

IEA Wärmepumpen Annex 48: Industrielle Wärmepumpen Phase II

V. Wilk, A. Arnitz, R. Rieberer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

31/2020

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

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Wärmepumpen Annex 48: Industrielle Wärmepumpen Phase II

Dipl.-Ing. Dr. Veronika Wilk
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Dipl.-Ing. Dr. Alexander Arnitz,
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. René Rieberer
Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

Wien, Februar 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

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

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

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

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

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract.....	10
3	Ausgangslage.....	12
4	Projekthalt.....	13
5	Ergebnisse	19
	5.1. Task 1 (Analyse von Fallstudien) und Task 2 (Aufbereitung der Information und Erstellung von Leitfäden)	19
	5.2. Task 3 (Anwendung von Modellen)	33
	5.3. Task 4 (Kommunikation)	35
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	37
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	38
8	Quellen und Verzeichnisse.....	40
	8.1. Literaturverzeichnis	40
	8.2. Abbildungsverzeichnis	41
	8.3. Tabellenverzeichnis.....	41
	8.4. Abkürzungsverzeichnis.....	42

1 Kurzfassung

Motivation und Zielsetzung: Wärmepumpen für industrielle Anwendungen sind ein zentrales Element in der zukünftigen Energieinfrastruktur, weil sie Niedertemperaturabwärme wieder nutzbar machen und so einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung industrieller Prozesse und zur Vermeidung von CO₂-Emissionen leisten. Trotz ihrer Verfügbarkeit werden Industrierärmepumpen erst vereinzelt eingesetzt und befinden sich damit in einer frühen Phase der Diffusion. Das Ziel des IEA HPT Annex 48 war es, die weitere Verbreitung dieser Technologie durch die Entwicklung und Verbreitung von Informationen zu unterstützen. Dazu wurden Anwendungsbeispiele für Industrierärmepumpen in allen teilnehmenden Ländern erhoben, aufbereitet und den relevanten Zielgruppen zur Verfügung gestellt. Ebenso wurden Simulationstools und Modelle, mit denen Wärmepumpen effizient in industrielle Prozesse integriert werden können, erläutert, und das Potential von Industrierärmepumpen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Reduzierung von Treibhausgasemissionen für Politik, Industrie und Wärmepumpenhersteller aufbereitet. Die teilnehmenden Länder waren Deutschland, Österreich, Frankreich, Japan, Dänemark, Großbritannien und die Schweiz.

Methode: Zur Erhebung der Anwendungsbeispiele für Industrierärmepumpen in Österreich wurden Expertengespräche mit Herstellern und Industrieunternehmen geführt. Zusätzlich wurden Verkaufstatistiken, Daten der Statistik Austria, die Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen, sowie Studien und Forschungsprojekte ausgewertet.

Ergebnisse:

- Erfassung von 68 Wärmepumpenanlagen in der österreichischen Industrie
- Detaillierte Beschreibung von 10 Wärmepumpenanlagen
- Leitfaden und branchenbezogene Factsheets zur Schulung zukünftiger Anwender, Anlagenplaner, Förderstellen sowie kommunale Entscheidungsträger
- Broschüre über Wärmepumpen in für Österreich relevanten Branchen mit 26 Fallbeispielen aus den im IEA HPT Annex 48 vertretenen Ländern
- Disseminierung: 11 Veröffentlichungen bei internationalen Konferenzen, Workshops und Zeitschriften

Am häufigsten werden Wärmepumpen derzeit in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Üblicherweise werden diese Wärmepumpen zum gleichzeitigen Heizen und Kühlen verwendet, wie zum Beispiel Kältemaschinen mit Abwärmenutzung. Die Heizleistungen der erhobenen Beispiele liegen im Bereich von einigen 10-100 kW, die Wärme wird zumeist im Betrieb selbst genutzt (Gebäude- und Hallenheizung, sowie Prozesswärme). Wärmepumpen, die die für diese Anwendungen benötigte Vorlauftemperatur von ca. 80 °C liefern, sind bereits marktverfügbar. Die zweite große Gruppe der Anwendungen umfasst Kraftwerke, die Fernwärme bereitstellen. Dabei werden Wärmepumpen überwiegend zur Rauchgaskondensation eingesetzt, um so den Brennstoffnutzungsgrad weiter zu erhöhen. Hier kommen sowohl Kompressions- als auch Absorptionswärmepumpen zur Anwendung. Wärmepumpen, die industrielle Abwärme nutzen und Heizleistungen im MW-Bereich liefern, speisen in der Regel in Fernwärmenetze ein. Durch die Weiterentwicklung der Wärmepumpen zu höheren Wärmenutzungstemperaturen durch neue

Kältemittel steigt die Zahl der Wärmepumpen in Fernwärmenetzen. In den erhobenen Beispielen liegt die Vorlauftemperatur zwischen 60 und 95 °C.

Erkenntnisse aus dem internationalen Projekt: In allen teilnehmenden Ländern des IEA HPT Annex 48 wurden insgesamt mehr als 300 Anwendungsbeispiele für Industriegärmepumpen erhoben. Davon stammt rund ein Drittel der Beispiele aus Japan, ein weiteres Drittel aus Österreich und Dänemark. Eine Gemeinsamkeit der Fallstudien aus den verschiedenen Ländern ist, dass Industriegärmepumpen derzeit vor allem in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden, da hier vergleichsweise niedrige Wärmenutzungstemperaturen benötigt werden. Durch gleichzeitiges Heizen und Kühlen oder die Nutzung von Abwärme aus Kälteanlagen ergeben sich positive Synergieeffekte.

Schlussfolgerung: Das Interesse der Industrie an Wärmepumpen nimmt zu. Effizienzsteigerung der Prozesse und die Vermeidung von CO₂-Emissionen sind dabei wichtige Treiber. Ebenso wichtig sind technologische Weiterentwicklungen, wie höhere Nutzungstemperaturen, sowie die sorgfältige Integration der Wärmepumpen in den Prozess, die maßgeblich über die Effizienz entscheidet. Die große Zahl der Anwendungsbeispiele aus Österreich trägt dazu bei, Österreich als Vorreiter von Industriegärmepumpen zu positionieren und innovative und effiziente Lösungen in österreichischen Betrieben, sowie heimische Wärmepumpenhersteller und innovative Forschungsprojekte sichtbar zu machen.

2 Abstract

Motivation and objective: Heat pumps for industrial applications are a key element in the future energy infrastructure, because they transfer low grade waste heat into valuable process heat and thus make an important contribution to increasing the energy efficiency of industrial processes and avoiding CO₂ emissions. Despite their availability, industrial heat pumps are currently only used in limited number of cases and are therefore in an early phase of diffusion. The aim of the IEA HPT Annex 48 was to support the further diffusion of this technology by developing and disseminating information for relevant target groups. For this purpose, application examples for industrial heat pumps in all participating countries were collected, processed and disseminated. Furthermore, simulation tools and models for integrating heat pumps efficiently into industrial processes are explained and the potential of industrial heat pumps to increase energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions is summarized to inform policy makers, industry and heat pump manufacturers. The participating countries are Germany, Austria, France, Japan, Denmark, Great Britain and Switzerland.

Methods: Expert interviews with manufacturers and industrial companies were conducted to collect the application examples of industrial heat pumps in Austria. In addition, sales statistics, data from Statistics Austria, the Austrian Technology Roadmap for Heat Pumps, and studies and research projects were evaluated.

Results:

- Collection of 68 heat pump systems in Austrian industry
- Detailed description of 10 heat pump systems
- Guidelines and industry-related factsheets for training future users, plant engineers, funding agencies and municipal decision-makers
- Brochure on heat pumps in sectors relevant for Austria with examples from the countries represented in IEA HPT Annex 48
- Dissemination: 11 publications at international conferences, workshops and journals

Heat pumps are currently used most frequently in the food industry. Usually these heat pumps are used for simultaneous heating and cooling, such as chillers with waste heat recovery. The heating capacities of the application examples are in the range of some 10-100 kW, the heat is mostly used in the company itself (building and hall heating, as well as process heat). Heat pumps that supply the flow temperature of approx. 80 °C required for these applications have been available on the market. The second large group of applications are power plants providing district heating. Here heat pumps are mainly used for flue gas condensation to further increase the fuel efficiency. Both compression and absorption heat pumps are used here. Heat pumps that recover industrial waste heat and provide heating capacities in the MW range generally feed into district heating networks. The further development of heat pumps to achieve higher heat usage temperatures using new refrigerants increases the number of heat pumps in district heating networks. In the collected examples the flow temperature is between 60 and 95 °C.

Findings from the international project: In all participating countries of IEA HPT Annex 48, a total of more than 300 application examples for industrial heat pumps were assessed. About one third of the examples come from Japan, another third from Austria and Denmark. A common feature of the case studies from the different countries is that industrial heat pumps are currently used primarily in the food industry, where comparatively low heat usage temperatures are required. Positive synergy effects result from simultaneous heating and cooling or the use of waste heat from refrigeration plants.

Conclusion: The interest of the industry in heat pumps is increasing. Important drivers are increasing process efficiency and avoiding CO₂ emissions. Equally important are technological developments, such as higher usage temperatures, as well as the skillful integration of heat pumps into the process, which is decisive for efficiency. The large number of application examples from Austria helps to position Austria as a pioneer of industrial heat pumps and to make innovative and efficient solutions in Austrian companies, as well as national heat pump manufacturers and innovative research projects visible.

3 Ausgangslage

Effiziente Energienutzung in industriellen Prozessen soll einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Besondere Bedeutung kommt dabei der Nutzung von Abwärme zu. Forman et al. (2016) haben errechnet, dass im Jahr 2016 weltweit 106 EJ in der Industrie verbraucht wurden, das entspricht dem Hundertfachen des österreichischen Endenergieverbrauchs (1126 PJ im Jahr 2018; Statistik Austria, 2018). Davon wurden 52 EJ oder 49 % genutzt, 54 EJ gingen in Form von Abwärme verloren. Die Verluste sind zu rund zwei Drittel auf Abwärme in Abgasen und Abwasser, sowie zu einem Drittel auf Strahlung, Reibung, Widerstand, etc. zurückzuführen. Die Abwärme fällt auf verschiedenen Temperaturniveaus an, 42 % mit unter 100 °C, 20 % zwischen 100 und 299 °C und 38 % der Abwärme mit über 300 °C.

Wärmepumpen für industrielle Anwendungen ermöglichen die Nutzbarmachung von Niedertemperaturabwärme und werden daher als ein zentrales Element in der zukünftigen Energieinfrastruktur gesehen. So können sie einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung industrieller Prozesse und zur Vermeidung von CO₂-Emissionen leisten (SET Plan, 2015; Hartl et al., 2016).

Durch Wärmepumpen können Abwärmeströme mit ca. 40 bis 100 °C, die derzeit nicht genutzt werden, wieder auf ein brauchbares Temperaturniveau gehoben und in den Prozess zurückgeführt oder anderswertig genutzt werden. Dabei spielt die Wärmenutzungstemperatur eine wichtige Rolle. Zahlreiche Hersteller bieten Wärmepumpen mit Vorlauftemperaturen von bis zu 100 °C an und decken dabei Heizleistungen von einigen 10 kW bis mehreren MW ab. Wie Arpagaus et al. (2018) in einer umfassenden Veröffentlichung gezeigt haben, erweitern aktuell Wärmepumpenhersteller ihr Portfolio in Richtung Hochtemperaturanwendungen, die bis zu 160 °C erreichen.

Das Einsatzspektrum von Wärmepumpen in der Industrie umfasst verschiedenste Prozesse, wobei viele bereits mit den heute verfügbaren Wärmepumpen erschlossen werden können. Dazu zählen beispielsweise zahlreiche Prozesse in der Lebensmittelindustrie (Reinigungsprozesse rund 80 °C, Blanchieren oder Brühen ca. 90 °C) oder der Metallverarbeitung (Beizen, Galvanisieren, Entfetten bis zu 100 °C). (Arpagaus, 2018)

Wie Erhebungen im Rahmen des Vorgängerprojekts IEA HPT/IETS Annex 35/13 gezeigt haben, werden Wärmepumpen in industriellen Prozessen trotz ihrer Verfügbarkeit in Österreich erst vereinzelt eingesetzt. Die bekannten Anwendungsfälle umfassen u.a. den Einsatz zur Prozesswärmeerzeugung resp. Kühlung in der Nahrungsmittelindustrie (Brauereien, Salzbergwerk, Fleischindustrie), zur Rauchgaskondensation in Biomassekraftwerken oder zur Warmwasserproduktion in Wäschereien. Als Barrieren für den Einsatz von Industrierärmepumpen wurden im Zuge einer Befragung österreichischer Unternehmen aus den Branchen Chemie, Lebensmittel, Metall, Papier und Textil neben wirtschaftlichen Gründen, wie zu hohen Investitionskosten und einer zu langen Amortisationszeit, insbesondere auch technische und strukturelle Barrieren wie Risiken hinsichtlich Produktionssicherheit, Erfahrungsdefizite mangels einer größeren Anzahl an realisierten Anlagen, sowie höhere Temperaturanforderungen als mit dem Stand der Technik erreichbar, genannt (vgl. Final Report, IEA HPT/IETS Annex13/35, 2014).

4 Projektinhalt

Der IEA HPT Annex 48 ist das Nachfolgeprojekt von IEA HPT/IETS Annex 35/13 und baut auf dessen Ergebnissen und Erkenntnissen auf. Die wesentlichen Barrieren bei der Verbreitung von Industriegewärmepumpen stellen fehlende Erfahrungen und Informationsdefizite und damit einhergehende mangelnde Akzeptanz von Wärmepumpen in Industrieunternehmen, dar.

