

# **Modular aufgebaute Wärmepumpe mit umweltfreundlichem Kältemittel als Gasthermenersatz im großvolumigen Wohnbau**

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 14/2026

Wien, 2025

## Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung (interimistisch): DI<sup>in</sup> (FH) Isabella Warisch

Autorinnen und Autoren:

Dipl.-Ing. Stephan Preisinger, Dipl.-Ing. Dr. techn. Heinz Moisi, Raimund Zitzenbacher, MSc  
(Ochsner Wärmepumpen GmbH)

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christoph Reichl, Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael Lauermann,  
Dipl.-Ing. (FH) Stephan Kling, Dipl.-Ing. Micha Schwarzfurtner, Dipl.-Ing. Alexander  
Obermair (AIT Austrian Institute of Technology GmbH)

Wien, Mauer bei Amstetten, 2026. Stand: September 2025

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an [iii3@bmimi.gv.at](mailto:iii3@bmimi.gv.at).

## **Rechtlicher Hinweis**

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

## Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform [nachhaltigwirtschaften.at](https://www.nachhaltigwirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>13</b>
3.1.	Stand der Technik .....	13
3.1.1.	Gasetagenheizungen im großvolumigen Wohnbau .....	13
3.1.2.	Konzepte zur Integration von Wärmepumpen als Etagenheizungen und Warmwasserbereitung .....	14
3.1.3.	Stand des Wissens im nationalen Innovationssystem.....	14
3.1.4.	Konzeptstudie von Vaillant.....	14
3.1.5.	Konzept für Innenaufstellung mit Propan auf Forschungsebene.....	15
3.1.6.	IEA HPT Annex 50 - Wärmepumpen in Mehrfamiliengebäuden für Raumheizung und Warmwasser .....	15
3.1.7.	LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandgebäuden..	15
<b>4</b>	<b>Projektinhalt</b> .....	<b>17</b>
4.1.	Konzeptentwicklung.....	17
4.2.	Labora Aufbau .....	18
4.3.	Laborversuche.....	18
4.4.	Analyse der Heizungssituation im urbanen Gebiet .....	18
4.5.	Evaluierung der möglichen Wärmequellenanlagen für den Einsatz mit einer modularen Wärmepumpe .....	19
4.5.1.	Fernwärme Rücklauf.....	21
4.5.2.	Rückkühler am Dach .....	21
4.5.3.	Rückkühler am Boden.....	23
4.5.4.	Kollektor an Fassade .....	23
4.5.5.	Erdwärmesonde.....	24
4.5.6.	Kombination mehrerer Quellen .....	24
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>25</b>
5.1.	Wärmepumpenmodule.....	25
5.1.1.	Kältemittel .....	25
5.1.2.	Leistungsdimensionierung.....	25
5.1.3.	Kältekreis Komponenten .....	26
5.1.4.	Hydraulische Verschaltung .....	27
5.2.	Prüfstand für die modulare Wärmepumpe .....	28
5.2.1.	Datenerfassung und -verarbeitung.....	28
5.2.2.	Kältemittelfüllung .....	29
5.2.3.	Wärmepumpen-Rack.....	29

5.3. Messprotokoll und Messdatenauswertung .....	31
5.3.1. Heizleistung .....	31
5.3.2. Coefficient of Performance (COP) .....	32
5.3.3. Carnot-Wirkungsgrad .....	33
5.3.4. Isentropen-Wirkungsgrad.....	34
5.3.5. Thermodynamische Vermessung des Gesamtsystems .....	35
<b>6 Schlussfolgerungen .....</b>	<b>37</b>
6.1. Verbreitungsaktivitäten und Marktpotenzial .....	38
<b>7 Ausblick und Empfehlungen .....</b>	<b>39</b>
<b>8 Verzeichnisse.....</b>	<b>40</b>

# 1 Kurzfassung

Fast die Hälfte der europäischen Gebäude besitzen fossile Heizkessel, die vor 1992 installiert wurden. Mit 46 % Anteil ist Erdgas der größte Primärenergieträger für Heizung und Kühlung. Allein in Wien sind in rund 440.000 Haushalten Gas-Kombithermen bzw. Heizwertgeräte zu Heizzwecken oder zur Brauchwasserbereitung im Einsatz. Die Sanierung solcher Systeme könnte den Energieverbrauch der EU um 5 – 6 % reduzieren und die CO<sub>2</sub> Emissionen um etwa 5 % senken. Dennoch wird im EU-Durchschnitt weniger als 1 % des nationalen Gebäudebestands jedes Jahr saniert. Obwohl im Neubau bereits etabliert und marktführend in der EU, ist die Wärmepumpe in der Sanierung – vor allem im großvolumigen Wohnbau – weit weniger verbreitet. Die Energieeffizienz- und CO<sub>2</sub>-Reduktion von Wärmepumpen in diesem Marktsegment werden dadurch gar nicht bzw. nur unzureichend genutzt, weil schlichtweg die einzelnen Haushalte im großvolumigen Wohnbau kaum die Möglichkeit haben auf eine Wärmepumpe umzusteigen. Auf dem Weg zur klimaneutralen Stadt ist die Umstellung von Gas auf umweltfreundliche Wärmepumpen jedoch unumgänglich. Gasthermenersatz setzt genau an diesem Punkt an.

Im Projekt wurde ein Funktionsmuster einer dezentralen, schalloptimierten Wärmepumpenlösung mit seriell- und parallel verschalteten Kältekreis-Modulen entwickelt, gebaut und getestet. Je nach Verschaltung einer bestimmten Anzahl solcher hermetisch abgeschlossenen Kältekreis-Module ergibt sich eine effiziente Betriebsweise nach Heizlastvorgabe und Temperaturanforderungen. Die sich bildende Wärmepumpe stellt eine Drop-In Alternative zur Gastherme im großvolumigen Wohnbau dar. Im operativen Betrieb sind noch ein Wärmespeicher sowie die Erschließung der Wärmequelle erforderlich. Letztere wird optimalerweise gemeinsam genutzt und entweder aus der Außenluft oder Erdwärme bezogen. Beides kann über den nunmehr ungenutzten Kamin geschehen. Die Kommunikation der Wärmepumpe mit Speicher wird über einen Zentral-Regler realisiert. Die „smarte“ Kommunikation erlaubt die Ausnutzung aller Synergieeffekte für einen maximalen Dekarbonisierungsgrad.

Zur experimentellen Vermessung wird ein Rack für ein modulares Wärmepumpensystem vorgestellt, das es ermöglicht die Wärmekapazität und Leistung jedes einzelnen Moduls für verschiedene Temperaturstufen und Medien abzurufen. Insgesamt könnten bis zu acht Module installiert werden, wobei die Anschlüsse für vier verschiedene Wärmepumpenmodule im Projekt genutzt wurden. Ein Hauptmerkmal des Racks sind die variablen Kombinationsmöglichkeiten, die sich mit vorinstallierten 3-Wege-Ventilen leicht realisieren lassen, beispielsweise durch parallele oder serielle Verbindung der Module.

Die Entwicklung erfolgte in zwei Iterationsschleifen mit jeweils drei Arbeitspaketen: (1) Konzeptentwicklung (Komponenten-, Modul- und Systemebene; Modellierung in Modelica/Dymola), (2) Laboraufbau (Schnittstellen, Sicherheit, Integration am AIT-Prüfstand) und (3) Laborversuche nach EN 14511 mit automatisierter Messdatenerfassung (LabVIEW, Matlab, Python). Dimensioniert wurde auf Wohnungen bis 130 m<sup>2</sup> und eine maximale Heizlast von ca. 10 kW. Als Arbeitsmittel wurde das A3-Kältemittel R290 gewählt und durch die Reduktion der Füllmenge pro Modul auf 150 g konnten die Sicherheitsanforderungen gemäß IEC 60335-2-40 vereinfacht werden.

Im Projekt wurden zwei unterschiedliche Modultypen entwickelt und hergestellt: Modul 1.2 (Kolbenkompressor 10 cm<sup>3</sup>) und Module 2.X (Rotationskompressor 17 cm<sup>3</sup>; Varianten mit

unterschiedlichen Plattenwärmetauschern und Zusatzkomponenten). Die Heizleistung und der COP als Leistungsindikatoren wurden verglichen. Dabei zeigte sich, dass Modul 1.2 bei allen Druckhöhen außer der Betriebsbedingung B10/W25 eine bessere Leistung als 2.X erzielte. Im Vergleich der Module mit Rotationskompressor schnitt Modul 2.3 schlechter ab als 2.0 und 2.2, woraus abgeleitet wurde, dass der Verdampfer mit 18 Platten der begrenzende Faktor bei dieser Konstruktion war. Die Isentropen Wirkungsgrade für die Fußbodenheizung und die Warmwasserbereitung lagen sowohl bei Kolben- als auch bei Rotationskompressoren über 0,45. Dennoch haben die Messungen gezeigt, dass die Effizienz des Kolbenkompressors bei höheren Druckverhältnissen besser ist als die des Rotationskompressors. Ein Teil der Abweichung der Messwerte von den Herstellerangaben kann auf Wärmeverluste der nicht isolierten Kälte- und Hydraulikleitungen zurückgeführt werden. Bei hohen Vorlauftemperaturen und geringen Heizleistungen wirken sich diese Verluste verstärkt auf die Ergebnisse aus. Darüber hinaus wurde Optimierungspotenzial bei der Unterkühlung und Überhitzung festgestellt, wodurch eine Steigerung der Leistung und des Wirkungsgrads erreicht werden könnte, während der allgemeine Trend voraussichtlich beibehalten wird.

Bei Betrachtung des Gesamtsystems der modular aufgebauten Wärmepumpe scheint ein kombinierter Betrieb besser für Anwendungen geeignet zu sein, bei denen sowohl Heizleistung als auch Warmwasserbereitung gleichzeitig erforderlich sind. Die Effizienz des kombinierten Betriebs mit Mitteltemperaturniveau liegt etwas niedriger als im Parallelbetrieb, aber der Vorteil liegt in der gleichzeitigen Nutzung der Wärmequelle für beide Zwecke und einer hohen DHW-Leistung zur schnellen Ladung eines Warmwasserspeichers.

Die experimentellen Ergebnisse verdeutlichen das Potenzial einer modular aufgebauten Wärmepumpe als eine nachhaltige Lösung für den Ersatz von Gasthermen im Wohnbau. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass das Wärmepumpenmodul mit einigen technischen Anpassungen noch weiter optimiert werden kann, insbesondere hinsichtlich der Kältemittelfüllmenge und der Bauteilkonfiguration des Kältekreislaufs. Eine erfolgreiche Umsetzung des Konzepts einer dezentralen Wärmepumpe zum Gasthermenersatz wird als realistisch eingestuft und würde Österreichs Rolle als Technologieführer bei innovativen Umwelttechnologien stärken. Ungeachtet dessen bestehen Entwicklungsrisiken in den Bereichen Produktsicherheit (bei Verwendung eines leicht entflammaren Kältemittels) und Wirtschaftlichkeit, da Gasthermen etablierte Produkte sind und seit Jahrzehnten in hoher Stückzahl gefertigt werden. Die Erkenntnisse aus diesem Projekt tragen zur Weiterentwicklung und Feinabstimmung von modularen Wärmepumpenlösungen bei, die zukünftig einen signifikanten Beitrag im Bereich der erneuerbaren Energien leisten könnten.

## 2 Abstract

Almost half of European buildings are equipped with fossil fuel boilers installed before 1992. With a share of 46%, natural gas is the largest primary energy source for heating and cooling. In Vienna alone, around 440,000 households use gas combination boilers or low-efficiency gas heaters for space heating or domestic hot water preparation. Renovating such systems could reduce the EU's total energy consumption by 5 – 6% and cut CO<sub>2</sub> emissions by around 5%. Nevertheless, on average less than 1% of the national building stock is renovated annually in the EU. Although already established and market-leading in the new-build sector, heat pumps are still far less common in renovation projects — especially in large-scale residential buildings. As a result, the energy efficiency and CO<sub>2</sub> reduction potential of heat pumps in this segment is either not being realized or only insufficiently utilized, as individual households in multi-apartment buildings rarely can switch to a heat pump. However, replacing gas with environmentally friendly heat pumps is indispensable on the path toward climate-neutral cities. The “Gasthermenersatz” project addresses exactly this challenge.

In the project, a prototype of a decentralized, noise-optimized heat pump solution with serially and parallel-connected refrigerant circuit modules was developed, built, and tested. Depending on the configuration of a certain number of these hermetically sealed modules, efficient operation can be achieved according to heating load and temperature requirements. The resulting heat pump represents a drop-in alternative to gas boilers in large residential buildings. For practical operation, a thermal storage unit and access to a heat source are still required. Ideally, the latter is shared and derived either from ambient air or geothermal energy, both of which can be accessed through the now unused chimney. Communication between the heat pump and storage is managed by a central controller. This “smart” communication enables full utilization of synergies for maximum decarbonization.

For experimental evaluation, a rack for the modular heat pump system was introduced, allowing the thermal capacity and performance of each individual module to be measured at different temperature levels and media. Up to eight modules could be installed in total, with connections for four different heat pump modules used in the project. A key feature of the rack is its flexible combination options, which can be easily realized with pre-installed 3-way valves, for example through parallel or serial module connections.

Development proceeded in two iterative loops, each with three work packages: (1) concept development (component, module, and system level; modeling in Modelica/Dymola), (2) laboratory setup (interfaces, safety, integration at the AIT test bench), and (3) laboratory tests according to EN 14511 with automated data acquisition (LabVIEW, Matlab, Python). The system was dimensioned for apartments up to 130 m<sup>2</sup> with a maximum heating load of approx. 10 kW. The A3 refrigerant R290 was used, and by reducing the refrigerant charge to 150 g per module, safety requirements according to IEC 60335-2-40 could be simplified.

