

# **IEA Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 61: Wärmepumpen in Plusenergiequartieren**

Arbeitsperiode 2022 - 2025

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 31/2026

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leitung (interimistisch): DI (FH) Isabella Warisch  
Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.<sup>a</sup> Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:  
Assoz. Prof. Dr.-Ing. Fabian Ochs (Universität Innsbruck)  
DI Christoph Rohringer (AEE INTEC)  
Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Reichl (AIT)

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Wien, Innsbruck, 2026. Stand: November 2025

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

**Disclaimer:**

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer: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 Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer: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 Fördernehmer: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 im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform [nachhaltigwirtschaften.at](https://www.nachhaltigwirtschaften.at) veröffentlicht.



<b>Inhalt</b>	
<b>1 Kurzfassung</b>	<b>8</b>
<b>2 Abstract</b>	<b>10</b>
<b>3 Ausgangslage</b>	<b>12</b>
<b>4 Projektinhalt</b>	<b>17</b>
<b>5 Ergebnisse</b>	<b>21</b>
5.1 Stand der Technik von PEQ	21
5.1.1 Hintergrund	21
5.1.2 Definition von PEQ	21
5.1.3 Systemgrenzen	22
5.1.4 PEQ Projekte	24
5.2 Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in PEQ	25
5.3 PEQ Archtypen und charakteristische Lastkurven	28
5.4 Innsbruck Campagne, Fallstudie „auf dem Weg zum“ PEQ	31
5.4.1 Innsbruck Campagne	31
5.4.2 Simulationsstudie	35
5.4.3 PV Potential	36
5.4.4 Energiebilanz	37
5.4.5 Diskussion und Schlussfolgerung	39
5.5 PEQ und Fernwärme – Integration Dezentrale Wärmepumpen	40
5.5.1 Einleitung, Zielsetzung und Demonstrator	40
5.5.2 Untersuchte technische Systeme und Methodik	43
5.5.3 Diskussion der Ergebnisse	45
5.5.4 Schlussfolgerungen	47
5.6 Multiwärmequellen für Wärmepumpen in PEQ	47
Einleitung	48
Beschreibung des Systems	49
Betriebs- und Regelungsstrategie	51
Ergebnisse und Diskussion	53
Zusammenfassung	56
<b>6 Vernetzung und Ergebnistransfer</b>	<b>57</b>
<b>7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen</b>	<b>63</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>66</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>67</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>69</b>
<b>Abkürzungen</b>	<b>72</b>



# 1 Kurzfassung

Der Gebäudesektor spielt eine Schlüsselrolle bei der Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit der Erreichung der Klimaschutzziele. Quartiere bieten das Potenzial zur weiteren Effizienzsteigerung durch abgestimmte Lösungen für unterschiedliche Gebäudenutzungen und Lastmuster, die sowohl auf der elektrischen Seite als auch auf der thermischen Seite Synergien bieten können.

Das übergeordnete Ziel des IEA HPT Annex 61 bestand darin, die Rolle von Wärmepumpen (WP) in Plusenergiequartieren (PEQ) zu bewerten. Insbesondere sollen Effizienzpotenziale von Quartieren, die durch den Einsatz von WP mit dem Ziel eine positive Energiebilanz zu erreichen erschlossen werden können, aufgezeigt werden. Der Annex 61 basierte auf Ergebnissen des IEA HPT Annex 49 zur Auslegung und Integration von WP in sog. nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) auf. WP zeigen in Verbindung mit erneuerbarer Energieerzeugung vor Ort eine hohe Effizienz, aber für größere Gebäude- und Gebäudeverbände ist es immer noch eine Herausforderung eine positive Energiebilanz zu erreichen. Potentiale können sich durch die Kombination von Alt- und Neubau ergeben, für die im Annex 61 Strategien entwickelt wurden.

In PEQ werden die Gebäude zu Nettoenergieerzeugern und damit zu einem aktiven Teil des Energiesystems. WP sind auf Quartiersebene eine Schlüsseltechnologie zur Sektorenkopplung und damit zur Verknüpfung des Wärme- und Kältebedarfs mit der Stromerzeugung und zur Einbindung erneuerbarer Energien. Mehrere Akteure sind an der Entwicklung neuer Konzepte für PEQ beteiligt. Hersteller müssen Komponenten und Systemlösungen für die Integration in Gebäuden bzw. Gebäudegruppen und auf Quartiersebene weiterentwickeln. Die Politik braucht Informationen, wie die Energiewende im urbanen Raum und auf Quartiersebene erfolgen kann, sowohl für neu gebaute als auch für bestehende Quartiere. Planungsbüros (Architektur/Design, Energieberatung, Bauphysik, Gebäudetechnik) sowie Bauunternehmen benötigen Informationen für ihre Gebäude, um auf Quartiersebene innovative Konzepte zur Erfüllung ambitionierter politischer Energie- und Emissionsziele zu etablieren.

Zur Erreichung der Ziele des Annex 61 wurden die Aufgaben in Tasks aufgeteilt.

1. **Stand der Technik von Wärmepumpenanwendungen in Plusenergiequartieren:** Durch Literaturrecherche wurde der Stand der Technik von Plusenergiequartieren und Wärmepumpenanwendungen sowohl für neue und bestehende Projekte als auch auf Gebäude- und Quartiersebene untersucht.
2. **Erstellung unterschiedlicher Wärmepumpenkonzepte auf Einzelgebäude- und Quartiersebene:** Dies beinhaltete die Definition und die simulationsbasierte Analyse und Bewertung von PEQ Archetypen.
3. **Technische und wirtschaftliche Bewertung der Wärmepumpenkonzepte für einzelne Gebäude und Quartiere:** Durch techno-ökonomische Analysen werden Wärmepumpenkonzepten für einzelne Gebäude und Quartiere untersucht. Der Schwerpunkt liegt hier auf der

Bewertung von Wärmepumpen in Fernwärmesystemen. Leistungsbewertung realer Wärmepumpen in Plusenergiequartieren und begleitende Simulationen: Für die technische Bewertung von Großwärmepumpen in Quartieren wurden Kältekreisimulation durchgeführt. Die Ergebnisse wurden durch reale Betriebsdaten (Monitoring-Ergebnisse) verifiziert.

4. **Dissemination:** Durch Konferenzbeitrag, Publikation in internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften und durch die Organisation von und die Teilnahme an nationalen und internationalen Workshops und durch Kollaboration mit dem IEA EBC Annex 83, dem IEA SHC Task 66 sowie dem IEA HPT A62 wurde das in der internationalen und nationalen Kooperation erarbeitete Wissen verbreitet werden.

Weiterführende Arbeiten sollten sich zum einen auf die Umsetzung und Monitoring von neuen PEQs – sowohl Neubau als bestehende Quartiere – konzentrieren, als auch auf die Quellenerschließung im urbanen Raum, wie z.B. Sondenfelder, Abwärmenutzung, Mehrquellensysteme.

## 2 Abstract

The building sector plays a key role in reducing CO<sub>2</sub> emissions and thus achieving the climate protection goals. Neighborhoods offer the potential for further efficiency improvements through coordinated solutions for different building uses and load patterns, which can provide synergies on both the electrical and thermal sides.

The overarching goal of IEA HPT Annex 61 was to assess the role of heat pumps (HP) in net-positive energy districts (PED). In particular, it aims to highlight the efficiency potential of districts that can be unlocked through the use of HPs with the goal of achieving a positive energy balance. Annex 61 is based on the results of IEA HPT Annex 49 on the design and integration of HPs in so-called nearly zero energy buildings (nZEB). High efficiency of HPs together with on-site renewable energy generation has been demonstrated, but achieving a positive energy balance remains a challenge for larger buildings and building complexes. Potential benefits can arise from combining existing and new buildings, for which strategies have been developed in Annex 61. In PED buildings become net energy producers and thus an active part of the energy system.

HPs are a key technology at the neighborhood level for sector coupling, thus linking heating and cooling demand with electricity generation and integrating renewable energies. Several stakeholders are involved in developing new concepts for PEQ. Manufacturers must further develop components and system solutions for integration in buildings or building groups and at the neighborhood level. Policymakers need information on how the energy transition can be implemented in urban areas and at the neighborhood level, for both newly constructed and existing neighborhoods. Planning offices (architecture/design, energy consulting, building physics, building technology) and construction companies need information for their buildings to establish innovative concepts at the neighborhood level to meet ambitious political energy and emissions targets.

To achieve the objectives of Annex 61, the work has been divided into tasks.

1. **State of the art of heat pump applications in plus-energy districts:** Through literature research, the state of the art of plus-energy districts and heat pump applications was examined for both new and existing projects as well as at the building and district level.
2. **Development of various heat pump concepts at the individual building and district level:** This included the definition and simulation-based analysis and evaluation of PEQ archetypes.
3. **Technical and economic evaluation of heat pump concepts for individual buildings and districts:** Heat pump concepts for individual buildings and districts are examined through techno-economic analyses. The focus here is on the evaluation of heat pumps in district heating systems. Performance evaluation of real heat pumps in net-positive energy districts and accompanying simulations: Refrigeration cycle simulations have been carried

out for the technical evaluation of large heat pumps in districts. The results have been verified by real operating data (monitoring results).

4. **Dissemination:** The knowledge developed in international and national cooperation was disseminated through conference presentations, publication in international scientific journals, the organization of and participation in national and international workshops, and collaboration with IEA EBC Annex 83, IEA SHC Task 66 and IEA HPT A62.

Further work should focus on the implementation and monitoring of new PEQs – both new buildings and existing neighborhoods – as well as on the development of sources in urban areas, such as probe fields, waste heat utilization, and multi-source systems.

