

IEA Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 50: Wärmepumpen in Mehrfamiliengebäuden für Raumheizung und Warmwasser

A. Zottl, T. Natiesta, M. Lauermann,
Ch. Reichl, S. Zibuschka,
R. Rieberer, R. Heimrath

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

38/2022

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 (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

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 Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 50: Wärmepumpen in Mehrfamiliengebäuden für Raumheizung und Warmwasser

Andreas Zottl, Thomas Natiesta, Michael Lauermann,
Christoph Reichl, Sylvia Zibuschka
AIT Austrian Institute of Technology

René Rieberer, Richard Heimrath
TU Graz

Wien und Graz, Mai 2022

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 (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	9
2	Abstract	10
3	Ausgangslage	11
4	Projekthalt	13
4.1.	Der internationale IEA HPT Annex 50 „Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and DHW“	13
4.1.1.	Partnerländer.....	13
4.1.2.	Taskuntergliederung.....	14
4.1.3.	Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes im Task/Annex.....	15
4.1.4.	Österreichischen Kooperation	16
4.2.	Spezifische Projektziele.....	17
4.3.	Vorgangsweise und Methoden	18
5	Ergebnisse	19
5.1.	Österreichische Beiträge und Ergebnisse	19
5.1.1.	Marktübersicht und Systemklassifizierung (AP 1)	19
5.1.2.	Leistungsevaluierung und Qualitätsbeurteilung (AP 2)	23
5.1.3.	Modellierung und Simulation von Komponenten und Systemen (AP 3).....	35
5.1.4.	Demonstration und Monitoring (AP4).....	41
5.2.	Internationale Erkenntnisse und Ergebnisse	43
5.2.1.	Task 1 - Marktübersicht, Hindernisse für die Anwendung, Systemklassifizierung....	48
5.2.1.	Task 2 - Modellierung und Simulation von Systemen, Wirtschaftsmodelle.....	49
5.2.1.	Task 3 - Technologieentwicklung, Evaluierung und Systembewertung	49
5.2.2.	Task 4 - Demonstration und Monitoring	50
5.3.	Publikationen	50
5.3.1.	Country Reports.....	50
5.3.2.	Masterarbeiten.....	51
5.3.3.	Online-Seminarreihe.....	51
5.3.4.	Weitere Publikationen.....	52
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	53
6.1.	Einbindung der Zielgruppen.....	53
6.1.1.	Nationale HerstellerInnen von Wärmepumpensystemen	53
6.1.2.	AnlagenplanerInnen und InstallateurInnen von Wärmepumpenanlagen	53
6.1.3.	AuftraggeberIn (BMK) sowie nationalen Ex-Co VertreterInnen	54
6.2.	Veranstaltungen, Vorträge und Veröffentlichungen	54
6.2.1.	Vorträge bei Wärmepumpenkursen.....	54
6.2.2.	Online-Seminarreihe: Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen	54
6.2.3.	Masterarbeit von Twan Schreurs	55

6.2.4. Journal Paper von Twan Schreurs	56
6.2.5. Veranstaltung der oberösterreichischen Landesregierung.....	56
6.2.6. Artikel in der Fachzeitschrift TGA	56
6.2.7. Homepage und Newsletter von Wärmepumpe Austria.....	57
6.3. Relevanz und Nutzen der Ergebnisse.....	57
6.4. Verwertung der Ergebnisse.....	57
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	58

1 Kurzfassung

Sowohl auf Europäischer, wie auch nationaler Ebene weist nur etwa jede zehnte verkaufte Wärmepumpe eine Heizleistung mehr als 20 kW auf und wäre damit für den (zentralen) Einsatz in Mehrfamilienhäusern (MFH) geeignet. Während Wärmepumpen also in Einfamilienhäusern (Heizleistung < 20 kW) weitverbreitet sind, besteht im MFH-Bereich ein erhebliches Ausbaupotenzial.

Aufgrund der dürftigen Datenlage und fehlender standardisierter Konzepte zur Integration von Wärmepumpen in MFH nahm sich das gegenständliche IEA Projekt zum Ziel, die aktuelle Marktsituation im Detail zu erheben und zu untersuchen, welche Wärmepumpen-Technologien und Systemkonfigurationen für den Einsatz in MFH geeignet sind und wie durch den richtigen Einsatz dieser Technologien eine verstärkte Marktdurchdringung erzielt werden kann. Neben Österreich nahmen Deutschland, Frankreich, Italien, Dänemark, die Schweiz und die Niederlande am Projekt teil. Das vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie in Auftrag gegebene nationale Projekt zum IEA HPT Annex 50 wurde analog zum internationalen Annex in einem Konsortium aus AIT Austrian Institute of Technology und TU Graz wie folgt umgesetzt:

Zuerst wurde der österreichische Wärmepumpenmarkt für MFH aufbereitet und das Potenzial für den Heizungstausch in MFH durch Wärmepumpen abgeschätzt. Von den etwa 260.000 MFH erfüllen bereits heute etwa 60.000 MFH die Voraussetzungen für einen sofortigen Heizungstausch. Bei einer Sanierungsrate von 3 % kämen etwa 8.000 weitere MFH pro Jahr hinzu. Außerdem wurde in internationaler Zusammenarbeit eine Matrix zur Systemklassifizierung und ein darauf basierendes Online-Vorauswahl-Tool erstellt.

In weiteren Schritten wurden Methoden zur energetischen Beurteilung von Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen erarbeitet und ein darauf basierendes Excel-Tool entwickelt. Im Bereich Akustik wurden Ergebnisse aus aktuellen Forschungsprojekten, z.B. *SilentAirHP* (FFG Nr. 848891) in den Annex eingebracht. Ein Highlight ist ein Maßnahmenkatalog mit Angabe der erzielbaren Schallreduktion in dB(A) je Maßnahme. Das beste Beispiel ist die Optimierung der Regelung mit bis zu 10 dB(A) Schallreduktion.

Im Zuge der Simulationsarbeiten wurden optimale Kältekreislaufkonfiguration für Luftwärmepumpen in neu errichteten, sanierten sowie unsanierten MFH identifiziert: Für alle Anwendungen weisen Kältekreisläufe mit dem Kältemittel Propan (R290) die beste Effizienz auf. Insbesondere bei Anwendungen mit höheren Temperaturen erzielten die Kältekreislaufvarianten mit EVI (Kältemitteleinspritzung in Verdichter) die höchsten Werte. Im Zuge der Systemsimulationen wurde das reale Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystem „Hot Ice“ simulationstechnisch abgebildet und mit der modellierten Luft/Wasser-Wärmepumpe verglichen. Mittels dynamischer Anlagensimulation konnte die Anlage vertiefend analysiert (z.B. Auswirkung der Größe des Wärmequellensystems) werden, um Optimierungspotenziale zu identifizieren. Es konnte dabei die Regelung optimiert werden. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass insbesondere ein größeres Wärmequellensystem (Eisspeicher und/oder Solarkollektor) hinsichtlich Effizienz und Energieverbrauch vorteilhaft wäre. Die Anlage wurde als österreichisches Fallbeispiel für die internationale Projekt-Website aufbereitet und die gesammelten Betriebserfahrungen können zukünftig bei der Planung und Umsetzung vergleichbarer Systeme genutzt werden.

2 Abstract

At European and national level, only one in ten heat pumps sold has a heating capacity >20 kW and would thus be suitable for (centralized) utilization in multi-family houses (MFH). While heat pumps are widely used in single-family homes, there is a huge potential for expansion in the MFH sector.

Due to the poor data situation and the lack of concepts for the integration of heat pumps in MFH, the objective of this IEA project was to examine the current market situation in detail and to investigate which heat pump technologies and system configurations are suitable for utilization in MFH and how an increased market penetration can be achieved through the correct use of these technologies. In addition to Austria, Germany, France, Italy, Denmark, Switzerland and the Netherlands participated in the project. The national project IEA HPT Annex 50 had been funded by the Federal Ministry for Climate Protection, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology. The project was executed analogously to the international annex within a consortium of AIT Austrian Institute of Technology and TU Graz:

At first the data regarding the Austrian heat pump market for MFH was processed and the potential for the replacement of heating systems in MFH by heat pumps was estimated. Of the approximately 260,000 existing MFH, about 60,000 MFH already meet the requirements for an immediate exchange of the heating system with a heat pump. At a renovation rate of 3 %, about 8,000 MFH would be added to this number per year. In addition, an international collaboration created a system classification matrix and an online pre-selection tool based on it.

In further steps methods for the energetic evaluation of heat pump combinations with solar thermal and photovoltaic systems were elaborated and an Excel tool based on them was developed. In the field of acoustics, results from current research projects, e. g. *SilentAirHP* (FFG No. 848891) were incorporated into the annex. One highlight is a catalog of measures with details of the achievable noise reduction in dB(A) per measure. The best example is the optimization of the control system with up to 10 dB(A) sound reduction.

In the course of the simulation work optimal cooling circuit configurations for air source heat pumps in newly built, refurbished as well as unrefurbished MFH were identified: For all applications, refrigeration circuits with the refrigerant propane (R290) show the best efficiency. Especially for applications with higher temperatures, the refrigeration circuit variants with EVI (refrigerant injection in compressor) achieved the highest values. In the course of the system simulations, the real solar/ice storage heat pump system "Hot Ice" was simulated and compared with the modeled air/water heat pump. By means of dynamic system simulation, the system could be analyzed in depth (e.g., effect of the size of the heat source system) to identify optimization potentials. The control system was optimized in the process of system evaluation. The sensitivity analysis shows that especially a larger heat source system (ice storage and/or solar collector) would be advantageous in terms of efficiency and energy consumption. The system was prepared as an Austrian case study for the international project website and the operating experience gained can be used in the planning and implementation of comparable systems in the future.

3 Ausgangslage

Wärmepumpen (WP) sind eine umweltfreundliche, erneuerbare Technologie zur Warmwasserbereitung, Raumwärmebereitstellung sowie Kühlung von Mehrfamilienhäusern (MFH), und eignen sich speziell für jene Gebäude, die noch nicht an ein Fernwärmenetz angeschlossen sind.

Konkrete Marktdaten über den derzeitigen Einsatz von Wärmepumpen in MFH fehlen sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene. Ein Indiz zur Ableitung ist die Leistungskapazität. Laut dem Europäischen Wärmepumpenverband weist nur jede zehnte verkaufte Wärmepumpe auf EU-Ebene eine Kapazität >20kW auf. Gemäß der jährlichen Marktberichte von Biermayr et. al wurden in den letzten drei Jahren durchschnittlich 950 Heizungswärmepumpen in der Leistungsklasse >20kW im Inland verkauft. Da sich mehrere Wärmepumpen mit einer Leistungsgröße von <20kW kaskadisch genutzt auch zur Energieversorgung von MFH eignen, sind die Marktdaten bezüglich der verkauften Stückzahl >20kW nur bedingt geeignet, Aussagen über die Verbreitung von Wärmepumpensystemen in MFH abzuleiten. Aus der Erfahrung der einreichenden BIEGE werden sie in Österreich, im Unterschied zum Einfamilienhaus, noch kaum in Mehrfamilienhäusern eingesetzt.

Besonders für den Einsatz in sanierten MFH in urbanen Gebieten geeignet sind Luftwärmepumpen. Sie weisen einen geringen Platzbedarf auf, haben vergleichsweise niedrige Anschaffungskosten und sind einfach installierbar. In Gebieten mit höherem Platzbedarf sind Sole/Wasser-Wärmepumpen die effizienteste Lösung. Sinnvoll sind zudem Kombinationen von WP-Systemen mit Solarthermie (ST) oder Photovoltaik (PV). So benötigen auch neu errichtete MFH zur Warmwasserbereitung nach wie vor hohe Systemtemperaturen. Hier kann die Kombination einer Wärmepumpe mit Solarthermie in der Übergangszeit und im Sommer Vorteile schaffen. Ein spezielles Konzept, das im gegenständlichen Projekt näher untersucht wird, ist die Nutzung von Eisspeichern. Eine weitere Möglichkeit zur Effizienzsteigerung der WP-Anlagen im MFH-Bereich bietet die Integration von PV. Speziell MFH verfügen über große Dachflächen, die für PV-Anlagen genutzt werden können. In Kombination mit der WP kann der Eigenverbrauch gesteigert und im Sommer die Warmwasserbereitung mit PV-Strom gedeckt werden. Dass das Potenzial für Wärmepumpen hoch ist, lässt sich aus nachfolgenden Zahlen ableiten. So gibt es in Österreich rund 176.000 Bestandswohnbauten mit drei bis zehn Wohneinheiten, und damit spricht man von MFH. Jedes Jahr werden rund 2.000 neue Gebäude in dieser Kategorie errichtet. Die meisten MFH findet man in Wien, gefolgt von Oberösterreich, Steiermark und Niederösterreich. Dieser Gebäudetyp wurde speziell in der Gründerzeit (bis 1918) und in den Nachkriegsjahren (1960-1979) errichtet. Mehr als die Hälfte der MFH haben eine Hauszentral- oder Etagenheizung und werden mit Öl, Strom oder Gas beheizt; rund 30 % sind an Fernwärmenetze angeschlossen.

Wärmepumpen sind in Einfamilienhäusern weitverbreitet, darüber hinaus müssen die möglichen Einsatzgebiete der Technologie aufbereitet und dargestellt werden, daher sollen mit dem Projekt die Potenziale der Wärmepumpentechnologie zur Wärmeversorgung von MFH dargestellt und bestehende Marktbarrieren beseitigt werden. Dabei sollen sowohl Konzepte und innovative Technologieoptionen für Wärmepumpen in renovierten und nicht-renovierten Bestandsbauten als auch solche für Neubauten simulatorisch sowie experimentell näher untersucht werden, um die für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Lösung zu finden. Die Erkenntnisse und Ergebnisse werden in internationale ExpertInnenmeetings eingebracht sowie unter nationalen

WärmepumpenherstellerInnen sowie InstallateurInnen und PlanerInnen verbreitet. Die Arbeitsschwerpunkte liegen auf folgenden Inhalten:

- Marktübersicht mit geeigneten Wärmepumpensystemen für den Einsatz in sanierten, unsanierten sowie neuen MFH sowie deren Klassifizierung
- Methodik zur Beurteilung von Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie oder Photovoltaik im sanierten sowie unsanierten Bestandsbau MFH
- Beschreibung von Maßnahmen zur Reduktion von Schallemissionen bei Luft-Wasser Wärmepumpen
- Konzepte optimaler Kältekreisconfigurationen für Luftwärmepumpen in Abhängigkeit der MFH Kategorien (neu, Bestand, sanierter Bestand)
- Die Nutzung von Wärmepumpen in Kombination mit Eisspeichern
- Die systematische Analyse unterschiedlicher Konzepte mittels Simulation und Feldmessung

Bei der Durchführung des Projektes werden die Erkenntnisse und Ergebnisse der Projekte *GreenHP*, *SilentAirHP* und *HotIceWeiz* eingebracht, folgende Inputs bzw. Synergien werden genutzt:

- *GreenHP*: Aus *GreenHP* werden Vorarbeiten in Bezug auf die Potenzialabschätzung von Luft-Wasser-WP in sanierten MFH in urbanen Siedlungsgebieten in Österreich, sowie Messergebnisse aus Prüfstandsmessungen des im Projekt entwickelten Luft-Wasser-WP-Prototyps (= "*GreenHP*") eingebracht.
- *SilentAirHP*: Ins Projekt eingebracht werden quantitative Methoden zur Bewertung schallreduzierender Maßnahmen, sowie die für die akustische Charakterisierung notwendige Mess- und Analysetechnik.
- *HotIceWeiz*: Simulationstechnische und detaillierte messtechnische Untersuchungen der Einbindung einer Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren anhand eines Mehrfamilienhauses in Weiz.

4 Projektinhalt

4.1. Der internationale IEA HPT Annex 50 „Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and DHW“

Das übergeordnete Ziel des Annex 50 ist die verstärkte Nutzung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Das Hauptziel besteht daher darin, mögliche Energieeinsparungen und die Nutzung erneuerbarer Energien durch Wärmepumpen in Gebäuden aufzuzeigen, die mit Wärmepumpen nachgerüstet wurden.

4.1.1. Partnerländer

IEA HPT Annex 50 ist eine Kooperation von sieben europäischen Ländern, die in Tabelle 4-1 mit den jeweiligen nationalen Institutionen angegeben sind.

Tabelle 4-1: Internationale Zusammensetzung des IEA HPT Annex 50 Projekts

Ländername	Institution
Deutschland	Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (Operating Agent) Bosch Thermotechnik GmbH
Österreich	AIT Austrian Institute of Technology GmbH TU Graz - Institute of Thermal Engineering - (IWT)
Frankreich	EDF – Research & Development
Schweiz	CSD INGENIEURE AG
Niederlande	Infinitus Energy Solutions TNO
Italien	Politecnico di Torino
Dänemark	Danish Technological Institute

4.1.2. Taskuntergliederung

Der IEA HPT Annex 50 ist in fünf Tasks gegliedert, die mit Namen und Inhalt in Tabelle 4-2 gelistet sind.

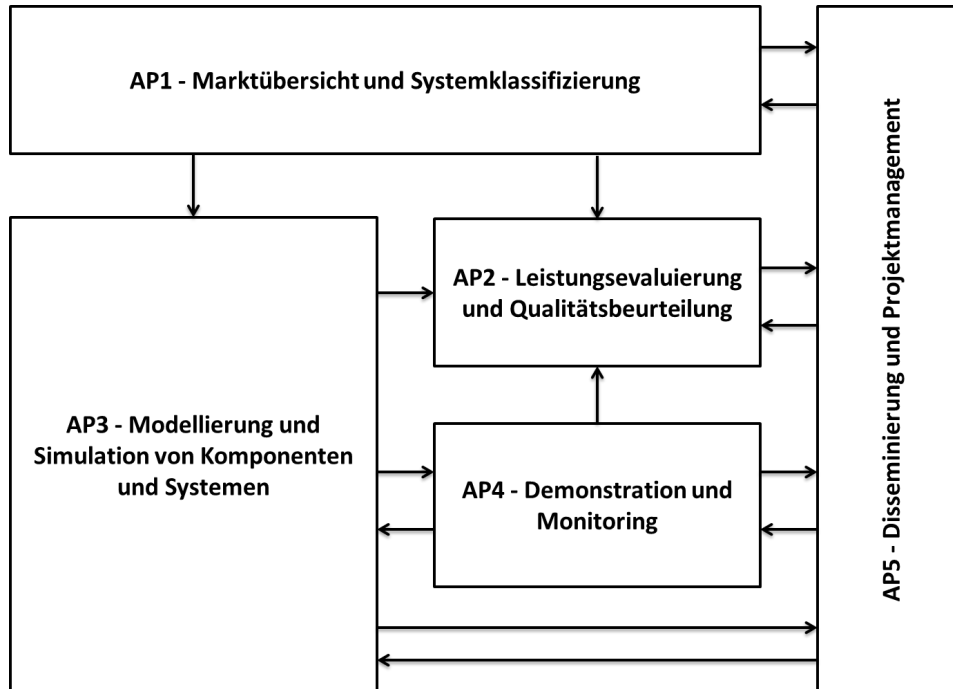
Tabelle 4-2: Taskuntergliederung des internationalen IEA HPT Annex 50

Nummer	Name	Inhalt
Task 1	Marktübersicht, Hindernisse für die Anwendung, Systemklassifizierung	<ul style="list-style-type: none"> • Marktstruktur, MarktteilnehmerInnen, Produkte, verfügbare Systeme und Konfigurationen, Gesetzgebung, Energieversorgungsszenarien etc. • Produkt(system)analyse und Klassifizierung (im Hinblick auf verschiedene Mehrfamilienhaustypen)
Task 2	Modellierung und Simulation von Systemen, Wirtschaftsmodelle	<ul style="list-style-type: none"> • Sammlung bestehender und Entwicklung neuer Modelle • Definition der Systeme, die durch Simulationen untersucht werden sollen • Simulation verschiedener Systeme in einem breiten Spektrum von Betriebsbedingungen (Gebäudetyp/Dämmung, Klima, Anwendungen, Energieszenarien, Wärmequellen usw.) • Sensitivitätsanalyse und Anwendungsmatrix
Task 3	Technologieentwicklung, Evaluierung und Systembewertung	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmepumpen mit besserer Modulation oder kaskadierte Systeme • Wärmepumpen für höhere Vorlauftemperaturen • Vergleich zentraler vs. dezentraler Systeme • Vergleich verschiedener Quellen, z.B. Fassade, Erdreich, Luft, Abwasser • Identifizierung der "besten Lösungen" je nach Gebäude, Klima oder anderen Kriterien
Task 4	Demonstration und Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Erreichen einer gemeinsamen Definition von Systemgrenzen und Leistungsbewertungszahlen • Festlegung von Feldtestverfahren • Sammlung und Analyse von Messdaten
Task 5	Verbreitung und Kommunikation	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung von Informationen für ein breites Publikum über die Ergebnisse des Anhangs • Website und spezielle Wikipedia-Seite • Workshops für Zielgruppen wie InstallateurInnen und PlanerInnen • Abschlussbericht

4.1.3. Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes im Task/Annex

Das österreichische Teilvorhaben ist in fünf Arbeitspakete strukturiert, die sich an die Tasks des internationalen Projektes anlehnen. Sie hängen wechselseitig voneinander ab, wie in Abbildung 4-1 dargestellt.

Abbildung 4-1: Darstellung des österreichischen Teilvorhabens im Annex



Marktübersicht und Systemklassifizierung (AP1)

Dieses Arbeitspaket entspricht dem Task 1 des internationalen Projekts und beinhaltet die Zusammenstellung einer Übersicht über den österreichischen Markt für Wärmepumpen in MFH sowie über bereits umgesetzte Fallbeispiele. Außerdem war die Erarbeitung einer Matrix zur Systemklassifizierung von Wärmepumpensystemen in MFH Teil dieses Arbeitspakets.

Leistungsevaluierung und Qualitätsbeurteilung (AP2)

Dieses Arbeitspaket fokussiert auf die Qualitätssicherung und -steigerung von Wärmepumpenanlagen für den Einsatzbereich MFH, wobei die Themen „Systemkombinationen“ und „Schallemissionen“ im Zentrum der Analysen stehen. Hinsichtlich des Themas „Systemkombinationen“ sind die Entwicklung einer Beurteilungsmethodik für Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie- und PV-Systemen sowohl in sanierten als auch in nicht sanierten MFH zentrale Tätigkeiten. Die Methodik basiert dabei auf bestehenden Normen und erlaubt es, Wärmepumpenkombinationen besser miteinander zu vergleichen. Beim Thema „Schallemissionen“ gibt es Vorarbeiten aus anderen Projekten, beispielsweise dem FFG Projekt *SilentAirHP* (FFG Nr. 848891). Als wichtigen Punkt ist ein Maßnahmenkatalog zur Reduktion akustischer Emissionen von Wärmepumpen zu nennen.

Modellierung und Simulation von Komponenten und Systemen (AP3)

Im AP3 (Modellierung und Simulation von Komponenten und Systemen) werden optimale Kältekreislaufkonfigurationen für Luftwärmepumpen im sanierten sowie unsanierten Bestandsbau MFH identifiziert, und die für die jeweilige Gebäudekategorie effizienteste Konfiguration mittels dynamischer Kreislaufrechnungen in z.B. Dymola ermittelt. Dabei werden im Zuge der Systemklassifizierung in AP1 erhobenen Anforderungen an die Systeme berücksichtigt. Bei der Modellierung wird insbesondere darauf geachtet, dass unterschiedliche Kältekreislaufkonfigurationen mit verschiedenen Kältemitteln gerechnet werden können. Aus den optimalen Varianten je Gebäudekategorie werden für den jeweiligen Einsatzbereich Kennlinienmodelle für die Weiterverwendung in den Anlagensimulationen in TRNSYS erstellt. Im Zuge der Systemsimulationen werden zwei Systemkonzepte (Luft/Wasser und Solar-Eisspeicher/Wasser-Wärmepumpe) mit den identifizierten optimalen Kältekreislauf-Konfigurationen in einer thermischen Simulationsumgebung abgebildet und in weiterer Folge analysiert. Zur Validierung des Solar-Eisspeicher/Wasser-Wärmepumpenmodells werden die Messdaten der untersuchten Demonstrationsanlage in AP4 herangezogen.

Demonstration und Monitoring (AP4)

Das AP4 (Demonstration und Monitoring) widmet sich speziell der Untersuchung einer realisierten Solar-Eisspeicher-Wärmepumpen Anlage für MFH. In einem ersten Schritt wird der Ist-Zustand der Anlage bezüglich Effizienz, Installationsqualität und etwaiger Optimierungspotenziale bzw. Möglichkeiten der Fehlervermeidung in der praktischen Umsetzung erhoben. Für die Validierung der Simulationen in AP3 werden Messdaten der kombinierten Solar-Eisspeicher-Wärmepumpen Anlage erfasst. Die implementierte Messdatenaufzeichnung ermöglicht durch das relativ hochauflösende Messintervall (1 bis max. 10 Minuten) eine detaillierte Analyse der Betriebszustände und Schaltvorgänge in der Anlage zur Beurteilung des Betriebsverhaltens und zur Ermittlung des Optimierungspotenzials. Zusätzlich können Energiebilanzen über unterschiedliche Anlagenteile und für verschiedene Zeitbereiche zur Analyse der Effizienz anhand definierter Key Performance Indikatoren (KPI) erstellt werden.