Two different module types were developed and manufactured: Module 1.2 (reciprocating compressor 10 cm<sup>3</sup>) and Modules 2.X (rotary compressor 17 cm<sup>3</sup>; variants with different plate heat exchangers and additional components). Heating capacity and COP were compared as performance indicators. Results showed that Module 1.2 outperformed the 2.X modules in all pressure ranges except under operating condition B10/W25. Among the rotary compressor modules, Module 2.3

performed worse than 2.0 and 2.2, which was attributed to the evaporator with 18 plates acting as the limiting factor in this design. The isentropic efficiencies for underfloor heating and domestic hot water preparation were above 0.45 for both reciprocating and rotary compressors. However, measurements showed that the efficiency of the reciprocating compressor was better at higher pressure ratios than that of the rotary compressor. Some of the deviation between measured values and manufacturer data can be attributed to heat losses in the uninsulated refrigeration and hydraulic lines. At high supply temperatures and low heating loads, these losses had an increased impact. In addition, optimization potential was identified in subcooling and superheating, which could further improve performance and efficiency, while the overall trend is expected to remain.

Considering the system as a whole, combined operation of the modular heat pump seems more suitable for applications requiring both heating and domestic hot water simultaneously. The efficiency of combined operation with an intermediate temperature level is slightly lower than in parallel operation, but the advantage lies in the simultaneous use of the heat source for both purposes and a high DHW output for rapid charging of a hot water storage tank.

The experimental results highlight the potential of a modular heat pump as a sustainable solution for replacing gas boilers in residential buildings. Moreover, it was found that the heat pump module could be further optimized through technical adjustments, particularly regarding refrigerant charge and refrigerant circuit component configuration. Successful implementation of the decentralized heat pump concept for gas boiler replacement is considered realistic and would strengthen Austria's role as a technology leader in innovative environmental technologies. Nevertheless, development risks remain in the areas of product safety (due to the use of a flammable refrigerant) and economic viability, since gas combination boilers are established products that have been mass-produced for decades. The insights gained from this project contribute to the further development and fine-tuning of modular heat pump solutions, which could make a significant future contribution to renewable energy deployment.



# 3 Ausgangslage

In Europa basieren viele Heizsysteme im großvolumigen Wohnbau auf Technologien, die CO<sub>2</sub> in Verbrennungsprozessen direkt emittieren. Mit 46 % stellt Erdgas den größten Anteil und eine Sanierung von Gas-Kombithermen bzw. Heizwertgeräten könnte den Energieverbrauch der EU um bis zu 6 % und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um etwa 5 % senken. Im Widerspruch zu dieser offensichtlichen Chance wird im EU-Durchschnitt jährlich weniger als 1 % des Gebäudebestands renoviert und besonders im großvolumigen Wohnbau wird das Potenzial von Wärmepumpen bisher kaum genutzt. Diese Herausforderung erhält durch aktuelle politische Ereignisse (z.B. der Kriegsgeschehnisse in der Ukraine) und gestiegene Energiekosten für den individuellen Wärmebedarf zwei zusätzliche Dimensionen, die zu einer raschen Umstellung motivieren.

Gasthermen kommen meist in kleinen Einfamilienhäusern und im großvolumigen Wohnbau zum Einsatz und dienen der Heizwärmebereitstellung und ggf. der Warmwasserbereitung nach dem Durchlaufprinzip. Im Gegensatz zur herkömmlichen Zentralheizung befindet sich eine separate Gastherme in jeder einzelnen Wohnung. Eine Gastherme arbeitet lediglich bei Wärmebedarf, benötigt wenig Platz und es ist leicht nachzuvollziehen, wie hoch der Verbrauch innerhalb einer Wohneinheit ist.

Das Projekt Gasthermenersatz zielt darauf ab, eine dezentrale, schalloptimierte Wärmepumpenlösung aufbauend auf mehreren Kältekreis-Modulen zu entwickeln. Die Wärmepumpe wird unter Berücksichtigung einer minimalen Kältemittelmenge betrieben. Diese erneuerbare Technologie ist besonders geeignet, bestehende Gasthermen im großvolumigen Wohnbau zu ersetzen, und den Anteil an erneuerbaren Energieträgern und damit den Dekarbonisierungsgrad für Bestandswohnungen im urbanen Umfeld zu maximieren.

## 3.1. Stand der Technik

### 3.1.1. Gasetagenheizungen im großvolumigen Wohnbau

Unter einer Gasetagenheizung oder auch Kombitherme versteht man ein technologisch etabliertes, kompaktes und häufig wandhängendes Gerät, welches sowohl zur Heizungs- als auch Brauchwassererwärmung dient. Die meisten Kombithermen werden mit Erdgas oder Flüssiggas betrieben. Im Vergleich dazu sind bei einer einfachen Etagenheizung der Warmwasserspeicher oder Durchlauferhitzer ein separates Element. Im Zuge dieses Projekts wird zwischen diesen beiden Systemen nicht weiter unterschieden und das System als „Gastherme“ bezeichnet.

Während bei der Zentralheizung nur an einer zentralen Stelle Wärme produziert und dann auf die einzelnen Abnehmer verteilt wird, kann ein Bewohner bei einer Gastherme seinen Verbrauch individuell regulieren. Dazu wird ein Heizgerät direkt in die Wohnung eingebaut. Aufgrund der geringen Größe lassen sich diese in ungenutztem Wohnraum (z.B. im Flur) oder auch in der Küche oder Bad installieren. Am Gerät kann der Nutzer selbst einstellen, wann und wie stark geheizt werden soll und zahlt daher nur seine eigenen effektiven Heizkosten. Die Gasetagenheizung ist daher im großvolumigen Wohnbau sehr stark verbreitet.

### **3.1.2. Konzepte zur Integration von Wärmepumpen als Etagenheizungen und Warmwasserbereitung**

Insbesondere Luft-Wasser-Wärmepumpen, bei denen die Inneneinheit mit einem Warmwasser- und/oder Heizungswasserspeicher kompakt realisiert wird, und vom Design für die Aufstellung im Wohnraumbereich gestaltet ist, sind am Markt verfügbar. Die Baugröße entspricht dabei meist einer großen Kühltankkombination. Auch der Konsortialführer OCHSNER führt ein solches Produkt im Programm. Der Anschluss an die Außeneinheit bzw. das Heizungssystem ist unterschiedlich bei verschiedenen Herstellern realisiert.

### **3.1.3. Stand des Wissens im nationalen Innovationssystem**

Rücklaufwärmepumpen, wie die Ovum-OPW Brauchwasserwärmepumpe nutzen den Heizungskreislauf als Wärmequelle. Sie kann an den Heizkreisverteiler in der Wohneinheit angeschlossen werden, nützt diesen als Wärmequelle und bereitet dezentral in der Wohneinheit das Warmwasser. Dadurch werden nicht nur Wärmeverluste, wie sie in der Trinkwasserzirkulation entstehen, vermieden, sondern es entsteht im Sommer ein Kühleffekt durch Abkühlung des Heizungswassers. Den Anforderungen der Trinkwasserqualität im Wohnbau folgend, handelt es sich um eine Kaskaden-Kombination einer zentralen Wärmepumpe (Zentrale im Keller) und eines Passivwarmwasserbereiters (OVUM XR, gespeist mit Wohnungsstrom). Während die Zentrale im Winterbetrieb nur auf ein Temperaturniveau von 30 °C wärmt, stellt der Passivwarmwasserbereiter das 60 °C Niveau in den einzelnen Wohneinheiten zur Verfügung. Im Sommerbetrieb nutzt der dezentrale Passivwarmwasserbereiter die kostenlose Raumwärme und kühlt dadurch die Wohnung.

Die Abgrenzung zu Gasthermenersatz liegt darin, dass dieses Produkt für die Anwendung im Neubau konzipiert ist und die dezentrale Wärmepumpe lediglich Warmwasser bereitstellt. Gasthermenersatz strebt an sowohl Heizungswasser an unterschiedlichen Temperaturniveaus zur Verfügung zu stellen, als auch die Warmwasserbereitung zu übernehmen.

Als mögliche Gasausstiegsvarianten sind Infrarot Lösungen zu erwähnen, die Strom in Wärme umsetzen. Das Konsortium sieht in diesen Lösungen lediglich eine Nischenanwendung und eine breite Anwendung aufgrund der unvermeidbar stärkeren Belastung der elektrischen Netzinfrastruktur wird ausgeschlossen.

### **3.1.4. Konzeptstudie von Vaillant**

Am nächsten dem Konzept „Gasthermenersatz“ kommt eine Studie von Vaillant. Dabei kommen Mikro-Wärmepumpen zum Einsatz, die sich in jeder einzelnen Wohnung befinden. Als Wärmequelle dient ein gemeinsames Erdsondenfeld und eine Kompakt-Wärmepumpe erlaubt eine einfache Wandmontage. Für kleine Wohnungen (mit Flächenheizung) in Gebäuden mit mehreren Wohneinheiten fällt die Bauart relativ klein und kompakt aus. Ergänzt wird die Einheit durch eine Hydraulikstation und einen externen Warmwasserspeicher, zusätzlich ist der Anschluss an eine zentrale Erdbohrung vorgesehen. Bei diesem Konzept wird davon ausgegangen, dass jede Wohnung potentiell mit einer eigenen Wandwärmepumpe mit R410A als Kältemittel und einem Warmwasserspeicher versorgt werden kann. Mit der Wahl des Kältemittels mit einem Global Warming Potential (GWP) von 2088 sollte allerdings in Hinblick auf Umweltschutz kein

zukunftssträchtiges System realisiert werden können. Die Abgrenzung zu Gasthermenersatz liegt in der Wahl des Arbeitsmittels und des nicht-modularen Aufbaus.

### **3.1.5. Konzept für Innenaufstellung mit Propan auf Forschungsebene**

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE beschäftigte sich zum Zeitpunkt des Starts dieses Projekts mit dem Forschungsprojekt „Low Charge150“, in dem ein Kältekreis mit dem natürlichen Kältemittel Propan (R290) zur Aufstellung im Innenbereich entwickelt wurde. Mit 150 g Propan wurden in diesem Projekt mehrere Systeme getestet und eine Heizleistung im Bereich 2 – 8 kW beim Betriebspunkte S0/W35<sup>1</sup> in Abhängigkeit von Überhitzung, Kompressordrehzahl und Komponentenwahl realisiert. Die Abgrenzung zu Gasthermenersatz liegt ebenfalls im nicht-modularen Design des Gesamtsystems.

### **3.1.6. IEA HPT Annex 50 - Wärmepumpen in Mehrfamiliengebäuden für Raumheizung und Warmwasser**

Der gegenständliche Annex 50 zielt primär darauf ab, die Potenziale der Wärmepumpentechnologie zur Energieeinsparung in Mehrfamilienhäusern darzustellen sowie bestehende Marktbarrieren zu beseitigen. Konkret werden eine Übersicht der am Markt verfügbaren bzw. kurz vor der Markteinführung stehenden Wärmepumpensysteme inkl. Klassifizierung sowie Anlagenbeispiele realisierter nationaler Wärmepumpenanlagen erarbeitet. Wie aus den Taskberichten hervorgeht, gab es zum Start des Projekts „Gasthermenersatz“ keinen vergleichbaren technologischen Ansatz.

### **3.1.7. LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandgebäuden**

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE hat mit der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) mit Stand 15.12.2019 im Rahmen des Projekts „LowEx-Bestand Analyse“ gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz in Deutschland (Förderkennzeichen 03SBE0001) einen Bericht zur „Quellen-Verfügbarkeit für Wärmepumpen-Systeme in Mehrfamilienhäusern im Bestand“ erarbeitet.

Von Hess et al. [Hes2019] wurde eine Studie zur qualitativen Quellen-Verfügbarkeit im deutschen MFH-Bestand abhängig vom energetischen Stadtraumtyp, vom Gebäudetyp, von der Art des Untergrunds und der Art des WP-Systems (mono-energetisch oder bivalent) durchgeführt. Hier zeigte sich, dass in Reihenhaussiedlungen die Bivalenzpunkte der Anlage (-5 °C oder +2 °C), d.h. der Anteil des durch die WP gedeckten Gesamtbedarfs und auch der Sanierungsstandard (Energieeinsparverordnung 2016 oder anspruchsvollere Sanierung) für die Beurteilung der Auskömmlichkeit der Freifläche als Quelle einer WP weitgehend irrelevant sind. Diese Faktoren sind jedoch bei geringer Flächenverfügbarkeit bei Blockrand-Bebauung oder bei Hochhäusern in innerstädtischer Bebauung durchaus relevant.

---

<sup>1</sup> Die Nomenklatur besteht aus „Wärmequellenmedium und -temperatur“ / „Wärmesenkenmedium und -temperatur“, z.B. steht S0/W35 für Sole 0°C als Quelle und Wasser 35°C als Senke.

Die qualitative Quellen-Verfügbarkeit im deutschen MFH-Bestand stellt sich wie folgt dar:

- Typische Reihenhaussiedlungen bieten i.d.R. ausreichend Platz, um mono-energetische oder bivalente Luft- und Erdsonden-WP-Systeme zu installieren. Nur bei diesem Stadtraum-Typ sind zumindest für bivalente Systeme oft sogar flache Erdkollektoren möglich.
- In Blockrand-Bebauungen sind Luft-WP in der Regel möglich, Erdsonden oft, aber stark abhängig von Grundstücksgröße, Bivalenz-Auslegungspunkt und Bodenart.
- Grundstücke im Innenstadtbereich sind ohne zusätzliche Maßnahmen meist zu klein für die Quellen Luft und Erdwärme. Durch Maßnahmen wie z.B. Schallschutzhauben oder Einbau in den Dachstuhl können jedoch auch hier i.d.R. zumindest Luft-WP eingesetzt werden.
- Für WP-Systeme im Innenstadtbereich sollten als Quelle photovoltaisch-thermische Kollektoren, Mehrquellen-Systeme oder kalte Fernwärmenetze in Betracht gezogen werden.