# 3 Ausgangslage

Der Gebäudesektor ist für rund 37 % der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich, wovon 10 % auf das Baugewerbe entfallen [1]. Um die Neutralitätsziele für 2050 zu erreichen, müssen die derzeitigen Emissionen drastisch gesenkt werden. Es besteht kaum Zweifel daran, dass der Einsatz von Wärmepumpen in Gebäuden neben der thermischen Sanierung eine der besten und oft die einzige Option zur Dekarbonisierung des Gebäudebestands ist. Basierend auf unterschiedlichen Szenarien wird im Jahr 2050 mehr als 50% des Wärmebedarfs der Gebäude von Wärmepumpen (WP) gedeckt werden. Es wird erwartet, dass die Mehrheit der Gebäude bis dahin Niedrigstenergie-Gebäude sein werden.

Wärmepumpen werden damit einen substanziellen Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen und Erhöhung der Energieversorgungssicherheit bzw. -unabhängigkeit leisten. Fernwärme scheint eine weitere vielversprechende Lösung in urbanen Gebieten und in bestehenden Gebäuden zu sein, wenn der Einsatz von WP eingeschränkt bzw. technisch und wirtschaftlich anspruchsvoll ist (Quellennutzung, Platzbeschränkungen, Schallemissionen, usw.). Die Dekarbonisierung der Fernwärme stellt eine weitere Herausforderung dar, bei der WP erwartungsgemäß eine bedeutende Rolle spielen werden.

WP können auf verschiedene Weise in Gebäude und Fernwärmesysteme integriert werden:

- große zentrale Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Fernwärmeversorgung,
- mittelgroße Wärmepumpen in Gebäuden- oder Gebäudeverbänden, oder
- dezentral wohnungsweise Klein- und Kleinstwärmepumpen.

Die beste Integrations-Option hängt jeweils von den örtlichen Gegebenheiten, dem individuellen Fernwärmesystem und dem Strommix sowie von der Perspektive des Gebäudeeigentümers gegenüber dem des Fernwärmesystem sowie der zukünftigen Entwicklung ab (Energiepolitik).

Dieser IEA HPT Annex, der Partner aus verschiedenen Ländern (AT, CH, D, It, JP, USA) zusammenbringt, bietet den idealen Rahmen für den Austausch von Wissen und Erfahrungen und beschleunigt so die Forschung nach optimierten Lösungen für Plusenergiequartiere (PEQ) durch die Entwicklung von Datenbanken und Guidelines. Anhand ausgewählter Beispiele aus der Ingenieurpraxis und Forschung werden in diesem Annex die Vorteile aufgezeigt, mit Simulationswerkzeugen die optimale Lösung aus Sicht der Gebäudenutzer:innen und des Klimaschutzes zu entwickeln.

Die österreichische Beteiligung am IEA HPT Annex 61 durch österreichische Projekt Wärmepumpen in Plusenergiequartieren ermöglicht Erkenntnisse und Erfahrungen aus den nationalen F&E-Projekten einzubringen sowie Erfahrungen und Ergebnisse aus den internationalen Projekten (s.u.)

zu nutzen. Dadurch gewinnt der Forschungsstandort Österreich weiter an internationaler Sichtbarkeit. Zudem werden durch die Kooperation im Annex weiterführende Aktivitäten eingebracht. Durch den Informationsaustausch und die Diskussionen mit internationalen Expert:innen wird ein gemeinsamer Erkenntnisgewinn erwartet der damit zum Wettbewerbsvorteil führen wird. Insbesondere ermöglicht das nationale Projekt die Teilnahme an den internationalen Partnertreffen sowie an den im Zeitraum stattfindenden IEA HPT Konferenzen (2023, 2026).

Die internationale und nationale Kooperation im Annex 61 HP in PED, Wärmepumpen in Plusenergiequartieren, führen die Arbeiten fort, die im IEA HPT Annex 49, Wärmepumpen für Niedrigstenergiegebäude durchgeführt wurden. Die Aktivitäten im IEA HPT A 49 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Evaluation und Vergleich der Definitionen von nZEBs der teilnehmenden Länder in Bezug auf den Einfluss auf Wärmepumpentechnologien;
- Design von Wärmepumpen-Systemen für verschiedene Anwendungen in Wohngebäuden oder tertiären Gebäuden für optimale Effizienz und minimale Kosten sowie unter Berücksichtigung der Netzbelastung und Netzflexibilität;
- Untersuchung der Integrationsmöglichkeiten für Wärmepumpensysteme bei multifunktionaler Betriebsweise (Mehrquellensysteme, Kombiniertes Heizen und Kühlen);
- Zusammenfassen der Erfahrungen beim Monitoring von nZEB mit verschiedenen Wärmepumpen-Konzepten und Technologien in den beteiligten Ländern mit unterschiedlichem Klima und verschiedenen Marktbedingungen zu sammeln;
- Empfehlungen für integrierte Wärmepumpensysteme sowie für Wärmepumpensystem-Design und Regelung;

Auf der Grundlage von Simulationsstudien [9] und Monitoring-Projekten, die im Rahmen von Annex 49 für verschiedene Gebäudenutzungen durchgeführt wurden, wurde festgestellt, dass WP eine hohe Effizienz für Anwendungen in Niedrigstenergiegebäuden aufweisen, wobei es für größere Gebäude immer noch eine Herausforderung ist, hohe Energieziele wie eine Plus-Energiebilanz zu erreichen (siehe [2]). Für kleinere Gebäude konnte jedoch in mehreren Projekten eine positive Energienbilanz bestätigt werden. Die Ausweitung der Analyse auf Gebäudecluster [8] kann daher Vorteile bringen, um ehrgeizige Energieziele wie Plusenergie-Quartiere aufgrund weiterer Integrationsmöglichkeiten auf der elektrischen und thermischen Seite zu erreichen.

Die im Rahmen des IEA HPT Annex 49 erarbeiteten Wärmepumpenkonzepte für Niedrigstenergiegebäude wurden im IEA HPT Annex 61 auf Quartiere übertragen. Aufbauend auf den Ergebnissen des IEA HPT A49 wurde folgendes primäre Ziel für den IEA HPT A61 definiert:

Untersuchung und Optimierung von Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in Kombination mit erneuerbaren Energien zur Anwendung in Plusenergiequartieren mit dem Schwerpunkt auf Nah- und Fernwärmesysteme. Abbildung 1 zeigt schematisch die Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in Plusenergiequartieren.

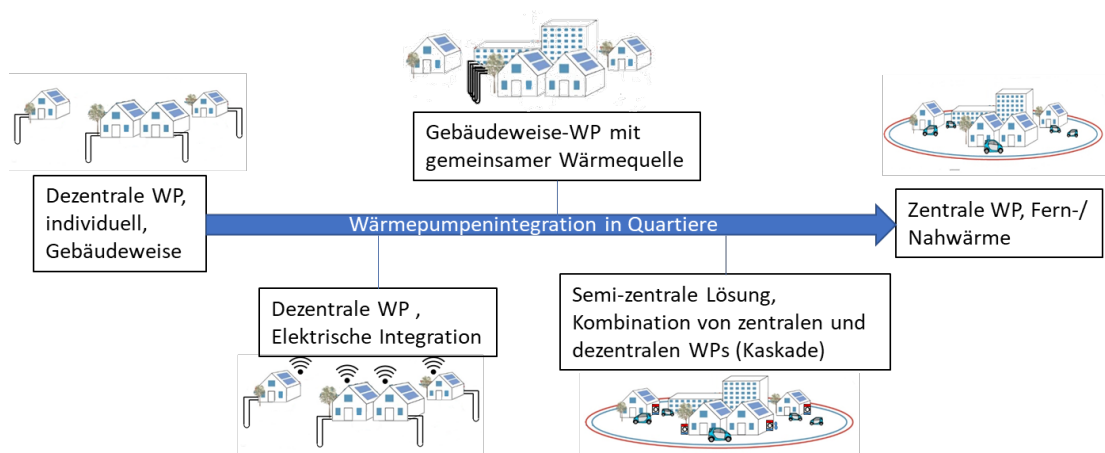


Abbildung 1: Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in Plusenergiequartiere (Quelle: Wemöner, C. OST)

Im Rahmen der internationalen Kooperation im IEA HPT Annex 61 stehen Demonstrationsprojekte für die unterschiedlichen Integrationsmöglichkeiten zur Verfügung, siehe Abbildung 2. Im österreichischen Projekt wird schwerpunktmäßig das Projekt Innsbruck Campagne (UIBK) eingebracht, zu dem fließen Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Projekten PhaseOut (UIBK), ru27 (UIBK), Sozial100%Erneuerbar (AIT), SYSPEQ (AIT), EXCESS (AEE Intec), Hybride LSC (AEE INTEC).



Abbildung 2: Überblick über die Demonstrationsprojekte im IEA HPT Annex 61 (Quelle: Wemöner, C. OST)

### Nationale Projekte:

FFG Campagne Areal (UIBK): Im Rahmen des Forschungsprojekts Campagne Areal wurde eine energetische Optimierung des Wärmeerzeugungs- und Verteilungssystems durchgeführt [3]. Das darauffolgende detaillierte energetisches Monitoring konzentrierte sich auf Warmwasserverbrauch und Verteilungsverluste sowie auf die Effizienz der zentralen Wärmepumpe. Ein Gebäude wurde detailliert vermessen. Simulationsmodelle wurden verwendet, um die Analyse der Messungen zu unterstützen und ein Entscheidungstool zu optimieren.