Dissemination und Projektmanagement (AP5)

Neben den üblichen Projektmanagement- und Berichtstätigkeiten gegenüber der FFG inkludiert dieses Arbeitspaket die Einbringung der österreichischen Beiträge in internationale Expertenmeetings und die Einbeziehung relevanter österreichischer Stakeholder (z.B. Installateure, Wärmepumpenhersteller, etc.) über Online-Seminare, Artikeln in Fachzeitschriften, Newsletterbeiträgen, etc.

4.1.4. Österreichischen Kooperation

Die nationale Arbeitsgemeinschaft bestand aus dem Center for Energy des AIT Austrian Institute of Technology GmbH und dem Institut für Wärmetechnik (IWT) der TU Graz. Beide Institute haben umfangreiche Erfahrungen in der Abwicklung von internationalen Forschungsprojekten und arbeiten schon seit langem in zahlreichen nationalen und internationalen Projekten erfolgreich zusammen. Diese gute Kooperation und die jahrelange Erfahrung im Projektmanagement spiegeln sich auch in der reibungsfreien Abwicklung der österreichischen Teilnahme am IEA HPT Annex 50 wider. Synergien aus den Kompetenzen beider Partner konnten bestens genutzt werden.

Tabelle 4-3: Lead und Mitarbeit in den Arbeitspaketen innerhalb der ARGE

Arbeitspakete auf nationaler Ebene	ARGE Partner
Marktübersicht und Systemklassifizierung (AP1)	IWT, AIT
Leistungsevaluierung und Qualitätsbeurteilung (AP2)	AIT
Modellierung und Simulation von Komponenten und Systemen (AP3)	AIT, IWT
Demonstration und Monitoring (AP4)	IWT
Dissemination und Projektmanagement (AP5)	AIT, IWT

4.2. Spezifische Projektziele

Die Projektziele/-inhalte des internationalen IEA HPT Annex 50 sind in der dritten Spalte der Taskdefinition (Tabelle 4-2), die des nationalen IEA HPT Annex 50 sind in Tabelle 4-4 angegeben. Die Ziele des nationalen Projektes wurden derart gewählt, dass ein optimaler Transfer von Erkenntnissen in die internationalen IEA HPT Annex 50 möglich wurde.

Tabelle 4-4: Projektziele des nationalen IEA HPT Annex 50

Task	Ziele
1	<ul style="list-style-type: none"> • Übersicht über den österreichischen Markt für Wärmepumpen im MFH-Bereich • Klassifizierung der eingesetzten Wärmepumpensysteme nach Wärmequelle, Verteilsystemtemperaturen, Wärmepumpentyp, thermischer Leistung, Systemkonfiguration, etc. • Darstellung realisierter Anlagen im MFH Neu- und Bestandsbau
2	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung einer verbesserten Beurteilungsmethodik für das Labeling von Systemkombinationen aus Luft-WP mit Solarthermieanlagen und PV Anlagen (Package Label) gemäß der EU EcoDesign Richtlinie für den sanierten und unsanierten MFH Bestandsbau • Akustische Charakterisierung Luft-Wasser-WP sowie Ableitung von Maßnahmen zur Reduktion von Schallemissionen von Luft-WP für den Einsatz im sanierten sowie unsanierten Bestandsbau MFH
3	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikation der optimalen Kältekreisconfiguration für Luftwärmepumpen im sanierten sowie unsanierten MFH Bestandsbau auf Basis von generischen Lastprofilen für typische Gebäude. • Simulatorische Abbildung und Analyse von zwei innovativen Systemkonzepten: einer neuartigen Luft-Wasser-WP sowie eines Sole-Eisspeicher/Wasser-WP-Systems
4	<ul style="list-style-type: none"> • Erhebung des Ist-Zustands einer bereits realisierten Anlage (Effizienz, Installationsqualität) • Erhebung von Optimierungspotenzialen bzw. Möglichkeiten der Fehlervermeidung in der praktischen Umsetzung • Erfassung qualitativ und quantitativ ausreichender Messdaten von kombinierten Solar-Eisspeicher-Wärmepumpen Anlage zur Validierung von Simulationsmodellen

Task	Ziele
5	<ul style="list-style-type: none"> • Einbringung der österreichischen Beiträge in internationale Expertenmeetings und Stärkung der internationalen Sichtbarkeit der österreichischen Wärmepumpenforschung • Information der österreichischen Stakeholder über die Projektaktivitäten sowie Verbreitung der nationalen und internationalen Ergebnisse und Erkenntnisse • Erfüllung der Berichtspflichten auf nationaler sowie internationaler Ebene • Einhaltung des Zeit- und Kostenplans • Erreichung der Projektziele.

4.3. Vorgangsweise und Methoden

Zur Bewältigung der gestellten Aufgaben wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden genutzt, die in Tabelle 4-5 zusammengestellt sind.

Tabelle 4-5: Eingesetzte Methoden im nationalen IEA HPT Annex 50

Task	Methoden
1	<ul style="list-style-type: none"> • Literaturrecherche • Recherche von Statistiken • Fragebögen, Recherche (Interviews, Internet, Messebesuche, etc.)
2	<ul style="list-style-type: none"> • Literaturrecherche • Normenrecherche • Labormessungen • Vergleichsrechnungen
3	<ul style="list-style-type: none"> • Literaturrecherche • Modellierung und Simulationsrechnung (Dymola, TRNSYS) • Validierung
4	<ul style="list-style-type: none"> • Vermessung einer Anlage zur Erlangung praxisnaher Erkenntnisse • Datenanalyse zur Detektion von Optimierungspotenzialen
5	<ul style="list-style-type: none"> • Teilnahme an nationalen und internationalen Veranstaltungen • Organisation von Verbreitungsmaßnahmen (Workshops, Publikationen) • Berichtslegung

Die Einholung von Informationen mittels Fragenbögen und Interviews für die Klassifizierung direkt bei den HerstellerInnen war kaum möglich (auch die teilnehmenden Länder im internationalen Annex 50 waren mit diesem Problem konfrontiert), daher wurde eine alternative Strategie im internationalen Projektkonsortium entwickelt:

- Erarbeiten einer gemeinsamen Matrix mit den Teilnehmerländern
- Generische Methode zur Darstellung der realisierten Anlagen
- Einbindung der HerstellerInnen indirekt über die Ausarbeitung von „Use Cases“ in einer Datenbank und Verlinkung zur Matrix
- Nutzung des ExpertInnenwissens und des Netzwerkes der Annex 50 TeilnehmerInnen

5 Ergebnisse

5.1. Österreichische Beiträge und Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse und Highlights des nationalen IEA HPT Annex 50 zusammengestellt. Sie werden in der Reihenfolge der Tasks präsentiert. Für jeden Task sind für die weitere Lektüre die Deliverables zum freien Download auf der AIT-Lernplattform www.waermepumpe-weiterbildung.at¹ verfügbar, in denen weitere Details zu finden sind. Sie sind in Tabelle 5-1 angegeben.

Tabelle 5-1: Deliverables auf Taskebene im nationalen IEA HPT Annex 50

Nummer	Deliverable Name
D1.1	Task 1: Market Overview
D2.1	Task 2.1 Methodology for assessing the performance of combined systems
D2.2	Task 2.2: Acoustic characteristics of MFH air-to-water heat pumps with description of measures to reduce noise emissions
D3.1	Task 3.1: Optimized refrigeration cycle configuration for Air-Water Heat Pumps for renovated, unrenovated and new MFH
D3.2	Task 3.2: System Simulation
D4.1	Task 4: Demonstration and Monitoring

5.1.1. Marktübersicht und Systemklassifizierung (AP 1)

Im AP1 wurde eine Übersicht über den österreichischen Markt für Wärmepumpen im MFH-Bereich ausgearbeitet und im Rahmen des internationalen Annex-Projektes an der Erstellung einer Matrix zur Klassifizierung der für MFH geeigneten Systemkonfigurationen mitgearbeitet. Der Marktüberblick wird mit Steckbriefen realisierter Wärmepumpensystemen in MFH ergänzt.

Politische und rechtliche Rahmenbedingungen

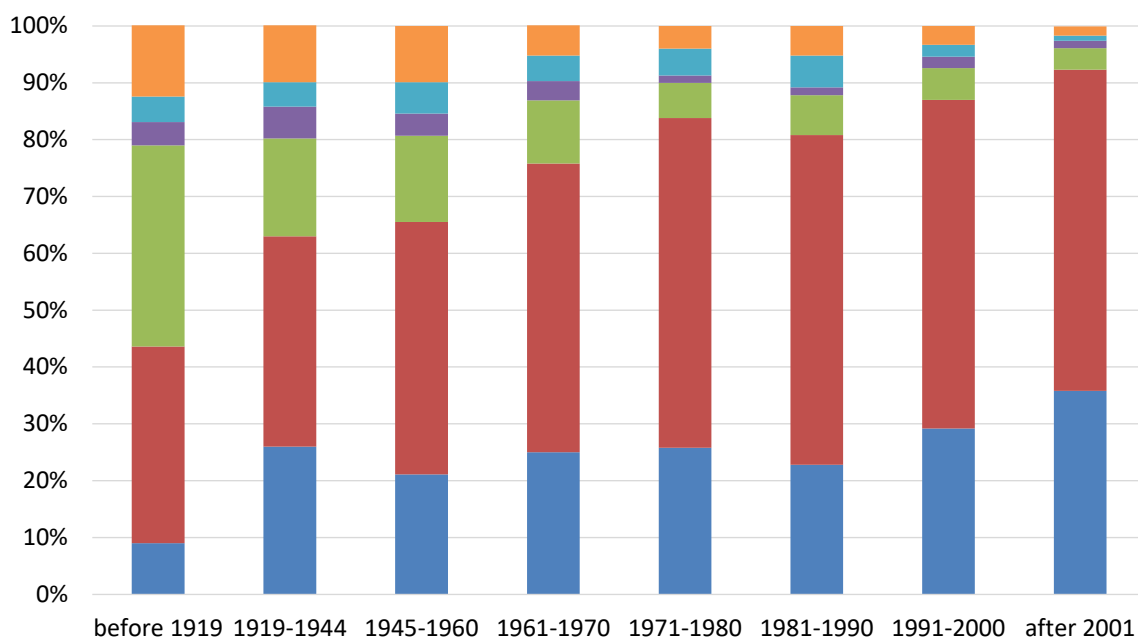
Die aktuelle und künftige Verbreitung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern wird durch die (energie-)politischen Rahmenbedingungen, die wiederum in hohem Maße vom politischen Entscheidungsprozess auf EU- (z.B. Europäischer Klima- und Energierahmen 2030) und nationaler (z.B. Energieeffizienzgesetz) Ebene abhängen, beeinflusst. Für die technischen und rechtlichen Randbedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern sind insb. die Bauordnungen und OIB-Richtlinien relevant.

¹ <https://waermepumpe-weiterbildung.at/course/view.php?id=41> (abgerufen am 09.06.2022, 18:18)

Gebäudebestand in Österreich

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen im Rahmen von AP1 standen umfangreiche statistische Daten zum Gebäudebestand im Jahr 2015 zur Verfügung. Aus diesen geht u.a. hervor, dass sich etwa die Hälfte aller Wohnungen in Mehrfamilienhäusern (> 3 Wohnungen) befinden, dass in Österreich die Gebäudeheizung mit rund 46 TWh (rund 67 %) den mit Abstand größten Endenergiebedarf im Gebäudesektor aufweist und dass Fernwärme mit 41 % und Gasheizungen mit 35 % die am meisten verbreiteten Heizsysteme im österreichischen Gebäudebestand darstellen, was auch aus Abbildung 5- hervorgeht (vgl. Statistik Austria, 2016).

Abbildung 5-1: Heizungssysteme im Gebäudebestand nach Bauperiode (rot: Zentralheizung, blau: Fernwärme, grün: Gasetagenheizungen, violett: Gaskonvektorheizungen, hellblau: direktelektrische Heizungen, orange: sonstige) (vgl. Statistik Austria 2016)

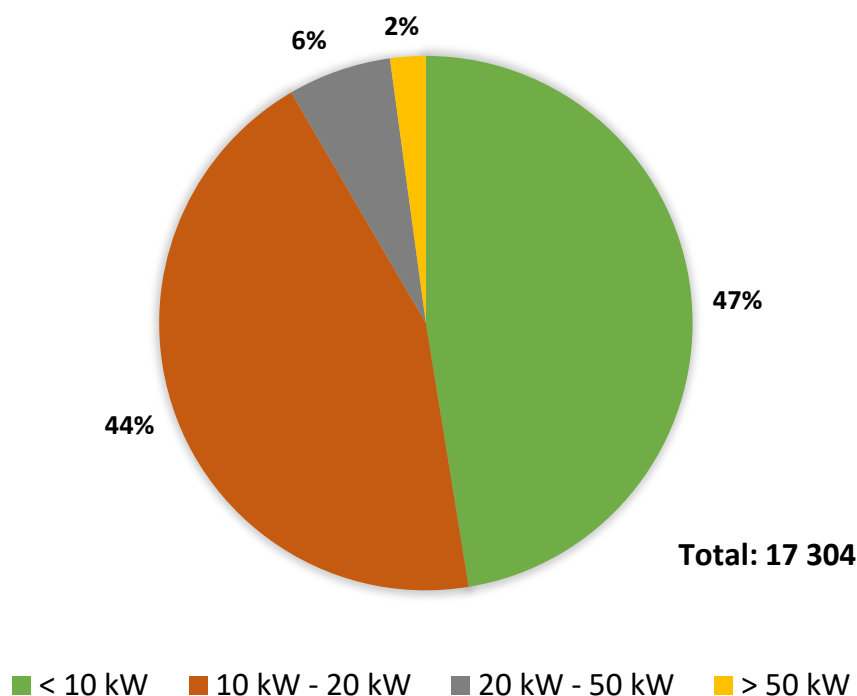


Wärmepumpenmarkt

Die Markteinführung der ersten kommerziellen Wärmepumpen im Wohnbereich in den späten 1970er Jahren war durch die steigenden Preise für fossile Brennstoffe motiviert. In den frühen 1980er Jahren stieg die Zahl der verkauften Wärmepumpen jedes Jahr, wobei die Brauchwasserwärmepumpen den Hauptanteil einnahmen. Aufgrund der sinkenden Preise für fossile Brennstoffe und Qualitätsproblemen ging die Zahl der verkauften Wärmepumpen in den 1990er Jahren deutlich zurück. Seit dem Jahr 2000 steigen die Verkaufszahlen wieder und insbesondere Wärmepumpen für Einfamilienhäuser erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Ein Hauptgrund für diesen Trend war die bessere Energieeffizienz von Neubauten, die sich aufgrund des geringeren Wärmebedarfs und der niedrigeren Vorlauftemperaturen im Heizsystem gut für den Einsatz von Wärmepumpen eignen. Darüber hinaus wurde auch die Qualität verbessert und es wurden einige neue Förderungen eingeführt. Im Jahr 2016 waren 178.455 Heizungswärmepumpen, 80.656 Brauchwasserwärmepumpen, 4.781 Wärmepumpen in Lüftungssystemen und 154 Industrierwärmepumpen in Betrieb. In Abbildung 5- ist die prozentuale Verteilung der Leistungsklassen von Heizungswärmepumpen für das Jahr 2016 dargestellt. Von den im Jahr 2016 installierten 17.304 Heizungswärmepumpen waren 47 % Wärmepumpen mit einer Leistung unter

10 kW. Die mit 44 % zweitgrößte Gruppe sind die Wärmepumpen mit einer Leistung zwischen 10 kW und 20 kW. Es zeigt sich, dass 2016 mehr als 90 % aller verkauften Wärmepumpen eine Leistung unter 20 kW aufwiesen und somit (außer für Gebäude mit dezentraler Wärmeerzeugung in den Wohnungen) nicht für MFH geeignet waren. Größere Wärmepumpen sind in der Minderheit. Nur acht Prozent der 2016 installierten Leistung liegen in einem Bereich zwischen 20 kW und 50 kW bzw. darüber und wären für den Einsatz in MFH geeignet gewesen. Die tatsächliche Anzahl der MFH mit Wärmepumpen war nicht bekannt. (vgl. Biermayer et al., 2017)

Abbildung 5-2: Anteil der verschiedenen Leistungsklassen am Absatz im Jahr 2016; Daten nach Biermayer et al. (2017)



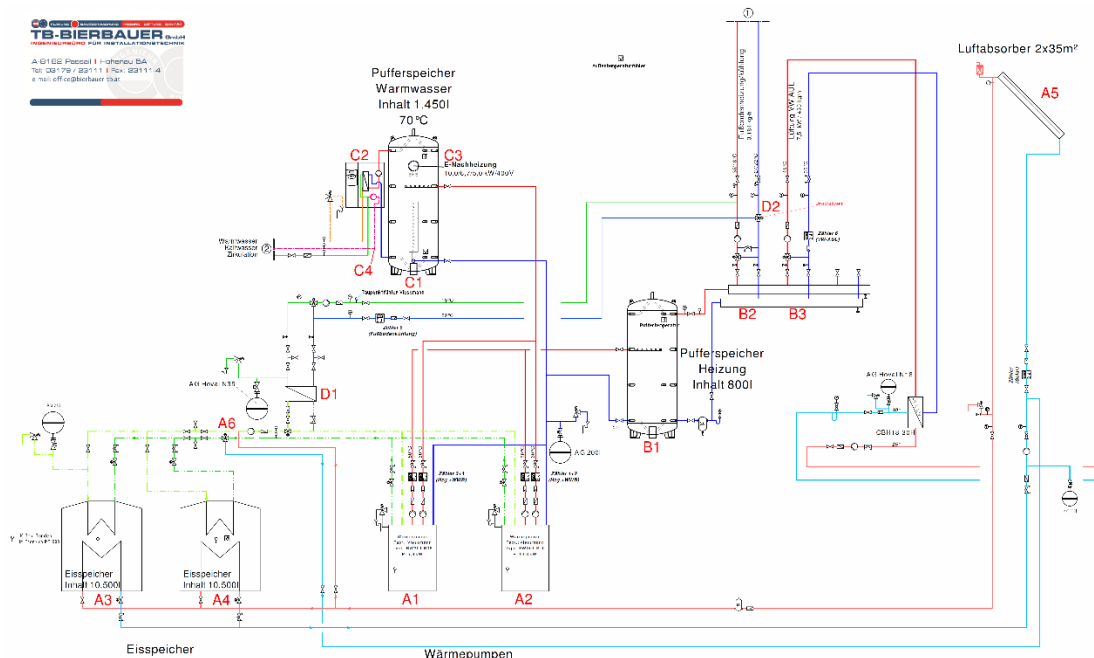
Basierend auf den in AP1 erhobenen Daten zum Wärmepumpenmarkt, zum österreichischen Gebäudebestand und zu den politischen Rahmenbedingungen lässt sich eine grobe Abschätzung des Potenzials für den zukünftigen Einsatz von Wärmepumpen in MFH wie folgt ableiten. In Österreich gibt es etwa 260.000 MFH, wovon etwa 60 % (150.000 MFH), mit einer Zentralheizung ausgestattet. Etwa 40 % dieser Gebäude (60.000 MFH) wurden nach 1980 errichtet und weisen aufgrund der damals geltenden Bauvorschriften einen Heizenergiebedarf unter 140 kWh/m², was allgemein als Grenzwert für den Einsatz von Wärmepumpen angesehen wird. Nach dieser groben Abschätzung könnten daher in Österreich bei etwa 60.000 MFH sofort ein Tausch des Wärmeerzeugers durch eine Wärmepumpe erfolgen, ohne dass eine thermische Sanierung des Gebäudes erforderlich ist. Bei einer angenommenen jährlichen Sanierungsrate von 3 % könnten pro Jahr etwa 8.000 weitere MFH in dieser Gruppe hinzukommen.

Systemklassifizierung von Wärmepumpensystemen in MFH

Für die Entwicklung einer Methodik zur Systemklassifizierung wurden zu Beginn von Wärmepumpenherstellern Informationen angefragt. Aufgrund einer zu niedrigen Rücklaufquote (andere teilnehmenden Länder machten ähnliche Erfahrungen) wurde ein alternativer Ansatz

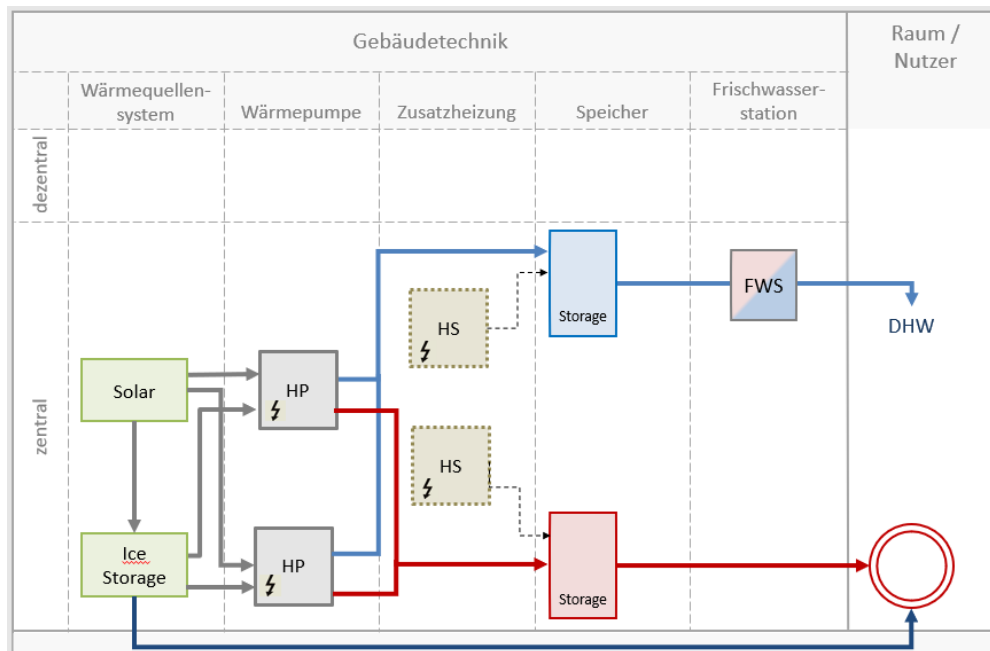
gewählt: Im internationalen Annex-Projekt wurde unter Beteiligung mehrerer Länder eine generische Methode zur Systemabbildung realisierter und künftig errichteter Anlagen entwickelt. Dabei wurden die Wärmepumpenhersteller indirekt über die Ausarbeitung von Fallbeispielen eingebunden. Auch auf das ExpertInnenwissen und das Netzwerk der Annex 50-TeilnehmerInnen konnte zugegriffen werden. Des Weiteren wurden in diesem Prozess Interviews mit VertreterInnen der Wärmepumpenbranche geführt. Nach Abschluss der Entwicklung der Systemklassifizierungsmethodik wurde ebenfalls auf internationaler Ebene das webbasierte Tool zur Vorauswahl von möglichen Wärmepumpensystemlösungen für MFH mit dem Arbeitstitel „Solution-Finder“² entwickelt. Die entwickelte Systemklassifizierungsmethodik wurde auch zur einheitlichen Darstellung von Fallbeispielen verwendet und ermöglicht es, einfache wie auch komplexe Anlagen vereinfacht und vor allem übersichtlich darzustellen. Dabei wird das Zusammenspiel von Wärmequellen und Wärmesenken in verschiedenen Verteilsystemen übersichtlich gezeigt. Die Systemklassifizierungsmethodik kombiniert also die Darstellung von Energieflüssen und von Anlagenverschaltungen. Auch die in Task 3 und 4 untersuchte komplexe Anlage *HotIceWeiz* (Abbildung 5-3) wurde mit dieser Systemklassifizierungsmethodik (Abbildung 5-4) dargestellt.

Abbildung 5-3: Anlagenschema *HotIceWeiz* (Task 1-Country Report, 2020)



² <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/solution-matrix/> (abgerufen am 25.05.2022; 18:39)

Abbildung 5-4: Klassifizierung *HotIceWeiz* (Task 1-Country Report, 2020)



5.1.2. Leistungsevaluierung und Qualitätsbeurteilung (AP 2)

Die Themen Qualitätssicherung und -steigerung von Wärmepumpenanlagen für den Einsatzbereich MFH wurden in AP2 näher betrachtet. Dabei standen die Themen „Systemkombinationen“ und „Schallemissionen“ im Zentrum der Analysen. Zum einen wurde eine Beurteilungsmethodik für Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie- und/oder Photovoltaikanlagen im sanierten sowie unsanierten Bestands-MFH entwickelt. Die Methodik, die auf der Temperature-BIN Methode (siehe z.B. EN 14825) beruht, erlaubt es, Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie- und/oder Photovoltaikanlagen besser miteinander vergleichen zu können. Das Verfahren berücksichtigt die Aufstellungssituation (z.B. Standort, Ausrichtung) sowie Kollektor/Modul-Parameter. Hier werden die wichtigsten Ergebnisse, die im Task 2.1-Bericht³ detailliert dargestellt sind, präsentiert.