# 4 Projektinhalt

Die Arbeit im Projekt erfolgte in drei Arbeitspaketen, die in zwei aufeinanderfolgenden Schleifen durchlaufen wurden:

- Konzeptentwicklung GTZ Modul 1.X
- Laboraufbau GTZ Modul 1.X
- Laborversuche GTZ Modul 1.X
- Konzeptentwicklung GTZ Modul 2.X
- Laboraufbau GTZ Modul 2.X
- Laborversuche GTZ Modul 2.X

## 4.1. Konzeptentwicklung

Zu Beginn des Projekts wurde ein technisch realisierbares Konzept für die erfolgreiche Substitution von konventionellen Gaskesseln durch Wärmepumpentechnik in sanierten und unsanierten großvolumigen Wohngebäuden entwickelt. Das Ergebnis war eine thermische und hydraulische Auslegung des Gesamtsystems, wobei drei Ebenen betrachtet wurden:

- **Komponentenebene:**  
Wärmeübertrager, Kompressor, Expansionsventil, etc. des Kältekreislaufs wurden ausgewählt und in numerische Modelle überführt. Die Parametrierung erfolgte entsprechend der Herstellerangaben (z. B. Geometrie, Wärmeübergang, Wirkungsgrad, etc.) und die Modellierung wurde in der Simulationsumgebung Modelica/Dymola durchgeführt.
- **Modul-Ebene:**  
Die ausgewählten Komponenten mussten gewährleisten, dass die Kältemittelmenge im Kältekreislauf unter 150g eine minimale bzw. optimale Füllmenge erreicht. Dies wurde durch Simulation des Kältekreislaufs sichergestellt und besonderes Augenmerk wurde dabei auf die optimale Nutzung/Ausschöpfung dieses Potenzials gelegt.
- **System-Ebene:**  
Zentral war hier eine Simulation des Gesamtsystems aus mehreren Modulen, die entweder in Reihe (seriell) oder parallel verschaltet sind. Die Anzahl der Module richtete sich nach den Anforderungen auf der Verbraucher- bzw. Wärmeabgabeseite (unterschiedlich für sanierte Altbauten oder Neubauten). Zur Modulkommunikation und -steuerung wurde ein geeignetes Regler- und Bussystem gewählt, das sowohl untergeordnete Regelstrukturen (z.B. Kältekreisregelung auf Modul-Ebene) mit übergeordneten Regelstrukturen (z.B. Wärmeabgabeseite auf Verbraucherebene) verknüpft. Verschiedene Ausführungsvarianten auf der Quellen- bzw. Wärmeeintragsseite wie Fassade, Dach, Schornstein oder als Einzel- bzw. Mehrfachquellen wurden untersucht. Dabei wurden Betriebsstrategien entworfen und eine Leistungsregelung definiert, die es erlaubt die Ergebnisse einer ökonomischen und ökologischen Bewertung nach objektivierbaren Kriterien (z.B. Leistungszahl, Heizleistung, CO<sub>2</sub>-Emissionen, etc.) zu unterwerfen.

## **4.2. Laboraufbau**

Im zweiten Schritt des Projekts „Gasthermenersatz“ wurde ein Modul aufgebaut und es wurden Spezifikationen erstellt, die die Rahmenbedingungen für die erforderlichen Messgeräte und Messreihen definierten. Nach dem Aufbau des Einzelgerätes erfolgte der Aufbau der Schnittstellen, sowohl durch geeignete hydraulische und digitale Anschlüsse in Bezug auf Dichtigkeit, Eindeutigkeit und Verwendbarkeit. Das fertige Modul wurde in die Infrastruktur am AIT integriert und eine Funktionsprüfung gemäß Spezifikation für ein Modul durchgeführt. Hierbei wurde vor allem der ersten Kontrolle der Regelungs- und Sicherheitskriterien durch Testläufe große Bedeutung beigemessen, da das gewählte Kältemittel R290 (Propan) als leicht entflammbar bzw. explosiv klassifiziert wird. Erst im Anschluss daran erfolgten Probeläufe zur Verifikation der Sensorik und Messdatenerfassung anhand von weiteren Tests.

Erst in der zweiten Schleife wurden mehrere Module aufgebaut, die in verschiedenen Kombinationen oder Konfigurationen (seriell und/oder parallel) zu einem Gesamtsystem verbunden werden konnten. Das fertige System wurde in die Infrastruktur am AIT integriert und einer Funktionsprüfung entsprechend den Anforderungen gemäß Spezifikation des gekoppelten Systems unterzogen.

## **4.3. Laborversuche**

Im dritten und letzten Schritt der beiden Schleifen erfolgte der Laborversuch und die Ermittlung der Leistungen und Leistungszahlen bei unterschiedlichen Quell- und Verbrauchertemperaturen (in Anlehnung an EN 14511). In der ersten Schleife wurde ein einzelnes Modul vermessen und Optimierungspotentiale erarbeitet. Dabei wurde auf eine automatische Messdatenerfassung und -auswertung (inkl. Plausibilitätsprüfung) mit entsprechender Software (LabView, Matlab, Python) zurückgegriffen. Zusätzlich wurde eine Messdatenanalyse durchgeführt und eine grafische Aufbereitung der Ergebnisse realisiert. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden im zweiten Aufbau eines Einzelmoduls und für das Gesamtsystem wieder verwendet. Bereits an dieser Stelle wurden den Schalleistungsemissionen große Bedeutung zugesprochen und akustische Messungen durchgeführt, die eine Schalleistungsoptimierung des Kältekreislaufmoduls erlaubten.

Im zweiten Durchlauf wurden die Leistungs- und Leistungskennwerte des Gesamtsystems unter definierten Laborbedingungen in unterschiedlichen Konfigurationen (serielle und/oder parallele Verschaltung) mehrerer Module ermittelt. Zusätzlich wurden Schalleistungsmessungen erneut durchgeführt, um die zwei Generationen von Modulen miteinander zu vergleichen.

## **4.4. Analyse der Heizungssituation im urbanen Gebiet**

Parallel zur Konzeptentwicklung war es zusätzlich notwendig eine Analyse der Heizungssituation im urbanen Gebiet durchzuführen. Laut Statistik Austria [Sta2017] liegt der österreichweite Energieeinsatz von Gas bzw. Flüssiggas aller Haushalte bei ca. 65 PJ pro Jahr. Das entspricht 18 % des Gesamteinsatzes aller Energieträger, der sich zum größten Teil aus Gas, Holz, Heizöl, Strom und Fernwärme zusammensetzt. Bezogen auf die Anzahl der Haushalte, bedeutet dies, dass knapp eine Million Haushalte – mehr oder weniger freiwillig - auf den Energieträger Gas setzen. Allein in Wien

sind das rund 440.000 Haushalte im großvolumigen Wohnbau, die für die Bereitstellung der Raumwärme und Warmwasser Gasthermen einsetzen.

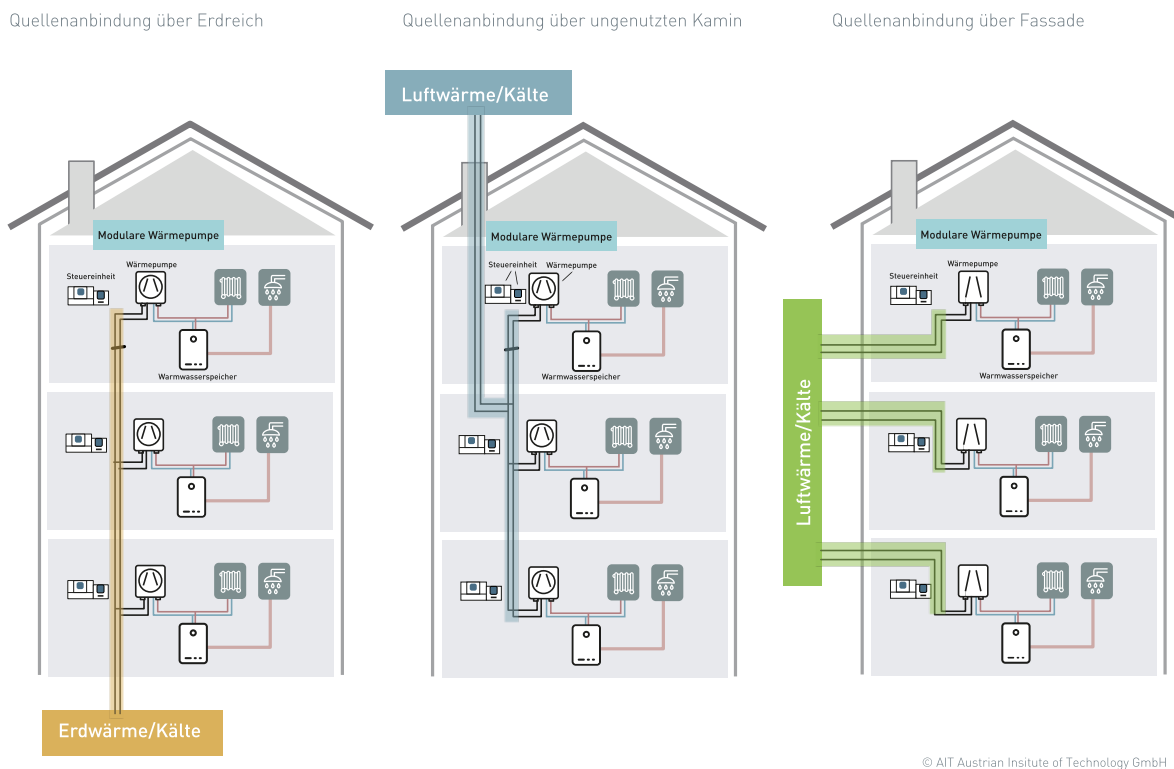
Diametral dazu bringen seit Inkrafttreten der EU-Rahmenrichtlinie im Jahr 2005 über die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Ökodesign-Richtlinie) regelmäßige Neufassungen eine Ausweitung der Produktkategorien. Unmittelbar betroffen sind genannte Gasthermen sobald diese Richtlinie [Eco2013] in nationales Recht umgesetzt wird. Ab dann dürfen Geräte mit dieser Technologie nicht mehr eingebaut werden. Stattdessen muss dann zum Beispiel auf energetisch sparsamere "Brennwertgeräte" umgestiegen werden.

Gasthermen kommen meist in kleinen Einfamilienhäusern und in großvolumigen Wohnbau zum Einsatz und dienen der Heizwärmebereitstellung und ggf. der Warmwasserbereitung nach dem Durchlaufprinzip. Im Gegensatz zur herkömmlichen Zentralheizung befindet sich eine separate Gastherme in jeder einzelnen Wohnung. Eine Gastherme arbeitet lediglich bei Wärmebedarf, benötigt wenig Platz und es ist leicht nachzuvollziehen, wer wieviel verbraucht.

#### **4.5. Evaluierung der möglichen Wärmequellenanlagen für den Einsatz mit einer modularen Wärmepumpe**

Im Folgenden erfolgt die Evaluierung der Möglichkeiten zur Einbindung der Wärmequelle Außenluft sowie Erdreich in die einzelnen Wohneinheiten. Dies kann entweder mit einem gemeinsamen Solekreis und Außeneinheit über Dach bzw. Erdwärmeübertrager (entweder Flächenkollektor oder Erdsonde) oder über Einzellösungen für jede Wohneinheit realisiert werden. Erarbeitet wird dabei ein Konzept zur Wärmequellenerschließung für die einzelnen Wohneinheiten im großvolumigen Wohnbau. Der Betrieb der Wärmepumpe soll dabei unabhängig vom jeweiligen Sanierungsgrad der einzelnen Wohnungen möglich sein.

Abbildung 1: Beispiele für eine Quellenerschließung für eine modulare Wärmepumpe auf Wohnungsebene (eigene Darstellung © AIT).



© AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Abbildung 1 zeigt eine mögliche Einbausituationen von Gasthermenersatz. Bei ähnlichem Platzbedarf des Kältekreis an der Wand muss bei der Wärmepumpenlösung zusätzlich die Quellenerschließung berücksichtigt werden. Dies kann entweder über den nicht mehr benutzten Kamin erfolgen oder direkt durch die Außenwand. Des Weiteren kann zusätzlich quellenseitig unterschieden werden zwischen einer Einzellösung pro Wohneinheit oder einer Gesamtlösung für das ganze Gebäude. Für das Gesamtkonzept ist des Weiteren auch die Hinzunahme eines thermischen Warmwasserspeichers wichtig, da die Wärmepumpe aufgrund der Leistungsgröße nicht –wie eine Gastherme – die Eigenschaften eines reinen Durchlauferhitzers im Bereich 20 kW hat.

In den folgenden Unterkapiteln werden mögliche Wärmequellen näher beleuchtet und ihre Relevanz für den Einsatz mit einer modularen Wärmepumpe untersucht. Eine Kategorisierung in dezentrale Quelle und zentrale Quelle kann dabei vorgenommen werden, wobei die Kosten für eine dezentrale Quelle für eine Wohnung höher sind, als wenn gemeinschaftlich eine zentralisierte Umsetzung erfolgt:

- Fernwärme Rücklauf (zentrale Quelle)
- Rückkühler am Dach (dezentrale oder zentrale Quelle)
- Rückkühler am Boden (zentrale Quelle)
- Kollektor an Fassade (dezentrale Quelle)
- Erdwärmesonde (zentrale Quelle)
- Kombination mehrerer Quellen (dezentrale oder zentrale Quelle)

### 4.5.1. Fernwärme Rücklauf

Der Fernwärme Rücklauf kann aus Sicht der Nutzung von modularen Wärmepumpen interessant sein, wenn Platz im Erdgeschoss oder Keller verfügbar ist. Die einzelnen Wohnungen müssen dann allerdings an den Fernwärme-Rücklauf angeschlossen werden, was mit hohen Kosten einhergehen wird. Falls eine Sockelsanierung des Hauses gemacht wird, könnte diese Lösung dennoch betrachtet werden.

Die Vorgaben der Fernwärme Wien auf Ebene des Primärnetzes definieren eine maximale Betriebstemperatur netzseitig von 160°C [Höl2013]. Zusätzlich wird eine Bedingung an die maximale Rücklauftemperatur gestellt, die für energieeffiziente Gebäude, im Neubau Standard oder Nachinstallation ( $U < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  oder  $U > 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) für Radiatorenheizungen im Bereich 45°C – 65°C (Außenluft -15°C) liegt. Der Rücklauf würde als Quelltemperatur damit nur einen engen Einsatzbereich für einen Kältekreis zur Anhebung der Temperatur übriglassen. Die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Lösung wird als gering eingeschätzt und die Realisierung einer Kühlungslösung für den Sommer wird damit ebenfalls ausgeschlossen.