Wohnanlage Rum27 (UIBK): Das Wohnprojekt gilt als das größte Passivhaus Plus-Wohnquartier weltweit. Über einen Anschluss an die Fernwärme und mittels dezentraler WP wird die gesamte Wohnanlage beheizt. Das Konzept der dezentralen WP in Verbindung mit Fernwärme wurde simulationstechnisch am Beispiel der Anlage untersucht und bewertet [5], [6]. Die Bewertung erfolgte unter Berücksichtigung energetischer Kennzahlen und bezieht auch eine volkswirtschaftliche bzw. energiepolitische Betrachtung mit ein.

FFG Projekt PhaseOut (UIBK): Zur Steigerung der Sanierungsrate sind neue minimalinvasive und skalierbare Sanierungsverfahren erforderlich [6], die innovative Sanierungssysteme für die thermische Hülle und erneuerbare Wärmeversorgung vereinen. Standardisierung und industrielle Vorfertigung ermöglichen eine Reduktion der Kosten bei gleichzeitig niedrigerem Aufwand in situ und einer höheren Qualität. Dieses innovative und multidisziplinäre Demo-Projekt hat das Ziel, innovative Lösungen weiterzuentwickeln und optimierte Sanierungsprozesse, unter besonderer Berücksichtigung serieller/industrialisierter Ansätze, aufzuzeigen. Neben der Entwicklung zweier innovativer, kompakter Wärmepumpentypen speziell für die Sanierung - eine Booster-WP und eine Mini-Split-Brauchwasser-WP - wird eine modulare und vorgefertigte Fassade entwickelt und in den Demo-Gebäuden eingesetzt.

Sozial100%Erneuerbar (AIT): Innovatives Energiekonzept zur 100% erneuerbaren (Vor-Ort) Wärme- und Kälteversorgung einer neuen Sozialwohnbauanlage mit 297 Wohnungen inkl. u.a. drei Sole/Wasser-Wärmepumpen zur Beheizung sowie eine mit PV-Strom betriebene Abwasser-WP zur Brauchwasserbereitung.

SYSPEQ (AIT): Planungskonzepten für PEQ und deren Betrieb als Energiegemeinschaften; sanierte Bestandsbauten mit PV-Strom betriebenen WP; Techno-ökonomische Bewertung der WP-Konzepte auf Gebäude- und Quartiersebene sowie Erfahrungen aus dem realen Betrieb der WP-Anlagen.

EXCESS (AEE INTEC): Im HORIZON Europe Projekt EXCESS werden anhand von 5 Demonstratoren Umsetzungen für PEDs untersucht. AEE INTEC ist dabei verantwortlich für die Demo Puchstraße in Graz, Österreich. Am ehemaligen Tagger Areal in Graz wird ein Quartier mit insgesamt 31.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche stufenweise in Richtung PED entwickelt. Dabei kommen als zentrales Element der Energieversorgung am Standort kaskadierte Grundwasserwärmepumpen zum Einsatz, die primär mit dem lokal erzeugten PV-Strom betrieben werden. Bereits in der Heizsaison 23/24 konnte die bestehende Gasheizung stillgelegt werden und der Wärmebedarf rein über Wärmepumpen abgedeckt werden. Gemeinsam mit dem Operating Agent und der österreichischen Projektleitung wurde beim Start des IEA HPT Annex 61 jedoch entschieden, den Fokus der Aktivitäten von AEE INTEC im vorliegenden Projekt auf den zweiten Demonstrator (siehe unten) zu legen, da dort Umsetzungen mit noch höherem Neuheitsgrad erwartet wurde.

Hybride LSC (AEE INTEC): Im Forschungs- und Demonstrationsprojekt Hybrid LSC, gefördert durch den Klima- und Energiefonds im Rahmen der Vorzeigeregion Energie – Green Energy Lab, wurde

anhand mehrerer Demonstratoren untersucht, wie Energiegemeinschaften und PEDs einen Beitrag zur Flexibilisierung der Energieversorgung lokal und in übergeordneten Netzen leisten können. Zwei der Demonstratoren wurden von AEE INTEC betreut, wobei der Demonstrator Sargfabrik in Wien als Referenzsystem für den Transfer in den Annex gewählt wurde, da hier zeitgleich zwei Innovationen untersucht wurden die sich mit dem Zusammenspiel von Fernwärme, Wärmepumpen und PED beschäftigen.

# 4 Projektinhalt

Im Rahmen des IEA HPT TCP werden sachliche, ausgewogene Information zum Heizen sowie zur Kühlung und Klimatisierung mittels Wärmepumpen- (WP) Technologien entwickelt und verbreitet. Die strategische Zielsetzung des IEA HPT TCP, ist die Verbreitung von WP-Technologien in allen Anwendungsbereichen zu beschleunigen, in denen sie den Energieverbrauch senken und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zum Wohl der Umwelt steigern können. Zu diesem Zweck werden internationale Kooperationsprojekte (Annex/Project) durchgeführt, Workshops sowie eine internationale Konferenz (IEA HPC, im 3-Jahresintervall) organisiert und ein Informationsservice (IEA Heat Pump Centre) betrieben.

Die spezifischen Ziele des IEA HPT Annex 61 „Wärmepumpen in Plusenergiequartieren“ waren:

- Darstellen der Rolle/Positionierung von WP in Plusenergiequartieren (PEQ)
- Entwicklung allgemeiner Konzepte für die Integration von WP in neue und bestehende Quartiere für eine Plus-Energiebilanz
- Modellierung/Dimensionierung größerer WP für die zentrale Integration in Wohngebieten
- Ermittlung der Effizienz von WP-Konzepten im realen Betrieb in Wohngebieten (Demonstrationsprojekte)
- Schaffen der Grundlagen für die Erstellung von Leitlinien zur Erreichung der Plus-Energiebilanzen in Quartieren durch WP bzw. WP-Systeme

Die Aufgaben im Rahmen dieses Annexes wurden in sog. Tasks gegliedert:

Task 1. Stand der Technik von WP in PEQ.

- Definition und politische Randbedingungen von PEQ;
- Marktsituation von PEQ: verfügbare Technologien und mögliche Randbedingungen;
- Konzepte für WP in PlusEnergie-Gebäuden: Beschreibung von existierenden PEQ in den Partnerländern;
- Konzeptbewertung von realisierten Wärmepumpen in PEQ und Quervergleich zwischen den Partnerländern.

Task 2. Konzeptanalyse auf Einzelgebäude- und Quartiersebene mit Fokus auf Synergien zwischen gebäude- und quartiersintegrierten Wärmepumpen, Sanierungsoptionen und Möglichkeiten zur Lastverteilung und Abwärmenutzung.

- Dezentrale Konzepte für einzelne Gebäude: Leistung und Energieflexibilität (unter Einbeziehung der Erfahrungen aus IEA HPT Annex 49),
- Charakterisierung dezentraler WP-Lösungen, Möglichkeiten und Grenzen der Erreichung einer positiven Energiebilanz auf individueller Gebäudeebene;
- Erstellung von Konzepten zur Erreichung der Plus-Energiebilanz mit Wärmepumpen für Gebäudecluster/Quartiere:
  - o Lastausgleichsoptionen für verschiedene Gebäudekategorien (z.B. Wohn-/Bürogebäude),

- Verfügbarkeit/Integration von Wärmequellen,
- Integration von zentralen Speichern und Optionen für die Integration von Wärmepumpen bei Neubau und Sanierung;
- Vergleich von zentralen und dezentralen Konzepten;
- Ranking von Konzepten für PEQ anhand von geeigneten Randbedingungen.

Task 3. Technisch-wirtschaftliche Analyse von dezentralen vs. zentralen Konzepten unter Berücksichtigung der Flexibilität

- Modellierungskonzepte und Dimensionierung von größeren WP (> 200 kW) für Quartierskonzepte;
- Technologieentwicklung von WP für Niedertemperaturnetze;
- Wärmequellenbewertung und Quellenintegration/Kollektive Wärmequelle für Groß-WP in Quartieren;
- Einsatzmöglichkeiten von natürlichen Kältemitteln für Einzelgebäude und Quartiere, z.B. CO<sub>2</sub>, R717, R290, etc.
- Wirtschaftlichkeits Bewertung der Konzepte zur Erreichung einer Plus-Energiebilanz;
- Auswertung der Regelung und Integration von thermischen und elektrischen Speichern als dezentrale oder zentrale Speicher zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in Plus-Energie-Quartieren.

Task 4. Reale Effizienz von Wärmepumpen in Wohngebieten (Demonstration/Monitoring).

- Optimierungspotenziale;
- Überprüfung von WP-Modellen, Vergleich Messung/Monitoring und Simulation;
- Dimensionierung und Regelungsstrategien in den untersuchten Gebäuden und Quartieren;
- Bewertung von Flexibilitätsoptionen durch den Betrieb von WP in untersuchten Plus-Energie-Quartieren;
- Erfahrungen mit neuen und bestehenden Gebäuden.