Zum anderen wurden Maßnahmen zur Reduktion von Schallemissionen von Luftwärmepumpensystemen erarbeitet. Dabei wurden Vorarbeiten aus diversen Projekten, z.B. *SilentAirHP* in das Projekt eingebracht. Diese ermöglichen detaillierte Bewertungen von Schallreduktionsmaßnahmen von Luft/Wasser-Wärmepumpen. Dieser Bericht enthält Auszüge aus dem sehr detaillierten Task 2.2-Bericht⁴ und enthält einen Katalog an Schallreduktionsmaßnahmen, die für den MFH-Bereich als passend befunden wurde.

Beurteilungsmethodik für Wärmepumpenkombinationen mit Solar- und Photovoltaikanlagen

Der Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern ist oftmals schwieriger umzusetzen als deren Einsatz in Einfamilienhäusern, beispielsweise aufgrund eingeschränkter Zugänglichkeit von Wärmequellen. Diese Einschränkungen gefährden darüber hinaus auch die energetische Performanz solcher Systeme, wobei eine Systemkombination mit anderen erneuerbaren Energiequellen, z.B. mit

³ <https://waermepumpe-weiterbildung.at/mod/resource/view.php?id=1171&forceview=1> (abgerufen am 25.05.2022; 18:40)

⁴ <https://waermepumpe-weiterbildung.at/mod/resource/view.php?id=1172&forceview=1> (abgerufen am 25.05.2022; 18:40)

Solarwärme vom Dach wiederum einen positiven Einfluss auf die Gesamt-Energieeffizienz des Gebäudes hätte. Um solche Wärmepumpen-Systemkombinationen bewerten zu können werden entsprechende Tools benötigt.

Deshalb wurden im gegenständlichen Projekt (Task 2.1) Methoden zur Bewertung der Energieeffizienz von Wärmepumpenkombinationen mit einer thermischen Solaranlage bzw. mit einer Photovoltaik-Anlage z.B. am Dach des MFH entwickelt. Die in Task 2.1 entwickelten Methoden basieren auf bestehenden Normen (z.B. ÖNORM EN 14825) und stehen im Einklang mit der ErP-Richtlinie (2009/125/EG). Die Berechnungsergebnisse sind SCOP-Werte, die direkt in die Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz (η_s) umgerechnet werden können, mit der die Energieeffizienzklasse auf dem Energielabel (z.B. A+++) bestimmt wird.

Für die Definition einer Methode zur Berechnung einer Gesamteffizienz-Kennzahl einer Wärmepumpenkombination mit einer Solarthermieanlage, in welcher die vom Solarkollektor bereitgestellte Energie berücksichtigt wird, wurden die in EN 14825 bereitgestellten Formeln für die Berechnung von SCOP_{on} bzw. SCOP_{net}-Werte modifiziert:

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j [P_h(T_j) - P_{hKoll} + Q_{Speicherverluste}]}{\sum_{j=1}^n h_j \left(\frac{[P_h(T_j) - P_{hKoll} + Q_{Speicherverluste}] - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} + elbu(T_j) \right)}$$

$$SCOP_{net} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j [P_h(T_j) - P_{hKoll} + Q_{Speicherverluste}] - elbu(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j \left(\frac{[P_h(T_j) - P_{hKoll} + Q_{Speicherverluste}] - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} \right)}$$

Über weitere Berechnungsschritte wird der saisonale Raumheizungswirkungsgrad (η_s) berechnet, der die Energieeffizienzklasse des Gesamtsystems bestimmt. Die gesamte Berechnungsmethode und eine Erklärung der einzelnen Term-Bezeichnungen finden sich im Task 2.1-Bericht.

Für die Integration einer PV-Anlage in das Berechnungsverfahren mussten die Formeln der ÖNORM EN 14825 analog zu den oben angeführten Formeln um die Modulleistung erweitert werden:

$$SCOP_{on} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j * P_h(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j * \left(\frac{P_h(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} \right) + elbu(T_j) - P_{hModul}}$$

$$SCOP_{net} = \frac{\sum_{j=1}^n h_j * P_h(T_j) - elbu(T_j)}{\sum_{j=1}^n h_j * \left(\frac{P_h(T_j) - elbu(T_j)}{COP_{PL}(T_j)} \right) - P_{hModul}}$$

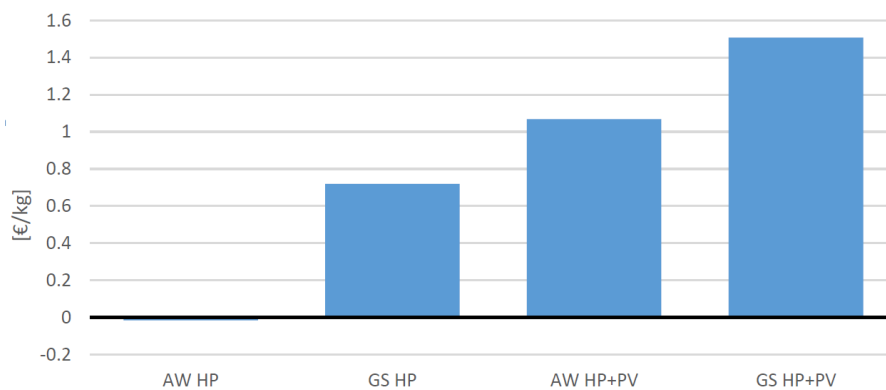
Die PV-Anlage reduziert den Stromverbrauch der Wärmepumpe, was zu einer Erhöhung des SCOP_{on} bzw. SCOP_{net} führt. Mit den genannten Methoden wurde im Projekt ein SCOP-Excel-Tool entwickelt. Die entwickelte Methode kann als Input bei der Weiterentwicklung von Normen (z.B. ÖNORM EN 14825) und Richtlinien (z.B. der ErP-Richtlinie (2009/125/EG)) verwendet werden.

Weitere Aktivitäten in Task 2.1 bezogen sich auf die ökonomische und ökologische Bewertung von Wärmepumpenkombinationen mit einem PV-System:

Im Zuge der Masterarbeit „Techno economic analysis of combined heat pump and PV systems in Austria“ (Schreurs, 2019) wurden finanzielle Kennzahlen, (z.B. Kapitalwert) für eine Investition in den Tausch eines konventionellen gasbasierten Heizsystems durch eine Wärmepumpenkombination mit einem PV-System ermittelt. Mit den Kennzahlen wurden zahlreiche Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen u.a., dass die ökonomische Performanz einer Wärmepumpenkombination mit einem PV-System stark von der Entwicklung des Gaspreises abhängt. Eine weitere im Rahmen des IEA HPT Annex 50 durchgeführten Bachelorarbeit (Klein, 2020) beschäftigte sich ebenfalls mit Wärmepumpenkombinationen mit einem PV-System.

Die Bewertung der Kosten bzw. des Nutzens der Reduzierung der CO₂-Emissionen zeigt, dass der Ersatz des konventionellen gasbasierten Heizsystems durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe (ohne PV) Kosten in Höhe von 0,02 EUR pro eingespartem kg CO₂ verursachen würde. Der Ersatz durch eine Erdwärmepumpe würde zu einer Nettokosteneinsparung von 0,72 EUR pro kg eingesparter CO₂-Emissionen führen. Die Kombination aus Luft/Wasser-Wärmepumpe und PV-Anlage würde zu Kosteneinsparungen von 1,07 EUR/kg führen, und die Kombination aus Erdwärmepumpe und PV-Anlage hätte den höchsten Nutzen: 1,51 EUR pro eingespartem kg CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 5-5).

Abbildung 5-5: Kosten bzw. Nutzen der CO₂-Emissionsreduktion für beide Wärmepumpentypen mit und ohne PV-Anlage (Schreurs, 2019)



Maßnahmen zur Reduktion von Schallemissionen

Beim Einsatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen sind die durch die Wärmepumpe verursachten Schallemissionen ein wichtiges Thema, das nicht nur bei der Entwicklung von Wärmepumpen, sondern auch bei der Installation und dem Betrieb eine wichtige Rolle spielt. Deshalb wird diese Thematik auch von Behörden und dem/der GesetzgeberIn immer mehr aufgegriffen, was strengere Vorschriften zur Folge hat.

Um die Thematik „Schallemissionen bei Wärmepumpen im MFH“ zu adressieren, wurden im Projekt Erkenntnisse, welche in aktuellen Forschungsprojekten der ProjektpartnerInnen gewonnen wurden, eingebracht.

Entwicklung und Erprobung von Methoden zur besseren akustischen Charakterisierung von Wärmepumpen

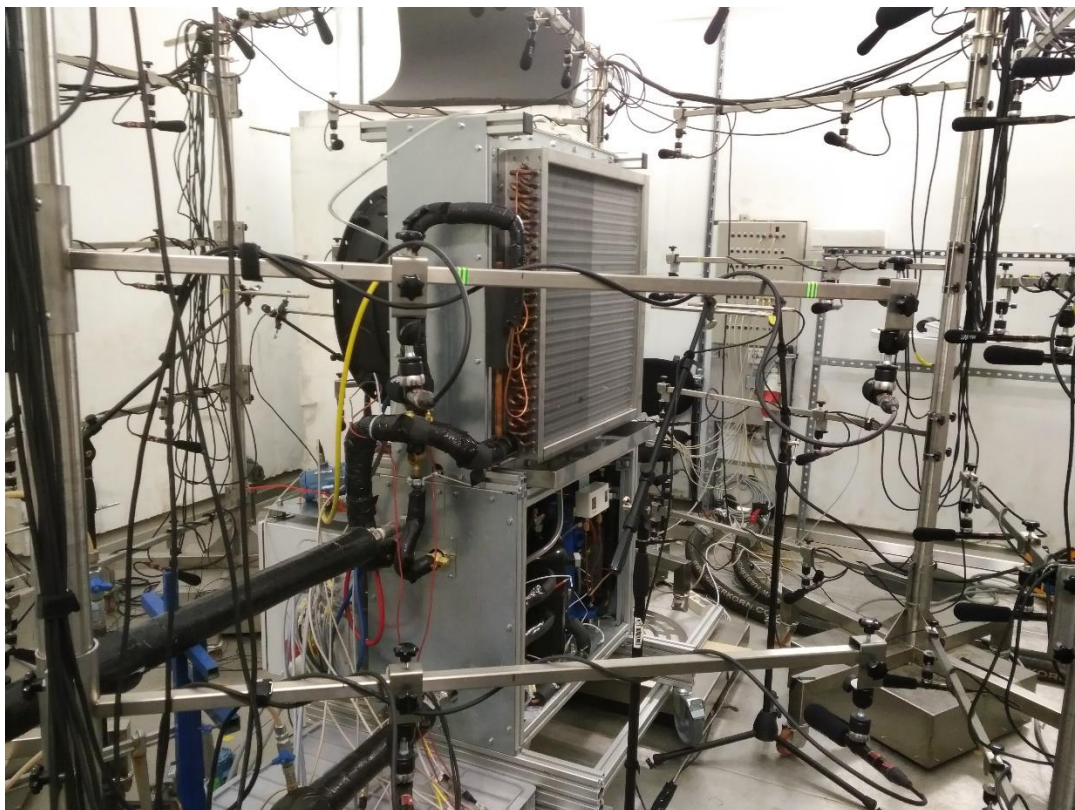
Bislang werden im Rahmen von akkreditierten Prüfungen von Wärmepumpen auch die Schalleistungspegel ermittelt. Diese Art von Messungen spiegelt die akustische Qualität der Wärmepumpe wider, einige wichtige Parameter (z.B. tonale Komponenten in der Schallemission), die für die psychoakustische Wahrnehmung der Schallemissionen einer Luft/Wasser-Wärmepumpe wichtig sind, bleiben bei diesen Verfahren jedoch bislang unberücksichtigt.

Im Forschungsprojekt *SilentAirHP* wurden daher Schallmessverfahren entwickelt und erprobt, die eine differenziertere bzw. erweiterte Schallcharakterisierung ermöglichen.

Akustische Emissionen bei (Luft-Wasser-)Wärmepumpen entstehen einerseits durch die Übertragung von durch beweglichen Bauteilen hervorgerufenen Vibrationen auf das Gerätegehäuse, welches dieses dann als Schallwellen abstrahlt und andererseits in Luftströmungen an scharfen Kanten und durch Turbulenzen in der Strömung. Des Weiteren treten beispielsweise bei der Abtauung des Verdampfers instationäre akustische Ereignisse mit tonalen Schallkomponenten auf.

Eine der in *SilentAirHP* entwickelten wissenschaftlichen Messmethoden ist der akustische Dom, dessen Messanordnung mit der im Projekt verwendeten Versuchswärmepumpe in Abbildung 5-6 dargestellt ist.

Abbildung 5-6: Messaufbau der *SilentAirHP* in der Klimakammer mit 64 Kanal Mikrofon-Dom, transients Gewichtsbestimmung und synchroner Messung von Akustik und vier Vibrationssignalen (Task 2.2 Report, 2021)



Mit diesem neu entwickelten Messverfahren konnte das akustische Verhalten der untersuchten Wärmepumpe weit detaillierter erhoben und dargestellt werden, als wie mit bisherigen Verfahren möglich war. Als Beispiel für die erzielten Ergebnisse zeigt Abbildung 5-7 ein Wasserfalldiagramm der frequenz aufgelösten Schalleistungspegel in einem Zeitraum von etwa 10 Minuten. In den Daten ist die im dargestellten Zeitraum erfolgte Abtauung des Verdampfers der Wärmepumpe (Dauer von etwa 330 Sekunden) gut erkennbar. Während dieser Zeit sind mehrere hellgrüne und gelbe "Linien" zu sehen, die dem Ansteigen und Abfallen der Frequenz von Kompressor und Lüfter entsprechen. Der untere Teil der Abbildung zeigt den frequenz aufgelösten Schalldruckpegel an einer ausgewählten Mikrofonposition. Der Bereich von 330 Sekunden entspricht wiederum der Zeitspanne, in der das Vier-Wege-Ventil umgeschaltet wird, um den Wärmetauscher zum Abtauen aufzuheizen. Es ist möglich, verschiedene kleine akustische Bänder zu verfolgen, die ihre Frequenz (y-Achse) aufgrund von Änderungen der Drehzahl von Gebläse und Verdichter ändern: Zuerst werden Kompressor und Gebläse (1) gestoppt, gefolgt vom ersten Schalten des 4-Wege-Ventils (2); dann läuft der Kompressor in mehreren Stufen für den Rückwärtsbetrieb mit reduzierter Drehzahl (3) wieder an und wird erneut gestoppt (4); nach dem Zurückschalten des 4-Wege-Ventils (5) werden Kompressor und Gebläse wieder mit voller Drehzahl (6) gestartet, was den Beginn des Normalbetriebs markiert. Vergleicht man die Ergebnisse der 60 verschiedenen Mikrofone, die während der Tests um die Wärmepumpe herum positioniert wurden, so lässt sich ein Schalldruckpegelbereich von 5 dB(A) als Richtungsabhängigkeit der Schallemissionen für die ausgewählte Luft/Wasser-Wärmepumpe feststellen. Die akustischen Messungen können auch mit zeitkorrelierten Schwingungsmessungen kombiniert werden - dies gibt Aufschluss über die Herkunft der Schallemissionen aus Ausbreitungsmechanismen (vgl. Linhardt, 2018).

Abbildung 5-7: Frequenz aufgelöste akustische Signatur (in Wasserfalldarstellung) während der Abtauung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Zeitaufgelöste Akustische Signatur in Terzbanddarstellung (*Task 2.2 Report, 2021*)

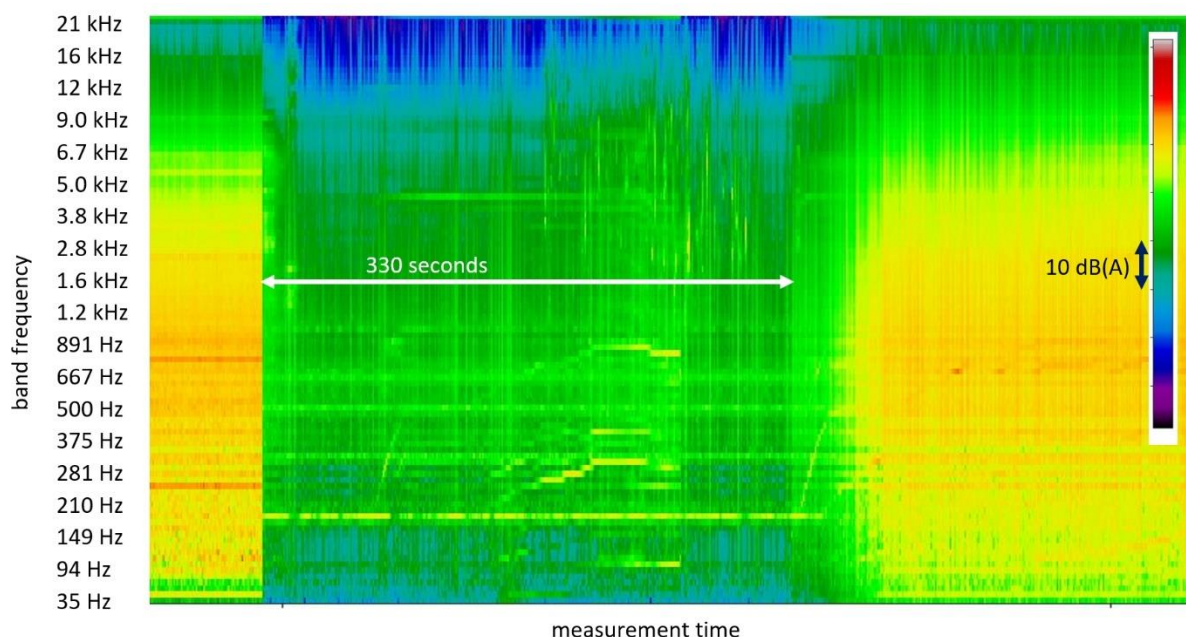


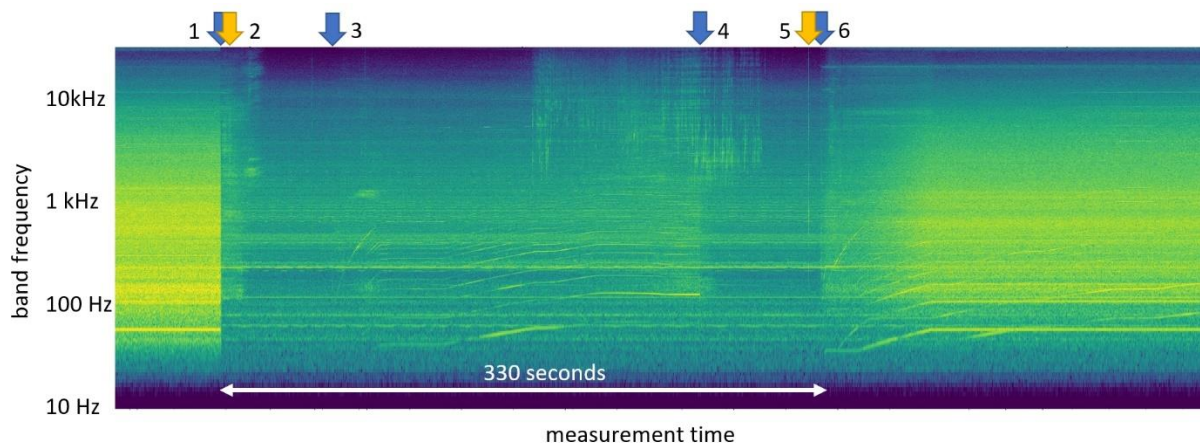
Abbildung 5-8 zeigt den frequenz aufgelösten Schalldruckpegel an einer ausgewählten Mikrofonposition. Der Bereich von 330 Sekunden entspricht wiederum der Zeitspanne, in der das

Vier-Wege-Ventil für die Abtauung umgeschaltet wird. Die Schaltvorgänge sind in der akustischen Signatur der Wärmepumpe erkennbar:

1. Kompressor und Gebläse gestoppt
2. Schalten des 4-Wege-Ventils
3. Kompressor startet für den Kreislaufumkehrbetrieb mit reduzierter Drehzahl
4. Erneuter Verdichterstopp
5. Umschaltung des 4-Wege-Ventils auf Normalstellung
6. Betrieb von Kompressor und Gebläse wieder im Normalbetrieb

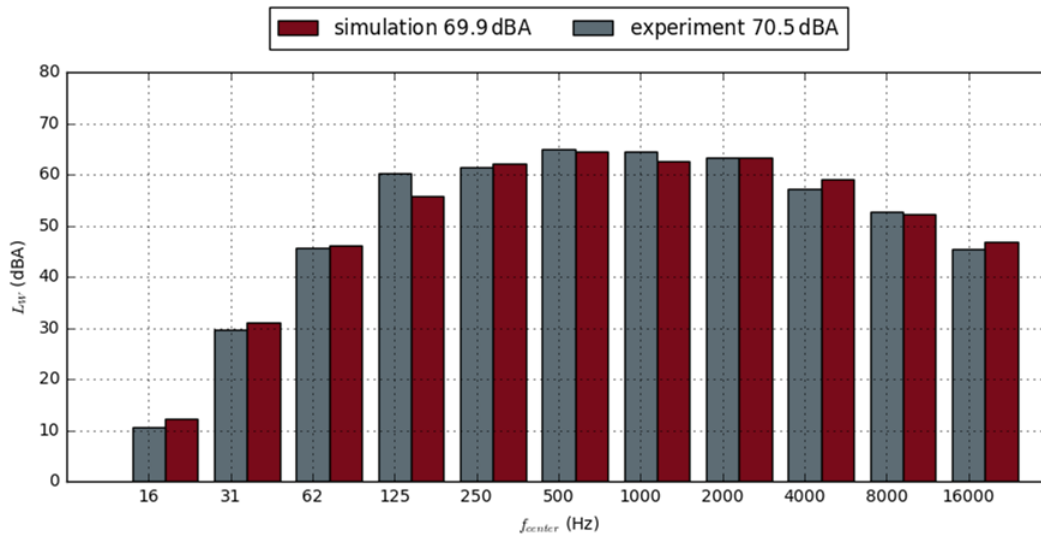
Vergleicht man die Messergebnisse der 60 Mikrofone, so lässt sich eine Richtungsabhängigkeit der Schallemissionen in einer Bandbreite von 5 dB(A) feststellen. Die akustischen Messungen können auch mit zeitkorrelierten Schwingungsmessungen kombiniert werden - dies gibt Aufschluss über die Herkunft der Schallemissionen aus Ausbreitungsmechanismen (Linhardt, 2018).

Abbildung 5-8: Frequenz aufgelöste akustische Signatur (in Wasserfalldarstellung) während der Abtauung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Schalldruckpegel an einer ausgewählten Mikrofonposition in Schmalbanddarstellung (*Task 2.2 Report, 2021*)



Weitere Methoden, die in *SilentAirHP* entwickelt wurden, beruhen auf der dynamischen Simulation des Wärmepumpenbetriebs und der dabei auftretenden akustischen Emissionen. Hierfür wurde eine Modelica®-Bibliothek zur thermodynamischen und nunmehr auch akustischen Simulation von Wärmepumpen um akustische Parameter ergänzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die simulierten und die tatsächlich gemessenen Schallleistungspegeln nur geringe Unterschiede aufweisen, siehe Abbildung 5-9.

Abbildung 5-9: Vergleich der experimentellen Daten der *SilentAirHP* mit den Simulationsergebnissen (*Task 2.2 Report, 2021*)



Eine weitere der entwickelten Methoden sind numerische Strömungssimulationen. Abbildung 5-10 links zeigt das mittels Strömungssimulation simulierte zeitliche Verhalten der Vereisung des *SilentAirHP*-Verdampfers. Auf der rechten Seite ist ein 3D-Modell der Versuchswärmepumpe dargestellt. Abbildung 5-11 zeigt die mittels Strömungssimulation simulierten Strömungsgeschwindigkeiten und Luftdruckwerte in einem symmetrischen Abschnitt des Verdampfers bei zunehmender Vereisung. Die Eisbildung auf den Verdampferlamellen ist in Abbildung 5-12 ersichtlich.