Das Sekundärnetz der Fernwärme Wien hat ein wesentlich geringeres Temperaturniveau und stellt eine maximale Vorlauftemperatur von 95°C zur Verfügung. Dennoch wird eine max. Rücklauftemperatur von 40°C – 60°C bei Außenluft -15°C für energieeffiziente Gebäude, im Neubau Standard oder Nachinstallation ( $U < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  oder  $U > 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) für Radiatorenheizungen vorgeschrieben. Analog zum Primärnetz ergibt sich ein enger Einsatzbereich und eine wenig wirtschaftliche Lösung.

Allgemein ist die Nutzung des Fernwärme-Rücklaufs strategisch zu hinterfragen, da die Fernwärme selbst ja als Konkurrenzprodukt zur Wärmepumpe auftritt und keine langfristigen Effizienzgewinne relativ zu Gaskraftwerken zu erwarten sind, die Wärme-Energie aber dennoch bezahlt werden muss. Parapatics [Par2021] führt zusätzlich ins Feld, dass „eine Trennung von Erzeugung/Gewinnung und Versorgung [...] beim derzeitigen Stand der Technik nicht realisierbar“ ist und demnach sich eine Abhängigkeit von einem Monopolisten ergibt, der gleichzeitig als Fernwärmenetzbetreiber und Fernwärmeversorger agiert. Der Anschluss an Hausstationen ist daher für den Wärmepumpenzweck nicht relevant, da er gegenläufig zum Geschäftsmodell ist und wenig wirtschaftliche Erfolgsaussichten beinhaltet.

### 4.5.2. Rückkühler am Dach

Der auf dem Dach montierte Rückkühler muss unter folgenden Aspekten betrachtet werden, wobei pro Rauchfang eine Heizleistung von maximal 8-9 kW avisiert wird:

- Soll eine Einzelnutzung realisiert werden oder ist von einer Gemeinschaftsnutzung auszugehen?
- Wie wird die Abtauung gewährleistet?
- Welche Vorgaben in Schutzzonen zu technischen Anlagen über der erlaubten Gebäudehöhe gibt es?

Der bei Ersatz der Gastherme nunmehr ungenutzte Kamin bietet sich für die Führung des Sole-Gebäudenetzes an. Nach Bestätigung durch lokale Baumeister hat die überwiegende Mehrheit der Kamine in Wien nur eine Verbindung zum Dach, aber keine in den Keller. Somit scheint eine Nutzung des Kamins zur Anbindung an einen Rückkühler am Dach realisierbar zu sein, während für die

Nutzung einer Tiefenbohrung die Verlängerung des Kamins in den Keller mit zusätzlichen Schwierigkeiten verbunden ist.

Um ein besseres Verständnis existierender Lösungen zu erhalten, wurden beispielhaft zwei Testauslegungen durchgeführt. Folgende Bedingungen wurden dabei definiert:

- Eintrittstemperatur luftseitig Rückkühler: +2°C
- Spreizung Luft: 4 K
- Zusammensetzung Sole: 30% Monoethylenglykol, Rest Wasser
- Spreizung Sole: 3 K

Als Ergebnis können anhand mehrerer Parameter zwei Lösungen verglichen werden, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Vergleich einer zentralen Rückkühlerlösung am Dach für 10 bis 15 Wohneinheiten und einem dezentralen Rückkühler für eine Wohneinheit.

Ein Produkt als Lösung für ...	... 10 bis 15 Wohneinheiten	... eine Wohneinheit
<b>Wärmeleistung</b>	93 kW	9,3 kW
<b>Elektrische Anschlussleistung</b>	3.720 W	310 W
<b>Abmessungen (B x L x H)</b>	1,2 x 7,7 x 1,2 m Alternativ: 2,4 x 3,8 x 1,2 m	1,2 x 1,6 x 1,4 m
<b>Schalleistung</b>	82 dB(A)	65 dB(A)
<b>Listenpreis</b>	30.000 EUR	4.000 EUR

Demnach sind mehrere Aspekte kritisch für diese Wärmequelle zu betrachten:

- a) Der Platz auf Satteldächern ist beschränkt und es muss eine optisch ansprechende Lösung bei Montage außerhalb des Dachbodens gefunden werden.
- b) Die Schalleistung als (rechtliches) Problem ist zu diskutieren, da sowohl die Grundstücksgrenze als auch „das nächste schützenswerte Fenster“ die erlaubte Schallemission beschränken.
- c) Der nötige Wartungszugang ist besonders wichtig bei Einzelnutzung und es ist zu klären, welche Berufsgruppe hier Wartungsarbeiten an elektrischen Bauteilen oder Sole-führenden Leitungen übernehmen kann. Zu „Arbeiten in der Höhe“ und „Höhenarbeit“ wird bei einer Absturzhöhe über 3 m eine Schutzeinrichtung verlangt [Bau1994]. Neben weiteren Vorgaben aus §6 Abs. 7 Bauarbeiterschutzverordnung BauV finden sich im österreichischen Recht auch Erlässe zu „Seilunterstützten Arbeitsverfahren“ [Sei2011] und „Dacharbeiten – Verwendung von Anseilschutz“ [Dac2010].
- d) Eine weitere Fragestellung betrifft die Anforderung an die technische Befestigung, wobei Erdbebensicherheit, Wirkung von Vibrationen, Windlast und Drehmoment-Übertragung auf das Dach (je nach Ausrichtung und Windrichtung) betrachtet werden müssen.

Zur Umsetzung der Abtauung eines Rückkühlers bestehen folgende Lösungen:

- Solekreiserwärmung:  
Die Erwärmung des Solekreises wird aufgrund der großen Leitungslängen und des dadurch zu erwärmenden Volumens sowie des zu erwartenden Komfortverlusts als nicht effizient erachtet.
- Elektrische Rückkühlerabtauung:  
Bei Wahl eines zentralen leistungsstarken Rückkühlers darf davon ausgegangen werden, dass bereits ein mehrphasiger elektrischer Anschluss besteht, der gut zur elektrischen Abtauung verwendet werden kann. Die rasche und direkte Einbringung reduziert transiente Verluste und erlaubt den Komfortverlust auf ein Minimum zu reduzieren.
- Abtauung des Rückkühlers mit Durchlauferhitzer im Solekreis:  
Diese Lösung ist insbesondere bei einem dezentralen Rückkühler vorteilhaft, da die elektrische Leistung typischerweise mit 13A oder 16A durch den Wohnungsanschluss beschränkt ist. Wärme wird hierbei direkt in die Sole im Rückkühler eingebracht und kann nach Fortsetzung des Betriebs durch die Wärmepumpe auf Wohnungsebene genutzt werden.

#### **4.5.3. Rückkühler am Boden**

Die Platzierung des (gegebenenfalls gemeinsamen) Rückkühlers am Boden (ebenerdig) wird derzeit als nicht relevante Lösung für die Sanierung eingestuft, die modularen Wärmepumpen können aber mit dieser Wärmequelle einwandfrei arbeiten.

#### **4.5.4. Kollektor an Fassade**

##### **Flache Lösung auf Fassade**

Zur Größenabschätzung wird für eine flache Fassadenlösung die Frage analysiert, welche Größe die Fläche des Wärmetauschers haben muss, damit sich kein Kondensat bildet (bei einer Spreizung geringer als 1 K). Eine marktgängige Lösung wäre ein 2,8 m hohes und 10 m breites Fassadenelement für eine 3 kW Wärmepumpe [Kul2018]. Mehr im Entwicklungsstadium kann ein 1,25 m breites, 30 cm dickes Modul für 24 m<sup>2</sup> Wohnraum unter Nutzung der Raumhöhe für Vergleiche herangezogen werden [Fle2022]. Die erforderlichen Kernbohrungsdurchmesser für die Rohrdurchführungen werden als größer 15 cm angenommen.

##### **Kompakte Lösung in der Fassade**

Ein Einbau in die Außenfassade und die Durchströmung kann mit zwei Kernbohrungen sichergestellt werden, es werden aber hohe Luftströmungsgeschwindigkeiten und damit einhergehend hohe Anforderungen an die technische Lösung erwartet. Dies sind insbesondere die Geräte-Außenmaße, der Kernbohrungsdurchmesser, sowie die kritischen Stellen bei der Mauerdurchführung (Kondensatbildung) und der Kondensatabfluss. Für die Mauerdurchführungen ist grundsätzlich eine Dimension von 50x50 cm pro Öffnung anzunehmen, wobei zwei Durchführungen im Abstand von ca. 2m erforderlich sind, um einen Kurzschluss der Luftströmung zu verhindern. Nicht unerwähnt bleiben

soll das ästhetischere Erscheinungsbild als Vorteil gegenüber Außenanlagen, was im Altbau Erscheinungsbild, gegebenenfalls mit Denkmalschutz-Vorgaben, wesentlich sein kann.

#### **4.5.5. Erdwärmesonde**

Eine Erdwärme-Sonde und Pumpstation mit direkter Speisung ins Sole-Netz der Gasthermenersatz-Lösung wird als äußerst attraktive Lösung bewertet. Dabei ist keine weitere Wärmepumpe im Keller notwendig und das Temperaturniveau der Quelle bleibt – abgesehen von Wärmeverlusten oder -einträgen – unverändert. Diese Wärmequelle ist durch folgende Aspekte charakterisiert:

- Höhere Anfangsinvestition als Quelle „Luft“ für Tiefenbohrungen im innerstädtischen Bereich mit geringen Freiflächen und schmalen Zugängen in Hinterhöfe bzw. Gärten
- Aufstellflächen im Keller sind wesentlich günstiger als Dachböden/-flächen, die als hochpreisiger Wohnraum gelten
- Höhere Quelltemperatur (insbesondere im Winter) und damit höhere Effizienz relativ zur Quelle „Luft“, wonach sich im laufenden Betrieb Einsparungen ergeben
- Durch Kühlen im Sommer (ohne Betrieb des Kältekreises!) kann Restwärme aus dem Sommer für den Winter nutzbar gemacht werden
- Keine Schallemission
- Nach Fertigstellung bestehen kaum sichtbare Veränderungen im Stadtbild

In der Bewertung der Wärmequelle „Erdwärmesonde“ muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertung nach Norm ÖNORM EN 14825 [ÖEN2023] wesentlich nachteilig ist. Dies ergibt sich daraus, dass die Norm für „average climate“ (typischerweise anwendbar für Österreich) u.a. die Lufttemperatur im Jahresdurchschnitt mit 5°C definiert. Im Gegensatz dazu ist für Erde als Quelle die Temperatur fix mit 0°C vorgegeben ist, wonach die erreichbare Effizienz bei Quelle Luft höher ist.

Verwendet man hingegen ÖNORM EN 15450:2008 „Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen“ [ÖEN2008] als Referenz, wird als Auslegungswert für Bohrlochwärmetauscher das Jahresmittel der Außentemperatur herangezogen. Für Österreich wäre dies ca. 8°C bzw. ca. 12°C für Wien [Geo2021] und entspricht einer realitätsnahen Bewertung einer typischen Tiefenbohrung.

#### **4.5.6. Kombination mehrerer Quellen**

Standortabhängig kann eine intelligente Kombination von mehreren Quellen (z.B. Abwasserkanal, Luft am Dach, Bohrung) interessant sein. Eine gute Übersicht über diese Kombination von Wärmequellen wurde von Lazzarin et al. [Laz2012] erstellt.

Hybridsysteme, die Erde und Luft als Wärmequellen kombinieren, haben zwei grundlegende Vorteile. Einerseits können die Kosten für einen Luftwärmetauscher (Kühlturm oder Trockenkühler) gegenüber den Kosten für einen Erdwärmetauscher erheblich reduziert werden, was wiederum die Gesamtkosten des Systems senkt. Andererseits kann die Möglichkeit, die am besten geeignete Wärmequelle zu nutzen, bei optimiertem Betrieb des Systems zu einer erheblichen Steigerung der Jahresarbeitszahl und damit zu einer Verringerung des Energieverbrauchs führen.

# 5 Ergebnisse

## 5.1. Wärmepumpenmodule

### 5.1.1. Kältemittel

Im ersten Schritt wurde das Kältemittel bestimmt, da alle Komponenten im Kältekreis auf dieses hin abgestimmt und dafür zugelassen sein müssen. Das Konsortium hat sich für R290 (Propan) entschieden, das als A3-Kältemittel nach EN 378-1 eingestuft ist. Demnach ist die Toxizitätsklasse „A – geringe Toxizität“ und die Brennbarkeitsklasse „3 – Leicht entflammbar“.

#### Aspekte der Entscheidung:

- Niedriger GWP von 0,072 (20 Jahre Betrachtungszeitraum) bzw. 0,02 (100 Jahre Betrachtungszeitraum) [IPC2021]
- Umweltfreundlich und ungiftig
- Der Nachteil einer geringen Entzündungstemperatur und Explosionsgefahr soll durch eine minimale Kältemittelmenge pro Kältekreis kompensiert werden. Normativ ergibt sich die Füllgrenze von ca. 150g, da hierfür die Norm ÖVE/ÖNORM EN 60335-2-40:2014 [ÖEN2014] eine Ausnahme von zusätzlichen Sicherheitseinrichtungen vorsieht und reduzierte Sicherheitsanforderungen an die Aufstellung gestattet.
- Hohe Verfügbarkeit der Komponenten aus dem Bereich stationärer Kühl- und Gefrieranwendung
- Keine Zerfallsprodukte, die in die Gruppe der per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) fallen und damit eine Umweltgefahr darstellen

### 5.1.2. Leistungsdimensionierung

Zur grundsätzlichen Dimensionierung der Heizleistung wurde auf Daten aus der Registerzählung 2011 der Statistik Austria [Tab2011] zurückgegriffen. Hieraus konnte abgeleitet werden, dass mit einer Beschränkung auf eine maximale Wohnungsgröße von 130m<sup>2</sup> nur 5% aller Wohnungen vernachlässigt werden. Bei Wohnungsgrößen über 130m<sup>2</sup> werden mehrere Wärmeversorger als zumutbar angesehen, da große Wohnungen oftmals durch Zusammenlegung kleinerer Wohnungen entstanden sind, die jeweils einen eigenen Rauchfang bzw. eine eigene Gastherme besessen haben. Mit der Einschränkung des spezifischen Heizwärmebedarfs einer 130m<sup>2</sup> großen Wohnung auf 144 kWh/m<sup>2</sup> a und der Volllaststunden auf 1800 pro Jahr kann nun die Bestimmung der maximalen Heizlast auf ca. 10 kW vollzogen werden.