Task 5. Dissemination

- Konferenz- und Journalbeiträge
- Workshops
- Kooperation mit IEA SHC Task 66 und IEA EBC Annex 83
- IEA HP Konferenz

Österreichische Aktivitäten erfolgten in allen Subtasks des internationalen Projekts, wobei jeder Partner schwerpunktmäßig zu je einem Subtask beitrug. Für die österreichische Beteiligung in IEA HPT Annex 61 lag der Schwerpunkt auf folgende methodische Schritte:

- Ganzheitlichen Bewertung von PEQ mit Schwerpunkt auf Wärmepumpensystemen unter besonderer Berücksichtigung von Kriterien und Prinzipien einer nachhaltigen Entwicklung.
- Internationale Vernetzung durch Teilnahme an den Annex 61-Workshops sowie nationale Vernetzung und Verbreitung der Ergebnisse durch die beteiligten Partner

Das österreichische Projekt unterstützte folgende Aktivitäten im internationalen Projekt:

- Zusammenfassung des Stands der Technik in Bezug auf die Anwendung von WP in Stadtvierteln mit positiver Energiebilanz
- Bewertung der Rolle von WP und WP-Systeme in Stadtteilen/Stadtbezirken
- Generische Konzepte für WP und WP-Systeme in Stadtteilen/Stadtbezirken
- Technisch-ökonomische Analysen von WP in Stadtteilen/Stadtbezirken
- Modellierungsansätze größerer WP für Gebäudekomplexe (Komponentenebene/Systemebene) als Input für die Dimensionierung zentraler Systeme
- Dimensionierungsmethoden für dezentrale und zentrale WP in PEQ
- Wärmequellenintegration sowie Integration von elektrischen und thermischen Speichern auf Quartiersebene (zentral vs. dezentral)
- Bewertung der Regelungs- und Flexibilitätsoptionen von WP für Gebäudegruppen/Quartiere
- Sanierungskonzepte zur Erreichung einer Null-/Positiv-Energie-/Emissionsbilanz mit WP
- Monitoring-Evaluierung des WP Einsatzes in neuen PEQ und Quartieren mit Gebäudebestand
- Roadmap zu Netto-Null-/Positiv-Energie-Quartieren mit WP, unter Betonung der Bedeutung von WP in Kombination mit lokaler PV-Stromerzeugung sowie in Kombination mit anderen elektrischen Verbrauchern wie batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen für belastbare dezentrale Energiesysteme auf Quartiersebene
- Verbreitung der Ergebnisse auf der Website, in Veröffentlichungen, Workshops und Berichten.

Das internationale Konsortium setzte sich wie folgt zusammen:

Deutschland:

- Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm; EnCN Building – Energy-efficient systems), <http://www.encn.de>
- Steinbeis-Innovationszentrum energieplus (siz energieplus) [siz-energieplus.de](http://siz-energieplus.de)
- TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik [tu-freiberg.de/fakult4/iwtt/ttd](http://tu-freiberg.de/fakult4/iwtt/ttd)
- TEB GmbH – Transferzentrum Energieeffizientes Bauen, [www.teb-online.de](http://www.teb-online.de)
- Institute of Solar Energy research, Electrical Energy systems, [www.isfh.de](http://www.isfh.de)

Italien:

- Alma Mater Studiorum – University of Bologna; Department of Industrial Engineering; [www.unibo.it](http://www.unibo.it)

Japan:

- Nagoya Industrial Science Research Institute

Schweiz:

- OST – University of Applied Sciences, Campus Rapperswil, IET Institute of Energy Technology; [/www.ost.ch/iet](http://www.ost.ch/iet)

USA:

- HVAC&R Equipment Performance Group; Energy and Environment Division (EED) of the Engineering Laboratory (EL); National Institute of Standards and Technology (NIST); [www.nist.gov](http://www.nist.gov)

# 5 Ergebnisse

## 5.1 Stand der Technik von PEQ

### 5.1.1 Hintergrund

Obwohl Städte nur 3 % der weltweiten Fläche einnehmen, verursachen sie etwa 75% des Primärenergieverbrauchs und 50–60% der Treibhausgasemissionen [10]. Während EU-Richtlinien für neue Einzelgebäude ab dem 1. Januar 2021 Nahe-Nullenergiehäuser (nearly Zero Energy Buildings – nZEB) vorschreiben (EP [11] aktuelle Version 2023), wurden im Rahmen des Aktionsplans für strategische Energietechnologien (SET-Plan) 3.2 „Intelligente Städte und Gemeinden“ «Positive Energy Districts (PED)» als neues Konzept zur Beschleunigung der urbanen Energiewende vorgestellt. Die Umsetzung wird durch das Ziel von 100 PEQ in Europa bis 2025 vorangetrieben [12], von denen 61 im Jahr 2020 dokumentiert sind [13].

### 5.1.2 Definition von PEQ

Trotz einer wachsenden Zahl von PEQ-Projekten, die beispielsweise durch EU-Förderprogramme der Driving Urban Transition (DUT)-Partnerschaft und Initiativen wie dem IEA EBC Annex 83 [14] bzw. die EU-Cost action PED EU Net [15] unterstützt werden, gibt es noch keine gemeinsame bzw. einheitlich Definition von PEQ. Ein Weißbuch zu PEQ [16] enthält einen Definitionsrahmen mit dem Ziel, eine gemeinsame Vision von PEQ in ganz Europa zu schaffen. Darin werden PED definiert als „energieeffiziente und energieflexible städtische Gebiete oder Gruppen miteinander verbundener Gebäude, die keine Netto-Treibhausgasemissionen aufweisen und aktiv einen jährlichen lokalen oder regionalen Überschuss an erneuerbarer Energie verwalten“. Die Zielsetzung hinsichtlich der PEQ-Funktionen sowie Leitlinien und Institutionen werden im Folgenden zusammengefasst:

#### **Funktionen von PEQ im regionalen Energiesystem**

Ziel ist die Optimierung der drei Funktionen von PEQ (Energieeffizienz, Energie-Flexibilität und Energieerzeugung) im Hinblick auf Klimaneutralität und Energieüberschüsse unter Berücksichtigung der Leitprinzipien.

- Lebensqualität
- Inklusivität
- Nachhaltigkeit

Dies wird ermöglicht durch

- Politische Vision und Governance-Rahmen
- Aktive Einbindung von Akteuren und Bürgerinnen/Bürgern
- Integration von Energie- und Stadtplanung
- IKT- und Datenmanagement

Daher erfordern PEQ die Integration von Systemen und Infrastrukturen sowie die Interaktion zwischen Gebäuden, Nutzern und den regionalen Energie-, Mobilitäts-, Informations- und Kommunikationssystemen. Gleichzeitig wird die Energieversorgung gesichert und die Lebensqualität der Menschen im Einklang mit sozialer, wirtschaftlicher und ökologischer Nachhaltigkeit gewährleistet. Da PEQ ein ehrgeiziges Konzept sind und die Stromerzeugung vor Ort oft mit Solartechnologien verbunden ist [17], sind Lastungleichgewichte und die damit verbundene Winterlücke wichtige Faktoren für PEQ, um die Netzinteraktion zu reduzieren bzw. PEQs netzdienlich zu betreiben. Der quartiersbezogene Ansatz erscheint daher als die richtige Größenordnung, da für einzelne Gebäude die Interaktionen und Synergien auf Quartiersebene nicht berücksichtigt werden, während ganzheitliche Stadtkonzepte eine zu hohe Komplexität aufweisen [18].

### **5.1.3 Systemgrenzen**

Lindholm et al. [19] haben auf der Grundlage der SET-Plan-Maßnahmen 3.2 [20] unterschiedlich ambitionierte Kategorien von PEQ-Systemgrenzen in Abhängigkeit von der Netzinteraktion ausgearbeitet. Während die ambitionierteste Systemgrenze als „PEQ autonom“ völlig autark ist und nur der Export von erneuerbaren Energien erlaubt ist, kann ein „PEQ dynamisch“ Energie importieren, solange die erneuerbare Produktion vor Ort innerhalb der geografischen Grenze im Jahresdurchschnitt höher ist. Ein „PEQ virtuell“ schafft eine „virtuelle“ Grenze in Bezug auf vertragliche Vereinbarungen, die eine Produktion außerhalb des Quartiers bzw. der geographischen Grenze durch Infrastruktur mit vertraglicher Bindung zum Quartier ermöglicht. zeigt eine graphische Darstellung der Systemgrenzen.

