, 4481 Asten, +43 (0) 7224 67391, A.schilde@daily.at, <a href="http://www.daily.at">www.daily.at</a>  sattler energie consulting gmbh DI (FH) Martin Hinterndorfer Krottenseestr. 45, 4810 Gmunden, +43 (0) 7612 737 99, Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at

Es wurde ein mit einer Vollast Heizleistung von 511 kW großer Kondensator installiert, um die Wärme der NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> Kaskade rückzugewinnen. Der Wärmebedarf von ca. 250.963 kWh pro Jahr kann durch diese Wärmerückgewinnung vollständig zur Verfügung gestellt werden. Das Temperaturniveau ist ausreichend, da das Heizsystem als Niedertemperatursystem geführt wird. So wurden zusätzlich auch der Betrieb der alten Wärmerückgewinnung und die Zusatzheizung über die Elektroheizpatrone eingespart. Der Stromverbrauch für die elektrische Nachheizung von ca. 120 MWh/a wird durch den Einsatz des Vollkondensators und die Umstellung des Heizsystems eingespart. Alle Einsparungen betreffen nur elektrische Energie, da der aktuelle Wärmebedarf aus der Wärmerückgewinnung der Kälteanlagen und durch Strom abgedeckt wird.

### **i. Kompressionswärmepumpe für Wärmerückgewinnung in der Automobilindustrie - Magna Auteca AG**

Magna Auteca AG (siehe Abbildung 97) - ein Betrieb aus der Magna-international-Gruppe ist am europäischen Markt führend für Spiegelantriebskomponenten. Die Produktion befindet sich am Standort Weiz mit ca. 280 Mitarbeitern. Die Magna Auteca AG produziert jährlich ca. 18 Millionen elektrische Spiegelverstellantriebe und ca. 7 Millionen elektrische Beiklappantriebe für die Automobilindustrie. An der Verbesserung der Energieeffizienz wird schon viele Jahre gearbeitet (Klima:aktiv, 2012c), so wurden zum Beispiel die bestehende Kälteanlage optimiert und mit einer Wärmerückgewinnung mittels industrieller Wärmepumpe ausgestattet (siehe Tabelle 26).



*Abbildung 97: Magna Auteca AG in Krottendorf (Klima:aktiv, 2012c)*

Der Stromverbrauch lag im Jahr 2011 bei etwa 4.635.255 kWh/a, der Gasverbrauch bei ca. 690.830 kWh/a. Die Kälteanlage besteht aus zwei gleich großen Kältemaschinen (eine Kältemaschine als Redundanz) mit je einer maximalen Kälteleistung von 146 kW. Diese Kältemaschinen arbeiten mit einer durchschnittlichen Leistungszahl (EER) von 2,5 - d.h. sie laufen bereits ineffizient. Rund 45 % des Kältebedarfs können durch die Kühltürme abgedeckt werden. Der Stromverbrauch für die Kälteanlagen inkl. Kühltürme beträgt pro Jahr etwa 88 500 kWh (Klima:aktiv, 2012c).

Die Raumheizung im Betrieb wird durch einen mit Erdgas betriebenen Heizkessel erzeugt: Kesselleistung 812 - 928 kW. Dieser Kessel wird nur für Raumheizzwecke eingesetzt. Der Jahresnutzungsgrad beläuft sich auf ca. 92%.

Die bestehenden Kältemaschinen wurden durch effizientere Kompressionskältemaschinen ersetzt. Ebenso wurde ein der Rückkühler mit Free Cooling Funktion und Frequenzumformer-Regelung ausgestattet und eine Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung angeschafft. Die beiden neuen Kältemaschinen haben einen Nenn-EER von 3,53, was ca. 30 % effizienter ist, als die ursprünglich genutzten Kältemaschinen. Durch einen neuen Pufferspeicher, eine neue Verrohrung (inkl. Dämmung) und eine effizientere Pumpenstation reduzierte sich der Kältebedarf um ca. 3% auf rund 340.580 kWh/a. Die neue Kältemaschine muss durch den Einsatz des Free Coolings (EER von 46) nur mehr ca. 127.870 kWh Kälte pro Jahr bereitstellen und ist dadurch weniger in Betrieb als vorher.

Tabelle 26: Projektdaten: Kompressionswärmepumpe für Wärmerückgewinnung in der Automobilindustrie  
(Klima:aktiv, 2012c)

Unternehmen	Magna Auteca AG Elin-Süd-Straße 14, 8160 Krottendorf / Weiz, <a href="http://www.magna-auteca.com">www.magna-auteca.com</a>
Standort	Krottendorf / Weiz
Anwendung	Automobilproduktion
Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Therm. Leistung	2 x 146 kW
Inbetriebnahme	2012
Energieeinsparung	444.100 kWh/a
Kosteneinsparung	21.360 EUR/a
Investitionskosten	290.000 EUR
Amortisation	13,6 a
Weitere Informationen / Kontakt	Robert Schneider Magna Auteca AG Elin-Süd-Straße 14, 8160 Krottendorf / Weiz, +43 (0) 3172 / 5100-0, office.auteca@eu.magna.com, www.magna-auteca.com  sattler energie consulting gmbh DI Peter Sattler Krottenseestraße 45, 4810 Gmunden, +43 (0) 7612 / 767 99-0, <a href="http://www.energie-consulting.at">www.energie-consulting.at</a>

Die Abwärme der Kältemaschinen wird nun über eine Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und zur Erwärmung der Zuluft in den Lüftungsgeräten genutzt. Deshalb wurde den bestehenden bestehenden Lüftungsgeräten jeweils ein neues WRG-Vorheizregistes installiert, um die Wärme aus der Wärmepumpe nutzen zu können. Die tatsächliche Wärmemenge, welche von der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt wird, hängt von der erzeugten Kältemenge und dem Heizbedarf ab. In Summe können ca. 260 360 kWh/a Wärme pro Jahr Wärme von dieser Wärmepumpe genutzt werden. Der Stromverbrauch für die Wärmepumpe beträgt ca. 70 MWh/a

## **j. Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen eines multifunktionalen Bürogebäudes - STRABAG AG**

Das STRABAG HAUS (siehe Abbildung 98) wurde als multifunktionales Bürogebäude konstruiert und im Zeitraum 2001 bis 2003 errichtet. Das Gebäude ist 50 m hoch und hat eine Nutzfläche von 21 000 m<sup>2</sup> die auf 13 Etagen verteilt sind. Die bereitgestellte Fläche teilt sich in 18 000 m<sup>2</sup> Bürofläche und 3 000 m<sup>2</sup> Verkaufsfläche auf. Zur Kühlung des Gebäudes werden mikroperforierte abgehängte Deckenkühlelemente und für die Heizung Bodenkonvektoren verwendet.



*Abbildung 98: STRABAG HOUSE (Strabag, 2014)*

Für die Kühlung und Heizung des Gebäudes (siehe Tabelle 27) wurde eine erdreichgekoppelte Wärmepumpenanlage mit einer Kälteleistung von 3mal 6963 kW installiert. Als Wärmequelle dienen Energiepfähle, die auch der Grundierung des Gebäudes dienen, und die Fundamentplatte. In Summe wurden 68 km PE-Rohr verlegt, die auf 800 parallele Kreise aufgeteilt wurden und zum Großteil in den 250 17 m tiefen Energiepfählen integriert sind.

Im Heizbetrieb entzieht die Wärmepumpe dem Wärmequellensystem Wärme und stellt diese dem Gebäude auf einem nutzbaren Niveau zur Verfügung (Heizbetrieb - Abbildung 99). In der Übergangszeit kann das Gebäude direkt mit der im Heizbetrieb abgekühlten Wärmequelle gekühlt werden, ohne die Wärmepumpen in Betrieb zu nehmen (Free Cooling - Abbildung 100). Wenn für die Kühlung mittels Free Cooling das Temperaturniveau der Wärmequelle zu hoch ist, wird die Anlage als Kältemaschine betrieben und die aus den Räumen entzogene Wärme über das Wärmequellensystem an das Erdreich abgegeben (Kühlbetrieb - Abbildung 101). Die Betriebsmodi der Anlage können in die vier Betriebszustände „Kühlen“, „Heizen“, „Free-Cooling + Kühlen“ und „Free-Cooling + Heizen“ unterschieden werden.

Tabelle 27: Projektdaten: Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen eines multifunktionalen Bürogebäudes

Unternehmen	STRABAG AG Donau-City-Straße 9, 1220 Wien <a href="http://www.strabag.at">www.strabag.at</a>
Standort	Wien
Anwendung	Bürogebäude
Wärmepumpe	Kompressionswärmepumpe
Kälteleistung	3 x 693 kW
Inbetriebnahme	2003
Kostenreduktion	80.700 EUR/a
Zusätzliche Investitionskosten (Wärmepumpenanlage bis Heiz/Kühlverteilssystem)	273.700 EUR
Amortisation	3,4 Jahre
Weitere Informationen/Kontakt	Andreas Zottl AIT Austrian Institute of Technology GmbH Giefinggasse 2, 1210 Vienna, Austria <a href="mailto:andreas.zottl@ait.ac.at">andreas.zottl@ait.ac.at</a> <a href="http://www.ait.ac.at">http://www.ait.ac.at</a>

Die Berechnung der Arbeitszahlen, die Bilanzierung der Kältemaschinen sowie des Energiebereitstellungssystems basieren auf den ausgewerteten Messdaten für den Untersuchungszeitraum vom 27.12.2004 bis 01.01.2006 für 2005 und vom 29.12.2003 bis 26.12.2004 für 2004. Das Monitoring hat gezeigt, dass das installierte erdreichgekoppelte Wärmepumpensystem den Bedarf an Wärme und Kälte im Gesamtauswertungszeitraum decken kann. Weniger als 0,25 % des Wärmebedarfes für Heizzwecke wurde von den elektrischen Durchlauferhitzern bereitgestellt, wobei eine deutliche Reduktion von 0,44 % im Betrachtungszeitraum 2004 auf 0,08 % im Betrachtungszeitraum 2005 zu verzeichnen ist. In Tabelle 28 sind die ersten zwei Betriebsjahre gegenübergestellt und der Energiebedarf der Anlage dargestellt.

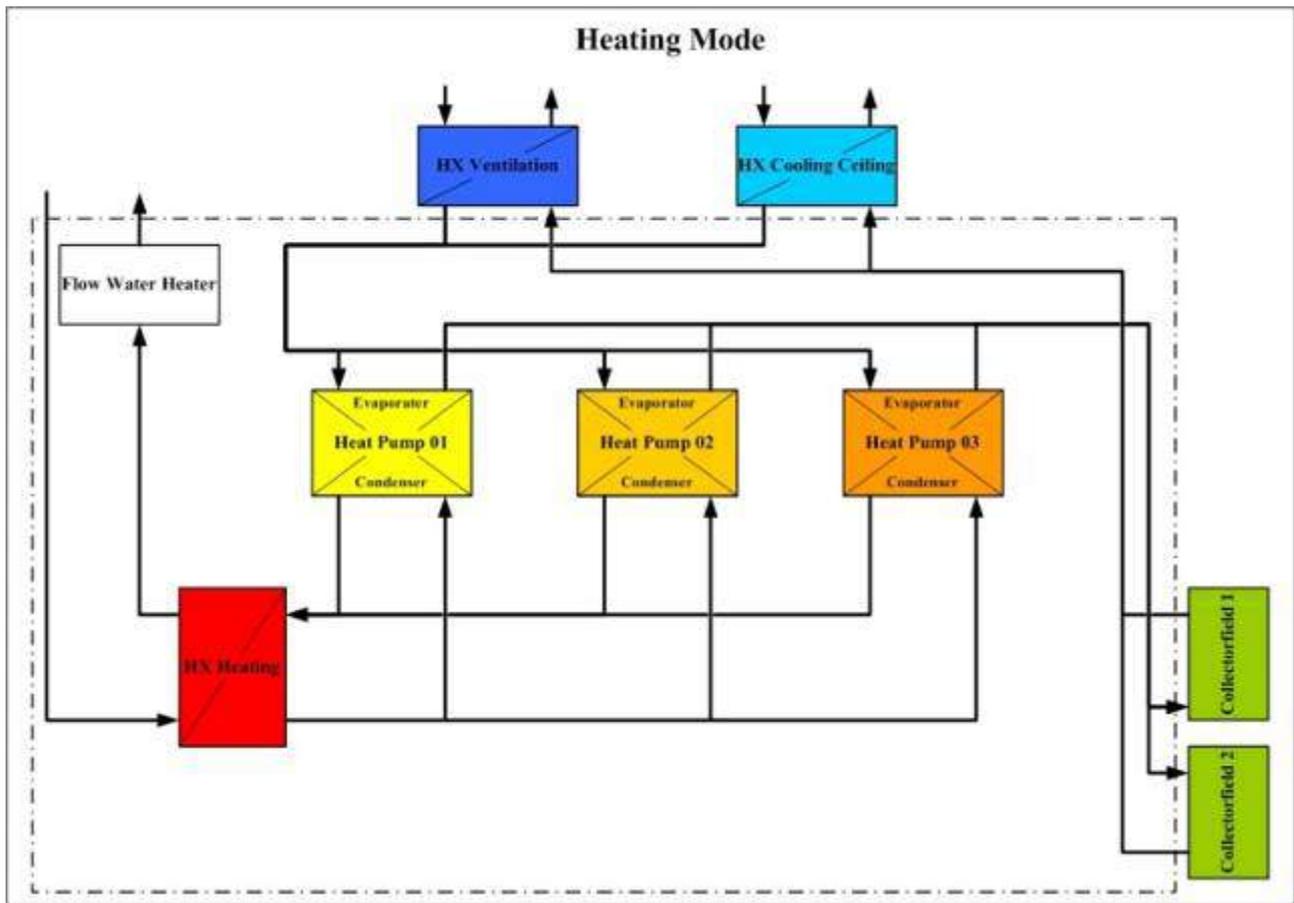


Abbildung 99: Heizbetrieb (Presetschnik & Huber, 2005)

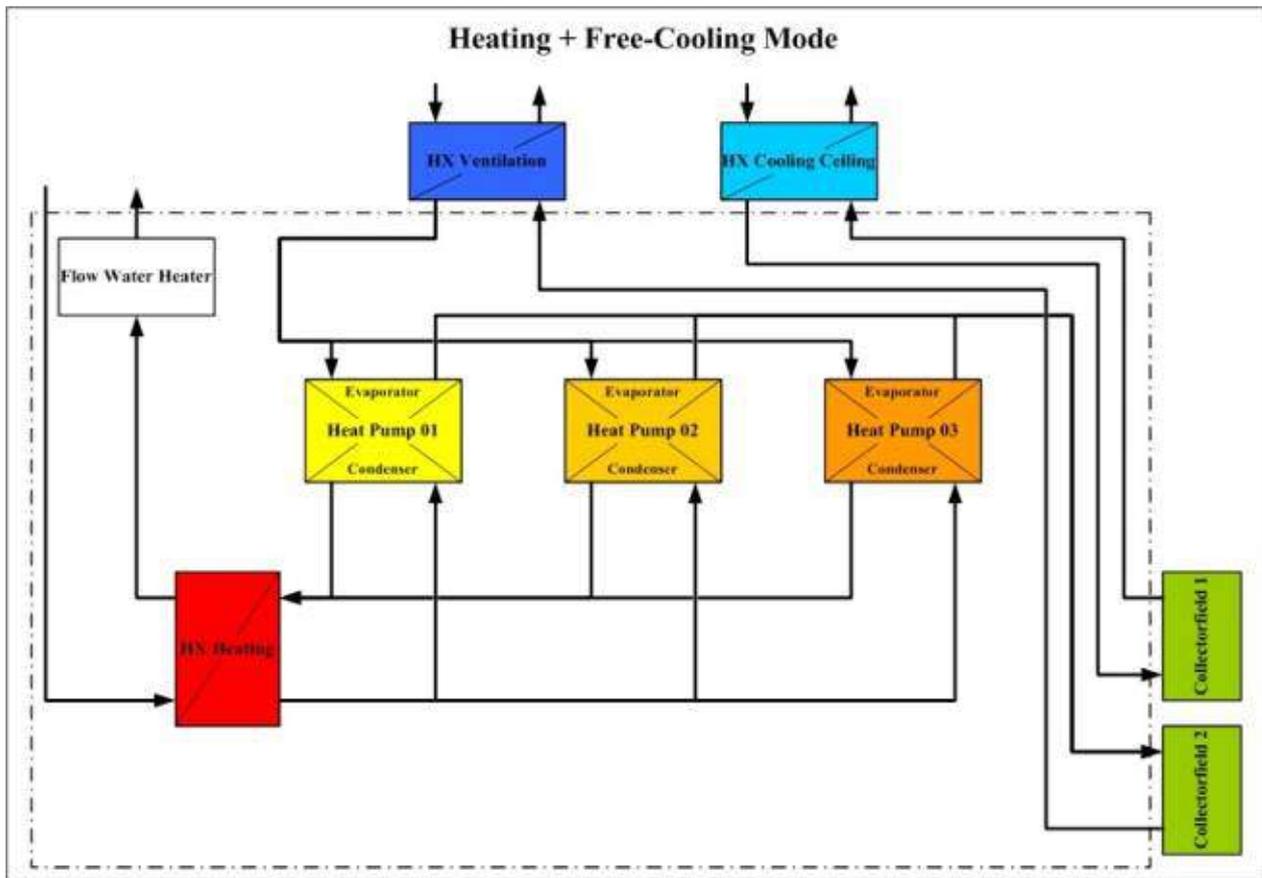


Abbildung 100: Free-Cooling + Heizen (Presetschnik & Huber, 2005)

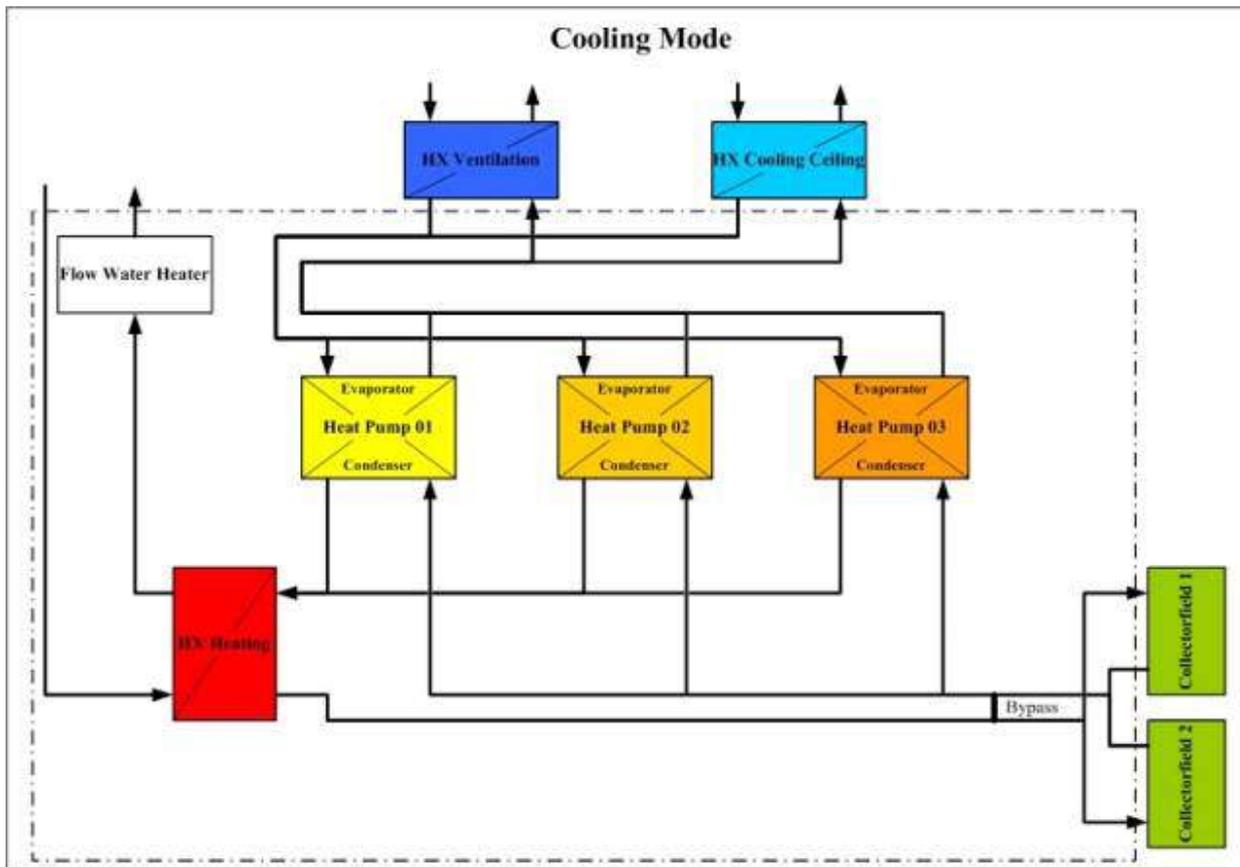


Abbildung 101: Kühlbetrieb (Presetschnik & Huber, 2005)

Zur Beurteilung der Effizienz der Anlage im Strabag-Haus wurden die Arbeitszahl für das gesamte System und für die Kältemaschine ermittelt. Allgemein wird die Arbeitszahl als der Quotient aus der abgegebenen Wärmeenergie  $Q_H$  ( $\text{kWh}_{\text{th}}$ ) und der zugeführten elektrischen Energie  $P_{\text{El}}$  ( $\text{kWh}_{\text{el}}$ ) für einen bestimmten Zeitraum definiert. Für das untersuchte System ist zusätzlich auch die aus Kühldecke und Lüftung übertragene Wärmeenergie  $Q_K$  ( $\text{kWh}_{\text{th}}$ ) als Nutzen zu betrachten ((25)), da ansonsten diese Wärmeenergie mit einer zusätzlichen Kälteanlage abgeführt werden müsste (Kracher, 2004).

$$\text{SPF} = \frac{Q_H + Q_K}{P_{\text{El}}} \quad (25)$$

Die Arbeitszahl der Kältemaschinen in den Betriebszuständen Kühlen und Free Cooling + Kühlen und Heizen und Free Cooling + Heizen wurden gemäß den Gleichungen (26) und (27) berechnet.

$$\text{SPF}_K = \frac{Q_{\text{Verdampfer}}}{P_{\text{El}}} \quad (26)$$

$$\text{SPF}_H = \frac{Q_{\text{Kondensator}}}{P_{\text{El}}} \quad (27)$$

Tabelle 28: Eckdaten Energiebereitstellungssystem

	2004	2005	Gesamt	Einheit
Heizbedarf	2.700.849	2.991.357	5.692.206	kWh
Kühlbedarf	1.491.900	1.559.100	3.091.000	kWh
Strombedarf	1.699.022	1.747.208	3.446.230	kWh
Jahresarbeitszahl	2,47	2,63	2,55	-

Der Vergleich der Systemarbeitszahlen der wochenweisen Auswertung im gesamten Beobachtungszeitraum zeigt, die auf Grund der im ersten Jahr des Anlagenbetriebes durchgeführten Anpassungen größere Streuung der Effizienz des Systems. Im regulären Anlagenbetrieb im Beobachtungszeitraum 2005 zeigt sich ein deutlich stabileres Anlagenverhalten. Dargestellt in Abbildung 102 als Systemarbeitszahlen der wochenweisen Auswertung für 2004 und 2005 in Abhängigkeit von der mittleren Außentemperatur für die jeweilige Kalenderwoche.

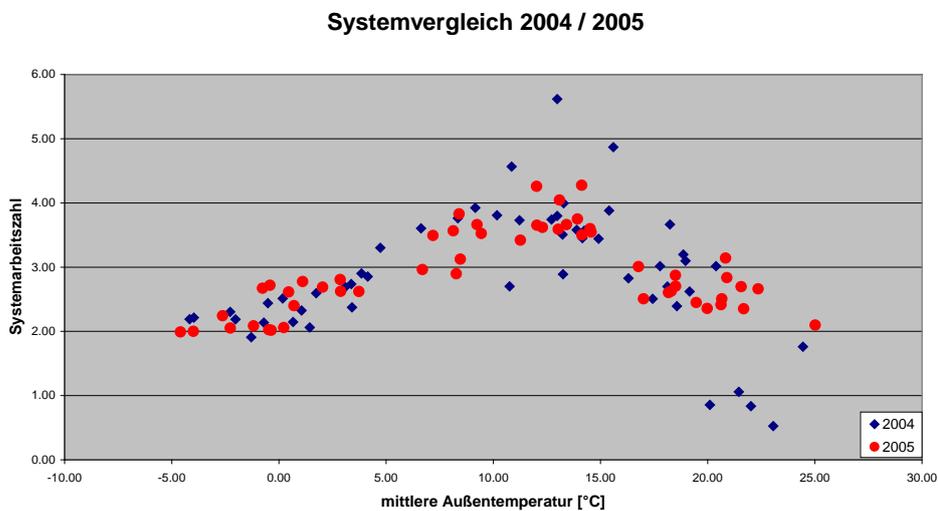


Abbildung 102: Vergleich der Systemarbeitszahlen (Presetschnik et al., 2005)

Abhängig von den Betriebszuständen liegen die Arbeitszahlen der Anlage zwischen 2,26 und 6,55 und sind in der nachfolgenden Tabelle 29 für den Untersuchungszeitraum zusammengestellt.

Tabelle 29: Arbeitszahlen Kältemaschinen und Energiebereitstellungssystem für Gesamtauswertungszeitraum 2004 und 2005

Betriebszustand	Kältemaschinen SPF <sub>k</sub>	System SPF
Heizen	2,55	2,63
Kühlen	2,58	2,26
Free-Cooling + Kühlen	1,81	7,81
Free-Cooling + Heizen	3,23	6,55

Weniger als 2 % des Wärme- bzw. Kühlbedarfs des Gebäudes wurden in den Betriebsmodi „Free-Cooling + Kühlen“ und „Free-Cooling + Heizen“ bereitgestellt. Der Anteil der Free Cooling Betriebsmodi kann durch eine Optimierung der Reglereinstellung des Verteilsystems erhöht werden. Im STRABAG Haus wurde über die Form der Energiebereitstellung erst entschieden, nachdem das Wärmeabgabesystem für die Räume ausgelegt wurde. Die Anlage wurde dabei für eine Vorlauftemperatur von 55°C und eine Rücklauftemperatur von 45°C ausgelegt. Die üblichen Vorlauftemperaturen für Niedertemperaturheizsysteme, liegen bei 35°C und darunter.

Es sollte somit bei der Planung zukünftiger Anlagen im Sinne der Steigerung der Anlageneffizienz durch eine Senkung der notwendigen Kondensationstemperatur der Wärmepumpen besonderes Augenmerk auf eine niedrige Vorlauftemperatur und die Möglichkeiten der Integration von Niedertemperaturheizungssysteme wie Fußboden- und Wandheizung gelegt werden.

Im Vergleich zu konventionellen Anlagen (Gaskessel/Ölkessel + Kaltwassersatz) liefert die installierte Anlage eine positive CO<sub>2</sub>-Bilanz und die durch die Anlage entstandenen Mehrkosten bei der Errichtung amortisieren sich in 3,4 Jahren.

## **k. Anwendungsbeispiele von Absorptionskältemaschinen fürs Kühlen in Österreichs Industrie und Gewerbe**

Die Möglichkeit industrielle Abwärme – bei ausreichend hohem Temperaturniveau (über ca.  $> 70\text{ °C}$ ) - zum Antrieb von thermischen Kältemaschinen, wie z.B. Absorptionskältemaschinen, zu nutzen stellt aus ökologischen und ökonomischen Aspekte eine sehr interessante Alternative zu konventionellen Kältebereitstellung dar. Besonders, da der Bedarf an elektrischer Leistungsspitzen von Industriebetrieben im Sommer reduziert werden kann, was sich günstig auf den Strompreis auswirkt, da sich dieser auch aus einem s.g. Leistungsanteil zusammensetzt. So konnte im Zuge der Recherchen, verschiedene Anwendungen aus dem Ausland erhoben werden, die die Potenziale von Abwärme angetriebenen Absorptionskältemaschinen verdeutlichen. Z.B. wird in einer Brauerei eine Absorptionskältemaschine mit einer nominalen Kälteleistung von 50 kW zur Kühlung des Bierlagers mit einer Kaltwassertemperatur von  $-3\text{ °C}$  verwendet, wobei zum Antrieb die Abwärme des  $90\text{ °C}$  warmen Brauwasser genutzt wird (AGO, 2014).

Des Weiteren ist die Nutzung der Abwärme aus BHKW für thermische Kühlung zu Zeiten ohne Heizwärmebedarf von Interesse. Gründe dafür basieren auf ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten, da in vielen Ländern der generierte Strom bei energetischer Nutzung der Abwärme entsprechend gefördert wird. Besonders Anwendungsbeispiele aus Deutschland verdeutlichen diesen Trend, wie z.B. die Nutzung der Abwärme aus einem BHKWs in einer AKM zur Prozesskühlung (AGO, 2014). Dabei wird die Abwärme aus einem Biogas befeuerten BHKW - mit einer elektrischen Leistung von  $192\text{ kW}_{el}$  - zum Antrieb einer heißwasserbeheizten Absorptionskältemaschine (AKM) zur Kartoffelkühlung für einen landwirtschaftlichen Betrieb in Pforzheim (GER) genutzt. Die AKM (mit einer nominalen Kälteleistung von 50 kW) erzeugt eine Kaltwassertemperatur von  $-3\text{ °C}$ .

In diesem Kapitel werden nun einige Anwendungsbeispiele aus Österreich vorgestellt. Leider war eine detaillierte Beschreibung dieser Anwendungen aus Gründen der Geheimhaltung oder fehlendem Monitoring nicht möglich. Jedoch soll ein kurzer Überblick über mögliche Anwendungen gegeben werden, um Potentiale für die Industrie aufzuzeigen:

- *Absorptionskältemaschine für Fernkälte im Landesklinikum St. Pölten*

Im Landesklinikum St. Pölten wurde beginnend im Juli 2012 für die Kühlung technischer Geräte und Einrichtungen, sowie zur Klimatisierung der Gebäude und der Operationssäle eine Fernkälteanlage auf dem Gelände des Fernheizkraftwerkes Nord errichtet. Dabei wird anstelle von Strom über eine Absorptionskältemaschine mittels Wärme Kälte generiert. Die Nutzung von Abwärme aus dem Kraftwerk Dürnrrohr zur Kälteversorgung Vorort führt zu einem deutlich geringeren Verbrauch an fossilen Brennstoffen und damit zu einer Emissionseinsparung von 630 Tonnen  $\text{CO}_2$  pro Jahr. (Magistrat St. Pölten, 2014) & (Gesund + Leben – intern, 2013).

- *Absorptionskältemaschine in der Baustoffproduktion*

2009 wurde ein neues Produktions- und Vertriebsgebäude der Fa. Isolena (siehe Abbildung 103), welche Naturfaservlies für Dämmstoffe herstellt, in Waizenkirchen errichtet. Dabei wurde großer

Wert auf Ökologie gelegt. Das Kühlsystem arbeitet mit einer Absorptionskältemaschine der Fa. Pink (mit 35 kW Kälteleistung), welche sowohl aus der Abwärme eines Biomassekessel und mit Solarthermie angetrieben wird. (ESV, 2014) (Pink, 2014)



Abbildung 103: FA. Isolena (Quelle: Pink, 2014)

- *Absorptionskältemaschine zur Kälteversorgung im Mistelbacher Krankenhaus*

Bisher ungenützte Abwärme aus dem angrenzenden Biomasse-Heizkraftwerk wird über das Fernwärmenetz zu den 5 Absorptionskältemaschinen (siehe Abbildung 104) mit in Summe rd. 4 MW Kälteleistung in das Landesklinikum geleitet. Das generierte Kaltwasser wird dabei auf rund sechs Grad gekühlt und dient zur Klimatisierung der Operationssäle, Intensivstationen und Patientenzimmer sowie auch zur Kühlung von Servern und medizinischen Geräten. Pro Jahr können rund 260 Tonnen Kohlendioxid vermieden werden. (kurier, 2014)



Abbildung 104: Fernkälteanlage LKH Mistelbach (Foto: Stefan Sailer; Quelle: Kurier, 2014)

### 3.4.2 Übersicht der Erkenntnisse zur Systemtechnik aus den teilnehmenden Partnerländern

Im Zuge der internationalen Beteiligung konnten 150 Projekte mit Wärmepumpe gesammelt und untersucht werden. Die Anlagen werden gemäß der Definition des IEA HPP Annex 35 für Raumheizung, Lüftung, Klimatisierung, Warmwasserbereitung, Trocknung, Entfeuchtung, Heizung und andere Prozesswärmeversorgungen verwendet. Sofern Betriebsdaten zur Verfügung stehen bzw. veröffentlicht werden durften sind diese Informationen in die Anlagenbeschreibungen eingeflossen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick ausgewählter internationaler Anlagen die auch im Policy Paper des IEA HPP Annex 35 dargestellt werden. Nähere Details siehe Policy Paper (Link im Anhang 7.7).

Tabelle 30: Überblick ausgewählter Anlagen aus dem Policy Paper

Anlage	Heizen	Kühlen	Nutzung	WQA	WNA	Zusatzsystem	Einsparungen	Amortisation	Inbetriebnahme
Wärmepumpe in der Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie - Heizen und Kühlen in der Schokoladenherstellung (GB)	1,2 MW	3,2 MW	Heizen/Kühlen im Fertigungsprozess	5 °C	60°C	Gaskessel	166 k€/a 120 t CO <sub>2</sub> /a	-	2010
Hybrid Wärmepumpe – Milchpulverherstellung (DK)	1,25 MW	0,98 MW	Heizen/Kühlen im Fertigungsprozess	40 °C	80 °C	Gaskessel	1400 t CO <sub>2</sub> /a	1,5 - 2,3 a	2012
Wärmepumpe im Lackierprozess eines Automobilwerks (JP)	0,57 MW	0,46 MW	Heizen/Kühlen im Fertigungsprozess	-	-	Absorbtions-kaltwassersatz Dampfkessel	187 t CO <sub>2</sub> /a	3 - 4 a	2012
Galvanische Metallbearbeitung – Simultanes Heizen und Kühlen (DE)	0,14 MW	0,09 MW	Prozesskühlung / Raumheizung + Prozessheizung	50 °C	80 °C	Ölkessel Grundwasser	150 t Öl/a	< 4 a	2009
Schlachthaus – Abwärmenutzung mit Wärmepumpen (CH)	0,8 MW	-	Abwärmenutzung / Raumheizung + Warmwasser	20 °C	90 °C	-	510 t CO <sub>2</sub> /a	-	2011
Absorptionswärmepumpe in der holzverarbeitenden Industrie zur Rauchgaskondensation (AT)	7,5 MW	3,0 MW	Abwärmenutzung / Fernwärme	50 °C	95 °C	Biomasse Dampfkessel	15,000 MWh/a	-	2006

### 3.4.3 Machbarkeitsstudien (Case studies) für potentielle Anwendungen von industriellen Wärmepumpe in Österreich

In diesem Kapitel werden drei verschiedene Machbarkeitsstudien für potentielle Wärmepumpenanwendungen in Österreichs Industrie vorgestellt. Bei der unter dem Pkt. a. beschriebenen Anwendung wurde der potentielle Einsatz einer elektr. angetriebenen Wärmepumpe zur Nutzung von ungenutzter Kondensationsabwärme eines bestehenden Kaltwassersatzes zur Prozesswärmeabdeckung eines betriebsinternen Galvanikbeckens untersucht. Im Pkt. b wird eine Machbarkeitsstudie über eine neuartige Einbindung von Solarthermie und einer Kombination mit Rauchgaskondensation sowie Niedertemperaturabwärme und anschließender Temperaturerhöhung durch eine Wärmepumpe für die Wärmeversorgung erstellt. Im Pkt. c wird die Machbarkeitsstudie über die Abwärmenutzung des größten Klimawindkanals Europas vorgestellt.

#### a. **Machbarkeitsstudie: Wärmepumpe für Metall-verarbeitenden Betrieb** (Anm.: kursiv gestellter Text wurde direkt aus Zotter & Rieberer (2014) zitiert)

*Im Rahmen eines nationalen Projektes (Vehovec et al., 2013) wurde eine Machbarkeitsstudie über den potentiellen Einsatz einer elektr. angetriebenen Wärmepumpe zur Nutzung von Abwärme durchgeführt. Im Konkreten sollte bis dato ungenutzte Kondensationsabwärme eines bestehenden Kaltwassersatzes eines heimischen Metall verarbeitenden Betriebs mit einem Temperaturniveau von ca. 45°C mittels einer Kompressionswärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau von ca. 80°C zur Prozesswärmeversorgung angehoben werden (siehe Abbildung 105). In diesem Projekt wurden technische, wirtschaftliche und ökologische Kriterien verschiedener Wärmepumpen beleuchtet, Konzepte zur Einbindung erarbeitet und hinsichtlich einer möglichen Umsetzung priorisiert. Die Ergebnisse dienen dem Industriebetrieb als Entscheidungsgrundlage für bzw. gegen eine mögliche Realisierung.*

#### **Abwärmepotenzial und Prozesswärmebedarf**

*Der bestehende Kaltwassersatz dient zur Kühlung der Schweißautomaten im Werk. Das zeitlich verfügbare Abwärmepotenzial (abgegebene Wärmeleistung der Luftkondensatoren) des Kaltwassersatzes wurde messtechnisch bei üblicher Auslastung der Schweißapparate für eine repräsentative Woche erhoben. Die Messung zeigte, dass ca. 70 kW mit einem Temperaturniveau von ca. 40°C nutzbar sind. Der Kaltwassersatz wurde bereits mit einer Niedertemperatur-Wärmerückgewinnung (Temperaturniveau ca. 40°C) ausgestattet. Diese Niedertemperatur-Wärmerückgewinnung wurde damals bereits so groß dimensioniert, dass auch die zusätzlichen 70 kW an Abwärme für die Hochtemperatur-Wärmepumpe über diesen hydraulischen Kreis ausgekoppelt werden kann, was eine relativ einfache wärmequellenseitige Einbindung der Hochtemperatur-Wärmepumpe in den Kaltwassersatz ermöglicht.*

*Um das verfügbare Abwärmepotenzial zur Gänze nutzen zu können, muss das Abwärmeangebot mit dem Bedarf an Nutzwärme im zeitlichen Einklang sein bzw. ein zusätzlicher Wärmespeicher könnte eine*

Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage temporär ausgleichen, wäre aber mit zusätzlichen Investitionskosten verbunden. Deshalb sollte die Hochtemperatur-Wärmepumpe wärmesenkenseitig über den Rücklauf des primären Kesselkreises der Heizzentrale (ca. 75°C), die alle Abnehmer im Werk versorgt, in das Wärmeversorgungsnetz integriert werden. Denn aufgrund des viel größeren Bedarfs an Heizleistung (durschn. ca. 1,7 MW) im Verhältnis zur Heizleistung der Hochtemperatur-Wärmepumpe (ca. 100 kW) könnte diese auch ohne zusätzlichen Speicher integriert werden, da stets ein oder mehrere Abnehmer Bedarf haben.