Im nächsten Schritt wurde die maximale Anzahl der Module im Konsortium mit 8 festgelegt, um eine hohe Modulationstiefe zu erreichen und gleichzeitig den abgeschätzten Raumbedarf einer Gastherme nicht zu überschreiten. Damit ergibt sich eine Zielheizleistung von 1,25 kW beim Normpunkt S-5/W52. In der zweiten Schleife der Modulentwicklung wurde die maximale Anzahl auf 4 reduziert, wonach eine Heizleistung von 2,5 kW pro Modul zu erreichen war.

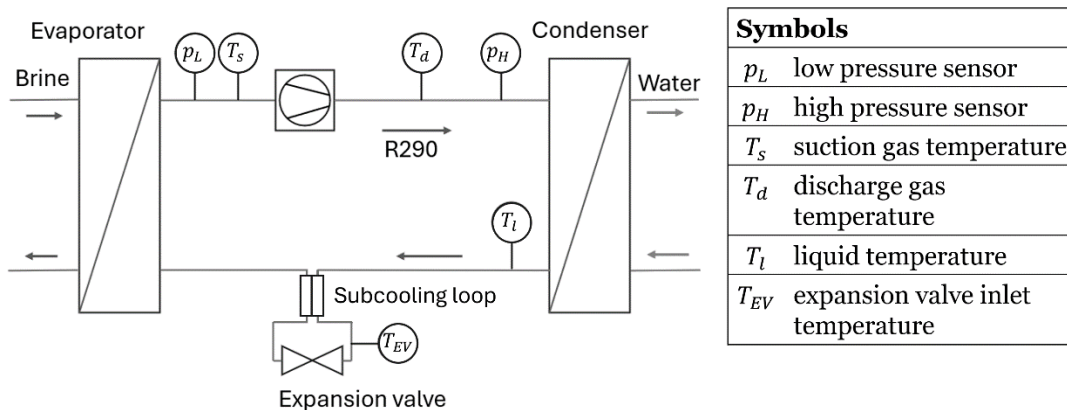
Die modulare Bauweise erlaubt es die Anzahl der eingesetzten Kältekreise an den individuellen Heizbedarf anzupassen. Nach einer Sanierung können obsolet gewordene Module ausgebaut und in anderen Einheiten weiterverwendet werden. Dabei ist kein Kältetechnikwissen gefragt und diese Tätigkeit kann von einem Heizungsinstallateur übernommen werden. Ein enormer Vorteil, da die im Gegensatz dazu bei marktgängigen Wärmepumpen die Wartung und Reparatur des Kältekreislaufes nur unter Einbindung des Wärmepumpenherstellers oder seiner Bevollmächtigten durchgeführt werden kann. Auch wenn eine Entscheidung zur Sanierung und der Reduktion des HWB vorzuziehen ist, kann mit dieser modularen Lösung einer schrittweisen Sanierung Rechnung getragen werden.

Der Einsatz eines Einzelmoduls mit 1,25 kW wurde als nicht-Ziel dieses Projekts betrachtet. Zieht man die erforderliche Heizleistung von 70 – 80 W/m<sup>2</sup> nach Wimmer et. al. [Wim2020] heran, sind damit Wohnungen mit einer Fläche von 15 – 20 m<sup>2</sup> nicht abgedeckt. Nach Erhöhung der Modulleistung auf 2,5 kW besteht für Wohnungen unter 32m<sup>2</sup> und unter einem spezifischen Heizwärmebedarf von 144 kWh/m<sup>2</sup> a eine Überdimensionierung. Die Daten aus der Registerzählung 2011 der Statistik Austria [Tab2011; Tab2020] weisen den Anteil dieser Wohnung unter 8% aus, jedoch ist der der Warmwasserbedarf relativ zum Heizbedarf für diese Wohnung höher und reduziert die Überdimensionierung.

### 5.1.3. Kältekreislaufkomponenten

Ein einfaches Schema eines Kältekreislaufes eines Wärmepumpenmoduls ist in Abbildung 2 dargestellt, wobei als Hauptkomponenten im Projekt der Kompressor und die Wärmeüberträger besondere Aufmerksamkeit erhalten haben.

Abbildung 2: Schematische Darstellung des Kältekreislaufes eines Wärmepumpenmoduls.



In der ersten Schleife wurde ein kompakter Kolbenkompressor mit 10 cm<sup>3</sup> Kompressorhubraum gewählt. Diese Bauart funktioniert so, dass eine Welle einen Kolben in einem Zylinder auf und ab bewegt. Mit Hilfe von zwei Rückschlagventilen wird das Kältemittel in die Kammer gesaugt, komprimiert und wieder herausgedrückt.

Für die zweite Schleife fiel die Auswahl auf einen Rotationskompressor mit 17 cm<sup>3</sup> Kompressorhubraum. In dieser Bauart dreht sich der Kolben um eine außermittige Achse und saugt das Kältemittel an und drückt es gleichzeitig wieder heraus. Die beiden Kammern sind durch eine

federbelastete Klappe voneinander getrennt. Rotationskompressoren sind bekannt für ihre Zuverlässigkeit, Effizienz und ihr gutes akustisches Verhalten.

In Hinblick auf die Wärmeüberträger wurden Plattenwärmetauscher in zwei unterschiedlichen Bauformen für Modul 1.2 (erste Schleife) und für die Module 2.X gewählt. Eine Darstellung der Variation findet sich in Abbildung 3.

Abbildung 3: Variation der Plattenwärmetauscher (PWT) mit unterschiedlichen Typen und Plattenanzahl (zweite Zeile). Als Beispiel kombiniert das Modul GTZ 2.2 den PWT Typ 2 mit 18 Platten auf Kondensatorseite mit PWT Typ 2 mit 22 Platten auf Verdampferseite. Modul GTZ 2.1 enthält zusätzlich ein Schauglas und einen Filtertrockner.

<i>Kondensator</i> / <i>Verdampfer</i>	PWT Typ 1 20	PWT Typ 2 18	PWT Typ 2 20	PWT Typ 2 22
PWT Typ 1 20	GTZ 1.2	-	-	-
PWT Typ 2 18	-	1x GTZ 2.3	-	1x GTZ 2.2
PWT Typ 2 20	-	-	2x GTZ 2.0 1x GTZ 2.1 (mit SG+FT)	-
PWT Typ 2 22	-	-	-	-

Abgesehen von der Anzahl der Platten der Wärmetauscher sind die Kältemittelkreisläufe der Module 2.3, 2.2 und 2.0 identisch. Zusätzlich zu diesen Komponenten verfügt das Modul 2.1 über einen Filtertrockner sowie ein Schauglas. Jede zusätzliche Komponente im Kältemittelkreislauf verringert die effektive Menge an verfügbarem und damit auch nutzbarem Kältemittel. Da die Menge an Kältemittel bereits drastisch auf 150 g begrenzt ist, ist es vorteilhaft, die Komponenten des Kältemittelkreislaufs zu reduzieren. Dieser Effekt sollte sich im Vergleich der Module 2.0 und 2.1 zeigen, da die Größen der Wärmetauscher identisch waren und somit die zusätzlichen Komponenten den einzigen Unterschied darstellten.

#### 5.1.4. Hydraulische Verschaltung

Aufgrund seiner Flexibilität ermöglichte das Funktionsmuster verschiedene Betriebsmodi, darunter:

- Heizung mit Modulen in Reihe
- Heizung mit Modulen parallel
- Heizung und Warmwasserbereitung
- Nur Warmwasserbereitung

- Kühlung zur Quelle
- Kühlung und Warmwasserbereitung

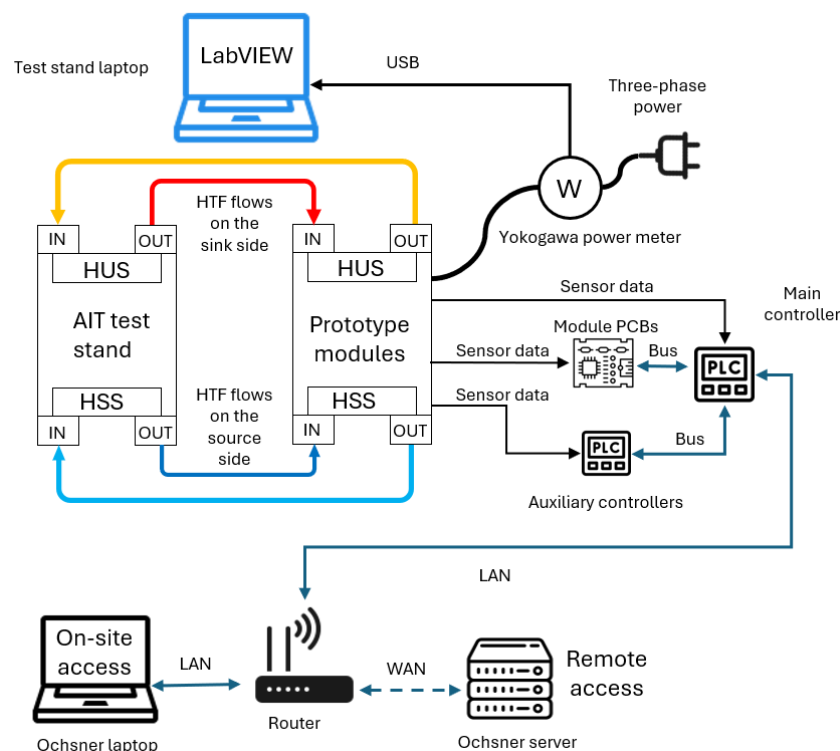
Da nicht nur ein leistungsstarker Kältekreis, sondern mehrere kleinere Kältekreis-Module vorhanden sind, ergeben sich weitere Optionen wie Betriebsmodi mit Modulen in Serie oder parallel. Die Möglichkeit, zwischen Modulen in Parallel- und Serienschaltung zu wählen, erlaubt Vorteile für unterschiedliche Quell- und Wärmenutzungstemperaturen zu realisieren.

## 5.2. Prüfstand für die modulare Wärmepumpe

### 5.2.1. Datenerfassung und -verarbeitung

In Abbildung 4 sind der Aufbau und die Informationsflüsse der Datenerfassung dargestellt. Für die vollständige Beschreibung der Leistung der Wärmepumpen war die Messung der Temperaturen und Volumenströme auf der HTF-Seite erforderlich, innerhalb des Kältemittelkreislaufs erfolgt zusätzlich eine Druckmessung. Darüber hinaus wurde der Stromverbrauch des Kompressors benötigt. Da der Prüfandaufbau in der Lage war, Leistungsmessungen mit dem Yokogawa-Leistungsmesser durchzuführen und aufzuzeichnen, wurde dafür das LabVIEW-Programm des Prüfstands verwendet. Alle anderen Messungen wurden vom Hauptregler oder, aufgrund fehlender Eingänge, auf den Leiterplatten der Module bzw. auf zwei zusätzlichen Reglern aufgezeichnet. Die Leiterplatten und Regler kommunizieren über ein Bussystem mit dem Hauptregler. Die Daten wurden auf einem weiteren Laptop angezeigt und zur Speicherung auf einen Server hochgeladen.

Abbildung 4: Schematische Darstellung des Datenaufzeichnungs- und Datenverarbeitungssystems. Der AIT-Prüfstand stellt dabei Wärme auf der Quellenseite (HUS) zur Verfügung und vernichtet Wärme auf der Nutzungsseite (HSS).



### **5.2.2. Kältemittelfüllung**

Die Wärmepumpenmodule wurden mit Stickstoff gefüllten Kältemittelkreisläufen transportiert, um sicherzustellen, dass keine Verunreinigungen oder Feuchtigkeit vorhanden waren. Für den Betrieb musste das Arbeitsmedium R290 in das System eingefüllt werden. Um reines R290 im System zu erhalten, musste der Kreislauf zunächst mit einer Vakuumpumpe evakuiert werden. Da nur Modul 2.1 über einen Filtertrockner im Kältemittelkreislauf verfügt, wurde die Evakuierung übermäßig durchgeführt. Nach der Evakuierung wurden die Kreisläufe mit R290 aus einer Gasflasche mit kalibrierter Skala befüllt. Die Module wurden mit jeweils 149 g R290 befüllt. Die Differenz zur geplanten Kältemittelmassenzahl von 150 g ergibt sich aus der schwierigen Dosierung des R290. Der Druck in der Gasflasche war bereits während des ersten Füllvorgangs begrenzt, sodass die erforderliche Menge von 150 g ohne weitere Maßnahmen nicht erreicht werden konnte. Daher wurden die Kompressoren der Module während des Füllvorgangs eingeschaltet, wodurch ein größerer Druckabfall entstand und die Arbeitsflüssigkeit in den Kältemittelkreislauf gesaugt wurde.