Der IEA HPT Annex 48 zielte daher darauf ab, mit diversen Aktivitäten die genannten Barrieren zu reduzieren, um damit eine breite Markteinführung von Industriegewärmepumpen zu forcieren. Dies erfolgte vor allem durch die Sammlung von Informationen, deren entsprechende zielgruppen-spezifische Aufbereitung und Verbreitung in Form ansprechender Informationsmaterialien. Der Schwerpunkt der Recherchetätigkeiten lag dabei auf Prozessen mit großem Multiplikations-potential. Konkret verfolgte das internationale Projekt des IEA HPT Annex 48 folgende Ziele:

- Analyse von Fallstudien von realisierten Wärmepumpenanwendungen in Industriezweigen, die großes Potenzial für Abwärmerückgewinnung aufweisen
- Verdichtung der Ergebnisse zu Leitfäden für den Einsatz von industriellen Wärmepumpen und Präsentation der Ergebnisse auf einer Website
- Anleitung zur Anwendung von Simulationstools und Modellen zur Integration einer Wärmepumpe in einen Prozess
- Information über das Potential von Industriegewärmepumpen zur Steigerung der Energieeffizienz und der Reduzierung von Treibhausgasemissionen für Politik, Industrie und Wärmepumpenhersteller

Das Annexprojekt ist in vier Tasks gegliedert, die in nachfolgender Tabelle 1 beschrieben werden. Das österreichische Konsortium, AIT Austrian Institute of Technology GmbH und Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, beteiligte sich an Task 1,2 und 4.

Tabelle 1: Übersicht über Tasks sowie Taskinhalte

Task	Inhalte
Task1: Analyse von Fallstudien	Auswahl von interessanten und erfolgreichen Anwendungsbeispielen von Industriegewärmepumpen Auswahl von Industrieprozessen, die großes Potential für Wärmepumpenanwendungen haben (beispielsweise auch durch Verbesserung der Produktqualität durch veränderte Prozesse mit Wärmepumpen)
Task2: Aufbereitung der Information und Erstellung von Leitfäden	Datenbank mit aufbereiteten Informationen aus Task 1 Gliederung nach Industriesparten
Task 3: Anwendung von Wärmepumpenmodellen	Simulationsmodelle zur Integration von Wärmepumpen in Industrieprozesse Analyse von Softwaretools (z.B. OSMOSE)

Task	Inhalte
Task 4: Kommunikation	Verbreitung der Erkenntnisse über Wärmepumpen in der Industrie insbesondere bei politischen Entscheidungsträgern, Industrieanlagenplanern, sonstigen Stakeholdern und Wärmepumpenherstellern Gezielte Information zu den Chancen und Möglichkeiten für Industriewärmepumpen (CO ₂ Einsparung, Energieeffizienzsteigerung, ökonomische Vorteile)

Teilnehmende Länder und Aufgabenverteilung

Das internationale IEA HPT Annex 48 Projekt wird vom IZW e.V. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik geleitet, der Operating Agent ist Dr. Rainer Jakobs (jakobs@izw-online.de). Es nahmen folgende Organisationen und Länder teil (Tabelle 2):

Tabelle 2: Partner des IEA HPT Annex 48

Land	Organisation
Deutschland	IZW e.V. Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik
Österreich	AIT Austrian Institute of Technology Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz
Frankreich	EDF R&D
Schweiz	Industrial Process and Energy Systems Engineering group (IPESE), École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) Institute for Energy Systems, NTB University of Applied Sciences of Technology Buchs
Dänemark	DTI Danish Institute of Technology
Großbritannien	Ulster University
Japan	NEDO, CRIEPI, JEH Center, Chubu Electric Power

Jedes teilnehmende Land brachte ein Arbeitspensum von rd. 3,5 PM pro Jahr ein. In diesem Rahmen erstellte jeder Teilnehmer nationale Beiträge zur Task- und Endberichten, lieferte Input zu zumindest einem der Tasks, nahm aktiv an den Arbeitsmeetings sowie Workshops teil. Jeder Teilnehmer brachte eigene Inhalte und Ergebnisse nationaler Projekte ein.

Einbettung der österreichischen Partner in den Annex zur Erlangung eines gemeinsamen Erkenntnisgewinns

Das österreichische Konsortium nahm an den internationalen Expertenmeeting und Workshops teil, um dort die Erkenntnisse aus laufenden Forschungsprojekten sowie die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Arbeiten einzubringen und um sich mit den internationalen Experten über deren laufende Forschungsaktivitäten auszutauschen.

Ergebnisse des österreichischen Projektes

- Erfassung von 68 Wärmepumpenanlagen in österreichischen Industrieprozessen
- Detaillierte Beschreibung von 10 Wärmepumpenanlagen
- Leitfaden zur Schulung zukünftiger Anwender, Anlagenplaner, Förderstellen sowie kommunale Entscheidungsträger
- Broschüre über Industriegewärmepumpen in für Österreich relevanten Branchen mit 26 Beispielen aus den im IEA HPT Annex 48 vertretenen Ländern
- Disseminierungstätigkeiten: 11 Veröffentlichungen bei internationalen Konferenzen, Workshops und Zeitschriften
- Reporting: Fortschrittsberichte zum IEA HPT zur Veröffentlichung im Newsletter und jährlicher Bericht zum ExCo des IEA HPT, Abschlussbericht, der alle Ergebnisse des IEA HPT Annex 48 zusammenfasst

Vorgangsweise und Methoden

Zur Erhebung der Anwendungsbeispiele für industrielle Wärmepumpen in Österreich wurden Expertengespräche mit Herstellern und Industrieunternehmen geführt. Zusätzlich wurden Verkaufsstatistiken, Daten der Statistik Austria, die Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen (Hartl et al., 2016), sowie Studien und Forschungsprojekte ausgewertet.

Im Sinne des internationalen IEA HPT Annex 48 werden unter Industriegewärmepumpen jene Anlagen verstanden, die im mittleren und großen Leistungsbereich arbeiten und Wärmenutzungstemperaturen von bis zu 200 °C bereitstellen. Sie werden zur Wärmerückgewinnung und zur Aufwertung von Wärme in industriellen Prozessen, aber auch für Heizung, Kühlung und Klimatisierung in Gewerbe und Industriegebäude eingesetzt. Um die Vergleichbarkeit der Fallstudien aus den teilnehmenden Ländern gewährleisten zu können, wurde in den internationalen Projektmeetings Kategorien erarbeitet, an Hand derer die Fallstudien im Detail beschrieben wurden. Dabei wurden Daten zur Installation, zur Wärmepumpe, zu den Kosten, zur Wirkung, zur Zufriedenheit und zu Betriebserfahrungen erfasst (

Tabelle 3). Anhand der Fallstudien wurden mögliche Wärmequellen für die Wärmepumpe ermittelt, dabei lag der Schwerpunkt auf der Wärmerückgewinnung von industrieller Abwärme. Ebenso wurden Informationen zur Wärmenutzung (z.B. Prozesswärme, Gebäudeheizung, Fernwärme) erhoben. Zur Beschreibung der Wärmequellen und –senken sind vor allem die erforderlichen Temperaturniveaus, sowie der Leistungsbereich maßgeblich. Außerdem wurden, wenn möglich, besondere Anforderungen, die sich aus dem Industrieprozess ergeben, erhoben. Dabei kann es sich zum Beispiel um spezielle Eigenschaften der Prozessfluide, die die Auslegung der Wärmepumpe beeinflussen (Partikelgehalt, korrosiv, etc.), handeln.

Tabelle 3: Kategorien zur Erfassung der Fallbeispiele

Kategorie	Unterpunkte
Installation	<ul style="list-style-type: none"> Industrie, Anwendung Prozess Ort der Aufstellung Wärmepumpen-Hersteller Jahr der Inbetriebnahme
Technologie der Wärmepumpe	<ul style="list-style-type: none"> Kältekreisconfiguration (offener oder geschlossener Kreis, mechanische oder thermische Verdichtung) Kältemittel Verdichtertyp Heiz- und Kälteleistung Wärmequelle und Wärmesenke (Ein- und Austrittstemperaturen) Jährliche Betriebsstunden COP Fossile Energiebereitstellung (Backup), wenn vorhanden Speichervolumen, wenn vorhanden
Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> Investitionskosten Förderung Energiekosten für Strom, Gas, Öl (je nach Anwendung) Primärenergiefaktor für Strom, Gas, Öl (je nach Anwendung) CO₂ Faktor für Strom, Gas, Öl (je nach Anwendung) Thermischer Energieeinsatz Elektrischer Energieeinsatz Thermische Energiebereitstellung Jährliche Energiekosten Jährliche Instandhaltungskosten Jährliche Betriebskosten Energiekosteneinsparung Primärenergiebedarfsreduktion CO₂-Emissionsreduktion Amortisationszeit Weitere Vorteile (z.B. Erhöhung der Produktqualität)
Zufriedenheit und Erfahrungen	<ul style="list-style-type: none"> Argumente, um Wärmepumpen einzusetzen Zufriedenheit mit der Anlage, Betriebserfahrungen

Ein wesentliches Ziel des Annexprojektes war es, gezielt Informationen über Industrierärmepumpen zur Verfügung zu stellen, damit diese Technologie weitere Verbreitung findet und bisher bestehende Hemmnisse leichter überwunden werden können. Dazu wurden die österreichischen Erkenntnisse zur Prozessintegration aus den nationalen Fallstudien für die Informationsplattform aufbereitet und zur Verfügung gestellt (Task 2).

Außerdem wurden Schulungsunterlagen für Seminare und Workshops über Industrierärmepumpen erstellt, um zukünftige Anwender, Anlagenplaner und Entscheidungsträger gezielt informieren zu können (Task 4). Dazu wurde ein Schulungsleitfaden entwickelt, der neben der Erklärung der grundlegenden Funktion der Wärmepumpe Informationen zu branchentypischen Abwärmepotentialen enthält, die an Hand von Best-Practice Beispielen demonstriert werden. Es wurden die Randbedingungen für eine erfolgreiche technische Integration der Industrierärmepumpe genau beschrieben. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Methode der techno-ökonomischen Bewertung, die erklärt und auf den Einsatz von Wärmepumpen in Industrieprozessen

angewandt wird. Damit können Primärenergieeinsparungen, CO₂-Emissionsreduktionen und mögliche Betriebskostensparnisse im Vergleich zu herkömmlichen Wärmebereitstellungsanlagen ermittelt werden.

Zur gezielten Information von potentiellen Anwendern von Wärmepumpen wurde außerdem eine deutschsprachige Broschüre mit kurzen Fact Sheets erstellt, die 26 branchenspezifische Anwendungsbeispiele aus den teilnehmenden Ländern des IEA HPT Annex 48 enthält.

Die Projektwebsite <https://waermepumpe-izw.de/> zeigt anhand interaktiver Karten die in Japan und Europa analysierten Fallstudien. Des Weiteren werden dort alle Publikationen und Präsentationen zum Download angeboten.

5 Ergebnisse

5.1. Task 1 (Analyse von Fallstudien) und Task 2 (Aufbereitung der Information und Erstellung von Leitfäden)

Industriewärmepumpen in Österreich: Status Quo

Der österreichische Wärmepumpenmarkt wird von Heizungswärmepumpen dominiert, wobei der Großteil der Anlagen Heizleistungen von bis zu 20 kW aufweist. Industriewärmepumpen machen einen sehr kleinen Teil aus. Sie werden seit 2012 separat erhoben, es handelt sich dabei um Wärmepumpen im großen Leistungsbereich, die projektspezifisch für industrielle und gewerbliche Zwecke geplant, gefertigt und installiert werden. Die Entwicklung des Inlandsmarktes ist in Abbildung 1 dargestellt. Wie ersichtlich, wurden 163 Industriewärmepumpen seit 2012 in Österreich verkauft. (Biermayr et al., 2018)

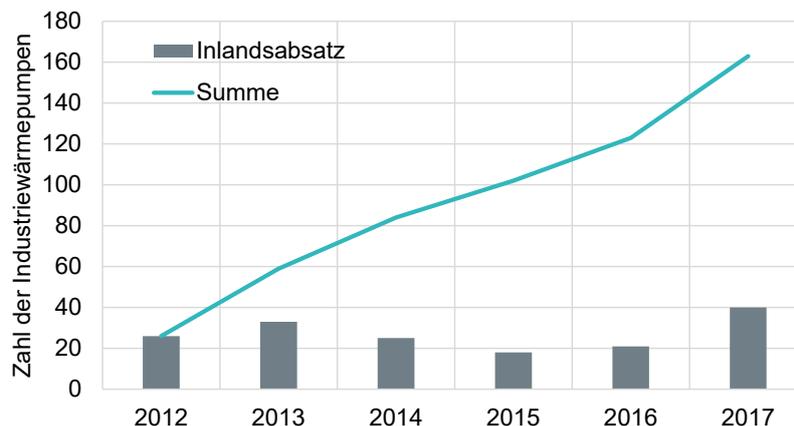


Abbildung 1: Inlandsmarkt für Industriewärmepumpen (Biermayr et al., 2018)

Potentiale für Industriewärmepumpen

Ausgehend von der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria (2016) kann man Aussagen über das Wärmepumpenpotential für industrielle Anwendungen treffen. Die österreichische Industrie verbrauchte im Jahr 2016 385 PJ Endenergie. Rund 25 % davon wurden mit Erdgas gedeckt und für industrielle, für Wärmepumpen relevante Anwendungen wie Raumwärme und Klimatisierung, Dampferzeugung und Industrieöfen eingesetzt (111 PJ, vgl. Abbildung 2). Raumwärme und Klimatisierung sind typische Anwendungsgebiete für Wärmepumpen. Industrieöfen umfassen alle Arten von Öfen, die von Niedertemperaturanwendungen wie Trocknung bis hin zu Hochtemperaturprozessen wie Sintern reichen. Die Dampferzeugung deckt auch einen breiten Temperaturbereich ab. Daher sind beide Anwendungen für Wärmepumpen zumindest teilweise relevant.