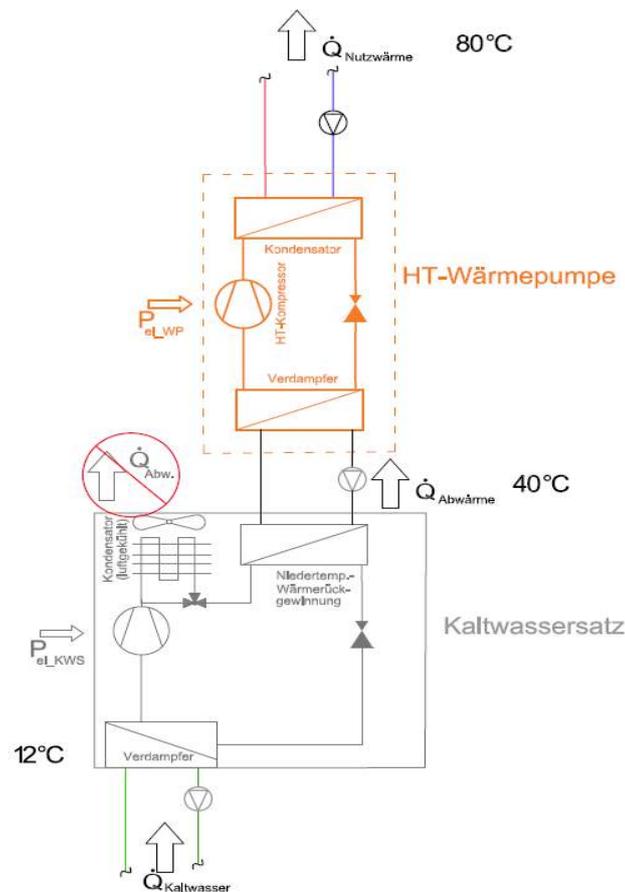


Abbildung 105: Prinzipielle Einbindung der Wärmepumpe in den bestehenden Kaltwassersatz (Zotter & Rieberer, 2014)

Basierend auf einer Auswertung der Maschinenstundenaufzeichnung des Kaltwassersatzes und der Schweißapparate vergangener Jahre wurde eine zu erwartende durchschn. Auslastung von ca. 4000 Vollaststunden pro Jahr für die Hochtemperatur-Wärmepumpe hochgerechnet.

### Technische Analyse

Folgende Kriterien wurden zur Evaluierung von möglichen Wärmepumpensystemen und potentiellen Kältemitteln für die konkrete Anwendung herangezogen:

- Effizienz (Treibhausgasemissionen, Wirtschaftlichkeit)

- Umweltverträglichkeit & Toxizität des verwendeten Kältemittels (Sicherheitsauflagen)
- Drucklage des verw. Kältemittels (Kompressorbelastung)
- Volumetr. Kälteleistung des verw. Kältemittels (Anlagengröße)
- Regelkomplexität, Zuverlässigkeit, etc. (Betriebskomplexität)

Aufgrund der geringen wärmesenkenseitigen Temperaturspreizung (ca. 5 K) eignen sich im konkreten Fall, folgende elektrisch angetriebene Wärmepumpenkreisläufe:

- Ein- und mehrstufige Kaltdampfkompressions-WPs
- Kompressions/Absorptions-WPs

Da, wie bereits erwähnt, die Jahresarbeitszahl aufwendig zu prognostizieren ist, wurde zur Effizienzbewertung der unterschiedlichen Wärmepumpen und Kältemitteln der COP aus Simulationen herangezogen. Die Modelle für die Simulation in EES (2010) basieren auf Massen- und Energiebilanzen, wobei der isentrope und der volumetrische Wirkungsgrad der Kompressoren (Annahmen des Verdichtungsverhältnisses) in Abhängigkeit des jeweiligen Druckverhältnisses abgebildet wurden. Zu beachten ist, dass der zu erwartende SPF kleiner sein dürfte, als der COP im Auslegungspunkt. Lt. der Simulation ist mit einem  $COP_{el,H}$  zwischen 3,8 bis 4,6, für eine Wärmesenken- von 80 °C und eine Wärmequellentemperatur von 40°C je nach System und Kältemittel zu rechnen.

Die Recherche nach einer geeigneten Wärmepumpe stellte sich als relativ aufwendig dar, da der Markt den Bedarf an Anlagen zu diesem Zeitpunkt für Nutztemperaturen von ca. 80°C und Heizleistungen von ca. 100 kW nur bedingt deckte. Maßgeschneiderte WPs lassen sich in dieser Leistungsklasse wirtschaftlich schwer darstellen. Es konnten trotzdem zwei prinzipiell geeignete Anlagen eines österr. Herstellers (Cofely, 2011) für diese Anwendung erhoben werden.

Unter Berücksichtigung aller o.a. Bewertungskriterien wurde die angebotene Kompressions-Wärmepumpe mit R134a (Heizleistung von 100 kW) und einem  $COP_{el,H}$  von 3,8 präferiert. Entscheidend war dabei nicht die Effizienz, sondern die Einfachheit der Integration in den Kaltwassersatz und des Betriebs der Wärmepumpe.

### **Ökonomische Analyse**

Für die wirtschaftliche Analyse wurden notwendige Rahmenbedingungen, wie Strom-, Gaspreise, Zinssätze etc. basierend auf den Vorgaben des Industriebetriebs verwendet. Zu den Anschaffungskosten der Wärmepumpe wurden Peripheriekosten für z.B. Planung und Installation, bauliche Aufwendungen, etc. im Ausmaß von 50% des Anschaffungspreises mitberücksichtigt, aber auch eine nationale Förderungen im Ausmaß von 30% auf die Gesamtinvestition (KPC, 2010). Keine Investitionskosten oder Abschreibungen wurden für den zum Vergleich herangezogenen bestehenden Gaskessel berücksichtigt, da dies keine Ersatzinvestition darstellt, sondern dieser als „Back-up“ im Betrieb weiter genutzt werden soll.

In Tabelle 31 sind die Basisdaten der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und deren Ergebnisse aufgelistet. Unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Wärmepumpe von 15 Jahren und einem kalk. Zinssatz von

5% p.a, einer angenommenen Inflation von 3% p.a. und einer Gas- bzw. Strompreissteigerung von 5 bzw. 3% p.a. ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von 6,8 Jahren.

Um den Einfluss einzelner Parameter zu quantifizieren, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, da wirtschaftliche Betrachtungen im Energiesektor aufgrund der langfristig schwer einschätzbarer Entwicklung der Energiepreise etc. mit einer gewissen Unsicherheit verbunden sind. Abbildung 106 zeigt, dass der Gaspreis bei dieser Anwendung den größten Einfluss auf die statische Amortisationszeit (ohne Preissteigerungen, Inflation, etc.) der Wärmepumpe hat. Bei einem höheren Gaspreis als angenommen, würde sich die Anlage viel schneller amortisieren. Aber auch der COP, der Strompreis und die Auslastung haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Tabelle 31: Basisdaten und Ergebnisse der Amortisationsrechnung (Zotter & Rieberer, 2013)

Rahmenbedingungen	Wert für Analyse	Anmerkung
Volllaststunden	4000h/a	Basis aufgezeichnete Auslastung des Kaltwassersatzes
Heizleistung	100 kW	der Wärmepumpe
COP (SPF)	3,7	Herstellerangaben [13] (geringer als simulierter COP)
Strom- zu Gaspreis	2,4	lt. Industriebetrieb (Anm.: jedes Jahr neu verhandelt)
Investitionskosten	60 k€	WP + Peripherie (exkl. Förderung)
Förderung	30%	auf gesamte Investitionskosten der WP+ Peripherie
Zusätzliche Investitionen	10 k€	für nicht förderbare Projektierungskosten
$\eta_{\text{Gaskessel}}$	85%	lt. Industriebetrieb
Lebensdauer der WP	15 a	
Kalk. Zinssatz	5% p.a.	lt. Industriebetrieb
Inflation	3% p.a.	abgestimmt mit Industriebetrieb
Strompreissteigerung	3 % p.a.	abgestimmt mit Industriebetrieb
Gaspreissteigerung	5 % p.a.	abgestimmt mit Industriebetrieb
Ergebnisse	Wert aus Analyse	Anmerkung
<b>Dyn. Amortisationszeit</b>	<b>6,8 a</b>	Inkl. Förderungen, ohne Investition f. Gaskessel (Back-Up)
<b>Stat. Amortisationszeit</b>	<b>5,7 a</b>	Inkl. Förderungen, ohne Investition f. Gaskessel (Back-Up)

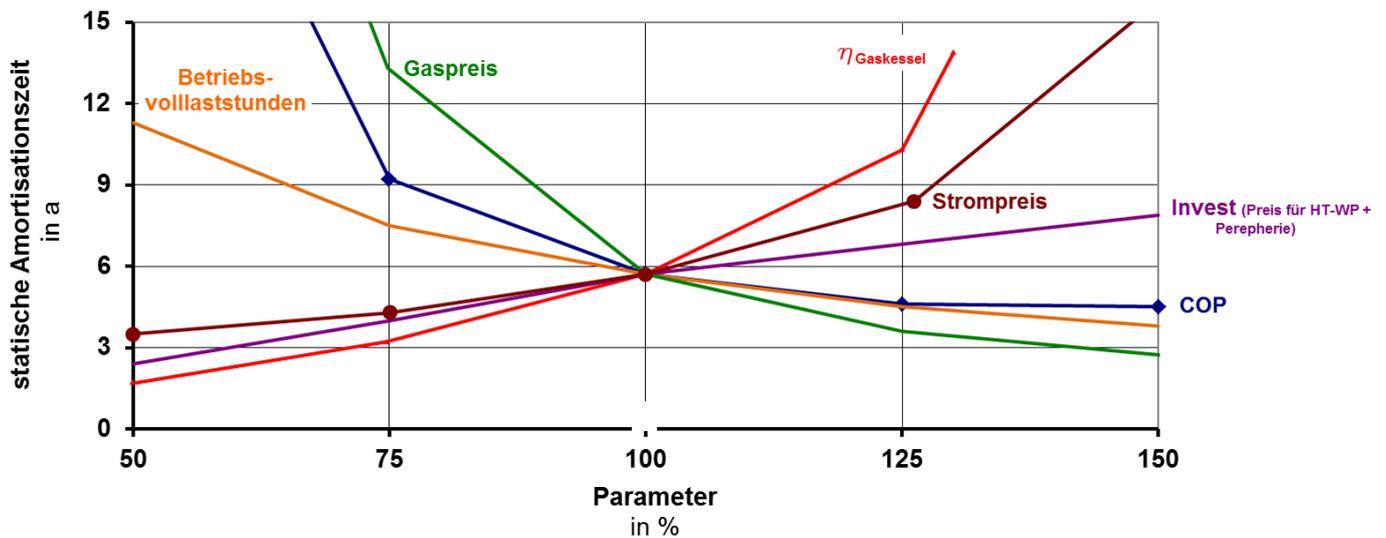


Abbildung 106: Sensitivitätsanalyse - statische Amortisationszeit der Wärmepumpe bei veränderten Annahmen (Zotter & Rieberer, 2013) (Basiswerte: siehe Tabelle 31)

### Ökologische Analyse

Hinsichtlich der ökologischen Relevanz könnten durch die Einbindung dieser Wärmepumpe im Industriebetrieb ca. 70 Tonnen an CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr eingespart werden (siehe Tabelle 32). Dieser Wert hängt neben der Effizienz der Wärmepumpe auch vom standortspezifischen Emissionsfaktor für Strom ab.

Tabelle 32: Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Reduktion pro Jahr durch die WP (Zotter & Rieberer, 2013a)

Rahmenbedingungen	Wert für Analyse	Anmerkung
Volllaststunden	4000h/a	basierend auf Aufzeichnungen der KWS-Auslastung
Heizleistung	100 kW	WP
SPF (COP)	3,7	Lt. Herstellerangaben (geringer als simulierter COP)
Spez. Emissionsfaktor Strom	320 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>	für österr. Strommix (2011) lt. (KPC, 2011)
Spez. Emissionsfaktor Gas	229 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>	für Erdgas (auf den Heizwert bezogen) lt. Biberacher
$\eta_{\text{Gaskessel}}$	85%	lt. Industriebetrieb
Ergebnisse	Wert aus Analyse	Anmerkung
CO <sub>2</sub> -Emissionen pro kWh		
WP	86 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>	unter Berücksichtigung des SPF
Gaskessel	269 g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>th</sub>	unter Berücksichtigung des $\eta_{\text{Gaskessel}}$
<b>CO<sub>2</sub>-Einsparungen pro Jahr</b>	ca. 70 t CO <sub>2</sub> /a	

## **Fazit**

*Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Einbindungskonzept erarbeitet, bei dem sich eine Kompressionswärmepumpe zur innerbetrieblichen Nutzung von Abwärme für die Prozesswärmeversorgung trotz der relativ geringen Heizleistung (ca. 100 kW<sub>th</sub>) und des hohen Nutztemperaturniveaus (ca. 80°C) innerhalb von 7 Jahren amortisieren könnte. Weiters könnten ca. 180 kg an CO<sub>2</sub> pro MWh an gelieferter Heizwärme durch die Wärmepumpe im Vergleich zur konventionellen Feuerung eingespart werden. Die Entscheidung für/gegen die Realisierung der Wärmepumpe ist aus unterschiedlichen Gründen bis dato offen.*

## b. Machbarkeitsstudie: Ökoenergiepark Bergheim

Im Ökoenergiepark Bergheim (Abbildung 107) wird eine innovative Fernwärmeversorgung des Ortes Bergheim (Gewerbegebiet und Ortsnetz) mit einer Kombination von ökologischen Energieträgern angestrebt. Es sollen Biomasse-Hauptlast-Heizkessel, Biogas-Blockheizkraftwerk (BHKW), Rauchgaskondensation, Niedertemperatur-Abwärme des BHKW sowie Solarthermie und eine optimierte Wärmepumpe eingesetzt (Bergthaller, 2012).



Abbildung 107: Bauphase des Heizhauses im "Ökoenergiepark Bergheim" (Empl Bau, 2014)

Besonders zu erwähnen ist die neuartige Einbindung der Solarthermie über eine Kombination mit der Rauchgaskondensation sowie Niedertemperaturabwärme und anschließender Temperaturerhöhung durch eine Wärmepumpe. Die maximale Leistung der Gesamtanlage beläuft sich auf 8 MW. Etwa zu gleichen Teilen werden damit das Gewerbegebiet (GWGB) und das Ortsnetz mit Wärme versorgt. Die eingesetzten Energieerzeugungs-Technologien sind:

- Biomasse-Heizkessel (3 MW)
- Spitzenlastkessel auf Erdgasbasis (5 MW)
- Biogas-BHKW (0,5 MW)
- Optimierte Wärmepumpen (0,8 MW)
- Solarkollektoren
- Rauchgaskondensation (0,3 MW)
- Rost und Zonenkühlung des Biomassekessels (0,2 MW)
- Entschwadung

Das gewählte Hydraulikschema (Abbildung 108) ist zur zentralen Energieeinspeisung in das Fernwärmenetz konzipiert. Die Solarthermie-Anlage besteht aus 10 parallel geschalteten

Kollektorfeldern, die in zwei Reihen auf dem Dach des Brennstofflagers nach Süden ausgerichtet mit einer Neigung von 30° montiert sind. Sie speist einen Pufferspeicher, der als hydraulische Weiche dient. Auch der Nieder temperatur-Gemisch-Kühler des Biogas-BHKW sowie die Rauchgaskondensation sind an diese hydraulische Weiche angeschlossen. Die hydraulische Weiche ist an die Quellenseite der Wärmepumpen angeschlossen.

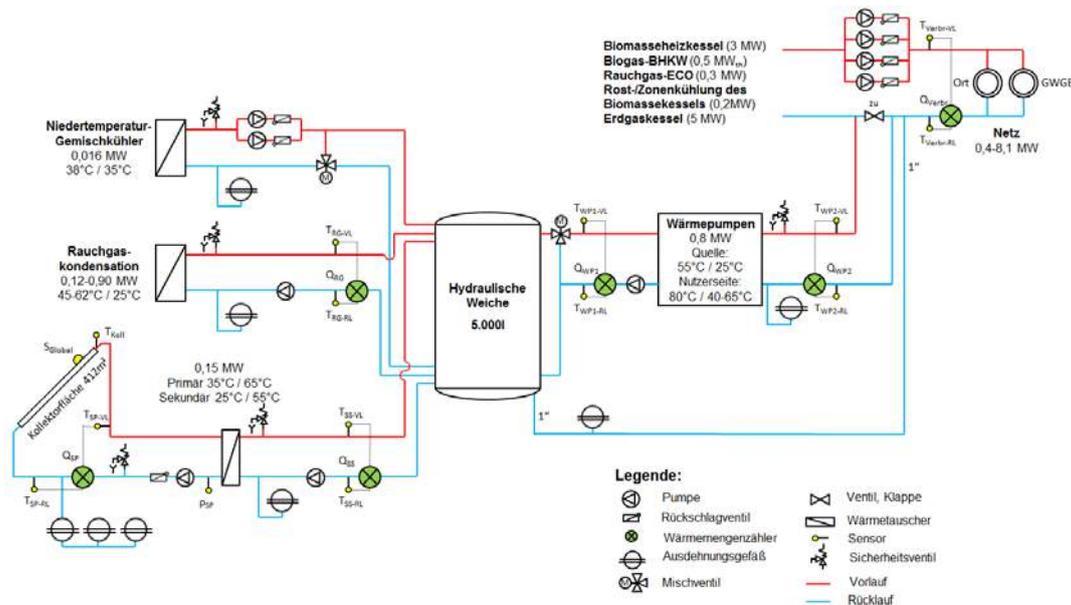


Abbildung 108: Hydraulik- und Messkonzept zum Projekt „Ökoenergiepark Bergheim“ (AIT Eigendarstellung)

Die Nutzerseite der Wärmepumpen bewirkt eine Rücklaufanhebung des Wärmenetzes. Mit dieser Art der Einbindung liegen die zu erwartenden Betriebstemperaturen der Wärme bei 55 °C in der Wärmequellenanlage und -senkenseitig bei 80 °C. In Serie dazu erfolgen weitere Netzrücklaufanhebungen durch eine Rost-/Zonenkühlung des Biomassekessels und des Rauchgas-ECOs. Das Biogas-BHKW kann entweder als weitere Netzrücklaufanhebung eingesetzt werden oder bereits in den Netzvorlauf einspeisen. Der Biomasse-Hauptlast-Kessel und der Erdgas-Spitzenlast-Kessel sind zwischen Netzrück- und -vorlauf parallel eingebunden.

Die Regelungsstrategie ist kaskadiert aufgebaut. Je nach momentan vom Netz geforderter Wärmeleistung (maximal 8 MW) werden die einzelnen Wärmeerzeuger aktiviert. Vorrangig wird Energie aus den Wärmepumpen zur Netzrücklaufanhebung genutzt. Danach werden der Reihe nach das Biogas-BHKW, der Biomassekessel und zur Abdeckung der Spitzenlast der Erdgaskessel zugeschaltet.

Die geplanten Energieflüsse anhand eines Sankey-Diagramms zeigt Abbildung 109. Daran ist erkennbar, dass der Großteil der erzeugten Wärme aus dem Biomassekessel und dem Biogas-Blockheizkraftwerk entstammt (bis zu 73 %). Die durch die Rauchgaskondensation und Solarthermie gewonnene Nieder temperaturenergie wird mit einer Wärmepumpe mit einer Nennheizleistung von ca. 800 kW auf ein höheres, für die Fernwärme brauchbares Temperaturniveau angehoben und direkt in das Fernwärmenetz eingespeist. Der Anteil der durch die Wärmepumpe bereitgestellten Wärme beträgt

22%. Im Auslegungspunkt der Wärmepumpe (W55/W80) kann ein COP von 6,0 erwartet werden, womit ein ökologischer und ökonomischer Betrieb gesichert ist.

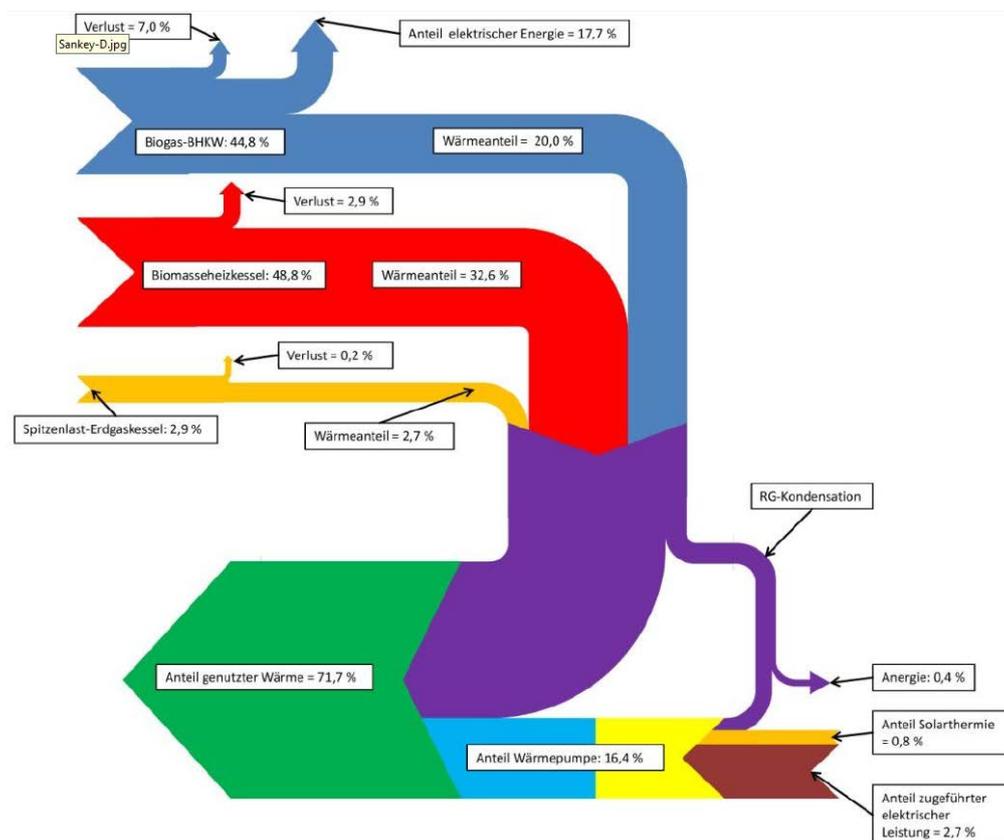


Abbildung 109: Sankey-Diagramm – Energiekonzept für den „Ökoenergiepark Bergheim“ (Anteile bezogen auf die gesamte zugeführte, bzw. abgeführte Energie), (Hepheistos, 2012)

Das Energiesystem im Projekt „Ökoenergiepark Bergheim“ ist seit Anfang 2014 in Betrieb und soll jährlich 24.600 MWh Wärme, bei einem (theoretischen) Gesamtwirkungsgrad von 89,4 % bezogen auf den oberen Heizwert, bereitstellen. Die Doppelnutzungen der Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung und zur Nutzung von solarer Wärme kann als innovativer Ansatz angesehen werden. Die Wärmepumpe bewirkt mehr als eine Verdopplung der solaren Energieerzeugung und macht eine Wärmerückgewinnung aus den Rauchgasen möglich (Bergthaller, 2012).

### c. Machbarkeitsstudie: RecoverHeat - Abwärmenutzung des größten Klimawindkanals Europas

In der Regel wird die Energie am Verflüssiger aus industriellen Prozesskälteanwendungen vorwiegend über Kühltürme in die Umgebung abgeführt, oft ohne auf potenzielle Abwärmenutzungs- oder alternative Rückkühlungsmöglichkeiten zu achten. Das in einem Forschungsprojekt entwickelte Energiekonzept für das zukünftige Gebäude FUTUREbase in Wien basiert auf der Nutzung von vorhandenen Energiepotenzialen in der direkten Umgebung und wird daher als prototypisches Fallbeispiel herangezogen (Futurebase, 2012). Damit soll die Installation von zusätzlichen Energieerzeugungsanlagen am Standort vermieden werden. An dem gemischten Industrie- und Gewerbestandort rund um die Bürogebäude TECHbase und ENERGYbase und den Testanlagen der Firma RTA im 21. Wiener Gemeindebezirk (siehe Abbildung 110) wurden bis jetzt die thermischen Energiesysteme für jedes Gebäude individuell geplant und ausgeführt. Obwohl die Gebäude teilweise von dem gleichen Bauträger errichtet wurden und sie sich eigentlich gut für energetische Synergienutzungen eignen, gibt es bis dato kein gebäudeübergreifendes thermisches Energiesystem.



Abbildung 110: Luftbild des Standortes (Quelle: ViennaGIS)

Abgesehen von den bestehenden Energieerzeugungskapazitäten bei den Gebäuden ENERGYbase und TECHbase ist das größte Potenzial in der direkten Nachbarschaft der FUTUREbase bei den Anlagen der Firma RTA (Rail Tec Arsenal Fahrzeugversuchsanlage GmbH) zu finden. Der größte Klimawindkanal Europas der RTA wird mit drei Verdichtern zu je 1,3 MW Antriebsleistung betrieben, um

die Kälte für die unterschiedlichen Versuche bereitzustellen. Dabei fällt Abwärme auf unterschiedlichem Temperaturniveau von 25 bis 85°C an.

Um das Potential zur Abwärmenutzung zur Raumheizung in den benachbarten Bürogebäuden zu zeigen, wurden dem Wärmebedarf gemessene Daten der RTA Kälteanlage gegenübergestellt. Die Abwärme der RTA Kälteanlage ist nicht kontinuierlich verfügbar, da sie von der Auftragslage und der Art der durchgeführten Testläufe in den Klimawindkanälen abhängt. In Abbildung 111 wird die monatliche Auslastung in den einzelnen Jahren dargestellt, dabei ist zu erkennen, dass die jährliche Auslastung der RTA Kälteanlage im Mittel etwa 50 % beträgt (Hartl et al., 2014).

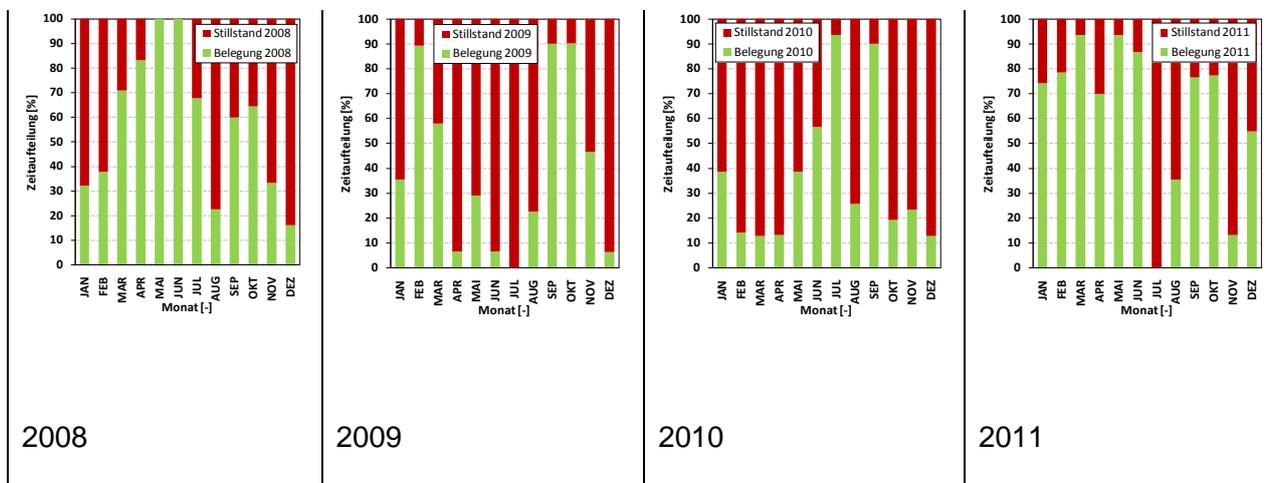


Abbildung 111: Monatliche Aufteilung der Stillstands- und Belegungszeiten (Futurebase, 2012)

Die gemessenen Austrittstemperaturen der drei Verdichter während der Messperiode 2011 liegen immer über 45 °C. In bis zu 50 % der Betriebszeiten liegen die Temperaturen über 60 °C, damit ergibt sich die Möglichkeit die Abwärme direkt für Heizzwecke zu nutzen. Die Jahresdauerlinie der Kälteleistung (Abbildung 112) zeigt eine „Grundlast“ von ca. 800 kW während etwa 3.200 Stunden. Die mittlere Abwärmeleistung in den 3.200 Betriebsstunden beträgt 1.215 kW. Die drei Verdichter weisen dabei unterschiedliche Betriebszeiten auf.

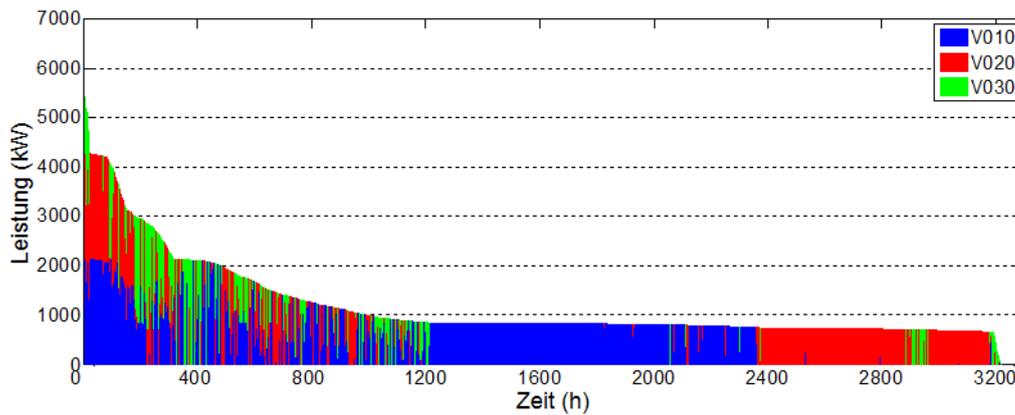
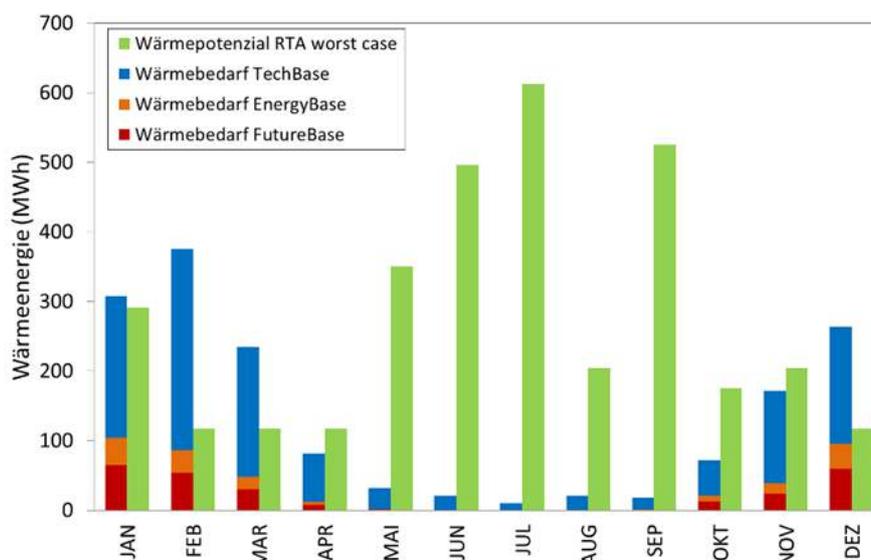


Abbildung 112: Gesamte Jahresdauerlinie der Abwärmeleistung des jeweiligen Verdichters (V010, V020, V030) für 2011 (Futurebase, 2012)

Mithilfe der Auslastung und der Abwärmeleistung der RTA Kälteanlage lässt sich das Abwärmepotential zu 3,3 GWh/Jahr (worst case = geringe Auslastung) und 6,7 GWh/Jahr (best case = hohe Auslastung) bestimmen. Abgesehen vom Temperaturniveau der anfallenden Abwärme kann selbst im worst case der Auslastung der RTA Kälteanlage (circa 3,3 GWh/Jahr) etwa die Hälfte des Raumwärmebedarfs abgedeckt werden. Abbildung 113 zeigt die Abwärmemenge und den Raumwärmebedarf der betrachteten Objekte. Es ist ein deutlicher Überschuss an Abwärme für die Sommermonate erkennbar. In den Wintermonaten kann jedoch ebenfalls ein signifikanter Anteil an Raumwärmebedarf der drei betrachteten Gebäude gedeckt werden.



*Abbildung 113: Monatliche Energiebilanz am Standort (ohne Berücksichtigung der Temperaturlimitierungen) für 2011 (Futurebase, 2012)*

Für eine zuverlässige Versorgung und eine optimale Ausnutzung der Abwärme ist ein thermischer Speicher vorzusehen. Mithilfe des Speichers wird der Einsatz der Back-up-Heizsysteme reduziert. In Abhängigkeit der Speichergröße von 140 bis 1720 m<sup>3</sup> variiert der Jahresdeckungsgrad des Raumwärmebedarfes zwischen 55 und 97 %.

Die Kompressionskälteanlage der RTA arbeitet mit einstufiger Verdichtung und zweistufiger Entspannung. Die Kühlung der Windkanäle erfolgt über die Kühlung von Kälte-trägerkreisen auf Sollwerte zwischen - 54 °C und ca. - 5 °C. Neben den beiden Solekreisen für die Windkanäle (Hauptverbraucher) gibt es einen weiteren Verdampfer zur Eiswassererzeugung. Das Schmieröl der Verdichter wird nach der Verdichtung abgeschieden und über Rohrbündelwärmeübertrager über einen kältemittelseitigen Naturumlauf mit Kältemittel aus dem Sammler gekühlt. Die Abwärme der Kälteanlage kann mit verschiedenen Maßnahmen nutzbar gemacht werden, siehe rote Linien in Abbildung 114:

- Die sensible Abwärme der Verdichter, die bisher über die Ölkühler in den Sammler (und damit über die Verdunstungsverflüssiger) abgeführt worden ist, wird direkt ausgekoppelt.
- Die sensible Wärme, die beim Abkühlen des Heißgases (überhitzter Kältemitteldampf am Austritt aus den Verdichtern) bis zum Taupunkt bisher über die Verdunstungsverflüssiger abgeführt worden ist, wird mittels eines Enthitzers direkt ausgekoppelt.
- Die latente Wärme, die beim Verflüssigen des Kältemittels bisher über die Verdunstungsverflüssiger abgeführt worden ist, wird mittels eines Verflüssigers direkt ausgekoppelt.

Für den Fall, dass die Abwärme nicht genutzt werden kann muss die anfallende Abwärme abgeführt werden. Daher kann auf die bestehenden Verdunstungsverflüssiger, um einen fehlerfreien Betrieb des Kältekreises gewährleisten zu können, nicht verzichtet werden.

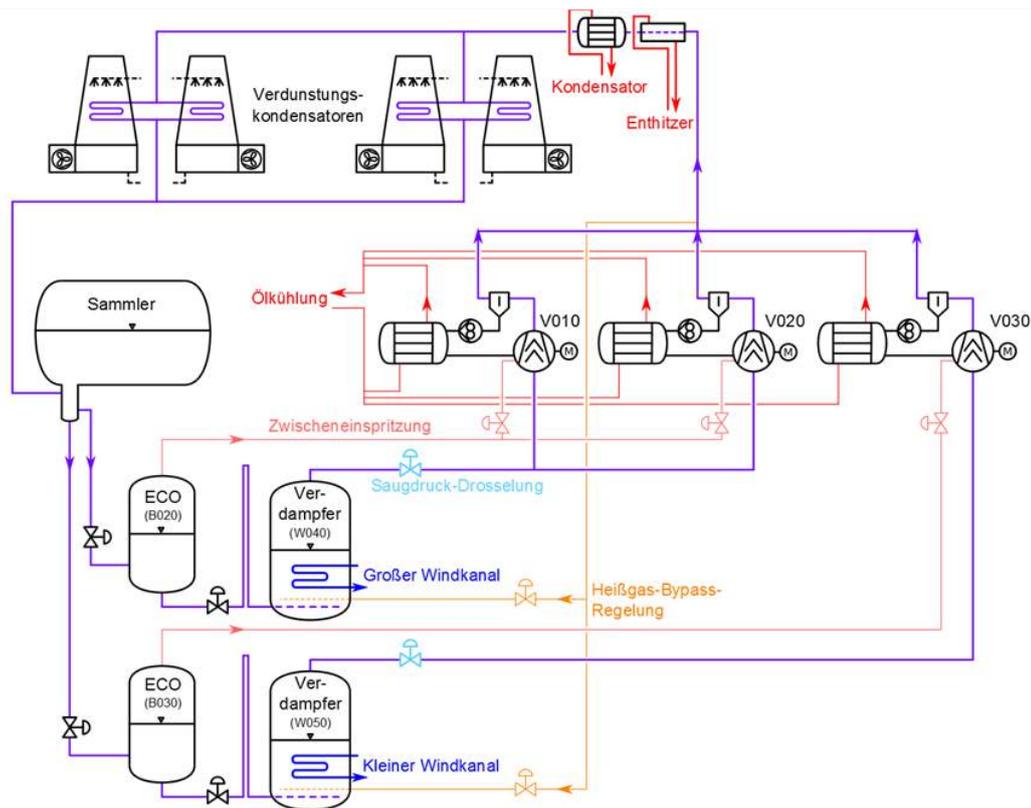


Abbildung 114: Vereinfachtes R&I-Schema der Kälteanlage mit den Möglichkeiten der Abwärmenutzung (rot) (Hartl et al., 2014)

An einem der drei Verdichter zeigt sich beispielhaft das vorhandene Potential zur Auskopplung von Abwärme an unterschiedlichen Stellen im System. Je nach Betriebszustand des Verdichters V010 wird am Verflüssiger eine Leistung bis zu rund 2,5 MW bei einer Temperatur zwischen 24 und 32 °C abgeführt. Davon kann über einen Heißgasenthalzer eine Leistung von bis zu 400 kW bei einer maximalen Temperatur von 50 bis 75 °C ausgekoppelt werden. Am Ölkühler wird etwa eine Leistung von 150 bis 300 kW bei einer Öleintrittstemperatur in den Kühler von rund 35 bis 55 °C abgeführt.