Abbildung 5-10: Zeitliches Verhalten der Eisbildung auf dem *SilentAirHP*-Verdampfer (*Task 2.2 Report, 2021*)

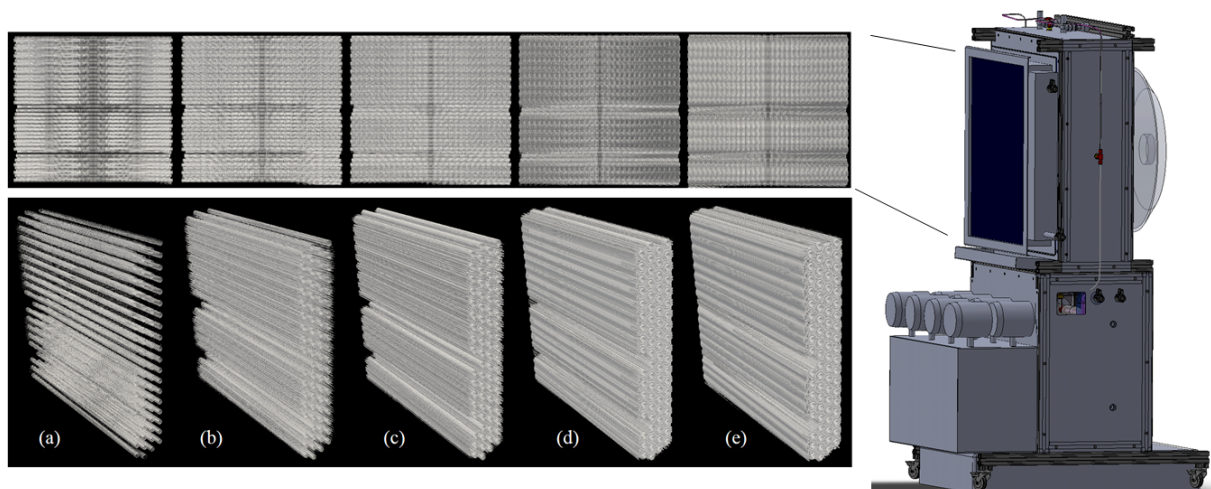


Abbildung 5-11: Zeitliches Verhalten des Eisansatzes auf einem kleinen symmetrischen Abschnitt des Wärmetauschers. Oben ist die Strömungsgeschwindigkeit, unten der Druckverlust bei allmählicher Vereisung dargestellt (Task 2.2 Report, 2021)

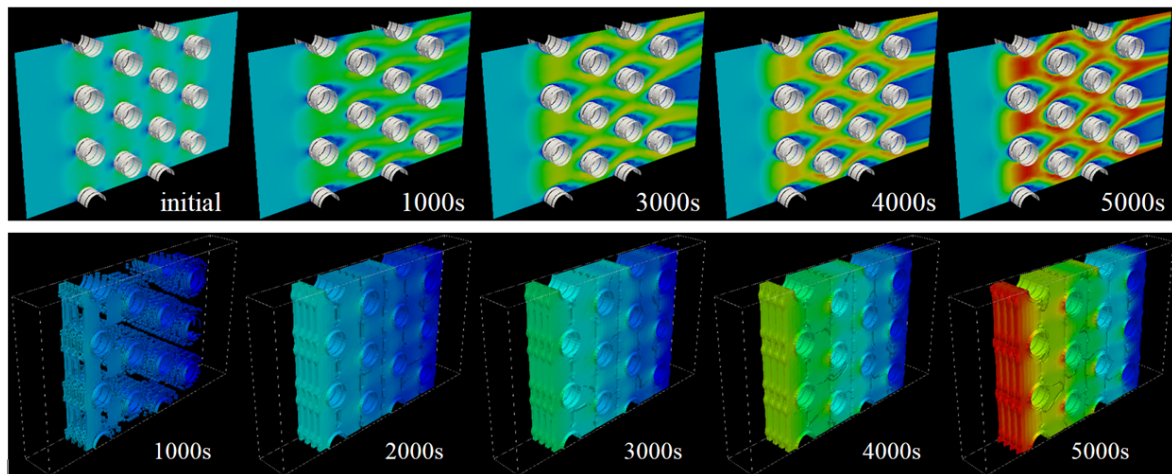
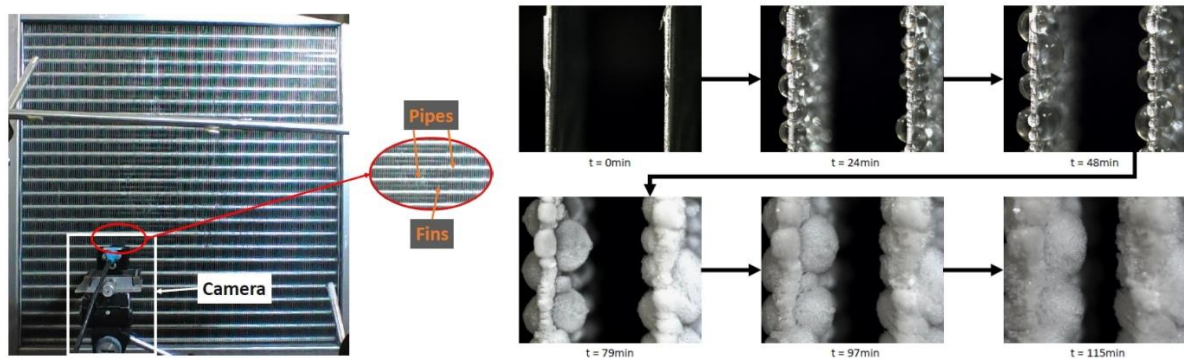


Abbildung 5-12: *SilentAirHP*-Verdampfer mit Makrokamera für die Aufnahme der Vereisung der Verdampferlamellen (links); Eisbildung auf zwei Lamellen des *SilentAirHP*-Verdampfers (rechts) (Task 2.2 Report, 2021)



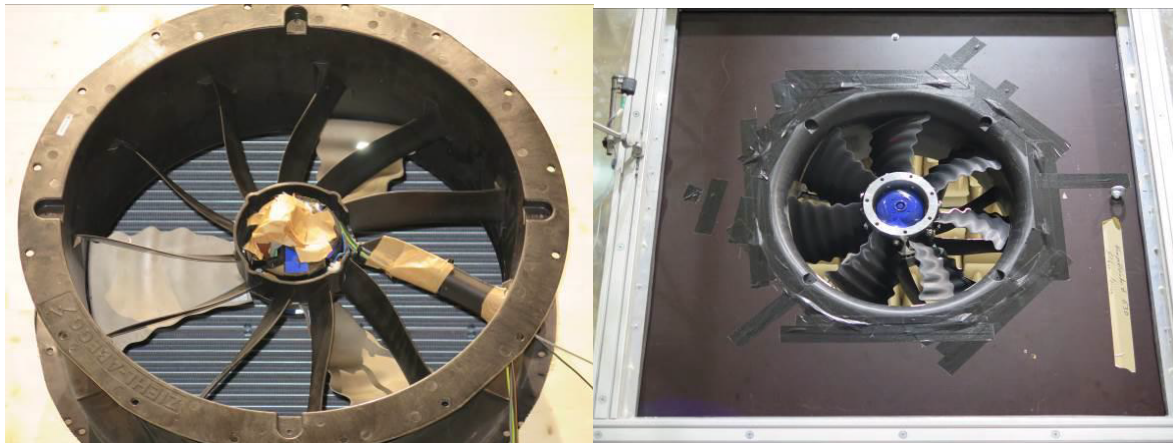
Die in *SilentAirHP* entwickelten Methoden wurden im Rahmen des IEA HPT Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" angewandt. Somit konnten die Erkenntnisse aus *SilentAirHP* um jene aus IEA HPT Annex 51 ergänzt werden.

Des Weiteren wurden Ergebnisse aus dem EU-Forschungsprojekt *GreenHP*⁵ in das Projekt eingebracht. Beispielhaft für die ins Projekt eingebrachten Inhalte sei hier näher auf die Optimierung von Ventilatorflügeln mittels CFD-Strömungssimulationen eingegangen. Dabei wurden Ventilator-Prototypen mit gewellten Flügeln gebaut. Diese Flügelform minimiert Strömungsabriss und weisen somit auch reduzierte Schallemissionen auf. Die Blattspitzen sind außerdem mit Winglets versehen und die Blatthinterkante ist gezahnt, um den Grenzschichtlärm an der Hinterkante zu reduzieren.

In Abbildung 5-13 sind die beiden Ventilatorprototypen EC090 und EC116, bei denen die oben beschriebenen Reduktionsmaßnahmen für tonale Schallemissionen angewandt wurden, dargestellt.

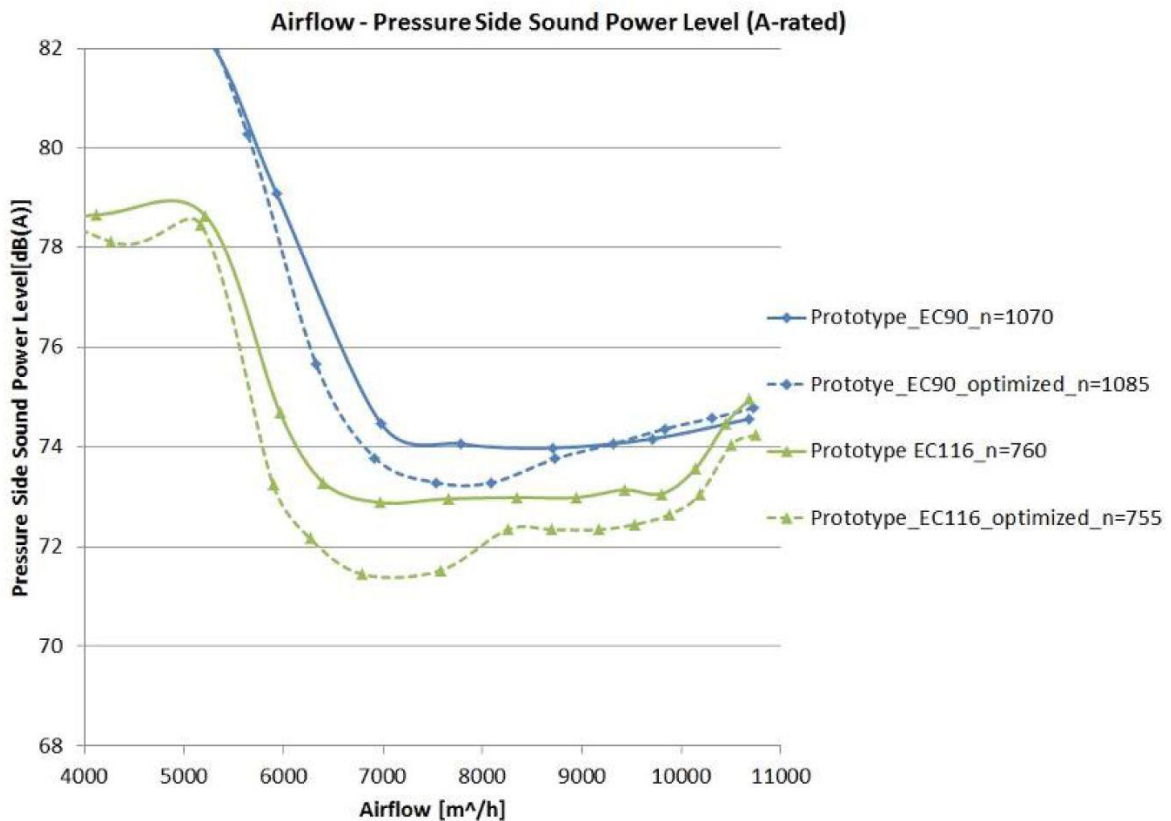
⁵ <https://cordis.europa.eu/project/id/308816> (abgerufen am 25.05.2022, 11:22)

Abbildung 5-13: Ventilatorprototypen EC090 (links) und EC116 (rechts) mit Reduktionsmaßnahmen für tonale Schallemissionen (*GreenHP*, Deliverable 7.1)



Die experimentellen Ergebnisse für das akustische Verhalten dieser Ventilator designs sind in Abbildung 5-14 dargestellt. Sowohl für den EC090-Ventilator als auch für den EC116-Ventilator lassen sich deutliche akustische Verbesserungen feststellen.

Abbildung 5-14: Experimentelle Ergebnisse der Optimierung tonaler Geräusche (*GreenHP*, Deliverable 7.1)



Ein wichtiger Beitrag für das Projekt war der in *SilentAirHP* erarbeitete Bewertungskatalog für Schallreduktionsmaßnahmen, siehe Tabelle 5-2. Die Wirksamkeit der verschiedenen Maßnahmen unterscheiden sich teils erheblich. Besonders vielversprechend sind Maßnahmen in Bezug auf

Optimierung der Wärmepumpenregelung mit denen Schallreduktionen um bis zu 10 dB(A) möglich sind.

Tabelle 5-2: Bewertungskatalog aufbauend auf dem „Leitfaden zur Akustik von Luft/Wasser-Wärmepumpen“ des „Verbands Wärmepumpe Austria“. (vgl. Wei et al., 2015) Resultate beziehen sich auf die jeweilige betrachtete Komponente der *SilentAirHP*.

Maßnahme		Wirkungsmechanismus	Einfluss auf den Schalleistungspegel
Konstruktive Maßnahmen an der L/W-WP			
1	Kapselung des Verdichters	bei Außenaufstellung besonders wirksam	Ungekapselter Kompressor nicht verfügbar
2	Körperschallisolation des Verdichters		Wurde nicht untersucht
2a	Luftschallisolation des Verdichters	Anbringung einer Akustik-Verdichterhaube	Reduktion: <1 dB(A)
3	Körperschallisolation des Ventilators	Weniger Körperschallübertragung auf Gehäuse und Kanäle	Wurde nicht untersucht
4	Verbesserung der Strömung in Ventilatornähe	Diffusor	Reduktion: 2 dB(A)
4	Schallabsorbierende Kanalisolation	Dämmmaterial	Reduktion: <4 dB(A) bei maximaler Ventilator Drehzahl
6	Eckige Kanalumlenkungen mit zusätzlicher Auskleidung	Umlenkung als Reflexions-Schalldämpfer nutzen. Auf große Kanalbreite achten und Abstrahlung nach oben bevorzugen	Reduktion: 2 dB(A)
7a	Absorptions-Schalldämpfer	Umlenk-Kulissenschalldämpfer	Reduktion: 2.5 dB(A) ¹
7b	Absorptions-Schalldämpfer	Umlenkung	Reduktion: 2.5 dB(A) ²
8	Vermeidung von Kanalresonanzen	Abstimmung von Länge und Querschnitt der Kanäle	Wurde nicht untersucht
9	Leitbleche in Krümmern	Geringere Turbulenzen und geringerer Druckverlust	Wurde nicht untersucht
Komponentenspezifische Maßnahmen			
10	Lärmarmer Verdichter	Lärmreduktion der Quelle	Verdichter wurde nicht getauscht
11	Geräuscharmer Ventilator Typ	Reduktion der Ventilatorgeräusche	Reduktion: 8 dB(A) ³
12	Entdröhnung der Ventilatorflügel	Geringere Körperschallabstrahlung durch die Flügel	Siehe 11
13	Optimierung des	Reduktion des	Siehe 4

	Betriebspunktes des Ventilators	Ventilatorgeräusches durch bessere Strömungsbedingungen	
14	Optimierung des Verdampfers	Reduktion des Druckverlustes über den Verdampfer	Abhängig von Ventilator Kennlinie (z.B.: 5 dB(A) bei Halbierung des Druckverlustes)
15	Anti-Eis-Beschichtungen	Verzögerung von Eisansatz, Veränderung Abtauverhalten des Wärmetauschers	Keine Änderung in der Schalleistung ⁴
Regelungstechnische Maßnahme			
16	Optimierung der Ventilator drehzahl	Durch verschiedene Schaltungen oder mit Vorwiderständen ist bei Bedarf eine einfache Drehzahlreduktion möglich	Abhängig von Ventilator Kennlinie (z.B.: 5 dB(A) bei Reduktion um 100 rpm)
17	Optimierung der Steuerung	Weniger Ein-/Aus-Schaltvorgänge und kürzere Betriebsdauer in der Nacht, Teillastbetrieb während der Nacht	Bei A2W35 und Nachtabenkung (12h): 10 dB(A), Tag 4.5 dB(A) mehr. ⁵
18	Abtaustrategien	Geändertes Eisansatzverhalten	„Abtaugeräuschpegel“ < „Betriebspegel“
Aktive Maßnahmen			
19	Active Noise Cancelling (ANC)	Aktive Generierung von Gegenschall	Eindimensionale Schallfelder können mit Gegenschall gut bekämpft werden (~7dBA Reduktion.). Die dreidimensionalen Felder im Nachlauf des Ventilators können kaum beeinflusst werden.

Vermessung einer kommerziellen Wärmepumpe

Als am Markt für Endkunden befindliches Testsystem wurde eine Luft-Wasser Wärmepumpe in Split-Bauweise mit zwei Ventilatoren in der Außeneinheit (siehe Abbildung 5-15) mit dem Messverfahren „akustischer Dom“ (siehe Abbildung 5-16) vermessen. Die Messungen erfolgten im Rahmen des Projektes RAARA (FFG 873588), bei denen die Messergebnisse von der Wärmepumpe mit Messergebnissen standardisierter Vergleichsprüfkörper (Referenzschallquelle NC-278 sowie Dodekaeder-Messsystem NC-276) verglichen wurden.

Abbildung 5-15: Schematischer Aufbau einer Split-Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Split-Verdampfer⁶

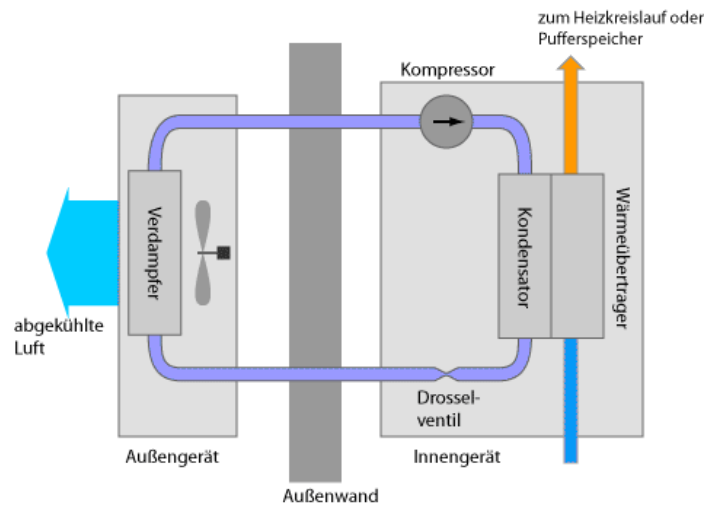
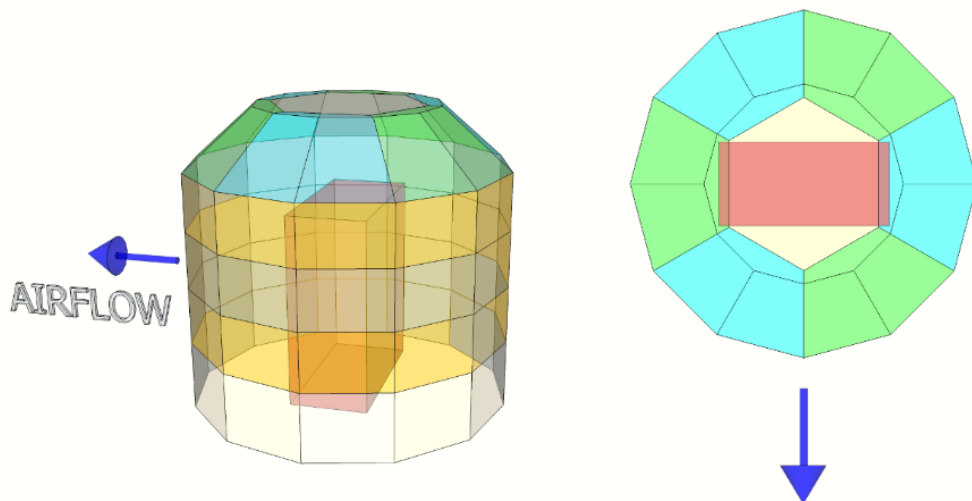


Abbildung 5-16: Visualisierung des Aufbaus des akustischen Doms (Task 2.2 Report, 2021)



In Tabelle 5-3 sind die Schalleistungspegel in den vier verschiedenen Betriebspunkten und die entsprechenden Bedingungen in der Klimakammer zusammengefasst. Der Schalleistungspegel steigt mit abnehmender Umgebungstemperatur für diese Wärmepumpe um insgesamt 8,9 dBA. Zu diesem Zweck wurden Zeitabschnitte mit stationären Bedingungen für alle vier Messpunkte aus dem Datensatz extrahiert und der mittlere Schalleistungspegel berechnet.

⁶ https://www.energie-lexikon.info/split_waermepumpe.html (abgerufen am 25.05.2022, 14:20)

Tabelle 5-3: Schalleistungspegel in vier Betriebspunkten und Bedingungen in der Klimakammer (Task 2.2 Report, 2021)

Betriebspunkte	Außenlufttemperatur [°C]	Relative Feuchtigkeit [%]	Schalleistungspegel [dBA]
Leer (C1)			47,7
M06	-10	70	65,6
M04	2	84	61,1
M10	7	90	59,4
M05	12	90	56,9

5.1.3. Modellierung und Simulation von Komponenten und Systemen (AP 3)

Im AP3 wurden optimale Kältekreisconfiguration für Luftwärmepumpen im sanierten sowie unsanierten Bestandsbau MFH identifiziert und im Zuge der Systemsimulationen zwei Systemkonzepte (Luft/Wasser und Solar-Eisspeicher/Wasser-Wärmepumpe) analysiert.

Optimierte Kältekreisconfiguration für Luft-WP für sanierte sowie unsanierte MFH

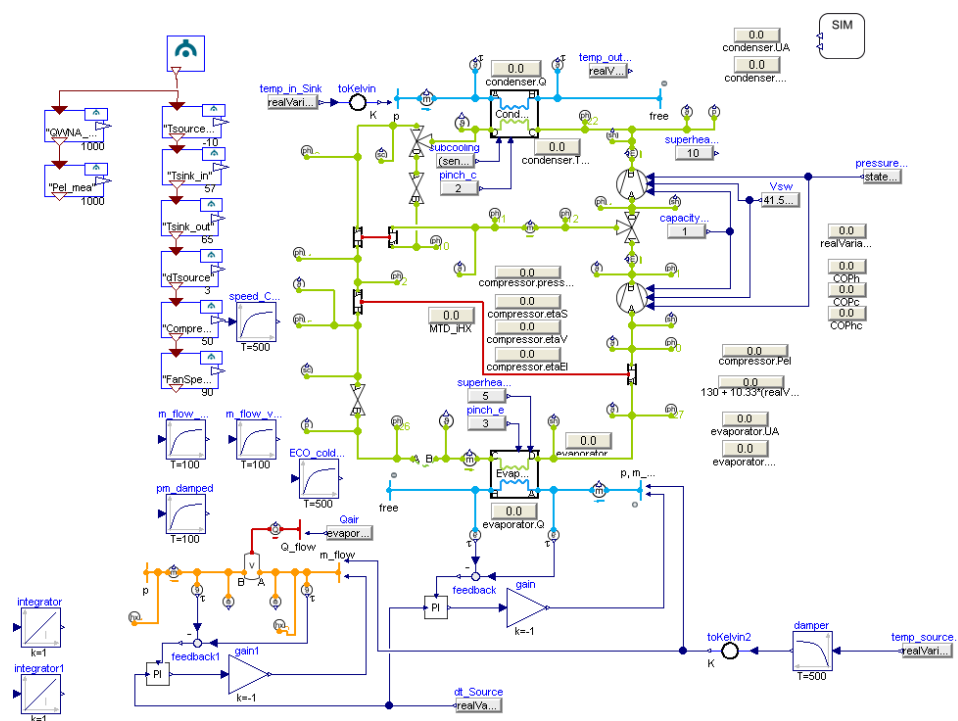
Basierend auf den erarbeiteten Gebäudebestandsmerkmalen im HPT Annex 50 Task 1 Bericht (IEA HPT Annex 50 Task 1, 2017) und Untersuchungen im *GreenHP* Projekt (*GreenHP*, 2016) wurden drei Anwendungsfälle definiert (Tabelle 1). Aus den Vorarbeiten konnte ein typisches österreichisches Mehrfamilienhaus mit 8 bis 10 Wohneinheiten und mit Wohnflächen pro Wohneinheit von zirka 70 bis 100 m² beschrieben werden. Weiters wurden in Anlehnung an die Norm EN 14825 (EN 14825, 2018) die Auslegungstemperaturen für das Heizsystem der verschiedenen Anwendungsfälle definiert. Tabelle 5-4 zeigt die Heizlast, die spezifische Heizlast, den spezifischen Heizbedarf und die Auslegungstemperatur der Heizungsanlage für die drei Anwendungsfälle.

Tabelle 5-4: Definition der MFH Anwendungsfälle

Anwendungsfälle - MFH	Heizlast	spezifische Heizlast	Spezifischer Wärmebedarf	Vorlauftemperatur
-	kW	W/m ²	kWh/m ²	°C
neu	20	30	45	35
saniert	30	50	65	55
unsaniert	50	80	120	65

Für die thermische Modellierung der Wärmepumpenkomponenten wurde, die in der Kältetechnik weit verbreitete TIL-Bibliothek⁷ verwendet. Das numerische Modell (Abbildung 5-17) hat eine generische Struktur, die es ermöglichte, sowohl den einstufigen Kältekreislauf als auch die komplexeren Varianten mit EVI durch einfaches Aktivieren oder Deaktivieren einzelner Komponenten (wie Sauggasüberhitzer, EVI-Einspritzung, Economizer) mit einem einzigen Modell abzudecken. Die Modellierung des Verdichters – die Kernkomponente in Wärmepumpen - erfolgte mit Hilfe von Messdaten und einem effizienzbasierten Ansatz. Dabei wird der Verdichter durch den isentropen und den volumetrischen Wirkungsgrad beschrieben, die sich in Abhängigkeit vom Druckverhältnis und der Verflüssigungs- oder Verdampfungstemperatur, sowie der Verdichterdrehzahl ändern. Der isentrope Wirkungsgrad beruht auf der idealen isentropen Verdichtung und berücksichtigt auch die saug- und druckseitigen Druckverluste, interne Leckage, die Wiederausdehnung des komprimierten Fluids und mechanische Reibung. Der volumetrische Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis zwischen dem geometrisch möglichen Massenstrom und dem tatsächlichen Massenstrom durch den Verdichter. Das fertige Modell wurde mit den Messdaten der *GreenHP*-Prototypanlage kalibriert und validiert.