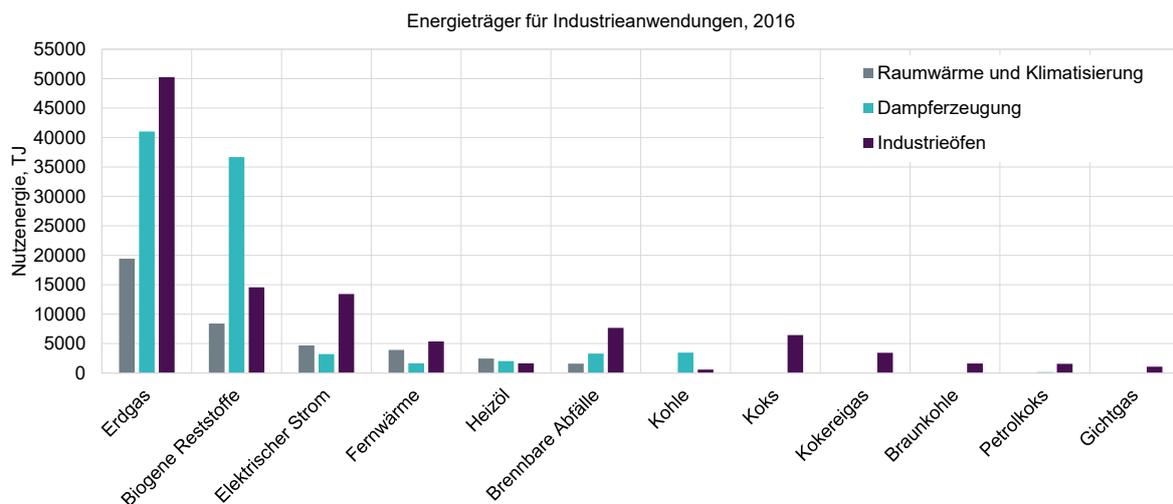


Abbildung 2: Energieträger für Industrieanwendungen in Österreich (Statistik Austria, 2016)

Zur Bereitstellung der zuvor beschriebenen Prozesswärme mit Wärmepumpen wird Abwärme benötigt. Panayiotou et al. (2017) haben das Abwärmepotential bedeutender europäischer Industrien genauer untersucht und für Österreich 16,6 PJ Abwärme in der Eisen- und Stahlindustrie, 16,6 PJ bei der Verarbeitung von nichtmetallischen Erzen, 16,2 PJ in der chemischen und petrochemischen Industrie, 16,2 PJ in der Textil- und Lederindustrie, 15,5 PJ in der Papier- und Zellstoffindustrie und 12,6 PJ in der Lebensmittelindustrie errechnet. Eine weitere Unterteilung des Abwärmepotentials an Hand des Temperaturniveaus wurde allerdings nicht veröffentlicht.

Für die Nutzung durch Wärmepumpen sind insbesondere Niedertemperaturströme relevant, die nicht mehr direkt in Wärmetauschern genutzt werden können. Von den genannten Branchen gibt es vor allem in der Lebensmittelindustrie, der chemischen und petrochemischen Industrie und der Papier- und Zellstoffindustrie großes Potential für die Integration von Wärmepumpen (Wolf et al., 2014), (Arpagaus et al., 2018).

Die Treiber und Barrieren zur Erschließung dieser Potentiale wurden in der Österreichischen Technologieroadmap für Wärmepumpen (Hartl et al., 2016) erarbeitet, die das Ergebnis eines partizipativen Stakeholder-Prozesses war. Der Fokus der Roadmap liegt dabei auf den Stärken der nationalen Wärmepumpenbranche und den Anforderungen der NutzerInnen. Für Industriewärmepumpen zählt der geringe Bekanntheitsgrad der Technologie zu den größten Barrieren. Dabei geht es vor allem um technische Möglichkeiten, die in den letzten Jahren durch Weiterentwicklungen wie neue Kältemittel und Hochtemperaturanwendungen deutlich zugenommen haben. Weitere hemmende Faktoren sind die noch geringe Vernetzung zwischen Wärmepumpenherstellern, Anlagenbauern und Anwendern, sowie die anhaltend niedrigen Öl- und Gaspreise seit 2014, die Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen hemmen. Zu den fördernden Faktoren zählt neben Investitionsförderungen für gewerbliche und industrielle Anlagen der Kommunalkredit Public Consulting (KPC), die hohe Effizienz der Anlagen durch die Nutzung von Abwärme. Pilot- und Demonstrationsanlagen für innovative Konzepte tragen dazu bei, die Informationsdefizite abzubauen und für eine weitere Verbreitung zu sorgen. Niedrige Strompreise, sowie das aktuell niedrige Zinsniveau wirken sich ebenfalls positiv aus.

Statistische Auswertung der Fallstudien

Es wurden 68 Beispiele für Industriewärmepumpen in Österreich erhoben. Dabei wurden jene Anlagen berücksichtigt, die wärmequellen- und/oder -senkenseitig in einen industriellen oder gewerblichen Prozess eingebunden sind. Die Beispiele stammen aus verschiedenen Branchen, deren gute Eignung für Wärmepumpen bereits bekannt ist, wie der Lebensmittelindustrie (17 Beispiele), Energieversorger (11 Beispiele) und der metallverarbeitenden Industrie (11 Beispiele). Abbildung 3 gibt einen Überblick über die verschiedenen Sektoren.

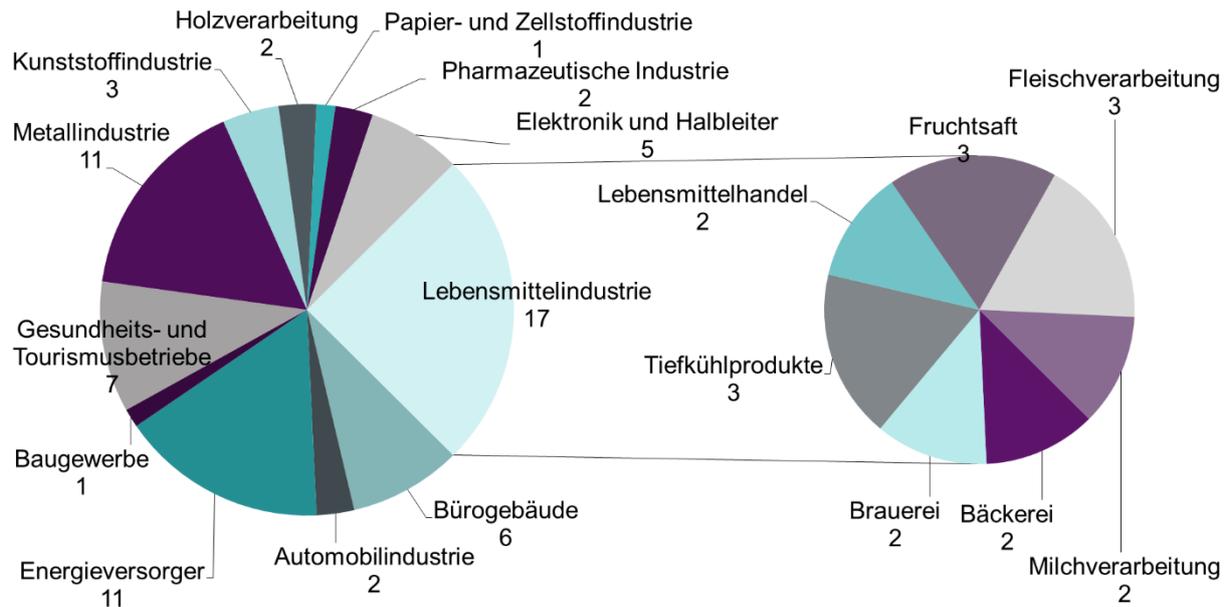


Abbildung 3: Österreiche Fallstudien, Verteilung der Industriewärmepumpen auf Branchen

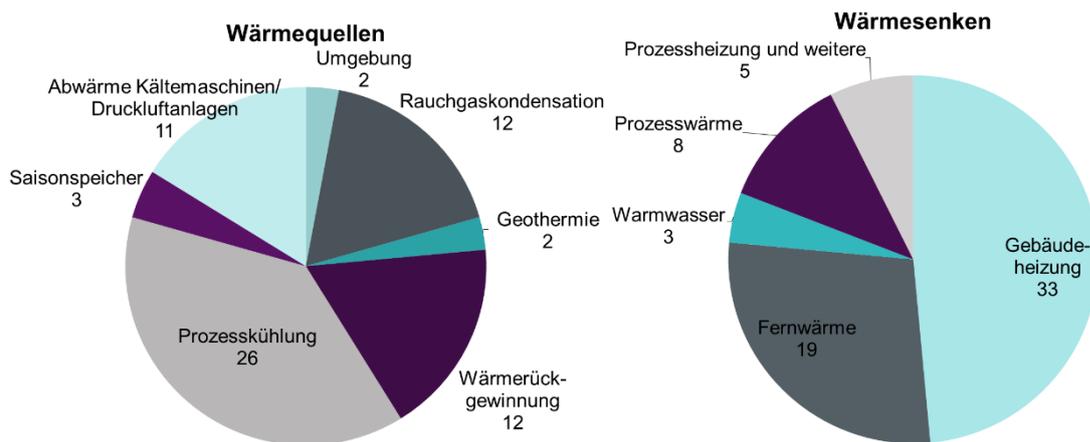


Abbildung 4: Österreiche Fallstudien, Wärmequellen und -senken für Industriewärmepumpen

Es werden verschiedene Wärmequellen genutzt. Die gebräuchlichsten Wärmequellen sind Prozesse, die gekühlt werden müssen, und Abwärmeströme, denen noch Wärme entzogen werden kann. Darüber hinaus wird die Abwärme von Kältemaschinen und Druckluftanlagen sowie die

Rauchgaskondensation genutzt (Abbildung 4 links). Industrielle Wärmepumpen werden am häufigsten zur Beheizung von Gebäuden (33 Beispiele) oder zur Bereitstellung von Fernwärme (19 Beispiele) eingesetzt. Wärmebereitstellung für Prozesse erfolgt in 13 Beispielen (Abbildung 4 rechts).

In den erfassten Beispielen werden zu 88 % Kompressionswärmepumpen und zu 9 % Absorptionswärmepumpen eingesetzt, in 3 % der Fälle sind es sowohl Absorptions- als auch Kompressionswärmepumpen. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Leistungszahlen (COP, Coefficient of Performance), die zu den Kompressionswärmepumpen berichtet wurden.

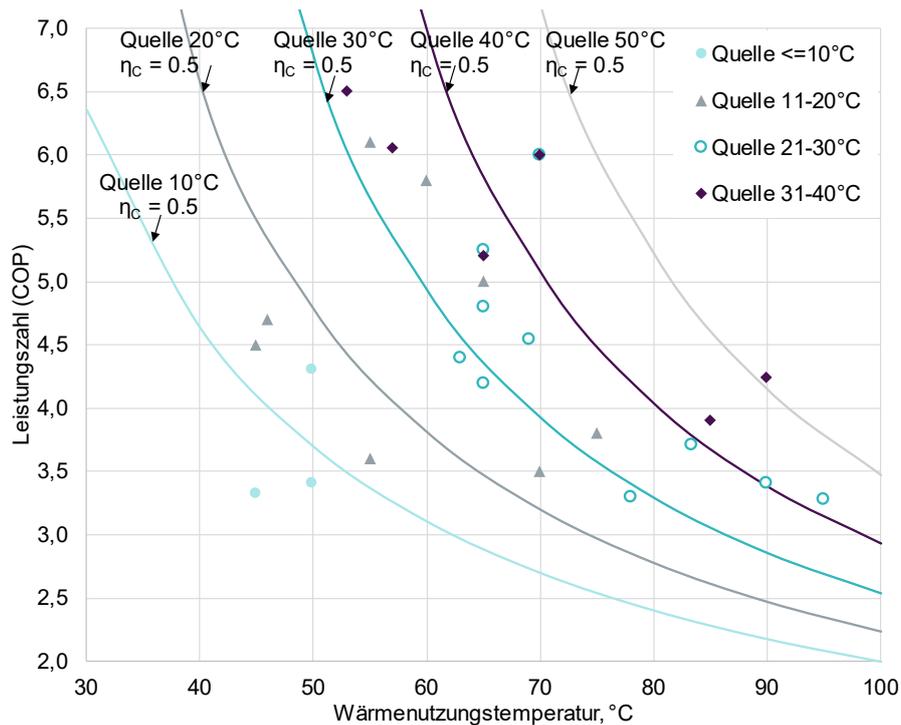


Abbildung 5: Österreichische Fallstudien, Leistungszahlen für Kompressionswärmepumpen (27 Datenpunkte)

Dabei handelt es sich um den Heiz-COP (Verhältnis von abgegebener Wärme zu aufgenommener elektrischer Energie), der unterschiedlich erfasst wurde. Es sind 27 Datenpunkte vorhanden, darunter sind sowohl Leistungsdaten aus den Datenblättern der Hersteller, Angaben der Betreiber zur Auslegung der Wärmepumpe sowie Monitoringergebnisse. Die verschiedenen Farben stehen für unterschiedliche Quellenaustrittstemperaturen. Die Linien dienen zur Orientierung und zeigen den Verlauf des COP in Abhängigkeit von der Wärmenutzungstemperatur (Senkenaustrittstemperatur) für verschiedene Quellenaustrittstemperaturen (10, 20, 30, 40 und 50 °C). Es handelt sich dabei um eine fiktive Wärmepumpe mit einem konstanten Carnot-Gütegrad von 0,5 mit einem Pinch von 2 K im Verdampfer und Kondensator (siehe unten). Der Großteil der erhobenen COPs liegt im Bereich von 3,5-5,5 (ca. 70 %), das Minimum beträgt 3,3 und das Maximum 6,5.