Damit wird deutlich, dass insbesondere der Ölkühler und ein zusätzlich zu installierender Heißgas-Enthitzer Leistung und Energie in der Größenordnung des erforderlichen Raumwärmebedarfs bei brauchbarer Temperatur bereitstellen können. Die beiden Bürogebäude, ENERGYbase und die zu errichtende FUTUREbase, nutzen bzw. sollen die thermische Betonkernaktivierung als Niedertemperaturheizsystem nutzen und können daher mit dem Hauptanteil der anfallenden Abwärme der Luftkondensatoren versorgt werden.

In einem nächsten Schritt wird das Gesamtsystem, bestehend aus der Kälteanlage der RTA, den drei vorgestellten Bürogebäuden, einem thermischen Speicher mit Wasser als Wärmeträger und einem geothermischen SONDENSPEICHER mit Hilfe des Simulationstools OSMOSE (siehe Kapitel 3.2.3) ökonomisch optimiert.

### 3.5 Kommunikation

Im Zuge der österreichischen Beteiligung am HPP-IETS Annex 35/13 wurde eine spezielle Kommunikationsstrategie erarbeitet, um die essentiellen Zielsetzungen dieser Vorhaben sowohl in der internationalen Kooperation wie auch für die nationale Vernetzung mit relevanten Akteuren bestmöglich zu gewährleisten. Folgende Ergebnisse des Arbeitspakets „Kommunikation und Projektmanagement“ sind für das vorliegende Projekt zu nennen:

- durchgeführte Expertentreffen
- geknüpfte persönlichen Kontakte und laufende Kooperationen
- Vernetzung mit österreichischen Wärmepumpenherstellern via Email und Telefonkontakt
- Aussendung eines Fragebogens an die Industrie
- Abhaltung zweier nationaler Workshops mit österreichischen Wärmepumpenherstellern und Vertretern des Verbands sowie Teilnahme am internationalen Workshop (<http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id6414#h4>)
- Vorträge, Tagungspaper und Beiträge in einem Fachjournal (Veröffentlichungen) (siehe Publikationsliste im Anhang 0)
- Initiierung nationaler kooperativer Forschungsprojekte
- Die wichtigsten Informationen sind über die Homepage: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id6414> leicht zugänglich

Im Rahmen des IEA HPP Annex 35 fanden regelmäßige internationale Expertentreffen (12 #) für einen regen und kontinuierlichen Informationsaustausch statt. Diese Treffen dienten zur Abwicklung und Management des internationalen Vorhabens, der Sicherstellung zur Erreichung der Ziele des Annexes und zum Wissenstransfer zwischen internationalen Fachkräften und Experten.

Durch die laufende Kooperation des IWT und AIT mit dem österreichischen Wärmepumpenverband sowie mit in Österreich aktiven Herstellern ist die Weitergabe der Erkenntnisse sichergestellt.

Workshop: Im Zuge des „Info-Tag für Wärmepumpenhersteller“, der am 11.10.2013 beim AIT in Wien stattfand, wurde ein nationaler Workshop zum IEA HPP Annex 35 abgehalten. Die Veranstaltung forcierte den Informationsaustausch zwischen den Herstellern einerseits und andererseits konnten Informationen über die aktuellen nationalen / internationalen Normungs- und Forschungsaktivitäten verbreitet werden. Am Nachmittag widmete sich die Veranstaltung den laufenden IEA.



Abbildung 115: Teilnehmer des Info-Tages für Wärmepumpenhersteller

Im Zuge der Präsentation zum IEA HPP Annex 35 wurden die Teilnehmer (Abbildung 115) über die Aktivitäten und Ergebnisse auf nationaler und internationaler Ebene informiert. Die Ergebnisse des internationalen Konsortiums in den Bereichen Technologieübersicht und Darstellung von Best Practice Beispielen konnten so mit den Teilnehmern diskutiert werden.

2014 wurde im Anschluss an den „Info-Tag für Wärmepumpenhersteller“, der am 09.10.2014 beim AIT in Wien stattfand, ein weiterer nationaler Workshop zum IEA HPP Annex 35 abgehalten, an dem 15 Personen teilnahmen. Die Einladung wurde an die Industriellen Vereinigung, Anlagenplaner und Wärmepumpenhersteller verschickt. Im Zuge der Veranstaltung konnten nationale und internationale Ergebnisse und Erkenntnisse an das Publikum weitergegeben werden.

Zur weiteren Verbreitung der Thematik wurden Veröffentlichungen von themenrelevanten nationalen Projekten erstellt (siehe Anhang 0). Das im Rahmen der 3. Ausschreibung „Neue Energien 2020“ geförderte und abgeschlossene Projekt „Promise Demo IF“ (FFG-Projekt 825590) hat sich mit dem möglichen Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe in einem Industriebetrieb in der Steiermark beschäftigt. In diesem Projekt konnten bereits erste Erkenntnisse und Kontakte zu internationalen Forschungsgruppen und Herstellern genutzt werden. Die Ergebnisse dieses Projektes fließen in den IEA HPP Annex 35 ein und wurden im Rahmen der DKV-Tagung 2013 (Zotter & Rieberer, 2013a) veröffentlicht. Im Rahmen der Chillventa 2014 wurde vom IZW (Operating Agent des IEA HPP Annex 35) am 13.10.2014 eine Informationsveranstaltung für industrielle Anwendungen abgehalten und die Ergebnisse des IEA HPP Annex 35 präsentiert. Vom österreichischen Konsortium wurde ein Beitrag mit dem Thema „Einsatz von Hochtemperaturwärmepumpen zur Wärmerückgewinnung in Rauchgaskondensationsanlagen“ geleistet. Im Zuge des Workshops wurden den Teilnehmern Möglichkeiten der Abwärmerückgewinnung mittels Wärmepumpen in industriellen Anwendungen präsentiert und die Ergebnisse des IEA HPP Annex 35 dargestellt. Weitere Veröffentlichungen zum Thema „Industrielle Wärmepumpe“ fanden z.B. im Zuge des „Symposium Energie Innovationen 2014“ (Zotter & Rieberer, 2014a) in Graz, statt, in dem einem breitgefächerten Publikum die Möglichkeiten, die ein *Steigerung der Energieeffizienz in Österreichs Industrie durch innerbetriebliche Abwärmenutzung mittels Wärmepumpensystemen* bietet, verdeutlicht wurden. Auch im Zuge des „KIEN-Sciences Brunch“ der in Graz am 14.10.2014 abgehalten wurde, wurden *Wärmepumpen für den industriellen Einsatz* (Rieberer et al., 2014) möglichst anschaulich thematisiert. Des Weiteren konnte in der Fachzeitschrift „KI Kälte Luft Klimatechnik“ ein Artikel über die *„Innerbetriebliche Nutzung von Abwärme mittels Wärmepumpen“* (Zotter & Rieberer, 2014b, Ausgabe vom 05.2014) veröffentlicht werden.

Der vorliegende Endbericht wurde so gestaltet, dass er für eine möglichst breite Zielgruppe alle wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse beinhaltet. Neben dem nationalen Endbericht lag der Fokus bei der Dissemination auch auf der Erstellung der Beiträge für den internationalen Endbericht. Dabei

wurde für jeden Task (1 bis 5) ein „Austrian Team Country Report“ (siehe Anhang 7.1 bis 7.6) erstellt. Zum Zeitpunkt der Berichtslegung war der internationale Endbericht noch nicht veröffentlicht. Es werden aus diesem Grund an dieser Stelle auf das Heat Pump Centre verwiesen, das den internationalen Endbericht publizieren wird (siehe [www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org)).

## 4. Vernetzung und Ergebnistransfer

Zur direkten Zielgruppe der Ergebnisse zählen vor allem Wärmepumpenhersteller, aber auch Anlagenplaner bzw. Installateure sowie Industrieunternehmer. Diese müssen über die potentiellen Einsatzmöglichkeiten, die An- und Herausforderungen sowie über Vor- und Nachteile von Industriellen Wärmepumpen informiert werden, um das Potential zu erkennen, geeignete Produkte auf den Markt zu bringen und den bestehenden Erfahrungsmangel, der bei Endkunden und Ausführenden besteht, wett zu machen.

Die Verwertung der Ergebnisse, vor allem die Verbreitung dieser an die österreichische Wärmepumpenbranche wurde u.a. im Zuge eines Workshops im Rahmen des Infotages für Wärmepumpenhersteller sichergestellt. Dabei wurde gezielt nicht nur der aktuelle nationale Status Quo weitergegeben, sondern auch auf internationale Trends und Forschungsaktivitäten eingegangen, um einen Anstoß für neue Ideen und Innovationen in Österreich zu initiieren. Die Veranstaltung forcierte zudem den Informationsaustausch zwischen den Herstellern und Forschungseinrichtungen.

Das im Rahmen der 3. Ausschreibung „Neue Energien 2020“ geförderte und abgeschlossene Projekt „Promise Demo IF“ (FFG-Projekt 825590) hat sich mit dem möglichen Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe in einem Industriebetrieb in der Steiermark beschäftigt. In diesem Projekt konnten bereits erste Erkenntnisse und Kontakte zu internationalen Forschungsgruppen und Herstellern genutzt werden. Die Ergebnisse dieses Projektes fließen in den IEA HPP Annex 35 ein.

Zur weiteren Verbreitung der Erkenntnisse wurden Veröffentlichungen zu themenrelevanten nationalen Projekten ausgearbeitet, wie z.B. bei der DKV-Tagung 2013 (Zotter & Rieberer, 2013) oder beim Symposium Energieinnovationen 2014 (Zotter & Rieberer, 2014) ein breiteres Publikum erreicht. Letztere Veranstaltung bot eine gute Gelegenheit Vertretern der österreichischen Industrie auf dieses relevante Thema aufmerksam zu machen.

Aus technischer Sicht, gab die Teilnahme am IEA HPP Annex 35 die Möglichkeit viel neues Know-how bei der sehr zukunftssträchtigen und international mit großem Interesse verfolgten Thematik „Hochtemperatur-Wärmepumpe“ nach Österreich zu transferieren und den Forschungsstandort Österreich in seiner Kompetenz in der Wärmepumpentechnik international stärker hervor zu heben.

Auf Basis der aus diesem IEA HPP Annex 35 gewonnenen Erkenntnisse und den Aktivitäten der teilnehmenden Partnerländer wurde im Rahmen der 5. Ausschreibung des Programms „Neue Energien 2020“ das kooperative Forschungsprojekt „HyPump“ (FFG Pr. Nr.: 834614) von den Forschungseinrichtungen IWT und AIT und dem Industriepartner Friogopol initiiert und erfolgreich beantragt. Ohne die Teilnahme am IEA HPP Annex 35 wäre dieses innovative Forschungsprojekt mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht zu Stande gekommen.

## 5. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Industrie ist in Österreich einer der Hauptemittenten von CO<sub>2</sub>-Emissionen, da ca. ein Drittel des gesamten Endenergiebedarfs Österreichs im produzierenden Sektor verbraucht wird und dieser noch immer größtenteils mit fossilen Energieträgern gedeckt wird. Deshalb ist eine branchenübergreifende Reduktion in diesem Sektor unerlässlich, um mittel- und langfristige Klimaziele zu erreichen. Eine Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energieträgern in der Produktion führt nicht nur zur Senkung von laufenden Energiekosten, sondern auch zur Einsparung von Kosten für CO<sub>2</sub>-Gebühren und senkt die Importabhängigkeit an fossilen Brennstoffen, womit ein erheblicher volkswirtschaftlicher Nutzen verbunden ist.

Energetisch sind industrielle und gewerbliche Betriebe dadurch charakterisiert, dass neben elektr. Energie und dem Heizwärmebedarf auch ein großer Bedarf an Prozesswärme für z.B. Trocknungsprozesse, Galvanisieren, Destillationsprozesse usw. besteht. Auf der anderen Seite fallen i.d.R. auch große Abwärmemengen aus unterschiedlichen Prozessen an. Meist können diese aufgrund ihres niedrigen Temperaturniveaus nicht (betriebsintern) weiter genutzt werden und müssen mit zusätzlichem Aufwand „entsorgt“ werden.

Durch den Einsatz von Wärmepumpen kann das Temperaturniveau von Abwärme auf ein nutzbares, höheres Temperaturniveau angehoben und somit in das bestehende Wärmeversorgungssystem des Industriebetriebs integriert werden. Damit bieten industrielle Wärmepumpen ein großes ökologisches Potenzial zur Reduktion fossiler Energieträger und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Des Weiteren weisen industrielle Wärmepumpen auch ein großes ökonomisches Potenzial für die Industrie auf, da Energiekosten aufgrund der Minimierung des Primärenergieeinsatzes in der Produktion gesenkt und damit die Preise von heimischen Industrieprodukten von internationalen Öl- und Gaspreisentwicklungen „unabhängiger“ gestaltet werden können. Lt. den Recherchen im Rahmen dieses Vorhabens könnte theoretisch ca. 30 % des Wärmebedarfs der Industrie mit Hochtemperaturen-WP mit Nutzttemperaturen bis 100 °C abgedeckt werden, wobei das theoretische Emissionseinsparungspotential bei ca. 70 % liegt. Wie groß das technische Potenzial ist, muss im konkreten Fall erhoben werden. Dabei spielt vor allem die temporäre Überdeckung von Abwärmeangebot und Nutzwärmenachfrage eine große Rolle.

Trotz der enormen Potenziale werden industrielle Wärmepumpen in Österreich bis dato nur vereinzelt eingesetzt. Zum Teil ist in Österreich hinsichtlich industrieller Wärmepumpenanwendungen nur primär theoretisches Wissen vorhanden. Als wesentliche Barrieren, die einem breiten Einsatz dieser sinnvollen Wärmepumpennutzung bislang entgegenstand, sind fehlendes Know-how, Skepsis bzgl. Zuverlässigkeit und vor allem die seitens der Industrie sehr kurzen geforderten Amortisationszeiten (i.d.R. kürzer als 3 a) sowie der Mangel an geeigneten Hochtemperatur-Wärmepumpen (Nutztemperaturen > 80°C) zu nennen.

Um dem entgegen zu wirken, muss eine Bewusstseinsbildung hinsichtlich der ökonomischen und ökologischen Vorteile in Österreich stattfinden, um die o.a. Skepsis wett zu machen und gleichzeitig das Image stärken. Die Einführung von technischen Standards, wie verpflichtende Monitoringsysteme für die Energieverbräuche, könnten die Industriebetriebe auf offensichtliche Optimierungspotenziale hin

sensibilisieren. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Verbreitung von notwendigem Wissen an Planer, Anlagenbauer und Verbände bzgl. der Umsetzung dieser Systeme. Eine gezielte Förderung von Forschungs- & Entwicklungsprojekten zu Hochtemperatur-Wärmepumpen und Feldtests dieser, könnte den notwendigen Impuls liefern, um den Mangel an verfügbaren Anlagen für Hochtemperaturanwendungen in der Industrie schneller auszugleichen. Damit könnte ein neuer Markt für österreichische Wärmepumpenhersteller erschlossen werden. Auch die Entwicklung weg von maßgeschneiderten hin zu standardisierten Anlagen dürfte für die „Wirtschaftlichkeit“ von industriellen Wärmepumpen Vorteilhaft sein.

Die Teilnahme am IEA HPP Annex 35 bot den Projektpartnern die Gelegenheit, intensiv mit den Stakeholdern der Branche zusammenzuarbeiten, wodurch sich Vorteile ergaben, wie ein intensiver Zuwachs an Know-how rund um Wärmepumpentechnik und den Zugang zu Erkenntnissen aus internationalen F&E-Projekten. Dabei wurde Wissen über Realisierbarkeit unterschiedlicher thermodynamischer Kreisprozesse mit heute verfügbarer Technik (Wärmetauscher, Kältemittel, Verdichter etc.) und Kenntnis über zukünftigen F&E-Bedarf gewonnen. Neue Kontakte zu wichtigen F&E-Einrichtungen und Unternehmen in den beteiligten Ländern konnten geknüpft und die Vernetzung von relevanten Marktakteure und Forschungsinstitutionen hergestellt werden. Durch die Teilnahme konnte sich der Forschungsstandort Österreich in seiner Kompetenz rd. um die Wärmepumpentechnik international weiter etablieren. Besonders durch die Erfahrungen aus ausländischen Best-Practice-Beispielen konnten potentielle Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten für die heimische Industrie abgeleitet und aufgezeigt werden.

Im internationalen F&E-Trend stehen die Beforschung von neuen Kältemitteln und die Entwicklung geeigneter Komponenten für Hochtemperatur-Kompressionswärmepumpen. Dabei ist vor allem auch die Entwicklung von geeigneten Schmierkonzepten für die Kompressoren ein relevantes Thema. Aber auch s.g. „Hybrid-Wärmepumpen“ werden international für die Hochtemperaturanwendung, aufgrund ihrer variablen Drucklage, intensiv erforscht. Des Weiteren stehen auch Absorptionskältemaschinen im Trend, um Abwärmen, wie z.B. aus BHKWs, für Kühlzwecke zu nutzen, wenn kein Wärmebedarf besteht. Die Herausforderung liegt dabei in der Entwicklung von Maschinen bzw. Kreisläufen und Stoffpaarungen, die relative tiefe Antriebstemperaturniveaus (< 70°C) erlauben.

Durch die Ergebnisse des IEA HPP Annex 35 wurden Impulse für die heimische Wärmepumpenbranche geschaffen, um deren Produktpalette zu erweitern und einen neuen Markt in einem ökologisch wichtigen Sektor zu erschließen. Die gewonnenen Ergebnisse waren für diese Initialzündung mehr als unerlässlich, da es vor der Teilnahme am HPP Annex 35 in Österreich kaum Aktivitäten zum Thema „Industrielle Wärmepumpen“ gab. Die Erfahrungen aus dem HPP Annex 35 konnten bereits ebenfalls für folgende nationale Forschungsprojekte im Bereich industrieller Wärmepumpen einfließen:

- HyPump (FFG Nr. 834614, Status: laufend): „Hocheffiziente Hybrid-Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung in der Industrie“
- ICON (FFG Nr. 829964, Status abgeschlossen): „Rauchgaskondensation der Zukunft mit hohem Jahresnutzungsgrad durch Kombination mit einer Industrierärmepumpe“

Seit dem Start dieses Annexes spiegeln sich der Know-how-Zugewinn und das erweiterte Bewusstsein bei der Erweiterung der Produktpalette der heimischen Wärmepumpenhersteller wider, so gibt es z.B. seit kurzem eine österreichische Wärmepumpe für Nutzttemperaturen bis 95 °C.

Verstärkt sollten in naher Zukunft auch politische Entscheidungsträger erreicht werden, um diese hinsichtlich dieses ökologisch wichtigen Themas zu sensibilisieren. Aus Sicht der österreichischen Arbeitsgemeinschaft empfiehlt es sich ein nationales Kompetenznetzwerk, in dem Vertreter aus Forschung und Industrie gemeinsam an der Einführung und Popularisierung dieser Technik zusammenarbeiten, zu etablieren. In diese Rahmen könnten verstärkt Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich der „Hochtemperatur-Wärmepumpe“ sowie die Errichtung und Vermessung von Demoanlagen im Felde bearbeitet und gefördert werden.

## 6. Verzeichnisse

### 6.1 Literaturverzeichnis

- Adler, Riepl & Ponweiser, 2011:** CENTRIFUGAL COMPRESSION TURBO HEAT PUMP MADE BY ECOP; Proc.-Paper bei der 10. IEA Heat Pump Conference 2011, in Tokyo, Japan, 16 – 19.05.2011
- Advansor, 2014:** [http://www.advansor.dk/fileadmin/Arkiv/Dokumenter/ENG\\_compHEAT.pdf](http://www.advansor.dk/fileadmin/Arkiv/Dokumenter/ENG_compHEAT.pdf), letzter Zugriff Oktober 2014
- AGO, 2014:** AGO AG Energie + Anlagen/ Homepage: ago congelo –Absorptionskälte-maschine - Referenzen <http://www.ago.ag/referenzen/ago-congelo---absorptionskaeltemaschine/> (abgerufen am 01.08.2014)
- Apra & Maiorino, 2009:** Heat rejection pressure optimization for a carbon dioxide split system: an experimental study. Applied Energy 2009;86:2373–80
- ASPEN Plus, 2013:** Chemical Process Optimization Software, AspenTech, <http://www.aspentech.com/products/aspens-plus/>
- Bergthaller, 2012:** Solaranlage Ökoenergiepark Bergheim, Endbericht für das Förderprogramm für Solare Großanlagen des Klima- und Energiefonds, 2012
- Bergthaller, 2013:** Data sheets about the absorption heat pump located at the biomass plant in Hallein – from Salzburg AG via email (26.03.2013) (nicht veröffentlicht)
- BFE (Bundesamt für Energie), 2006:** *Grosswärmepumpen - Energetische und planerische Analyse von 10 Anlagen, Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte.* Bundesamt für Energie Sektion erneuerbare Energien. Burgdorf : s.n., 2006. Schlussbericht
- Blesl, Wolf, Lambauer, Broydo & Fahl, 2012:** Perspektiven von Wärmepumpen sowie der Nah und Fernwärme zur Wärme- (und Kälte-)bereitstellung in Deutschland, Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Stuttgart, 2012
- Boewe, Bullard, Yin & Hrnjak, 2001:** Contribution of Internal Heat Exchanger to Transcritical R-744 Cycle Performance. HVAC&R Research, Apr 2001; 7; 2 pp 155-168.
- Brown, Zilio & Cavallini, 2010a:** A. Thermodynamic properties of eight fluorinated olefins, International Journal of Refrigeration 33, 235 – 241, 2010
- Brown, Zilio & Cavallini, 2010b:** A. The fluorinated olefin R-1234ze(Z) as a high-temperature heat pumping refrigerant, International Journal of Refrigeration, 32, 1412 – 1422, 2009
- Brown, Zilio & Cavallini, 2010c:** A. Thermodynamic properties of eight fluorinated olefins International Journal of Refrigeration, 33, 235 – 24, 2010
- Brunner, Slawitschek, Giannakopoulou, K., Trinkaus, P., Schnitzer, H., Weiss, W., Schröttner, S., Reif, B., 2007:** STYRIAN PROMISE (Produzieren mit Solarer Energie) – Initiative zur Nutzung von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien (Solare Prozesswärme) in

steirischen Betrieben. Endbericht, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme – JOINTS

- Carnot, 1824:** Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwicklung dieser Kraft geeigneten Maschinen (*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*), Übersetzt und herausgegeben von Ostwald, Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1892
- Chen & Gu, 2005:** Non-adiabatic capillary tube flow of carbon dioxide in a novel refrigeration cycle. Applied Thermal Engineering, Volume 25, Issues 11–12, August 2005, Pages 1670-1683
- Cofely, 2011:** Angebot der Fa. Cofely (PNr.: 11-118872) vom 12.09.2011 (nicht veröffentlicht)
- Cofely, 2012:** Datenblätter von unterschiedlichen Wärmepumpenanwendungen; via Email versandt (10.10.2012) von Jürgen Fürtner (Cofely), (nicht veröffentlicht)
- Cofely, 2013a:** <http://www.cofely.info/leistungen/waermepumpen/industrie/> (02.10.2013)
- Cofely, 2013b:** ENERGIEOPTIMIERTE KÄLTE- UND WÄRMEPUMPENANLAGE IN HOHENEMS; [http://www.cofely.info/uploads/media/efef\\_Hohenems\\_01.pdf](http://www.cofely.info/uploads/media/efef_Hohenems_01.pdf) (02.10.2013)
- Coolpack, 2013:** Simulation Models for Refrigeration Systems. CoolPack is developed by the Department of Mechanical Engineering (MEK), Section of Energy Engineering (ET) at the Technical University of Denmark (DTU). <http://en.ipu.dk/Indhold/refrigeration-and-energy-technology/coolpack.aspx> (05.07.2013)
- Doppelreiter, 2013:** RAG; Vortrag: Tiefe Erdwärmesonde – nachhaltige, verlässliche und preisstabile Wärme; Augsburg 2013
- Doppelreiter, 2014:** RAG; Vortrag: Tiefe Erdwärmesonde Mühlleiten 2 – Nachnutzung einer nicht-fündigen Kohlenwasserstoffbohrung; Stuttgart 2014
- E-Control, 2010:** STROMKENNZEICHNUNGSBERICHT 2010; <http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/oeko-energie/dokumente/pdfs/stromkennzeichnungsbericht-2010-final.pdf>
- ECOP, 2014:** Homepage der Fa. ECOP: <http://ecop-technologies.com> (29.10.2014)
- EES, 2013:** Engineering Equation Solver. Academic Professional V8; F-Chart Software.
- efef, 2013:** <http://www.efef.at/> (02.10.2013)
- Elbel & Hrnjak, 2004:** Flash gas bypass for improving of performance of transcritical R744 systems that use microchannel evaporators. International Journal of Refrigeration 2004;27(27):724-35
- Empl Bau, 2014:** Fa. Empl Baugesellschaft m.b.H, [www.empl-bau.at](http://www.empl-bau.at), letzter Zugriff Oktober 2014
- Eta Energieberatung, 2008:** Carmen Fachgespräche „Kälte aus Wärme“. [http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/fg\\_biogas/1\\_06\\_Sch%E4fer.pdf](http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/fg_biogas/1_06_Sch%E4fer.pdf) - (11.02.2010)

- Euroheat & Power, 2006:** Final Report of the Project ECOHEAT COOL, Work Package 1 - The European Heat Market.  
[http://www.euroheat.org/Files/Filer/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool\\_WP1\\_Web.pdf](http://www.euroheat.org/Files/Filer/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool_WP1_Web.pdf)
- EINSTEIN, 2013:** Technische Beschreibung EINSTEIN, [https://www.einstein-energy.net/media/static\\_pages/4%20EINSTEIN%20Documentation/EINSTEIN%20Documentation.html](https://www.einstein-energy.net/media/static_pages/4%20EINSTEIN%20Documentation/EINSTEIN%20Documentation.html) (07.11.2013)
- ESV, 2014:** Broschüre des oberösterreichische Energiesparverband (ESV), [http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info\\_und\\_Service/Publikationen/Info-Mappe-Betriebe\\_2012/23\\_Innovative\\_Betriebsgebaeude.pdf](http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Info-Mappe-Betriebe_2012/23_Innovative_Betriebsgebaeude.pdf) (abgerufen am 01.08.2014)
- Fanning, 2007:** Der Wärmepumpenmarkt in Österreich 2006 - (Erhebung für die Internationale Energie-Agentur (IEA); Hrsg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie unter der Reihe [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at), Berichte aus Energie- und Umweltforschung: 11c/2007
- Fukuda, Kondou, Takata & Koyama, 2013:** Low GWP refrigerants R1234ze(E) and R1234ze(Z) for high temperature heat pumps, International Journal of Refrigeration, Available online 7 November 2013, ISSN 0140-7007, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.10.014>.
- Futurebase, 2012:** Preisler, A., Schneider, U., et al., FUTUREbase - Verbindung innovativer Strategien und Technologien zu einem ganzheitlichen, ressourcenschonenden Plusenergiegebäude, Schriftenreihe 21/2014 Herausgeber: bmvit, Wien, 2014
- GBU, 1995:** AdSORPTION CHILLER NAK - Chilling Capacity from 50 to 430 kW - Usage of Surplus Heat from 50° C Produkt-Folder der GBU mbH, Deutschland, <http://www.gbunet.de/outgoing/nak-prospect.pdf> (heruntergeladen am 01.11.2014)
- GEA, 2009:** Eindampftechnik - Produkt-Folder der GEA Wiegand GmbH, Process Engineering, [http://www.bickel-wolf.com/files/lieferanten/GEA%20Wiegand/dokumente/P03d\\_Eindampftechnik.pdf](http://www.bickel-wolf.com/files/lieferanten/GEA%20Wiegand/dokumente/P03d_Eindampftechnik.pdf) (heruntergeladen am 01.10.2014)
- Gesund + Leben – intern, 2013:** Für Umwelt & Klima in Gesund & Leben – intern; NÖ Landeskliniken Holding; Ärzteverlag GmbH; [http://wir-mitarbeiter.at/index.php?id=266&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=4052&cHash=07f168289519db29da1407f456009695](http://wir-mitarbeiter.at/index.php?id=266&tx_ttnews[tt_news]=4052&cHash=07f168289519db29da1407f456009695) (abgerufen am 01.08.2014)
- Gmunden, 2013:** Homepage der Stadtgemeinde Gmunden - Sportzentren <http://www.gmunden.ooe.gv.at/system/web/abteilung.aspx?menuonr=219137775&detailonr=12237> (02.10.2013)
- Grandy, Ekroth, Lundqvist, Melinder, Palm & Rohlin, 2005:** Refrigerating Engineering, Department of Energy Technology, Royal Institute of Technology, KTH, 2005
- Greenandcool, 2014:** <http://www.greenandcool.com/en-gb/products>, letzter Zugriff Oktober 2014

- Hannl, Rieberer, 2014:** Absorption/Compression cycle for high temperature heat Pumps – Simulation model, prototype design and experimental results, In: Proceedings of 11th IEA Heat Pump Conference, Montreal, Canada, May 12-16, 2014
- Hartl, Windholz, Selke, Preisler, Kreitmayer, 2014:** Abwärmenutzung des größten Klimawindkanals Europas, Deutsche Kälte- und Klimatagung, Düsseldorf, 2014
- Heliotherm, 2013:** [www.heliotherm.com/](http://www.heliotherm.com/) (02.10.2013)
- Hepheistos, 2012:** Fa. HEPHEISTOS - Energie und Verfahrenstechnik, Technische Beschreibung des Projekts Ökoenergiepark Bergheim, 2011 (nicht öffentlich)
- Heyl, 2000:** Untersuchungen transkritischer CO<sub>2</sub> Prozesse mit arbeitsleistender Entspannung, DKV
- Hoff, 2011:** „Hochtemperaturwärmepumpen für industrielle Abwärmenutzung“ - Bachelorarbeit der Fakultät für Maschinenbau der Technische Universität Graz, verfasst am Institut für Wärmetechnik der Technische Universität Graz, 2011
- Hua, Yitai, Minxia & Wei, 2010:** Study on expansion power recovery in CO<sub>2</sub> transcritical cycle. Energy Conversion and Management 2010;51:2516–22
- IDM, 2013:** <http://www.idm-energie.at> (heruntergeladen am 02.10.2013)
- IEA HPP Annex 35, 2010:** Application of Industrial Heat Pumps – Legal Text zum IEA Heat Pump Programme Annex 35 & IEA Industrial Energy Systems and Technologies Annex 13 (nicht öffentlich)
- IEA HPP Annex 35, 2014:** IEA, Application of Industrial Heat Pumps, (Draft of) Final Report, International Energy Agency, Annex 35/13, 2014 (noch nicht publiziert)
- Itomic, 2014:** <http://www.itomic.co.jp/english/eco.html>, letzter Zugriff Oktober 2014
- Ittershagen, Haufe, Leutert, Mavromati, Redlich, & Stallmann, 2010:** Umweltbundesamt für Kohlendioxid in Klimalanlagen **Umweltbundesamt** (Dessau-Roßlau, BRD) Presseinformation, 43, 2010
- Jakobs, 2010:** Status und Ausblick Wärmepumpen für Gewerbe, Prozess- und Industriekälte - zum Seminar: Energieeffizienz in der Gewerbe-, Prozess- und Großkälte; DMJ Beratung, Breuberg – Netzwerk Kälteeffizienz Hnaburg, am 7.5.2010, <http://www.hamburg.de/contentblob/2251468/data/vortrag-jakobs-wp-7-05-10.pdf> (letzter Abruf am 01.10.2014)
- Janssen, Lemm & Wintzenburg, 2010.** Ein gefährlicher Kaltmacher, Stern, 34, 84-86, 2010.
- Jensen, Reinholdt, Markussen & Elmegaard, 2014:** Investigation of ammonia/water hybrid absorption/compression heat pumps for heat supply temperatures above 100 °C, International Sorption Heat Pump Conference, March 31-April 3, 2014
- Kim, Kim, Lee & Kim, 2005:** The performance of a transcritical CO<sub>2</sub> cycle with an internal heat exchanger for hot water heating. International Journal of Refrigeration, Volume 28, Issue 7, November 2005, Pages 1064-1072

- Klima:aktiv, 2009:** Workshop - Nachlese „Integration von Wärmepumpen in Biomasseanlagen Weiterbildungs- und Informationsveranstaltung“; 12. Mai 2009, Salzburg/Hallein  
[http://www.gm-heizwerke.at/index.asp?S=frames/f\\_nachlese\\_Integration\\_Waermepumpen\\_Salzburg\\_2009.htm&S1=menu/m\\_veranstaltungen.htm](http://www.gm-heizwerke.at/index.asp?S=frames/f_nachlese_Integration_Waermepumpen_Salzburg_2009.htm&S1=menu/m_veranstaltungen.htm) (02.10.2013)
- Klima:aktiv, 2011:** Prämiertes Projekt: Seidel Elektronik, Vernetzung Kälteverbraucher und Entlastung konventioneller Kältemaschine durch Kombination Wärmepumpe und Absorptionskälte; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR—AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium  
[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeigebetriebe/kaeltesystemopt/seidel-elektronik\\_freigegeben/seide](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeigebetriebe/kaeltesystemopt/seidel-elektronik_freigegeben/seide) , 2.10.2013)
- klima:aktiv, 2012:** Prämiertes Projekt: Mohrenbrauerei, August Huber, Wärmerückgewinnung aus dem NH<sub>3</sub>-Kältekreislauf mittels einer Hochdruckwärmepumpe; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR - AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium,  
[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeigebetriebe/waemerueckgewinnung/0016\\_Mohrenbrauerei-August-Huberpp\\_2012/Mohrenbrauerei%20August%20Huber%2012.pdf](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeigebetriebe/waemerueckgewinnung/0016_Mohrenbrauerei-August-Huberpp_2012/Mohrenbrauerei%20August%20Huber%2012.pdf), letzter Zugriff Oktober 2014
- Klima:aktiv, 2012b:** Prämiertes Projekt: Daily Service Tiefkühllogistik GmbH & Co KG, Optimierung Kältezentrale und Wärmerückgewinnung für Heizzwecke; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR - AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium,  
[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeigebetriebe/kaeltesystemopt/Daily-Service-Tiefkuehllogistik-2012/Daily-Service-Tiefkuehllogistik%2012.pdf](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeigebetriebe/kaeltesystemopt/Daily-Service-Tiefkuehllogistik-2012/Daily-Service-Tiefkuehllogistik%2012.pdf), letzter Zugriff Oktober 2014
- Klima:aktiv, 2012c:** Prämiertes Projekt: Magna Auteca AG, Optimierung der Kälte- und Wärmeversorgung; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR - AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium,  
[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeigebetriebe/kaeltesystemopt/Magna-Auteca-AG-2012/Magna%2520Auteca%2520AG%252012.pdf&ei=yH9VUtK5HbKP4qSd84DIBA&usq=AFQjCNHzXRWCdS1CsAv2WnBEqwyfqKYzqg&bvm=bv.53760139,d.bGE&cad=rja](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeigebetriebe/kaeltesystemopt/Magna-Auteca-AG-2012/Magna%2520Auteca%2520AG%252012.pdf&ei=yH9VUtK5HbKP4qSd84DIBA&usq=AFQjCNHzXRWCdS1CsAv2WnBEqwyfqKYzqg&bvm=bv.53760139,d.bGE&cad=rja) , (02.10.2013)
- Kontomaris, 2011:** Kontomaris, K. & Rinne, F. (Reuß, M. & Schweigler, C. Eds.) Entwicklung von Kältemitteln mit niedrigem Treibhauspotenzial für Hochtemperaturwärmepumpen, VDI-Fachkonferenz - Wärmepumpen 2011 - Umweltwärme effizient nutzen, 2011
- Kotenko, 2012:** Potential Analysis of Alternative Absorption Heat Pumping Processes with Special Emphasis on Sodium Hydroxide as Additive, Doctoral Thesis, am Institut für Wärmetechnik der TU Graz, 2012
- Kosmadakis, Manolakos, Kyritsis, & Papadakis, 2009:** Comparative thermodynamic study of refrigerants to select the best for use in the high-temperature stage of a two-stage organic Rankine cycle for RO desalination, Desalination 243, 74 – 94, 2009.