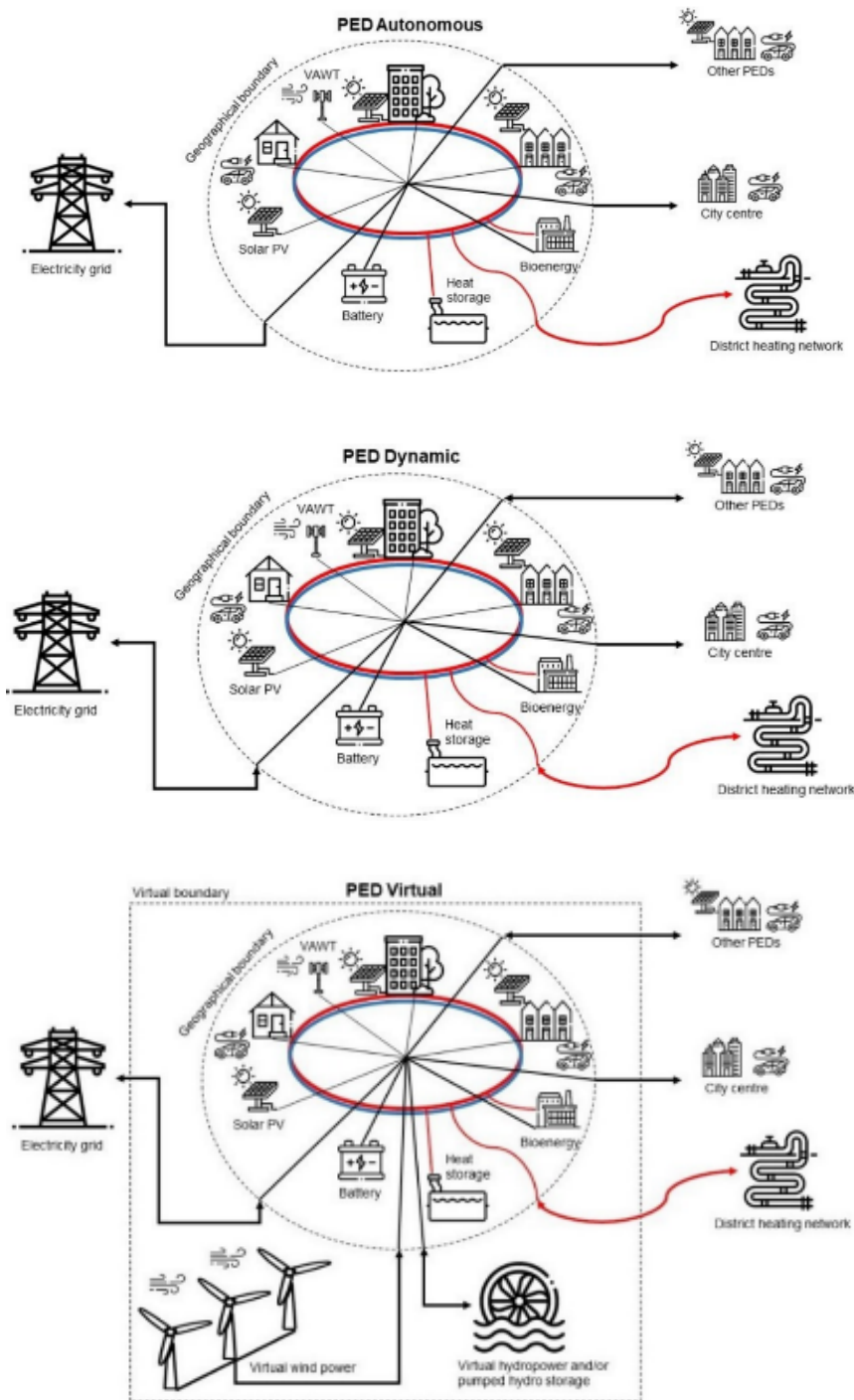


Abbildung 3: Systemgrenzen für PEQ autonom (oben), PEQ dynamisch (Mitte) und PEQ virtuell (unten), nach [19]

Parallel dazu erarbeitete das ZEN-Forschungszentrum, eine Kooperation zwischen SINTEF und der NTNU in Trondheim, Norwegen, eine umfassende Definition auf der Grundlage folgender Kategorien „Energie und Leistung“, „Treibhausgasemissionen“, „Wirtschaftlichkeit“, „Mobilität“ und «Flächennutzung» [21]. Jede Kategorie umfasst eine Reihe von entsprechenden Kennzahlen (KPI) zur

Bewertung, für die auch Toolsets zur Ermittlung und Überprüfung der KPIs entwickelt wurden. Die Definition wird in neun Pilotquartieren in Norwegen angewendet und untersucht.

Seifried et al. [22] kommen nach einer Analyse der Definitionen von EU-Programmen und ausgewählten PEQ-Projekten zu dem Schluss, dass es noch viele Unterschiede gibt, z. B. in Bezug auf die PEQ-Systemgrenzen, die Methoden zur Berechnung der Energiebilanz und den Umfang für nicht energiebezogene Aspekte.

#### **5.1.4 PEQ Projekte**

Im Rahmen der COST-Action ist eine Website erstellt worden ([www.pedeu.net](http://www.pedeu.net)), die auch eine PEQ-Datenbank weltweiter PEQ-Projekte umfasst, die zurzeit 114 Einträge enthält (Stand 2025). Diese Projekte sind unterteilt in 29 PEQ-Labore, 45 PEQ-Fallstudien und 54 PEQ relevante Fallstudien, die teils nur einzelne Aspekte von PEQ umfassen.

In Österreich sind neun PEQ Projekte dokumentiert, darunter Innsbruck Campagne (PEQ relevante Fallstudie, Abschnitt siehe unten), Salzburg Gneis (PEQ Fallstudie), Graz Reininghausgründe (PEQ Fallstudie), Schönbühel-Aggsbach (PEQ relevante Fallstudie) sowie fünf Projekte in Wien, darunter ein PEQ Lab (Wien Laxenburgerstraße), zwei PEQ relevante Fallstudien (Kriegerheimstätten und Leben am Wilhelminenberg) sowie zwei PEQ Fallstudien (Am Kempelenpark, Zukunftsquartier).

Eine Analyse der 61 PEQ der JPI Broschüre sowie von 55 dokumentierten «EnergiePlus» Quartieren in Deutschland und 50 sog. «2000-W-Arealen» in der Schweiz lieferten die folgenden Ergebnisse zu den Quartieren und der eingesetzten Technologien.

Die meisten Projekte liegen in Süd- und Westdeutschland. Die Größe variiert zwischen 16 und 3000 Wohnungen bzw. 2 bis 180 Gebäude auf einer Gesamtfläche von 7600 bis 2 Mio. m<sup>2</sup>. Die meisten Quartiere umfassen jedoch weniger als 200 Wohnungen, nur 18% der analysierten Quartiere werden nicht zu Wohnzwecken genutzt. Die meisten Quartiere sind mit PV-Anlagen ausgestattet, der Anteil der installierten Solarthermieanlagen liegt unter 25%. Sowohl Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als auch Wärmepumpen (WP) werden eingesetzt in geringerem Maße Fernwärme (FW). 38% der WP sind zentral integriert, während die übrigen dezentrale Varianten sind. Die KWK ist überwiegend an thermische Netze innerhalb der Quartiere angeschlossen.

Die 50 analysierten 2000-W-Areale in der Schweiz sind überwiegend neue Quartiere teilweise noch in der Realisierung; 13% sind bestehende Quartiere, die zum 2000 W-Areal werden. Die Areale befinden sich in 13 der 26 Schweizer Kantone und umfassen eine Gesamtfläche zwischen 4500 m<sup>2</sup> und 900000 m<sup>2</sup>. Die meisten Quartiere weisen eine Mischnutzung aus Wohnen mit 81 bis 1500 Wohnungen und Büro/Gewerbe mit 200 bis 1500 Arbeitsplätzen auf, 9 der 50 Quartiere sind reine Wohnquartiere. WP sind neben FW die dominierenden Wärmeerzeuger mit Anteilen von ca. 75%, von denen 30% erdgekoppelt sind. Oft werden sie mit in Kombination mit PV-Anlagen betrieben, die in

über 90% der Quartiere installiert sind. Fast alle Projekte beziehen zusätzlich zertifizierten Ökostrom.

61 Projekte der Initiative „100 PEQ in Europa bis 2025“ wurde in [23] und [17] analysiert. 32 haben das explizite Ziel einer positiven Energiebilanz, während die anderen 29 als „auf dem Weg zu PEQ“ (Towards-PED) bezeichnet werden bzw. interessante Merkmale für PEQ aufweisen. Die geographische Verteilung über Europa ist nicht gleichmäßig, die skandinavischen Länder haben mit insgesamt 24 Projekten (39%) einen höheren Anteil, insbesondere Norwegen (9), Finnland (7) und Schweden (6), sowie die südeuropäischen Länder mit einem Anteil von 16 Projekten (26 %), insbesondere Italien (8) und Spanien (4). Mitteleuropäische Länder haben 6 Projekte in den Niederlanden, jeweils 4 in Deutschland und Österreich, 2 in Frankreich und je 1 in Belgien, Estland, Ungarn, Irland und der Schweiz. Die Größe reicht von 200.000 bis 25.1 Mio. m<sup>2</sup>, die Quartiere deutlich sind damit deutlich größer als die EnergiePlus Quartiere und 2000-W-Areale. Mit einer Ausnahme umfassen alle Quartiere Mischnutzung aus Wohn- und Nicht-Wohngebäuden. Hinsichtlich der häufigsten eingesetzten Technologien haben 78% eine PV-Nutzung, 62% sind mit WP ausgestattet und 75% nutzen FW.

## 5.2 Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in PEQ

Der Einsatz von Wärmepumpen in Gebäuden ist eine der besten und oft die einzige Option zur Dekarbonisierung des Gebäudebestands. Fernwärme scheint eine vielversprechende Lösung in städtischen Gebieten und in bestehenden Gebäuden zu sein, wenn der Einsatz von Wärmepumpen eingeschränkt und zudem technisch und wirtschaftlich anspruchsvoll ist (Quellennutzung, Platzbeschränkungen, Schallemissionen usw.). Wärmepumpen können auf verschiedene Weise in Gebäude und Fernwärmesysteme integriert werden: große zentrale Hochtemperatur-Wärmepumpen in Fernwärmesystemen, mittelgroße Wärmepumpen block- oder gebäudeweise oder kleine Wärmepumpen dezentral wohnungsweise. Die beste Option hängt ab von den individuellen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Fernwärme und dem Strommix und deren zukünftiger Entwicklung; zudem von der Perspektive – zum einen der Gebäudeeigentümer und zum anderen der Betreiber des Fernwärmesystems. Unter Berücksichtigung Österreichischer Beispiele für Fernwärmesysteme (Wien, Innsbruck) und verschiedene Varianten der Integration von Wärmepumpen werden mittels einer energetischen simulationsbasiert analysiert. Abbildung 4 fasst verschiedene Integrationsmöglichkeiten zusammen. In [24] sind Details zur Simulationsstudie zu finden.