Auf Basis des COPs kann man mögliche CO₂- und Kosteneinsparungen im Vergleich zur Wärmebereitstellung mit einem Gaskessel berechnen. Wärmepumpen mit einem COP von 3,5-5,5 sparen 70-81 % der CO₂-Emissionen. Es können 33-58 % der laufenden Energiekosten gespart werden, wenn man von Strompreisen für Nicht-Haushaltskunden, die 20-70 GWh/a abnehmen,

ausgeht. Werden mehr als 150 GWh/a bezogen, können die Einsparungen im Bereich von 59-74 % liegen.¹

Der Carnot-Gütegrad einer Wärmepumpe beschreibt, wie nahe die Leistungszahl des realen Kreisprozesses an die maximal mögliche Leistungszahl des idealen Carnot-Kreisprozesses herankommt und ist das Verhältnis der realen zur idealen Leistungszahl. Die Leistungszahl des idealen Carnotprozesses hängt nur von der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur ab. Um die Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen für die Beispiele abzuschätzen, wird davon ausgegangen, dass die Verdampfungstemperatur 2 K geringer als die Quellenaustrittstemperatur und die Kondensationstemperatur 2 K höher als die Senkenaustrittstemperatur ist. In Abbildung 6 werden die so ermittelten Carnot-Gütegrade über der Wärmenutzungstemperatur (Senkenaustrittstemperatur) aufgetragen. Die meisten Daten sind zu Wärmepumpen mit R134a (11 Datenpunkte) und zu Ammoniak-Wärmepumpen (NH₃ = R717, 6 Datenpunkte) verfügbar. Die Carnot-Gütegrade liegen überwiegend zwischen 0,4 und 0,7. Für die Ammoniakanlagen wurden tendenziell höhere Werte zwischen 0,7 und 0,8 errechnet. Wolf et al. (2014) geben typische Carnot-Gütegrade für Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit 0,45-0,5 an. Die auffallend hohen Carnot-Gütegrade der Ammoniakanlagen können zum einen damit begründet werden, dass Ammoniak ein Kältemittel mit guten thermodynamischen Eigenschaften ist, dessen Kreisprozess dem thermodynamischen Optimum näher kommt als andere Kältemittel. Zum anderen berücksichtigt die Abschätzung der Kondensationstemperatur das Enthitzen des Kältemittels im Kondensator nicht. Dadurch ist die tatsächliche Kondensationstemperatur in den meisten Fällen geringer als zur Berechnung des Carnot-Gütegrades angenommen. Damit ist der reale Gütegrad geringer als der geschätzte Wert.

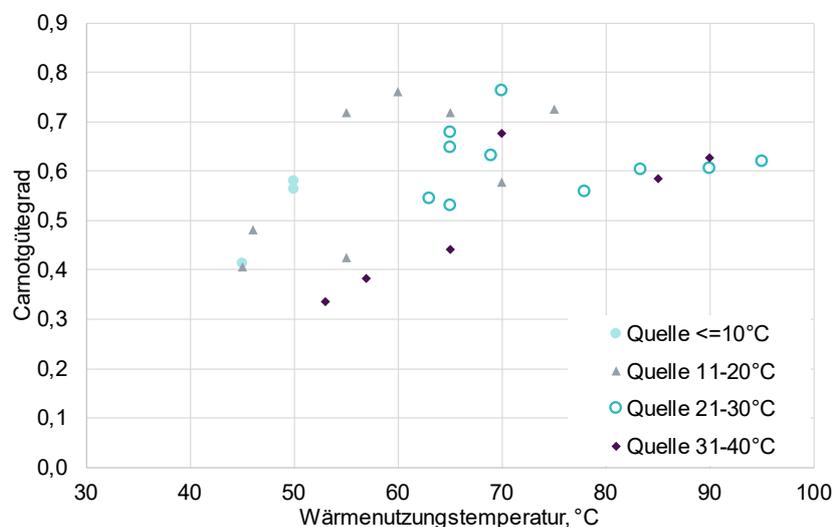


Abbildung 6: Österreichische Fallstudien, Gütegrad für Kompressionswärmepumpen (27 Datenpunkte)

Abbildung 7 zeigt die Beispiele sortiert nach dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme (65 Beispiele), die Branchen, in denen Wärmepumpen am häufigsten zum Einsatz kommen – Lebensmittelindustrie,

¹ Wirkungsgrad des Gaskessels 90 %, CO₂-Emissionen der Stromerzeugung 276 g/kWh (OIB, 2015), CO₂-Emissionen für Erdgas 236 g/kWh (OIB, 2016), Energiepreise für das erste Halbjahr 2017: Strompreis für Nicht-Haushaltkunden mit 20-70 GWh/a 8,8 ct/kWh (E-Control, 2017a), Strompreis für Nicht-Haushaltkunden >150GWh/a im Jahr 2017 5,4 ct/kWh (E-Control, 2017a), Gaspreis für Industriekunden 3,4 ct/kWh (Energie-Control, 2017b)

Energieversorger, Metallverarbeitung – sind farblich markiert. Nach 2012 wurden zahlreiche Anlagen in Betrieb genommen. Das macht deutlich, dass die Verbreitung von industriellen Wärmepumpen in Österreich zunimmt und dass auch mehr Informationen zu diesen Anlagen veröffentlicht werden - entweder von Herstellern in Form von Referenzen, von Betreibern, die ihre Systeme auf Fachkonferenzen präsentieren, oder von Plattformen wie "klimaaktiv", wo Energieeffizienzprojekte vorgestellt und ausgezeichnet werden. (klimaaktiv, 2018)

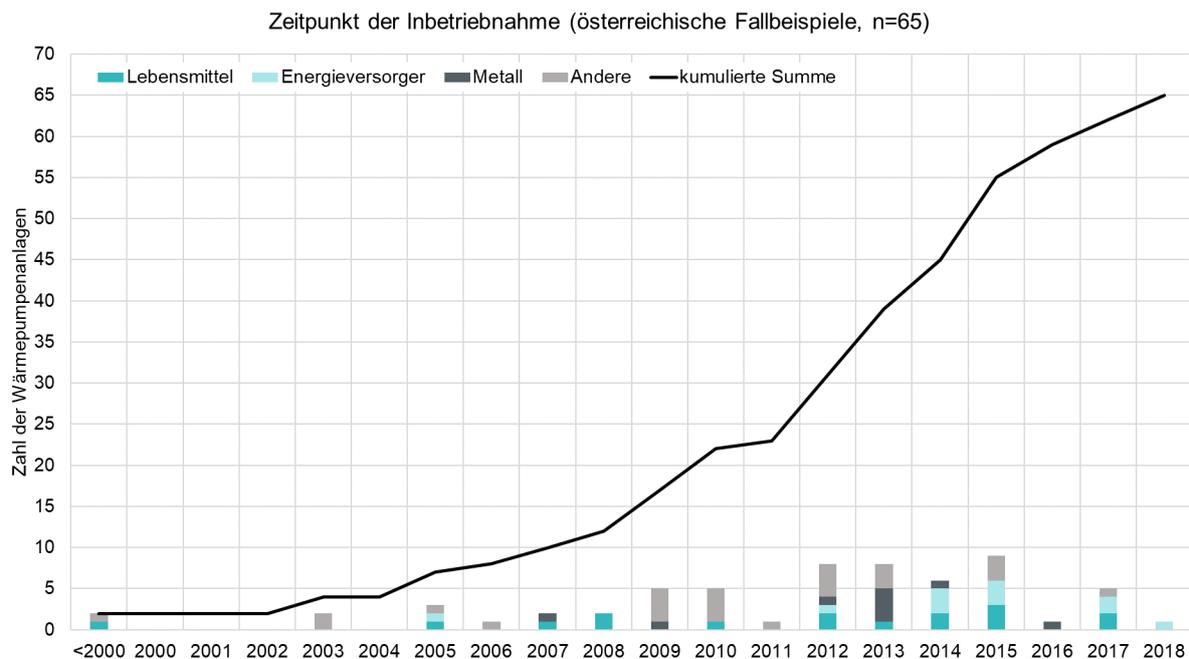


Abbildung 7: Zeitpunkt der Inbetriebnahme

Anwendungsbeispiele

Aus den 68 österreichischen Beispielen wurden 10 Fallstudien im Detail beschrieben. Ausgesucht wurden jene Fallstudien, deren Betreiber bzw. Errichter einer Veröffentlichung zugestimmt haben und auch bereit waren, detaillierte Informationen zu liefern. Besonders wichtig war es, dass auch Bildmaterial zur Verfügung steht, damit ansprechende Disseminierungsunterlagen erstellt werden können.

Im Folgenden werden drei Industriewärmepumpen exemplarisch detaillierter vorgestellt. Sie unterscheiden sich in der Anlagengröße, der Wärmenutzung und der Branche und zeigen damit auch die Vielfalt der möglichen Anwendungen.

Metallverarbeitung und Fernwärmebereitstellung

Die Nutzung der im Stahl- und Walzwerk Marienhütte in Graz anfallenden Prozessabwärme für Fernwärmezwecke ist der Kern der Kooperation zwischen dem Energiedienstleister und Fernwärmenetzbetreiber Energie Graz GmbH & Co KG und dem Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH. Diese Kooperation begann bereits 1992 mit der direkten Nutzung von Prozessabwärme bei einer Temperatur von bis zu 100 °C und wurde daraufhin laufend erweitert. Durch die Errichtung einer Pufferspeicheranlage im Jahr 2011 konnte die direkte Einspeisung von Prozessabwärme in das Fernwärmenetz auf 60 GWh/Jahr gesteigert werden (das sind ca. 5 % der im Jahr 2017 erzeugten

Fernwärme in Graz). Um diese Kooperation weiter auszubauen, errichtete die Energie Graz im Jahr 2015 eine Energiezentrale auf dem Betriebsgelände der Marienhütte und bereits im Mai 2016 konnten dort zwei Wärmepumpen mit einer Gesamtleistung von bis zu 11,5 MW in Betrieb genommen werden. Diese Wärmepumpen nutzen Prozessabwärme als Wärmequelle, welche aufgrund der niedrigen Temperatur sonst nicht für die Fernwärmeversorgung genutzt werden kann, und liefern seit der Inbetriebnahme Wärme in das Grazer Fernwärmenetz. Im Jahr 2017 wurde mit der Vorbereitung für die Errichtung des neuen Niedertemperatur-Fernwärmenetzes im Stadtteil Reininghaus begonnen und ein erster Teil der modular erweiterbaren, thermischen Wasserspeicher samt Speicherkreislauf errichtet. Die Wärmespeicher wurden in einen bestehenden, nicht mehr genutzten Getreidesilo integriert („Lechthaler Silo“).

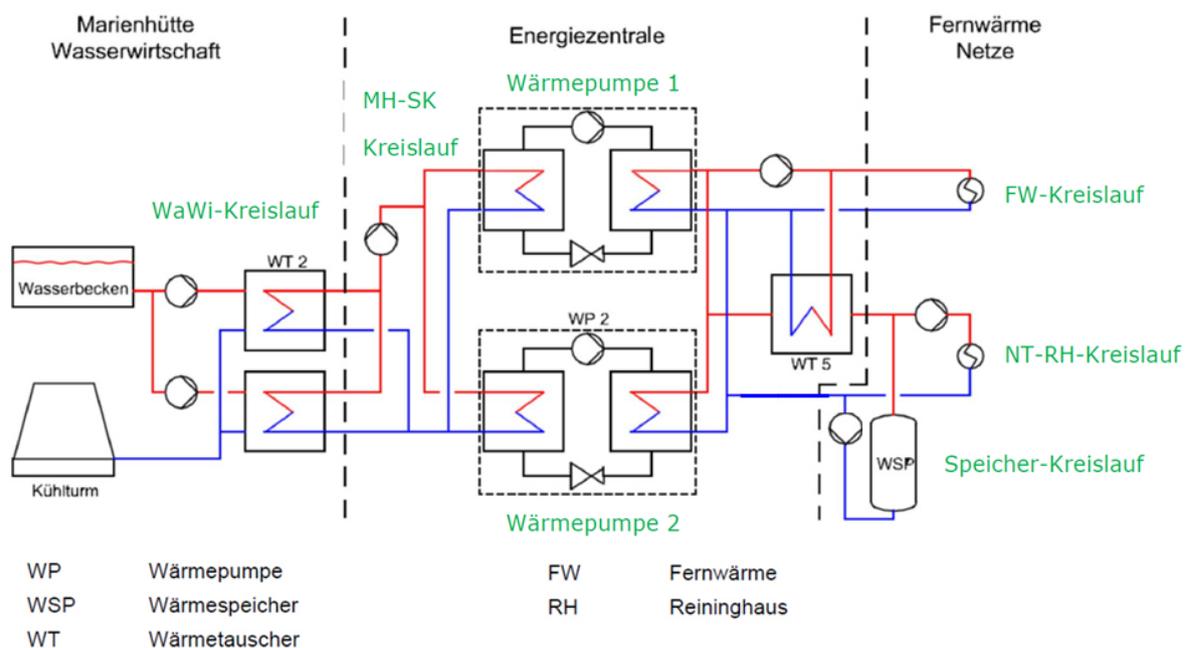


Abbildung 8: Hydraulische Anbindung der Wärmepumpen am Standort der Energiezentrale an den WaWi-Kühlkreislauf des Stahl- und Walzwerks sowie die Anbindung an das bestehende und das neu zu errichtende Fernwärmenetz Graz (vereinfachte Darstellung) (Unger et al., 2018)

Abbildung 8 zeigt ein vereinfachtes Schema der hydraulischen Anbindung der in der Energiezentrale installierten Wärmepumpen. Die Wärmepumpen nutzen Wärme aus dem Walzwasserwirtschafts-Kreislauf (WaWi-Kreislauf) als Wärmequelle. Es handelt sich dabei um einen offenen Kühlkreislauf, der Kühlwasser für die Walzstraße mit 29 °C bereitstellt. Die Anbindung zu den Verdampfern der Wärmepumpen erfolgt über einen eigenen Verdampferkreislauf (MH-SK-Kreislauf), der mit zwei Trennwärmetauschern (WT2) vom WaWi-Kreislauf getrennt ist. Die Kondensatoren der Wärmepumpen werden entweder direkt mit dem Wasser des bestehenden Fernwärmenetzes (FW-Kreislauf) oder mit dem Wasser des neu zu errichtenden Niedertemperatur-Fernwärmenetzes (NT-RH-Kreislauf) durchströmt. Des Weiteren sind in Abbildung 8 der Speicher-Kreislauf, sowie der Wärmetauscher (WT5) zur Übertragung von Wärme zwischen den beiden Fernwärmenetzen dargestellt.