- KPC, 2011:** Kommunalkredit Public Consulting. <http://www.publicconsulting.at/> - Telefonat mit Frau Preisegger am 12.10.2011
- KPC, 2011a:** Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009; <http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/> (25.03.2011)
- KPC, 2011b:** Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009  
[http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr\\_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen\\_bis\\_400kw\\_thermisch/](http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen_bis_400kw_thermisch/)(25.03.2011)
- KPC, 2011c:** Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009  
[http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr\\_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen\\_ab\\_400kw\\_thermisch/](http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen_ab_400kw_thermisch/) (25.03.2011)
- KPC, 2011d:** Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009  
[http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr\\_betriebe/energieeffizienz/effiziente\\_energienutzung\\_\\_prozessorientierte\\_manahmen/](http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/energieeffizienz/effiziente_energienutzung__prozessorientierte_manahmen/) (25.03.2011)
- Kracher, 2004:** Kracher, G., Diplomarbeit an der TU-Wien „Analyse und Bewertung eines Monitoringsystems für Heiz- und Kühlsysteme großer Bürogebäude“, Institut für Angewandte Thermodynamik (302), Wien 2004
- Kurier, 2014:** „Öko-Spital: Wärme geht, Kälte kommt zurück“ erstellt am 10.07.2014, 07:00; <http://kurier.at/chronik/niederoesterreich/weinviertel/oeko-spital-waerme-geht-kaelte-kommt-zurueck/74.127.866> (abgerufen am 01.08.2014)
- Lambauer, Fahl, Ohi, Blesl & Voß, 2008:** Industrielle Großwärmepumpen - Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele – Endbericht des Forschungsprojekt gefördert von der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg, Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung in Kooperation mit Ochsner Wärmepumpen GmbH, Stuttgart 2008
- Langeheinecke, Jany & Thieleke, 2008:** Thermodynamik für Ingenieure - Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium, 7., verbesserte und ergänzte Auflage, ISBN 978-3-8348-0418-1
- Laucher, 2009:** Grundlagen für den Wärmepumpeneinsatz - Abwärmenutzung, Biomasseanlagen mit Kondensation"; Amt der Salzburger Landesregierung; <http://www.qm-heizwerke.at/documents/Nachlese/SalzburgHallein2009/Vortrag%20Laucher%20Planerschulung%202009%20Gesamt.pdf> (07.07.2013)
- Lorentzen & Pettersen, 1993:** A new, efficient and environmentally benign system for car air-conditioning. International Journal of Refrigeration, Vol. 16 (1993),1, pp 4-12
- Magistrat St. Pölten, 2014:** [http://www.st-poelten.gv.at/Content.Node/wirtschaft/aktuelles/news/Fernkaelte\\_Besichtigung.at.php](http://www.st-poelten.gv.at/Content.Node/wirtschaft/aktuelles/news/Fernkaelte_Besichtigung.at.php) (abgerufen am 01.08.2014)

- Mayekawa unimo; 2014:** [http://www.mayekawa.com/products/features/eco\\_cute/](http://www.mayekawa.com/products/features/eco_cute/), letzter Zugriff Oktober 2014
- Mayekawa HeatCOM; 2014:** <http://www.r744.com/assets/link/HeatCOM-supercritical%20heat%20pump.pdf>, letzter Zugriff Oktober 2014
- Minea & Richard, 2011:** Waste heat valorisation in small and medium industries. Hydro-Québec report - phase 2, LTE-2011, April 2011
- Minea, 2013:** Valorisation des rejets thermiques dans les petites et moyennes entreprises, Hydro-Québec (LTE) report – phase 3, 2013
- Moser, Zotter & Rieberer, 2011:** „HyPump“- Hocheffiziente Hybrid-Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung in der Industrie - research proposal for the R&D project HyPump for KliEn – EE 2020 (5th call) processed by the Austrian Funding Agency “FFG” (Project-Nr. 834614) – Institute of Thermal Engineering at Graz University of Technology, Austrian Institute of Technology and Frigopol, Graz 2011 (nicht veröffentlicht)
- Nickl, Will, Quack & Kraus, 2005:** Integration of a three-stage expander into a CO2 refrigeration system. International Journal of Refrigeration 2005;28:1219–24
- Nortvedt, 2005:** Experimental and theoretical study of a compression/absorption heat pump with ammonia/water as working fluid; Doctoral Thesis at Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Refrigeration and Air-Conditioning, Trondheim, 2005
- Ochsner, 2013:** Hochtemperatur-Industriewärmepumpe (Ciepiely T.) im Kolloquium: Großwärmepumpen & Hochtemperatur-Wärmepumpen – Energieeffizienz in ihrer stärksten Form, Frankfurt, am 16.04.2013
- Osenbrück, A., 1895:** Verfahren zur Kälteerzeugung bei Absorptionsmaschinen, in Kaiserliches Patentamt. 1895: Germany
- Ozaki, Takeuchi & Hirata, 2004:** Regeneration of expansion energy by ejector in CO2 cycle. Proceedings of the 6th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, Glasgow, United Kingdom
- Pehnt, Bödeker, Arens, Jochem & Idrissova, 2010:** Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung; Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative “FKZ 03KSW016A und B; [https://www.ifeu.de/energie/pdf/Nutzung\\_industrieller\\_Abwaerme.pdf](https://www.ifeu.de/energie/pdf/Nutzung_industrieller_Abwaerme.pdf) (am 02.04.2014)
- Pink, 2013:** [www.pink.co.at/](http://www.pink.co.at/) (02.10.2013)
- Pink, 2014:** Homepage der Fa. Pink GmbH, <http://www.pink.co.at/> (04.04.2014)
- Pohlmann, 2010:** Taschenbuch der Kältetechnik - Grundlagen, Anwendungen, Arbeitstabellen und Vorschriften; 20. überarbeitete und erweiterte Auflage, VDE Verlag, Berlin Offenbach, 2010, ISBN 978-3-8007-3393-4

- Presetschnik & Huber, 2005:** Analysis of a Ground Coupled Heat Pump Heating and Cooling System for a Multi Storey Office Building; 8th IEA Heat Pump Conference 2005, Las Vegas, USA, 2005
- Rechberger, 2012:** Wärmerückgewinnung mittels Rauchgaskondensationsanlagen bei biomassebefeuerten Heizkraftwerken; Diplomarbeit am Institut für Wärmetechnik der TU Graz
- Rieberer, Moser & Halozan, 2009.** *Wärmepumpentechnik - Skriptum zur Vorlesung 307.052.* Graz : IWT, 2009.
- Rieberer, Zotter, Moser, Malenkovic, 2011a:** IEA HPP, IETS Annex 13 / 35 - Application of Industrial Heat Pumps, Austrian Team Report: Task 1 – Part 1
- Rieberer, Zotter, Moser, Malenkovic, 2011b:** IEA HPP, IETS Annex 13 / 35 - Application of Industrial Heat Pumps, Austrian Team Report: Task 1 – Part 2
- Rieberer, Kottenko, Moser, Zotter, 2011:** Realisierungspotential von Absorptionswärmepumpen mit ionischen Flüssigkeiten; Endbericht zum Forschungsprojekt "IonA" (FFG-Nr.: 825477) im Zuge der Ausschreibung „Neue Energien 2020“; Institut für Wärmetechnik der TU Graz, Hrsg. Klima- und Energiefonds, erstellt Graz, 2011
- Rieberer, Zotter & Hannl, 2014:** Wärmepumpen für den industriellen Einsatz; Beitrag zum Science Brunch über die Projekte HyPump: (FFG-Nr.: 834614) und IEA HPP Annex 35 (FFG-Nr.: 824966 & 839570) des Institutes für Wärmetechnik der TU Graz, Graz, am 14.10.2014
- Sattler, 2001:** Thermische Verfahrenstechnik; 3. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2001, ISBN 3-527-30243-3
- Schweighofer, 2013:** <http://www.schweighofer-fibre.at/de/> (02.10.2013)
- Seichter, Fleckl & Reichl, 2013** "Development of a wind tunnel to investigate heat and mass transfer to heat exchangers"; Vortrag: Gemeinsame Jahrestagung der Österreichischen und Schweizer Physikalischen Gesellschaft, Linz; 03.09.2013 - 06.09.2013
- Seidel, 2013:** <http://www.seidel.at> (02.10.2013)
- Sironi, 2009:** Wärmepumpen für Industrie und Gewerbe. [Hrsg.] Ch. Strobel. IKZ-Fachplaner. 2009, Heft April.
- Slawitsch, Brunner, Giannakopoulou, Trinkhaus & Reif, 2007:** Solare Prozesswärme: Einsatzbereiche und Herausforderungen für die Solarindustrie, IEA SHC Task 33 Solarwärme für die Industrie, Tagungsunterlagen, AEE – Institut für Nachhaltige Technologien
- Solarwärme, 2011:** Sun and Energy, Process heat; <http://www.solarwaerme.at/Sonne-und-Energie/Prozesswaerme/>; (29.03.2011)
- Sattelmayer, 2014:** Skripten zu Thermodynamik I, Lehrstuhl für Thermodynamik, TU München, [http://www.td.mw.tum.de/tum-td/de/lehre/thermo\\_1/download/D-folien/Kapitel%208.pdf](http://www.td.mw.tum.de/tum-td/de/lehre/thermo_1/download/D-folien/Kapitel%208.pdf), letzter Zugriff Oktober 2014

- Statistics Austria, 2007:** Energy balances for Austria - 1970-2007, Statistics Austria - Federal Institution under Public Law, Vienna 2008,
- Statistics Austria, 2010a:** Energy balances for Austria - 1970-2009, Statistics Austria - Federal Institution under Public Law, Vienna 2010, [http://www.statistik.at/web\\_en/static/energy\\_balances\\_1970\\_to\\_2009\\_detailed\\_information\\_029791.xls](http://www.statistik.at/web_en/static/energy_balances_1970_to_2009_detailed_information_029791.xls) (abgerufen am 04.03.2011)
- Statistics Austria, 2010b:** AUSTRIA-Data-Figures-Facts 10/11, 6th edition, Statistics Austria - Federal Institution under Public Law, Vienna 2010, ISBN 978-3- 902703-66-8
- Stephan, Schaber, Stephan & Mayinger, 2010:** Thermodynamik – Band 2: Mehrstoffsysteme und chemische Reaktionen; 14. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, e-ISBN 978-3-540-36855-7
- Strabag, 2014:** [http://www.strabag.com/databases/internet/\\_public/content.nsf/web/DE-STRABAG.COM-konzerngebaeude.html](http://www.strabag.com/databases/internet/_public/content.nsf/web/DE-STRABAG.COM-konzerngebaeude.html), letzter Zugriff Oktober 2014
- Thermeco2, 2014:** <http://www.thermeco2.com/de/produkte>, letzter Zugriff Oktober 2014
- TOP-Energy, 2012:** Homepage von TOP-Energy - <http://www.top-energy.de/de.html>, letzter Zugriff im Oktober 2014
- Vannoni, Battisti & Drigo, 2007:** Potential for Solar Heat in Industrial Processes. IEA-SHC Task 33/IV; Published by CIEMAT, Madrid 2008 © 2008 Solar Heating and Cooling Executive Committee of the International Energy Agency (IEA)
- Vehovec, Zotter, Rieberer, Mauthner & Brunner, 2013:** Industrielle Forschung für PROMISE DEMO (Produzieren mit Solarer Energie – Demonstrationsprojekt), Assmann Ladenbau, Institut für Wärmetechnik der TU Graz, AEE Intec; Hrsg: Der Klima- und Energiefonds der Bundesregierung (FFG-Nr.: 825537), Vienna, 2013
- Vienna GIS:** <https://www.wien.gv.at/stadtplan/>, letzter Zugriff Oktober 2014
- welt-blick.de, 2014:** Homepage (<http://www.welt-blick.de/flaggen.html>, abgerufen am 23.07.2014)
- Weiss, 2005:** Solarwärme für industrielle Prozesse, energytech.at AUSTRA [http://www.noest.or.at/intern/dokumente/193\\_Endbericht\\_Styrian\\_Promise.pdf](http://www.noest.or.at/intern/dokumente/193_Endbericht_Styrian_Promise.pdf) (28.03.2011)
- WKÖ, 2012:** Nutzbare Kälte –in Die Wirtschaft - Die Zeitung der Wirtschaftskammer Vorarlberg (Nr. 16 – 20.04.2012) [http://mag3.i-magazine.de/magPage/Die\\_Wirtschaft\\_Nr\\_\\_16\\_am\\_20\\_\\_April\\_2012/Nutzbare\\_Kaelte\\_20/#/0](http://mag3.i-magazine.de/magPage/Die_Wirtschaft_Nr__16_am_20__April_2012/Nutzbare_Kaelte_20/#/0) (zuletzt abgerufen am 02.10.2013)
- Wohl & Fahl, 2012:** Potenziale für den Einsatz von Hochtemperaturwärmepumpen in der Industrie in Deutschland - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Seminarvortrag, 22.06.2012

- Zotter & Rieberer, 2010:** Application of Industrial Heat Pumps – Planned Activities; Institute of Thermal Engineering, IEA Industrial Heat Pump Kick-off Meeting, 2009-04-07, IEA Annex Industrial Heat Pumps
- Zotter & Rieberer, 2013a:** Technische, ökologische und ökonomische Analyse des Einsatzes einer Wärmepumpe zur Nutzung von industrieller Abwärme in einem metallverarbeitenden Betrieb, im Deutsche Kälte-Klima-Tagungsband (2013), Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein (2013), Proceeding-Paper, S.1-19
- Zotter & Rieberer, 2014a:** Steigerung der Energieeffizienz in Österreichs Industrie durch innerbetriebliche Abwärmenutzung mittels Wärmepumpensystemen anhand zweier Beispiele; Proceeding-Paper zum 13. Symposium Energieinnovationen; 12.-14.02.2014, Graz/Austria
- Zotter, 2014:** Prozessoptimierung – Industrielle Abwärmenutzung, Unterlagen zur Vorlesung an der FH Technikum Wien, WS 2014, Wien 2014
- Zotter & Rieberer, 2014b:** Innerbetriebliche Nutzung von Abwärme mittels Wärmepumpen. - in: KI - Kälte, Luft, Klimatechnik (2014) 05, S. 24 - 27

## 6.2 Abkürzungsverzeichnis

### NOMENCLATURE

Parameter/Größe		Abkürzungen	
f	spezifischer Lösungsumlauf	ABS	Absorber
COP	Coefficient of Performance	AKM	Absorptionskältemaschine
EER	Energy Efficiency Ratio	AWP	Absorptionswärmepumpe
h	Spezifische Enthalpie	CON	Condenser
m	Massenstrom	EVA	Evaporator
p	Druck	GEN	Generator
P	(Elektrische) Leistung	HT	Hochtemperatur
Q	Thermische Leistung	KWP	Kompressionswärmepumpe
s	Spezifische Entropie	TWP	Thermisch angetriebene Wärmepumpe
SPF	Seasonal Performance Factor	WP	Wärmepumpe bzw. Wärmepumpprozess
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio		
T, t	Temperatur	<b>Indizes</b>	
V	Volumenstrom	0	Kälte
		A	Antrieb / Absorption
		el.	Elektrisch
		H	Heiß/Heizen
		high	Hochdruckniveau
		low	Niederdruckniveau
		rev.	Verlustfrei (reversibel)
		th.	Thermisch
<b>Griechische Symbole</b>			
$\Delta$	Difference		
$\eta$	Effizienz		
$\rho$	Dichte		
$\nu$	Gütegrad		

## 6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Teilnehmer beim IEA HPP Annex 35 .....	18
Tabelle 2: Anzahl der ausgefüllten und retournierten Fragebögen (Teil 1 &2) nach Branchen .....	25
Tabelle 3: Kriterien mit hohem Stellenwert bei der Entscheidung für bzw. gegen eine industrielle Wärmepumpe .....	26
Tabelle 4: Überblick von verschiedenen thermischen Produktionsprozessen mit typischen Prozesswärmemetemperaturlevels für unterschiedliche Produktionsprozesse (Daten gemäß Brunner et al., 2007, Slawitsch et al., 2007, Weiss, 2005 und Solarwärme, 2011).....	28
Tabelle 5: Benötigte Temperaturniveaus für Kühlanwendungen in unterschiedlichen österreichischen Industriebranchen (Daten basieren auf ETA ENERGIEBERATUNG, 2008).....	29
Tabelle 6: Beispiele von industrieller Abwärme mit typischen Temperaturniveaus .....	30
Tabelle 7: Spezifikation der Advansor compHEAT Baureihe. (Advansor, 2014).....	70
Tabelle 8: Spezifikation der Mayekawa HeatCOM Wärmepumpe – Einsatzgrenzen (Mayekawa HeatCOM; 2014) .....	72
Tabelle 9: Spezifikation der Mayekawa HeatCOM Wärmepumpe – Wärmesenke 65 °C (Mayekawa HeatCOM; 2014) .....	73
Tabelle 10: Spezifikation der Mayekawa HeatCOM Wärmepumpe – Wärmesenke 90 °C (Mayekawa HeatCOM; 2014).....	73
Tabelle 11: Übersicht möglicher Hochtemperatur-Kältemittel – kein Anspruch auf Vollständigkeit (Wohl & Fahl, 2012) .....	91
Tabelle 12: Übersicht von Industriellen Wärmepumpen österreichischer Hersteller (Daten lt. IDM, 2013; OCHSNER, 2013a & 2014a, HELIOTHERM 2013, COFELY 2013a , Pink 2014) (ohne Gewähr auf Vollständigkeit).....	92
Tabelle 13: Überblick ausgewählter Anlagen in Österreich.....	108
Tabelle 14: Projektdaten – Rauchgaskondensation in der Holzverarbeitenden Industrie.....	109
Tabelle 15: Wärmepumpendaten (IEA HPP Annex 35 ,2014) .....	112
Tabelle 16: Erfahrungen, Einsparungen, Potenziale etc. (IEA HPP Annex 35 ,2014) .....	112
Tabelle 17: Projektdaten zur Wärmepumpe mit Tiefenerdwärmesonde .....	114
Tabelle 18: Projektdaten: Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe in der Kabelfertigung .....	116
Tabelle 19: Projektdaten: Wärmerückgewinnung in der Fleischverarbeitung (Cofely, 2013b) .....	118
Tabelle 20: Wärmepumpenspezifikationen für die Wärmerückgewinnung in der Fleischverarbeitung (Cofely, 2012) .....	119
Tabelle 21: Projektdaten der Add on-Wärmepumpe in der Kunsteishalle in Gmunden (Cofely, 2012).....	120
Tabelle 22: Wärmepumpenspezifikationen Add on-Wärmepumpe (Cofely, 2012).....	121
Tabelle 23: Projektdaten: Kompressionswärmepumpe und Absorptionskältemaschine in der Elektroindustrie – Seidel Elektronik (Klima:aktiv, 2011) .....	122
Tabelle 24: Projektdaten: Kompressionswärmepumpe in einer Brauerei.....	125
Tabelle 25: Projektdaten: Optimierung Kältezentrale und Wärmerückgewinnung für Heizzwecke (Klima:aktiv, 2012b). .....	127
Tabelle 26: Projektdaten: Kompressionswärmepumpe für Wärmerückgewinnung in der Automobilindustrie (Klima:aktiv, 2012c).....	130
Tabelle 27: Projektdaten: Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen eines multifunktionalen Bürogebäudes.....	132

<b>Tabelle 28: Eckdaten Energiebereitstellungssystem .....</b>	<b>136</b>
<b>Tabelle 29: Arbeitszahlen Kältemaschinen und Energiebereitstellungssystem für Gesamtauswertungszeitraum 2004 und 2005 .....</b>	<b>137</b>
<b>Tabelle 30: Überblick ausgewählter Anlagen aus dem Policy Paper .....</b>	<b>140</b>
<b>Tabelle 31: Basisdaten und Ergebnisse der Amortisationsrechnung (Zotter &amp; Rieberer, 2013) .....</b>	<b>144</b>
<b>Tabelle 32: Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Reduktion pro Jahr durch die WP (Zotter &amp; Rieberer, 2013a) .....</b>	<b>145</b>
<b>Tabelle 33: Übersicht internationale Expertentreffen .....</b>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## 6.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prinzips der innerbetrieblichen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen (Zotter & Rieberer, 2010).....	8
Abbildung 2: Anteil der österreichischen Industriesektoren am energetischen Endverbrauch (Datenquelle: Statistik Austria 2010) .....	9
Abbildung 3: Anteil der Endenergieträger in der österreichischen Industrie (vgl. Statistik Austria, 2010b)....	9
Abbildung 4: Anteil der österreichischen Industriesektoren am energetischen Endverbrauch im produzierenden Bereich 2007. (Quelle: Statistik Austria, 2007) .....	11
Abbildung 5: Potenzial zur Wärmebereitstellung für ausgewählte Branchen bis 100 °C in Deutschland (Lambauer et al., 2008) .....	11
Abbildung 6: Aufstellung des Endenergieverbrauches je Endenergieträger der einzelnen österreichischen Industriebranchen (basierend auf Daten von Statistik Austria, 2010b).....	26
Abbildung 7: Aufteilung des industriellen Wärmebedarfs nach Temperaturniveaus (Prozentsatzermittlung erfolgte gemäß Daten von Euroheat & Power, 2006) .....	27
Abbildung 8: CO <sub>2</sub> -Einsparungspotential bei der Wärmeversorgung mit industrieller Wärmepumpe verglichen mit einer konventionellen Gasfeuerung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (SPF) (CO <sub>2</sub> -Emissionen für österr. Strommix von 320 g <sub>CO2</sub> / kWh <sub>el</sub> lt. KPC, 2011) .....	31
Abbildung 9: CO <sub>2</sub> -Einsparungspotential bei der Wärmeversorgung mit industrieller Wärmepumpe verglichen mit einer konventionellen Gasfeuerung in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (SPF) (CO <sub>2</sub> -Emissionen für einen Strommix von 195,16 g <sub>CO2</sub> / kWh <sub>el</sub> lt. E-Control, 2010) .....	31
Abbildung 10: Berechnung einer einstufigen Kompressions-Wärmepumpe in CoolPack .....	40
Abbildung 11: ASPEN-Simulation-Fließbild für eine NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O-Absorptionswärmepumpe .....	41
Abbildung 12: Eingabemaske für Plandaten der Kältemaschinen in TOP-Energy 1.1.9 (TOP-Energy, 2012)..	43
Abbildung 13: TOP-Energy-Eingabemaske für Plandaten der Wärmepumpe (TOP-Energy, 2012) .....	44
Abbildung 14: Elemente des EINSTEIN Auditinstruments ( EINSTEIN, 2013) .....	45
Abbildung 15: Pinch-Regeln und Temperatur (IEA HPP Annex 35, 2014) .....	46
Abbildung 16: Prozess in Pinchlight (IEA HPP Annex 35, 2014).....	47
Abbildung 17: OSMOSE Workflow (IEA HPP Annex 35, 2014) .....	47
Abbildung 18: CERES Arbeitsplattform (IEA HPP Annex 35, 2014) .....	48
Abbildung 19 Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer mechanisch bzw. elektrisch angetriebenen Wärmepumpe (KWP) arbeitend nach dem Wärmepumpprozess zwischen 2 Temperaturniveaus .....	51
Abbildung 20: Wärmepumpprozess zwischen 2 Temperaturniveaus einer reversiblen KWP gemäß Carnot im Temperatur/Entropie (T/s) –Diagramm (vgl. Rieberer et al., 2009) .....	52
Abbildung 21: Reversibler Wärmepumpprozess einer KWP zwischen 2 Temperaturniveaus im T/s – Diagramm für zwei unterschiedliche Anwendungen bei gleichem Temperaturhub Links: für Heizungsanwendung mit T <sub>0</sub> = -10°C, T <sub>H</sub> = 40°C Rechts: für innerbetriebliche Abwärmenutzung mit T <sub>0</sub> = 40°C, T <sub>H</sub> = 90°C (Zotter, 2014).....	53
Abbildung 22: Wärmepumpenvergleichsprozess Links: Linksläufiger Carnot-Prozess und Rechts: Perkins-Evans-Cycle (Rieberer, et al., 2009) .....	55
Abbildung 23: Schema einer einstufigen Kaltdampf-Kompressions-Wärmepumpe.....	57

Abbildung 24: Kreisprozess einer einstufigen Kaltdampf-Kompressions-wärmepumpe im T/s – Diagramm ( $\eta_{is-K} = 0,8$ ; $T_{evap} = 40^{\circ}C$ ; $T_{cond} = 80^{\circ}C$ ) .....	57
Abbildung 25: Verlauf des Realprozesses und des vereinfachten realen Kreisprozesses ohne Druckverluste und ohne thermische Masse des Kompressor einer Kaltdampf-Kompressionswärmepumpe ( $\eta_{is-K} = 0,8$ ; $T_{evap} = 40^{\circ}C$ ; $T_{cond} = 80^{\circ}C$ ) (Zotter, 2014 vgl. mit Pohlmann, 2010) .....	57
Abbildung 26 Anlagenschema einer 1-stufigen, Economizer- und 2-stufigen Kompressions-WP inkl. dazu gehörige Kreisläufe für R134a in T/s – Diagramm (Zotter, 2014) .....	58
Abbildung 27: Fließschema einer Hybrid-Wärmepumpe, der s.g. Osenbrück-Cycle (Nordtvedt, 2005) .....	60
Abbildung 28: Simulationsergebnisse - $COP_H$ & $p_{high}$ vs. $f$ für eine Hybrid-Wärmepumpe (Osenbrück-Cycle) @ $p_{low} = 2 \text{ bar}$ , $t_{source,in} = 40^{\circ}C$ , $t_{sink,out} = 85^{\circ}C$ (Vehovec et al., 2015) .....	60
Abbildung 29: Temperatur des Arbeitsstoffpaars und des a) Wärmesenkenmediums bzw. b) Wärmequellenmediums versus der a) der Heizleistung und b) der Wärmequellenleistung (Nordtvedt, 2005) .....	60
Abbildung 30: Anlagenschaltbild eines mechanischen Brüdenverdichters (Stephan et al., 2010) .....	61
Abbildung 31: Prinzip der Brüdenverdichtung im T, s – Diagramm (basierend auf Stephan et al., 2010) .....	61
Abbildung 32: p,v- und T,s-Diagramm des linksläufigen Joule-Brayton Prozesses (Sattelmayer, 2014) .....	62
Abbildung 33: COP im Kühlbetrieb eines Joule-Brayton Prozesses mit Luft als Kältemittel (Granryd et al., 2005) .....	63
Abbildung 34: Exergieschaubild des transkritischen $CO_2$ - und des unterkritischen R22 bzw. R290-Prozesses für eine Wärmepumpe zur Warmwassererwärmung von $10^{\circ}C$ auf $60^{\circ}C$ (Heyl, 2000) .....	64
Abbildung 35: Kältekreislauf mit internem Wärmeübertrager (a) und das T-s Diagramm des Prozesses (b) .....	65
Abbildung 36: Ausgewählte zwei- und mehrstufige Kältekreisfigurationen. (Heyl, 2000) .....	66
Abbildung 37: Prinzip der Expansions-Kompressionsmaschine in Freikolbenbauweise. (Heyl, 2000) .....	67
Abbildung 38: Darstellung eines Kältekreises mit dem Ejektor .....	67
Abbildung 39: Typischer Kältekreis einer $CO_2$ transkritischen Wärmepumpe .....	68
Abbildung 40: Ansicht der Baureihen HHR (a) und HHS (b) der Thermea thermeco2 Wärmepumpen. (Thermeco2, 2014) .....	69
Abbildung 41: Ansicht der Advansor compHEAT Baureihe. (Advansor, 2014) .....	70
Abbildung 42: Ansicht der Green&Cool Baureihen. (Greeandcool, 2014) .....	71
Abbildung 43: Spezifikation der Mayekawa unimo Wärmepumpe. (Mayekawa unimo; 2014) .....	72
Abbildung 44: Itomic industrial use EcoCute Wärmepumpe. (Itomic, 2014) .....	74
Abbildung 45: Prinzip-Darstellung eines thermisch angetriebenen Wärmepumpprozesses zum Heizen und/oder Kühlen .....	75
Abbildung 46: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse mit industrieller Abwärme angetriebenen Kältemaschine .....	76
Abbildung 47: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer thermisch angetrieben Wärmepumpe um Abwärme für Heizzwecke (rote Ellipse) zu nutzen .....	77
Abbildung 48: links) thermischer Kälteprozess zwischen 3 Temperaturniveaus gemäß Carnot und rechts) thermischer Wärmepumpprozess zwischen 3 Temperaturniveaus gemäß Carnot, im T/S-Diagramm (Zotter, 2014) .....	78
Abbildung 49: Übersicht thermisch angetriebener Wärmepumpprozesse (Rieberer et al., 2009) .....	79

Abbildung 50: Vergleich einer Kompressionswärmepumpe mit einer Absorptionswärmepumpe (Rieberer et al., 2009) .....	80
Abbildung 51: :Schema der Absorptionswärmepumpe und Prozess im Lösungsfeld (NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O) (Cube, 1981) .....	80
Abbildung 52: Schematischer Aufbau der Adsorptionskältemaschine – NAK Adsorption Chiller (GBU, 1995) .....	81
Abbildung 53: Funktion der Adsorptionskältemaschine (GBU, 1995) .....	82
Abbildung 54: Dampfstrahl-Wärmepumpe bzw. –Kältemaschine (Cube, 1981) .....	83
Abbildung 55: Schematische Darstellung eines thermischen (links) und eines mechanischen Brüdenverdichters (rechts) (GEA, 2009) .....	84
Abbildung 56: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer elektrischen angetriebenen Wärmepumpe für den Bi-Generationsbetrieb (rote Ellipsen) .....	85
Abbildung 57: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer thermisch angetriebenen Wärmepumpe für den Bi-Generationsbetrieb (rote Ellipsen) .....	86
Abbildung 58: Verlauf des COP <sub>H,rev.</sub> als Funktion der Nutz- (T <sub>Nutz</sub> ) und der Wärmequellentemperatur (T <sub>Wärmequelle</sub> ) – Markierte Werte des COP <sub>H,rev.</sub> bei gleichem Temperaturhub von 40 K (vgl. mit Vehovec et al., 2012) .....	88
Abbildung 59: Volumetrische Kälteleistung verschiedener Kältemittel (Hoff, 2011) .....	89
Abbildung 60: Perkins/Evans-Prozess und „realer Prozess,, (gestrichelt) im T, s-Diagramm bei konventionellen Anwendungen (rot) und Hochtemperaturanwendungen (blau) (vgl. Rieberer et al., 2009) .....	89
Abbildung 61: Aufbau der Terra Max 130 (IDM, 2013).....	92
Abbildung 62: Hochtemperatur-Wärmepumpe (Ochsner, 2013) .....	93
Abbildung 63: Heliotherm's Wärmepumpe für Industrie und Gewerbe (Heliotherm, 2013) .....	93
Abbildung 64: Industrielle Wärmepumpe (Frigopol, 2013).....	94
Abbildung 65: PinkChiller PC 19 (Pink, 2013).....	94
Abbildung 66: Kaltgaswärmepumpe (ECOP, 2014) .....	95
Abbildung 67: Schematische Darstellung des Absorptions/Kompressions-Wärmepumpenkreislaufs (Moser et al., 2011).....	96
Abbildung 68: Bild des Funktionsmusters der Absorptions/Kompressions-Wärmepumpe am IWT (Rieberer et al., 2014).....	96
Abbildung 69: Aufbau einer Versuchsanlage zur experimentellen Validierung der Kondensationsmodelle in den Klimakammern des AIT (Seichter et al., 2013).....	98
Abbildung 70: Einstufiger NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O AWP-Prozess im Druck / Temperatur Diagramm (Kotenko, 2012).....	99
Abbildung 71: Berechnete COP <sub>C</sub> vom NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O AWP-Prozess bei Kühlwassereintritts- / Austrittstemperaturen von 20/25°C und 25/30°C und Soleeintritts- / Austrittstemperaturen von +2/-1°C .....	100
Abbildung 72: Vergleich der berechneten COP von den AWP-Prozessen mit NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> /[bmim][BF <sub>4</sub> ] und NH <sub>3</sub> /[bmim][PF <sub>6</sub> ] Arbeitsstoffgemischen in Abhängigkeit von der Austreiber-Austrittstemperatur .....	101
Abbildung 73: Versuchsaufbau einer einstufigen Ammoniak-Wärmepumpe (Minea & Richard, 2011; Minea, 2013) .....	102
Abbildung 74: Schema eines Hybrid-Wärmepumpenprozesses (IEA HPP Annex 35, 2014) .....	103

Abbildung 75: Prüfstand für Hochtemperatur-WP bis 150 °C Senktemperatur (IEA HPP Annex 35, 2014)	103
Abbildung 76: Einsatzgrenzen eines R245fa Hubkolbenverdichters (IEA HPP Annex 35, 2014)	104
Abbildung 77: Schema einer CO2 Wärmepumpe zur Luftaufheizung (IEA HPP Annex 35, 2014)	105
Abbildung 78: Prototyp einer Hybridwärmepumpe (IEA HPP Annex 35, 2014)	105
Abbildung 79: Schema eines Thermoakustischen Systems (IEA HPP Annex 35, 2014)	106
Abbildung 80: Die Niederlassung der Schweighofer Fiber GmbH in Hallein (Schweighofer, 2013)	110
Abbildung 81: Prozessschema der Absorptionswärmepumpe im Biomassekraftwerk Hallein (Rechberger, 2012)	110
Abbildung 82: Anlagenschema der Absorptionswärmepumpe im Biomassekraftwerk Hallein (Rechberger, 2012)	111
Abbildung 83: Tiefe Erdwärmesonde Mühlleiten (Foto: RAG, Josef Reiter)	113
Abbildung 84: NH3 Kompressions-wärmepumpe (Foto: AIT, Andreas Zottl)	113
Abbildung 85: Konzept TEWS Mühlleiten (Doppelreiter, 2014)	115
Abbildung 86: Ochsner Wärmepumpe – Gebauer & Griller (Foto: Ochsner, 2009)	117
Abbildung 87: Anlagen Schema – Gebauer & Griller	117
Abbildung 88: Bilder der efef Fleischwarenfabrik in Hohenems (efef, 2013)	118
Abbildung 89: Anlagenprozess-Fließschema der industriellen Wärmepumpe (inkl. der Abwärmequelle) @ efef Hohenems (COFELY, 2012)	119
Abbildung 90: Bild der Kunsteisbahn in Gmunden (Gmunden, 2013)	120
Abbildung 91: Anlagenfließschema der Add on-Wärmepumpe inkl. Kältemaschine der Kunsteisbahn Gmunden (Cofely, 2012)	121
Abbildung 92: Seidel Elektronik in Deutschlandsberg (Seidel, 2013)	122
Abbildung 93: Absorption chiller @ Seidel, Deutschlandsberg (klima:aktiv, 2011)	123
Abbildung 94: Kompressionswärmepumpe @ Seidel, Deutschlandsberg (klima:aktiv, 2011)	123
Abbildung 95: Mohrenbrauerei in Dornbirn (klima:aktiv, 2012)	124
Abbildung 96: Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG in Asten (Klima:aktiv, 2012b)	126
Abbildung 97: Magna Auteca AG in Krottendorf (Klima:aktiv, 2012c)	129
Abbildung 98: STRABAG HOUSE (Strabag, 2014)	131
Abbildung 99: Heizbetrieb (Presetschnik & Huber, 2005)	133
Abbildung 100: Free-Cooling + Heizen (Presetschnik & Huber, 2005)	134
Abbildung 101: Kühlbetrieb (Presetschnik & Huber, 2005)	135
Abbildung 102: Vergleich der Systemarbeitszahlen (Presetschnik et al., 2005)	136
Abbildung 103: FA. Isolena (Quelle: Pink, 2014)	139
Abbildung 104: Fernkälteanlage LKH Mistelbach (Foto: Stefan Sailer; Quelle: Kurier, 2014)	139
Abbildung 105: <i>Prinzipielle Einbindung der Wärmepumpe in den bestehenden Kaltwassersatz (Zotter &amp; Rieberer, 2014)</i>	142
Abbildung 106: Sensitivitätsanalyse - statische Amortisationszeit der Wärmepumpe bei veränderten Annahmen (Zotter & Rieberer, 2013) (Basiswerte: siehe Tabelle 31)	145
Abbildung 107: Bauphase des Heizhauses im "Ökoenergiepark Bergheim" (Empl Bau, 2014)	147
Abbildung 108: Hydraulik- und Messkonzept zum Projekt „Ökoenergiepark Bergheim“ (AIT Eigendarstellung)	148

<b>Abbildung 109: Sankey-Diagramm – Energiekonzept für den „Ökoenergiepark Bergheim“ (Anteile bezogen auf die gesamte zugeführte, bzw. abgeführte Energie), (Hepheistos, 2012) .....</b>	<b>149</b>
<b>Abbildung 110: Luftbild des Standortes (Quelle: ViennaGIS) .....</b>	<b>150</b>
<b>Abbildung 111: Monatliche Aufteilung der Stillstands- und Belegungszeiten (Futurebase, 2012) .....</b>	<b>151</b>
<b>Abbildung 112: Gesamte Jahresdauerlinie der Abwärmeleistung des jeweiligen Verdichters (V010, V020, V030) für 2011 (Futurebase, 2012).....</b>	<b>152</b>
<b>Abbildung 113: Monatliche Energiebilanz am Standort (ohne Berücksichtigung der Temperaturlimitierungen) für 2011 (Futurebase, 2012).....</b>	<b>153</b>
<b>Abbildung 114: Vereinfachtes R&amp;I-Schema der Kälteanlage mit den Möglichkeiten der Abwärmenutzung (rot) (Hartl et al., 2014).....</b>	<b>154</b>
<b>Abbildung 115: Teilnehmer des Info-Tages für Wärmepumpenhersteller .....</b>	<b>156</b>

# 7. Anhang

## 7.1 Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 1 – Part 1



### IEA HPP Annex 35

**Austrian Team Report  
IEA HPP-IETS Annex 13 / 35  
Application of Industrial Heat Pumps**

**Task 1 – Part 1**

Submitted by

**Graz University of Technology  
Institute of Thermal Engineering**

Inffeldgasse 25/B  
8010 Graz, Austria

Authors:

Gerald Zotter  
Harald Moser  
Renè Rieberer (contact: [rene.rieverer@tugraz.at](mailto:rene.rieverer@tugraz.at))

**AIT – Austrian Institute of Technology  
Energy Department**

Giefinggasse 2  
1210 Wien, Austria

Author:

Ivan Malenković (contact: [ivan.malenkovic@ait.ac.at](mailto:ivan.malenkovic@ait.ac.at))

March 2011

---

# IEA HPP-IETS Annex 13 / 35

## Application of Industrial Heat Pumps

### Task 1

#### Overview of the energy situation in Austria Overview of energy use in segments of Austrian industry Overview of the heat demand of Austrian industry

---

### Energy use in Austria in 2009

The energy consumption in Austria has nearly doubled in the last 40 years, both in terms of combined total consumption as well as final consumption, according to Statistics Austria (2010a).

In recent years the use of renewable energy in Austria increased disproportionately due to various measures such as awareness campaigns, a variety of fundings or the creation of legal framework (Statistics Austria 2010c). A very high share of 68% of Austria's electricity supply was covered by renewable energy from hydro, wind, PV, geothermal heat and biomass. Hence, "green" electricity is in the leading position by the use of renewable energy, followed by "green" heat for district heating from biomass and geothermal energy with a share of 36%, the direct use of renewable energy from bio-heat, ambient-, geothermal- and solar-heat for heating applications with a share of 30% and biofuels<sup>1</sup> with a share of 7% of transport fuel. (Statistics Austria 2010c)

Despite a steady increase in the use of renewable energy sources, the bulk of Austrian energy consumption is still covered by fossil fuels such as oil and gas. This fact presents a growing problem especially as far as emissions of greenhouse gases and the security of the Austrian energy supply is concerned, as 70% of these fossil fuels have to be imported from foreign countries. Austria's dependency on foreign energy supplies amounted 64.8% in 2009 (EU average 2007 is 53.1%) and this share is steadily increasing. (Statistics Austria, 2010a)

The final energy balance split in energy carriers in Austria is shown in Table 1 and Figure 1. In 2009, 39% of the overall final energy demand in Austria (1057 PJ) was covered by oil and 17% by gas, as shown in Figure 1 and Table 1 (Statistic Austria, 2010b). Thus, the reduction of this high dependency on these fossil fuels should be focused in Austria. Keeping in mind the CO<sub>2</sub>-emission and that only around 13% of the crude oil demand and 20% of the gas consumption are covered from Austrian sources, this offers a high ecological and economical potential (Statistic Austria, 2010a).

---

<sup>1</sup> biodiesel and bioethanol

Table 1: Austria's final energy balance per energy carriers in 2009 (Statistic Austria, 2010b)

Energy carrier	[PJ]
Oil <sup>2</sup>	423
Gas <sup>3</sup>	175
Coal <sup>4</sup>	22
Electricity	208
District Heat	64
Renewable <sup>5</sup>	166
Total	1057

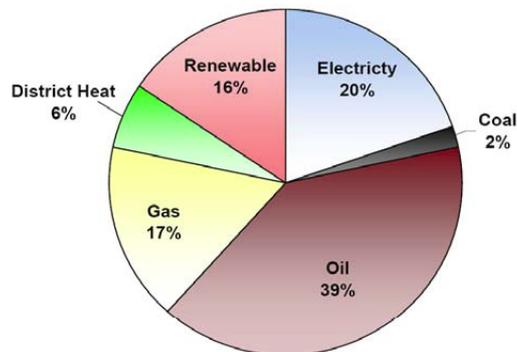


Figure 1: Austria's final energy balance per energy carrier in 2009 in percentage (Data based according to Statistics Austria, 2010b)

The Austria's energy demand can be classified in three main sectors:

- industry,
- transport and
- miscellaneous.