Abbildung 5-17: Numerisches Modell in Dymola/Modelica®



Mit dem Modell war es möglich, die drei verschiedenen Kältekreisläufe (einstufig, iHX, EVI) in Kombination mit den ausgewählten Kältemitteln (R290, R410A, R134a und R1234zee) bei unterschiedlichen Teillastbedingungen, Vorlauf- und Lufttemperaturen zu simulieren. Folgende 24 definierte Varianten wurden berechnet. Tabelle 5-5 zeigt die 24 festgelegten Varianten, die in je 29 definierten Betriebspunkten nach EN 14825 simuliert wurden. Für jeden Betriebspunkt wurden die Heizleistung, die elektrische Leistungsaufnahme des Ventilators, die Leistungszahl (COP; Coefficient of Performance) und die elektrische Leistung der Wärmepumpe berechnet.

⁷ <https://www.tlk-thermo.com/index.php/de/software/til-suite> (abgerufen am 25.05.2022, 11:33)

Tabelle 5-5: Übersicht der untersuchten Varianten

<p>Für die Kategorie „Neubau“ wurde in Summe sechs verschiedene Varianten gegenübergestellt:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. EVI mit R290 2. Einfach mit R290 3. Sauggasüberhitzer mit R290 4. EVI mit R410A 5. Einfach mit R410A 6. Sauggasüberhitzer mit R410A 	<p>Für die Kategorien „sanierter und unsanierter Bestand“ sind es neun verschiedene Varianten identifiziert worden:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. EVI mit R290 2. Einfach mit R290 3. Sauggasüberhitzer mit R290 4. EVI mit R134a 5. Einfach mit R134a 6. Sauggasüberhitzer mit R134a 7. EVI R1234zee 8. Einfach R1234zee 9. Sauggasüberhitzer R1234zee
--	--

Basierend auf den Simulationsergebnissen konnte mit der Berechnung des Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) für die drei Anwendungsfälle neues, saniertes und nicht saniertes MFH die effizienteste Variante ermittelt werden. Der SCOP stellt die saisonale Effizienz gemäß EN14825 dar und kann als berechneter saisonaler Leistungsfaktor definiert werden. Im Gegensatz zum Coefficient of Performance (COP) wird hier nicht nur die Effizienz eines einzelnen Betriebspunktes betrachtet, sondern das gesamte Betriebsverhalten einer Saison. Abbildung 5-18 zeigt die Eingabemaske für die SCOP-Berechnung nach EN14825. Die Eingabeparameter sind Auslegungsleistung (P_{design}) und die Leistungsdaten bei den in EN14825 deklarierten Teillastbedingungen, das Template berechnet dann den SCOP und η_{s} .

Abbildung 5-18: SCOP Berechnungstool (HP-Keymark, 2020)

Calculation of energy efficiency - Average climate

Product reference		Reference conditions		
Manufacturer		Climate	average	
Product reference		T _{designh}	-10	°C
Type of heat pump	outdoor air-to-water	P _{designh}		kW
Operating mode	heating only	T _{biv}		°C
Temperature application	55 °C	TOL		°C
Water flow	variable	H _{HE}	2066	hours
Water outlet temperature	fixed	Q _H		kWh
Capacity control	variable	Thermostat backup efficiency		%
Backup heater	electricity			

Calculate

Reset

Energy Efficiency			
SCOP _{on}	SCOP	η_s	Q _{HE} (kWh)
		11.46	
		-6	
		-10	

Performance data									
Condition	Outdoor air T °C	Part load ratio (%)	Part Load (kW)	inlet/outlet water temperatures for testing	Declared Capacity (kW)	Declared COP _d	C _{th}	CR	COP _{biv}
A	-7								
B	2								
C	7								
D	12								
E(TOL)									
F(T _{biv})									

Auxiliary power consumptions		
Operating modes for heating only		
	Hours	Power input (kW)
Thermostat off	178	
Standby	0	
Off mode	3672	
Crankcase heater	3850	
Operating modes for reversible units		
	Hours	Power input (W)
Thermostat off	178	
Standby	0	
Off mode	0	
Crankcase heater	178	

9.55	3.26	0.90
11.17	4.00	0.90
12.66	4.31	0.90
14.30	5.50	0.90
7.80	2.60	0.90
9.70	3.30	0.90

Für alle Anwendungen (neues, saniertes und unsaniertes MFH) weisen Kältekreisläufe mit dem Kältemittel R290 den höchsten SCOP auf. Insbesondere bei Anwendungen mit höheren

Temperaturen führten die Kältekreislaufvarianten mit EVI zu den höchsten SCOP-Werten. Für alle Anwendungsfälle wurde der Kältekreislauf mit EVI in Kombination mit dem Kältemittel R290 gewählt, um den höchsten SCOP zu erreichen. In Tabelle 5-6 sind die SCOP der ausgewählten Varianten zusammengefasst.

Tabelle 5-6: SCOP für die ausgewählten Anwendungsfälle

Anwendungsfälle - MFH	Heizlast	Vorlauftemperatur	Variante	SCOP
-	kW	°C	-	-
neu	20	35	EVI_R290	4.35
saniert	30	55	EVI_R290	3.32
unsaniert	50	65	EVI_R290	3.00

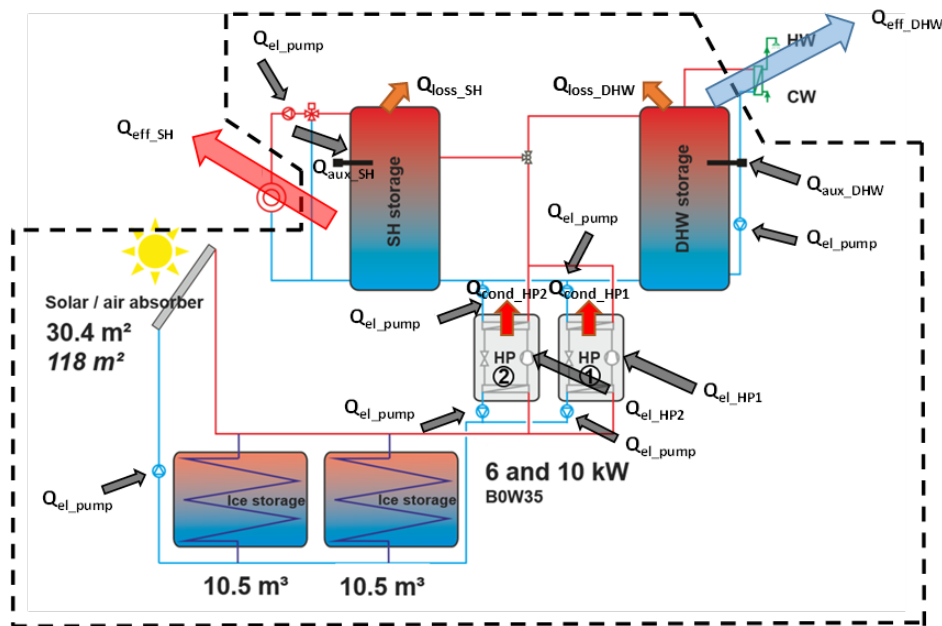
Neben dem Wirkungsgrad bietet R290 aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften die Möglichkeit, die Menge der Kältemittelmasse zu reduzieren. Es stellte sich heraus, dass R290 für die Anwendungen bei höheren Temperaturen im Vergleich zu den ausgewählten Kältemitteln die niedrigsten und damit günstigsten Druckverhältnisse aufweist, da der isentrope Wirkungsgrad vom Druckverhältnis abhängig ist und somit die Effizienz beeinflusst. Zusätzlich wurde die Verdichterverdrängung analysiert, da die Verdichterverdrängung auch ein Indikator für die zum Betrieb der Anlage benötigte Kältemittelmasse ist. Für die Hochtemperaturanwendungen bietet R290 mit EVI ein Reduktionspotenzial von mehr als 50 % im Vergleich zu R1234zee mit dem einstufigen Kreislauf. Für alle Kältemittel zeigt sich, dass nur der Einsatz von EVI die Verdichterverdrängung um mehr als 10 % im Vergleich zum einstufigen Kreislauf reduzieren kann.

Auf Basis der ausgewählten Kältekreislaufvarianten wurden mittels Regressionsanalyse Kennlinien pro Anwendungsfall erstellt. Diese Kennlinien werden für die Parametrisierung des TRNSYS Wärmepumpenmodells im Zuge der Systemsimulationen verwendet.

Systemsimulationen

Im Zuge der Systemsimulationen wurde das – im Abschnitt 5.1.4 näher beschriebene – reale Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystem „Hot Ice“ simulationstechnisch abgebildet. Dazu wurde von Pratter (2017) & Lerch (2017) ein TRNSYS-Modell des Gesamtsystems erstellt und mit Messdaten aus Task 4 (s.u.) validiert.

Abbildung 5-19: Energieströme zur Ermittlung der Arbeitszahl (in Anlehnung an Pratter, 2017)



In Abbildung 5-19 sind die Energieströme im Heizungssystem ersichtlich, die zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen (SPF_{HP}) gem. Gleichung (5-1) und des Heizungssystems (SPF_{sys}) gem. Gleichung (5-2) herangezogen werden. Diese beiden Kennzahlen unterscheiden sich einerseits auf Grund des Strombedarfs der Umwälzpumpen (Q_{el_pump} bzw. W_{el_pump}) und andererseits durch die Wärmeverluste (Q_{loss_SH} bzw. Q_{loss_DHW}) der Speicher und Rohrleitungen im Bereich der Heizung („SH“) und Warmwasserbereitung („DHW“).

$$SPF_{HP (mean)} = \frac{Q_{cond_HP1} + Q_{cond_HP2}}{W_{el_HP1} + W_{el_HP2}} \quad (5-1)$$

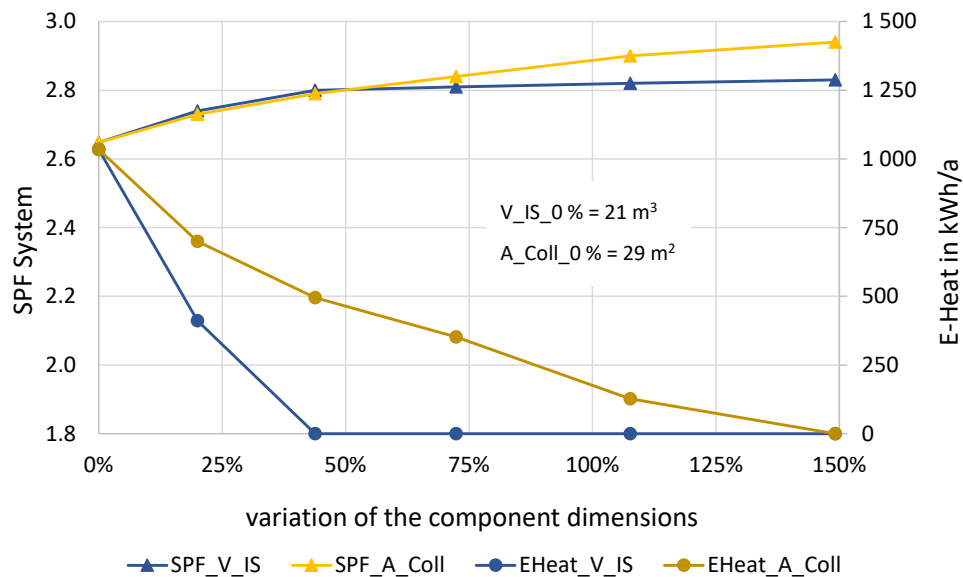
$$SPF_{sys} = \frac{Q_{eff_SH} + Q_{eff_DHW}}{Q_{el_HPs} + Q_{el_pumps} + Q_{aux}} \quad (5-2)$$

Die Qualität des Modells wurde anhand von Mess-/Simulationsvergleichen als ausreichend genau für eine simulationsbasierte Analyse verschiedener Modifikationen des Systems beurteilt, z.B. Variation des Eisspeichervolumens oder der Solarkollektorfläche.

Beispielsweise zeigt Abbildung 5-20 die – unter Berücksichtigung der Klimadaten aus dem Jahr 2016 – rechnerisch ermittelten Auswirkungen einer Vergrößerung des Eisspeichervolumens (ausgehend von 21 m³) und der Kollektorfläche (ausgehend von 29 m²). Daraus ist zu erkennen, dass eine prozentual gleiche Vergrößerung des Eisspeichers den benötigten Hilfsstrombedarf für die E-Heizstäbe (E-Heat) stärker reduziert als eine Vergrößerung der Kollektorfläche. Hinsichtlich Steigerung der Jahresarbeitszahlen haben beide Vergrößerungsmaßnahmen qualitativ in etwa die gleiche Auswirkung.

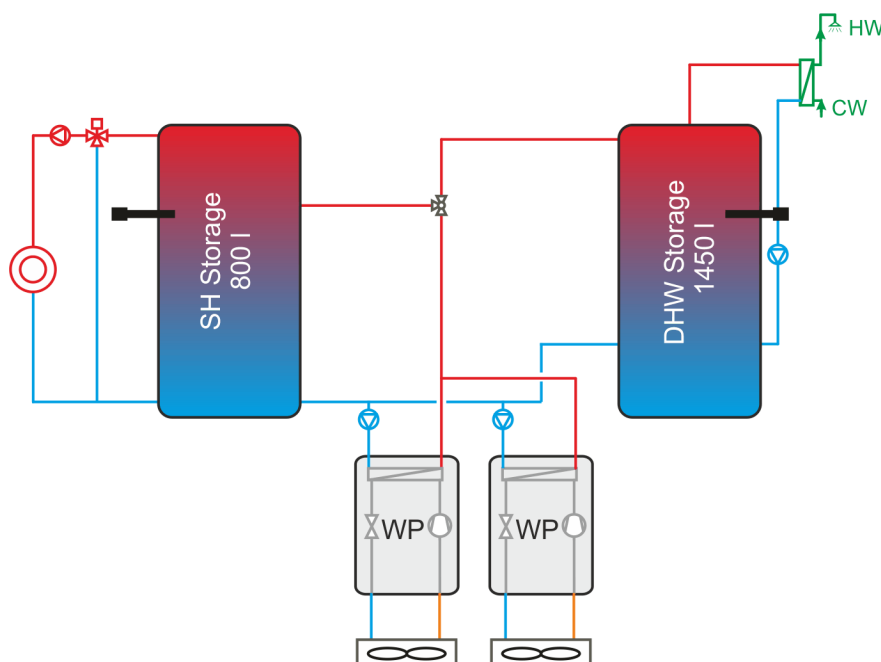
Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass beim realen System ein gewisses Verbesserungspotenzial besteht. Insbesondere ein größeres Wärmequellensystem (Eisspeicher und/oder Solarkollektor) wäre hinsichtlich Effizienz und Energieverbrauch vorteilhaft. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde bislang jedoch keine Optimierung der Hardware realisiert.

Abbildung 5-20: Sensitivitätsanalyse – simulativ ermittelte Auswirkung der Solarkollektorfläche („A_coll“) und des Eisspeichervolumens („V_IS“) auf die Jahresarbeitszahl („SPFsys“) und den Strombedarf für die E-Heizstäbe („EHeat“) (Pratter, 2017)



Im Rahmen der simulationstechnischen Untersuchungen wurde auch ein theoretischer Vergleich der realisierten Systemkonfiguration (mit Sole/Wasser-Wärmepumpen) mit einer "fortschrittlichen" Luft/Wasser-Wärmepumpe durchgeführt. Das Modell der Luft/Wasser-Wärmepumpe ist ein Ergebnis der österreichischen Aktivitäten im Rahmen der Untersuchungen „Optimierte Kältekreislaufkonfiguration für Luft-WP für sanierte sowie unsanierte MFH“ im vorherigen Abschnitt (s.o.) und wurde in TRNSYS, wie in Abbildung 5-21 ersichtlich, abgebildet.

Abbildung 5-21: Schema des Heizungssystems mit Luft/Wasser-Wärmepumpe (Pratter et al., 2020a)



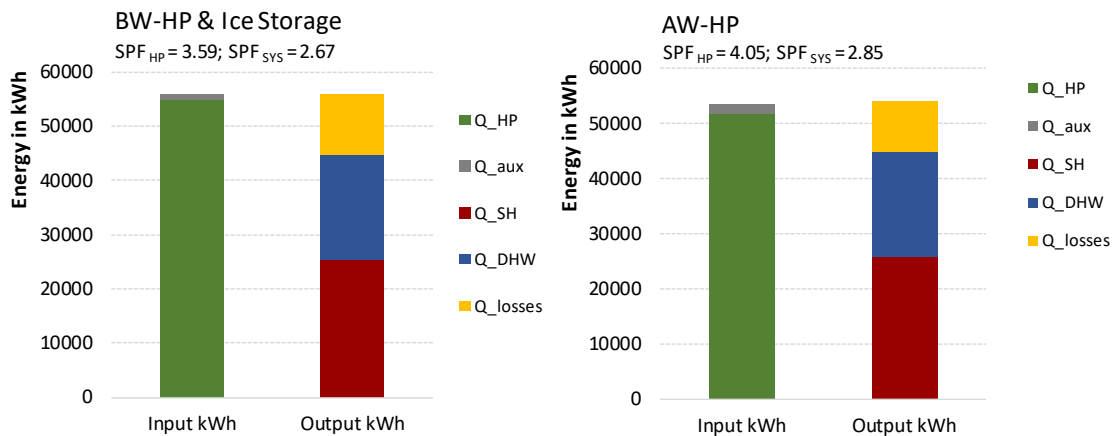
Die Leistungs- und Effizienzkennzahlen der in der realen Anlage eingesetzten Sole/Wasser-Wärmepumpen („BW-HP“) mit den Daten der in Betracht gezogenen Luft/Wasser-Wärmepumpen („AW-HP“) sind in Tabelle 5-7 gegenübergestellt.

Tabelle 5-7: Spezifikationen der installierten Sole/Wasser-Wärmepumpen (BW-HP; Brine/Water Heat Pump) und der fiktiven Luft/Wasser-Wärmepumpen (AW-HP; Air/Water Heat Pump) (Pratter et al., 2020a)

	Case BW-HP & Ice Store				Case AW-HP	
	HP1 - B0/W35	HP1 - B0/W50	HP2 - B0/W35	HP2 - B0/W50	HP1&2- A2/W35	HP1&2- A2/W50
Heating capacity [kW]	5.9	3.5	10.1	6.1	13.4	7.8
COP [-]	4.51	2.50	4.72	2.88	4.41	3.64

Abbildung 5-22 zeigt die Simulationsergebnisse für beide Systemvarianten. Wie daraus ersichtlich ist, erreicht die Anlage mit den Luft/Wasser-Wärmepumpen etwas höhere Jahresarbeitszahlen gem. Gleichung (5-1) und (5-2) ($SPF_{HP} = 4,05$ bzw. $SPF_{SYS} = 2,85$) im Vergleich zum realisierten System (3,59 bzw. 2,67). An dieser Stelle sei angemerkt, dass die im Zeitraum 2015/16 installierten Sole/Wasser-Wärmepumpen nicht mehr ganz dem Stand der Technik entsprechen wohingegen die fiktiven Luft/Wasser-Wärmepumpen in der „Top-Liga“ einzuordnen sind.

Abbildung 5-22: Rechnerisch ermittelte Energiebilanzen für das Heizungssystem mit Sole/Wasser-Wärmepumpen & Luft/Wasser-Wärmepumpen (Pratter et al., 2020a)



5.1.4. Demonstration und Monitoring (AP4)

Das Arbeitspaket 4 „Demonstration und Monitoring“ widmete sich der Untersuchung einer realisierten Solar-Eisspeicher-Wärmepumpen Anlage zur Beheizung und Warmwasserversorgung in Weiz (Projekt *HotIceWeiz* siehe Pratter et al., 2017). In einem ersten Schritt wurde der Ist-Zustand der Anlage bezüglich Effizienz, Installationsqualität und etwaiger Optimierungspotenziale bzw. Möglichkeiten der Fehlervermeidung in der praktischen Umsetzung erhoben. In weiterer Folge wurden für die Validierung des Simulationsmodells (siehe AP3) umfangreiche Messdaten der Anlage erfasst. Die implementierte Messdatenaufzeichnung ermöglicht durch das relativ hochauflösende

Messintervall (1 bis maximal 10 Minuten) eine detaillierte Analyse der Betriebszustände der Anlage zur Beurteilung des Betriebsverhaltens und zur Ermittlung von Optimierungspotenzialen. Zusätzlich konnten Energiebilanzen über verschiedene Anlagenteile und Zeitbereiche zur Effizienzanalyse erstellt werden.

Das installierte Heizungssystem – zur Beheizung des Mehrfamiliengebäudes (siehe Abbildung 5-23) mit knapp 1000 m² beheizter Fläche und Warmwasserversorgung von 10 Wohnungen – nutzt einen Eisspeicher und Solarkollektoren als Wärmequelle für zwei Sole/Wasser-Wärmepumpen. Gemäß Energieausweis erfüllt das im Jahr 2015 fertiggestellte Gebäude mit einem rechnerischen Heizwärmebedarf von ca. 9,9 kWh/(m²a) den Passivhausstandard. Details zum Gebäude, zu den Anlagenkomponenten und den unterschiedlichen Betriebsmodi sind in Pratter et al. (2020b) zusammengefasst. Nachfolgend eine Kurzfassung der wichtigsten Randbedingungen und Erkenntnisse.

Abbildung 5-23: Bild des untersuchten Mehrfamiliengebäudes in Weiz (Hutter 2016)

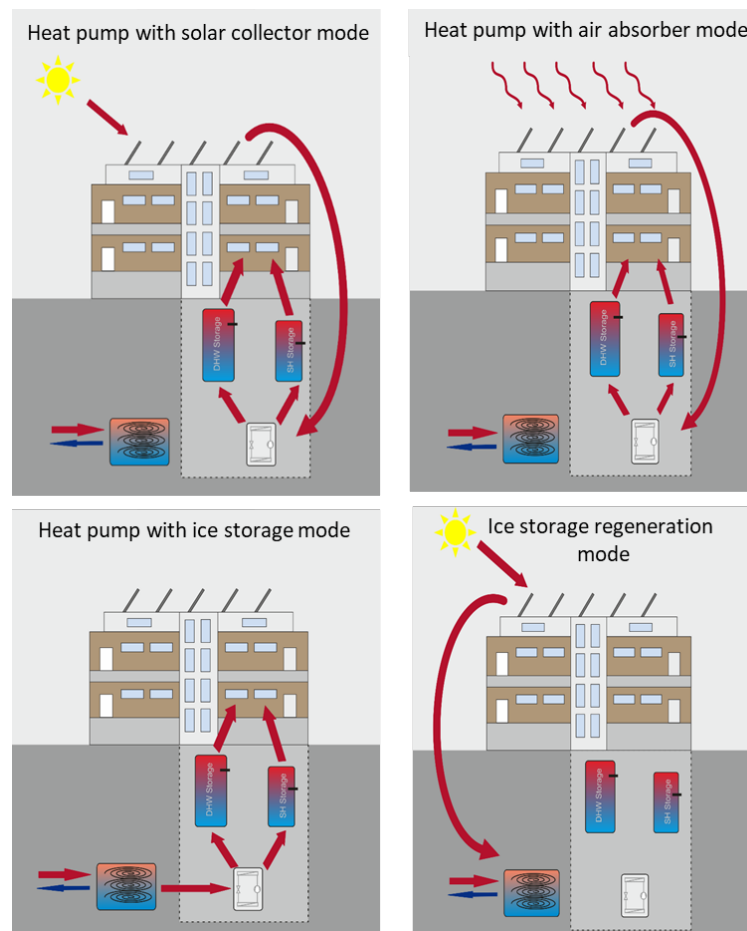


Wie aus Abbildung 5-24 ersichtlich ist, kann die von den nicht-abgedeckten Solarkollektoren gelieferte Wärme Richtung Eisspeicher oder zu den Verdampfern der beiden Wärmepumpen geführt werden (Anm.: eine direkte Nutzung zur Beheizung („SH“) oder Warmwasserbereitung („DHW“) wurde nicht vorgesehen).

Je nach Bedarf sind eine oder zwei Wärmepumpen in Betrieb, wobei sie entweder den Warmwasserspeicher oder Heizungsspeicher beladen. Falls die Leistung der Solarkollektoren nicht ausreicht, dann wird der Eisspeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpen genutzt. Falls beide Wärmequellen nicht ausreichen, wird der entsprechende Speicher mittels E-Patrone mit Wärme versorgt. Der Eisspeicher wird mit überschüssiger Wärme von den Solarkollektoren regeneriert. In Abbildung 5-24 sind die wichtigsten Betriebsmodi schematisch dargestellt.

Prinzipiell kann der Eisspeicher auch als Wärmesenke, d.h. zur Kühlung, in der warmen Jahreszeit genutzt werden. Weiters ist das Gebäude auch mit einer kontrollierten Wohnraumlüftung ausgestattet. Weitere Details zu dieser Thematik sind in Pratter (2017) zu finden.