Die Trennung des Verdampfer-Kreislaufes vom WaWi-Kreislauf der Marienhütte gewährleistet, dass die innerbetrieblichen Kühlkreise auch während der Durchführung von Arbeiten auf der Seite des Fernwärmenetzes in Betrieb bleiben können. Wenn die Wärmeabnahme durch das Fernwärmenetz

unterbrochen ist, wird die Prozessabwärme über die vorhandenen Kühltürme abgeführt. Durch dieses Konzept der Einbindung besteht keine Gefahr für den Produktionsprozess und im Wärmepumpenbetrieb werden die Kosten für die erforderliche Wärmeabfuhr über die Kühltürme minimiert.

Die Verdampfer der beiden Wärmepumpen sind parallel angeordnet und werden über die beiden parallel angeordneten Trennwärmetauscher (WT2) mit Wärme (2 x 3,9 MW) versorgt. Dabei bewegen sich die Verdampfer-Eintrittstemperaturen im Bereich von 32-35 °C und die Verdampfer-Austrittstemperaturen im Bereich von 25-29 °C. Der Volumenstrom der Umwälzpumpen und eine Beimischarmatur, welche in Abbildung 8 nicht dargestellt ist, können zur Beeinflussung der Temperatur im Verdampferkreislauf verwendet werden.

Um die Wärme der Kondensatoren in das bestehende Fernwärmenetz einzuspeisen, sind Einspeisepumpen erforderlich, die gegen den Netzdruck arbeiten. Der Druck beträgt im Vorlauf des bestehenden Fernwärmenetzes ca. 10,5 bar und im Rücklauf ca. 4 bar. Bei Einspeisung in das neu zu errichtende Niedertemperatur-Fernwärmenetz wird der Durchfluss durch die Kondensatoren direkt durch die Fernwärmenetzpumpen erbracht. Zusätzlich ist eine Speicherladepumpe zur Beladung der modularen Wasserspeicher installiert.

Bei den Wärmepumpen handelt es sich um zwei Großwärmepumpen vom Typ Unitop der Firma Fritherm. Eine Wärmepumpe hat Abmessungen von 8,2/3,7/3,3 m (L/B/H), ein Gewicht von ca. 30 Tonnen und wird mit dem Kältemittel R1234ze (GWP Wert kleiner 1; vgl. Bitzer, 2018), betrieben. In einer Wärmepumpe sind zwei Turboverdichter verbaut, welche sowohl parallel als auch seriell durchströmt werden können. Das Umschalten zwischen parallelem und seriell betrieb erfolgt im Stillstand. Die maximale Nutztemperatur am Kondensatoraustritt beträgt 95 °C und wird im seriellen Betrieb erreicht. Bei seriell betrieb der Turboverdichter und Wärmesenktemperaturen am Kondensator von ca. 63/90 °C kann eine Wärmeleistung von 3,3 MW bereitgestellt werden. Bei parallelem betrieb der Turboverdichter und Temperaturen am Kondensator von ca. 43/69 °C erhöht sich die mögliche Wärmeleistung auf 5,75 MW. Die Temperaturen am Verdampfer betragen im Serienbetrieb ca. 33,8/29 °C und im Parallelbetrieb 33/25 °C. Die Wärmepumpen können auch als Kältemaschinen genutzt werden, um ein mögliches Kältenetz zu versorgen.

Die Leistungsregelung der Wärmepumpen erfolgt über die Verdichterdrehzahl, Leitschaufelstellungen und die Verdampfungstemperatur. Bei parallelem betrieb der Verdichter ist eine Reduzierung der Leistung durch Drehzahländerung auf bis zu 30 % möglich. Bei seriell betrieb kann die Leistung durch Drehzahländerung auf bis zu 60 % reduziert werden.

Der betrieb der Wärmepumpen soll soweit als möglich ganzjährig erfolgen. Bei der Einspeisung in das bestehende Fernwärmenetz ist jedoch zu beachten, dass die Wärmepumpen bis 95 °C Vorlauftemperatur bereitstellen können, bei höheren Netzvorlauf-temperaturen werden die Wärmepumpen ausgeschaltet. Beim neuen Niedertemperatur-Fernwärmenetz Reininghaus ist eine maximale Vorlauftemperatur von 72 °C vorgesehen, wodurch ein ganzjähriger betrieb der Wärmepumpen bei paralleler Durchströmung der Turboverdichter möglich wird.

Biomasseheizwerk und Fernwärmebereitstellung

Im Biomasseheizkraftwerk Klagenfurt-Ost werden ein biomassebefeuerter Dampfturbinenkreislauf, ein Wärmetauscher zur direkten Rauchgaskondensation und eine Absorptionswärmepumpe zur

zusätzlichen Rauchgaskondensation für die Wärmeversorgung des Fernwärmenetzes eingesetzt. Das Biomasseheizkraftwerk Klagenfurt-Ost ist eines von drei Biomasseheizkraftwerken, die 90 % des Wärmebedarfs für das Fernwärmenetz Klagenfurt bereitstellen und von der Bio-Energie Kärnten (Bioenergiezentrum GmbH) betrieben werden.

Die Absorptionswärmepumpe wurde von der Firma EBARA (China) hergestellt und in zwei Teilen zu je 70 Tonnen geliefert. Die Absorptionswärmepumpe verwendet H₂O/LiBr als Arbeitspaar und erreicht eine Heizleistung von ca. 20 MW und einer Effizienz, welche durch das Verhältnis von im Absorber und Kondensator abgeführter Wärme zur im Generator zugeführten Wärme definiert ist, von rund COP_H = 1,77 bei Wärmequellentemperaturen von ca. 45/35 °C (Ein-/Austritt Verdampfer), Wärmesenktemperaturen von ca. 60/70 °C (Eintritt Absorber/ Austritt Kondensator) und Antriebstemperaturen von ca. 130/120 °C (Ein-/Austritt Generator). Der Verdampfer der Absorptionswärmepumpe ist mit einem zusätzlichen Hydraulikkreislauf mit dem Wärmetauscher zur Rauchgaskondensation verbunden. Der Volumenstrom in diesem Hydraulikkreislauf liegt zwischen 800 m³/h und 1000 m³/h und die übertragene Heizleistung beträgt ca. 7-8 MW.

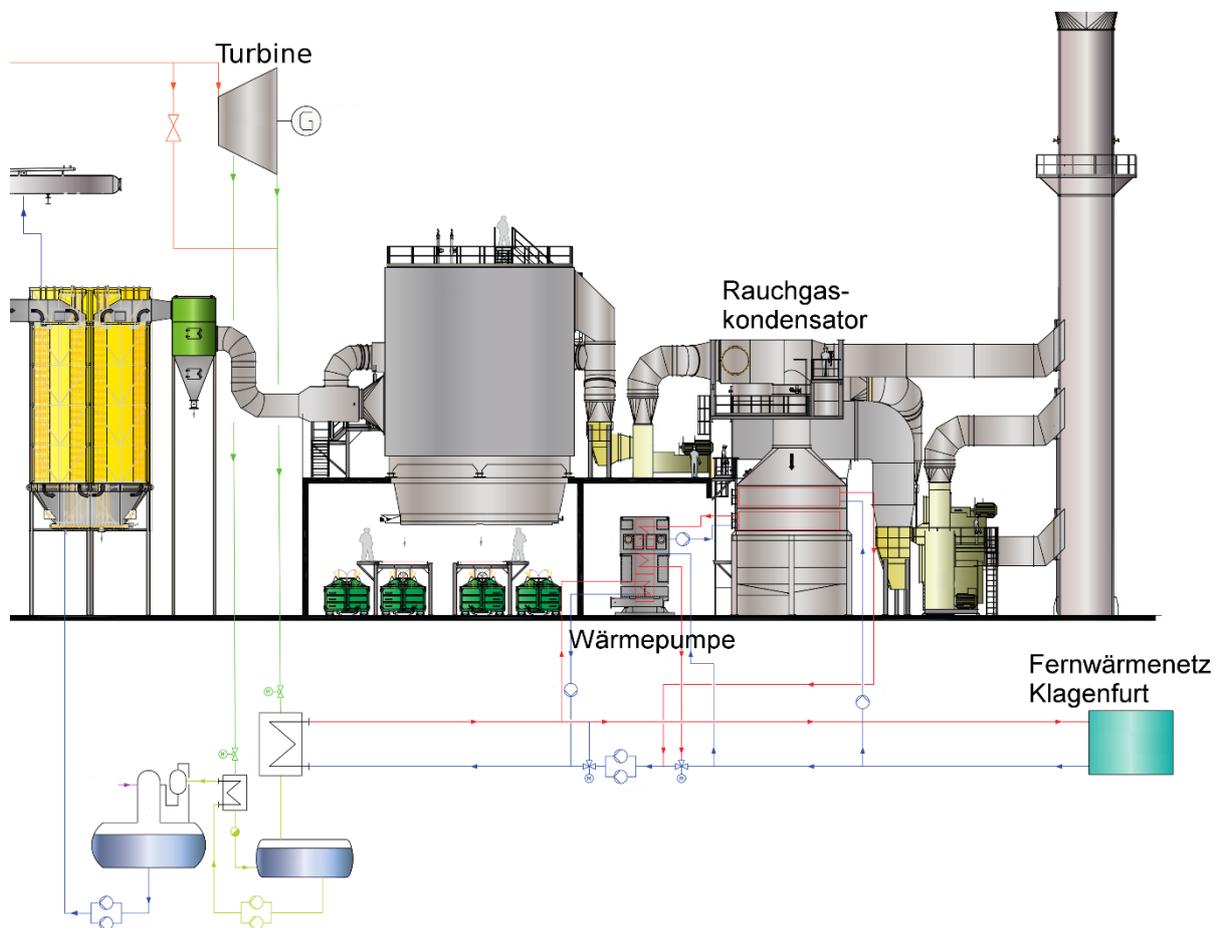


Abbildung 9: Hydraulisches Schema des Biomassekraftwerks Klagenfurt-Ost mit einem Teil des Dampfkreislaufs und dem Anschluss an das Fernwärmenetz (Bioenergie Kärnten, 2018)

Die Wärmetauscher des Biomasseheizkraftwerks Klagenfurt-Ost sind in der folgenden Reihenfolge mit dem Fernwärmenetz verbunden (vgl. Abbildung 9): Aus dem Rücklauf des Fernwärmenetzes wird ein Volumenstrom von ca. 60-100 m³/h bei einer Temperatur von ca. 60 °C durch eine zusätzliche

Pumpe gefördert und durch direkte Rauchgaskondensation auf eine Temperatur von ca. 65 °C erwärmt (ca. 2,5-3 MW). Darüber hinaus wird ein variabler Volumenstrom, der über ein Dreiwegeventil eingestellt werden kann, durch den Absorber und Kondensator der Absorptionswärmepumpe mit einer Heizleistung bis zu 20 MW erwärmt. Dieser Volumenstrom wird in der Regel so hoch wie möglich eingestellt, um die beste Effizienz der Absorptionswärmepumpe zu erreichen. Die maximal mögliche Wärmenutzungstemperatur der Absorptionswärmepumpe beträgt 77 °C.

Nach der parallelen Erwärmung des Rücklaufs durch den Wärmetauscher zur direkten Rauchgaskondensation und durch den Absorber und Kondensator der Wärmepumpe wird der Rücklauf durch den Kondensator des Dampfkreislaufs weiter erwärmt, um die gewünschte Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes zu erreichen.

Die optimale Antriebstemperatur für die Absorptionswärmepumpe beträgt am Eintritt in den Generator ca. 130 °C, die Untergrenze liegt bei ca. 110 °C. Der Volumenstrom des Antriebskreises wird so eingestellt, dass eine Temperaturdifferenz am Generator von ca. 10 K erreicht wird. Mit dem Vorlaufwasser des Fernwärmenetzes als Antriebsquelle und der minimal möglichen Antriebstemperatur ist ein Betrieb der Absorptionswärmepumpe nur möglich, wenn die Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes höher oder gleich 110 °C ist. Dies ist in den Wintermonaten und in den Übergangszeiten der Fall.

Die Integration einer Absorptionswärmepumpe in ein Biomasse-Heizkraftwerk erhöht den Wirkungsgrad der gesamten Anlage und damit den Brennstoffnutzungsgrad. Zusätzlich wird durch die Installation der Absorptionswärmepumpe der erforderliche Aufwand zur Entschwädung des Rauchgases, die an diesem Standort gesetzlich vorgeschrieben ist, reduziert. Nach den ersten Monaten zeigte sich ein zuverlässiger Betrieb des Systems und die erreichte Effizienz lag über den Erwartungen. Kleine Änderungen wie eine Anpassung der Füllmenge (H₂O/LiBr) und eine thermische Dämmung der Absorptionswärmepumpe verbessern die Effizienz. Eine Herausforderung ist die schnelle Leistungsanpassung zur Abdeckung der Spitzenlast am Morgen und am Abend aufgrund der Systemträgheit (Biomasseheizkraftwerk und Absorptionswärmepumpe). So erhöht sich beispielsweise der Wärmebedarf am Morgen innerhalb einer halben Stunde von 15 MW_{th} auf 54 MW_{th}.

Lebensmittelverarbeitung und Prozesswärmebereitstellung

Krainer ist ein steirischer fleisch- und wurstverarbeitender Betrieb in Wagna, der seit 2018 über eine CO₂-Wärmepumpe verfügt, die von AMT Kältetechnik GmbH errichtet wurde. Die Wärmepumpe weist eine Kälteleistung von ca. 600 kW und eine Heizleistung von 800 kW auf. Damit wird Warmwasser mit 60 °C bereitgestellt, das zur Reinigung der Anlagen verwendet wird. Außerdem wird Sole mit bis zu -6 °C zur Kühlung der Rohstoffe und Produkte erzeugt.