The industry sector includes the entire producing and manufacturing area in Austria. The transport sector is composed of the internal navigation, air-, rail- and road-transport as well as pipeline transport. Miscellaneous contains the aggregated domestic energy demand, including commercial and public services as well as agriculture.

<sup>2</sup> Oil includes: crude oil, refinery feedstock, gasoline, kerosene, fuel oil, other oil products and refinery gas (Statistics Austria, 2010b)

<sup>3</sup> Gas includes natural gas and gasworks gases (Statistics Austria, 2010b)

<sup>4</sup> Coal includes hard coal, lignite, BKB, peat, coke, blast furnace gas and coke oven gas (Statistics Austria, 2010b)

<sup>5</sup> Renewable includes all energy carriers as waste, fuel-wood, bio-fuels, ambient-heat, hydro- and wind-power and PV (Statistics Austria, 2010b)

Table 2 represents the distribution of the final energy use across the different sectors. As shown in Figure 2, the final energy use in Austria is approx. uniformly distributed to the three main sectors. With a share of 29% of Austria's final energy demand, the industry offers the possibility to reduce the whole energy demand and lower the CO<sub>2</sub>-emissions significantly.

Table 2: Distribution of the Austria's final energy use in 2009 across the main sectors (Statistics Austria, 2010b)

Sector	Final energy use [PJ]
Industry	308
Transport	357
Miscellaneous	392
Total	1057

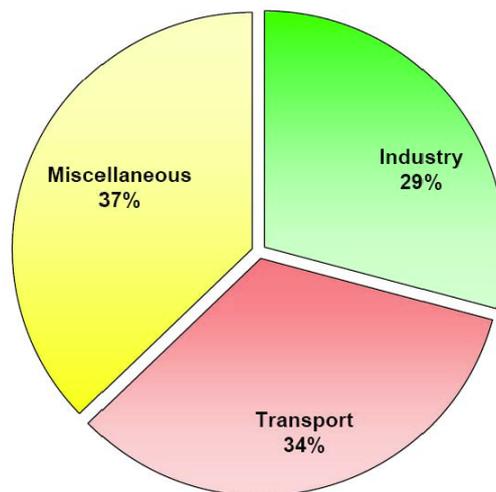


Figure 2: Distribution of the final energy use in Austria in 2009 across the main sectors in percentage (Data based to Statistics Austria, 2010b)

### Energy use in the manufacturing industry

The balance of the different energy carriers in the Austrian industry is shown in Table 3. The most energy intensive industrial sector in Austria is the pulp, paper and print industry, followed by the nonmetallic minerals processing and the iron and steel industry, as shown in Figure 3. Other industrial sectors with a high energy demand are found in the chemical and petrochemical industries. The Austrian manufacturing industry used about 308 PJ of final energy in 2009.

Table 3: Distribution of energy carriers in each industrial sector in Austria 2009 (Data according to Statistics Austria, 2010b – values for final energy consumption)

Austrian Industry Sectors	Electricity	Coal <sup>6</sup>	Oil <sup>7</sup>	Gas <sup>8</sup>	District Heat	Renewable <sup>9</sup>	Total
	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]
Iron and Steel	13,2	8,2	2,2	16,3	0,2	0,6	<b>40,6</b>
Chemical and Petrochemical	13,4	0,5	0,6	14,6	2,1	6,5	<b>37,7</b>
Non-ferrous Metals	3,0	0,2	0,3	4,2	0,1	0,0	<b>7,7</b>
Nonmetallic Minerals	7,4	6,6	3,3	13,3	0,0	10,5	<b>41,1</b>
Transport Equipment	2,7	0,0	0,2	1,4	1,4	0,0	<b>5,7</b>
Machinery	11,5	0,0	1,5	7,4	1,1	0,7	<b>22,1</b>
Mining and Quarrying	2,5	0,0	0,4	1,6	0,0	0,0	<b>4,5</b>
Food Tobacco and Beverages	6,8	0,1	2,3	11,4	1,2	0,5	<b>22,4</b>
Pulp, Paper and Print	16,1	2,6	0,9	22,0	0,7	21,3	<b>63,7</b>
Wood and Wood Products	6,0	0,0	0,2	2,8	2,1	14,8	<b>25,8</b>
Construction Industry	2,5	0,0	16,0	1,7	0,5	1,9	<b>22,6</b>
Textiles and Leather	1,8	0,0	0,3	1,9	0,0	0,0	<b>4,1</b>
Miscellaneous Industries	5,4	0,0	0,4	1,8	0,5	1,5	<b>9,7</b>
<b>Total</b>	<b>92,1</b>	<b>18,2</b>	<b>28,5</b>	<b>100,6</b>	<b>9,9</b>	<b>58,4</b>	<b>307,7</b>

According to Figure 3 and Table 3, gas and electricity are obviously very important energy carriers in the Austrian industry, due to the fact, that both are used in every industrial sector. Particularly, 22 PJ of the pulp, paper and print industry's energy demand is covered only by gas. The share of renewable energy use is very high in some industrial sectors, e.g. 57% in the wood working industry or 33.5% in the pulp paper and print industry, as shown in Figure 3. However, there is still a need to reduce the gas demand in nearly all industrial sectors.

<sup>6</sup> Coal includes hard coal, lignite, BKB, peat, coke, blast furnace gas and coke oven gas (Statistics Austria, 2010b)

<sup>7</sup> Oil includes: crude oil, refinery feedstocks, gasoline, kerosene, fuel oil, other oil products and refinery gas (Statistics Austria, 2010b)

<sup>8</sup> Gas includes natural gas and gasworks gases (Statistics Austria, 2010b)

<sup>9</sup> Renewable includes all energy carriers as waste, fuel-wood, bio-fuels, ambient-heat, hydro- and wind-power and PV (Statistics Austria, 2010b)

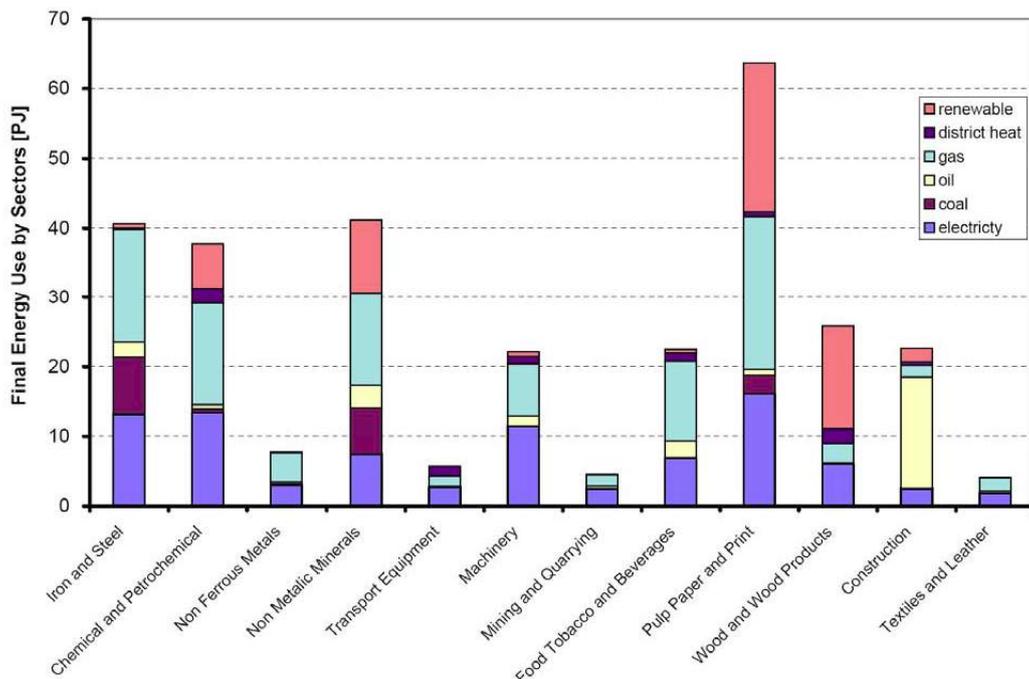


Figure 3: Distribution of energy carriers in each industrial sector in Austria 2009 (Data according to Statistics Austria, 2010b – values for final energy consumption)

As shown in Figure 4, gas is still the most used energy carrier for the Austrian industry and covers 33% of the overall final energy demand, closely followed by electricity with a share of 30%. 48% of the overall final energy consumption in the industry has been covered by gas, oil and coal and only 19% by renewable energy. The problems caused by the extensive use of fossil fuels are the import- and price-dependence from foreign countries as well as CO<sub>2</sub>-emissions, as mentioned before. In order to improve this situation, the application of industrial heat pumps offers the possibility to substitute a part of the fossil energy use by upgrading waste heat to process heat.

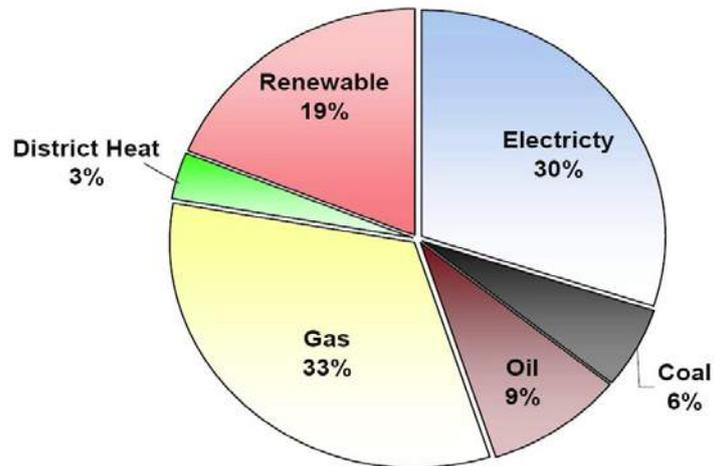


Figure 4: Final energy balance of the different energy carriers in Austrian Industry, 2009 in percentage (Data according to Statistics Austria, 2010b)

### Heat demand of Austrian Industry

In order to determine the heat demand based on the overall final energy consumption of the Austrian industry, a share of 74% has been assumed according to Vanonni et al. (2008). Vanonni et al. (2008) pointed out this share for Austria for the year 2002. Assuming that this share has not changed from 2002 to 2009, the heat demand in the Austrian industry amounts to 228 PJ in 2009, based on the overall final energy consumption in the Austrian industry of 308 PJ according to Statistics Austria, 2010b. Even if this share would be a little bit lower, the heat demand represents the bulk of all energy functions in the Austrian industry.

## References

STATISTICS AUSTRIA, 2010a: AUSTRIA-Data-Figures-Facts 10/11, 6th edition, Statistics Austria - Federal Institution under Public Law, Vienna 2010, ISBN 978-3-902703-66-8

STATISTICS AUSTRIA, 2010b: Energy balances for Austria - 1970-2009, Statistics Austria - Federal Institution under Public Law, Vienna 2010, [http://www.statistik.at/web\\_en/static/energy\\_balances\\_1970\\_to\\_2009\\_detailed\\_information\\_029791.xls](http://www.statistik.at/web_en/static/energy_balances_1970_to_2009_detailed_information_029791.xls) (04.03.2011)

STATISTICS AUSTRIA, 2010c: Energy balances (Homepage text), Statistics Austria - Federal Institution under Public Law, Vienna 2010, [http://www.statistik.at/web\\_en/statistics/energy\\_environment/energy/energy\\_balances/index.html](http://www.statistik.at/web_en/statistics/energy_environment/energy/energy_balances/index.html) (04.03.2011)

Vanonni, C., Battisti, R., Drigo, S., 2008: Potential for Solar Heat in Industrial Processes, IEA Solar Heating and Cooling Executive Committee of the International Energy Agency

## 7.2 Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 1 – Part 2



### IEA HPP Annex 35

#### Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 13 / 35 Application of Industrial Heat Pumps

#### Task 1 - Part2

Submitted by

**Graz University of Technology  
Institute of Thermal Engineering**

Inffeldgasse 25/B  
8010 Graz, Austria

Authors:

Gerald Zotter  
Harald Moser  
Renè Rieberer (contact: [rene.rieberer@tugraz.at](mailto:rene.rieberer@tugraz.at))

**AIT – Austrian Institute of Technology  
Energy Department**

Giefinggasse 2  
1210 Wien, Austria

Author:

Ivan Malenković (contact: [ivan.malenkovic@ait.ac.at](mailto:ivan.malenkovic@ait.ac.at))

April 2011

---

# **Annex 13 / 35**

## **Application of Industrial Heat Pumps**

### **Task 1 / Part2**

**Market overview of industry in Austria**  
**Overview of most significant sectors and unit operations for the potential hp-  
application**  
**Overview of the Austrian industrial heat pump market**  
**Energy prices, Legalization, Barriers**

### **Report Draft**

---

## **Market overview in Austria**

### **Austrian Industry**

Austria is declared as an industrial country, even though the service sector takes the biggest share of the Austrian economic performance. The reason therefore is that it is difficult to make a clear distinction between production and service in Austria. To permit an international comparison this two segments are considered together in the category "Production of goods". According to Austria 2006 (2006) it can be concluded that the industry remains the principal driver of economic activities and development within Austria. (Austria 2006, 2006)

Many small and medium-sized enterprises characterize the Austrian industry landscape. In 2006, approximately 40% of all companies of Austria had less than 10 employees, about 80% had less than 100, and only 1.4% of all companies had more than 1000 employees. (Austria 2006, 2006)

Based on the share of industry in the gross value added, Austria has one of the world's largest industrial sectors in 2003. Following branches have traditionally accounted for the largest share of Austria's production overall, as mechanical engineering and steel work, the motor vehicle trade, the chemical, electrical and electronics industries. Nevertheless, there are new fields in which Austrian companies have also performed well, as material engineering and surface coatings, IT, biotechnology and medical technology, as well as hydraulic engineering and environmental technology, in recent years. (Austria 2006, 2006).

The Austrian industry can be classified according to Federation of Austrian Industries (IV, 2010) in following sectors (Table 1):

Table 1: Sectors of the Austrian Industry [Data according to IV, 2010]

Industrial sectors in Austria
Foundry Industry
Non-ferrous Metal Manufacture
Leather production Industry
Leather processing Industry
Electro and Electronic Industry
Wood-working Industry
Chemical Industry
Automotive Engineering
Food & Drug industry
Petrol Industry
Glass Industry
Nonmetallic minerals and ceramic industry
Paper & board processing industry
Paper manufacturing industry
Apparel Industry
Textile industry
Music and Film Industry
Machinery and Metalwork Industry
Building industry
Mining
Gas- and heat supply companies

### Process temperatures in the Austrian Industry

An estimation of the distribution of the heat demand at different temperature levels for the Austrian industry was made from the available data, Figure 1. For the estimation, the total final energy consumption from the table "Distribution of energy carriers in each industrial sector in Austria 2009" was used with an assumption, that the share of the heat demand is equal for all sectors, since no detailed data were found. For the distribution of the heat demand at different temperature levels over different industrial sectors, figures from Euroheat & Power (2006) from 2003 for EU 27 plus Turkey, Croatia, Iceland, Norway and Switzerland were used. Not all industrial branches from the above mentioned table were considered, since for a number of them no figures were available. However, the industries considered make up about 80% of the total final energy consumption.

Figure 1 shows, that almost half (47%) of the heat energy demand in Austria is at temperatures over 400°C. About a quarter (27%) of the heat demand is at temperatures from 100°C to 400°C and a quarter (26%) at temperatures below 100°C.

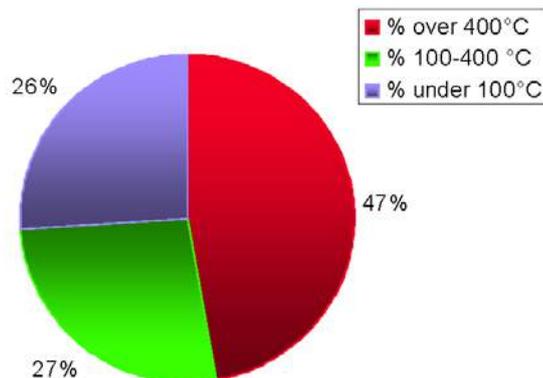


Figure 1: Estimation of the cumulative industrial heat demand by temperature level for selected Austrian industry branches<sup>1</sup> (Data according to Euroheat & Power, 2006)

The application of IHP for industrial waste heat utilization is reasonable up to 100°C or even above depending on the heat pump technology applied. This means, that the theoretical potential for the application of IHPs is about 30-40% of the overall heat demand in the industry according to the required temperature levels, including industries not considered in Figure 1.

In order to determine the realizable potential for the application of IHPs, it should be mentioned, that each industrial sector and each production process itself have to be regarded in detail. The operating range of thermal solar heating plants is similar to the temperature levels for the application of Industrial Heat Pumps. Various reports about the solar heating application in the industry are available in literature and have been collected to get necessary information about the process temperatures of the most significant processes in each industrial sector, which are listed in Table 2. As one can see in Table 2, there exist several different processes in the Austrian industry, which are theoretically suitable to cover their head demand by the application of IHPs.

---

<sup>1</sup> The following industry branches were not considered compared to the Table "Distribution of energy carriers in each industrial sector in Austria 2009": Wood and wood products, construction industry, textiles and leather and miscellaneous.

Table 2: Industry sectors and processes including appropriate temperature levels for heating applications (Data according to Brunner et al., 2007, Slawitsch et al., 2007, Weiss, 2005 and Solarwärme, 2011)

Sector	Example for temperature levels of thermal processes
Food	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preheating of substances (20-60°C),</li> <li>• Pasteurizing/Sterilization (70-120°C)</li> <li>• Boiling (100-240°C)</li> <li>• Distillation (40-100°C)</li> <li>• Drying (40-250°C)</li> <li>• Vaporizing (40-170°C)</li> <li>• Washing(30-60°C)</li> <li>• Substance concentration (60-70°C)</li> <li>• Baking (160-260°C)</li> <li>• Cleaning the facility (30-70°C)</li> <li>• Space heating of the production hall (20°C)</li> <li>• Cooling (-18-20°C)</li> </ul>
Metal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Galvanic (20-100°C)</li> <li>• Washing (30-60°C)</li> <li>• Trying ( 60-90°C)</li> <li>• Cleaning the facility (30-70°C)</li> <li>• Space heating of the production hall (20°C)</li> </ul>
Paper and board	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preheating of substances (40-80°C)</li> <li>• Boiling (160°C)</li> <li>• Trying (110-240°C)</li> <li>• Cleaning the facility (30-10°C)</li> <li>• Space heating of the production hall (20°C)</li> </ul>
Textile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coloring (40-130°C)</li> <li>• Laundering (40-100°C)</li> <li>• Bleaching (60-100°C)</li> <li>• Cleaning the facility (30-70°C)</li> <li>• Space heating of the production hall (20°C)</li> </ul>
Chemistry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preheating of substances (~60°C)</li> <li>• Boiling (95-105°C)</li> <li>• Distillation (110-300°C)</li> <li>• Thermoforming (130-160°C)</li> <li>• Substance concentration (125-130°C)</li> <li>• Cleaning the facility (30-70°C)</li> <li>• Space heating of the production hall (20°C)</li> <li>• Cooling (5-15°C)</li> </ul>
Wood	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trying (50-80°C)</li> <li>• Squeezing (120-180°C)</li> <li>• Staining (50-80°C)</li> </ul>

Table 3 contains the results of a review about the required temperature levels for cooling demand in the Austrian industry in the different sectors. Particularly the sectors food and chemistry require wide temperature ranges for their cooling demand, down to -50°C. A high cooling demand signifies a theoretically high potential for waste heat utilization according to the temporary simultaneity with the heat demand.

Table 3 required temperature levels for the cooling demand according to Austrian Industry sectors (Data according to ETA ENERGIEBERATUNG, 2008)

Sector	Temperature levels for cooling applications
Food	-50 – 6°C
Plastics	6°C
Metal	6°C
Chemistry	-50 – 6°C
Brewery	-10°C
Dairy	-10 – 0°C
Store	-30 – 6°C

### Overview of the Austrian industrial heat pump market

In order to give an overview of the Austrian industrial heat pump<sup>2</sup> market a simple online-search was performed. In the course of the online-search only a few reports of IHP applications were located, which are mostly referenced by Austrian heat pump manufactures themselves. But up to now there are not any figures of already installed industrial heat pump plants in Austria or outsells available.

However, this online-search gives an overview of Austrian IHP suppliers. The Austrian IHP market includes open cycle heat pump technologies (MVR) as well as closed heat pump technologies (compression heat pumps and sorption heat pumps). Several Austrian heat pump manufactures produce compression heat pumps for industrial applications even in series. These heat pumps are nowadays assembled for the cooling and heating in residential allotments, industrial premises, hotels, office buildings and recreational facilities and for the utilization of industrial waste heat. These heat pumps has the capability to achieve heat sink temperatures up to 65°C and are designed for heating capacity up to 700 kW, most of them using R134a as refrigerant.

---

<sup>2</sup> Industrial heat pumps within this annex are thus defined as heat pumps in the medium and high power ranges which can be used not only for heat recovery in industrial processes, but also for heating, cooling and air-conditioning in residential, commercial and industrial buildings. The power range for the refrigerating capacity of industrial heat pumps settles between 50 and 150 kW for medium power systems and between 150kW to several MW for high power systems. These heat pumps are operating with a temperature range to 100°C and more.

Generally, it can be concluded that, the utilisation rate of IHP applications in Austria is still low. However, the Austrian industry features a relative high theoretical potential of IHP application and according to IZW (2009) the market of industrial heat pumps is rapidly growing in Austria. Especially in the field of large plants the demand rises sharply.

## Energy prices

A rise of the energy prices is not limited to certain regions. It is worldwide observable and goes along with the demand of energy. The energy demand of Austria shows an increasing trend over the past decades. Together with the energy demand, the prices for the conventional energy carriers show a generally increasing trend. Table 4 shows the energy prices for the most common conventional energy carriers for the Austrian industry. The prices shown include VAT. Due to the trend of the energy prices of the conventional energy sources, it can be assumed that the usage of heat pumps gets more interesting and profitable.

Table 4: Energy prices for the Austrian industry from 2003 to 2009 (Data according to Austrian Energy Agency, 2010 for natural gas (\*) and Statistics Austria, 2011 for other energy carriers)

Final consumer prices for industry (incl. taxes)						
Year	Black coal [€/MWh]	Natural gas * [€/MWh]	Heavy fuel oil [€/MWh]	Gas oil [€/MWh]	Diesel [€/MWh]	Electricity [€/MWh]
2003	9,25	20,94	19,87	28,31	58,05	--
2004	16,45	20,52	21,40	32,17	61,11	92,52
2005	17,16	22,11	28,49	39,05	66,20	81,90
2006	17,24	29,53	33,41	44,99	72,31	87,00
2007	17,69	30,87	34,67	47,31	73,33	98,00
2008	20,36	--	45,98	43,66	78,42	105,43
2009	20,89	--	35,14	31,06	60,98	--

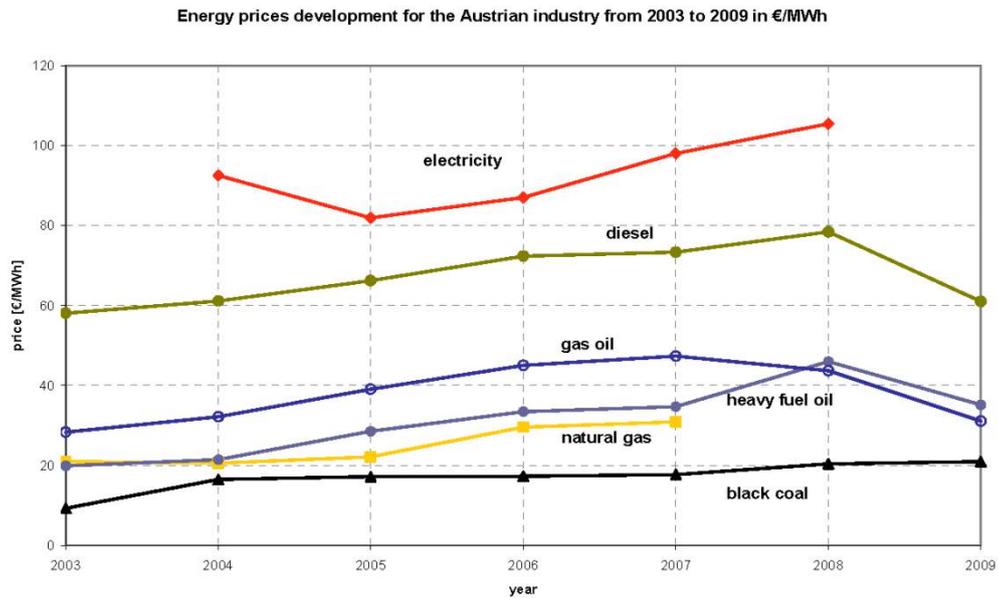


Figure 2: Development of energy prices for the Austrian industry from 2003 to 2009 (Data according to Austrian Energy Agency, 2010 for natural gas (\*) and Statistics Austria, 2011 for other energy carriers)

It can be seen from Figure 6 that, due to the global economic crisis, all energy prices, except for black coal, decreased after 2008. For 2003 and 2009 there are no data for the electricity price. The prices of natural gas for commercial usage for 2008 and 2009 are also missing in the used sources. The prices shown are not inflation-adjusted.

## Legal documents

This chapter gives an overview of national laws, regulations and standards as well as funding guidelines in Austria concerning the application of IHPs.

### - **Fluorinated greenhouse gas regulation 2009**

Prohibitions and restrictions of substances, which account for the decomposition of the ozone layer, shall in Austria be defined in laws and regulations, as well as directly in the valid EU- regulation.

Since a research proved chlorine in chlorofluorocarbons as initiator for the decomposition of the ozone layer, the production and usage of CFCs was prohibited. The date of prohibition was determined different for the intended purpose of the substance. So the date of prohibition for CFCs, including the refrigerant R12, for the purpose in high temperature heat pumps was settled on 01.01.1994 and for the purpose in cooling, heating and climate units on 01.01.1992. Since 2000 also established equipments are not allowed to operate with these substances any more.

Due to the prohibition of CFCs, it came to a come-back of the part-halogenated chlorofluorocarbons (HCFC). Thus the refrigerant R22 was increased used. After miscellaneous accentuations also the HCFCs were added to the restrictions of production. The refrigerant R22 is not allowed to be sold since 01.01.2010. By 31.12.2014 conditioned R22 may be used for attendance of established equipments.

Indeed HCFCs have no potential of decompensate the ozone layer, but a strong greenhouse potential. That is why HCFCs are under observance and why their usage is already limited. Furthermore these refrigerants are also contained in the Kyoto-protocol and accounted in the attainment of the Kyoto-goals. In the long term a prohibition of HCFCs has to be expected, like it is anticipated with the refrigerant R 134a. R 134a is by 2011 for the purpose in the automobile industry forbidden.

The base of this assumption is the EU-F-gas-regulation ((EG) Nr. 842/2006). This regulation is an Europe-wide task for the limitation of emissions of greenhouse affecting and synthetic substances. The object of the EU-F-gas-regulation is fluorinated gases, which are used as refrigerant in heat pumps or climate control units. Based on this regulation the prohibition of part-halogenated chlorofluorocarbons is expected in a couple of years. This prohibition will also affect the refrigerants R 410a and R 407c. (Döberl, 2003 and Republik Österreich Parlament, 2010)

### - **National and European Standards**

The following standards are relevant in Austria for an application of an industrial heat pump plant:

- **OENORM EN 378-1** (2008-06-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria"

- **OENORM EN 378-2** (2008-06-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation"
- **OENORM EN 378-3** (2008-06-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 3: Installation site and personal protection"
- **OENORM EN 378-4** (2008-06-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 4: Operation, maintenance, repair and recovery"
- **OENORM EN 12263** (1999-01-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Safety switching devices for limiting the pressure - Requirements and tests"
- **OENORM EN 12284** (2004-01-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Valves - Requirements, testing and marking"
- **OENORM EN 12309-1** (1999-10-01) "Gas-fired absorption and adsorption air-conditioning and/or heat pump appliances with a net heat input not exceeding 70 kW - Part 1: Safety"
- **OENORM EN 12309-2** (2000-04-01) "Gas-fired absorption and adsorption air-conditioning and/or heat pump appliances with a net heat input not exceeding 70 kW - Part 2: Rational use of energy"
- **OENORM EN 13313** (2002-06-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Competence of personnel"
- **OENORM EN 14276-1** (2006-11-01) "Pressure equipment for refrigerating systems and heat pumps - Part 1: Vessels - General requirements"
- **OENORM EN 14276-2** (2007-08-01) "Pressure equipment for refrigerating systems and heat pumps - Part 2: Piping - General requirements"
- **OENORM EN 14511-1** (2004-08-01) "Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors - Heating mode - Part 1: Terms, definitions and designations"
- **OENORM EN 15316-4-2** (2005-12-01) "Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump systems"
- **OENORM EN 15450** (2008-01-01) "Heating systems in buildings - Design of heat pump heating systems"
- **OENORM EN 15834** (2008-09-01) "Refrigerating systems and heat pumps - Qualification of tightness of components and joints"
- **OENORM H6021** (2003) "Ventilation equipment – Keeping of cleanness and hygiene"

- **OENORM H6020-2** (2007) "Ventilation equipment in clinics and hospitals – operation, maintenance, technical and hygienic control"
  - **OENORM H6021** (2003) "Ventilation equipment – Keeping of cleanness and hygiene"
  - **OENORM H6020-2** (2007) "Ventilation equipment in clinics and hospitals – operation, maintenance, technical and hygienic control"
  - **OENORM B5019** (2007) "Hygienic design, operation, maintenance, reconstruction and supervision of drinking water equipment"
- **Funding of industrial heat pumps in Austria**  
 National grants for the installation of an IHP can significantly reduce the payback period and consequently take an influence on the decision to invest. The Kommunalkredit Public Consulting (KPC) banking institution manages the national grant system in Austria. According to KPC (2011a) several guidelines cover the grant regulations for IHP applications:
- Heat pumps < 400kW<sub>th</sub> (KPC, 2011b)  
 Specifications: water/brine or water/water heat pump: COP>4  
                   air/water heat pump: COP>3,5  
 Grant ratio:     max. 30% of environmentally relevant investment costs
  - Heat pumps > 400kW<sub>th</sub> (KPC, 2011c)  
 Specifications: water/brine or water/water heat pump: COP>4  
                   air/water heat pump: COP>3,5  
 Grant ratio:     max. 15% of environmentally relevant investment costs
  - Efficient energy use – process-oriented measures (KPC, 2011d):  
 Specifications: industrial waste heat utilisation  
 Grant ratio:     max. 30% of environmentally relevant investment costs

Furthermore it is possible to apply for additional regional grants according to the different federal systems in Austria.

## Barriers

At present no detailed information about market barriers of IHPs in Austria are found. In the course of this Annex more detailed information's about the barriers will be ascertained from the Austrian industry. Therefore, a questionnaire was set up in order to gather and evaluate stake holder opinions, which shall be included within the final Annex report. However, from a preliminary evaluation following barriers possibly play a major role in the Austrian IHP market:

- Despite the national grant regulations for industrial heat pump applications, the economical point of view seems to be one of the most deciding barriers, which can hind the full market success in Austria. Austrian industrial companies claim for very short payback periods. It is estimated that the payback periods should be less than three years.
- Additionally the confidence of the Austria's industrial companies in the IHP-technology is not given up to now regarding to the less experience and knowledge. So it seems to be necessary to promote the IHP-technology to the Austria's industrial companies, e.g. by referencing to best practise cases. Because up to now only a carry limited number of installations are available, it seems to be necessary to refer to foreign demonstration and good practise cases at the beginning.
- From the technical point of view one barrier can be identified regarding to the temperature limits of most commercially available heat pumping units. Many applications are limited to heat sink temperatures below 65°C but as the study of the "Process temperatures in the Austrian Industry" shows, the theoretical potential for the application range of IHP increases significantly by developing energy efficient heat pumps for heat sink temperatures up to 100°C.

To come up to their ecological potential, IHPs have to be commercial attractive on the market. The business success of IHPs depends on the profitability as well as on a flawless performance of the plants, which guarantee the confidence of the customers. The development of heat pump technologies for temperatures up to 100°C offers a greater application field. Also the dissemination of the advantages of IHP applications can promote the commercial success of IHPs.

## References

Austria 2006, 2006: Sectors of the Austrian economy, industry, homepage of the Austria 2006 – presidency of the European Union, <http://www.eu2006.at/de/Austria/Overview/sectors.html> (23.02.2010)

Austrian Energy Agency, 2010: Endverbraucherpreise für die Industrie: Elektrizität, Erdgas, Heizöl. - <http://www.energyagency.at/energien-in-zahlen/energiepreise/endverbraucherpreise/industrie.html> (02.03.2010)

Biermayer, P., Weiss, W., Bergmann, I., Glück, N., Stukelj, S., Fechner, H., 2008: Erneuerbare Energie in Österreich – Marktentwicklung 2008, Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen, Erhebung für die Internationale Energie Agentur (IEA), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Brunner, C., Slawitschek, B., Giannakopoulou, K., Trinkaus, P., Schnitzer, H., Weiss, W., Schröttner, S., Reif, B., 2007: STYRIAN PROMISE (Produzieren mit Solarer Energie) – Initiative zur Nutzung von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien (Solare Prozesswärme) in steirischen Betrieben. Endbericht, Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme - JOINTS

Döberl, R., 2003: Verbote von Stoffen, die zum Abbau der Ozonschicht führen (FCKW, HFCKW, Halogene, Trichlorethan, Tetrachlorkohlenstoff), WKO Wirtschaftskammern Österreich

Eta Energieberatung, 2008: Carmen Fachgespräche „Kälte aus Wärme“. [http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/fg\\_biogas/1\\_06\\_Sch%E4fer.pdf](http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/fg_biogas/1_06_Sch%E4fer.pdf) - (11.02.2010)

Euroheat & Power, 2006: Final Report of the Project ECOHEAT COOL, Work Package 1 - The European Heat Market. [http://www.euroheat.org/Files/Filer/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool\\_WP1\\_Web.pdf](http://www.euroheat.org/Files/Filer/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool_WP1_Web.pdf)

IV (Federation of Austrian Industries), 2010: Fachverbandausschüsse der Bundessparte Industrie. <http://www.voei.at/industrielliste?PHPSESSID=64872190732c14e390656e052481b0a6> (04.03.2011)

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik), 2009: Österreich: Wärmepumpen - <http://www.hp-summit.de/de/presse/laenderberichte/876f609b-3a02-4f72-9a6f-9b79ccb71b15/> (29.03.2011)

KPC , 2011a: Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009; <http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/> (25.03.2011)

KPC, 2011b: Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009  
[http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr\\_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen\\_bis\\_400kw\\_thermisch/\(25.03.2011\)](http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen_bis_400kw_thermisch/(25.03.2011))

KPC, 2011c: Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009  
[http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr\\_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen\\_ab\\_400kw\\_thermisch/\(25.03.2011\)](http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/energieeffizienz/wrmepumpen_ab_400kw_thermisch/(25.03.2011))

KPC, 2011d: Kommunalkredit Public Consulting GmbH -Umweltförderung im Inland/Förderungsrichtlinien 2009  
[http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr\\_betriebe/energieeffizienz/effiziente\\_energienutzung\\_prozessorientierte\\_manahmen/\(25.03.2011\)](http://www.publicconsulting.at/kpc/de/home/umweltfoerderung/fr_betriebe/energieeffizienz/effiziente_energienutzung_prozessorientierte_manahmen/(25.03.2011))

Republik Österreich Parlament, 2010: Fluorierte Treibhausgase- Gesetz 2009 – Vorblatt und Erläuterungen (222 der Beilagen XXIV.GP).  
[http://www.parlament.gv.at/LI/EW/show.psp?p\\_display\\_i=&x=1&p\\_instanz\\_i=PD&p\\_all\\_s\\_i=alles&p\\_request\\_i=EinfacheSuche&p\\_gp\\_i=XXIV&p\\_search\\_string\\_i=verordnung+hfkw \(12.03.2010\)](http://www.parlament.gv.at/LI/EW/show.psp?p_display_i=&x=1&p_instanz_i=PD&p_all_s_i=alles&p_request_i=EinfacheSuche&p_gp_i=XXIV&p_search_string_i=verordnung+hfkw (12.03.2010))

Slawitsch, B., Brunner, C., Giannakopoulou, K., Trinkhaus, P., Reif, B.: 2007: Solare Prozesswärme: Einsatzbereiche und Herausforderungen für die Solarindustrie, IEA SHC Task 33 Solarwärme für die Industrie, Tagungsunterlagen, AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Statistics Austria, 2011: Jahresdurchschnittspreise und –steuern für die wichtigsten Energieträger;  
[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/preise\\_steuern/index.html; \(28.03.2011\)](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/preise_steuern/index.html; (28.03.2011))

Solarwärme, 2011: Sun and Energy, Process heat; [http://www.solarwaerme.at/Sonne-und-Energie/Prozesswaerme/; \(29.03.2011\)](http://www.solarwaerme.at/Sonne-und-Energie/Prozesswaerme/; (29.03.2011))

Weiss, W., 2005: Solarwärme für industrielle Prozesse, energytech.at AUSTRA[http://www.noest.or.at/intern/dokumente/193\\_Endbericht\\_Styrian\\_Promise.pdf](http://www.noest.or.at/intern/dokumente/193_Endbericht_Styrian_Promise.pdf) (28.03.2011)

## 7.3 Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 2



### Austrian Team Report

### IEA HPP / IETS Annex 35 / 13 Application of Industrial Heat Pumps

### Task 2 - Software

Submitted by

**Graz University of Technology**  
**Institute of Thermal Engineering**  
Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Austria



Authors: **Gerald Zotter**  
**René Rieberer** (contact: [rene.rieberer@tu-graz.at](mailto:rene.rieberer@tu-graz.at))

**AIT – Austrian Institute of Technology**  
**Energy Department**  
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Austria



Authors: **Andreas Zottl**  
**Thomas Fleckl**  
**Ivan Malenkovic**

Mar 31, 2014

## 1 Austria

Within the Task 2 of the IEA HPP-IETS Annex 35/13 different software tools regarding the integration of heat pumps in production processes and their energetic and economical savings have been analysed. Due to the lack of the availability of measurement data the tools are only described theoretically without validation.