### **5.2.3. Wärmepumpen-Rack**

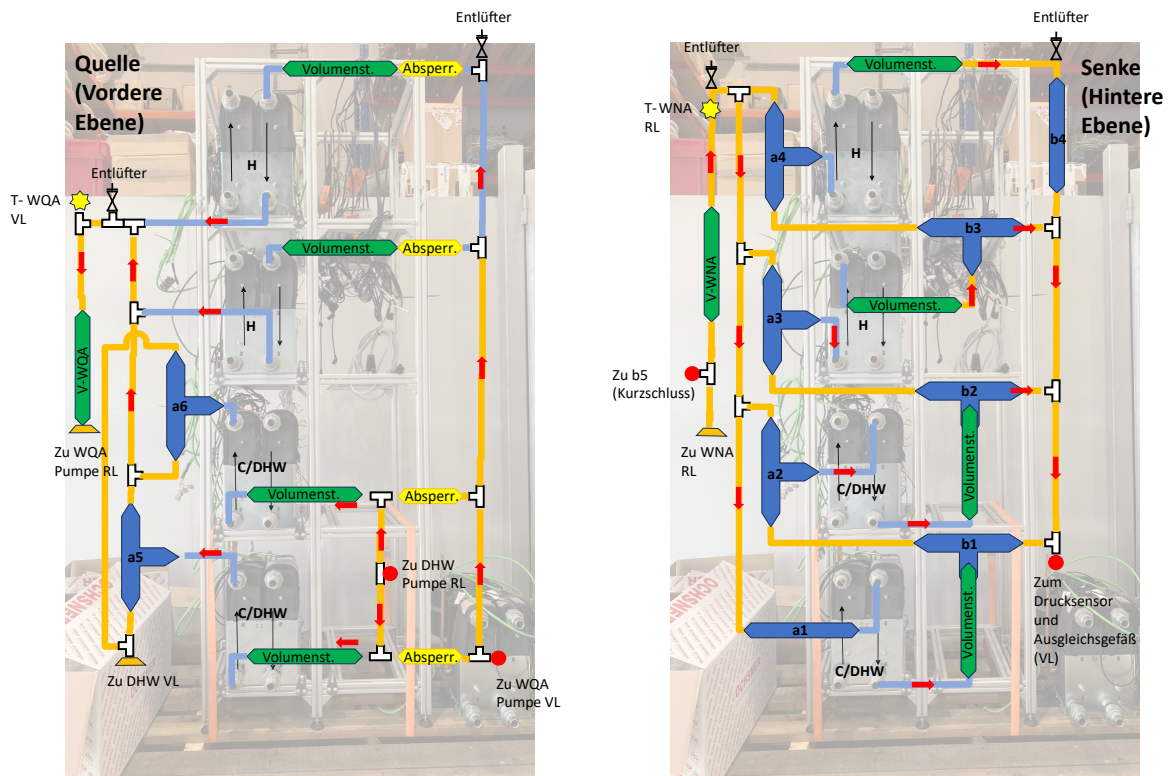
Für die Tests des Gesamtsystems wurden vier Wärmepumpenmodule übereinander auf einem Aluminiumgestell montiert (siehe Abbildung 5). Das Gestell selbst wurde zur leichteren Handhabung auf einer Palette befestigt. Die Abmessungen dieses Funktionsmusters sind nicht auf die eines Gasboilers beschränkt. Die Verrohrung der Hydraulik erfolgte mit PPR-Rohren (Polypropylen Random Copolymer) und -Fittings. Dieses System wurde gegenüber gelöteten Kupferrohren oder anderen Optionen bevorzugt, da es vergleichsweise einfach zu handhaben und zu schweißen ist. Das Schweißen erfolgte mit einem tischmontierten Muffenschweißgerät vom Typ „Multitherm MTSW“. Die beiden zu verschweißende Teile wurden auf etwa 210 °C erhitzt. Durch die höhere Temperatur werden sie weich genug, um ineinander gedrückt zu werden, wodurch eine feste und dauerhafte Verbindung entsteht. Metallgewindeverbindungen wurden nach Möglichkeit mit Flachdichtungen abgedichtet. Für Metallgewindeverbindungen ohne Flachdichtungen wurde Hanf als Dichtungsmittel verwendet, für Metall/Kunststoff-Kombinationen wurde PTFE-Band bevorzugt. Die Temperatursensoren wurden mit Wärmeleitpaste in Tauchhülsen installiert. Die Tauchhülsen wurden mit T-Verbindungsstücken in 90°-Bögen angebracht.

Abbildung 5: Aufbau des modularen Wärmepumpen-Racks mit Verrohrung aus Polypropylen Random Copolymer. Das Rack ist mit 4 Modulen bestückt, die in unterschiedlichen Konfigurationen verschalten werden können.



Das Rack bietet Platz für insgesamt 8 Module, während die hydraulischen Anschlüsse nur für 4 Module ausgelegt wurden. Zur besseren Steuerung der komplexen Hydraulik im modularen Konzept des Wärmepumpenprüfstands wurden die Anschlüsse auf der Quellseite in der vorderen Ebene angeordnet. In der hinteren Ebene, die sich näher am Rack befindet, wurden die Anschlüsse auf der Wärmenutzungsseite angeordnet. Dies ist in Abbildung 6 dargestellt, die auch die Schemata der hydraulischen Anschlüsse der Module zeigt. Das komplette Wärmepumpen-Rack ermöglicht verschiedene Wärmeträgerflüssigkeiten (HTF) auf der Quellen- und Nutzungsseite, wodurch zugängliche Temperaturbereiche unterhalb und oberhalb des Gefrierpunkts erzielt werden können. Die Rack-Positionen sind mit H und C/DHW gekennzeichnet, wobei für die C/DHW-Rack-Positionen weitere Variationen möglich sind, da sie an einen dritten Kreislauf mit einem weiteren unabhängigen Temperaturniveau angeschlossen werden können. Somit ermöglichen die 3-Wege-Ventile (in Abbildung 6 als a und b bezeichnet) den Zugang zu verschiedenen Temperaturniveaus, während der Durchfluss für jedes Modul einzeln gemessen und mit den Ventilen (gelb) eingestellt werden kann.

Abbildung 6: Darstellung der hydraulischen Verschaltung der Module auf Wärmequellenseite in der vorderen Ebene (links) und auf Wärmenutzungsseite in der hinteren Ebene (rechts).

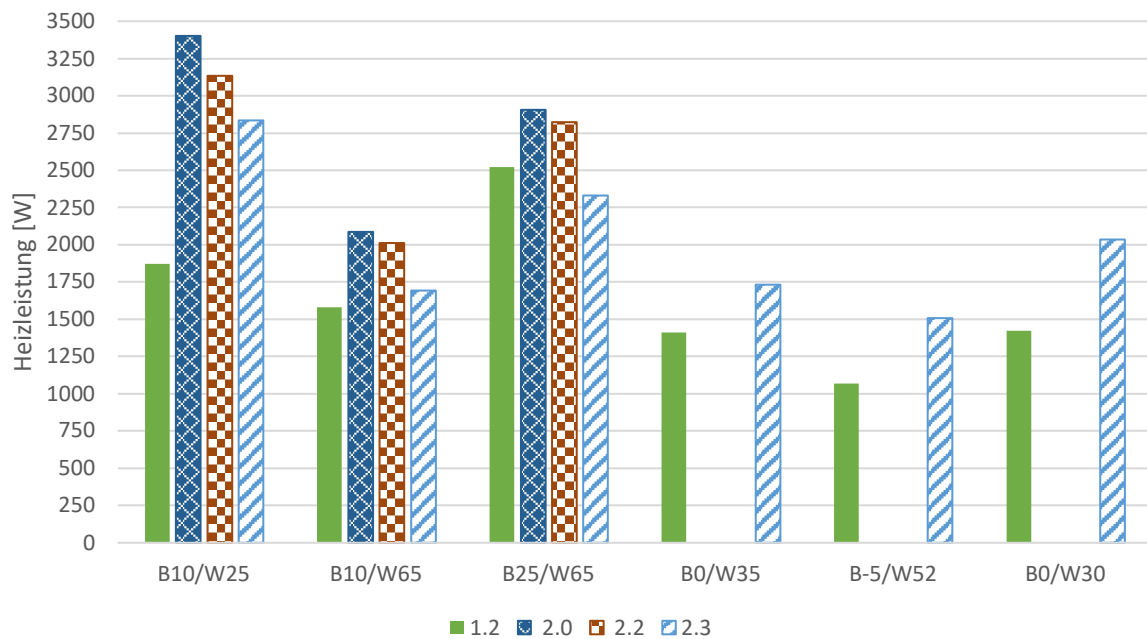


### 5.3. Messprotokoll und Messdatenauswertung

#### 5.3.1. Heizleistung

Abbildung 7 zeigt einen Vergleich der Heizleistungen der getesteten Module. Die Module 2.0 und 2.2 verwendeten Wasser auf der Quellenseite, sodass Temperaturen nahe oder unter  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  nicht getestet werden konnten, um ein Gefrieren des Wassers im Verdampfer zu vermeiden. Da der Kompressor der 2.X-Module einen deutlich höheren Kompressorhubraum und Stromverbrauch hat, wäre das erwartete Ergebnis auch eine höhere Heizleistung. Es ist ersichtlich, dass bei allen Messpunkten nur B25/W65 hervorsteht, da die Heizleistung von Modul 1.2 etwas höher ist als die des Moduls 2.3. Im Vergleich der 2.X-Module hat 2.0 die höchste Heizleistung. Dies ist das Modul mit symmetrischen Wärmetauschern und jeweils 20 Platten.

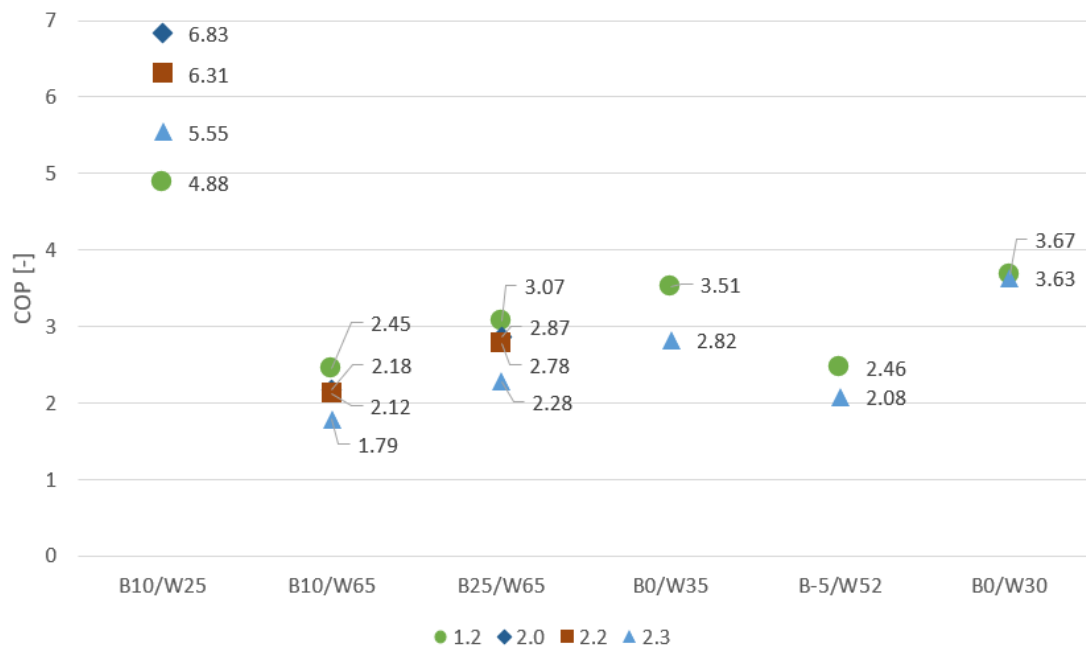
Abbildung 7: Vergleich der Heizleistung verschiedener Modultypen.



### 5.3.2. Coefficient of Performance (COP)

Der Vergleich der Effizienzdaten der Hersteller von Kolben- und Rotationskompressoren zeigt, dass der Rotationskompressor bei kleineren Druckverhältnissen und damit kleineren Förderhöhen deutlich besser abschneidet. Die gesammelten Daten zeigen diesen Effekt nur für den Betriebspunkt B10/W25 mit dem geringsten Druckverhältnis zwischen Kondensations- und Verdampfungsdruck, siehe Abbildung 8. Das Modul 2.3 weist für alle gemessenen Punkte die niedrigsten COPs der 2.X-Module auf und liegt sogar die meiste Zeit unter Modul 1.2. Der Vergleich der symmetrischen Plattenwärmetauscher-Konfigurationen mit 20 Platten (Modul 1.2 und 2.0) zeigt eine vorteilhafte Konfiguration gegenüber der asymmetrischen Konfiguration.

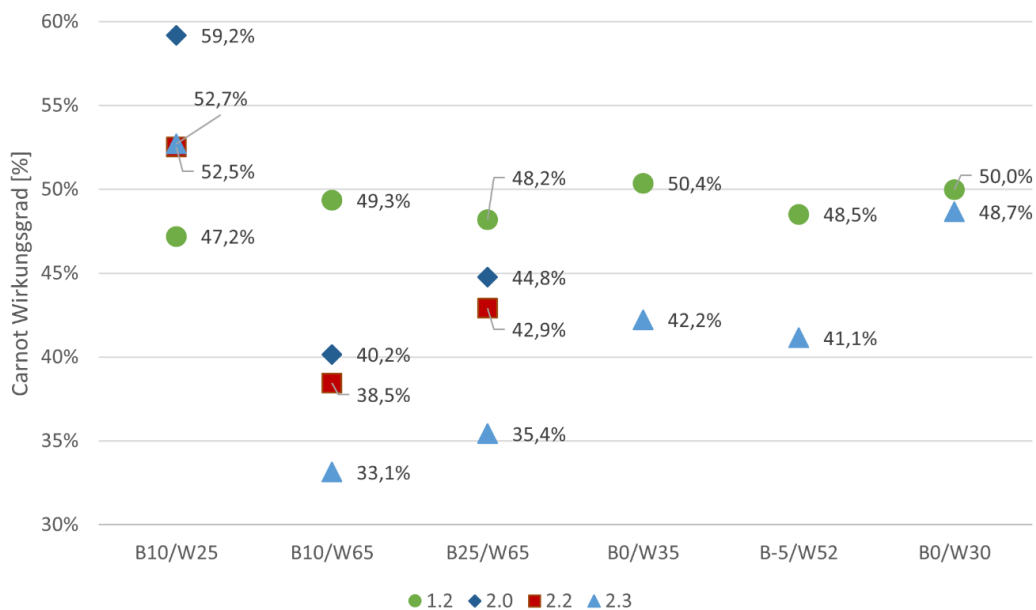
Abbildung 8: Vergleich der COPs verschiedener Modultypen. Modul 1.2 übertrifft Module 2.X in allen Betriebspunkten außer B10/W25.