Es handelt sich um einen einstufigen transkritischen Kältekreis mit CO₂ als Kältemittel. Das Kältemittel wird im Verdampfer bei niedrigen Temperaturen und Drücken verdampft und im Verdichter auf Hochdruck verdichtet. Als Verdichter werden Hubkolbenverdichter eingesetzt. Die sechs Verdichter sind parallel geschaltet, zusätzlich zur stufigen Leistungsregelung durch An- und Abschalten einzelner Verdichter ist einer der Verdichter mit einem Frequenzumformer geregelt. Am Verdichteraustritt liegt überkritisches Kältemittel vor. In den Gaskühlern wird dem Kältemittel bei gleitender Temperatur Wärme entzogen, der Druck bleibt nahezu konstant. Die Wärmeauskopplung erfolgt in zwei wasserseitig parallel geschalteten Gaskühlern, die als Plattenwärmetauscher

ausgeführt sind. Ein Gaskühler liefert Warmwasser mit 60 °C, der zweite Gaskühler wird als Rückkühler eingesetzt. Das Kältemittel wird im Expansionsventil entspannt und gelangt zweiphasig wieder in den Verdampfer. Der Verdampfer ist als Rohrbündelwärmetauscher ausgeführt.

Durch die gleichzeitige Nutzung von Wärme und Kälte kann diese Wärmepumpe besonders effizient betrieben werden, diese Anwendung ist typisch für lebensmittelverarbeitende Betriebe.

Die englischsprachigen österreichischen Berichte zu Task 1 und Task 2 werden auf IEA HPT Annex 48 Homepage zum Download bereitgestellt:

Wilk, V., Arnitz, A., Rieberer, R., IEA HPT Annex 48 Task 1: Austrian Report, 2019,
<https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/Austria-2019-1.pdf>

Wilk, V., Krämer, J., Arnitz, A., Rieberer, R., IEA HPT Annex 48 Task 2: Austrian Report, 2019,
<https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/Austria-2019-2.pdf>

Erkenntnisse auf internationaler Ebene

In allen teilnehmenden Ländern des IEA HPT Annex 48 wurden insgesamt mehr als 300 Anwendungsbeispiele für Industrierärmepumpen erhoben. Davon stammt rund ein Drittel der Beispiele aus Japan, ein weiteres Drittel aus Österreich und Dänemark (Abbildung 10).

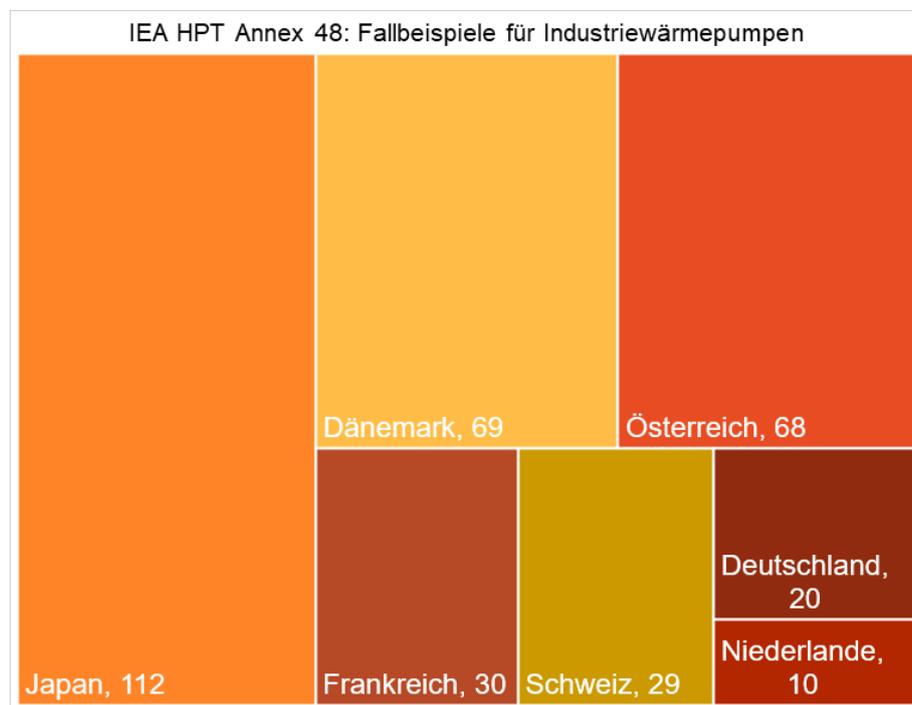


Abbildung 10: Überblick über die gesammelten Beispiele der teilnehmenden Länder

Japan

In Japan wurden 112 Beispiele gesammelt, die in den nationalen Task 1 und Task 2 Berichten näher beschrieben werden. Die meisten Beispiele stammen aus der Lebensmittelindustrie (46 % der Beispiele). Das Marktpotential wird jedoch als gering eingeschätzt, nur 4 % des untersuchten

Wärmebedarfs wird durch Dampferzeugung in Japan gedeckt. In der Industrie werden Wärmepumpen zum Heizen, Kühlen, Gefrieren, zum Warmhalten von Zwischenprodukten, zur Reinigung, Sterilisation, Trocknung und Destillation eingesetzt. Die Wärmenutzungstemperaturen betragen -30 °C bis 80 °C, bei der Trocknung und Destillation über 120 °C. Die Heizleistungen dieser Anlagen sind typischerweise klein, die meisten werden zur gleichzeitigen Wärme- und Kälteerzeugung eingesetzt und sind dadurch sehr effizient.

Im Maschinenbau und der Elektronikindustrie wurden 33 % der Beispiele erhoben. Das Marktpotenzial wird jedoch ähnlich klein eingeschätzt, da nur 2 % des Wärmebedarfs auf diese Branchen entfällt. Wärmepumpen werden zum Heizen, Reinigen, Trocknen, beim Lackieren und Vergolden und zur Beheizung von Reinwassertanks eingesetzt. Die Wärmenutzungstemperatur ist höher als in der Lebensmittelindustrie und reicht von 50 °C bis 150 °C. Die installierten Heizleistungen reichen bis in den MW- Bereich.

Auf die Papierindustrie entfällt rund 26 % des untersuchten Wärmebedarfs der Dampferzeugung in Japan. Die Zahl der Anwendungsbeispiele für Wärmepumpen ist allerdings mit 3 % der Beispiele wegen der großen Zahl von installierten KWK-Anlagen gering. Wärmepumpen werden derzeit zum Schmelzen und Trocknen für den Klebe- und Druckprozess von Papier und Folien eingesetzt. Das erforderliche Temperaturniveau des Wärmebedarfs ist vergleichsweise hoch und liegt zwischen 60 °C und 150 °C, es werden große Leistungen im MW-Bereich benötigt.

In der chemischen Industrie überwiegt der Heizbedarf, der 43 % der Dampferzeugung ausmacht. Die Zahl der Anwendungsbeispiele ist mit 13 % gering. Wärmepumpen werden zum Heizen chemischer Prozesse, wie Trocknen, Konzentrieren, Destillieren und Schmelzen eingesetzt. Das Temperaturniveau ist mit über 150 °C am höchsten. Um den Marktanteil zu erhöhen, ist die Entwicklung von Wärmepumpen mit höheren Wärmenutzungstemperaturen, sowie mit großen Leistungen erforderlich.

Im Maschinenbau, der chemischen Industrie und der Elektronikindustrie werden Wärmepumpen vor allem in HLK Systemen eingesetzt. Heizung und Warmwasserversorgung sind in Branchen wie der Papierindustrie, der chemischen Industrie, dem Maschinenbau und der Lebensmittelindustrie weit verbreitet. Mit 25 % sind Kälteanlagen, die Luft- oder Wasser als Quelle nutzen, die häufigste Bauform. Wasser/Wasser Wärmepumpen machen rund 14 % aus. Die installierten Leistungen der Anwendungsbeispiele sind breit gefächert und reichen von 20 kW bis zu mehreren MW. Die Hälfte der Beispiele haben 100 kW – 1 MW Heizleistung, 37 % liegen im Bereich von 10 kW – 100 kW. Das vorherrschende Kältemittel ist R410A, gefolgt von CO₂ und R134a.

Japan National Team, IEA HPT Annex 48 Task 2 Report, 2019,
<https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/Japan-2019-1.pdf>

Japan National Team, IEA HPT Annex 48 Task 2 Report, 2019,
<https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/Japan-2019-2.pdf>

Dänemark

In Dänemark wurden 69 Beispiele erhoben, von denen 47 Anlagen mit einer kumulierten Heizleistung von rund 100 MW Fernwärme liefern. Die restlichen 22 Anlagen werden von Industriebetrieben zur

Versorgung mit Prozess- oder Raumwärme genutzt und haben eine kumulierte Heizleistung von 19 MW. Die meisten Anlagen, die zur Fernwärmeversorgung eingesetzt werden, haben Heizleistungen im Bereich von 1-2,5 MW, die größte Anlage hat 10 MW. In der Industrie sind die Heizleistungen breiter gefächert und reichen von 250 kW bis 2,5 MW.

Vorlauftemperaturen zwischen 60 °C und 80 °C sind sowohl bei den Fernwärme- als auch bei den Industrieanlagen am häufigsten. Es handelt sich dabei um die typische Fernwärmenetztemperatur in Dänemark. In der Industrie werden die Wärmepumpen für unterschiedliche Zwecke eingesetzt, mit diesen Wärmenutzungstemperaturen können Wärmepumpen entweder für Prozesse eingesetzt werden, die Wärmebedarf bei 60-80 °C haben oder zur Vorwärmung von Prozessströmen, die eine höhere Temperatur benötigen.

Es tragen mehrere Aspekte dazu bei, dass Wärmepumpen in Dänemark vor allen in der Fernwärme eingesetzt werden, wie zum Beispiel die wirtschaftlichen Randbedingungen und unterschiedliche Investitionsstrategien. Die Betreiber von Fernwärmeanlagen ziehen in der Regel längere Amortisationszeiten in Betracht und sind gesetzlich verpflichtet, bei ihren Investitionsentscheidungen die sozioökonomischen Kosten zu berücksichtigen. Bei industriellen Anwendungen liegt der Schwerpunkt häufiger auf niedrigen Amortisationszeiten und damit auf niedrigen Investitionskosten, auch wenn dies zu einer geringeren Leistung während der gesamten Lebensdauer der Anlagen führen kann. Außerdem ist das Preisverhältnis von Strom und alternativen Brennstoffen günstiger für Wärmepumpen in der Fernwärme als für Industrieanwendungen. Fernwärmeanlagen weisen überdies eine geringere Komplexität bei der Prozesseinbindung auf. Die Wärmepumpe wird zur Wärmeversorgung des Netzes eingesetzt und der Standort und die Wärmequelle werden entsprechend ausgewählt. Während des Betriebs wird die Wärmepumpe zur Deckung eines bestimmten Wärmebedarfs angetrieben. Bei industriellen Anwendungen müssen die Wärmepumpen in komplexere Systeme integriert werden, was oft umfangreiche Integrationsstudien erfordert. Wärmepumpen werden häufig zur gleichzeitigen Versorgung mit Wärme und Kälte eingesetzt. Dies führt zu einer erhöhten wirtschaftlichen Leistung, bedeutet aber auch eine höhere Komplexität.

Das häufigste Kältemittel ist Ammoniak (R717), das wegen der hohen Effizienz und den geringen Investitionskosten bevorzugt wird. Die übrigen Anlagen verwenden R744 (CO₂), Kohlenwasserstoffe oder ein Gemisch aus R717 und R718 (Ammoniak und Wasser) in hybriden Absorptions/Kompressionswärmepumpen.

Zühlsdorf, B., Bühler, F., Jørgensen, P.H., Elmegaard, B., IEA HPT Annex 48 Task 1: Danish Report, 2019, <https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/Denmark-2019-1.pdf>

Frankreich

Es wurden 30 Anwendungsbeispiele in Frankreich erhoben, auch hier entfällt jeweils rund ein Drittel auf die Lebensmittelindustrie und auf Fernwärmeanwendungen. Die wichtigsten Wärmequellen in der Industrie sind Kälteanlagen, sowie Prozesse, die gekühlt werden müssen, für Fernwärmeanwendungen werden vor allem Geothermie und Abwasser genutzt. Die Wärmenutzungstemperaturen betragen 40 – 90 °C, es wurden auch drei Beispiele für Hochtemperaturanwendungen mit 120 bzw. 135 °C erhoben. Die Anlagen weisen COPs im Bereich von 2,5 bis 7 auf.

Schweiz

In der Schweiz gewinnen Industrierärmepumpen zunehmend an Bedeutung, was auch die Verkaufstatistik des Schweizerischen Wärmepumpenverbandes zeigt. Im Jahr 2018 wurden in der Schweiz rund 145 Wärmepumpen mit einer Heizleistung von mehr als 100 kW verkauft. In der Schweizer Industrie werden nach wie vor fossil befeuerte Wärmeerzeugungssysteme für Heizung und Warmwasserbereitung bevorzugt, vor allem aufgrund der relativ niedrigen Gaspreise und der verfügbaren Gaskesselanlagen. Ein niedrigeres Strom-/Gaspreisverhältnis würde die weitere Marktdurchdringung von industriellen Wärmepumpen fördern. Große Anwendungspotenziale liegen in der Lebensmittel-, Papier-, Metall- und Chemieindustrie sowie in Nah- und Fernwärmenetzen.

Insgesamt wurden 29 Fallstudien aus verschiedenen Branchen erhoben. Die meisten Fallstudien stammen aus der Lebensmittelindustrie, wo Wärmepumpen zur Erzeugung von Warmwasser, Heißluft oder Prozesswärme eingesetzt werden. Beispiele sind die Herstellung von Schokolade (Heiz- und Kühlprozesse), Käse (Prozesswärme), Essig (Fermentation, Pasteurisierung), Gemüse (Beheizung von Gewächshäusern, Kühlung von Lagerhäusern), frischen Fertiggerichten (heißes Wasser aus der Abwärme der Kühler) oder Fleisch (heißes Wasser für Reinigungsprozesse). In der Lebensmittelindustrie ist die Wärmerückgewinnung aus Kältesystemen (d.h. Kondensatoren von Kältemaschinen) eine wichtige Wärmequelle. Außerdem werden Heizung und Kühlung oft gleichzeitig durchgeführt, so dass beide Seiten der Wärmepumpe vorteilhaft genutzt werden und der Gesamt-COP steigt. Die Betriebstemperaturen sind relativ niedrig, so dass Wärmepumpen in vielen Fertigungsprozessen eingesetzt werden können.