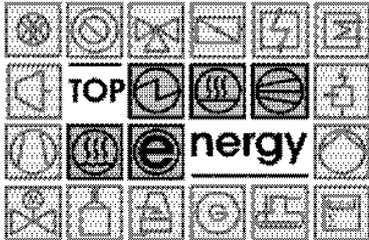
An investigation concerning available programs for the calculation and interpretation of large heat pumps and their integration into complex systems has been carried out, focusing on software solutions that can be used by industrial companies: No time-consuming model development is necessary, technical and economic aspects might be considered, relatively simple data entry, data are easy and inexpensive to collect, etc. Since the financing of the national project does not provide costs for the purchase of software licenses, the search was limited to free software. An attempt was made to obtain demo versions of the software to analyze the applicability. From this analysis a qualitative evaluation of the available software can be carried out to prove if the tools can be used for research and as well for industry. The analysis will include, among others, the following:

- For what purposes is the software suitable?
- Which heat pump technologies can be simulated?
- How flexible is the software in terms of system design?
- Is the software suitable rather for research or for planning and calculation of real systems?

Based on the experience gained, the need for the development of new or the adaptation of existing tools and models have been evaluated. In this regard also the simulation tools EES, ASPEN Plus and CoolPack have been analysed concerning the ability for proving suitable system integrations. EES (2010), ASPEN Plus (2009) and CoolPack (2014) are tools for a theoretical analysis of different heat pump cycles by means of thermodynamics, but they are not the optimum tools for the analysis of the integration of heat pumps in complex systems, as e.g. production processes by the end users or planners concerning ecological and economical criteria.

As part of this project two software tools "TOP-Energy" (2013) & "EINSTEIN" (2013) for the analysis and optimization of energy systems including the possibility of integrating heat pumps have been traced and described in more detail.

### 1.1 TOP Energy



The "TOP energy" (2013) software was developed by the Department of Technical Thermodynamics - RWTH Aachen University to support the analysis and optimization of energy systems. The software consists of several modules, which are attached to a common framework. The framework provides basic functionalities, such as Open / Save Project / Export, while the modules satisfy a specific engineering task. Currently the modules eNtry for initial analysis, eSim for the simulation of Energy systems and eVariant for the comparison of different variants exist.

The TOP energy framework is a software tool, which specifies a specific application structure to carry out projects for the analysis and optimization of power engineering problems in industry. The execution of tasks is supported by implemented application modules that are controlled and monitored by the framework.

The energy oriented analyses are performed by eNtry - initial analysis and use specific questionnaires for data collection. The module checks the entered data for plausibility, calculates a number of operational energy figures and compares them with typical industry values. The results of the evaluation are presented clearly in diagrams and tables and can be exported to a report.

The optimization of energy use in the industry is determined by the simulation module eSim and the flow diagram editor, while energetic as well as economic and ecological characteristics are worked out. A comparative economic analysis for energy applications is realized with the module eValueate - variant comparison.

Two types of heat pump models are available:

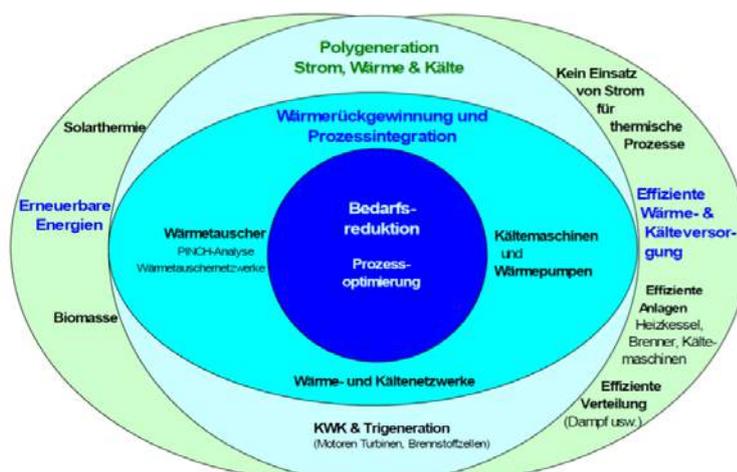
- A compression heat pump is given as a component template. It is used in TOP energy as model description of a heat pump process, which is driven mechanically respectively electrically. Apart from the technical input data it is also possible to use economic data which indicate the capital-bound or the operational costs of the components. This information is used to compare the efficiency of energy system variants with the TOP Energy eValueate Module.
- The Model of an absorption chiller describes the thermal behaviour of a thermally driven heat pump. Electric auxiliary drives, for example for the solvent pump between drain and desorber are not modelled and are not included in the calculations. User input concerning capacity is required, which includes the nominal cooling capacity, power consumption (thermal) and electricity. Furthermore temperature levels can be specified for cooling, re-cooling and the thermal input. The dependencies between the temperature levels and the behaviour of the chillers are not yet implemented in this component. With an input file the characteristic of a part load behaviour for the absorption chiller can be specified, in the simplest case, there is a linear curve from 0 to 100 % of the rated power.

## 1.2 EINSTEIN



EINSTEIN (Expert System for an Intelligent Supply of Thermal Energy in Industry and other large-scale applications, 2013) is a tool-kit for fast and high quality thermal energy audits in industry, composed by an audit guide describing the thermal energy audit methodology and by a software tool that guides the auditor through all the audit steps.

The free, open-source software tool EINSTEIN enables the development of strategies to reduce energy consumption and operating costs in the company. In contrast to standard measures for reducing the electrical consumption in industry such as by pumps, motors, lighting achieving good results, the optimization of the thermal energy requirements is technically quite complex (Schweiger et al., 2011). The “eye of EINSTEIN” (see takes into account heat recovery, process integration and a smart combination of economic heating and cooling supply technologies.



**Figure 1: "The eye of EINSTEIN" – holistic approach for audits of the thermal energy supply of processes (Schweiger et al., 2011)**

The software results from the Intelligent Energy Europe (IEE ) project EINSTEIN with the collaboration partners: Joanneum Research (Austria), Sapienza University of Rome (Italy) and energyXperts.NET (Spain) in the framework of the IEA (International Energy Agency) - Solar Heating and Cooling and SolarPACES Programs, task 33 (Brunner et al., 2010)

EINSTEIN is a method of introducing a holistic and integrated approach to thermal energy audits for both, industrial applications as well as hospitals, office buildings and sports halls. Einstein calculates the thermal energy demand, rates savings by heat exchange using pinch analysis, points out technical alternatives for the integration of energy efficient and renewable energy systems and evaluates them. The user is guided through the entire audit process, from data collection through to the development of alternative technological solutions. The tool is aimed in particular sectors with a high proportion of low and medium temperature levels of heat, such as the food or the paper industry.



**Figure 2: Elements of EINSTEIN's audit instruments (EINSTEIN, 2013)**

The software tool shows concrete results for energy and economic savings that can be achieved through a restructured or optimized heat supply system. The alternatives include all major energy- efficiency technologies (e.g. heat recovery, cogeneration, heat pumps, solar thermal and biomass).

### 1.3 Literature

**Aspen Plus, 2009:** "Aspen Plus v 7.0", Aspen Technology, Inc., Cambridge, Massachusetts

**Brunner, C., Muster-Slawitsch, B., Heigl, E., Schweiger, H., Vannoni, C., 2010:** „EINSTEIN – EXPERT SYSTEM FOR AN INTELLIGENT SUPPLY OF THERMAL ENERGY IN INDUSTRY - AUDIT METHODOLOGY AND SOFTWARE TOOL“ - Proceedings Eurosun, October 2010

**CoolPack, 2013:** „CoolPack software- a collection of simulation tools for refrigeration: "Refrigeration Utilities", "EESCoolTools" and "Dynamic"“ - Department of Mechanical Engineering (MEK), Section of Energy Engineering (ET) at the Technical University of Denmark (DTU), [www.et.dtu.dk/CoolPack](http://www.et.dtu.dk/CoolPack)

**EES, 2010:** "Engineering Equation Solver", © 1992-2010 S.A. Klein and F.L. Alvarado, Academic Professional, V8.659-3D (09/1/10), F-Chart Software, Madison, Wisconsin

**EINSTEIN, 2013:** Technical Description EINSTEIN, [https://www.einstein-energy.net/media/static\\_pages/4%20EINSTEIN%20Documentation/EINSTEIN%20Documentation.html](https://www.einstein-energy.net/media/static_pages/4%20EINSTEIN%20Documentation/EINSTEIN%20Documentation.html) (07.11.2013)

**Schweiger, H., Vannoni, C., Brunner, C., Muster-Slawitsch, B., Kulterer, K., Bertrand, A., Minette, F., Danov, S., Facci, E., Kranjc, D., Bouquet, T., Craenen, S., 2010:** „Leitfaden für EINSTEIN Audits für thermische Energie“ - Intelligent Energy Europe (Project: EINSTEIN, EIE/07/210/SI2.466708) and klima:aktiv programm: „energieeffiziente Betriebe“, der Klimaschutzinitiative des Lebensministeriums, Version: 2.0, Letzte Überarbeitung: 03/02/2011 <http://www.aee-intec.at/Uploads/dateien937.pdf> (18.03.2014)

## 7.4 Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 3



### Austrian Team Report

### IEA HPP / IETS Annex 35 / 13 Application of Industrial Heat Pumps

### Task 3 - Technology

Submitted by

**Graz University of Technology  
Institute of Thermal Engineering**  
Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Austria



Authors: **Gerald Zotter**  
**René Rieberer** (contact: [rene.rieberer@tugraz.at](mailto:rene.rieberer@tugraz.at))

**AIT – Austrian Institute of Technology  
Energy Department**  
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Austria



Authors: **Andreas Zottl**  
**Thomas Fleckl**

Mar 18<sup>th</sup>, 2014

## 1 Austria

Despite a small number of already existing applications of heat pumps in the Austrian industry, the relevance of this topic is growing in Austria. Beside the fact that several national manufacturers already offer industrial heat pumps (see chapter 1.1), there is just a focus on high-temperature heat pumps suitable for industrial applications by the Austrian R&D heat pump community (see chapter 1.2)

### 1.1 Industrial heat pumping systems available in Austria

This chapter describes the current state of the art of available industrial heat pumps by Austrian manufacturers based on a screening of the Austrian heat pump market. According to this screening, customized as well as standardized compression heat pumps with heating capacities from 50 up to 1000 kW are offered by several Austrian heat pump manufacturers for waste heat recover and the use in commercial buildings. These heat pumps are usually designed for supplying temperature levels up to 60 °C and some of them up to 98 °C at a low heat sink temperature difference (10 K). Furthermore, absorption chillers are offered by an Austrian manufacturer, which allows the utilization of waste heat for industrial refrigeration purposes. Table 1 gives an exemplary overview of Austrian industrial heat pump manufacturer.

**Table 1: Overview of Austrian industrial heat pump manufacturers (Status: Nov 2013) (without guarantee for completeness)**

Manufacturer	Type	Capacity	Refrigerant	max. heat sink temp.
<b>IDM-Energiesysteme GmbH</b>	Compression	50 – 500 kW	R134a	65 °C
<b>OCHSNER Wärmepumpen GmbH</b>	Compression	100 - 300 kW	„Öko1“	< 98 °C
<b>HELIO THERM Wärmepumpen GmbH</b>	Compression	49 – 134 kW	R134a	60 °C
<b>FRIGOPOL Energieanlagen GmbH</b>	Compression	Up to 1MW	R717, R723, R236fa etc.	> 70 °C
<b>COFELY Kältetechnik GmbH</b>	Compression	100 - 700 kW	R134a, R717, etc.	< 80°C
<b>PINK GmbH</b>	Absorption	20 kW (cooling capacity)	NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	Cooling applications

**IDM Energy Systems GmbH** offers their so called **TERRA Max** (see Figure 1), which is a compression heat pump working with two or three scroll compressors and R407C or R134a as refrigerant with a capacity range from 50 to 650 kW. This heat pump type is available for heat sink temperatures below 65 °C. (IDM, 2013)

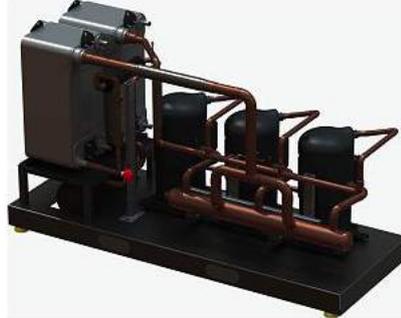


Figure 1: Basic construction of the Terra Max 130 (IDM, 2013)

The company **COFELY Kältetechnik GmbH** delivers compression chillers and heat pumps for households and the industry. COFELY offers the possibility to recover the waste heat from their chillers, directly or upgraded by closed or add on-HPs (R134a, R717 etc.). For upgrading waste heat Cofely has a standardized R134 closed compression HP with a capacity of 150 to 700 kW for heat sink temperature up to 65 °C and heat source temperature up to 35 °C for industrial application in their portfolio, using a semi hermetically reciprocating compressor or a screw compressor for a heating capacity up to 1 MW. Furthermore, Cofely also offers R717 compression HPs for industrial application for simultaneous heating and cooling with reciprocating compressors for a heating capacity from 50 to 750 kW and screw compressors up to about 1 MW. (Cofely, 2013)

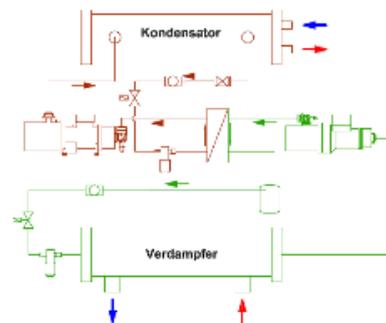
For various applications in commercial buildings or in the industry the heat pump manufacture **OCHSNER GmbH** offers a series of heat pumps with semi-hermetic compact screw compressors with a capacity from 100 to 960 kW. For heat sink temperature levels up to 65 °C Ochsner uses R134a, R407C or commercial refrigerants. Additionally Ochsner also offers heat pumps for industrial applications, as e.g. the "Toppump". For high-temperature applications Ochsner offers standard industrial heat pumps, which can lift waste heat from a (external) temperature level of 40 up to 98 °C at a low temperature difference of the heat sink (5 to 10 K). As refrigerant the so called "Öko1" (by Ochsner), which is nonflammable and nontoxic, offers appropriate pressure levels at this high temperature levels. (Ochsner, 2013)



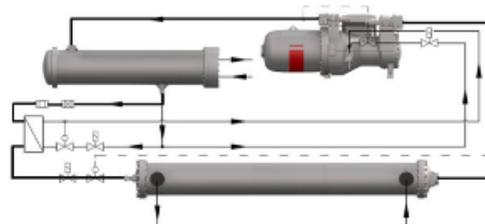
Figure 2: High-temperature heat pump (Ochsner, 2013)

According to the available waste heat temperature level Ochsner has two kind of this high-temperature heat pump in their portfolio, both a so called "two-stage" HP (IHWSS, see Figure 3) for heat source temperatures above 10°C, which is basically a

cascade plant, and a "single-stage" HP (IHWS, see Figure 4) for heat source temperatures from 35 to 55 °C, which is designed as economizer cycle.



**Figure 3: Flow scheme of the Ochsner high-temperature heat pump Type: IWHS "two-stage" – Cascade cycle (Ochsner, 2013)**



**Figure 4: Flow scheme of the Ochsner high-temperature heat pump Type: IWHS "single-stage" – economizer cycle (Ochsner, 2013)**

The Austrian heat pump manufacturer **Heliotherm Wärmepumpen GmbH** offers a standardized HP (see Figure 5) for application in the industrial and commercial buildings for heat sink temperatures up to 60 °C and a heating capacity up to 139 kW.



**Figure 5: Heliotherm's heat pump for industrial application (Heliotherm, 2013)**

The Austrian company **Frigopol Energieanlagen GmbH** produces compressors and customized heat pumping systems with R717, R723 or other refrigerants for cooling and/or heating applications with a capacity up to 1 MW with different compressor-types. For example, Frigopol (2013) has already delivered a customized plant with 1 MW capacity working with R236fa as refrigerant for a district heating application

(see, Figure 6). Frigopol also is involved in a innovative R&D project concerning high-temperature HPs (up to 100°C) for industrial applications (see chapter 1.2.1).



Figure 6: R236fa high-temperature heat pump (Frigopol, 2013)

The **PINK GmbH** offers absorption chillers (see Figure 7) with a cooling capacity of about 20 kW, which are driven by solar thermal or industrial waste heat (> 70°C). The actual absorption chillers from Pink are single-stage plants using ammonia/water as working pair. (Pink, 2013)



Figure 7: PinkChiller PC 19 (Pink, 2013)

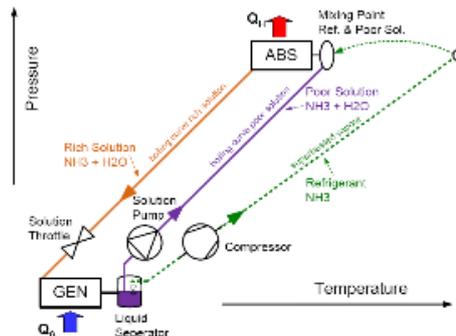
## **1.2 R&D projects in Austria**

A screening shows that there are some R&D projects in Austria investigating different topics of heat pumping systems suitable for industrial waste heat recovery. In this chapter three relevant projects are described. One project investigated a concept for waste heat upgrade for process heat supply (see chapter 1.2.1), one the utilization of industrial waste heat for refrigeration purposes (see chapter 1.2.2) and one for upgrading flue gas condensation heat (see chapter 1.2.3) by heat pumps.

### **1.2.1 Hybrid (absorption/compression) heat pumping systems**

The concept of an absorption/compression-heat pump system is known since the late 19th century (Osenbrück, 1895). Due to certain technical difficulties the concept couldn't be realized commercially in large scale up to now. In general, the system is a

combination of a vapor-compression h cycle and an absorption solution cycle, as shown in Figure 8.



**Figure 8: Absorption/compression- heat pump cycle in the solution field (Moser, Zotter, Rieberer, 2011)**

As shown in Figure 8, the refrigerant vapor from the separator at low pressure level is compressed to high pressure level by an electrically driven compressor. The high-pressure refrigerant vapor gets mixed with liquid poor solution in the Absorber (ABS) and completely absorbed by rejecting the absorption heat to the heat sink at high temperature level.

The liquid rich solution from the ABS gets expanded in a throttle to the generator (GEN) at low pressure level. Refrigerant vapor is desorbed in GEN due to heat supply from the heat source at low temperature level. The vapor is separated from the liquid poor solution in a separator afterwards. The remaining liquid poor solution at low pressure level is pumped into the ABS at high pressure level by an electrically driven solution pump, while the refrigerant vapor is compressed by the compressor.

The absorption/compression heat pump is suitable for high temperature application. Due to the use of a working pair instead of pure refrigerant, the pressure levels of absorption and desorption can be adjusted by a variation of the solution concentrations respectively changing the circulation ratio (ratio of solution mass flow to refrigerant mass flow). An absorption/compression heat pump promises several advantages in comparison to a vapor-compression heat pump:

- A high heat sink outlet temperature is possible at moderate pressure levels compared to a vapor-compression heat pump. For example temperatures above 100°C at the heat sink can be reached with a high-pressure level below 20 bar for ammonia/water instead of a high-pressure level higher than 62 bar for pure ammonia.
- The temperature glide occurring in the generator and absorber can be varied according to the available and required external temperature glides by changing the circulation ratio. This fact offers higher coefficient of performance due to lower irreversibility in the heat exchangers ("Lorenz"-process),
- The absorption/compression heat pump is suitable for high temperature lifts, which promises a bi-generation of heat and cold.

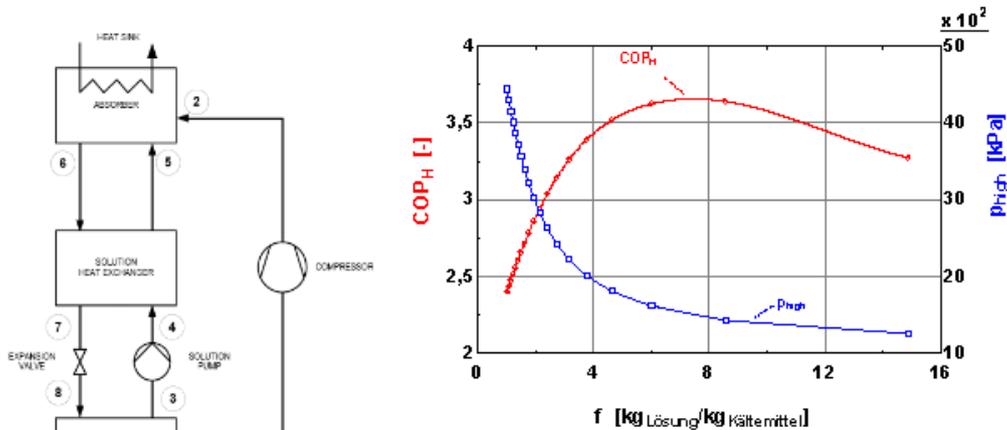
From a technical point of view the oil-management could be an issue, if oil-lubricated compressors are used, because the working pair and the oil have to be compatible at high temperatures and arrangements for the oil return have to be considered, which are more complex than in vapor-compression heat pumps. The use of a conventional

oil-lubricated compressor is limited due to high discharge temperatures and the thermal stability of the oil. At very high pressure ratios multi-stage compression has to be taken into account for higher coefficients of performance. Finally, a higher complexity of the control system results from a more complex system design.

Within the work for Annex 35 different simulation models for the "hybrid" absorption/compression-heat pump cycle have been set up for the working pair ammonia/water at the Institute of Thermal Engineering. As an example for the detailed investigation some results are shown in Figure 9. The coefficient of performance ( $COP_H$ , see Equation 1) and the high pressure level ( $p_{high}$ ) versus the circulation ratio ( $f$ , see Equation 2) of a single stage Osenbrück-Cycle (with a solution heat exchanger, see Figure 10) are shown in Figure 9. As shown, the high-pressure level can be adjusted by the variation of the circulation ratio, which has also an influence on the COP.

$$COP_H = \dot{Q}_{ABS} / (P_{Compressor} + P_{Solution Pump}) \quad \text{Equation 1}$$

$$f = \dot{m}_{Solution Pump} / \dot{m}_{Compressor} \quad \text{Equation 2}$$



**Figure 10: "Hybrid" heat pump cycle (Osenbrück-Cycle see Nordtvedt, 2005)**

**Figure 9: Simulation results -  $COP_H$  &  $p_{high}$  vs.  $f$  for a "hybrid"  $NH_3/H_2O$  heat pump (Osenbrück-Cycle, Figure 10) @  $p_{low} = 2$  bar,  $t_{source,ex} = 40^\circ C$ ,  $t_{sink,ex} = 85^\circ C$  (Vehovec et al., 2013)**

Recently, there are increasing research activities regarding the absorption/compression-heat pumps which are commonly known as "hybrid" heat pump system (HHP). Nevertheless there are only few suppliers for commercial available HHP. For example "Hybrid Energy AS" from Norway offers customized ammonia/water-absorption/compression-heat pumps with heating capacities of several hundred kW, shown in Figure 11.



**Figure 11: Pictures of two “hybrid” heat pumps by “Hybrid Energy AS”left: 300 kW, right: 650 kW heating capacity (Nordtvedt, 2009)**

Within the Austrian research project “HyPump” – financially supported by the Austrian Funding Agency “FFG” (Project-Nr. 834614) – the project partners IWT (TU Graz), AIT and Frigopol (Austrian compressor and heat pump manufacturer) develop a “hybrid” heat pump for small scale application (ca. 25 kW) consisting only standardized components, for minimizing the cost. Because the major aim of this project is to develop a high-temperature heat pump for industrial waste heat recovery, which demands low payback times to achieve a high market potential.

Within the “HyPump”-project different ammonia-based working pairs are investigated and compared to each other. Ammonia/lithium nitrate ( $\text{NH}_3 - \text{LiNO}_3$ ) has been chosen, because of the expected pure ammonia gaseous phase in order to overcome problems with the oil-lubricated compressor and the water content in the refrigerant vapor (Hannl & Rieberer, 2014).

Further to build up a prototype, different system configurations are investigated, using e.g. variation of the working pairs and design boundaries, as well as solutions for system design problems are analyzed in detail. The actual design of the test facility is shown in Figure 12. (Hannl & Rieberer, 2014)



**Figure 12: Picture of the absorption-/compression heat pump prototype @ IWT (Hannl & Rieberer, 2014)**

### 1.2.2 Absorption heat pumping systems

Absorption heat pumping systems (AHP) are often used to utilize the waste heat for industrial refrigeration purposes as well as to upgrade the temperature level of waste heat. Besides of the process itself and its components, the choice of the working mixture plays an important role in regard to efficiency and costs of an AHP-plant.

AHP are so called thermally driven heat pumps. So AHP can be driven by waste heat at temperature levels higher than 60°C, as e.g. from oven, air compressors etc. for cooling application on one hand and on the other hand AHP, driven for example by steam with 160°C, can upgrade the temperature level of waste heat e.g. from 60 to 90°C, as e.g. to use the flue gas condensation heat for district heating purposes.

Various working mixtures have been investigated, however, just two ( $NH_3/H_2O$  and  $H_2O/LiBr$ ) are commercially available. As industrial refrigeration application mostly requires evaporating temperatures below 0°C, the  $NH_3/H_2O$  AHP-process is in the focus for industrial application at the Institute of Thermal Engineering (TU Graz). Figure 13 shows a single-stage  $NH_3/H_2O$  AHP-process in the pressure/temperature diagram.

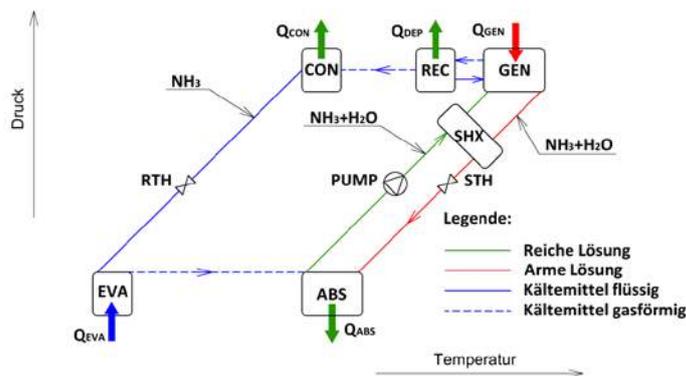


Figure 13: One-stage  $NH_3/H_2O$  AHP-process in the pressure / temperature diagram (Kotenko, 2012)

The  $NH_3/H_2O$  AHP process (see Figure 13) has been analyzed by means of thermodynamic simulation using the software program ASPEN Plus at following conditions (parameters):

- cooling water inlet/outlet temperatures of 20/25°C and 25/30°C
- cold water inlet/outlet temperatures of +2/-1°C.

The calculated values of the  $COP_C$  for cooling are shown in dependence on the hot water inlet temperature (influence the temperature of the poor solution) in Figure 14. Apparently, the maximum  $COP_C$  at low temperature lift (blue line) lies within the generator outlet temperature range from 80-100°C and is about 0.69. At high temperature lift (green line) the maximum  $COP_C$  is about 0.62 and the heat at higher generator temperatures (95-100°C) is necessary. With a decrease in the waste heat temperature (down to 80-85°C), the use of the  $NH_3/H_2O$  AHP process is efficient only at low temperature lifts.

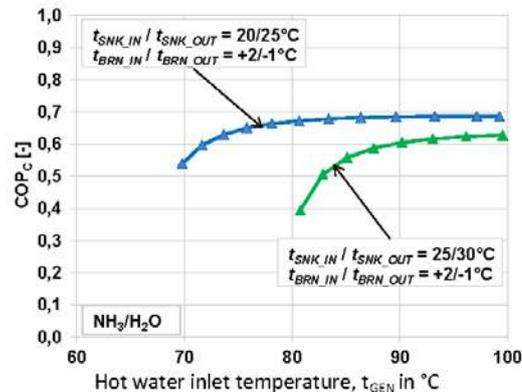


Figure 14: Calculated  $COP_c$  for the  $NH_3/H_2O$  AHP process at cooling water inlet/outlet temperatures of 20/25°C and 25/30°C and brine inlet/outlet temperatures of +2/-1°C (Rieberer et al., 2012)

#### Ammonia/IL AHP process

In the last years, in order to overcome some drawbacks of the  $NH_3/H_2O$  working mixture (i.e. need of rectification) the use of ionic liquids (ILs) as absorbents has been suggested. Commonly ILs are described in the literature as substances composed entirely of ions (cations and anions) with melting points below 100°C.

At the Institute of the Thermal Engineering (TU Graz) the  $NH_3/IL$  AHP process with two ionic liquids ( $[bmim][BF_4]$ ,  $[bmim][PF_6]$ ) has been analyzed and compared with the above described  $NH_3/H_2O$  AHP process.

The calculated values of the cooling COP are shown in Figure 15. The efficiency of the AHP process with both ILs at investigated generator temperatures is lower than that of the  $NH_3/H_2O$  AHP process. It can be seen, that there is a big decrease in the  $COP_c$  of the process with ILs at low generator temperatures. This occurs due to the low difference between  $NH_3$ -concentrations in the rich and poor solutions and, therefore, high specific solution flow rate (ratio of the flow rate of the rich solution to the flow rate of the refrigerant).

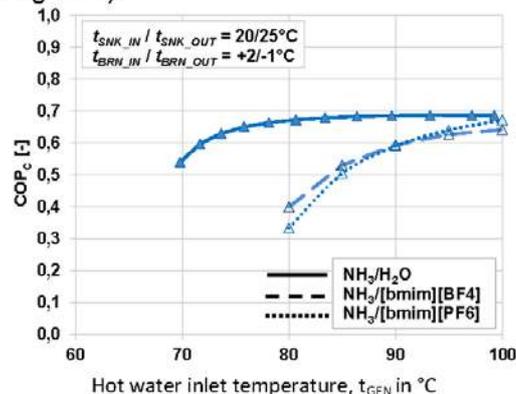


Figure 15: Comparison of the calculated cooling COP of the AHP processes with the working mixtures of  $NH_3/H_2O$ ,  $NH_3/[bmim][BF_4]$  und  $NH_3/[bmim][PF_6]$  depending on the generator outlet temperature (Rieberer et al., 2012)

Generally, it can be concluded, that the investigated  $NH_3/IL$  AHP processes cannot beat the conventional  $NH_3/H_2O$  AHP process for the industrial refrigeration application using waste heat but could have a high potential for heating applications, as high

However, AHPs have a high potential for the utilization of waste heat, as e.g. from baking oven, air compressors etc. for industrial refrigeration purposes from an economical and an ecological point of view.

### 1.2.3 HPs for upgrading flue gas condensation heat

HPs, as well as AHPs and CHPs offer the possibility to use the condensation heat of the flue gas from e.g. power or co-generation plants by upgrading its temperature level, even thou the temperature level of the heat supply system is higher than the dew point temperature of the flue gas.

The aim of the current national project ICON (FFG-No.: 829964, project head: AIT, project partners: BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, OCHSNER heat pumps GmbH, Scheuch GmbH) is to increase the heat output by flue gas condensation of biomass plants with heat pumping systems. Beside the heat recovery, systems for flue gas condensation in biomass plants are already known as a way for reducing the dust and plume of the exhaust systems, typically for 1 MW<sub>th</sub> biomass power plants. In practice, the useful temperature level of e.g. districting heating systems are too high for flue gas condensation, as unfortunately the water dew point of the flue gas (50 to 60 °C) is often much lower than the heating return temperature. By integrating a heat pump, flue gas condensation can be made more efficient and available all-season. Therefore, this heat pump application in a biomass plant offers savings of approximately 10 to 15 % of the required fuel and related to that a significant reduction of emissions. Further, also the electrical power for flue gas de-vaporization can be reduced using a heat pump for the flue gas condensation. In conclusion, such a heat pump application in a biomass power plant offers a large ecological and economical potential. Within this Austrian project a heat pump using a direct evaporator and a refrigerant suitable for flue gas condensation is developed and investigated (see Figure 16).



Figure 16: Test facility for experimental analysis of flue gas condensation @ AIT (Seichter et al., 2013)

### 1.3 Literature

**Cofley, 2013:** <http://www.cofely.info/leistungen/waermepumpen/industrie/> (02.10.2013)

**FRIGOPOL, 2013:** <http://www.frigopol.com/en/home/> (02.10.2013)

**Hannl, D., Rieberer, R., 2014:** ABSORPTION/COMPRESSION CYCLE FOR HIGH TEMPERATURE HEAT PUMPS – SIMULATION MODEL, PROTOTYPE DESIGN AND INITIAL EXPERIMENTAL RESULTS in Proc.:11<sup>TH</sup> IEA Heat Pump Conference, 2014, Montreal (status: paper accepted)

**Heliotherm, 2013:** [www.heliotherm.com/](http://www.heliotherm.com/) (02.10.2013)

**IDM, 2013:** <http://www.idm-energie.at> (02.10.2013)

**Kotenko, O., 2012:** Potential Analysis of Alternative Absorption Heat Pumping Processes with Special Emphasis on Sodium Hydroxide as Additive – Doctoral Thesis at Graz University of Technology, Institute of Thermal Engineering, Graz, 2012

**Nordtvedt, S.R., 2005:** Experimental and theoretical study of a compression/absorption heat pump with ammonia/water as working fluid; Doctoral Thesis at Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Refrigeration and Air-Conditioning, Trondheim, 2005

**Nordtvedt, S.R., 2009:** R&D Activities at IFE on Thermal Heat Pumps; Energy Systems Department Institute for Energy Technology, IEA Industrial Heat Pump Kick-off Meeting, 2009-04-07, IEA Annex Industrial Heat Pumps

**Moser, H., Zotter, G., Rieberer, R., 2011:** „HyPump“- Hocheffiziente Hybrid-Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung in der Industrie - research proposal for the R&D project HyPump for KliEn – EE 2020 (5th call) processed by the Austrian Funding Agency “FFG” (Project-Nr. 834614) – Institute of Thermal Engineering at Graz University of Technology, Austrian Institute of Technology and Frigopol, Graz 2011 (unpublished)

**Ochsner, 2013:** Hochtemperatur-Industriewärmepumpe (Ciepiely T.) im Kolloquium: Großwärmepumpen & Hochtemperatur-Wärmepumpen – Energieeffizienz in ihrer stärksten Form, Frankfurt, am 16.04.2013

**Osenbrück, A., 1895:** Verfahren zur Kälteerzeugung bei Absorptionsmaschinen, in Kaiserliches Patentamt. 1895: Germany

**Pink, W., 2013:** [www.pink.co.at/](http://www.pink.co.at/) (02.10.2013)

**Rieberer, R., Kotenko, O., Moser, H., Zotter, G., 2012:** Realisierungspotential von Absorptionswärmepumpen mit ionischen Flüssigkeiten – published research report of the R&D project “IonA” (FFG Nr.: 825477 – 3. Call NE 2020, KliEn) – Institute of Thermal Engineering at Graz University of Technology, Wien, 2012

**Seichter S., Fleckl T., Reichl C., 2013:** "Development of a wind tunnel to investigate heat and mass transfer to heat exchangers"; Vortrag: Gemeinsame Jahrestagung der Österreichischen und Schweizer Physikalischen Gesellschaft, Linz; 03.09.2013 - 06.09.2013.

**Vehovec, V., Zotter, G., Rieberer, R., Mauthner, F., Brunner, C., 2013:** Industrielle Forschung für PROMISE DEMO (Produzieren mit Solarer Energie – Demonstrationsprojekt), Assmann Ladenbau, Institut für Wärmetechnik der TU Graz, AEE Intec; Hrsg: Der Klima- und Energiefonds der Bundesregierung (FFG-Nr.: 825537), Vienna, 2013

## 7.5 Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 4



IEA Heat pump program

---

### Austrian Team Report

### IEA HPP / IETS Annex 35 / 13 Application of Industrial Heat Pumps

### Task 4 - Application

Submitted by

Graz University of Technology  
Institute of Thermal Engineering  
Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Austria



Authors: **Gerald Zotter**  
**René Rieberer** (contact: [rene.rieberer@tugraz.at](mailto:rene.rieberer@tugraz.at))

AIT – Austrian Institute of Technology  
Energy Department  
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Austria



Authors: **Andreas Zotti**  
**Thomas Fleckl**

Mar 18<sup>th</sup>, 2014

## 1 Austria

Although industrial heat pump applications are rather seldom in Austria up to now, several applications in various industrial sectors have been identified during the IEA HPP - IETS Annex 35/13, as e.g.:

- Mechanical vapour recompression systems (MVR), e.g. in salt mining plants or in breweries
- Upgrading waste heat by compression heat pumps (CHP), e.g. in the metalworking industry
- Absorption heat pumping systems (AHP) for industrial refrigeration purposes driven by waste heat, e.g. in the food industry or in laboratories
- Gas-fired AHP for heating application of industrial buildings, e.g. in a brewery
- AHPs and CHPs for flue gas condensation in power plants in the wood working or energy supply industry
- HP systems in laundries, etc.

In this report some selected realized plants (see chapter 1.1) as well as a feasibility study (see chapter 1.2) are described.