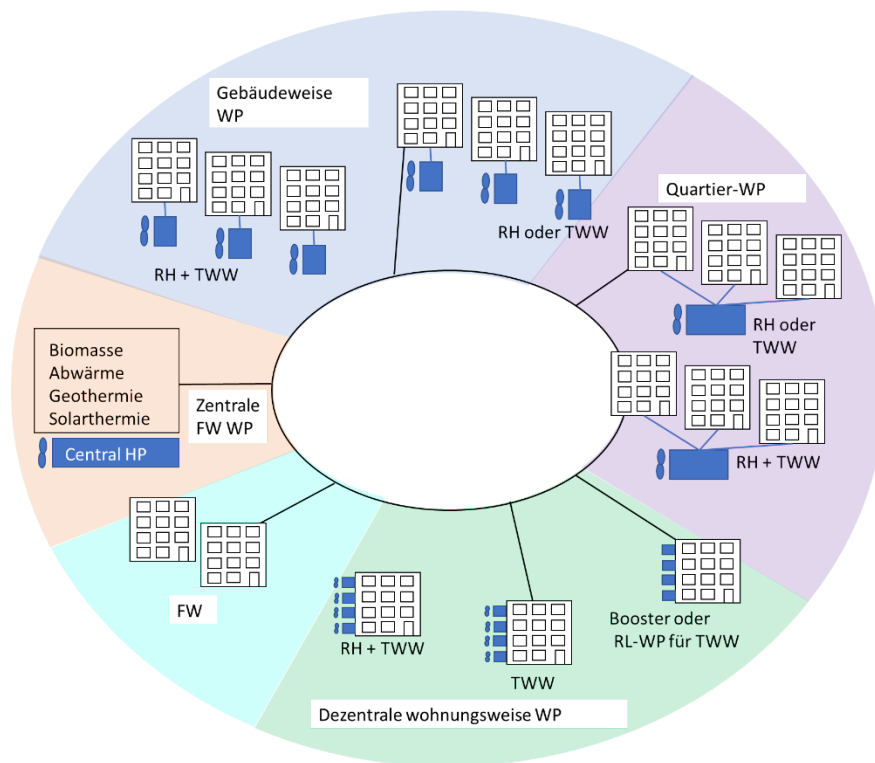


Abbildung 4: Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in Quartiere mit Fernwärme, modifiziert, nach [24]

Aus energetischer Sicht ist der Einsatz dezentraler Booster-Wärmepumpen in Kombination mit Fernwärme nicht empfehlenswert. In der Heizperiode (typischerweise 7 von 12 Monaten) wird die Warmwasserbereitung zu etwa einem Drittel durch Strom und zu zwei Dritteln durch Fernwärme (COP von 3, die Wärmepumpe wird vom Fernwärmenetz gespeist) bereitgestellt. Nur in 5 von 12 Monaten (oder weniger) wird die Wärmepumpe durch Umgebungswärme gespeist. Trotz reduzierter Verteilungs- und Speicher-Verluste im Gebäude führt die Integration von Booster-Wärmepumpen daher nicht zu signifikanten Einsparungen. Der Vorteil liegt vielmehr - sofern die hydraulische Konfiguration dies zulässt - in der Möglichkeit, (teilweise) die Raumkühlung zu gewährleisten. Darüber hinaus kann der PV-Eigenverbrauch leicht erhöht werden, was aus Sicht des Gebäudeeigentümers von Vorteil sein kann.

Die Steigerung des PV-Eigenverbrauchs ist einer der Hauptgründe für die Integration von Booster-Wärmepumpen in Warmwassersysteme. Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine ausschließlich auf die Steigerung des PV-Eigenverbrauchs ausgerichtete Regelungslogik zu einem Anstieg des Strombezugs aus dem Netz führen kann. Der PV-Eigenverbrauch der Wärmepumpen sollte unter Berücksichtigung der Gerätebilanz analysiert werden. Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern kann die Energie aus der PV-Anlage pro Wohnung so gering sein, dass sie fast vollständig zur Deckung des Gerätebedarfs genutzt wird. Dementsprechend würde die Booster-Wärmepumpe in dieser Fallstudie nur bei einer PV-Größe von über 2 kWp/Wohnung zur Steigerung des PV-Eigenverbrauchs beitragen.

Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung sind effizienter als Booster-Wärmepumpen. Ihre Integration in das Gebäude/die Wohnung ist jedoch anspruchsvoller (Luftquelle, optische/gestalterische Aspekte, Schallemissionen). Darüber hinaus führt der Einsatz dezentraler Warmwasser-Wärmepumpen zu einer Reduzierung der Grundlast des Warmwassersystems. In einem theoretischen Warmwassersystem mit 100 % Warmwasser-Wärmepumpen würde es keinen Sommerbetrieb geben. Der Einsatz dezentraler Warmwasser-Wärmepumpen kann eine gute Lösung bei der Gebäudesanierung sein, wenn eine Warmwasserverteilung im Gebäude nicht vorhanden und deren Installation aufwendig ist.

Zentrale Wärmepumpen, die in das Fernwärmenetz integriert sind, müssen typischerweise im Winter bis zu 90 °C und im Sommer 60 °C (oder mehr) bereitstellen. Obwohl große Wärmepumpen typischerweise eine höhere Effizienz erreichen als kleine Wärmepumpen, kann die durch die hohen Senktemperaturen reduzierte Effizienz nicht kompensiert werden.

Im Hinblick auf eine bessere Effizienz erscheint der dezentrale Einsatz von Wärmepumpen daher günstiger. Die Last des Fernwärmesystems sinkt jedoch durch die Integration dezentraler Wärmepumpen, insbesondere bei Warmwasser-Wärmepumpen (sowohl gebäude- als auch wohnungsweise Luft-Wasser-Wärmepumpen) oder dezentralen wohnungsweisen Booster-Wärmepumpen. Die Lastkurve wird für die Fernwärme ungünstig: Die Sommerlast sinkt auf nahezu Null, was zu kürzeren Laufzeiten des Fernwärmesystems führt (nur während der Heizperiode von September bis Mai). Aus einer breiteren Perspektive betrachtet, sind Fernwärmesysteme mit einem erheblichen Gebäudeanteil mit dezentralen Warmwasser-Wärmepumpen nicht wirtschaftlich zu betreiben.

Die Integration gebäude- oder wohnungsweiser Wärmepumpen für die Raumheizung könnte vorteilhaft sein, und für das Fernwärmesystem stellt die verbleibende Last für die Trinkwarmwassererwärmung eine konstante und flache Last dar. Dezentrale Wärmepumpen können mit niedrigen Senktemperaturen (55 °C für Warmwasser und 35 °C für Fußbodenheizung) und somit mit hoher Effizienz betrieben werden. Ein Nachteil von gebäude- oder blockweisen Raumheizungs-Wärmepumpen ist die kurze Betriebszeit (nur im Winter), weshalb ihr Einsatz wirtschaftlich herausfordernd sein kann.

Die Integration von Wärmepumpen in Fernwärme führt nicht generell zu CO<sub>2</sub>-Einsparungen; bei typischen (österreichischen) Fernwärmesystemen (mit relevantem fossilen Anteil) und beim aktuellen EU-Strommix wäre die Integration von Wärmepumpen jedoch immer vorteilhaft. Im Referenzfall könnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen im besten Fall von 12,8 TCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup> a) auf 4,7 TCO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup> a) gesenkt werden. Bei einem künftig zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien werden Wärmepumpen Fernwärme entweder übertreffen oder deren Umstellung auf erneuerbare Energien ermöglichen. Die großflächige Integration von Wärmepumpen wird zu einem Anstieg des Strombedarfs führen, der durch den großflächigen Ausbau erneuerbarer Stromquellen und durch Energiespeicherung zur Kompensation des saisonalen Ungleichgewichts („Mismatch“, „winter gap“) kompensiert werden muss.

Zukünftig sollten Leitlinien für den optimalen Weg zur Dekarbonisierung des Gebäudebestands sowohl eine mikroökonomische (Gebäude- und Fernwärmeperspektive) als auch eine makroökonomische Perspektive berücksichtigen.

### 5.3 PEQ Archtypen und charakteristische Lastkurven

Anhand verschiedener Archtypen von PEQ werden Lastkurven mittels dynamischer Gebäude und Anlagen-Simulation generiert und charakterisiert. Ziel ist es, Entscheidungen hinsichtlich des erforderlichen Mindestenergieeffizienzlevels, der Wärmepumpensystemkonzepte und der Integration erneuerbarer Energien zu unterstützen. Selbst bei Erreichen der Netto-Null Energiebilanz bleibt im Winter eine erhebliche Lücke bestehen, die vom Stromnetz geschlossen werden muss. Die Schließung dieser Diskrepanz zwischen Energiebedarf im Winter und Erzeugung erneuerbarer Energien im Sommer (die sogenannte Winterlücke) ist entscheidend für den Aufbau eines nachhaltigen, bezahlbaren und resilienten Energiesystems. Die Netzspitzenlast kann durch Effizienzmaßnahmen deutlich reduziert werden und ist einer der wichtigsten Leistungsindikatoren zur Bewertung und Optimierung von Quartieren auf dem Weg zu oder der Transformation zu solchen Quartieren.

Für die Bewertung der elektrischen Lastkurven von PEQ wurden verschiedene Archtypische PEQ definiert. Zur Erstellung dieser Lastkurven werden Modelle für fünf Gebäudekategorien entwickelt, die typische Wohngebäude (Einfamilienhaus, kleines und großes Mehrfamilienhaus) sowie Nichtwohngebäude (Bürogebäude und Hotel) repräsentieren. Die Gebäudemodelle sind vereinfacht und stellen eher ein durchschnittliches als ein spezifisches Gebäude dar (siehe Abbildung 5). Einfamilienhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude werden als freistehende Häuser angenommen, während kleine Mehrfamilienhäuser und Hotels als Doppelhäuser gelten, d. h. eine der Wände ist adiabatisch. Details zu den Gebäuden sind in [25] zu finden.