Abbildung 5-24: Betriebsmodi (Pratter et al., 2020b)



Nach einigen Optimierungsschritten (speziell bei der Regelung) in der Inbetriebnahmephase läuft die Anlage stabil. Bei der Messdatenanalyse zeigte sich jedoch, dass auf Grund einer Unterschätzung des realen Wärmebedarfs (mit ca. 30 kWh/(m²a) Heiz- und ca. 27 kWh/(m²a) Warmwasserbedarf; jeweils inkl. Rohrleitungs- und Speicherverluste) im Vergleich zu den Energieausweisdaten (mit ca. 10 kWh/(m²a) bzw. 13 kWh/(m²a)) der Eisspeicher etwas zu klein ausgeführt wurde, was dazu führt, dass dieser in Spitzenbedarfsperioden (z.B. im Jänner) „durchfriert“ und der Wärmebedarf nicht über die Wärmepumpen sondern mittels E-Heizstäben abgedeckt werden muss. Wie auch immer, die Messdaten zeigen, dass dafür der Strombedarf im Zeitraum 2017 – 2019 mit zirka 2 – 4 % verhältnismäßig gering ausfiel. Unter Berücksichtigung dieses Strombedarfs ergaben sich in diesen Jahren System-Jahresarbeitszahlen (SPF_{sys}) im Bereich von 3,1 – 3,2. Weiterführende Details zur „Hot Ice“-Anlage und zum Monitoring können Rieberer et al. (2020) entnommen werden.

5.2. Internationale Erkenntnisse und Ergebnisse

Die Bedeutung des Einsatzes von Wärmepumpen in Wohngebäuden, insbesondere in Mehrfamilienhäusern, hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen und hat sich in den Tagen der entscheidenden und beispiellosen Debatte über die Unabhängigkeit von fossilen Energiequellen noch weiter verstärkt. Es ist unbestreitbar, dass die Wärmepumpentechnologie eine Schlüsselrolle spielen wird, um sowohl die Klimaneutralität als auch die Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu erreichen.

Im Zuge der Bearbeitung des internationalen Projektes zum IEA HPT Annex 50 können die in Tabelle 5-8 und Tabelle 5-9 zusammengestellten Erkenntnisse und Ergebnisse genannt werden, eine genauere Beschreibung der Ergebnisse auf internationaler Ebene erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln, weitere Details können auch im internationalen Endbericht⁸ nachgelesen werden.

Tabelle 5-8: Wichtigste Erkenntnisse des internationalen IEA HPT Annex 50

Wichtigste Erkenntnisse	Beschreibung
1. Es ist möglich	<ul style="list-style-type: none"> • Der Einsatz von Wärmepumpensystemen in Mehrfamilienhäusern ist möglich und wird bereits praktiziert, wie zahlreiche Beispiele aus mehreren Ländern zeigen. Die Vielfalt der Mehrfamilienhäuser und ihrer Eigenschaften lassen unterschiedlichste technische Lösungen basierend auf Wärmepumpen zu.
2. Mehr Standardisierung erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> • Zugleich führt diese Vielfalt (siehe 1.) zu individuellen Lösungen, die sich nur schwer in großem Maßstab anwenden lassen.
3. Die Herausforderung bei der Anwendung von Wärmepumpen	<ul style="list-style-type: none"> • Es gibt noch keine Anzeichen für einen breiteren Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern für die Wärmeversorgung. Die Herausforderung bei der Anwendung von Wärmepumpentechnologien und erneuerbaren Energien in Mehrfamilienhäusern ist komplex. Sowohl administrative (z. B. Eigentumsrechte) als auch technische Herausforderungen stehen einer breiten Anwendung der Technologie im Weg.
4. Die zu überwindenden technischen Hindernisse	<ul style="list-style-type: none"> • Heizkapazität und Versorgungstemperatur - Der Bestand an Mehrfamilienhäusern ist in allen teilnehmenden Ländern recht alt, wobei die meisten Gebäude vor 1970 gebaut wurden. Ohne jegliche Sanierung benötigen diese MFH hohe Heiztemperaturen (> 60°C). Außerdem bieten die modernen Wärmepumpen in den meisten Ländern Heizleistungen unter 100 kW. Diese Art von Produkten ist nur für effiziente Gebäude geeignet, nicht aber für die zentrale Wärmeerzeugung in alten Gebäuden. • Zugang zu den Wärmequellen - Die meisten Mehrfamilienhäuser befinden sich in Städten mit einer hohen Bebauungsdichte, daher ist der Zugang zu einer geothermischen Wärmequelle kompliziert. Bei Luft-Wärmepumpen ist die Platzierung der Außeneinheit (Verdampfer) die größte Herausforderung, sowohl im Hinblick auf die maximale Leistung als auch auf die Schallemission.

⁸ Zum Zeitpunkt der Berichtslegung (Ende Mai 2022) war der internationale Endbericht noch nicht veröffentlicht

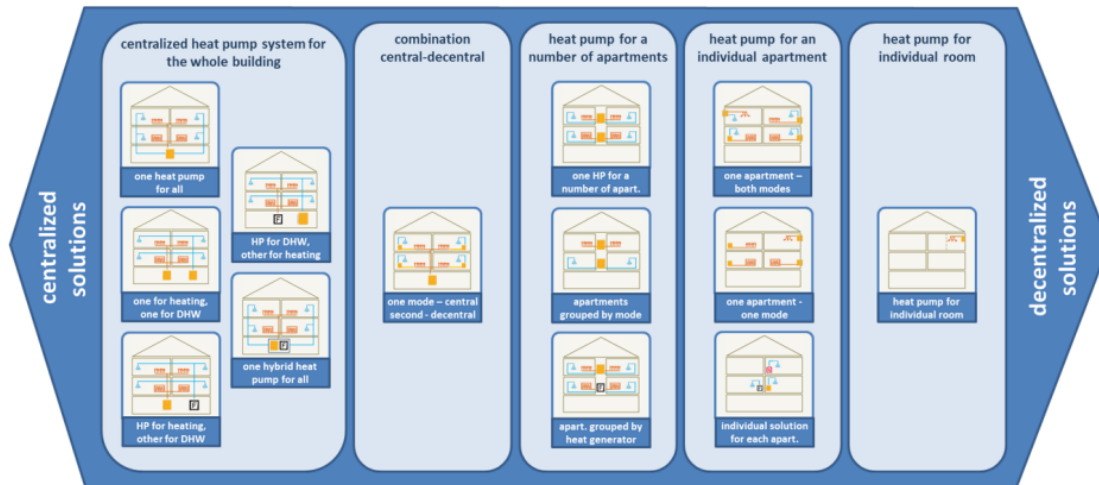
Tabelle 5-9: Wichtigste Ergebnisse des internationalen IEA HPT Annex 50

Wichtigste Ergebnisse	Beschreibung
<p>1. Solution matrix</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Der Arbeitsgruppe ist es gelungen, eine allgemeine Klassifizierung von Wärmepumpenlösungen für Mehrfamilienhäuser zu erarbeiten. Sie wurden in einer standardisierten Weise nach acht repräsentativen Kategorien beschrieben. Insgesamt wurden 13 Lösungen identifiziert, die von einem vollständig zentralisierten System bis zu einem vollständig dezentralisierten System (Einzelraumlösung) reichen. Die Lösungen wurden in fünf "Familien" gruppiert, die jeweils spezifische Teillösungen zusammenfassen.
<p>2. Case studies Datenbank</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Parallel zur theoretischen Einordnung der Lösungen wurden zahlreiche Fallbeispiele für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern gesammelt. Die Beispiele zeigen eine große Vielfalt.

Ein besonderes Highlight ist die Solution Matrix⁹ die aus den Ergebnissen der Tasks 1, 3 und 4 entstanden ist und auf der internationalen Annex-Website als Webtool frei zugänglich ist. Der Vorteil der Strukturierung der inhaltlichen Informationen in einem Matrixformat besteht darin, dass sie vielseitig verwendet werden können. Die verschiedenen Möglichkeiten der Navigation durch das Tool und des Zugriffs auf den Informationsgehalt sind die folgenden: "Browsing", "Vergleich von Lösungen" und "Lösungsfinder". Die Wahl zwischen diesen Modi hängt von den Bedürfnissen des Benutzers ab. Die "Solution Matrix" (Abbildung 5-25) besteht aus "solution families", die die möglichen Konzepte für Wärmepumpen in MFHs darstellen. Die Lösungen reichen von komplett zentralisierten Systemen mit Wärmepumpe für das gesamte Gebäude bis hin zum anderen Extrem mit einer Wärmepumpe pro einzelnen Raum. Varianten jeder Lösung ("family members") wurden ebenfalls aufgelistet, um so viele praktische Fälle wie möglich abzudecken.

⁹ <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/solution-matrix/> (abgerufen am 25.05.2022, 11:37)

Abbildung 5-25: Überblick „Solution Matrix“¹⁰

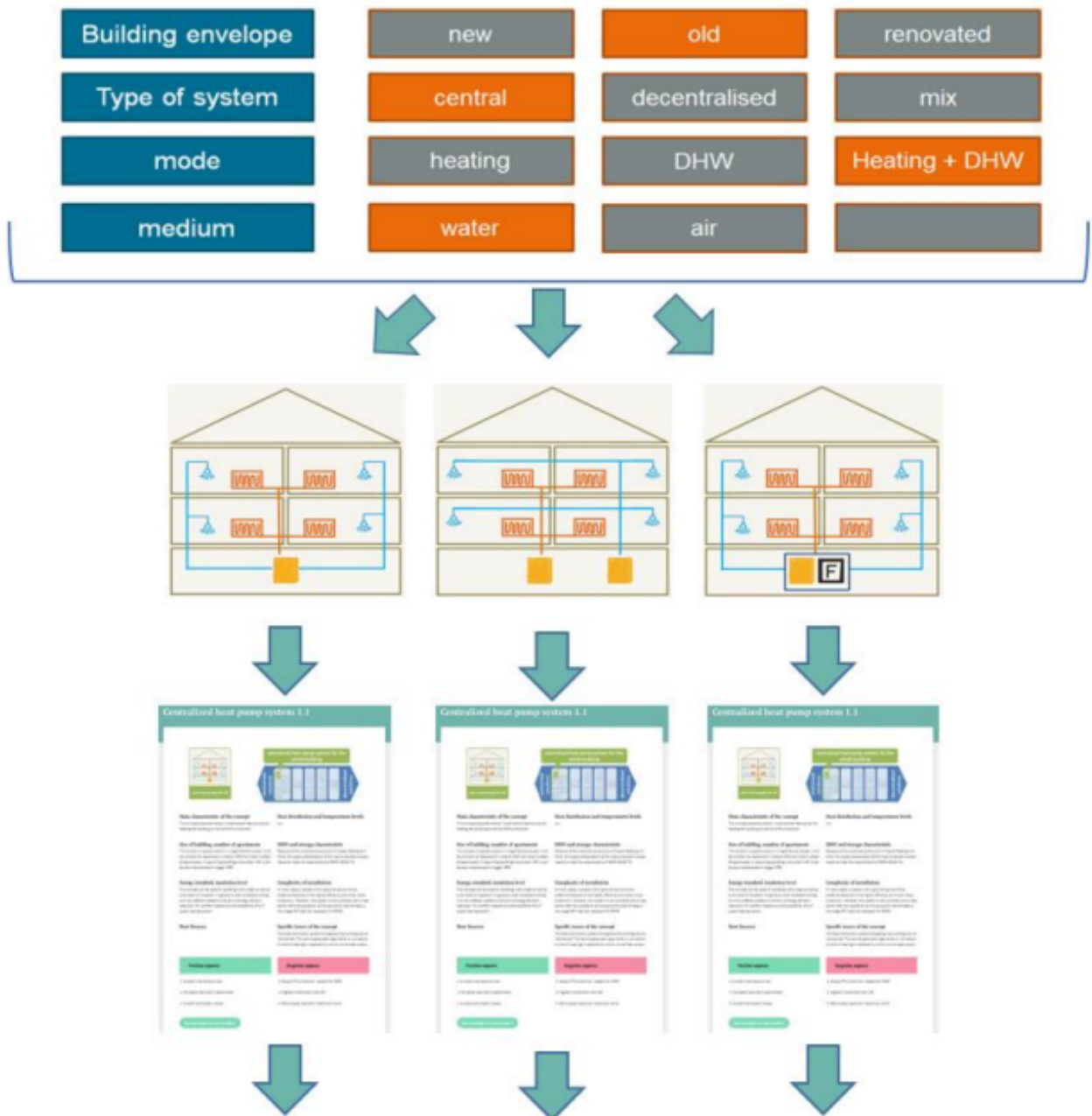


Die Arbeitsgruppe hat Wissen und Praktiken aus verschiedenen Ländern in ganz Europa miteinander verglichen, um sich auf den Inhalt zu einigen. Die verschiedenen Punkte, die bewertet wurden, sind insbesondere die Größe des Gebäudes, der Energiestandard, die Wärmequellen, das Wärmeverteilungssystem und die Temperaturniveaus, die Warmwasserbereitung, die Komplexität der Installation und mögliche spezifische Probleme. Die damit zusammenhängenden Fragen und Empfehlungen für jedes Konzept beziehen sich sowohl auf neu gebaute Gebäude als auch auf Nachrüstungsprojekte für renovierte oder nicht renovierte MFH, für die Wärmepumpen ebenfalls eine Option sind. Die im Rahmen des Projekts erarbeiteten Use Cases (Task 4) veranschaulichen die jeweiligen Konzepte anhand dokumentierter realisierter Projekte.

Die während der Laufzeit des Annex 50 in Task 1, Task 3 und Task 4 gesammelten Informationen werden in dem daraus resultierenden webbasierten Instrument in unterschiedlicher Tiefe integriert und miteinander verknüpft. Diese Struktur hat die Aufgabe, die Informationen zu Verbreitungszwecken zu organisieren. Sie ermöglicht es, mögliche Lösungen für ein bestimmtes Projekt zu identifizieren (Abbildung 5-26), Lösungen zu vergleichen oder einfach nur die Liste zu durchsuchen (Abbildung 5-27). Das Ziel ist es, über die Vielfalt möglicher Konzepte zu informieren, die in den verschiedenen Ländern nicht auf den ersten Blick üblich sind, aber möglicherweise doch eine interessante Umsetzungsvariante bieten und damit eine breitere Umsetzung von Projekten mit Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern zu fördern.

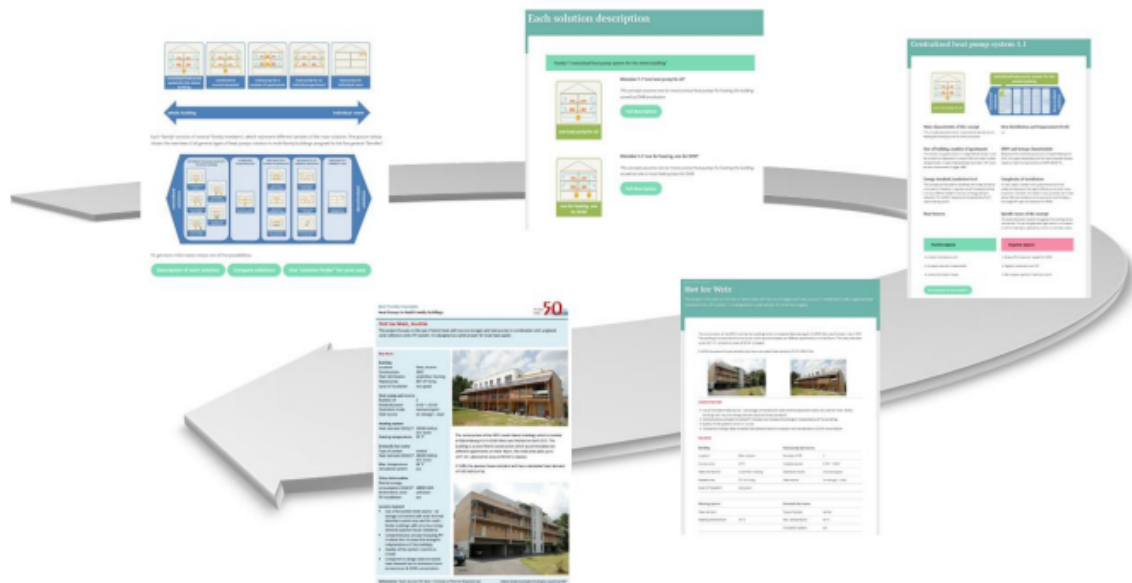
¹⁰<https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/solution-matrix/> (abgerufen am 25.05.2022; 10:16)

Abbildung 5-26: Matrix-Tool-Lösungsfindungsmodus¹¹



¹¹ Zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht veröffentlichter Bericht zum internationalen Task 3 „Identification, assessment and comparison of applicable solutions through a matrix tool“ Version vom 28.09.21

Abbildung 5-27: Matrix-Tool-Browsing-Modus¹²



5.2.1. Task 1 - Marktübersicht, Hindernisse für die Anwendung, Systemklassifizierung

In Europa ist der Markt für Wärmepumpen in Wohngebäuden in den meisten Ländern seit mehreren Jahren stetig gewachsen. Hinter dieser Gesamtzahl verbergen sich jedoch je nach Gebäudetyp sehr unterschiedliche Situationen. Während in neuen Einfamilienhäusern Wärmepumpen die am weitest verbreiteten Lösungen sind, ist ihr Markt in Mehrfamilienhäusern (MFH) nach wie vor gering, sowohl in neuen als auch in bestehenden Gebäuden.

In den sieben europäischen Ländern, die am IEA HPT Annex 50 teilnahmen, sind Wärmepumpen in Einfamilienhäusern gut etabliert, haben aber immer noch Schwierigkeiten, sich in Mehrfamilienhäusern durchzusetzen, obwohl das regulatorische Umfeld für die Installation in allen Ländern zunehmend günstig ist. Gemeinsame Hindernisse können technischer Art sein (Zugang zur Wärmequelle, Kapazität der verfügbaren Produkte) oder wirtschaftlicher Art (Investitionskosten, Energiepreise). Ein wesentlicher Punkt, der allen Ländern gemeinsam ist, ist der Mangel an Wissen. Die Wärmepumpe wird immer noch zu oft als ein Produkt betrachtet, das nur für das einzelne Haus bestimmt ist. Es bedarf noch erheblicher Demonstrationsarbeiten. Die Hauptaussage der Annex 50-Arbeiten ist, dass der Einsatz von Wärmepumpensystemen in Mehrfamilienhäusern möglich ist und bereits praktiziert wird, wie zahlreiche Beispiele aus mehreren Ländern zeigen. Eine der wichtigsten Errungenschaften des Annex 50 ist die Sammlung von Fallstudien, die den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern in allen am Annex beteiligten Ländern zeigen.

¹² Zum Zeitpunkt der Berichtslegung noch nicht veröffentlichter Bericht zum internationalen Task 3 „Identification, assessment and comparison of applicable solutions through a matrix tool“ Version vom 28.09.21

5.2.1. Task 2 - Modellierung und Simulation von Systemen, Wirtschaftsmodelle

Die Leistungen von Wärmepumpen müssen mit anderen Optionen, wie z. B. Gasheizkesseln, verglichen werden, um sie auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bewerten zu können. In Task 2 wurde eine Analyse der verfügbaren Modellierungswerkzeuge durchgeführt, um das optimale Gleichgewicht zwischen dem Bedarf an einfachen und schnellen Werkzeugen und der Komplexität des Zusammenspiels von System, Gebäude, Nutzer und Wetter zu ermitteln. Die größte Herausforderung bestand darin, die schlankeren Werkzeuge zu validieren, die für die Bewertung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit der Installation eines Wärmepumpensystems in einem Wohngebäude erforderlich sind. Zu diesem Zweck wurde eine Sammlung von Erfahrungen aus den Partnerländern herangezogen.

Es wird ein vereinfachter Ansatz für Front-End-Engineering oder technisch-wirtschaftliche Durchführbarkeitsstudien vorgestellt, bei dem ein lineares und stationäres Modell des Außentemperatur-Energiebedarfs betrachtet und eine stationäre Beziehung der Leistungszahl der Wärmepumpe als Funktion der Vorlauf- und Außentemperaturen angewendet wird.

5.2.1. Task 3 - Technologieentwicklung, Evaluierung und Systembewertung

Während des Prozesses der Sammlung von Wissen und praktischen Erfahrungen für Task 3 sah sich die Arbeitsgruppe mit einer Vielzahl von Fällen und Reflexionsachsen konfrontiert. Je nach Schwerpunkt, z. B. einem bestimmten MFH-Typ, fielen die Schlussfolgerungen unterschiedlich aus. Die Strukturierung der Informationen in einem Matrixformat bot eine Antwort auf dieses Problem. Die Arbeit wurde mit der Vision einer Beschreibung aller Lösungen in einer standardisierten Weise durchgeführt. Dies ermöglichte es, jedes Szenario, von der zentralen bis zur vollständig dezentralen Wärmepumpeninstallation, aus der Sicht des Neuen oder nicht renovierten MFH, der Gebäudegröße, des Bedarfs an Heizung und/oder Warmwasserbereitung, des reinen Wärmepumpen-Systems oder des Hybridsystems zu betrachten und über die spezifischen Fragen für jedes Szenario nachzudenken. Es ist ein Versuch, alle potenziell auftretenden Fälle abzudecken. Die Absicht ist es, die bestmögliche Lösung für jeden Fall zu finden und über Konzepte zu informieren, die in einigen Ländern ungewöhnlich sein könnten.

Die Vielfalt der Mehrfamilienhäuser und ihrer Merkmale ermöglicht die Anwendung verschiedener technischer Lösungen auf der Grundlage von Wärmepumpen. Allerdings führt die große Heterogenität der Mehrfamilienhäuser zu individuellen Lösungen, die sich nur schwer in großem Maßstab anwenden lassen. Eine stärkere Standardisierung der Produkte und der Lösungen ist daher notwendig und entscheidend.

Die vorgeschlagene Kategorisierung und eine vereinfachte schematische Visualisierung von Wärmepumpenlösungen in Mehrfamilienhäusern kann eine Art "Türöffner" für die GebäudeeigentümerInnen und/oder EntscheidungsträgerInnen sein, oder anders ausgedrückt: Es kann der erste Schritt zur Implementierung von Wärmepumpen sein, indem die Komplexität der möglichen Lösungen entzaubert wird.

Parallel zu den positiven Botschaften muss festgestellt werden, dass es noch mehrere Hindernisse zu überwinden gilt, um Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern, insbesondere in bestehenden und nicht nachgerüsteten Gebäuden, einzusetzen. Diese Hindernisse sind sowohl technischer als auch nicht-technischer Natur. Auf der technischen Seite können eine ausreichende Heizleistung und

Vorlauftemperatur sowie der Zugang zu den Wärmequellen eine Rolle spielen. Investitionskosten und eine komplexe Eigentumsstruktur sind ein Beispiel für nichttechnische Hindernisse.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Fortsetzung der mit dem Annex 50 begonnenen Arbeiten für eine breitere Anwendung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern von großem Nutzen wäre.

5.2.2. Task 4 - Demonstration und Monitoring

In Task 4 wurde eine interaktive Karte mit den angegebenen Standorten der gesammelten Fallstudien ausgearbeitet. Die Karte ist auf der IEA HPT Annex 50-Website¹³ kostenlos für alle Nutzer verfügbar. Bislang wurden 30 Beispiele nach einer standardisierten Methode bearbeitet und beschrieben. Zu jeder auf der Karte angegebenen Fallstudie gibt es eine eigene Website¹⁴ mit einer ausführlichen Beschreibung des Anlagenbeispiels sowie eine zweiseitige pdf-Datei, die kostenlos heruntergeladen werden kann. Die Struktur besteht aus zwei Seiten. Die erste Seite enthält die wichtigsten Informationen über das Projekt und zeigt Bilder des Objekts. Auf der zweiten Seite finden Sie weitere Informationen über das technische Konzept sowie ein Hydraulikschema, sofern vorhanden.

5.3. Publikationen

5.3.1. Country Reports

Im Rahmen des nationalen Projektes wurden die nationale Beiträge zum internationalen Projekt in den folgenden sechs Country Reports verfasst:

Rieberer R. et al. (2020) Country Report Austria - Task 1: Market Overview

Dieser Country Report enthält die in Task 1 analysierte Marktstruktur, Marktteilnehmer, Produkte, verfügbare Systeme und Konfigurationen, Marktbarrieren und Rahmenbedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienwohnhäusern (MFH) sowie die daraus abgeleiteten Potenziale für die Integration von Wärmepumpen in MFH.

Natiesta T., Zottl A. (2021): Task 2.1 Methodology for assessing the performance of combined systems

Der Task 2.1 Country Report behandelt Methodiken zur Untersuchung der energetischen und ökonomischen Performanz von Wärmepumpenkombinationen mit thermischen Solaranlagen und/oder Photovoltaiksystemen.

Reichl Ch., Zottl A. (2021): Task 2.2: Acoustic characteristics of MFH air-to-water heat pumps with description of measures to reduce noise emissions

Der Task 2.2 Country Report zeigt die Besonderheiten, die bei der akustischen Betrachtung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern zu beachten sind.