### ***1.1 Examples of realized plants in Austria***

This chapter gives a brief overview of selected heat pump applications of different types in the Austrian industry, as data were available:

- A closed compression heat pump in a meat industry plant for heating applications (see chapter 1.1.1)
- An add-on compression heat pump for a chiller of an artificial ice rink for heating application (see chapter 1.1.2),
- A combination of an electrical chiller and an absorption heat pump in an electronic factory for cooling purposes (see chapter 1.1.3)
- A closed compression heat pump in a brewery for heating applications (see chapter 1.1.4)
- An absorption heat pump in a biomass plant for heating applications (see chapter 1.1.5)
- A cascade compression heat pump for bi-generation purposes in freezer warehouse (see chapter 1.1.6)
- A compression heat pump for waste heat recovery in an automotive supplier plant (see chapter 1.1.7)
- A ground coupled heat pump for heating and cooling of a Multifunctional Office Building (see chapter 1.1.8)

### 1.1.1 Compression heat pump in a meat industry plant (COFELY; 2012)

Company	efef Fleischwaren GmbH (REWE Austria Fleischwaren GmbH)
Location	Schweizer Straße 75, 6845 Hohenems, Austria
Process application	Sausage manufacturing plant
Type of heat pump	Compression Heat Pump
Capacity	Heating Capacity ca. 257 kW
Reduction in CO <sub>2</sub> emission	75% (for the delivered heat by the HP)
Manufacturer/supplier	Cofely Kältetechnik GmbH
Pay back	No data available
More information/contact	Jürgen Furtner Cofely Kältetechnik GmbH, Langegasse 19, 6923 Lauterach; Österreich - Austria Tel.: +43-5574 6705-14 Fax: +43 5574 6705-22 Juergen.Furtner@cofely.info www.cofely.info

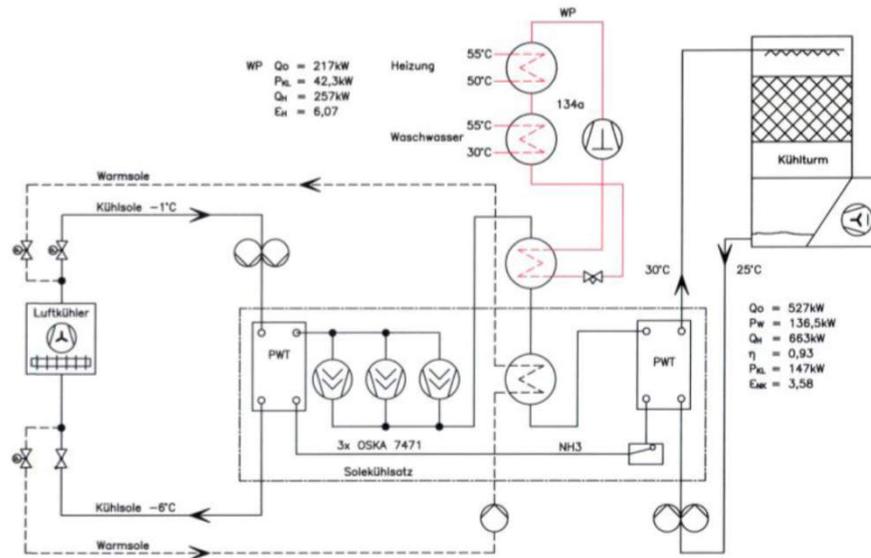
#### Description of the plant

The meat factory efef Fleischwaren GmbH (REWE Austria Fleischwaren GmbH) supplying the retail and wholesale distribution in Austria, see Figure 1. Currently, around 150 people are employed. The crude products obtained from the slaughterhouse processed into finished products such as fresh meat, smoked or cured meats and packaged for retail sale. (Cofely, 2013)



**Figure 1: Pictures of efef meat factory in Hohenems (efef, 2013)**

1995/96 efef has expanded their location in Hohenems focusing in low energy consumption of their plant. Therefore an electrically driven compression heat pump has been considered for the usage of the waste heat from the central electrically driven chiller as well as other chillers and from the central air compressors for heating applications, as shown in Figure 2. This heat pump lifts up the temperature level of the waste heat at about 30°C to an adequate level of about 55°C for space, process and cleaning water heating. The heat pump consists of two separate condensers, one for space and process heating and the other one for cleaning water heating. Further also an adequate storage system for the maximum daily heat demand has been considered. About 100 m<sup>3</sup> of cleaning hot water are required each working day and about 50% of it is covered by the waste heat utilization and the other 50% by a gas fired steam plant. (Cofely, 2013)



**Figure 2: Process flow sheet of the heat pump including the waste heat sources at efef Hohenems in Austria (COFELY, 2012)**

### Specifications of heat pump (Cofely, 2012)

Description	Heat Pump	
Type	Single-stage R 134 a compression heat pump	
Heating capacity	Ca. 257 kW (ca. 55 °C)	
Cooling capacity	Ca. 217 kW (ca. 26 °C)	
Power consumption	Ca. 42 kW <sub>el</sub>	
Heat source Description and temp	Waste heat from three air compressors and the condensation heat of one electrical chiller	Temp.: 26 °C
Heat sink Description and temp	Space heating and cleaning water	Temp.: 55 °C
Refrigerant	R 134 a	
Compressor type	Semi hermitical reciprocating compressor	
COP	Ca. 6.1	
Storage water tank	Yes	
Manufacturer of heat pump	COFELY GmbH	

### Running experience, savings and economics

According to Cofely (2013) the customer is completely satisfied with the heat pump performance and operation.

### 1.1.2 Add On-Compression heat pump in a sports centre (COFELY; 2012)

Company	Eislaufbahn Gmunden <a href="http://www.sportzentrum.gmunden.at">www.sportzentrum.gmunden.at</a>
Location	Fliegerschulweg 44, 4810 Gmunden– Austria
Process application	artificial ice rink
Type of heat pump	Add-on compression heat pump
Capacity	Heating capacity ca. 257 kW
Reduction in CO2 emission	75%
Manufacturer/supplier	Cofely Kältetechnik GmbH
Pay back	No data available
More information/contact	Jürgen Furtner Cofely Kältetechnik GmbH, Langegasse 19, 6923 Lauterach; Österreich - Austria Tel.: +43-5574 6705-14 Fax: +43 5574 6705-22 Juergen.Furtner@cofely.info <a href="http://www.cofely.info">www.cofely.info</a>

#### Description of the plant

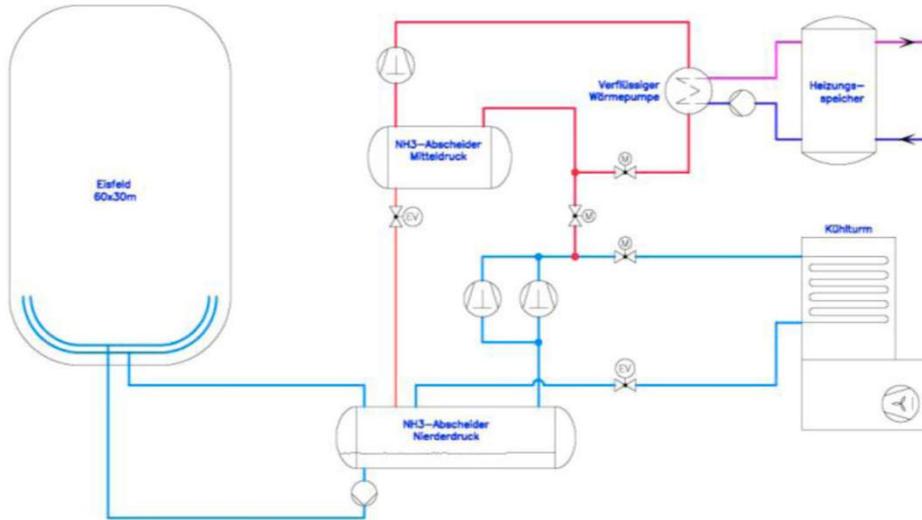
The sports centre of the city Gmunden in Austria also operates an artificial ice rink, as shown in Figure 13.

As shown in Figure 4 waste heat from the ammonia (NH<sub>3</sub>) chiller of the artificial ice rink can be used for heating application directly by an add on heat pump with a heating capacity of 413 kW or rejected to the ambient. The evaporating temperature level of the realized add-on heat pump is about 25°C.



**Figure 3: Pictures of ice rink in Gmunden (Gmunden, 2013)**

The heat sink of the add-on heat pump is a storage tank with a temperature level of about 60°C, see Figure 4. The used NH<sub>3</sub> reciprocating compressor has a maximal electrical power consumption of 71 kW.



**Figure 4: Process flow sheet of the add on heat pump of the chiller for the ice rink at Gmunden, Austria (COFELY, 2012)**

#### Specifications of heat pump (Cofely, 2012)

Description	Add on heat Pump	
Type	Single-stage R 717 compression heat pump	
Heating capacity	Ca. 413 kW	
Evaporator capacity	Ca. 347 kW	
Power consumption	Ca. 71 kW <sub>el</sub>	
Heat source Description and temp	Waste heat from an electrically driven chiller: Ammonia vapour from a middle pressure vessel	Temp.: ca. 25 °C
Heat sink Description and temp	Storage tank for space heating	Temp.: ca. 60 °C
Refrigerant	R 717	
Compressor type	Reciprocating compressor	
COP	Ca. 5.8	
Storage water tank	Yes	
Manufacturer of heat pump	COFELY GmbH	

### 1.1.3 Absorption and compression heat pump in an electronic factory (Klima:aktiv, 2011)

#### Project summary

Company	Seidel Elektronik www.seidel.at
Location	Frauentalerstr. 100, 8530 Deutschlandsberg– Austria
Process application	Electronic manufacturing factory
Type of heat pump	Absorption and compression Heat Pump
Running hours	No data available
Year of realization	2011
Primary energy savings (assumed)	168,627 kWh/a (40% of natural gas demand)
Manufacturer/supplier	- Frigopol - Yazaki
Pay back	7.9 a (calculated)
More information/contact	DI (FH) Karin Kölblinger sattler energie consulting gmbh Krottenseestr. 45, 4810 Gmunden, + 43 (0) 7312 / 73799 <a href="mailto:office@energie-consulting.at">office@energie-consulting.at</a> , <a href="http://www.energie-consulting.at">www.energie-consulting.at</a>

#### Description of the plant

SEIDEL Electronics is a manufacturer of custom-made solutions and an outsourcing partner for electronic and mechatronic products. Around 700 employees work in their locations in Austria, Hungary, Slovakia and Slovenia (seidel, 2013). At their factory in Deutschlandsberg in Austria (see Figure 5) with a production area of 7,200 m<sup>2</sup> approximately 350 people are employed. Also their R&D center for electronic and mechatronic assemblies manufacturing, as well as complete equipment installation and distribution are located there.



**Figure 5: Seidel Elektronik in Deutschlandsberg (Seidel, 2013)**

Initially the electrical energy consumption per year amounts about 450 MWh only for refrigeration purposes of the plant in Deutschlandsberg and about the same value of 460 MWh of natural Gas are required to cover the heating demand of this factory. In order to improve this situation besides several measures, like the electricity is only delivered by hydro power etc. a compression heat pump (see Figure 7) and an absorption chiller (see Figure 6) has been considered. The above mentioned compression heat pump is also used for process cooling in summer. The temperature level of the waste heat from the compressors amounts about 75°C.



**Figure 6: Absorption chiller at Seidel, Deutschlandsberg (klima:aktiv, 2011)**

The waste heat from this heat pump as well as from the air compressors of the factory are used to drive the above mentioned absorption chiller for cooling purposes. For this a cold water storage tank is used.

Between summer and winter the heat pump is primarily used for heating, but surplus heat is used for driving the absorption chiller.

In winter the absorption chiller is out of operation and the required capacity for cooling processes is only delivered by the electrically driven heat pump and the waste heat is used for heating application.

Since the start-up of the operation of the heat pump and the absorption chiller the natural gas consumption is reduced by about 40% (Seidel, 2012a) and according to Seidel (2012b) it was assumed that energy cost can be reduced by 16,000 to 18,000 € each year due to these applications. Comparable data are not available.

Seidel Electronic have a green vision, so they plan a CO<sub>2</sub>-neutral production in Deutschlandsberg up to 2014 with further measures for a sustainable energy supply at their factory (Seidel, 2012b).



**Figure 7: Compression heat pump at Seidel, Deutschlandsberg (klima:aktiv, 2011)**

### 1.1.4 Compression heat pump in a brewery (Klima:aktiv, 2012)

#### Project summary

Company	Mohrenbrauerei August Huber Dr.-Waibel-Str. 2, 6850 Dornbirn, <a href="http://www.mohrenbrauerei.at">www.mohrenbrauerei.at</a>
Location	Dornbirn – Austria
Process application	Brewery
Type of heat pump	Compression Heat Pump
Capacity	Heating Capacity ca. 370 kW
Year of realization	2012
Primary energy savings	1,426 MWh/a
Reduction in energy costs	64,067 EUR/a
Invest costs	365,000 EUR
Manufacturer/supplier	COFELY GmbH (WKÖ, 2012)
Pay back	5.7 a
More information/contact	Ralf Freitag Mohrenbrauerei August Huber Dr.-Waibel-Str. 2, 6850 Dornbirn, +43 (0) 5572 3777 <a href="mailto:leitung-produktion@mohrenbrauerei.at">leitung-produktion@mohrenbrauerei.at</a> , <a href="http://www.mohrenbrauerei.at">www.mohrenbrauerei.at</a>  sattler energie consulting gmbh DI (FH) Martin Hinterndorfer Krottenseestr. 45, 4810 Gmunden, +43 (0) 7612 737 99 <a href="mailto:Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at">Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at</a>

#### Description of the plant

The Brewery Mohrenbrauerei is the oldest and most modern brewery in Vorarlberg, the most western province in Austria. Since 1834 the traditional company in Dornbirn is owned by the Huber family and produces approximately 218,000 hectoliters drinks per year. The product range includes beer, whiskey and lemonades. Further the Mohrenbrauerei also trades with wine, water, sodas and juices from Austrian and international manufacturers. (Klima:aktiv, 2012)



Figure 8: The Mohrenbrauerei in Dornbirn (klima:aktiv, 2012)

Energy efficiency and sustainability is still more than a mission for the Mohrenbrauerei. The management and the brewery's staff are involved in developing solutions and the implementation of energy efficiency measures. In recent years, optimizations in the areas of heating control, standby of PC devices and accessories and the air conditioning were already conducted. They also use alternative energy sources as electricity from solar panels. (Klima:aktiv, 2012)

Initially the brewery used gas fired steam plant with an annual natural gas consumption of 4,700 MWh/a and a boiler with an annual natural gas consumption of 900 MWh/a to cover the brewery's heating demand. (Klima:aktiv, 2012)

In order to improve this situation the Mohrenbrauerei decided to use the waste heat from their chillers with a high temperature heat pump for heating purposes instead of dissipating it to the ambient. This heat pump has a heating capacity of 370 kW and works with ammonia as refrigerant. The overall heat demand (space & process heating) is covered by this heat pump. Additionally, also water for the process water grid is heated up to 77°C by the heat pump. (Klima:aktiv, 2012)



**Figure 9: High temperature heat pump at Mohrenbrauerei in Dornbirn (Klima:aktiv, 2012)**



**Figure 10: One of the heat storage tanks at Mohrenbrauerei in Dornbirn (Klima:aktiv, 2012).**

For a highly efficient use of waste heat additional heat storage tanks have been realized, one for the brew water and one for the heating grid, see Figure 10. (Klima:aktiv, 2012)

With this application the Mohrenbrauerei saves 1,844 MWh/a of natural gas by consuming only 418 MWh/a of electrical energy for the heat pump operation, which means that the seasonal performance factor of this heat pump is quietly high (Klima:aktiv, 2012)

From an economical point of view it has to be mentioned that the payback time amounts less than 6 years. (Klima:aktiv, 2012)

**Specifications of heat pump**

Description	Heat Pump	
Type	Ammonia compression heat pump	
Heating capacity	370 KW	
Heat source Description and temp	Condenser waste heat from chillers	
Heat sink Description and temp	Space and brew water heating grid	Temp 77 °C
Refrigerant	Ammonia	
Storage water tank	Yes( two)	
Manufacturer of heat pump	COFELY Kältetechnik GmbH	

**Running experience, savings and economics**

<b>Energy cost savings</b>	64,067 EUR/a
<b>Energy savings</b>	1,426 MWh/a (18.3%)

### 1.1.5 Absorption heat pump for flue gas condensation in a biomass plant (Klima:aktiv, 2009; Bergthaller, 2013).

#### Project summary

Company	Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation Bayerhamerstraße 16, 5020 Salzburg, Austria
Location	Salzachtalstraße 88, 5400 Hallein – Austria
Process application	Biomasse cogeneration plant
Type of heat pump	Absorption Heat Pump
Capacity	Heating Capacity ca. 7.5 MW
Running hours	Ca. 7 500 h <sub>operation</sub> /a (Ca. 6 200 h <sub>FullLoad</sub> /a) Overall: ca. 37,000 h <sub>operation</sub> up to now
Year of operation	Since 09/2006
Primary energy savings	Ca. 15,849 MWh
Reduction in CO2 emission	6,000 tons/a
Manufacturer/supplier	INVEN Absorption GmbH
Pay back	According to Salzburg AG the application of the AHP is profitable
More information/contact	Dipl. Ing. (FH) Thomas Bergthaller Salzburg AG, Elisabethkai 52, 5020 Salzburg, Austria Tel. +43/662/8884-8862 Fax +43/662/8884-170-8862 thomas.bergthaller@salzburg-ag.at www.salzburg-ag.at

#### Description of the plant

Schweighofer Fibre GmbH in Hallein (Austria), see Figure 11, is a woodworking industrial company and part of the Austrian family enterprise Schweighofer Holzindustrie. Their core business is the production of high-quality cellulose and bioenergy from the raw material wood by an efficient and environmentally-friendly use. (Schweighofer, 2013)

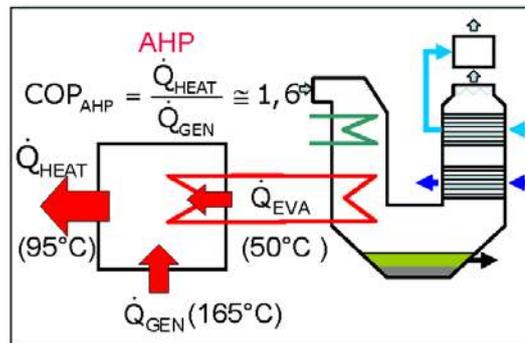
A biomass power plant including a steam generator supplies the in-house steam grid and covers the company's energy demand at the site. The capacity of this cogeneration plant, which is fired by 77 % of external wood and 23 % of in-house remnants, amounts to about 5 MW<sub>el</sub> and 30 MW<sub>th</sub>. Beside the in-house power supply of Schweighofer Fibre GmbH the biomass



**Figure 11: The Production Plant of Schweighofer Fibre GmbH in Hallein (Schweighofer, 2013)**

plant also delivers electricity for about 15,000 households and heat for the local district heating grid.

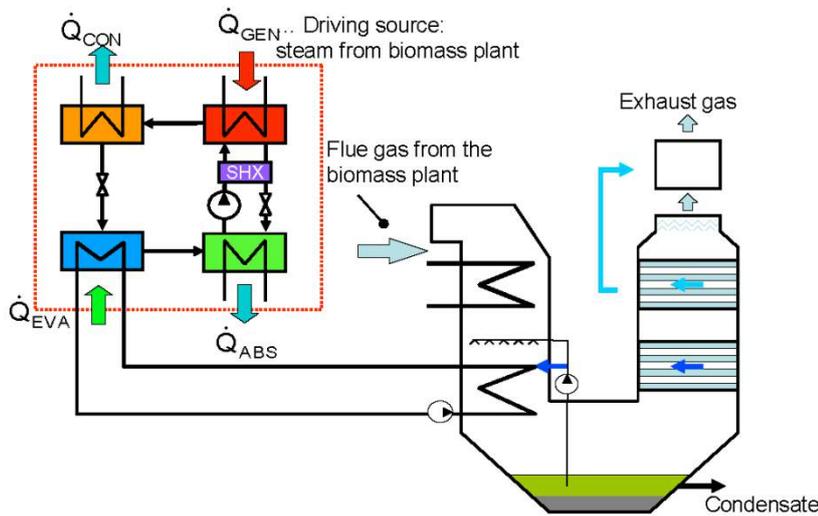
The operator of this power plant in Hallein is the Salzburg AG (2013) which is a regional infrastructure provider of energy, transport and telecommunications. In 2006 an absorption heat pumping system (AHP) has been realized for the utilization of waste heat of the flue gas of the biomass power plant, shown in Figure 12.



**Figure 12: Process flow sheet of the flue gas condensation of the biomass plant in Hallein in Austria by using an absorption heat pump system (Rechberger, 2009)**

The AHP offers the possibility to use the condensation heat of the flue gas by upgrading its temperature level, even though the return flow temperature of the existing district heating grid is higher than the dew point temperature of the flue gas. At evaporating temperatures of the AHP lower than 50 °C the flue gas gets sub cooled below the dew point temperature. Hence, the temperature level of the condensation heat of the flue gas is lifted up to a useful level for the district heating. Otherwise, the condensation heat of the flue gas could not be used and would be dissipated to the ambient.

The applied AHP is a single-stage Water/LiBr absorption heat pump (Figure 13) with a solution heat exchanger (SHX) and a heating capacity of ca. 7.5 MW. The driving source of the AHP is steam from the biomass heating plant at ca. 165 °C. According to the existing monitoring system the AHP operates with a seasonal performance factor (SPF) of about 1.6. Due to the high efficiency and the high operating hours of the AHP this industrial heat pump application enables a significant fuel and emission reduction. Additionally to the ecological advantages this application offers an economical benefit for the operator of the plant.



**Figure 13: Process flow sheet of the absorption heat pump system for the flue gas condensation of the biomass plant in Hallein (Austria) (Rechberger, 2009)**

#### Specifications of heat pump

Description	Heat Pump	
Type	Single-stage H <sub>2</sub> O/LiBr - absorption heat pump	
Heating capacity	Ca. 7.5 MW (ca. 95 °C) at fullload	
Cooling capacity	Ca. 3.0 MW (ca. 50 °C) at fullload	
Power consumption	Ca. 4.5 MW <sub>th</sub> (ca. 165 °C) at fullload Ca. 20 kW <sub>el</sub> at fullload	
Heat source Description and temp	Flue gas	Temp.: 50 °C
Heat source Description and temp	Steam	Temp.: 165 °C
Heat sink Description and temp	District heating	Temp.: 95 °C
Refrigerant	Water	
Solvent	LiBr	
Compressor type	Absorption process (no compressor, one solution pump)	
COP <sub>H</sub>	Ca. 1.6	
Operation hours	In total about 37,000 h and about 7,500 h per a	
Storage water tank	None	
Manufacturer of heat pump	INVEN Absorption GmbH	

#### Running experience, savings and economics

Energy cost savings	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuel cost</li> <li>- Cost for fuel storage</li> <li>- Cost for ash removal</li> </ul>
---------------------	--

Energy savings	- Ca. 15,000 MWh/a
Other savings	- Higher performance - Cost saving cause no vapour discharge system is required

#### **Challenges and prospects**

Potential	- Cogeneration plants
Other Possibilities of application	- Double-stage absorption heat pump systems - Compression heat pump systems for flue gas condensation
Application of heat pump solves process problems	- No vapour discharge system required
Application of heat pump increases the value chain	- Yes

### 1.1.6 Refrigeration plant and heat recovery optimization in a freezer warehouse (Klima:aktiv, 2012b).

#### Project summary

Company	Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG Gewerbestr. 6, 4481 Asten <a href="http://www.daily.at">www.daily.at</a>
Location	Asten – Austria
Process application	Freezer warehouse
Type of heat pump	Compression Heat Pump
Year of realization	2011
energy savings	371,800 kWh/a
Reduction in energy costs	39,620 EUR/a
Invest cost	215,000 EUR
Pay back	5.4 a
More information/contact	Andreas Schilde Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG Gewerbestr. 6, 4481 Asten, +43 (0) 7224 67391, <a href="mailto:A.schilde@daily.at">A.schilde@daily.at</a> , <a href="http://www.daily.at">www.daily.at</a>  sattler energie consulting gmbh DI (FH) Martin Hinterndorfer Krottenseestr. 45, 4810 Gmunden, +43 (0) 7612 737 99, <a href="mailto:Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at">Martin.hinterndorfer@energie-consulting.at</a>

#### Description of the plant

Daily service is a commercial and non-proprietary logistics services company, providing the Austrian Market with frozen products. Achieving economic and environmental benefits to commercial and industrial customers is an essential element of corporate strategy. Since 2005 the company has improved its energy efficiency with different measures.



**Figure 14: Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG in Asten (Klima:aktiv, 2012b)**

In 2007 a new freezer warehouse with an efficient Ammoniak/CO<sub>2</sub> plant has been built. The waste heat from this cooling system is used for heating purposes. The

consumption of electrical energy in 2010 is approximately 7,340 MWh/a and the heating demand 1,030 MWh/a. The Daily Services GmbH has four different cooling areas that need to be cooled around the clock. The cooling energy for the sorting hall and for the high bay warehouse is provided on the one hand by the NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> cascade chiller and on the other hand by a R22 refrigeration system. The consumption of the refrigeration systems for the adapted areas totals at approximately 3,870 MWh of electricity per year. Both refrigeration units are equipped with heat recovery, which decouple a total of heat of about 906,072 kWh/a. This heat is used for heating purposes in the administration buildings, workshops, offices and production. Additionally for the space heating about 119,923 kWh/a are required which are reheated by a direct electric heater. The defrosting of the evaporator of the R22 system, which will be decommissioned, also requires approximately 7,045 kWh/a heat. The evaporators of the R22 unit are defrosted electrically.



**Figure 15: compression heat pump at Daily Service Tiefkühllogistik GesmbH & Co KG (Klima:aktiv, 2012b)**

The existing R22 machine is relieved due to the poor COPs and shifts the load to the NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> cascade as it is not operated at its capacity limits. Therefore two new evaporators are installed and at the same time four of the existing evaporators of the R22-unit are shut down. Thus, the electric defrosting and the loss of refrigerant, which was created by the leaks in the old evaporators, will be avoided. By shifting the cooling operation from the R22-unit to the NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> cascade about 244 720 kWh/a electricity can be saved.

The new evaporator are defrosted with waste heat and therefore no additional electrical power is required. The energy saving is amounts at approximately 7,045 kWh/a. The leakage losses of the unit and of the entire R22 system are reduced due to the migration from the R22 to the NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> refrigeration system. The reduction of CO<sub>2</sub> emissions is approximately 227,300 kg/a (R22 = 152 kg/a).

To recover the heat from the NH<sub>3</sub> / CO<sub>2</sub> cascade a condenser with a capacity of 511 kW is installed. The heat demand of about 250,963 kWh per year can now be made fully available through this recovery due to a low temperature heating system. In addition also the operation of the old heat recovery and the backup heating with the direct electric heater are saved. Therefore the electric energy demand can be reduced by about 119,923 kWh / a. All savings apply only to electrical energy, as the current heat demand is covered from the heat recovery of the chillers.

**Specifications of the NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> – cascade compression heat pump (mycom, 2007a and 2007)**

Description	Compression Heat Pump
Type	NH <sub>3</sub> /CO <sub>2</sub> – cascade compression heat pump
CO <sub>2</sub> -Cycle	
Cooling capacity	Ca. 305 kW <sub>th</sub> (ca. -38 °C) at full load
Power consumption	Ca. 73.5 kW <sub>el</sub> at full load
Refrigerant	R 744
Compressor type	C6HK
Swept Volume	193 m <sup>3</sup> /h
COP <sub>C</sub> for refrigeration	Ca. 4.15
Manufacturer of compressor	Mycom
Speed	1,450 rpm
Condensing temperature	-5 °C
Evaporating temperature	-38 °C
Suction Pressure	1.08 MPa
Discharge Pressure	3.05 MPa
NH <sub>3</sub> -Cycle	
Evaporator capacity	Ca. 410 kW (ca. -10 °C) at full load
Power consumption	Ca. 104 kW <sub>el</sub> at full load
Refrigerant	R 717
Compressor type	Single stage screw compressor 13.6eMEE
Swept Volume	622 m <sup>3</sup> /h
COP <sub>C</sub> for refrigeration	Ca. 3.94
Manufacturer of compressor	Mycom
Speed	2,950 rpm
Condensing temperature	35 °C
Evaporating temperature	-10 °C
Suction Pressure	0.29 MPa
Discharge Pressure	1.35 MPa

### 1.1.7 Optimization of cooling and heating supply in an automotive factory (Klima:aktiv, 2012c)

#### Project summary

Company	Magna Auteca AG Elin-Süd-Straße 14, 8160 Krottendorf / Weiz, www.magna-auteca.com
Location	Krottendorf / Weiz – Austria
Process application	Automotive production
Type of heat pump	Compression Heat Pump
Capacity	app. 2 x 146 kW
Year of realization	2012
energy savings	444 100 kWh/a
Reduction in energy costs	21 360 EUR/a
Invest costs	290.000 EUR
Pay back	Ca. 13.6 a
More information/contact	Robert Schneider Magna Auteca AG Elin-Süd-Straße 14, 8160 Krottendorf / Weiz, +43 (0) 3172 / 5100-0, office.auteca@eu.magna.com, www.magna-auteca.com  sattler energie consulting gmbh DI Peter Sattler Krottenseestraße 45, 4810 Gmunden, +43 (0) 7612 / 767 99-0, <a href="mailto:office@energie-consulting.at">office@energie-consulting.at</a> , <a href="http://www.energie-consulting.at">www.energie-consulting.at</a>

#### Description of the plant



**Figure 16: Magna Auteca AG in Krottendorf (Klima:aktiv, 2012c)**

Magna Auteca Ltd. - an operation from the Magna-International-Group is the European market leader for mirror drive components. The production is located in Weiz with approximately 280 employees. The Magna Auteca AG produces annually about 18 million electric mirror drives and about 7 million electric Beiklapp drives for the Automotive industry.

The electric energy consumption in 2011 was approximately 4,635 MWh/a and the gas consumption approximately 691 MWh/a. The cooling system consists of two equally sized chillers (one chiller as redundancy), each with a maximum cooling capacity of 146 kW. These chillers operate with an average assumed COP of 2.5 – which means that they already run inefficiently. Around 45 % of the cooling demand are covered by the cooling towers. The electricity consumption for the cooling systems including cooling towers is about 88,500 kWh per year.



**Figure 17: Cooling tower (klima:aktiv, 2012c)**

Space heating is done by a natural gas fired boiler with a thermal capacity of 812-928 kW. This boiler is only used for space heating. The annual efficiency amounts to about 92 %. The major existing ventilation system has a nominal air flow of 60,000 m<sup>3</sup>/h and consists of a rotary heat exchanger, which recovers 70% of the exhaust heat. A second ventilation unit with a nominal air flow of 6,000 m<sup>3</sup>/h is currently supplied via a heating coil from the boiler. At an inlet air temperature of 21 °C the ventilation systems requires of about 457.400 kWh heat per year. Currently four circulation pumps for cooling distribution are installed. 2 x P1 with 7.5 kW and 2 x P2 with 5.5 kW. The second pump is installed to get the redundancy. The consumption of the circulation pumps is about 75,500 kWh of electricity per year. The pumps for the cooling tower and for the transport of cold water to the buffer currently consume approximately 57,180 kWh of electricity per year.

The existing chillers are replaced by more efficient compression chillers. Additionally a new heat exchanger for heat recovery with free cooling function and frequency-control is equipped and a heat pump is purchased. The two new chillers have a nominal COP of 3.53 which is about 30% more efficient than the average COP of 2.5 of the existing chillers. The new Buffer tank, the new piping (including insulation) and the efficient pump station reduce the cooling demand by about 3% to 340,580 kWh/a. By the use of free cooling (COP 46) the new chiller only has to provide approximately 127,870 kWh of cooling per year, and is therefore less often in operation than before.

The waste heat from the chillers is used as heat source for the heat pump. The heat output at the higher temperature level can then be used for heating the supply air in the ventilation equipment. In the larger, existing ventilation equipment (air output 60,000 m<sup>3</sup>/h with rotary heat exchanger), a new heat recovery preheater is equipped and the heat from the heat pump can be used. In the second ventilation equipment (air capacity 6,000 m<sup>3</sup>/h) also the heat recovery preheater is supplied with heat from the heat pump.



**Figure 18: high efficient pump (klima:aktiv, 2012c)**

The actual amount of heat provided by the heat pump depends on the cooling operation and the heating demand. In total, about 260,360 kWh/a heat have been generated by the heat pump. The power consumption of the heat pump is approximately 70,080 kWh/a – based on the COP for heating (= 3.7).

The existing pumps are replaced by a highly efficient pressure rising facility. The new pumps are correctly designed on the basis of carried out demand measurements and are equipped with a frequency converter control. In the course of the renovation also the circulation pumps and pumps for the cooling tower and later free cooling will be replaced by new efficient pumps.

### 1.1.8 Ground Coupled Heat Pump Heating and Cooling System for a Multifunctional Office Building (Presetschnik et al., 2005)

#### Project summary

Company	STRABAG AG Donau-City-Straße 9, 1220 Wien <a href="http://www.strabag.at">www.strabag.at</a>
Location	Vienna– Austria
Process application	multifunctional office building
Type of heat pump	Compression Heat Pump
Capacity	3x 693 kW
Year of realization	2003
Reduction in energy costs	80,700 EUR/a
Additional costs	273,700 EUR
Pay back	3.4 a
More information/contact	Andreas Zottl AIT Austrian Institute of Technology GmbH Giefinggasse 2, 1210 Vienna, Austria <a href="mailto:andreas.zottl@ait.ac.at">andreas.zottl@ait.ac.at</a> <a href="http://www.ait.ac.at">http://www.ait.ac.at</a>

#### Description of the plant



**Figure 19: STRABAG HOUSE (Strabag, 2013)**

The STRABAG HOUSE was constructed as a multifunctional office property. The 21,000 m<sup>2</sup> area of the 50 m high building is divided in 13 floors with about 18,000 m<sup>2</sup> office area and 3,000 m<sup>2</sup> for shops and commerce. The building is heated by floor convectors and cooled through micro perforated sheet-metal cooling ceilings.

Energy supply needed for heating and cooling is effected through a ground coupled heat pump system with an installed cooling capacity of 3\*693 kW. The heat pumps are linked to a closed loop heat exchanger comprising of cast-in-situ driven piles integrated into the foundation. In total 68,000 m of PE-pipes were furnished partly in the foundation of the building and partly in 250 17m long cast-in-situ driven piles; the thermal energy is exchanged in 800 circuits. The system was designed in a way that the office and retail space require no additional power supply – apart from the electric power needed for the operation of the energy supply system.

For heating purpose the heat pump can be used on the primary circuit side to extract thermal energy from the ground via the foundation structures, which is then raised to a higher temperature level (heatingmode). In many cases the building can be cooled at virtually no cost through the direct use of the temperatures available in the ground. Here the heat transfer medium which circulates through the energy supply system is used directly for cooling purpose (free cooling mode).

If the underground temperatures do not allow free cooling, the installed heat pumps are used as refrigerator units and the ground is deployed as the heat sink for the heat pump system (cooling mode). The system was designed in a way that the office and retail space require no additional power supply – apart from the electric power needed for the operation of the energy supply system. Therefore the system operation can be distinguished into the four modes: heating, heating + free cooling, cooling + free cooling and cooling.

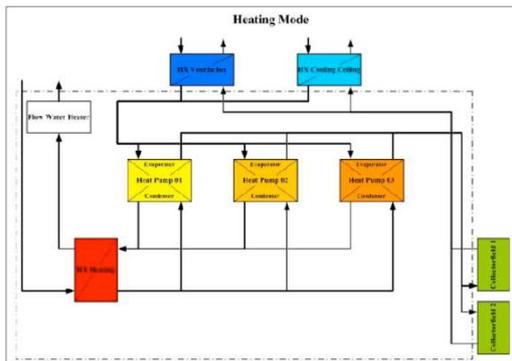


Figure 20: Schematic of heating mode (Presetschnik et al., 2005)

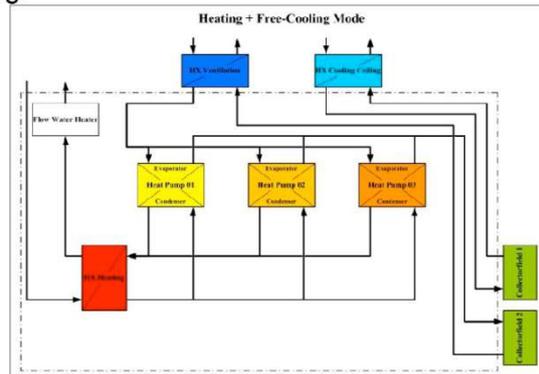


Figure 21: heating + free cooling mode (Presetschnik et al., 2005)

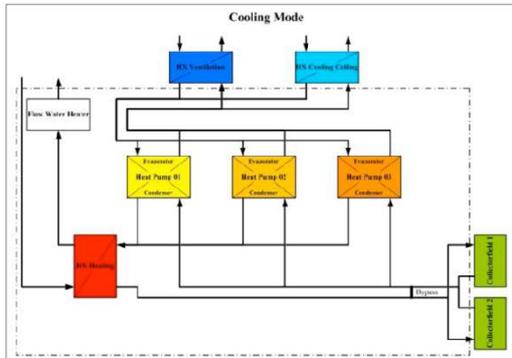


Figure 22: Schematic of cooling mode (Presetschnik et al., 2005)

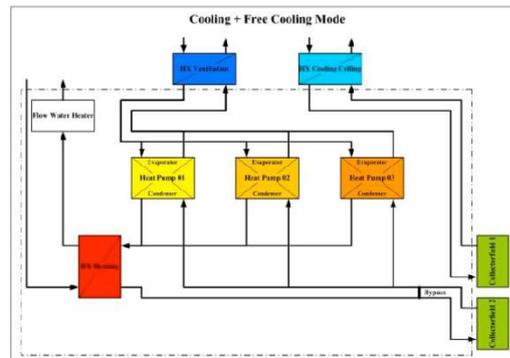


Figure 23: cooling + free cooling mode (Presetschnik et al., 2005)

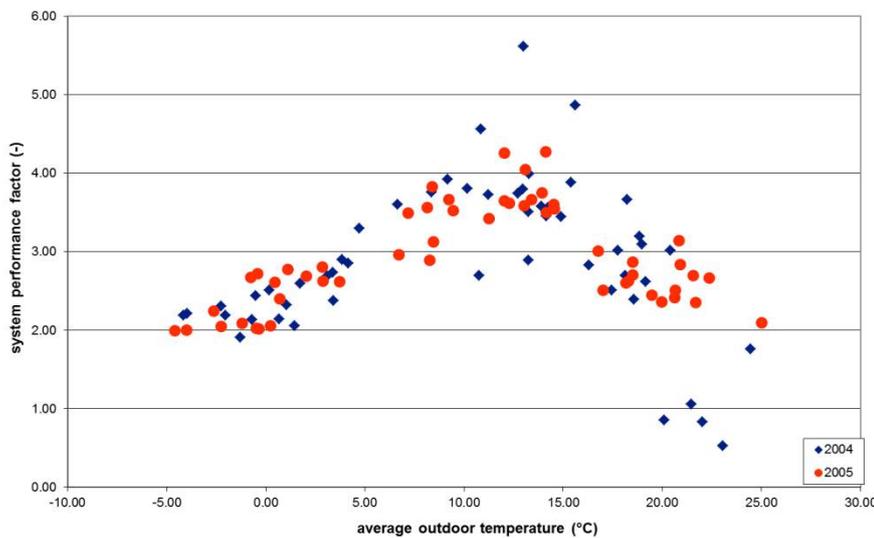
**Measurement Results**

The monitoring of the energy supply system installed in the STRABAG HOUSE during the first two years of operation in the period 2003/2004 and 2004/2005 has shown that the system can accomplish the requirements with respect to the heating and cooling demand of the building. Less than one percent of the heating demand was supplied by the electric flow water heater.