### 5.3.3. Carnot-Wirkungsgrad

Die Ergebnisse für die Carnot-Wirkungsgrade sind in Abbildung 9 dargestellt. Modul 2.3 schneidet im Vergleich zu den anderen Modulen schlecht ab, genau wie beim COP-Vergleich. Mit Ausnahme von B10/W25 schneidet Modul 1.2 besser ab als die 2.X-Module, und der Carnot-Wirkungsgrad liegt in einem Bereich von 47,2 % bis 50,4 %. Der geringe Unterschied zwischen 2.0 und 2.2 zeigt, dass eine symmetrische Konfiguration auf der Kondensatorseite eine bessere Leistung erzielt als eine Erhöhung der Plattenanzahl im Verdampfer.

Abbildung 9: Vergleich des Carnot-Wirkungsgrad verschiedener Modultypen. Wie beim COP-Vergleich übertrifft Modul 1.2 die 2.X-Module in allen Temperaturkombinationen außer B10/W25.



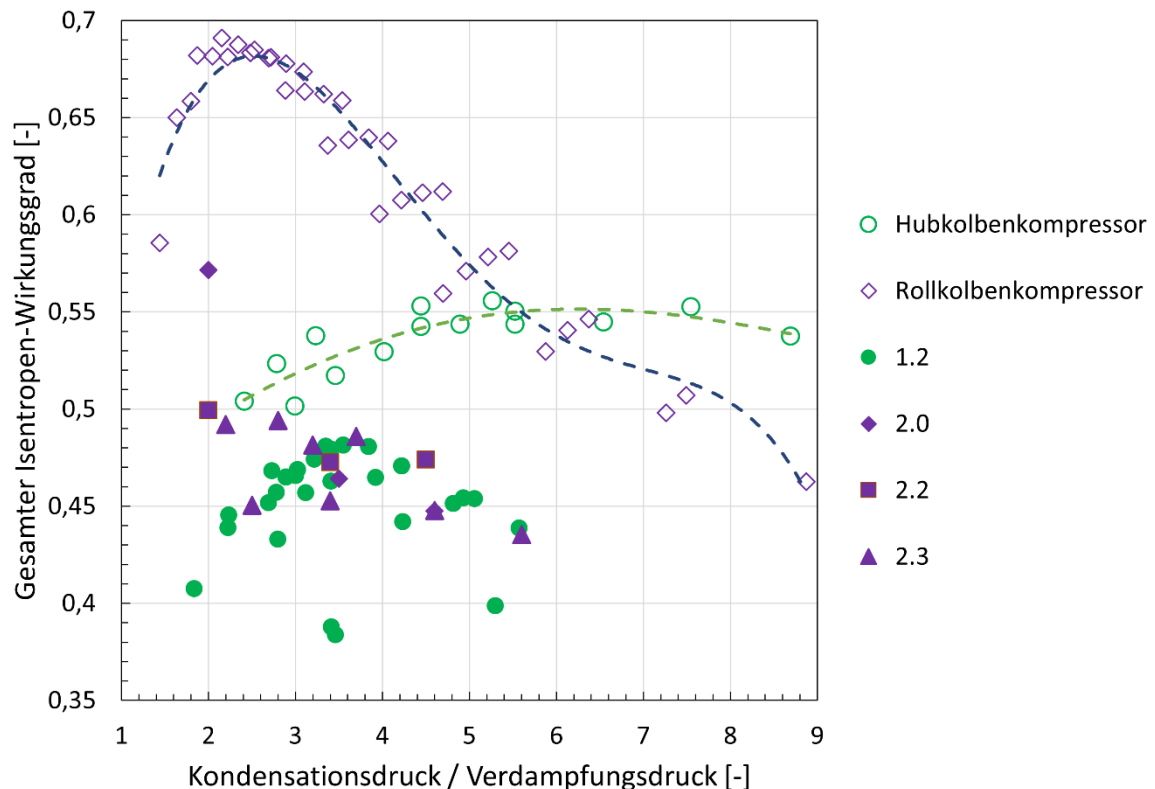
### 5.3.4. Isentropen-Wirkungsgrad

Der Isentropen-Wirkungsgrad hilft uns zu verstehen, wie nahe der Verdichtungsprozess eines hier verwendeten Kompressors einem entsprechenden isentropischen Prozess ist. Somit erleichtert er den Vergleich der vorgestellten Messergebnisse unabhängig vom Kompressorhubraum. Die von den Herstellern der Kolben- und Rotationskompressoren bereitgestellten Daten werden verwendet, um Leistungsdaten abzuleiten, die unseren Wärmequellen- und Wärmenutzungscharakteristiken entsprechen. Darüber hinaus müssen die Überhitzungs- und Unterkühlungseinstellungen der Herstellerangaben korrigiert werden, um sie an unsere Anwendung anzupassen. Dennoch können sie als Obergrenzen für die Leistung eines Kompressors in einem Kühlkreislauf interpretiert werden.

Abbildung 10 zeigt die Isentropen-Wirkungsgrade im Vergleich zum Druckverhältnis von Kondensation zu Verdampfung. Bei den 2.X-Modulen liegen die Ergebnisse weit außerhalb des erwarteten Bereichs der Herstellerdaten. Insbesondere bei niedrigen Druckverhältnissen kann die Leistungsspitze des Rotationskompressors nicht rekonstruiert werden, obwohl er in diesem Bereich deutlich besser ist als der Kolbenkompressor. Im Gegensatz dazu liegt das Modul 1.2 im Bereich eines Druckverhältnisses von 2 bis 4 viel näher an der optimalen Kompressorleistung gemäß den Herstellerangaben. Für den Anwendungsfall, bei dem mit einer Quellen-Temperatur von 0 °C (4,7 bar für R290) geheizt wird, beträgt das Druckverhältnis von Kondensation zu Verdampfung 2,6, wenn eine Fußbodenheizung mit 35 °C (12,1 bar für R290) verwendet wird. Erst dann zeigt der Isentropen-Wirkungsgrad eine zunehmende Abweichung von den Herstellerangaben und erzeugt eine Wölbung in den Messdaten, die sich um ein Verhältnis von 3,5 zentriert. Der Grund für diese Abweichung von den erwarteten Werten kann jedoch nicht vollständig erklärt werden. Bei Warmwasser mit einer leicht verringerten Quellen-Temperatur von -5 °C (4,1 bar für R290) beträgt das Druckverhältnis 4,4 für die Erzeugung von Warmwasser bei 52 °C (17,9 bar für R290). Wenn das Temperaturniveau des Warmwassers beispielsweise aus hygienischen Gründen weiter auf 65 °C erhöht werden muss, liegt

das Druckverhältnis von Kondensation zu Verdampfung nahe bei 6. In einer Folgestudie werden höhere Druckverhältnisse gemessen werden. Der allgemeine Trend stützt die Einschätzung, dass Rotationskompressoren bei niedrigeren Druckverhältnissen eine bessere Leistung erbringen.

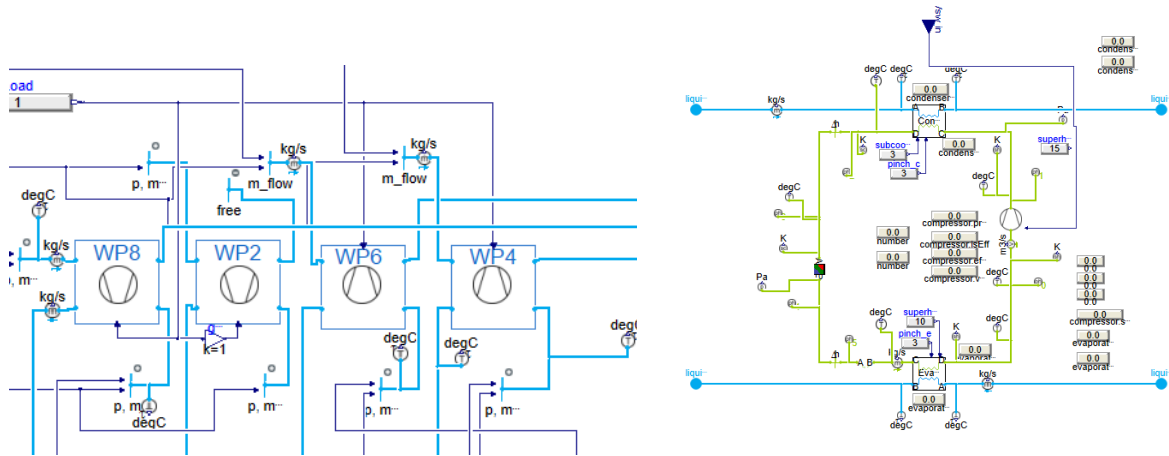
Abbildung 10: Vergleich der gesamten Isentropen-Wirkungsgrade mit den von den Herstellern bereitgestellten Daten.



### 5.3.5. Thermodynamische Vermessung des Gesamtsystems

Im ersten Schritt zum Verständnis des Gesamtsystems wurden Simulationen in Dymola/Modelica durchgeführt. Damit konnte im Vorhinein bestimmt werden, dass eine fixe Auskopplung auf Heizungsseite bei 35°C mit 5K-Spreizung und gleichzeitigem Warmwasserbetrieb bei 65°C eine Bedingung an das Leistungsverhältnis zwischen Heizleistung und DHW-Leistung stellt. Insbesondere in serieller Verschaltung kann eine korrekte Verteilung des Druckhubs bei gleichem Volumenstrom nur dann erreicht werden, wenn das Verhältnis nahe 2:1 ist.

Abbildung 11: Systemmodell in Dymola/Modelica auf Systemebene für kombinierten Betrieb Heizen + DHW (links). Einzelmodul in Dymola/Modelica als Subkomponente des Gesamtsystems mit Kältekreis (grün) und Hydraulik (blau).



Diese Ergebnisse der Simulationen wurden durch experimentelle Tests am Gesamtsystem nachvollzogen. Dabei wurde eine sehr gute Übereinstimmung erreicht. Ein Highlight dabei ist die erreichte DHW-Leistung von 3500 W mit einem DHW-Modul, während dazu im Mittel eine Heizleistung von ca. 2200 W an die Wärmenutzungsanlage übertragen wurde. Dieses Ergebnis unterstreicht die Effizienz und die Leistungsfähigkeit des kombinierten Betriebs.

## 6 Schlussfolgerungen

Die Umsetzung von zwei Schleifen „Konzeptentwicklung - Laboraufbau - Laborversuch“ hat sich als äußerst produktiv erwiesen. Diese methodische Vorgehensweise hat rasche Korrekturen anfänglicher Annahmen erlaubt und eine Variation der zugrundeliegenden Modularität möglich gemacht.

In mehreren Messkampagnen hat sich gezeigt, dass die Kältemittelmenge und die delicate Abstimmung der Komponentenauswahl entscheidend für die Leistung des Systems sind. Es wurde bestätigt, dass mit steigender Kältemittelfüllmenge die Effizienz in Form des COP-Werts, der Carnotgüte und der Heizleistung deutlich verbessert werden konnte. Besonders bei den Betriebspunkten mit kleineren Temperaturdifferenzen zwischen der Wärmequelleanlage und Wärmenutzungsanlage konnte eine signifikante Verbesserung erzielt werden.

Da die von den Herstellern bereitgestellten Leistungsdaten für den Kolben- und den Rotationskompressor unter unterschiedlichen Bedingungen gemessen wurden, waren einige Interpretationen erforderlich, um einen Vergleich mit den Messungen zu ermöglichen. Daher wurden die Kompressordaten mit einer gewissen Unsicherheit übernommen und als Obergrenzen für die Leistung interpretiert. Einerseits konnte die Leistung des Rotationskompressors nicht erreicht werden, und die Module blieben deutlich hinter den Erwartungen zurück. Andererseits lag die Leistung des Kolbenkompressormoduls viel näher an den Herstellerangaben. Dennoch nahm bei höheren Druckverhältnissen auch die Abweichung zu den Messungen zu.

In zukünftigen Studien können die Messungen der Wärmepumpenmodule auf höhere Druckverhältnisse ausgeweitet werden, um eine Bewertung für extreme Anwendungen des Kältemittelkreislaufs, beispielsweise bei 3 bar Verdampfung ( $-15\text{ °C}$ ) und 27 bar Kondensation ( $+72\text{ °C}$ ), einzubeziehen. Dadurch könnte der Unterschied zwischen den Kompressortechnologien für das modulare Wärmepumpenkonzept weiter detailliert werden.

Bei Betrachtung der modular aufgebauten Wärmepumpe scheint ein kombinierter Betrieb besser für Anwendungen geeignet zu sein, bei denen sowohl Heizleistung als auch Warmwasserbereitung gleichzeitig erforderlich sind. Die Effizienz des kombinierten Betriebs mit Mitteltemperaturniveau liegt etwas niedriger als im Parallelbetrieb, aber der Vorteil liegt in der gleichzeitigen Nutzung der Wärmequelle für beide Zwecke und einer hohen DHW-Leistung zur schnellen Ladung eines Warmwasserspeichers.

Im reinen Parallelbetrieb der Wärmepumpenmodule ist die Effizienz zu Beginn einer Speicherladung etwas höher, da die einzelnen Module unabhängig arbeiten und ihre Leistung nicht teilen müssen. Dies könnte in Szenarien vorteilhaft sein, in denen eine klar getrennte Leistungserbringung für Heizung und Warmwasser benötigt wird.

Die experimentellen Ergebnisse verdeutlichen das Potenzial des Wärmepumpenmoduls als eine nachhaltige Lösung für den Ersatz von Gasthermen im Wohnbau. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass das Wärmepumpenmodul mit einigen technischen Anpassungen noch weiter optimiert werden kann, insbesondere hinsichtlich der Kältemittelfüllmenge und der Bauteilkonfiguration des Kältekreislaufs. Diese Erkenntnisse tragen zur Weiterentwicklung und Feinabstimmung von modularen

Wärmepumpenlösungen bei, die zukünftig einen signifikanten Beitrag im Bereich der erneuerbaren Energien leisten könnten.