¹³ <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/case-studies/> (abgerufen am 25.05.2022, 11:00)

¹⁴ <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/case-studies/hot-ice-weiz> (abgerufen am 25.05.2022, 11:00)

Zotzl A. et al. (2020): Country Report Austria - Task 3.1: Optimized refrigeration cycle configuration for Air-Water Heat Pumps for renovated, unrenovated and new MFH

In diesem Country Report werden optimierte Kältekreislaufkonfiguration für Luft-Wasser-Wärmepumpen für neue, sanierte und unsanierte MFH-Gebäude ermittelt und die effizienteste Konfiguration für die jeweilige Gebäudekategorie mittels dynamischer Kreislaufberechnungen in Dymola/Modelica und SCOP-Berechnungen bestimmt.

Pratter R., Lerch W., Heimrath R., Rieberer R. (2020a): IEA HPT Annex 50 - Task 3.2: System Simulation, Austrian Country Report.

Der Country Report zu Task 3.2 berichtet von der simulationstechnischen Abbildung eines realen Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystems. Mit Hilfe des validierten Modells wurden Analysen der bestehenden Anlage durchgeführt und Optimierungspotenziale aufgezeigt.

Pratter R., Lerch W., Heimrath R., Rieberer R. (2020b): IEA HPT Annex 50 - Task 4.0: Demonstration and Monitoring, Austrian Country Report.

Das über vier Jahre durchgeführte Monitoring eines Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystems zur Wärmeversorgung und Warmwasserbereitung in einem Mehrfamiliengebäude ermöglichte Einblicke hinsichtlich Zusammenspiel der Subsysteme und erreichbarer Effizienz. Die Daten wurden auch zur Validierung eines Simulationsmodells genutzt mit welchem weiterführende Studien i.R. des Task 3.2 durchgeführt wurden.

5.3.2. Masterarbeiten

Pratter R. (2017): Validation of a solar-ice storage-heat pump system and definition of a design guideline, Master Thesis, Graz University of Technology – Institute of Thermal Engineering

Die Masterarbeit enthält eine Analyse eines in Betrieb befindlichen Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystems zur Wärmeversorgung eines Mehrfamiliengebäudes, welche Einblicke hinsichtlich Zusammenspiel der Subsysteme und erreichbarer Effizienz eröffnete.

Schreurs T. (2019): Techno-economic analysis of combined heat pump and solar PV system for multi-family houses: An Austrian case study

Die am AIT durchgeführte Masterarbeit ist eine österreichische Fallstudie zur techno-ökonomischen Bewertung des Ersatzes von konventionellen Gasheizungen durch Wärmepumpen-Kombinationen mit Photovoltaiksystemen in Mehrfamilienhäusern (siehe auch Kapitel 6 „Vernetzung und Ergebnistransfer“).

5.3.3. Online-Seminarreihe

Für die Disseminierung von IEA HPT Annex 50 und IEA HPT Annex 51 Ende 2020 wurde als Ersatz zu Präsenzveranstaltungen eine kostenlose Online-Seminarreihe¹⁵ veranstaltet und die gehaltenen Vorträge veröffentlicht.

Natiesta T., Zotzl A. (2020): Wärmepumpen-Anwendungen in MFH - Status Quo und Ausblick

¹⁵ Veranstaltungs-Webseite: <https://waermepumpe-weiterbildung.at/course/view.php?id=49> (abgerufen am 25.05.2022; 18:43)

Im Vortrag wird auf die im Rahmen des Projektes IEA HPT Annex 50 durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse hinsichtlich Marktstruktur, Marktbarrieren und Rahmenbedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienwohnhäusern (MFH) sowie daraus abgeleitete Potenziale für die Integration von Wärmepumpen in MFH eingegangen.

Zottl A., Lauermaun M. (2020): Mit Simulationsstudien zum optimalen konstruktiven Design von Wärmepumpen für den Einsatz in MFH

Im Vortrag wird auf die im Rahmen des Projektes IEA HPT Annex 50 durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse des Task 3.1 eingegangen. Im Task 3.1 werden optimierte Kältekreislaufkonfiguration für Luft-Wasser-Wärmepumpen für neue, sanierte und unsanierte MFH-Gebäude ermittelt und die effizienteste Konfiguration für die jeweilige Gebäudekategorie mittels dynamischer Kreislaufberechnungen in Dymola/Modelica und SCOP-Berechnungen bestimmt.

Rieberer R., Pratter R., Heimrath R. (2020): Erfahrungsbericht zu einer Wärmepumpenanwendung in einem MFH mit Eisspeicher & Solarthermie

Im Vortrag wird auf die im Rahmen des Projektes IEA HPT Annex 50 durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse des Task 3.1 eingegangen. Im Task 3.1 werden optimierte Kältekreislaufkonfiguration für Luft-Wasser-Wärmepumpen für neue, sanierte und unsanierte MFH-Gebäude ermittelt und die effizienteste Konfiguration für die jeweilige Gebäudekategorie mittels dynamischer Kreislaufberechnungen in Dymola/Modelica und SCOP-Berechnungen bestimmt.

5.3.4. Weitere Publikationen

Natiesta T., Zottl A. (07-08/2021): Wärmepumpen in sanierten Mehrfamilienhäusern - Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung

Der Artikel¹⁶ präsentiert die wesentlichen Ergebnisse des IEA HPT Annex 50 praxisnah und zeigt auf, warum die Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern eine wichtige Schlüsseltechnologie der Dekarbonisierung darstellt.

Natiesta T., Zottl A. (2021): Großes Potential für Wärmepumpen in sanierten Mehrfamilienhäusern

Der Beitrag enthält eine Potenzialabschätzungen für die Anwendung von Wärmepumpen in MFH und wurde im Dezember 2021 auf der Homepage von Wärmepumpe Austria¹⁷ und per Newsletter veröffentlicht.

¹⁶ Veröffentlicht unter <https://tga.at/a/schlueseltechnologie-fuer-die-dekarbonisierung> (abgerufen am 25.05.2022; 18:43)

¹⁷ Siehe <https://www.waermepumpe-austria.at/newsdetails/waermepumpen-in-sanierten-mehrfamilienhaeusern> (abgerufen am 25.05.2022; 18:44)

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

6.1. Einbindung der Zielgruppen

Die Zielgruppen dieses Projektes wurden durch Vorträge bei Fachtagungen, Konferenzen und aufgrund von COVID-19 vermehrt bei Online-Veranstaltungen in das Projekt eingebunden. Des Weiteren wurden Projektergebnisse bei Wärmepumpenkursen und im Zuge der in Kooperation mit IEA HPT Annex 51 gestalteten Online-Seminarreihe „Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen“ (siehe weiter unten) disseminiert.

Für alle Zielgruppen relevant war auch die Veröffentlichung von Projektergebnissen in der Fachzeitschrift „TGA“ (Artikel „Wärmepumpen in sanierten Mehrfamilienhäusern - Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung“ in der Ausgabe 07-08/2021¹⁸).

6.1.1. Nationale HerstellerInnen von Wärmepumpensystemen

Diese Zielgruppen wurde durch den regen Austausch mit dem Verband Wärmepumpe Austria, dem Newsletter von Wärmepumpe Austria (siehe unten beschriebener Newsletterbeitrag) und auf den oben genannten Veranstaltungen eingebunden. Im Zuge der Erarbeitung der Methodik zur Systemklassifizierung (siehe AP1) wurde diese Zielgruppe aktiv adressiert. Auch wenn für die Entwicklung der Methodik zur Systemklassifizierung schlussendlich eine andere Vorgehensweise gewählt wurde, konnten wertvolle Rückmeldungen von dieser Zielgruppe gesammelt und im Projekt indirekt verwendet werden. Bei den genannten Veranstaltungsformaten gab es zahlreiche Gelegenheiten, mit VertreterInnen dieser Zielgruppen in Kontakt zu treten und die präsentierten Erkenntnisse zu diskutieren. Des Weiteren nahmen einige MitarbeiterInnen von Wärmepumpen-HerstellerInnen an den von AIT und Wärmepumpe Austria in Zusammenarbeit angebotenen Wärmepumpenkursen teil, bei denen Ergebnisse aus diesem Projekt eingebunden wurden (siehe weiter unten). Auch zur im Herbst 2020, also gegen Ende des Annex, durchgeführte Online-Seminarreihe „Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen“ waren WärmepumpenherstellerInnen herzlich eingeladen, teilzunehmen.

6.1.2. AnlagenplanerInnen und InstallateurInnen von Wärmepumpenanlagen

Diese Zielgruppen wurden in besonderer Weise in das Projekt eingebunden, da sie am meisten Einfluss auf die Qualität von geplanten und ausgeführten Wärmepumpenheizsystemen haben. Sie sind auch die Hauptzielgruppe der oben genannten Weiterbildung „Planung, Errichtung und Wartung von Wärmepumpen“. Durch die Personenzertifizierungen „Zertifizierter Wärmepumpeninstallateur“ und „Zertifizierter Wärmepumpenplaner“, die alle drei Jahre unter Nachweis absolvierter Weiterbildungen innerhalb der jeweils aktuellen Zertifizierungsperiode erneuert werden muss, besteht eine starke Bindung zum AIT. Auch aus diesem Grund wurde die oben genannte Online-Seminarreihe „Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen“ besonders gut von zertifizierten WärmepumpeninstallateurenInnen und -planerInnen besucht.

¹⁸ <https://tga.at/artikel/schlueseltechnologie-fuer-die-dekarbonisierung/> (abgerufen am 25.05.2022; 18:08)

6.1.3. AuftraggeberIn (BMK) sowie nationalen Ex-Co VertreterInnen

Auch diese Zielgruppen wurden in erster Linie über Fachtagungen und Konferenzen, bei denen, wie oben beschrieben, Erkenntnisse aus dem Projekt präsentiert wurden, erreicht. Bei diesen Veranstaltungen kam es zu interessanten Gesprächen, bei denen die vorgetragenen Erkenntnisse mit VertreterInnen dieser Zielgruppen diskutiert werden konnten. Besonders relevant für diese Zielgruppen sind die im Zuge dieses Projektes verfassten nationalen Beiträge in Form der sog. Country Reports (siehe Kapitel 5.1. „Österreichische Beiträge und Ergebnisse“).

6.2. Veranstaltungen, Vorträge und Veröffentlichungen

6.2.1. Vorträge bei Wärmepumpenkursen

Im Rahmen des AIT-Weiterbildungsmoduls für PlanerInnen und InstallateurInnen „M04_Dimensionierung von Wärmepumpenheizungen“, das unter anderem Teil der Wärmepumpen-Weiterbildungen K01: Planung, Errichtung und Wartung von Wärmepumpen mit Kategorie II-Zertifizierung und K02: Planung, Errichtung und Wartung von Wärmepumpen ist, wurden während der Projektlaufzeit die wesentlichen Inhalte aus IEA HPT Annex 50 gemäß dem gerade aktuellen Stand des Projektes den KursteilnehmerInnen im Rahmen eines etwa einstündigen Vortrags¹⁹ praxisgerecht vorgestellt.

6.2.2. Online-Seminarreihe: Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen

Da sich IEA HPT Annex 50 und IEA HPT Annex 51 Ende 2020 beide in der Endphase befanden und da aufgrund von COVID-19 die in beiden Projekten geplanten Disseminierungsveranstaltungen in Präsenz (z.B. Weiterbildungstage für InstallateurInnen, Informationsveranstaltungen für WärmepumpenherstellerInnen, etc.) nicht stattfinden konnten, wurde zur Disseminierung beider Projekte eine kostenlose Online-Seminarreihe²⁰ mit den wichtigsten Erkenntnissen aus den folgenden Bereichen durchgeführt:

- Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern (MFH) - [IEA HPT Annex 50](#)
- Akustik von Wärmepumpen - [IEA HPT Annex 51](#)

Von den ursprünglich sechs geplanten einstündigen Terminen konnten die ersten fünf Termine planmäßig durchgeführt werden. Der letzte Termin zum Online-Tool „Solution-Finder“ konnte aufgrund der Verzögerungen im internationalen Projekt zur Entwicklung des Tools nicht innerhalb der Projektlaufzeit stattfinden. Die Vorträge²¹ im Kontext mit IEA HPT Annex 50 sind hier kurz vorgestellt (jene im Kontext mit IEA HPT Annex 51 sind nicht angeführt):

¹⁹ Download unter <https://waermepumpe-weiterbildung.at/course/view.php?id=41> (abgerufen am 25.05.2022, 18:11)

²⁰ Veranstaltungs-Webseite: <https://waermepumpe-weiterbildung.at/course/view.php?id=49> (abgerufen am 25.05.2022; 18:11)

²¹ Download und Kurzfassungen unter <https://waermepumpe-weiterbildung.at/course/view.php?id=50> (abgerufen am 25.05.2022, 18:12)

Wärmepumpen-Anwendungen in MFH - Status Quo und Ausblick - 14.10.2020

Im Vortrag wird auf die im Rahmen des Projektes IEA HPT Annex 50 durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse hinsichtlich Marktstruktur, Marktbarrieren und Rahmenbedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienwohnhäusern (MFH) sowie daraus abgeleitete Potenziale für die Integration von Wärmepumpen in MFH eingegangen.

Mit Simulationsstudien zum optimalen konstruktiven Design von Wärmepumpen für den Einsatz in MFH - 11.11.2020

Im Vortrag wird auf die im Rahmen des Projektes IEA HPT Annex 50 durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse des Task 3.1 eingegangen. Im Task 3.1 werden optimierte Kältekreislaufkonfiguration für Luft-Wasser-Wärmepumpen für neue, sanierte und unsanierte MFH-Gebäude ermittelt und die effizienteste Konfiguration für die jeweilige Gebäudekategorie mittels dynamischer Kreislaufberechnungen in Dymola/Modelica und SCOP-Berechnungen bestimmt.

Erfahrungsbericht zu einer Wärmepumpenanwendung in einem MFH mit Eisspeicher & Solarthermie - 25.11.2020

Im Vortrag wird auf die im Rahmen des Projektes IEA HPT Annex 50 durchgeführten Untersuchungen und Ergebnisse des Task 4 eingegangen. Fokussiert wurde die die Systembeschreibung und das Monitoring eines realisierten Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystems, das in einem Mehrfamilienhaus mit 10 Wohnungen in Weiz installiert ist. Die wichtigsten Ergebnisse aus diesem Task waren:

- Realer Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser höher als prognostiziert → Eisspeicher zu klein dimensioniert → elektrischer Heizbedarf während kalter Perioden
- Unterschiede bei den Jahresarbeitszahlen (SPF) der beiden unterschiedlich großen Wärmepumpen (3,4 - 3,6 bei 10 kW Wärmepumpe, 2,8 - 2,9 bei 6 kW Wärmepumpe)
- Gesamt-Jahresarbeitszahl des Systems (inkl. Strombedarf für die Heizstäbe) bei nur 3,1 (2016 bis 2019)

6.2.3. Masterarbeit von Twan Schreurs

Das Forschungsziel der Masterarbeit von Twan Schreurs (2019)²² "Techno-economic assessment of combined heat pump and PV systems in Austria" (zu Deutsch: Techno-ökonomische Untersuchung von kombinierten Wärmepumpen/Photovoltaik-Systemen in Österreich) war es, anhand ökonomischer Kenngrößen (z.B. Kapitalwert) den Ersatz eines konventionellen Heizsystems eines Mehrfamilienhauses durch eine Wärmepumpe in Kombination mit einer PV-Anlage mittels einer Sensitivitätsanalyse zu analysieren. Diese Fallstudie befasst sich also mit der Frage, welche Eingangsparameter die Rentabilität von Wärmepumpenkombinationen mit einer PV-Anlage beeinflussen. Für die Untersuchung wurde ein Excel-Modell erstellt und Simulationen mit der Software *Building Model Generator* (©AIT) durchgeführt. Das Modell wurde mit der Software *Polysun*[®] validiert.

²² Veröffentlicht unter <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1368490&dswid=-8485> (abgerufen am 25.05.2022, 18:12)

6.2.4. Journal Paper von Twan Schreurs

Aus oben genannter Masterarbeit ging folgende Veröffentlichung eines Fachartikels²³ in der Zeitschrift „Energy Strategy Reviews“, Volume 36 im Juli 2021 unter dem Titel „Techno-economic analysis of combined heat pump and solar PV system for multi-family houses: An Austrian case study“ hervor. Das Paper präsentiert die wesentlichen Ergebnisse der oben genannten Masterarbeit. Das Paper weist auf die wichtige Rolle der Wärmepumpe im Zuge der Elektrifizierung des Energiesystems, die in den nächsten Jahren zur Erreichung der EU-Klimaziele stattfinden muss, hin. Des Weiteren werden Studienergebnisse zu techno-ökonomische Auswirkungen des kombinierten Einsatzes von Wärmepumpen und Photovoltaiksystemen genannt und auf den österreichischen Haustechnik-, Photovoltaik- und Wärmepumpenmarkt sowie die Wärmepumpen- und Photovoltaik-Fördersituation in Österreich näher eingegangen. Die Ergebnisse der Untersuchungen (verschiedene Sensitivitätsanalysen zum Einfluss verschiedener Parameter, z.B. des Gaspreises, auf die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Technologiekombinationen) legen nahe, dass der Gaspreis ein besonders wichtiger Parameter für die Begünstigung bzw. Erschwernis des Umstiegs von konventionellen Gasheizungen auf kombinierte Wärmepumpen/Photovoltaik-Systeme darstellt. So waren die untersuchten Systeme (ausgehend vom damals gegoltenen Gaspreis) bereits bei einem Gas-Preisanstieg um 17 %, das entspricht einer CO₂-Bepreisung von 33 EUR/t, ohne Förderungen wirtschaftlich darstellbar. Bei Ausbleiben eines entsprechenden Gas-Preisanstiegs bzw. CO₂-Bepreisung wären Förderungen für einen beschleunigten Umstieg auf kombinierte Wärmepumpen/Photovoltaiksysteme zu empfehlen.

6.2.5. Veranstaltung der oberösterreichischen Landesregierung

Am 10.03.2020 war eine Veranstaltung der oberösterreichischen Landesregierung „Wärmepumpen im großvolumigen Bau, von der Planung bis zur Praxis“ geplant, die auf Grund der COVID-19 Maßnahmen abgesagt wurde. Im Zuge dieser Veranstaltung sollte der Vortrag „Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern – Ergebnisse und Einblicke in das Projekt IEA HPT Annex 50“ von Andreas Zottl gehalten werden. Schlussendlich wurde die Veranstaltung am 14.12.2020 als Online-Format²⁴ nachgeholt, an der 400 Personen teilnahmen.

6.2.6. Artikel in der Fachzeitschrift TGA

Der Artikel²⁵ „Wärmepumpen in sanierten Mehrfamilienhäusern - Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung“ in der Ausgabe 07-08/2021 präsentiert die wesentlichen Ergebnisse des IEA HPT Annex 50 praxisnah und zeigt auf, warum die Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern eine wichtige Schlüsseltechnologie der Dekarbonisierung darstellt.

²³ Veröffentlicht unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X21000523> (abgerufen am 25.05.2022, 18:13)

²⁴ [Land Oberösterreich - 14. Dezember 2020: Wärmepumpen im großvolumigen Bau – von der Planung bis zur Praxis \(land-oberoesterreich.gv.at\)](https://www.land-oberoesterreich.gv.at) (abgerufen am 25.05.2022, 18:13)

²⁵ Veröffentlicht unter <https://tga.at/a/schlueseltechnologie-fuer-die-dekarbonisierung> (abgerufen am 25.05.2022, 18:14)

6.2.7. Homepage und Newsletter von Wärmepumpe Austria

Der Beitrag basiert inhaltlich auf dem oben genannten Artikel in der TGA Zeitschrift und wurde im Dezember 2021 auf der Homepage von Wärmepumpe Austria²⁶ veröffentlicht und wurde in einem Newsletter von Wärmepumpe Austria, der im Jänner 2022 an alle Mitglieder von Wärmepumpe Austria erging, verlinkt.

6.3. Relevanz und Nutzen der Ergebnisse

Die im Zuge der Annex-Aktivitäten generierten Erkenntnisse wurden den Zielgruppen des IEA HPT Annex 50 auf zahlreichen Veranstaltungen und durch etliche Veröffentlichungen kommuniziert. Die InstallateurInnen und HaustechnikplanerInnen, welche die oben genannten Weiterbildungen besucht haben, verfügen nun über wichtige Kenntnisse für die Planung und Ausführung von Wärmepumpensystemen in MFH. Des Weiteren konnte in diesen Zielgruppen das Interesse für diese Thematik geweckt werden, das bei Folgeprojekten weiter angesprochen werden kann. Dies wirkt sich positiv auf die Akzeptanz und folglich auf die Marktverbreitung von Wärmepumpen in MFH aus.

Insbesondere das Online-Tool „Solution-Finder“ (siehe Kapitel 5.1.1. „Marktübersicht und Systemklassifizierung (AP 1)“) wird künftig die Hürden für die Entscheidungsfindung für den Einsatz von Wärmepumpen in MFH erheblich senken und die Arbeit von PlanerInnen erleichtern.

6.4. Verwertung der Ergebnisse

Es gibt zahlreiche konkrete Vorstellungen und Vorhaben zur Übertragung von Projekterkenntnissen in die Normung und die FTI-Politik. Aufgrund der langen Umsetzungszeiträume werden die Erkenntnisse aus diesem IEA HPT Annex 50 erst in einigen Jahren in der Normung eingeflossen sein. Die Relevanz der Ergebnisse und Erfahrungen aus dem abgeschlossenen Projekt kann als sehr hoch eingeschätzt werden, da auf dessen Basis das Thema Wärmepumpen in MFH in einem Nachfolge-Annex²⁷ „Heat pumps for multi-family residential buildings in cities“ auf internationaler und nationaler Ebene weiterbearbeitet wird.

²⁶ Siehe <https://www.waermepumpe-austria.at/newsdetails/waermepumpen-in-sanierten-mehrfamilienhaeusern> (abgerufen am 25.05.2022; 18:44)

²⁷ Zum Zeitpunkt der Berichtslegung befand sich der Nachfolge-Annex noch im Antragsstadium <https://heatpumpingtechnologies.org/annexes/ideas-and-proposals/> (abgerufen am 25.05.2022;14:30)

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Wie auf internationaler Ebene hat auch in Österreich die Bedeutung des Einsatzes von Wärmepumpen in Wohngebäuden, insbesondere in Mehrfamilienhäusern, in den letzten Jahren erheblich zugenommen und durch die beispiellose Debatte über die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern noch weiter verstärkt. Die Wärmepumpentechnologie wird eine Schlüsselrolle spielen, um sowohl die Klimaneutralität als auch die Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu erreichen.

Im Zuge der Bearbeitung des nationalen Projektes zum IEA HPT Annex 50 können die in Tabelle 7-1 zusammengestellten Erkenntnisse und Ergebnisse genannt werden, eine genauere Beschreibung erfolgt in den nachfolgenden Absätzen.

Tabelle 7-1: Wichtigste Erkenntnisse des nationalen IEA HPT Annex 50

Wichtigste Erkenntnisse/Ergebnisse	Beschreibung
1. Potenzial	<ul style="list-style-type: none">• Das mittelfristige technische Potenzial für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienwohngebäuden liegt bei ca. 60.000 Gebäuden. Je nach Sanierungsrate kommen noch 8.000 Gebäude pro Jahr dazu.
2. Einfachere Berechnungstools	<ul style="list-style-type: none">• Eine eigens entwickelte Methodik zur Berechnung von SCOP-Werten für Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie und/oder PV-Anlagen ermöglicht den Vergleich zwischen verschiedenen Systemen.• Das erstellte SCOP-Excel-Tool erleichtert das Berechnen.
3. Die zu überwindende Barrieren	<ul style="list-style-type: none">• Die meisten Gebäude wurden vor 1970 errichtet, ohne jegliche Sanierung benötigen diese MFH hohe Heizungsvorlauftemperaturen (> 60°C).• Die meisten Mehrfamilienhäuser befinden sich in Städten mit einer hohen Bebauungsdichte, daher ist der Zugang zu einer geothermischen Wärmequelle nicht immer möglich. Bei Luft-Wärmepumpen muss auf Schallemission geachtet werden.• Einschränkungen bzgl. des Denkmalschutzes und anderer regulativer Vorgaben (z.B. Einstimmigkeitsprinzip bei Veränderungen am Gebäude).
4. Akustik von Luftwasserwärmepumpen	<ul style="list-style-type: none">• Der eingebrachte Maßnahmenkatalog zeigt, dass ein besonders gutes Beispiel für die Reduktion von

Wichtigste Erkenntnisse/Ergebnisse	Beschreibung
	Schallemissionen die Optimierung der Regelung darstellt. Es sind bis zu 10 dB(A) Schallreduktion möglich.
5. Kältekreislauf/Kältemittel	<ul style="list-style-type: none"> Für die untersuchten Anwendungen (neue, unrenovierte bestehende, renovierte bestehende MFH) zeigen die Kältemittelkreisläufe mit dem Kältemittel R290 die höchsten SCOP. Insbesondere für die Anwendungen mit höheren Temperaturen führen die Kältekreislaufvarianten mit EVI zu den höchsten SCOP.
6. Systemkombinationen	<ul style="list-style-type: none"> ein Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystem „Hot Ice Weiz“ wurde mittels dynamischer Anlagensimulation vertiefend analysiert und als österreichisches Fallbeispiel für die internationale Projekt-Website aufbereitet. Die gesammelten Betriebserfahrungen können zukünftig bei der Planung und Umsetzung vergleichbarer Systeme genutzt werden. Wichtig ist eine großzügige Dimensionierung des Wärmequellensystems (Eisspeicher und/oder Solarkollektor) Bei Wärmepumpenkombinationen mit Solarthermie bzw. PV hängt die ökonomische Performanz stark von der Entwicklung des Gaspreises ab

Um das bestehende bzw. in Zukunft erwartete Potenzial für die Integration von Wärmepumpen in Mehrfamilienwohnhäusern (MFH) ermitteln zu können, wurde u.a. die Entwicklung des österreichischen Endenergieverbrauchs gesamt und je Sektor ermittelt. Auf den Bereich Wohnen entfallen zirka 24 % des gesamtösterreichischen Endenergieverbrauchs (Stand 2015). Dies stellt ein signifikantes theoretisches Potenzial für Energieeinsparungen und damit verbundene Emissionseinsparungen durch innovative Wärmebereitstellungstechnologien, wie der Wärmepumpen, dar. Mit den gesammelten Informationen erfolgte eine Abschätzung der Potenziale der Wärmepumpen und mögliche Barrieren von Wärmepumpen in MFHs wurden ausgearbeitet. Als Einschränkungen für den Einsatz von Wärmepumpen in MFHs konnte die Beschränkung der Heizungsvorlauftemperatur auf 60 bis 70 °C festgestellt werden, was dazu führt, dass nur Gebäude mit einem Heizwärmebedarf HWB von maximal 140 kWh/m²a in Frage kommen. Als mittelfristiges technisches Potenzial für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienwohng Gebäuden (ohne erforderliche umfassende Sanierung) wurde daher die Größenordnung 60.000 MFHs identifiziert.