**Tabelle 1: energy demand and SPF**

	2004	2005	total	unit
Heating demand	2 700 849	2 991 357	5 692 206	kWh
Cooling demand	1 491 900	1 559 100	3 091 000	kWh
Electric energy	1 699 022	1 747 208	3 446 230	kWh
SPF	2.47	2.63	2.55	-

The results have shown a seasonal performance factor (SPF) of 2.55 for the total energy supply system in the first two years of operation. However the conditions especially during summer in a consequence of the final system adaptations have affected adversely the performance of the system. Do due adoptions of the control parameters the system shows a higher SPF in the second period of the monitoring. The comparison of the system performance factors of the weekly evaluation shows that the system operations, depending on the average outdoor temperature for each calendar week, is a far more stable during the observation period 2004/2005.



**Figure 24: SPF comparison (Presetschnik et al., 2005)**

Depending on the four different operating modes the system is operated with different efficiencies, the SPF of the total system is in a range between 2.26 and 6.55.

**Tabelle 2: SPF depending on operating mode**

Operating mode	chiller	system
Heating	2.55	2.63
Cooling	2.58	2.26
Free-Cooling + cooling	1.81	7.81
Free-Cooling + heating	3.23	6.55

Less than two percent of the heating and cooling demand of the building was provided in the two free cooling modes. The utilisation of free cooling might be increased by the adaptation of the control set points of the energy supply system. For future implementation of such a system it is recommended to decrease the flow temperature of the heating system to improve the performance of the energy supply system.

From an ecological point of view the installed system shows a favourable CO<sub>2</sub> balance compared to conventional heating and cooling systems based on natural gas, fuel oil or on the usage of district heating.

#### building design criteria

application	space heating and cooling					
installed capacity	3 x 693 kW cooling capacity					
heat pump type	TRANE RTWB 222					
refrigerant	R 134a					
heat source	ground coupled system					
Details						
a) collector type	250 energy piles + 6,500 m <sup>2</sup> base plate					
b) energy pile length	17 m					
c) overall pipe length	68,000 m (800 parallel circuits)					
d) transfer medium	brine (antifreeze + water: -10°C)					
e) flow rate (m <sup>3</sup> /h)	heating	90	chilled water	cooling	144	chilled water
		90	cold water		90	cold water
heating distribution system	heating	floor convectors	cooling	cooling ceilings		
supply temperatures (°C)	heating	outlet	55	cooling	outlet	15 / 7
		inlet	45		inlet	17 / 13
auxiliary heating	2 x 250 kW direct electric water heaters					

**technical data chiller**

Type	water chiller, RTWB
machine size	222
cooling capacity	693 kW
electric power	172 kW
COP	4.03
refrigerant	R 134a
refrigeration cycle	2
refrigeration charge	2 x 74 kg
compressor type	screw-type compressor
number of compressors	2
evaporator type	tube bundle heat exchanger
cold water volume evaporator	560 litre
condenser type	flooded tube bundle heat exchanger
maximum water temperature	60 °C
minimum cold water temperature	-12 °C
maximum cold water temperature	15 °C

## 1.2 Feasibility study of an application in Austria

This chapter describes a possible but interesting application of an industrial heat pump in an Austrian metal working plant. Initially, a monitoring of the operation of the heat pump was planned and the documentation should be part of the Austrian contribution on the HPP Annex 35. But, unfortunately the heat pump has not been realized up to now, because the decision of the industrial company for or against the heat pump application is still outstanding due to internal reasons by the company.

### 1.2.1 Compression heat pump for waste heat recovery of a chiller in a metalworking plant (Vehovec et al., 2013)

#### Project summary

Company	Umdasch Schopfitting (Former: Assmann Ladenbau GmbH) Ottokar Kernstock-Gasse 16 8430 Leibnitz
Location	Ottokar Kernstock-Gasse 16 8430 Leibnitz
Process application	Process heating
Type of heat pump	Compression Heat Pump
Capacity	Heating Capacity ca. 200 kW
Running hours	NOT REALISED YET Assumed ca. 4,000 h <sub>FullLoad</sub> /a
Year of operation	NOT REALISED YET
Reduction in CO <sub>2</sub> emission	Assumed 60 tons/a
Manufacturer/supplier	NOT REALISED YET
Pay back	< 6 a
More information/contact	Ing. Volker Vehovec T +43 3452 700 261 volker.vehovec@umdasch-shopfitting.com

Within the national R&D project "Promise Demo IF" (FFG-No: 825537), the possible integration of an industrial heat pump (IHP) in an Austrian metalworking industrial company has been investigated, which pointed out the big economical and ecological potential of industrial heat pump applications.

For this, a feasibility study for the utilization of the waste heat from an existing chiller by an IHP has been carried out. Also the energy efficiency and cost-effectiveness of the IHP has been analyzed to determine technical, ecological and economical criteria as a basis for the decision of the industrial company for or against the IHP application.

#### The possible application

The main objective of this project was to find an appropriate electrically driven IHP to increase the temperature of the condenser waste heat from an existing chiller at approximately 45°C to 80°C, to use it for the heat supply of the galvanic baths inside the industrial plant.

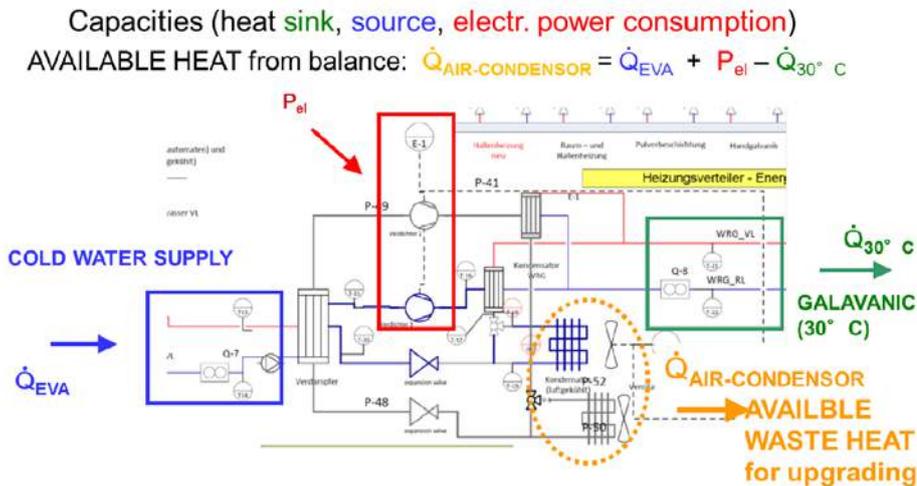
So far, the chiller is used to cool the welding plants inside the industrial plant. This compression chiller works uses R22 as refrigerant and according to the supplier of the chiller, it has a nominal cooling capacity of 152 kW (see Table 2).

**Table 1: Data of the chiller according to Fa. CLIMAVENTA [6]**

Capacity of the Chiller WRAR 0702/B	in	Value
Nominal cooling capacity	kW	152
Cold water temperatures	°C	7 / 12
Max. electr. power consumption (@ambient temperature of 35°C)	kW	58
Max. possible heat capacity of the low temperature waste heat recovery	kW	208
Cooling water temperatures of the low temperature waste heat recovery	°C	45 / 40

The chiller (see Figure 25) exists of two parallel refrigerant cycles with one common evaporator and a heat exchanger in each cycle to recover low temperature waste heat from the chiller at approximately 45°C, which was already used for the heat supply of a low temperature galvanic bath inside the company.

An analyses - by measuring the thermal and electrical energy flows from and to the chiller as well as the temperature levels of the internal and the external cycles, see Figure 25 - has been carried out in order to identify the temporally available capacity and temperature of the useable waste heat of the chiller.



**Figure 25: Schematic view of the existing chiller (Rieberer & Zotter, 2012)**

The measurement showed that in average a waste heat capacity of ca. 70 kW at a temperature level of 40°C is available at an usual utilization of the chiller. Reasons for this are a high part load rate of the chiller (even at full utilization of the welding plants) and that a share of the waste heat is already used to heat the low temperature galvanic bath.

Besides the availability of heat source also the "availability" of the heat sink has a major influence on the utilization of the IHP, because demand and supply have to fit together. Primarily, the IHP should be used to supply process heat to the

galvanic baths. Further investigations regarding the best integration of the IHP into the existing heating grid show that the primary return of the heating system should be used as a heat sink for the IHP. The main reason for this is that the average heating demand of the primary heating cycle is much higher than the heat capacity of the IHP and due to this fact all the available waste heat can be used by the IHP for the heat supply inside the industrial plant without any additional storage. Based on this data and the statistical records of the operating hours of the chiller the expectable full-load hours of the IHP have been extrapolated at 4.000 h per a.

### Theoretical analysis

Several HP systems with different refrigerants have been investigated for this application. Major thermodynamic properties for choosing a refrigerant as the volumetric cooling capacity, the level of high and low pressure, the discharge temperature of the compressor as well as the global warming potential (GWP) of the fluid itself has been compared to each. Furthermore, also the expected efficiency have been determined by calculating the COP for the given temperature levels.

According to Table 2, the highest COPs have been calculated for ammonia (R717) and water (R718). Both of them are natural refrigerants (GWP = 0). However, water has a very low volumetric cooling capacity and therefore it is not appropriate for this application. When using ammonia, its toxicity and flammability have to be taken into account.

R245fa (Pentafluoropropane) is a high-temperature refrigerant and its saturation pressure allows high condensing temperatures. However, it has low volumetric cooling capacity and there are no "standardized" heat pumps with this refrigerant available on the market so far.

R600a (Isobutane) has very low GWP und is promising for high-temperature applications due to its thermodynamic properties. The biggest withdrawal for its usage is its high flammability.

R134a (Tetrafluorethane) is a conventional refrigerant for condensing temperatures below 85°C. It is not flammable and not toxicity. However, when using this refrigerant its high GWP has to be taken into account.

A hybrid heat pump (compression/absorption HP) working with the mixture ammonia-water suits at high-temperature applications due to the fact that the high-side pressure of the process can be varied by changing the ammonia concentration in the sorption cycle. However, no standardized heat pump suitable for this application is available on the market yet.

**Table 2: Comparison of different HPs and refrigerants**

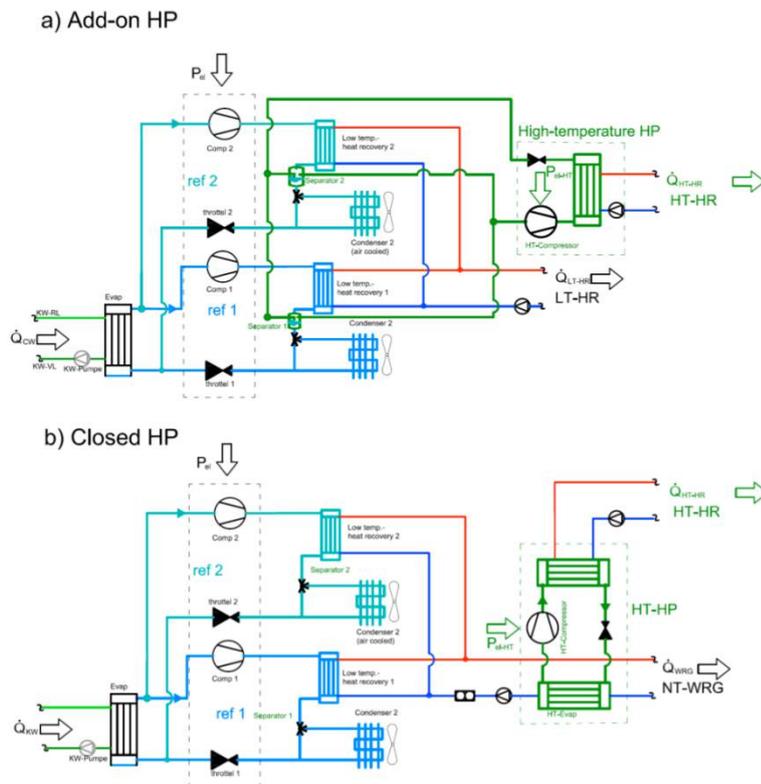
Scheme	Refrigerant	COP <sub>H</sub>	p <sub>SAT</sub> (80°C)	GWP	Toxicity	Flammable
		[-]	[bar]	[kg <sub>CO2-eq</sub> /kg]	[-]	[-]
Cascade	R134a	3.8	27.5	1300	No	No
Add-on	R134a	4.6	27.5	1300	No	No
Cascade	R245fa	4.2	8.3	950	Low	No
Cascade	R600a	4.0	13.8	3		Yes

Cascade	R717	4.3	43	0	Yes	Yes
Cascade	R718	4.4	0.5	0	No	No
Cascade	NH <sub>3</sub> -H <sub>2</sub> O (Hybrid-HP)	3.8	Variable	0	Yes	yes

### Manufacturer

Different manufacturers have been contacted concerning an offer for the heat pump. But only the Austrian supplier Cofely offered possibly plants for this application, a closed and an add-on heat pump. Two schemes of the heat pump integration were studied: Add-On HP and cascade HP (see Figure 26). As the refrigerant, R134a was suggested.

According to Cofely their add-on HP would achieve a COP of approximately 4 and the closed compression HP approximately 3.5. The reason for this is that the available temperature level of the heat source is better utilized by the add-on HP than by a closed HP. However, the installation of the add-on HP would require the substitution of the existing refrigerant R22 by R134a, which leads to a reduction of the cooling capacity of the chiller on about 30%. Furthermore, the installation of the Add-On HP is a challenge from the technical point of view, as avoiding oil carry-over and more complex control system. Additional, also the investment costs of the add-on HP are higher than for the closed one.



**Figure 26: Investigated types of the heat pump (R134a) integration: add-On HP (a) and closed HP (b)**

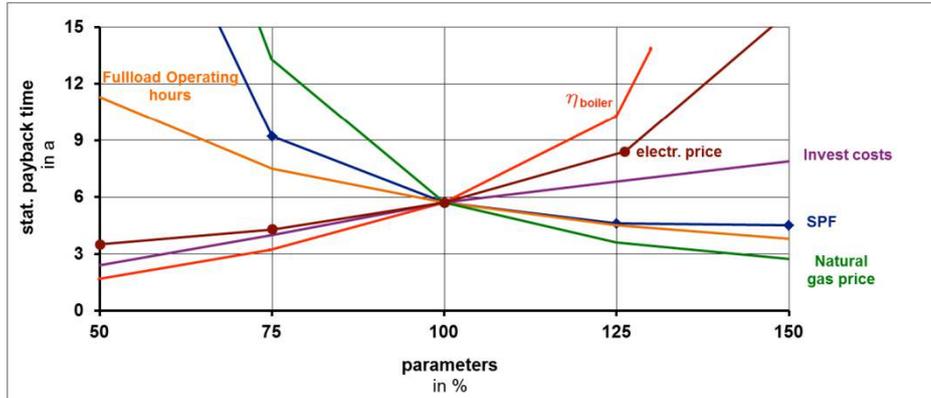
### Technical analysis

Taking these facts into account the closed R134a HP will be preferred for the waste heat utilization. Figure 26(b) shows that the evaporator of the cascade HP is installed in the return pipe of the primary water circuit of the existing boiler, and not in the supply pipe, because of following reasons:

- If there is no demand on high-temperature heat, the waste heat of the R22 chiller can be utilized by the low-temperature heat recovery system and/or rejected to the ambient by the existing air-condenser.
- The existing heat exchanger installed in the return flow of the low-temperature heat recovery system has a heating capacity of about 208 kW and is big enough to be used for both low-temperature and high temperature heat recovery.
- The R22 chiller could be in operation without any constructional changes up to the substitution of the existing refrigerant (additional cost savings).

### Economical and ecological analysis

Based on the offer of Cofely, the analysis of the cost-effectiveness of the cascade HP was carried out and it showed that the pay-back period is less than 6 years using static calculation and less than 7 years using dynamic calculation. Figure 27 shows the sensitivity analysis of the static pay-back period. It can be seen, that it depends strongly on the future gas and electricity prices, as well as on the SPF.



**Figure 27: Sensitivity analysis of the pay-back period**

Beside the economic benefit it has to be mentioned that this installation of the IHP allows a reduction of the CO<sub>2</sub>-emissions by approximately 60 tons per year compared to the existing gas boilers, which is a relative reduction of about 60%.

### 1.3 Literature

**Bergthaller T., 2013:** Data sheets about the absorption heat pump located at the biomass plant in Hallein – from Salzburg AG via email (26.03.2013) (unpublished)

**Cofely, 2013:** ENERGIEOPTIMIERTE KÄLTE- UND WÄRMEPUMPENANLAGE IN HOHENEMS; [http://www.cofely.info/uploads/media/efef\\_Hohenems\\_01.pdf](http://www.cofely.info/uploads/media/efef_Hohenems_01.pdf) (02.10.2013)

**Cofely, 2012:** Data sheets of different heat pump applications, send via email (10.10.2012) by Jürgen Fürtner (Cofely)

**efef, 2013:** <http://www.efef.at/> (02.10.2013)

**Gmunden, 2013:**  
<http://www.gmunden.ooe.gv.at/system/web/abteilung.aspx?menuonr=219137775&detailonr=12237> (02.10.2013)

**Klima:aktiv, 2009:** Workshop - Nachlese „Integration von Wärmepumpen in Biomasseanlagen Weiterbildungs- und Informationsveranstaltung“; 12. Mai 2009, Salzburg/Hallein  
[http://www.qm-heizwerke.at/index.asp?S=frames/f\\_nachlese\\_Integration\\_Waermepumpen\\_Salzburg\\_2009.htm&S1=menu/m\\_veranstaltungen.htm](http://www.qm-heizwerke.at/index.asp?S=frames/f_nachlese_Integration_Waermepumpen_Salzburg_2009.htm&S1=menu/m_veranstaltungen.htm) (02.10.2013)

**Klima:aktiv, 2011:** Prämiertes Projekt: Seidel Elektronik, Vernetzung Kälteverbraucher und Entlastung konventioneller Kältemaschine durch Kombination Wärmepumpe und Absorptionskälte; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR—AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium  
[http://.klimaaktiv.at/%2Fdms%2Fklimaaktiv%2Fenergiesparen%2Fbetriebe\\_prozesse%2Fvorzeigebetriebe%2Fkaeltesystemopt%2FSeidel-Elektronik\\_FREIGEGEBEN%2FSeidel%2520Elektronik\\_11.pdf&ei=DeZOuzyAee\\_p4AT\\_nYCoBQ&usq=AFQjCNGJUuPolo0qzfwP5xxa4LAOLY4MaA&bvm=bv.53537100.d.bGE](http://.klimaaktiv.at/%2Fdms%2Fklimaaktiv%2Fenergiesparen%2Fbetriebe_prozesse%2Fvorzeigebetriebe%2Fkaeltesystemopt%2FSeidel-Elektronik_FREIGEGEBEN%2FSeidel%2520Elektronik_11.pdf&ei=DeZOuzyAee_p4AT_nYCoBQ&usq=AFQjCNGJUuPolo0qzfwP5xxa4LAOLY4MaA&bvm=bv.53537100.d.bGE) (02.10.2013)

**klima:aktiv, 2012:** Prämiertes Projekt: Mohrenbrauerei, August Huber, Wärmerückgewinnung aus dem NH<sub>3</sub>-Kältekreislauf mittels einer Hochdruckwärmepumpe; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR—AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium  
[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeige\\_betriebe/waemerueckgewinnung/0016\\_Mohrenbrauerei-August-Huber\\_pp\\_2012/Mohrenbrauerei%20August%20Huber%2012.pdf](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeige_betriebe/waemerueckgewinnung/0016_Mohrenbrauerei-August-Huber_pp_2012/Mohrenbrauerei%20August%20Huber%2012.pdf) (02.10.2013)

**Klima:aktiv, 2012b:** Prämiertes Projekt: Daily Service Tiefkühllogistik GmbH & Co KG, Optimierung Kältezentrale und Wärmerückgewinnung für Heizzwecke; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR—AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium

[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeige\\_betriebe/kaeltesystemopt/Daily-Service-Tiefkuehllogistik-2012/Daily-Service-Tiefkuehllogistik%2012.pdf](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeige_betriebe/kaeltesystemopt/Daily-Service-Tiefkuehllogistik-2012/Daily-Service-Tiefkuehllogistik%2012.pdf) (02.10.2013)

**klima:aktiv, 2012c:** Prämiertes Projekt: Magna Auteca AG, Optimierung der Kälte- und Wärmeversorgung; ÖSTERREICHISCHE ENERGIEAGENTUR—AUSTRIAN ENERGY AGENCY, Lebensministerium

[http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe\\_prozesse/vorzeige\\_betriebe/kaeltesystemopt/Magna-Auteca-AG-2012/Magna%2520Auteca%2520AG%252012.pdf&ei=yH9VUtK5HbKP4gSd84DIBA&usq=AFQjCNHzXRWCdS1CsAv2WnBEqwyfKYZgg&bvm=bv.53760139.d.bGE&cad=rja](http://www.klimaaktiv.at/dms/klimaaktiv/energiesparen/betriebe_prozesse/vorzeige_betriebe/kaeltesystemopt/Magna-Auteca-AG-2012/Magna%2520Auteca%2520AG%252012.pdf&ei=yH9VUtK5HbKP4gSd84DIBA&usq=AFQjCNHzXRWCdS1CsAv2WnBEqwyfKYZgg&bvm=bv.53760139.d.bGE&cad=rja) (02.10.2013)

**mycom, 2007a:** Data sheet – CO<sub>2</sub> –compressor (compdata 38501-1 r1.xls) via email by [martin.hinterndorfer@energie-consulting.at](mailto:martin.hinterndorfer@energie-consulting.at) from 29.11.2013

**mycom, 2007b:** Data sheet – NH<sub>3</sub> –compressor (compdata 38501-2 r1.xls) via email by [martin.hinterndorfer@energie-consulting.at](mailto:martin.hinterndorfer@energie-consulting.at) from 29.11.2013

**Presetschnik A., Huber H., 2005:** Analysis of a Ground Coupled Heat Pump Heating and Cooling System for a Multi Storey Office Building; 8th IEA Heat Pump Conference 2005, Las Vegas, USA; 30.05.2005 - 02.06.2005.

**Rechberger, C. 2009:** Heat Recovery by Means of Flue-Gas Condensation at Biomass-Fired Cogeneration Plants - Master Thesis at Graz University of Technology, Institute for Thermal Engineering, 2009

**Rieberer R., Zotter G., 2012:** Ongoing Activities in Austria - IEA HPP/IETS Annex 35/13 – Application of Industrial Heat Pumps-meeting in Nuremberg, Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Oct. 10. 2010

**Salzburg AG, 2013:** Viewing the plant at Hallein in 2013 – Institute of Thermal Engineering at Salzburg AG in Hallein, 07.03.2013 (unpublished)

**Schweighofer, 2013:** <http://www.schweighofer-fibre.at/de/> (02.10.2013)

**Seidel, 2012a:** <http://www.seidel.at/sk/news-aamp-presse-mainmenu-26/newsarchiv-mainmenu-39/2012-archive> (02.10.2013)

**Seidel, 2012b:** <http://www.seidel.at/de/news-aamp-presse-mainmenu-26/newsarchiv-mainmenu-39/2012-archive/172> (02.10.2013)

**Seidel, 2013:** <http://www.seidel.at> (02.10.2013)

**Strabag, 2013:**

<http://www.strabag.com/databases/internet/public/content.nsf/web/DE-STRABAG.COM-konzerngebaeude.html> (07.10.2013)

**Vehovec V., Zotter G., Rieberer R., Mauthner F., 2013:** Industrielle Forschung für PROMISE DEMO (Produzieren mit Solarer Energie – Demonstrationsprojekt), Umdasch Schopfitting (Assmann Ladenbau), Institut für Wärmetechnik der TU Graz, AEE Intec; Hrsg: Der Klima- und Energiefonds der Bundesregierung (FFG-Nr.: 825537), Vienna, 2013

**WKÖ, 2012:** Nutzbare Kälte –in Die Wirtschaft - Die Zeitung der Wirtschaftskammer Vorarlberg (Nr. 16 – 20.04.2012)

<http://mag3.i->

[magazine.de/magPage/Die\\_Wirtschaft\\_Nr\\_16\\_am\\_20\\_April\\_2012/Nutzbare\\_Kaelte\\_20/#/0](http://mag3.i-magazine.de/magPage/Die_Wirtschaft_Nr_16_am_20_April_2012/Nutzbare_Kaelte_20/#/0) (02.10.2013)

## 7.6 Austrian Team Report IEA HPP-IETS Annex 35/13 Task 5



---

### Austrian Team Report

### IEA HPP / IETS Annex 35 / 13 Application of Industrial Heat Pumps

### Task 5 - Communication

Submitted by

**Graz University of Technology**  
**Institute of Thermal Engineering**  
Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Austria



Authors: **Gerald Zotter**  
**René Rieberer** (contact: [rene.rieberer@tugraz.at](mailto:rene.rieberer@tugraz.at))

**AIT – Austrian Institute of Technology**  
**Energy Department**  
Giefinggasse 2, 1210 Wien, Austria



Authors: **Andreas Zotti**  
**Thomas Fleckl**  
**Ivan Malenkovic**

Mar 17<sup>th</sup>, 2014

## 1 Communication in Austria concerning HPP Annex 35

Within the Austrian cooperation and contribution on the HPP-IETS Annex 35/13 a communication strategy has been developed in order to attain the essential objectives of the Implementing Agreements. The Austrian dissemination and communication activities include papers/presentations and other publications concerning the topic industrial heat pumps (see chapter 1.1). Furthermore, the national communication strategy focused on giving and getting important informations on the issue concerning the Annex 35/13 to and from relevant national stake holders:

- Within a national workshop the Austrian heat pump manufactures and community has been involved in the potential, application possibilities, challenges and technology trends of industrial heat pumps (see chapter 1.2).
- To reach the end users (the Austrian industrial and commercial companies), presentations of the benefits at relevant conferences as e.g. Zotter & Rieberer (2014) (see chapter 1.1) has been held, as well as a questionnaire (see chapter 1.2) has been developed and sent to the Austrian industry to indicate them to the possibility of using an industrial heat pump in their production.
- Involving relevant decision maker to this important topic, a national report about the activities and the results about the HPP-IETS Annex 35/13 will be prepared at end of the Annex and sent to the Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology of Austria (see chapter 1.4).
- This national report will be free and publicly available at the web site [www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/) to grant a broad access. At this website further information about the aims and activities of the HPP-IETS Annex 35/13 are available (see chapter 1.4).

As a highlight of the Austrian communication activities, which have to be mentioned, is the successful initiation - based on the experience of the HPP Annex 35 - of a national R&D project (FFG-Pr. Nr.: 834614) concerning the development of a high temperature hybrid compression/absorption heat pump with an alternative working pair for recovering industrial waste heat.

### 1.1 Publication list of Austria

Following a list of all Austrian papers/presentations or other publications on the issue concerning Annex 35/ 13 "Application of Industrial Heat Pumps" is given:

**Fleckl T., Zottl A., 2013:** „Simulation tools for the integration of heat pumps in complex systems“ 9. Info-Tag für Wärmepumpenhersteller, Vienna, Austria, 11.10.2013 (in German: *Simulationstools zur Integration von Wärmepumpen in komplexe Systeme*)

**Hoff C., 2011:** „High temperature heat pumps for industrial waste heat recovery“– Bachelor Thesis at the Faculty of Mechanical Engineering and Economic Sciences, University of Technology Graz, written at the Institute of Thermal Engineering of , University of Technology Graz, Austria, 2011 (in German: *Hochtemperaturwärmepumpen für industrielle Abwärmenutzung*)

- Moser, H.; Rieberer, R., 2010:** „Waste heat recovery due to flue gas condensing systems of biomass cogeneration plants“- in: Cluster Forum "Abwärmenutzung in der Industrie". Nuremberg, Germany, 19.11.2010 (in German: Wärmerückgewinnung mittels Rauchgaskondensationsanlagen biomassebefuerter Heizkraftwerke)
- Rieberer R., 2013:** „IEA HPP Annex 35 – Industrial Heat Pumps – Overview“ 9. Info-Tag für Wärmepumpenhersteller, Vienna, Austria, 11.10.2013 (in German: IEA HPP Annex 35 – Industrial Heat Pumps – Übersicht)
- Schachner T., 2012:** „Industrial heat pump applications in Austria - An ecological and economic comparison with conventional heat generators” - Bachelor Thesis, Faculty of Mechanical Engineering and Economic Sciences, University of Technology Graz, written at the Institute of Thermal Engineering of , University of Technology Graz, Austria, 2012
- Zotter, G.; Rieberer, R., 2013:** „Technical, ecological and economical analyse of a heat pump application for waste heat recovery in a metal-working industrial plant“ – in Proc.: DKV-Tagungsbericht 2013. Deutscher Kalte- und Klimatechnischer Verein Hannover, Germany, 20-22.11.2013, ISBN: 978-3-932715-49-5 (in German: Technische, ökologische und ökonomische Analyse des Einsatzes einer Wärmepumpe zur Nutzung von industrieller Abwärme in einem metallverarbeitenden Betrieb)
- Zotter G., Rieberer R., 2013:** „Industrial heat pumps – possibilities and potentials of in-plant waste heat recovery by heat pumps“ 9. Info-Tag für Wärmepumpenhersteller, Vienna, Austria, 11.10.2013 (in German: Industrielle Wärmepumpe - Möglichkeiten und Potentiale der innerbetrieblichen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen)
- Zotter, G.; Rieberer, R., 2014:** „Increase of the energy efficiency in Austrian industry due in-plant waste heat recovery with heat pumps by two examples“ – in Proc.: Symposium Energie Innovationen 2014. Graz, Austria, 13-15.02.2014, ISBN: 978-3-85125-310-8 (in German: „Steigerung der Energieeffizienz in Österreichs Industrie durch innerbetriebliche Abwärmenutzung mittels Wärmepumpensystemen anhand zweier Beispiele
- Zotter, G.; Rieberer, R., 2014:** „In-plant utilization of waste heat by heat pumping systems“; in Journal: KI-Kälte-, Luft-& Klimatechnik, published 22.05.2014 (in German: „Innerbetriebliche Nutzung von Abwärme mittels Wärmepumpen“)

## 1.2 National Workshop

A national workshop about the activities and issues concerning the HPP-IETS Annex 35/13 was held on Oct. 11, 2013 within the 9<sup>th</sup> Austrian Info-Day for Heat Pump Manufactures (see Figure 1).

Within this workshop the Austrian heat pump community has been informed about the activities of the HPP-IETS Annex 35/13, the application possibilities at relevant industrial branches, the economical and ecological potential, the technical issues and needs, as well as about the actual R&D trends of industrial heat pumps (see Figure 2). The work shop ends with a discussion about the economical objectives and future trends of industrial heat pumps. As recommendation on future developments, it has been summarized that the Austrian industry needs high-temperature heat pumps. Within this discussion, it was also pointed out, that beside the industry commercial buildings in Austria offer also a large potential for heat pump applications, as e.g. hotels.



Figure 1: Members of the 9<sup>th</sup> Austrian info-day for heat pump manufactures



Figure 2: Presentation of the aims and activities of the IEA HPP Annex 35

## 1.3 Questionnaire

In order to get in contact to the end users of industrial heat pumps a questionnaire have been developed and sent to the Austrian industrial and commercial companies. The sent questionnaires have two major aims, both to determine an overview of the actual energy consumption on the one hand and on the other hand to involve the industry with this topic.

Preliminary, about 360 companies in whole Austrian have been contacted via telephone. The questionnaires have been sent to all the companies, which have agreed to join with. But unfortunately, the number of completed, returned questionnaires has been rather poor despite repeated contact. Therefore, a branches selected analysis was not possible. However, according to the results of the questionnaire, for about 90% of the asked companies (40#) measures to reduce the energy consumption are considered. The most important criteria for or against a measures for saving energy in the industry are the economical rentability and the reliability of the production process. For Austrian industry payback time should be no longer than 3 years and in exceptional cases no longer than 6 years at all.

According to this analysis, about 67% of industrial companies know about the possibility to use heat pumps for their heat supply. But, the percentage of Austrian companies knowing about industrial waste heat recovery by heat pumps is lower. However, based on these results the relatively high investment costs and “long” payback periods were seen as the most important barriers by the industry. Furthermore, there is skepticism about the reliability of such systems, since experience of already installed plants are missing. Other barriers are a lack of know-how in Austria regarding the integration and operation of high-temperature heat pumps in different production processes, as well as a previously unattractive energy price situation. But, with an expectable increase in fossil fuel prices in future and a gain in experience the industrial heat pump will become much more attractive for the industry compared to conventional boilers.

#### ***1.4 National report (web site)***

After the end of the IEA HPP-IETS Annex 35/13, a national report will be written to give a detailed overview of all the results, the Austrian contributions and activities of this Annex. This national report will be published by the Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology of Austria (bmvit) via the public domain web site “[www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/)” to grant a broad and generally access to reach a relevant spin-doctors and policy-maker. This web site also gives further information about the aims and activities of the HPP-IETS Annex 35/13.

The national report will include an overview of the energy situation in Austrian industry, the potential for reducing CO<sub>2</sub>-emission in the industry using heat pumps and an overview of the available heat pump technology and R&D trends suitable for the industry. Furthermore, also an overview of possible barriers, legal standards as well as funding guidelines in Austria concerning the application of industrial heat pumps will be part of this report. A main part of the report will be related to application possibilities in different industry branches and processes, as well as the documentation of some realised plants in Austria.

The major aim of this national report is to overcome the mostly relevant barriers like e.g. missing experience and know-how., which hinder a wider field of heat pump applications in Austrian industry up to now.

The national report will be mainly addressed to the heat pumps manufacturer, the industry, consulting engineers and installers as well as policy makers for input to directives and legislation.

## **7.7 International Policy Paper IEA HPP-IETS Annex 35/13**

Bitte wenden Sie sich an das

Heat Pump Centre ([www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org))

oder den

Operating Agent des IEA HPP-IETS Annex 35/13:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Laue ([Laue.izw@t-online.de](mailto:Laue.izw@t-online.de))

## **7.8 International Report IEA HPP-IETS Annex 35/13**

Bitte wenden Sie sich an das

Heat Pump Centre ([www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org))

oder den

Operating Agent des IEA HPP-IETS Annex 35/13:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Laue ([Laue.izw@t-online.de](mailto:Laue.izw@t-online.de))

## 7.9 Publication list - Austria

- Fleckl, T. & Zottl, A., 2013:** „Simulation tools for the integration of heat pumps in complex systems“ 9. Info-Tag für Wärmepumpenhersteller, Vienna, Austria, 11.10.2013 (in German: *Simulationstools zur Integration von Wärmepumpen in komplexe Systeme*)
- Fleckl, T. & Zottl, A., 2014:** „Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen - Anwendungsbeispiele & Casestudies aus In- und Ausland“ 2. nationaler Workshop – IEA HPP Annex 35, Wien, 07.10.2014
- Hartl, M. & Fleckl, T. 2014:** Einsatz von Hochtemperaturwärmepumpen zur Wärmerückgewinnung in Rauchgaskondensationsanlagen, Austrian Institute of Technology, Energy Department, Vienna, Austria; Österreichischer Beitrag zum IZW – Kurs: Wärmepumpen für die industrielle; Nürnberg, GER, Oktober 2014)  
<https://www.chillventa.de/en/kongress/2/2014-10-13/izw---kurs-waermepumpen-fuer-die-industrielle-anwendung/10304/#>
- Hoff, C., 2011:** „High temperature heat pumps for industrial waste heat recovery“– Bachelor Thesis at the Faculty of Mechanical Engineering and Economic Sciences, University of Technology Graz, written at the Institute of Thermal Engineering of , University of Technology Graz, 2011 (in German: Hochtemperaturwärmepumpen für industrielle Abwärmenutzung)
- Moser, H. & Rieberer, R., 2010:** „Waste heat recovery due to flue gas condensing systems of biomass cogeneration plants“- in: Cluster Forum "Abwärmenutzung in der Industrie". Nürnberg, Deutschland, 19.11.2010 (in German: Wärmerückgewinnung mittels Rauchgaskondensationsanlagen biomassebefuerter Heizkraftwerke)
- Rieberer, R., 2013:** „IEA HPP Annex 35 – Industrial Heat Pumps – Overview“ 9. Info-Tag für Wärmepumpenhersteller, Vienna, Austria, 11.10.2013 (in German: *IEA HPP Annex 35 – Industrial Heat Pumps – Übersicht*)
- Rieberer, R., Zotter, G., Fleckl, T. & Zottl, A., 2014:** „ Industrial Heat Pumps in Austria – Absorption heat pump in a wood-processing company“ int. Workshop – IEA HPP/IETS Annex 35/13 “Application of Industrial Heat Pumps” Montreal, Kanada 12.05.2014
- Rieberer, R., Zotter, G. & Hannl, D., 2014:** „ Wärmepumpen für den industriellen Einsatz “ KIEN-Sciences Brunch, Graz, 14.10.2014
- Rieberer, R., 2014:** „Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen - Inhalte des IEA HPP Annex 35“2. nationaler Workshop – IEA HPP Annex 35, Wien, 07.10.2014
- Schachner, T., 2012:** „Industrial heat pump applications in Austria - An ecological and economic comparison with conventional heat generators” - Bachelor Thesis, Faculty of Mechanical Engineering and Economic Sciences, University of Technology Graz, written at the Institute of Thermal Engineering of , University of Technology Graz, 2012
- Zotter, G. & Rieberer, R., 2013a:** „ Technische, ökologische und ökonomische Analyse des Einsatzes einer Wärmepumpe zur Nutzung von industrieller Abwärme in einem

metallverarbeitenden Betrieb “ – in Proc.: DKV-Tagungsbericht 2013. Deutscher Kalte- und Klimatechnischer Verein Hannover, Germany, 20-22.11.2013, ISBN: 978-3-932715-49-5

**Zotter, G. & Rieberer, R., 2013b:** „ *Industrielle Wärmepumpe - Möglichkeiten und Potenziale der innerbetrieblichen Abwärmenutzung mittels Wärmepumpen* “ 9. Info-Tag für Wärmepumpenhersteller, Vienna, Austria, 11.10.2013

**Zotter, G. & Rieberer, R., 2014a:** „Steigerung der Energieeffizienz in Österreichs Industrie durch innerbetriebliche Abwärmenutzung mittels Wärmepumpensystemen anhand zweier Beispiele“ – in Proc.: Symposium Energie Innovationen 2014. Graz, 13-15.02.2014, ISBN: 978-3-85125-310-8 (in German: [http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2014/files/lf/LF\\_Zotter.pdf](http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2014/files/lf/LF_Zotter.pdf))

**Zotter, G. & Rieberer, R., 2014b:** „Innerbetriebliche Nutzung von Abwärme mittels Wärmepumpen“ – in Fachzeitschrift: KI Kälte Luft Klimatechnik, published 22.05.2014

**Zotter, G. & Rieberer, R., 2014c:** „Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen - Potentiale und internationale Forschungstrends“ 2. nationaler Workshop – IEA HPP Annex 35, Wien, 07.10.2014