Zukünftige Untersuchungen werden sich auf die Optimierung der Bauteilkonfiguration und auf den Einsatz mehrerer Module konzentrieren, um die geforderte Heizleistung unter Einhaltung der Sicherheitsvorgaben der Norm IEC 60335-2-40 [IEC2024] zu erreichen. Zudem wird die Umsetzung und Testung der modularen Wärmepumpensysteme in unterschiedlichen Betriebsarten weiter vorangetrieben, um ihre Flexibilität und Effizienz in realen Anwendungen zu prüfen. Das neu entwickelte Rack für Wärmepumpenmodule erlaubt die Modularität in parallelen und seriellen Konfigurationen zu nutzen. Daher kann eine differenziertere Nutzung der Temperaturstufen, die die in Mehrfamilienhäusern verfügbaren Energiequellen widerspiegeln, in diesem Aufbau erreicht und auch in Zukunft rasch experimentell bewertet werden.

## **6.1. Verbreitungsaktivitäten und Marktpotenzial**

Durch das Zusammentreffen weltpolitischer Ereignisse (Kriegsgeschehnisse in der Ukraine, Klimawandel) und dem Rückstau in der Sanierung des Altbaubestands ergibt sich ein bemerkenswert hohes öffentliches Interesse an diesem Forschungsprojekt. Verdeutlicht wurde dies durch Medienanfragen und die große Reichweite von Publikationen sowohl online als auch im Print und in kurzen Fernsehbeiträgen. Das Marktpotenzial wird weiterhin als enorm wahrgenommen, zumal allein in Wien rund 440.000 Gas-Kombithermen bzw. Heizwertgeräte zu Heizzwecken oder zur Brauchwasserbereitung im Einsatz sind.

Im Rahmen der Disseminationsaktivitäten im Projekt wurde ein Workshop mit Stakeholdern aus Österreich durchgeführt. Dabei wurde die Ausrichtung des Projekts kritisch hinterfragt, sowie Erfahrungen aus typischen Problemfeldern des Wiener Gründerzeitarchitektur diskutiert. Insbesondere Praxiserfahrungen aus der Bestandssanierung und rechtliche Fragestellungen in diesem Zusammenhang haben dem Konsortium wichtige Einblicke gegeben.

Die Ergebnisse umfassen ein im Labor validiertes und getestetes Konzept einer neuartigen dezentralen Wärmepumpe, die aufgrund ihrer vergleichbaren Abmessungen mit Gasthermen ideal geeignet ist, diese im großvolumigen Wohnbau zu ersetzen.

Eine erfolgreiche Umsetzung des Konzepts einer dezentralen Wärmepumpe zum Gasthermenersatz wird weiterhin als realistisch eingestuft und würde Österreichs Rolle als Technologieführer bei innovativen Umwelttechnologien stärken. Entwicklungsrisiken bestehen ungeachtet in den Bereichen Produktsicherheit (bei Verwendung eines leicht entflammaren Kältemittels) und Wirtschaftlichkeit, da Gaskombithermen etablierte Produkte sind und seit Jahrzehnten in hoher Stückzahl gefertigt werden.

Rechtliche Risiken bestehen insbesondere in folgenden Punkten:

- Nutzung eines Kamins durch mehrere Parteien für eine Gaskombitherme bzw. Brennwertgerät und einer dezentralen Wärmepumpe
- Rahmenbedingungen und Vorgaben zur Erschließung der Wärmequelle Erde in dicht verbautem Stadtgebiet
- Abrechnung der laufenden Kosten zum Betrieb einer zentralisierten Wärmequelle

# 7 Ausblick und Empfehlungen

Ziel des Projekts „Gasthermenersatz“ war die Erstellung und Realisierung eines im Labor getesteten Konzepts einer modularen Wärmepumpe als dezentrale Lösung für Heizen, Kühlen und Warmwasser. Dies wurde erreicht und damit wurden Grundlagen geschaffen im Verständnis für eine Gasthermenersatz-Lösung und einhergehende offene Problemstellungen. In der Ausrichtung eines geförderten Forschungsprojekts liegt es risikobehaftete Konzepte zu verfolgen und unterscheidet sich damit klar von einer Produktentwicklung, die ein marktgängiges Produkt zum Ziel hat.

Als weiterführende Forschungsfrage wurde die Produktsicherheit einer innenaufgestellten R290-Wärmepumpe im Zusammenhang mit neuesten Änderungen der Norm IEC 60335-2-40 [IEC2024] identifiziert. Diese Frage wird bereits im FFG-Projekt „WISE“ (FFG-Nr. 913505; Start 2024) weiterverfolgt und in Abhängigkeit von dort erzielten Ergebnissen ist eine nachfolgende Demonstration im Konsortium angedacht.

Für die Realisierung in einer Demonstration werden zusätzlich folgende Hemmnisse gesehen:

- Für den Anschluss an die jeweilige Wärmequelle fehlt es weiterhin an Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung und es müssen während eines derartigen Projekts Methoden und Arbeitsweisen mit Handwerksbetrieben erst erarbeitet werden.
- Insbesondere für risikoaverse Bauherren stellen rechtliche Fragen im Bereich Schallschutz (Grundstücksgrenze oder „das nächste schützenswerte Fenster“) und Stadtgestaltung (z.B. Dachaufbauten in Schutzzonen) einen Hemmschuh dar.
- Seit Jänner 2022 werden für die Herstellung von Erdsonden auf öffentlichem Straßengrund in der Stadt Wien [Erd2022] erhebliche einmalige Entgelte eingehoben. So ergibt sich bei 1.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche und spezifischen HWB von 85 kWh/m<sup>2</sup>a ein Entgelt von ca. 27.000 EUR. Zusätzlich werden für die horizontalen unterirdischen Leitungen laufende jährliche Gebühren nach dem Wiener Gebrauchsabgabegesetz [GAG1966] eingehoben.
- Marktverfügbare und ausgereifte Heizungssysteme werden mit der Erwartungshaltung einer Laufzeit von 10 – 20 Jahren eingebaut. Damit werden offene Haftungsfragen rund um Gebrechen und Funktionseinschränkungen bei innovativen Lösungen zu einem großen Risiko für Bauherren. Für Heizungssysteme besteht eine signifikante Zeitspanne nach Ende eines Demonstrationsprojekt und vor Ablauf eines üblichen Erneuerungsintervalls. Die Förderung ist dabei relativ zum Schaden oder den Aufwänden zum Rück-/Umbau gering.

Im Ausblick sind die Chancen dezentraler Wärmepumpen auf Wohnungsebene unbestritten. Eine passgenaue Abrechnung, Unabhängigkeit von Fernwärmenetzen und minimale CO<sub>2</sub> Emissionen sind erreichbar. Bei Möglichkeit zur dezentralen Quellenbindung können typische Zielkonflikte einer Eigentümergeinschaft vermieden und der Ausstieg aus Erdgas eigenständig umgesetzt werden.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiele für eine Quellenerschließung für eine modulare Wärmepumpe auf Wohnungsebene (eigene Darstellung © AIT). .....	20
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Kältekreis eines Wärmepumpenmoduls. ....	26
Abbildung 3: Variation der Plattenwärmetauscher (PWT) mit unterschiedlichen Typen und Plattenanzahl (zweite Zeile). Als Beispiel kombiniert das Modul GTZ 2.2 den PWT Typ 2 mit 18 Platten auf Kondensatorseite mit PWT Typ 2 mit 22 Platten auf Verdampferseite. Modul GTZ 2.1 enthält zusätzlich ein Schauglas und einen Filtertrockner. ....	27
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Datenaufzeichnungs- und Datenverarbeitungssystem. Der AIT-Prüfstand stellt dabei Wärme auf der Quellenseite (HUS) zur Verfügung und vernichtet Wärme auf der Nutzungsseite (HSS). ....	28
Abbildung 5: Aufbau des modularen Wärmepumpen-Racks mit Verrohrung aus Polypropylen Random Copolymer. Das Rack ist mit 4 Modulen bestückt, die in unterschiedlichen Konfigurationen verschalten werden können. ....	30
Abbildung 6: Darstellung der hydraulischen Verschaltung der Module auf Wärmequellenseite in der vorderen Ebene (links) und auf Wärmenutzungsseite in der hinteren Ebene (rechts). ....	31
Abbildung 7: Vergleich der Heizleistung verschiedener Modultypen. ....	32
Abbildung 8: Vergleich der COPs verschiedener Modultypen. Modul 1.2 übertrifft Module 2.X in allen Betriebspunkten außer B10/W25. ....	33
Abbildung 9: Vergleich des Carnot-Wirkungsgrad verschiedener Modultypen. Wie beim COP-Vergleich übertrifft Modul 1.2 die 2.X-Module in allen Temperaturkombinationen außer B10/W25. ....	34
Abbildung 10: Vergleich der gesamten Isentropen-Wirkungsgrade mit den von den Herstellern bereitgestellten Daten. ....	35
Abbildung 11: Systemmodell in Dymola/Modelica auf Systemebene für kombinierten Betrieb Heizen + DHW (links). Einzelmodul in Dymola/Modelica als Subkomponente des Gesamtsystems mit Kältekreis (grün) und Hydraulik (blau). ....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich einer zentralen Rückkühlerlösung am Dach für 10 bis 15 Wohneinheiten und einem dezentralen Rückkühler für eine Wohneinheit. ....	22
---	----

## Literaturverzeichnis

In Alphabetischer Reihenfolge:

- [Bau1994] –: Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen und auf auswärtigen Arbeitsstellen, Wien 1994, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)

- [Dac2010] –: Erlass zu Dacharbeiten – Verwendung von Anseilschutz. Hrsg. Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Wien 2010, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Eco2013] –: Commission Regulation (EU) No 814/2013 of 2 August 2013 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for water heaters and hot water storage tanks Text with EEA relevance. Hrsg. European Union, Brüssel 2013, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Erd2022] –: Merkblatt für die Herstellung von Erdsonden auf öffentlichem Straßengrund für Gebäude längeren Bestands mit angezeigtem Baubeginn ab 01/2022. Hrsg. Magistratsabteilung 28 Straßenverwaltung und Straßenbau der Stadt Wien, Wien 2022, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Fle2022] Fleck Tanja: Modulfassade mit integrierter Anlagentechnik versorgt Gebäude mit erneuerbarer Energie. Forschung Kompakt - Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Valley 2022, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [GAG1966] –: Gesetz über die Erteilung von Erlaubnissen zum Gebrauch von öffentlichem Gemeindegrund und die Einhebung einer Abgabe hierfür, Wien 1966, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Geo2021] GeoSphere Austria, Klimamittelwerte 1991-2020. [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Hes2019] Hess Stefan, Vollmer Raphael, Wapler Jeannette, Kleinstück Martin, Bongs Constanze, Henning Hans-Martin: Ambient Heat Source Availability for Low-Ex Heating of Multi-Family Buildings. VERLAG, ISES Solar World Congress, Santiago, 2019, [PDF-Weblink](#), (Zugriff 21.09.2025)
- [Höl2013] Höller: Technische Auslegungsbedingungen TR-TAB. Wien Energie GmbH, Wien 2013, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [IEC2024] –: IEC 60335-2-40:2024 – Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-40: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers, Hrsg. IEC TC 61/SC 61D, 2024, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [IPC2021] Smith Chris, Nicholls Zebedee, Armour Kyle, Collins William, Forster Piers, Meinshausen Malte, Palmer Matthew, Watanabe Masahiro: Chapter 7: The Earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity - Supplementary Material. In: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Sixth Assessment Report (AR6), 2021, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Kul2018] Kulmer Holz-Leimbau: Die Fassade mit der Wärmepumpe, Verlag Holzhausen GmbH, 2018, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Laz2012] Lazzarin Renato M.: Dual source heat pump systems: operation and performance. Energy Build 52:77–85., 2012, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [ÖEN2008] –: ÖNORM EN 15450 – Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen, Hrsg. Austrian Standards International, 2008, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [ÖEN2014] –: ÖVE/ÖNORM EN 60335-2-40:2014-02-01 – Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke -- Teil 2-40: Besondere Anforderungen für elektrisch betriebene Wärmepumpen, Klimageräte und Raumluft-Entfeuchter, Hrsg. OVE, 2014, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [ÖEN2023] –: ÖNORM EN 14825 – Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung -

Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der jahreszeitbedingten Leistungszahl, Hrsg. Austrian Standards International, 2023, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)

- [Par2021] Parapatics Katharina: Das Recht der Energieraumplanung. In: Schriften zum österreichischen und europäischen öffentlichen Recht – Band 30. Verlag Österreich, Wien 2021, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Sei2011] –: Erlass zu Seilunterstützte Arbeitsverfahren. Hrsg. Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Wien 2011, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Sta2017] Energiestatistik: MZ Energieeinsatz der Haushalte 2015/2016. Hrsg. Statistik Austria, Wien 2017, [Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Tab2011] –: Registerzählung 2011, Hrsg. Statistik Austria, Wien 2012, [Weblink](#) (Zugriff 08.01.2023)
- [Tab2020] –: Tabellenband Wohnen 2020, Hrsg. Statistik Austria, Wien 2021, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)
- [Wim2020] Felix Wimmer, Peter Holzer, Gebäudebestand gasfrei machen - Untersuchung der technischen Möglichkeiten, Bestandsgebäude gasfrei zu machen, Hrsg. Magistratsabteilung 20 Energieplanung der Stadt Wien, Wien 2020, [PDF-Weblink](#) (Zugriff 21.09.2025)

## Abkürzungsverzeichnis

Abk.	Abkürzung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
Art.	Artikel
usw.	und so weiter
GWP	Global Warming Potential
MFH	Mehrfamilienhaus
WP	Wärmepumpe
HTF	Heat Transfer Fluid
HWB	Heizwärmebedarf
COP	Coefficient of performance
HUS	Heat Utilization Side (Wärmenutzungsseite)
HSS	Heat Source Side (Wärmequellenseite)
PCB	Printed Circuit Board
PHE	Plate Heat Exchanger
DHW	Domestic Hot Water
WQA	Wärmequellenanlage
PWT	Plattenwärmetauscher
WNA	Wärmenutzungsanlage
R290	Kältemittel Propan
PFAS	Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen
PPR	Polypropylen Random Copolymer