Große Wärmepumpen spielen in Fernwärmenetzen eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung von Warmwasser (60 bis 70 °C) und Raumwärme (35 bis 45 °C) für ganze Bezirke und Stadtviertel. Als Wärmequellen werden in der Regel natürliche Ressourcen wie Grundwasser (z.B. Champagne in Biel oder die Stadt Aarau), Seewasser (z.B. Lausanne) oder Flusswasser (z.B. Les Vergers, Laurana), Luft (z.B. Quartier St. Jakob in Basel), Geothermie, aber auch Abwärme von nahe gelegenen Industrieanlagen (z.B. Feldschlösschen in Rheinfelden) genutzt.

Weitere Fallstudien zu industriellen Wärmepumpen stammen aus der metallverarbeitenden Industrie (Wärmebehandlung von Metallteilen, Erzeugung von Warmwasser und Prozesswärme aus der Abwärme von Kühlprozessen) sowie aus Kläranlagen (Warmwasser aus Abwasser) und Thermalbädern (Warmwasser aus thermischem Abwasser).

Die höchsten Vorlauftemperaturen von über 90 °C wurden in den Fallstudien der Gais-Käserei in Appenzell und des Schlachthofes in Zürich beobachtet. Wärmepumpen, die Wärme von rund 80 °C liefern, sind seit vielen Jahren auf dem Markt. Die typischen Heizleistungen der Beispiele reichen von mehreren 100 kW bis zu großen Leistungen im MW-Bereich, die in Fernwärmenetze eingespeist werden. Hauptsächlich werden Kolben-, Schrauben- und Turbokompressoren eingesetzt. Die hauptsächlich verwendeten Kältemittel sind R134a, R717 (Ammoniak NH₃), R1234ze(E) (Hydrofluorolefin HFO), R744 (CO₂), R245fa und R410A. Die veröffentlichten COPs der Kompressionswärmepumpen für die Heizung liegen zwischen etwa 2,8 und 7,1 (Durchschnitt: 4,0 bei 50 K Temperaturerhöhung).

Die Fallstudien zeigen, dass sich eine erfolgreiche Integration der Wärmepumpe sowohl auf die Energiekosten als auch auf die Umweltbelastung positiv auswirkt. Der Ersatz von Gas- und Ölkesseln durch Wärmepumpen führt zu einem signifikanten CO₂-Reduktionseffekt. Einige Beispiele zeigen, dass die CO₂-Emissionen um 30 bis 40 % reduziert und große Mengen an fossilen Brennstoffen eingespart werden.

Arpagaus, C. Bertsch, S., IEA HPT Annex 48 Task 1 Report: Case studies of industrial heat pumps in Switzerland, 2019, <https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/05/Switzerland-2019-1.pdf>

Erkenntnisse aus dem internationalen Projekt

Eine Gemeinsamkeit der Fallstudien aus den verschiedenen Ländern ist, dass Industrierärmepumpen derzeit vor allem in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden, da hier vergleichsweise niedrige Wärmenutzungstemperaturen benötigt werden. Durch gleichzeitiges Heizen und Kühlen oder die Nutzung von Abwärme aus Kälteanlagen ergeben sich positive Synergieeffekte.

Die große Zahl der Anwendungsbeispiele aus Österreich trägt dazu bei, Österreich als Vorreiter von Industrierärmepumpen zu positionieren und innovative und effiziente Lösungen in österreichischen Betrieben, sowie heimische Wärmepumpenhersteller und innovative Forschungsprojekte sichtbar zu machen.

5.2. Task 3 (Anwendung von Modellen)

Task 3 wurde von IPESE (EPFL, Schweiz) erarbeitet und liefert praktische Richtlinien und Erkenntnisse, wie Simulationswerkzeuge und Modelle angewandt werden können, um die systematische Integration von Wärmepumpen in industrielle Prozesse zu unterstützen. Die Ziele von Task 3 wurden hauptsächlich aus den Schlussfolgerungen des vorhergehenden IEA HPT/IETS Annex 35/13 abgeleitet, der eine detaillierte und kritische Übersicht über verschiedene Modellierungs- und Auslegungsprogramme für Wärmepumpen und eine ausführliche Diskussion des theoretischen Hintergrunds für die systematische Integration von Wärmepumpen in industrielle Prozesse auf der Grundlage der Pinch-Analyse enthält. Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus dem Bericht verweisen auf die begrenzte Verbreitung und eingeschränkte Verwendbarkeit der verfügbaren Tools. Eine breite Anwendung dieser Programme wird durch die Komplexität und die spezifische Ausbildung, die für die Nutzung der meisten verfügbaren Softwaretools erforderlich sind, sowie durch die theoretischen Grundlagen, die hinter diesen Werkzeugen stehen, behindert.

Daher wurden in Task 3 folgende Ergebnisse erarbeitet und im Taskbericht zusammengefasst:

- Zusammenfassung der theoretischen Prinzipien hinter der Integration von industriellen Wärmepumpen in prägnanter Form
- Vergleich und Beschreibung der verschiedenen Simulationstools
- Ableitung eines einfach zu handhabenden Leitfadens für die systematische Integration von industriellen Wärmepumpen, der sich an Praktiker richtet und in Kombination mit Software verwendet werden kann.
- Basierend auf den Richtlinien wird die Anwendung auf eine reale Fallstudie vorgestellt, in der auch die Anwendung und Nutzung vorhandener Software (Modelle) demonstriert wird.

Abbildung 11 zeigt einen Überblick über Softwarelösungen, die zur Integration von Wärmepumpen in Industrieprozesse eingesetzt werden können.

- Auslegung von Wärmepumpen (Heat Pump Design): Werkzeuge, die bei der Auslegung und Planung von Wärmepumpensystemen auf der Grundlage ausgewählter Betriebsbedingungen helfen.
- Pinch Analyse: Werkzeuge, die bei der Pinchanalyse eines industriellen Prozesses unterstützen, um das Wärmerückgewinnungspotenzial abzuschätzen und/oder bei der Planung und dem Neuentwurf des Wärmetauschernetzwerks helfen. Bei diesen Werkzeugen liegt der Schwerpunkt auf der Prozesswärmerückgewinnung, nicht auf der Integration von Versorgungseinrichtungen.
- Integration von Prozessvorsorgung (Utility): Werkzeuge, die die Analyse des Wärmerückgewinnungspotential ermöglichen, der Fokus liegt auf Versorgungseinrichtungen

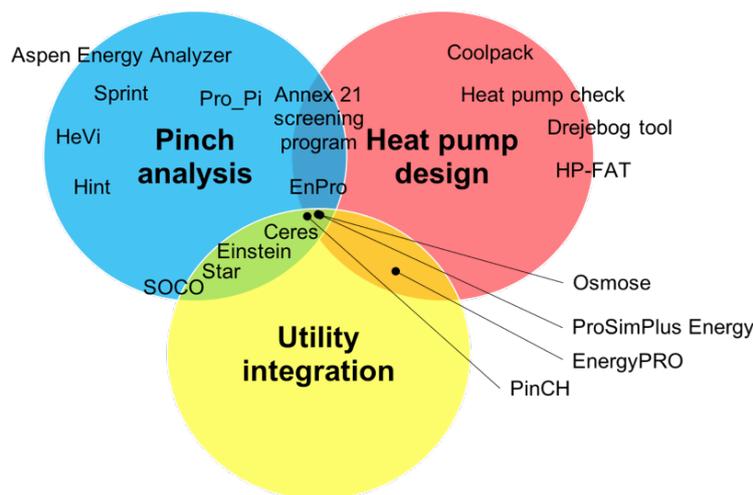


Abbildung 11: Software zur Integration von Wärmepumpen in Industrieprozesse (Wallerand et al., 2020)

An Hand einer realen Fallstudie wurden die Richtlinien zur Integration, die im Task 3 erarbeitet wurden, angewandt. Es handelt sich um eine Molkerei, die großes Wärmerückgewinnungspotential im Bereich der Kondensmilcherzeugung aufweist. Es wurde eine Grobauslegung der Wärmepumpe durchgeführt, die einen COP über 10 und eine Amortisationszeit von weniger als zwei Jahren ergab. Einige Open-Access-Tools wurden während der Fallstudie getestet und es wurden Einblicke in ihre Verwendung und die erwarteten Ergebnisse vorgestellt.

Zusammenfassend wurde ein ganzheitlicher Leitfaden zur Berücksichtigung der Integration von Wärmepumpen in industrielle Prozesse mit technischen Details und Erkenntnissen vorgestellt, die für viele Ebenen des Anlagenpersonals, der Berater und der Praktiker relevant sind.

Wallerand, A.S., Kantor, I.D., Maréchal, F., IEA HPT Annex 48 Task 3: Application of existing models, 2020, <https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/03/2020-Application-of-existing-models-Annex-48.pdf>

5.3. Task 4 (Kommunikation)

Das österreichische Konsortium hat einen Leitfaden für Schulungen erstellt, der zur Information von Planern von Energieversorgungsanlagen, Energiemanagern, im Energiebereich tätigen Consultants und allen Personen, die sich mit der Funktionsweise von Kompressions- und Absorptionswärmepumpen, sowie der Planung von Wärmepumpen für die Verwendung in industriellen Prozessen vertraut machen wollen, dient.

Der Leitfaden ist folgendermaßen aufgebaut: Im Kapitel Grundlagen wird die Funktionsweise von Kompressions- und Absorptionswärmepumpen beschrieben und die Abweichung der Effizienz der realen Anlagen vom idealen Vergleichsprozess erläutert. Im Kapitel Integration von Wärmepumpen in industrielle Prozesse werden unterschiedliche hydraulische Schaltungen vorgestellt, sowie allgemeine Regelungsstrategien beschrieben. Des Weiteren werden Anwendungsbeispiele für die Integration von Wärmepumpen in unterschiedlichen Branchen detailliert erklärt. Im Kapitel Techno-ökonomische Bewertung werden Ansätze vorgestellt, um Investitionsausgaben von Wärmepumpen und die zu erwartenden Betriebskosten abzuschätzen.

Außerdem wurde eine Broschüre erstellt, in der 10 österreichische Beispiele und 16 Beispiele aus anderen Ländern, die sich auf Österreich übertragen lassen, kompakt zusammengefasst. Die Broschüre zeigt branchenspezifische Lösungen aus der Lebensmittel- und Getränkeindustrie, Metallerzeugung und -verarbeitung, Kunststoffverarbeitung, der chemischen und pharmazeutischen Industrie, der Papierindustrie, sowie in Wärmeversorgungsunternehmen und Rechenzentren auf. Die Beispiele sollen als Inspiration für weitere Wärmepumpen in der Industrie dienen.

Zur Information und Bewusstseinsbildung auf europäischer Ebene erarbeiten gerade einige Teilnehmer des IEA HPT Annex 48 ein White Paper zu Industrierärmepumpen, das die Vorteile und Potentiale dieser Technologie für Policy Maker aufzeigt.

Im Rahmen des IEA HPT Annex 48 wurden 11 Veröffentlichungen bei internationalen Konferenzen, Workshops und Zeitschriften erstellt.

Publikationen des österreichischen Konsortiums

Beiträge in Tagungsbänden

- V. Wilk, T. Fleckl, A. Arnitz, R. Rieberer: "Industrierärmepumpen in Österreich: Status Quo und Potentiale", Vortrag: 11. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, Wien, 13.02.2019 - 15.02.2019; in: "Freiheit, Gleichheit, Demokratie: Segen oder Chaos für Energiemärkte?", (2019), 14 S.
- A. Arnitz, R. Rieberer, V. Wilk: "An analysis of heat pumps for industrial applications"; in: "ISEC International Sustainable Energy Conference 2018 Renewable Heating and Cooling in Integrated Urban and Industrial Energy Systems, Proceedings", AEE Intec, Graz, 2018, 9 S.

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften (ohne Review)

- A. Arnitz, R. Rieberer, V. Wilk, H. Unger, P. Schlemmer.: "Waste heat recovery at the Steel and Rolling Mill "Marienhütte", Graz (Austria)", HPT Magazine Vol. 37 (2), 2019.

Vorträge

- V. Wilk: "Industrial Heat Pumps"; Vortrag: Electrification Europe 2019 International Summit – Solutions for a decarbonized society, Paris; 16.10.2019 - 17.10.2019.
- V. Wilk, M. Lauermann, F. Helming, G. Drexler-Schmid, T. Fleckl: "High temperature heat pumps in Austria: Demonstration and application examples"; Vortrag: 2nd Conference on High Temperature Heat Pumps, Copenhagen; 09.09.2019.
- V. Wilk, T. Fleckl, A. Arnitz, R. Rieberer: "Increasing energy efficiency in industry: Application of industrial heat pumps in Austria"; Vortrag: ICR 2019 - 25th IIR International congress of refrigeration, Montreal; 24.08.2019-30.08.2019.
- V. Wilk, T. Fleckl, A. Arnitz, R. Rieberer: "Industrial heat pumps in Austria: Status, case studies and potentials"; Vortrag: Workshop IEA HPT Annex 48 Industrial Heat pumps (2019), Tokyo; 14.05.2019.
- V. Wilk: "Applications of industrial heat pumps"; Vortrag: Renewable Heating in the Pulp and Paper Industry - Assessing potentials of innovative solutions (2019), CEPI, Brussels; 07.02.2019.
- A. Arnitz, R. Rieberer: Wärmepumpen in österreichischen Fernwärmenetzen – Vorstellung ausgewählter Fallbeispiele von installierten Anlagen, Proc. Deutsche Kälte-Klima-Tagung 2018, Aachen, Nov. 21 – 23. 2018. Pres. No. IV.19.
- V. Wilk, A. Arnitz, R. Rieberer: "Industrial heat pumps in Austria: Current status and future potential"; Vortrag: Chillventa Congress 2018, Nürnberg; 15.10.2018.
- V. Wilk: "Panel debate on large heat pumps for industrial processes"; Vortrag: Chillventa Congress 2018, Nürnberg; 15.10.2018.
- V. Wilk, M. Hartl, A. Arnitz, R. Rieberer: "Industrial Heat Pumps in Austria: Applications and research"; Vortrag: European Heat Pump Summit 2017, Nürnberg, 24.10.2017 - 25.10.2017.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Zielgruppen, Einbindung und Ergebniskommunikation, Relevanz und Nutzen

Industriebetriebe, Anlagenplaner, Energieberater: Diese Zielgruppe besteht aus potentiellen Anwendern von Industriewärmepumpen, sowie Planern und Beratern, die Industriewärmepumpen als Effizienztechnologie potentiellen Anwendern vorschlagen können. Ein wesentliches Ziel des Annex48 war es, diese Zielgruppe zu informieren. Dazu wurde die Broschüre erstellt, die einen guten Überblick über möglichen Anwendungen in verschiedenen Branchen bietet, sowie der Leitfaden für Schulungen. Außerdem tragen die Veröffentlichung auf Konferenzen, die sich an potentielle Anwender wenden, wie das EnPro Symposium, die Energiewirtschaftstagung oder die ISEC, zur Verbreitung der Informationen bei.