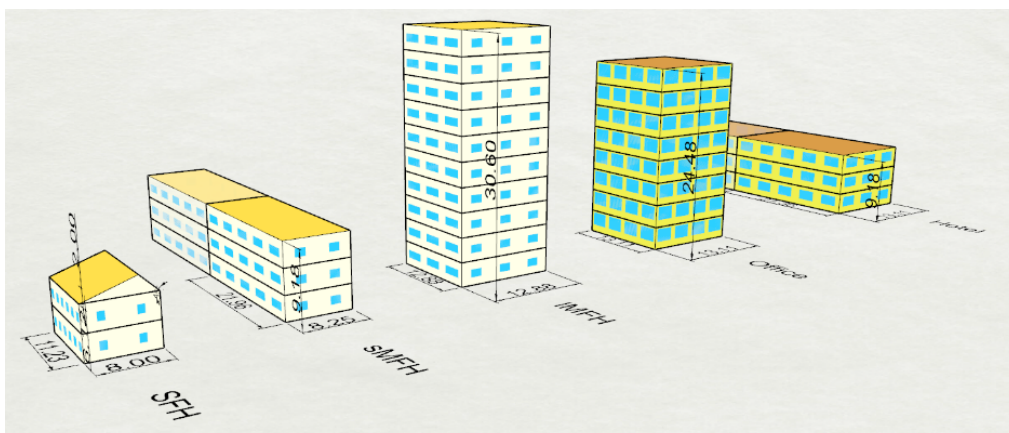


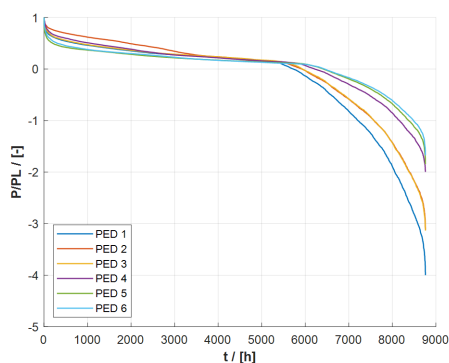
Abbildung 5: Referenzgebäude als Grundlage für die PEQ Archtypen [25]

Die Simulation der PEQ Archetypen (Tabelle 1) erfolgt unter Verwendung des Klimas von Innsbruck und einer Solltemperatur für die Raumluft von 22 °C gemäß OIB-6:2023. Aktive Raumkühlung wird nur im Fall des Bürogebäudes ( $\vartheta_{\text{set}} = 25 \text{ °C}$ ) berücksichtigt.

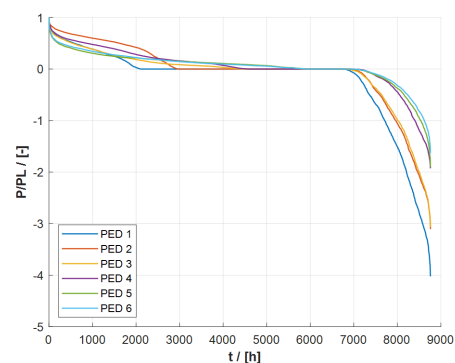
Tabelle 1: PEQ Archetypen nach [25]; Einfamilienhaus (EFH), kleines Mehrfamilienhaus (kMFH), großes Mehrfamilienhaus (gMFH), Büro B

Name	Gebäude- qualität	Gebäude Typen	Wärmepumpen- System
EFH Neu	NEU	100 % EFH	Luft/Wasser
EFH Saniert	DEEP	100 % EFH	Wasser/Wasser
Gemischt Wohnbau neu	NEU	50 % EFH, 40 % kMFH, 10 % gMFH	Luft/Wasser
MFH saniert	BEST	50 % kMFH, 50 % gMFH	Luft/Wasser
Gemischt neu	Neu	40 % kMFH, 30 % gMFH, 30 % B	Wasser/Wasser
Gemischt saniert	BAU	40 % kMFH, 30 % gMFH, 30 % B	Wasser/Wasser

Die normierten elektrischen Lastkurven (P/PL) sind in Abbildung 6 für alle PEQ-Archetypen beispielhaft für den Fall mit großer PV-Anlage ohne (a) und mit Batteriespeicher (b) dargestellt. Bei integrierten Batterien ist die Ausbildung eines Plateaus zwischen Stunde 2000 und Stunde 7000 zu beobachten. Die Länge des Plateaus variiert deutlich in Abhängigkeit vom PEQ-Archetyp (am längsten bei PEQ 1 und am kürzesten bei PEQ 5 und PEQ 6). Sowohl die Winter-Spitzenlast (bei  $t = 0 \text{ h}$ ) als auch die Sommer-Spitzenlast (bei  $t = 8760 \text{ h}$ ) ändern sich durch den Einsatz von Batterien nicht.



(a)



(b)

Abbildung 6: Normierte elektrische Lastkurven (RH, TWW, HHS und AUX) der sechs archetypischen PEDs mit PV und BIPV; (a) ohne und (b) mit Batterie. Positiv: eingekaufter Strom, negativ: verkaufter Strom nach [25].

Abbildung 7 zeigt am Beispiel von PEQ 4 die Verringerung der Winterlücke eines bestehenden Quartiers durch verschiedene Maßnahmen. Referenz ist PEQ 4 mit Standard BAU mit direkterlektischer (DE) Raum- und Trinkwassererwärmung ohne PV. Es werden 90 Kombinationen hinsichtlich der relativen Reduktion des Netzstrombedarfs ( $\Delta E/E$ ) und der Netzspitzenleistung ( $\Delta PL/PL$ ) untersucht. Das globale Optimum stellt die BEST-Sanierung mit GW-WP, großer PV und Batterie dar: Der Strombezug kann um 78 % und die Spitzenlast um 64 % gegenüber der Referenz reduziert werden. Allein der Einsatz von PV führt zu einer deutlichen Verringerung des Netzstrombedarfs (bis zu 33 % mit Batterie), jedoch nur zu einer geringen Reduktion der Spitzenleistung von rund 7 %. Der beste DE-Fall (BEST-Sanierung mit großer PV und Batterie) erreicht eine Reduktion des Netzstrombezugs um 58 % und der Spitzenlast um 31 %. Ohne PV (BEST mit GW-WP) werden 50 % Energie- und 63 % Einsparung der Spitzenlast erzielt. Während eine bessere Gebäudequalität sowohl Energie- als auch Leistungsbedarf senkt, beeinflusst der Wechsel von Luft/Wasser-Wärmepumpe (A/W)-WP zu Grundwasser (GW)-WP den jährlichen Strombedarf kaum: Die bessere Wintereffizienz wird durch den zusätzlichen Energiebedarf der Brunnenpumpe und die bessere Sommerperformance der Luft/Wasser-WP teilweise kompensiert. Die GW-WP reduziert jedoch die Spitzenleistung deutlich.

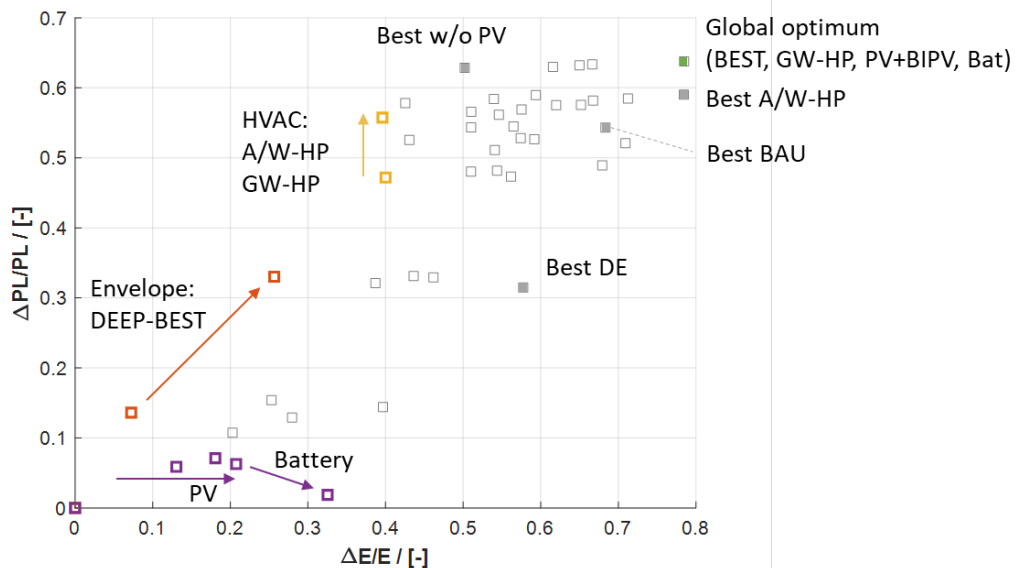


Abbildung 7: Relative Spitzen-Leistung vs. relativer Energieverbrauch für verschiedene Verbesserungsmaßnahmen (Gebäudehülle und Gebäudetechnik) aus [25]; DE, Direktelektrisch, A/W-HP Luftwasser-Wärmepumpe, GW-HP Grundwasser-Wärmepumpe, BIPV PV in Fassade

Trotz einer relevanten Reduzierung des aus dem Netz bezogenen Strombedarfs durch die Integration von Photovoltaik und Batteriespeichern ergibt sich nur ein geringer Effekt auf die Netzlast und

kein relevanter Effekt auf die Netznachfrage im Winter (Winterlücke). Eine Lastverschiebung von der Nacht zum Tag ist möglich und ermöglicht eine bessere Integration fluktuierender erneuerbarer Energien, jedoch wird der Bedarf an Spitzenlastkapazität im Netz sowie an Spitzenlastkraftwerken und/oder zentralen Speichern kaum reduziert. Effizienzmaßnahmen wie umfassende thermische Sanierungen, mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder Wärmepumpen reduzieren hingegen die Netzlast und die Winterlücke deutlich und haben somit auch einen relevanten Einfluss auf die Netzlastkapazität. Effizienzmaßnahmen führen zu einer signifikanten Lastreduzierung und damit auch zu einer Senkung der Energiekosten und der CO<sub>2</sub>-Emissionen. In Gebäuden mit hohem Energiebedarf ist die Winterlücke deutlich länger und größer als in hocheffizienten Gebäuden mit optimal dimensionierter Anlage.