Weiters ist der Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern oftmals schwieriger umzusetzen als deren Einsatz in Einfamilienhäusern, was häufig auf die eingeschränkte Zugänglichkeit von Wärmequellen und Einschränkungen bzgl. des Denkmalschutzes zurückzuführen ist. Diese Einschränkungen gefährden darüber hinaus auch die energetische Performanz solcher Systeme, wobei eine Systemkombination mit anderen erneuerbaren Energiequellen, z.B. mit Solarwärme vom Dach wiederum einen positiven Einfluss auf die Gesamt-Energieeffizienz des Gebäudes hätte. Um

solche Wärmepumpen-Systemkombinationen bewerten zu können, braucht es jedoch anerkannte Standards und geeignete Berechnungstools, die bislang leider kaum verfügbar waren. Die entwickelten Methoden basieren auf bestehenden Normen (z.B. ÖNORM EN 14825) und stehen im Einklang mit der ErP-Richtlinie (2009/125/EG). Die Berechnungsergebnisse sind SCOP-Werte, die direkt in die Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz (η_s) umgerechnet werden können über welche die Energieeffizienzklasse auf dem Energielabel (z.B. A+++) bestimmt wird.

Für die Definition einer Methode zur Berechnung einer Gesamteffizienz-Kennzahl einer Wärmepumpenkombination mit einer Solarthermieanlage und/oder einer PV-Anlage konnten die in EN 14825 bereitgestellten Formeln für die Berechnung des SCOP-Werte modifiziert werden. Aus diesen Werten kann dann der saisonale Raumheizungswirkungsgrad (η_s), der die Energieeffizienzklasse des Gesamtsystems bestimmt, einfach berechnet werden. Für ein erleichtertes Berechnen wurden die Methoden in einem einfach zu handhabenden SCOP-Excel-Tool umgesetzt.

Weitere Arbeiten bezogen sich auf die ökonomische und ökologische Bewertung von Wärmepumpenkombinationen mit einem PV-System und wurden im Zuge der Masterarbeit *Techno economic analysis of combined heat pump and PV systems in Austria* (Schreurs 2019) ausgearbeitet. Es konnten finanzielle Kennzahlen, (z.B. Kapitalwert) für eine Investition in den Tausch eines konventionellen gasbasierten Heizsystems durch eine Wärmepumpenkombination mit einem PV-System ermittelt werden. Zur Ermittlung der Kennzahlen kamen Sensitivitätsanalysen zum Einsatz. Die Ergebnisse zeigen u.a., dass die ökonomische Performanz einer Wärmepumpenkombination mit einem PV-System stark von der Entwicklung des Gaspreises abhängt. Die Bewertung der Kosten bzw. des Nutzens der Reduzierung der CO₂-Emissionen zeigt, dass der Ersatz des konventionellen gasbasierten Heizsystems durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe (ohne PV) Kosten in Höhe von 0,02 EUR pro eingespartem kg CO₂ verursachen würde. Der Ersatz durch eine Erdwärmepumpe würde zu einer Nettokosteneinsparung von 0,72 EUR pro kg eingesparter CO₂-Emissionen führen. Die Kombination aus Luft/Wasser-Wärmepumpe und PV-Anlage würde zu Kosteneinsparungen von 1,07 EUR/kg führen, und die Kombination aus Erdwärmepumpe und PV-Anlage hätte den höchsten Nutzen: 1,51 EUR pro eingespartem kg CO₂-Emissionen.

Im Rahmen von akkreditierten Prüfungen von Wärmepumpen können Schallemissionen nach dem Prinzip der Schalleistungsmessung gemessen werden, um die akustische Qualität von Wärmepumpen zu beurteilen. Diese Messung gibt zwar einen Hinweis auf die akustische Qualität einer Wärmepumpe, aber wichtige Parameter (z.B. tonale Komponenten in der Schallemission), die für die psychoakustische Wahrnehmung der Schallemissionen einer Luft/Wasser-Wärmepumpe wichtig sind, bleiben unberücksichtigt. Die Methoden aus verschiedenen Forschungsprojekten wurden im Rahmen des IEA HPT Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" auf Wärmepumpen angewandt. Die Ergebnisse dieser Messungen werden im Task 2.2 Country Report unter besonderer Berücksichtigung der Situationen in Mehrfamilienhäusern dargestellt. Des Weiteren werden Ergebnisse aus dem EU-Forschungsprojekt *GreenHP*, ein 5-Kanal-Akustikmessverfahren und das Akustik-Visualisierungstool „HVAC Positioner“, das die virtuelle Platzierung von Wärmepumpen zusammen mit akustischen Berechnungen ermöglicht, dargestellt. Ein wichtiger Beitrag zu diesem Projekt ist ein Maßnahmenkatalog mit Angabe der erzielbaren Schallreduktion in dB(A) je Maßnahme. Das beste Beispiel ist die Optimierung der Regelung mit bis zu 10 dB(A) Schallreduktion.

Basierend auf den ermittelten Anforderungen an die Systeme für den Einsatz in den verschiedenen Mehrfamilienhauskategorien (neu, renoviert, unsaniert) wurden mögliche Kältekreislaufvarianten

und geeignete Kältemittel für den Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen auf numerischer Basis untersucht. Für die Modellierung wurden die verschiedenen Kältekreislaufvarianten unter Berücksichtigung verschiedener Kältekreislaufkonfigurationen spezifiziert und die Kältemittel R290, R410A, R134a und R1234zee für die numerischen Vergleiche ausgewählt. Basierend auf Berechnungen der jahreszeitlichen Leistungszahl (SCOP) wurden die effizientesten Kältekreislaufvarianten zusammen mit dem am besten geeigneten Kältemittel ausgewählt. Es stellte sich heraus, dass für alle Anwendungen (neue, unrenovierte bestehende, renovierte bestehende MFH) die Kältekreisläufe mit dem Kältemittel R290 die höchsten SCOP hatten. Insbesondere für die Anwendungen mit höheren Temperaturen führen die Kältekreislaufvarianten mit EVI zu den höchsten SCOP. Neben der Effizienz bietet R290 aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften die Möglichkeit, die Menge der Kältemittelmenge zu reduzieren.

Neben den Untersuchungen der Kältekreislaufvarianten erfolgten auch Systemsimulationen eines realen Solar/Eisspeicher-Wärmepumpensystems, das in einem Mehrfamilienhaus mit zehn Wohnungen in Weiz installiert ist. Das System kann in verschiedenen Modi betrieben werden, um den Raumwärme- und Warmwasserbedarf abzudecken. Nach einigen Herausforderungen in der Inbetriebnahmephase arbeitet das System zuverlässig. Es wurde ein TRNSYS-Modell des Gesamtsystems erstellt und mit Messdaten validiert. Die Qualität des Modells wurde als ausreichend genau für eine simulationsbasierte Analyse verschiedener Modifikationen des realen Systems beurteilt, z.B. Variation des Eisspeichervolumens oder/und der Solarkollektorfläche. Abschließend wurde ein theoretischer Vergleich der realisierten Systemkonfiguration mit einem System mit einer "fortschrittlichen" Luft/Wasser-Wärmepumpe, siehe Kältekreislaufvarianten, durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass beim realen System ein gewisses Verbesserungspotenzial besteht. Insbesondere ein größeres Wärmequellensystem (Eisspeicher und/oder Solarkollektor) wäre im Hinblick auf Effizienz und Energieverbrauch vorteilhaft. Das Eisspeichervolumen wurde entsprechend dem Wärmebedarf gem. Energieausweis dimensioniert. Es stellte sich aber heraus, dass der reale Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser viel höher ist, so dass der realisierte Eisspeicher zu klein ist, was zu einem elektrischen Heizbedarf während kalter Perioden führt. Die Gesamt-Jahresarbeitszahl des Systems (inkl. Strombedarf für die Heizstäbe und Umwälzpumpen) lag in den untersuchten Jahren (2016 bis 2019) bei etwa 3,1. Eine nachträgliche Modifikation der Hardware und damit eine Optimierung des Heizsystems war aus Kostengründen nicht möglich, aber die in diesem Projekt gesammelten Informationen können zukünftig bei der Planung und Umsetzung vergleichbarer Systeme genutzt werden.

Wie die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem abgeschlossenen Projekt zeigen, gibt es im Bereich der Mehrfamilienhäuser gute Beispiele für den Einsatz von Wärmepumpen, allerdings ist dies noch keine weit verbreitete Lösung. Gleichzeitig gibt es einen anhaltenden Trend zur Abwanderung in Städte mit hoher Bevölkerungsdichte, wodurch die Bedeutung von Mehrfamilienhäusern zunimmt. Unter diesen Aspekten wird das Thema Wärmepumpen in MFH in einem Nachfolge-Annex²⁸ „Heat pumps for multi-family residential buildings in cities“ weiterbearbeitet werden. Vor diesem Hintergrund ist es dringend erforderlich, nach optimalen Lösungen für den Einsatz von Wärmepumpen in Städten mit hoher Bevölkerungsdichte zu suchen und diese anzubieten, wobei der Schwerpunkt auf neuen und bestehenden Mehrfamilienhäusern liegt.

²⁸ Zum Zeitpunkt der Berichtslegung befand sich der Nachfolge-Annex noch im Antragsstadium <https://heatpumpingtechnologies.org/annexes/ideas-and-proposals/> (abgerufen am 25.05.2022; 14:30)

Im Zuge der Ausarbeitung und Vorbereitung des Nachfolge-Annex wurde der Annex 60²⁹ „Retrofit Heat Pump Systems in Large Non-domestic Buildings“ gestartet der sich vom Annex 50 und dessen Nachfolge-Annex insofern abgrenzt, in dem hier Nichtwohngebäude betrachtet werden. Dieses Projekt zielt speziell darauf ab, den praktischen Nachweis zu erbringen, dass größere Nichtwohngebäude im Zuge von Sanierungen erfolgreich mit Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen nachgerüstet werden können. Es sollen einfach handzuhabende, leicht zugängliche Empfehlungen in Bezug auf die Auswahl von Systemkomponenten für diverse Arten von Nichtwohngebäuden und Rahmenbedingungen erarbeitet, und mit ihren relativen Vor- und Nachteilen sowie Referenzprojekten dargestellt werden.

Die Hauptaussage der Annex 50-Arbeiten ist, dass der Einsatz von Wärmepumpensystemen in Mehrfamilienhäusern möglich ist und bereits praktiziert wird, wie zahlreiche Beispiele aus mehreren Ländern zeigen. Die Vielfalt der Mehrfamilienhäuser und ihrer Merkmale ermöglicht die Anwendung verschiedener technischer Lösungen auf der Grundlage von Wärmepumpen. Allerdings führt die große Heterogenität der Mehrfamilienhäuser zu individuellen Lösungen, die sich nur schwer in großem Maßstab anwenden lassen. Eine stärkere Standardisierung der Produkte und der Lösungen ist daher notwendig und entscheidend.

Parallel zu den positiven Botschaften muss festgestellt werden, dass es noch mehrere Hindernisse zu überwinden gilt, um Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern, insbesondere in bestehenden und nicht nachgerüsteten Gebäuden, einzusetzen. Diese Hindernisse sind sowohl technischer als auch nicht-technischer Natur. Auf der technischen Seite können eine ausreichende Heizleistung und Vorlauftemperatur sowie der Zugang zu den Wärmequellen eine Rolle spielen. Investitionskosten und eine komplexe Eigentumsstruktur sind ein Beispiel für nichttechnische Hindernisse.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Fortsetzung der mit dem IEA HPT Annex 50 begonnenen Arbeiten für eine breitere Anwendung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern von großem Nutzen wäre.

²⁹ <https://heatpumpingtechnologies.org/annex60/> (abgerufen am 25.05.2022; 14:30)

Literaturverzeichnis

Biermayer, P.; Dißauer, Ch.; Eberl, M.; Enigl, M.; Fechner, H.; Leonhartsberger, K.; Maringer, F.; Moidl, St.; Schmidl, Ch.; Strasser, Ch.; Weiss, W; Wonisch, P.; Wopienka, E. (2017): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2016. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2016.

Hutter G. (2016): E-Mail communication: SG ELIN Weiz, 2016.

Lerch W. (2017): Combined Solar/Heat Pump-System, Draft (unpublished) doctoral thesis, TU Graz - Institute of Thermal Engineering, 2017.

Linhardt, F. (2018). Simultane Messungen von Schall, Vibration und Strömung, sowie Bestimmung von Schallübertragungsfunktionen im Kontext von Luft-Wasser-Wärmepumpen [Diplomarbeit, Technische Universität Wien]. repositUM. <https://doi.org/10.34726/hss.2018.35556>

Pratter R. (2017): Validation of a solar-ice storage-heat pump system and definition of a design guideline, Master Thesis, Graz University of Technology – Institute of Thermal Engineering.

Pratter R.; Lerch W.; Heimrath R.; et al. (2017): Latentwärmenutzung mit Eisspeicher, Wärmepumpe, Solarthermie und PV-Anlage – Systemevaluierung, Systemoptimierung und Dimensionierungsrichtlinie, Project report submitted to the province of Styria, Graz University of Technology – Institute of Thermal Engineering.

Pratter R., Lerch W., Heimrath R., Rieberer R. (2020a): IEA HPT Annex 50 - Task 3.2: Task 3.2: System Simulation, Austrian Country Report.

Pratter R., Lerch W., Heimrath R., Rieberer R. (2020b): IEA HPT Annex 50 - Task 4.0: Demonstration and Monitoring, Austrian Country Report.

Rieberer R., Pratter R., Heimrath R. (2020): Erfahrungsbericht zu einer Wärmepumpenanwendung in einem MFH mit Eisspeicher & Solarthermie, online-Vortrag i.R. des nationalen IEA HPT Annex 50/51 Seminars, 25.11.2020. (<https://waermepumpe-weiterbildung.at/enrol/index.php?id=49>, 25.11.2020)

EN 14825, “Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance”, EN standard, 2018

GreenHP, “GreenHP – Next Generation Heat Pump for Retrofitting Buildings”, European funded project under FP7 (GA 308816), 2012 – 2016, <https://cordis.europa.eu/project/id/308816> (coordinated by AIT), 2016

HP-Keymark, “SCOP_SEER_water based HP_V1.xlsm “, excel calculation tool, <https://drive.google.com/file/d/1ZnwihJ1yBOLTJnjdzWEeuJE6oB07P9BI/view?usp=drivesdk>, 2020

IEA HPT Annex 50 Task 1, “Task 1 - Market Overview”, Austrian Country Report

Wei W., van Renterghem T. and Botteldooren D. (2015) An-efficient-method-to-calculate-sound-diffraction-over-rigid-obstacles. EURONOISE 2015.

Rieberer R. et al. (2020) Country Report Austria - Task 1: Market Overview, 2017, Austria

Natiesta T., Zottl A. (2021): Task 2.1 Methodology for assessing the performance of combined systems

Reichl Ch., Zottl A. (2021): Task 2.2: Acoustic characteristics of MFH air-to-water heat pumps with description of measures to reduce noise emissions

Zottl A. et al. (2020): Country Report Austria - Task 3.1: Optimized refrigeration cycle configuration for Air-Water Heat Pumps for renovated, unrenovated and new MFH

Pratter R., Lerch W., Heimrath R., Rieberer R. (2020a): IEA HPT Annex 50 - Task 3.2: System Simulation, Austrian Country Report.

Pratter R., Lerch W., Heimrath R., Rieberer R. (2020b): IEA HPT Annex 50 - Task 4.0: Demonstration and Monitoring, Austrian Country Report.

Masterarbeiten

Pratter R. (2017): Validation of a solar-ice storage-heat pump system and definition of a design guideline, Master Thesis, Graz University of Technology – Institute of Thermal Engineering

Schreurs T. (2019): Techno-economic analysis of combined heat pump and solar PV system for multi-family houses: An Austrian case study

Rieberer R., Pratter R., Heimrath R. (2020): Erfahrungsbericht zu einer Wärmepumpenanwendung in einem MFH mit Eisspeicher & Solarthermie

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Darstellung des österreichischen Teilvorhabens im Annex.....	15
Abbildung 5-1: Heizungssysteme im Gebäudebestand nach Bauperiode (rot: Zentralheizung, blau: Fernwärme, grün: Gasetagenheizungen, violett: Gaskonvektorheizungen, hellblau: direktelektrische Heizungen, orange: sonstige) (vgl. Statistik Austria 2016).....	20
Abbildung 5-2: Anteil der verschiedenen Leistungsklassen am Absatz im Jahr 2016; Daten nach Biermayer et al. (2017).....	21
Abbildung 5-3: Anlagenschema <i>HotIceWeiz</i> (Task 1-Country Report, 2020).....	22
Abbildung 5-4: Klassifizierung <i>HotIceWeiz</i> (Task 1-Country Report, 2020)	23
Abbildung 5-5: Kosten bzw. Nutzen der CO ₂ -Emissionsreduktion für beide Wärmepumpentypen mit und ohne PV-Anlage (Schreurs, 2019).....	25
Abbildung 5-6: <i>Messaufbau der SilentAirHP in der Klimakammer mit 64 Kanal Mikrofon-Dom, transients Gewichtsbestimmung und synchroner Messung von Akustik und vier Vibrationssignalen (Task 2.2 Report, 2021)</i>	26
Abbildung 5-7: Frequenz aufgelöste akustische Signatur (in Wasserfalldarstellung) während der Abtauung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Zeitaufgelöste Akustische Signatur in Terzbanddarstellung (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>)	27
Abbildung 5-8: Frequenz aufgelöste akustische Signatur (in Wasserfalldarstellung) während der Abtauung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe. Schalldruckpegel an einer ausgewählten Mikrofonposition in Schmalbanddarstellung (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>).....	28
Abbildung 5-9: Vergleich der experimentellen Daten der <i>SilentAirHP</i> mit den Simulationsergebnissen (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>)	29
Abbildung 5-10: Zeitliches Verhalten der Eisbildung auf dem <i>SilentAirHP</i> -Verdampfer (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>).....	29
Abbildung 5-11: Zeitliches Verhalten des Eisansatzes auf einem kleinen symmetrischen Abschnitt des Wärmetauschers. Oben ist die Strömungsgeschwindigkeit, unten der Druckverlust bei allmählicher Vereisung dargestellt (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>)	30
Abbildung 5-12: <i>SilentAirHP</i> -Verdampfer mit Makrokamera für die Aufnahme der Vereisung der Verdampferlamellen (links); Eisbildung auf zwei Lamellen des <i>SilentAirHP</i> -Verdampfers (rechts) (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>).....	30
Abbildung 5-13: Ventilatorprototypen ECO90 (links) und EC116 (rechts) mit Reduktionsmaßnahmen für tonale Schallemissionen (<i>GreenHP, Deliverable 7.1</i>).....	31
Abbildung 5-14: Experimentelle Ergebnisse der Optimierung tonaler Geräusche (<i>GreenHP, Deliverable 7.1</i>)	31
Abbildung 5-15: Schematischer Aufbau einer Split-Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Split-Verdampfer	34
Abbildung 5-16: Visualisierung des Aufbaus des akustischen Doms (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>)	34
Abbildung 5-17: Numerisches Modell in Dymola/Modelica®	36
Abbildung 5-18: SCOP Berechnungstool (HP-Keymark, 2020)	37
Abbildung 5-19: Energieströme zur Ermittlung der Arbeitszahl (in Anlehnung an Pratter, 2017)	39

Abbildung 5-20: Sensitivitätsanalyse – simulativ ermittelte Auswirkung der Solarkollektorfläche (“A_coll”) und des Eisspeichervolumens (“V_IS”) auf die Jahresarbeitszahl („SPFsys“) und den Strombedarf für die E-Heizstäbe („EHeat“) (Pratter, 2017)	40
Abbildung 5-21: Schema des Heizungssystems mit Luft/Wasser-Wärmepumpe (Pratter et al., 2020a)	40
Abbildung 5-22: Rechnerisch ermittelte Energiebilanzen für das Heizungssystem mit Sole/Wasser-Wärmepumpen & Luft/Wasser-Wärmepumpen (Pratter et al., 2020a).....	41
Abbildung 5-23: Bild des untersuchten Mehrfamiliengebäudes in Weiz (Hutter 2016).....	42
Abbildung 5-24: Betriebsmodi (Pratter et al., 2020b).....	43
Abbildung 5-25: Überblick „Solution Matrix“	46
Abbildung 5-26: Matrix-Tool-Lösungsfindungsmodus	47
Abbildung 5-27: Matrix-Tool-Browsing-Modus.....	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Internationale Zusammensetzung des IEA HPT Annex 50 Projekts	13
Tabelle 4-2: Taskuntergliederung des internationalen IEA HPT Annex 50.....	14
Tabelle 4-3: Lead und Mitarbeit in den Arbeitspaketen innerhalb der ARGE.....	17
Tabelle 4-4: Projektziele des nationalen IEA HPT Annex 50.....	17
Tabelle 4-5: Eingesetzte Methoden im nationalen IEA HPT Annex 50.....	18
Tabelle 5-1: Deliverables auf Taskebene im nationalen IEA HPT Annex 50	19
Tabelle 5-2: Bewertungskatalog aufbauend auf dem „Leitfaden zur Akustik von Luft/Wasser- Wärmepumpen“ des „Verbands Wärmepumpe Austria“. (vgl. Wei et al., 2015) Resultate beziehen sich auf die jeweilige betrachtete Komponente der <i>SilentAirHP</i>	32
Tabelle 5-3: Schallleistungspegel in vier Betriebspunkten und Bedingungen in der Klimakammer (<i>Task 2.2 Report, 2021</i>).....	35
Tabelle 5-4: Definition der MFH Anwendungsfälle	35
Tabelle 5-5: Übersicht der untersuchten Varianten.....	37
Tabelle 5-6: SCOP für die ausgewählten Anwendungsfälle	38
Tabelle 5-7: Spezifikationen der installierten Sole/Wasser-Wärmepumpen (BW-HP; Brine/Water Heat Pump) und der fiktiven Luft/Wasser-Wärmepumpen (AW-HP; Air/Water Heat Pump) (Pratter et al., 2020a).....	41
Tabelle 5-8: Wichtigste Erkenntnisse des internationalen IEA HPT Annex 50	44
Tabelle 5-9: Wichtigste Ergebnisse des internationalen IEA HPT Annex 50	45
Tabelle 7-1: Wichtigste Erkenntnisse des nationalen IEA HPT Annex 50.....	58

Abkürzungsverzeichnis

AP	<i>Arbeitspaket</i>
AW-HP	<i>Luft/Wasser Wärmepumpe; Air/Water Heat Pump (engl.)</i>
BW-HP	<i>Sole/Wasser-Wärmepumpe; Brine/Water Heat Pump (engl.)</i>
CFD	<i>Fluiddynamische Simulation; Computational Fluid Dynamics (engl.)</i>
COP	<i>Leistungszahl; Coefficient of Performance (engl.)</i>
DHW	<i>Warmwasser; Domestic Hot Water (engl.)</i>
ErP	<i>Energy-related-Products</i>
EVI	<i>Kältemittelspritzung in Verdichter; Enhanced Vapour Injection (engl.)</i>
FFG	<i>Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft m.b.H.</i>
KPI	<i>Leistungskennzahl; Key Performance Indicator (engl.)</i>
MFH	<i>Mehrfamilienhaus; Multi-family house (engl.)</i>
OiB	<i>Österreichisches Institut für Bautechnik</i>
PV	<i>Photovoltaik</i>
SCOP	<i>Seasonal Coefficient of Performance</i>
SH	<i>Raumheizung, Space Heating (engl.)</i>
ST	<i>Solarthermie</i>
WP	<i>Wärmepumpe</i>
z.B.	<i>zum Beispiel</i>

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It is oriented vertically, with its hypotenuse facing left and its right angle at the bottom right corner. The shape is semi-transparent and overlaps the white background.

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

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

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