Wärmepumpenhersteller: Neben Industriebetrieben, die bereits Wärmepumpen einsetzen, waren österreichische Wärmepumpenhersteller bei der Erhebung und Beschreibung der Anwendungsbeispiele eingebunden. Veröffentlichungen auf Wärmepumpenfachveranstaltungen, wie dem Heat Pump Summit oder dem Chillventa Kongress in Nürnberg, tragen dazu bei, österreichische Lösungen sichtbarer zu machen. Die Broschüre und Veröffentlichungen bei Veranstaltungen, die sich auch an potentielle Anwender wenden (siehe oben) können für die im Projekt eingebundenen Wärmepumpenhersteller ein zusätzlicher Marketingkanal sein.

Wissenschaft: Die Ergebnisse wurden auf wissenschaftlichen Konferenzen und Workshops, sowie in einer Zeitschrift veröffentlicht, was zur Sichtbarkeit in der wissenschaftlichen Community beiträgt. Das Interesse an österreichischen Industriewärmepumpen ist hoch, was sich auch in der großen Zahl von eingeladenen Vorträgen zeigt (siehe Liste in Abschnitt 5.3).

Policy Maker: Zur Information und Bewusstseinsbildung auf europäischer Ebene erarbeiten gerade einige Teilnehmer des IEA HPT Annex 48 ein White Paper zu Industriewärmepumpen, das die Vorteile und Potentiale dieser Technologie für Policy Maker aufzeigt.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Schlussfolgerungen

Es wurden rund 70 Wärmepumpeninstallationen in österreichischen Industriebetrieben erhoben und analysiert. Am häufigsten werden Wärmepumpen derzeit in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Üblicherweise werden diese Wärmepumpen zum gleichzeitigen Heizen und Kühlen verwendet, wie zum Beispiel Kältemaschinen mit Abwärmenutzung. Die Heizleistungen der erhobenen Beispiele liegen im Bereich von einigen 10-100 kW, die Wärme wird zumeist im Betrieb selbst genutzt (Gebäude- und Hallenheizung, sowie Prozesswärme). Wärmepumpen, die die für diese Anwendungen benötigte Vorlauftemperatur von ca. 80 °C liefern, sind bereits seit vielen Jahren marktverfügbar. Die zweite große Gruppe der Anwendungen umfasst Kraftwerke, die Fernwärme bereitstellen. Dabei werden Wärmepumpen überwiegend zur Rauchgaskondensation eingesetzt, um so den Brennstoffnutzungsgrad weiter zu erhöhen. Hier kommen sowohl Kompressions- als auch Absorptionswärmepumpen zur Anwendung. Wärmepumpen, die industrielle Abwärme nutzen und Heizleistungen im MW-Bereich liefern, speisen in der Regel in Fernwärmenetze ein. Durch die Weiterentwicklung der Wärmepumpen zu höheren Wärmenutzungstemperaturen – ermöglicht durch die Verfügbarkeit neuer Kältemittel - steigt die Zahl der Wärmepumpen auch in Fernwärmenetzen. In den erhobenen Beispielen liegt die Vorlauftemperatur zwischen 60 und 95 °C. Fernwärmebereitstellung durch Industriebetriebe erfordert die Kooperation von mehreren Akteuren.

Die veröffentlichten Leistungszahlen der Kompressionswärmepumpen liegen im Bereich von 3,5-5,5. Eine Abschätzung der möglichen CO₂- und Kosteneinsparungen im Vergleich zur Wärmebereitstellung mit einem Gaskessel zeigt, dass mit diesen Wärmepumpen CO₂-Emissionen um 70-81 % und die laufenden Energiekosten um 33-74 % reduziert werden können. Die Effizienzsteigerung der Prozesse und die Vermeidung von CO₂-Emissionen sind wichtige Treiber zur weiteren Verbreitung der Wärmepumpen in der Industrie. Ebenso wichtig sind technologische Weiterentwicklungen, wie höhere Nutzungstemperaturen, sowie die sorgfältige Integration der Wärmepumpen in die Prozesse, da die Integration maßgeblich über die Effizienz entscheidet.

Weiterführende Aktivitäten:

Es wird gerade ein neues Annexprojekt für Industriewärmepumpen im IEA TCP Heat Pumping Technologies konzipiert. Der Fokus dieses weiterführenden Annexprojektes liegt auf Hochtemperatur-Wärmepumpen, das sind Wärmepumpen mit Kondensationstemperaturen >100°C, die für die industrielle Nutzung besonders gut geeignet sind. Mit Hochtemperatur-Wärmepumpen können zahlreiche bis dato ungenutzte Abwärmepotentiale in der Industrie erschlossen und besonders effizient in die Prozesse integriert werden. Dazu zählen insbesondere Trocknungsprozesse sowie Prozesse, die Satttdampf benötigen, wie Eindampf- und Destillationsprozesse. Da Wärmepumpen Energieeffizienzsteigerung und Elektrifizierung von Prozessen ermöglichen und wesentlich zur Dekarbonisierung beitragen, nimmt das Interesse von Industriebetrieben an Wärmepumpen nun auch deutlich merkbar zu. Eine österreichische Beteiligung an diesem neuen

Annex kann daher maßgeblich dazu beitragen, die weitere Verbreitung von Wärmepumpen in der Industrie zu fördern und weiterhin den Wissensaustausch mit internationalen Partnern sicherstellen.

Empfehlungen für FTI Politik

Industriewärmepumpen sind ein wesentliches Element des zukünftigen Energiesystems. Um die weitere Verbreitung in der österreichischen Industrie zu fördern, werden Wärmepumpen mit höheren Wärmenutzungstemperaturen und großen Leistungen benötigt. Großes Potential haben Wärmepumpen, die Dampf erzeugen, da Dampfnetze in Industrieanlagen weit verbreitet sind und diese Wärmepumpen besonders einfach in bestehende Anlagen integriert werden können, zum Beispiel in der Papierindustrie (Trocknung), in der chemischen Industrie (Eindampfanlagen, Destillation) und in der Lebensmittelindustrie (Pasteurisieren, Sterilisieren).

Die Integration von Wärmepumpen in Industrieprozesse ist oftmals komplex. Bereits im Planungsprozess interagieren mehrere Stakeholder: Industriebetrieb, Wärmepumpenhersteller, Anlagenbauer und ggf. weitere Planer. Zudem werden Wärmepumpen im Zuge von Betriebsoptimierungen in bestehende Prozesse integriert. Daher kommt der Prozessintegration große Bedeutung zu. Durch die Wärmepumpe werden Prozesse miteinander verbunden, die zuvor getrennt waren, und es kann zu Rückwirkungen auf den Prozess kommen. Die Wärmepumpe muss außerdem auch auf die bereits bestehende Infrastruktur wie andere Wärmeversorgungseinrichtung, Speicher und Prozesswärmeverbraucher abgestimmt werden.

Um dieser Komplexität Rechnung zu tragen und Vertrauen in die Funktionsfähigkeit dieser Technologie aufzubauen, braucht es erfolgreiche Best-Practice Beispiele bzw. Demonstrationsprojekte für Industriewärmepumpen für verschiedene Anwendungen und Branchen. Investitionsförderungen für die Umsetzung innovativer Technologien, sowie Preissignale, die die Nutzung fossiler Energieträger weniger attraktiv machen, sind dafür wichtige Instrumente.

8 Quellen und Verzeichnisse

8.1. Literaturverzeichnis

Arpagaus C., Bless F., Uhlmann M., Schiffmann J., Bertsch S., High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials, Energy (152), p.985-1010, 2018.

Biermayr, P., Dißauer, C., Eberl, M., Enigl, M., Fechner, H., Fischer, L., Leonhartsberger, K., Maringer, F., Moidl, S., Schmidl, C., Strasser, C., Weiss, W., Wonisch, P., Wopienka E., Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2017, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 4/2018.

Bioenergie Kärnten, www.bioenergie-kaernten.at , abgerufen am 12.01.2018.

Bitzer, Kältemittel-Report 20, 2018 https://www.bitzer.de/shared_media/documentation/a-500-20.pdf abgerufen am 15.11.2018.

Communication from the EU Commission, Towards an Integrated Strategic Energy Technology (SET) Plan: Accelerating the European Energy System Transformation, 2015.

E-Control (2017a): Elektrizität Preisentwicklung Nicht-Haushalte - halbjährliche Aktualisierung, 2017. https://www.e-control.at/documents/20903/26809/MStOeN-2017_PreiseNHH.xlsx/4afbef9d-c9ee-27cf-b30c-9dcfbf75058b, abgerufen am 26.10.2018.

E-Control (2017b): Erdgas Preisentwicklung Nicht-Haushalte – halbjährliche Aktualisierung, 2017. https://www.e-control.at/documents/20903/448573/MStErdGas-2017_PreiseNHH.xlsx/b4c20969-284b-35eb-6a1a-d9222564af85, abgerufen am 26.10.2018.

IEA IETS Annex 13 / HPT Annex 35, 2015 Application of Industrial Heat Pumps, Final Report Part 1, URL: http://www.izw-online.de/annex35/Daten/AN35_Final_Report_Part_1_for_publishing.pdf

Forman, C., Muritala, I.K., Pardemann, R., Meyer, B., Estimating the global waste heat potential, Renewable and Sustainable Energy Reviews 57 (2016) 1568-1579.

Hartl, M., Biermayr, P., Schneeberger, A., Schöfmann, P., Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 8/2016.

Klimaaktiv, <https://www.klimaaktiv.at/>, abgerufen am 18.06.2018.

OIB, 2015. Österreichisches Institut für Bautechnik, Richtlinie 6, Version März 2015.

Panayiotou, G.P., Bianchi, G., Georgiou, G., Aresti, L., Argyrou, M., Agathokleous, R., Tsamos, K. M., Tassou, S.A., Florides, G., Kalogirou, S., Christodoulides, P., Preliminary assessment of waste heat potential in major European industries, Energy Procedia 123 (2017) 335-345.

Statistik Austria (2016) STATcube – Statistische Datenbank von STATISTIK AUSTRIA, Nutzenergieanalyse 2016, abgerufen am 23.03.2018.

Statistik Austria (2018) Energiestatistik: Energiebilanzen Österreich 1970 bis 2018. Erstellt am: 27.11.2018., abgerufen am 15.2.2020.

Unger, H., Energiemodell Reininghaus – Abwärmeauskopplung Marienhütte durch Energie Graz, Technischer Kurzbericht, 2018.

Wallerand, A.S., Kantor, I.D., Maréchal, F., IEA HPT Annex 48 Task 3: Application of existing models, 2020, <https://waermepumpe-izw.de/wp-content/uploads/2020/03/2020-Application-of-existing-models-Annex-48.pdf>

Wilk, V., Hartl, M., Arnitz, A., Rieberer, R., Industrial Heat Pumps in Austria Applications and Research, European Heat Pump Summit, Nürnberg, 2017.

Wolf, S., Fahl, U., Blesl, M., Voß, A., Jakobs, R., Analyse des Potentials von Industrierärmepumpen in Deutschland, Forschungsbericht, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart, 2014.

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Inlandsmarkt für Industrierärmepumpen (Biermayr et al., 2018)	19
Abbildung 2: Energieträger für Industrieranwendungen in Österreich (Statistik Austria, 2016).....	20
Abbildung 3: Österreichische Fallstudien, Verteilung der Industrierärmepumpen auf Branchen	21
Abbildung 4: Österreichische Fallstudien, Wärmequellen und –senken für Industrierärmepumpen	21
Abbildung 5: Österreichische Fallstudien, Leistungszahlen für Kompressionswärmepumpen (27 Datenpunkte)	22
Abbildung 6: Österreichische Fallstudien, Gütegrad für Kompressionswärmepumpen (27 Datenpunkte)	23
Abbildung 7: Zeitpunkt der Inbetriebnahme.....	24
Abbildung 8: Hydraulische Anbindung der Wärmepumpen am Standort der Energiezentrale an den WaWi-Kühlkreislauf des Stahl- und Walzwerks sowie die Anbindung an das bestehende und das neu zu errichtende Fernwärmenetz Graz (vereinfachte Darstellung) (Unger et al., 2018)	25
Abbildung 9: Hydraulisches Schema des Biomassekraftwerks Klagenfurt-Ost mit einem Teil des Dampfkreislaufs und dem Anschluss an das Fernwärmenetz (Bioenergie Kärnten, 2018)	27
Abbildung 10: Überblick über die gesammelten Beispiele der teilnehmenden Länder	29
Abbildung 11: Software zur Integration von Wärmepumpen in Industrieprozesse (Wallerand et al., 2020).....	34

8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über Tasks sowie Taskinhalte.....	13
Tabelle 2: Partner des IEA HPT Annex 48.....	14
Tabelle 3: Kategorien zur Erfassung der Fallbeispiele.....	17

8.4. Abkürzungsverzeichnis

CO ₂	Kohlendioxid
COP	Coefficient of performance, Leistungszahl
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
HPT	Heat Pumping Technologies
IEA	International Energy Agency
TCP	Technology Collaboration Programme

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)