## **5.4 Innsbruck Campagne, Fallstudie „auf dem Weg zum“ PEQ**

### **5.4.1 Innsbruck Campagne**

Das Stadtentwicklungsprojekt „Innsbruck Campagne“ umfasst ein Gebiet von ca. 78.000 m<sup>2</sup> [27]. Geplant sind vier Blöcke mit jeweils vier Gebäuden, die rund 1.100 neue Wohnungen, zahlreiche Nahversorgungs- und Dienstleistungseinrichtungen sowie Sportplätze beherbergen. Der erste Block, der vier Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 307 Wohnungen und 2.500 m<sup>2</sup> Gewerbefläche umfasst, wurde bereits realisiert. Die Gebäude wurden im Passivhaus-Standard (oder nahezu im Passivhaus-Standard) errichtet, d. h. mit einem Heizwärmebedarf von ca. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Es wurden innovative Konzepte zur Energieversorgung und -verteilung entwickelt. Ein umfassendes Monitoring widmet sich insbesondere der zentralen Warmwasserbereitung und -verteilung. Ziel ist es, detaillierte Erkenntnisse über die verschiedenen Einflussgrößen (wie Warmwasserbedarf und Zapfprofile inklusive Gleichzeitigkeit) und deren Auswirkungen auf die Effizienz der Warmwasserbereitung, -verteilung und -erzeugung (d. h. Wärmeverluste und Rücklauftemperatur) zu gewinnen. Die Monitoringdaten dienen der Validierung des Simulationstools mit realen Daten. Weitere Details zum Projekt finden sich in [28].

Abbildung 8 zeigt eine Luftaufnahme der Gebäude, vgl. [26].



Abbildung 8: Campagne Areal mit relativ kleiner PV-Anlage auf den Dächern der Gebäude B, C, D (Foto: Google Earth)

Die Raumheizung wird mit einer Grundwasser-Wärmepumpe bereitgestellt, Fernwärme liefert über dezentrale Frischwassersationen (FWS) die Energie für die Warmwasserbereitung, siehe Abbildung 9. Der Heizwärmebedarf (HWB) und der Warmwasserbedarf (TWW) wurden anhand der Entwurfspläne und PHPP-Berechnungen ermittelt. Für alle vier Gebäude messen Wärmehähler den Energiebedarf in der Hauptverteilungsleitung. Zusätzlich wird in einem der Gebäude die Energie auf der Primärseite der FWS in jeder Wohnung detaillierter gemessen. Darüber hinaus werden Innentemperaturen und relative Luftfeuchtigkeit überwacht. Mit der durchschnittlichen Innentemperatur aller Wohnungen und den Wetterdaten für Innsbruck aus dem Jahr 2023 werden die gemessenen Heizgradtage bestimmt.

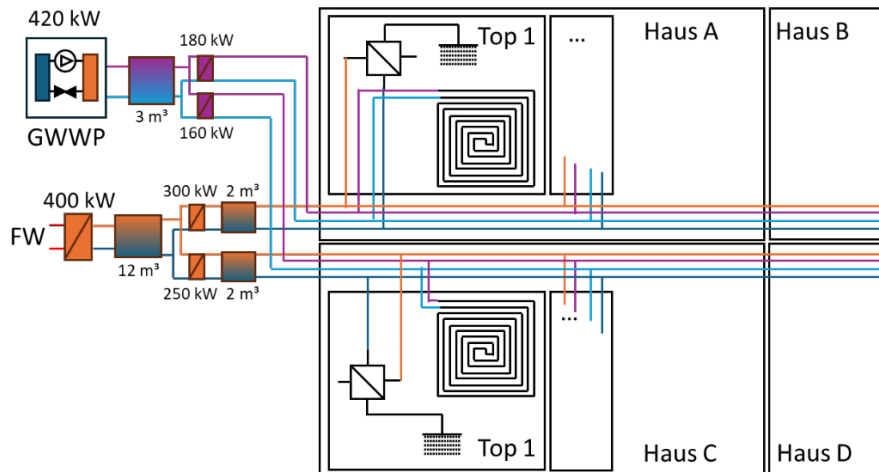


Abbildung 9: Wärmeversorgung des der vier Gebäude im Campagne Areal mit GW-WP für die Raumheizung und Fernwärme für Warmwasser mit dezentralen Frischwasserstationen, Wärmeübertrager für die Systemtrnung zwischen Gebäude A, B und D, C

### Raumheizung

Die erste Bauphase ist bereits abgeschlossen. Sie umfasst vier Gebäude, die im Folgenden als A, B, C und D bezeichnet werden. Die Gebäude A und B wurden als Passivhäuser geplant und gebaut. Die Gebäude C und D erreichen den Passivhausstandard knapp nicht, vgl. Tabelle 2.

Tabelle 2: Kennzahlen (Planung) der vier Gebäude (A, B, C, D)

	A	B	C	D
<b>Geschosse [-]</b>	11	7	6	10
<b>Brutto geschossfläche [m<sup>2</sup>]</b>	9635	8392	4623	6803
<b>Energiebezugsfläche [m<sup>2</sup>]</b>	6686	6525	3587	5479
<b>Hüllfläche [m<sup>2</sup>]</b>	8820	7120	5299	7051
<b>Beheiztes Volumen [m<sup>3</sup>]</b>	16714	16313	9269	14246
<b>U-Mittelwert der thermischen Hülle [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>	0.325	0.316	0.277	0.300
<b>Charakteristische Länge [m]*</b>	3.68	3.81	2.82	3.37
<b>Luftdurchlässigkeit n<sub>50</sub> [1/h]</b>	0.52	0.35	0.35	0.35
<b>Heizwärmebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]</b>	15.3	15.0	20.0	16.0

	A	B	C	D
<b>Heizlast [W/m<sup>2</sup>]</b>	11.9	11.5	15.1	12.8

Die Wärmepumpe vom Typ DYNACIATPOWER LGP 1200V hat eine Nennleistung von 418 kW bei B9W37. Das aus dem Brunnen entnommene Wasser hat eine durchschnittliche Temperatur von 11,5 °C mit einer jährlichen Schwankung von ca. ±1 K. Es dient sowohl im Heiz- als auch im Kühlbetrieb als Quelle. Über einen Wasser-Glykol-Kreislauf wird die Wärmepumpe auf der Quellenseite mit einem konstanten Massenstrom versorgt. Die Wärmepumpe verfügt über zwei Kältemittelkreisläufe, die parallel zueinander liegen und unabhängig voneinander betrieben werden können. Jeder dieser Kreisläufe verfügt über zwei Scrollverdichter, die mit konstanter Drehzahl betrieben werden und ebenfalls parallelgeschaltet sind. Dadurch verfügt die Wärmepumpe über vier Leistungsstufen. Dieses Konzept ermöglicht eine gleichmäßige Verteilung der Betriebsstunden auf die einzelnen Verdichter, was für die Langlebigkeit der Komponenten ideal ist. Auf der Senkenseite der Wärmepumpe wird zusätzlich ein 3 m<sup>3</sup> großer Speicher mit konstantem Massenstrom beladen. Im Sommer, während des Kühlbetriebs, wird ein Bypass-Wärmetauscher von der Brunnenpumpe betrieben. Über diesen kann der Speicher mit kaltem Wasser befüllt werden. Am Speicher befinden sich zwei Abgabekreisläufe, die jeweils einen eigenen Wärmetauscher versorgen und die Gebäude A und B sowie die Gebäude C und D mit Wärme versorgen. Diese Systemtrennung ist auf die unterschiedlichen Eigentümer zurückzuführen, die jeweils unterschiedliches Heizungswasser verwenden. Die Gebäude A und B wurden von der Innsbrucker Immobiliengesellschaft (IIG) in gebaut und werden seitdem von ihr betrieben, die Gebäude C und D von der Neuen Heimat Tirol (NHT). Die Wärmepumpe wird im Sommer ausgeschaltet, da die Kühlung ausschließlich mit dem Brunnenwasser erfolgt. In allen Gebäuden wurde eine Fußbodenheizung installiert, sodass sowohl Niedertemperatur-Heizung als auch Kühlung möglich ist.

Der gemessene Heizwärmebedarf im ersten Betriebsjahr belegt die hohe Qualität der Gebäudehülle. Der gemessene Bedarf ist vergleichbar mit den Auslegungswerten (PHPP-Berechnungen), wie in Tabelle 3 dargestellt. Weitere Details finden sich in [26]. Der gemessene Warmwasserbedarf liegt mit 12,3 kWh/(m<sup>2</sup> a) unter den Auslegungswerten (20,2 kWh/(m<sup>2</sup> a)). Die tatsächliche Mieterzahl ist nicht bekannt. Weitere Analysen werden in zukünftigen Arbeiten durchgeführt.

Tabelle 3: Vergleich des gemessenen und berechneten HWB mit Heizgradtagkompensation

	A	B	C	D
<b>Gemessen</b>	20.9	19.8	27.4	21.9
<b>Design</b>	15.0	15.0	21.3	18.3
<b>Heizgradtag-kompensiert</b>	15.5	15.5	22.0	18.9

## Trinkwarmwasser

Die primäre Energiequelle für die Warmwasserbereitung (TWW) ist die Fernwärme (FW). Die Fernwärme versorgt in erster Linie drei in Reihe geschaltete 4-m<sup>3</sup>-Pufferspeicher. Aus diesen können die Gebäudegruppen A und B sowie C und D unabhängig voneinander über zwei parallele Wärmetauscher mit Warmwasser versorgt werden, ähnlich wie beim Raumheizungssystem. Den Wärmetauschern sind weitere Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von jeweils 2 m<sup>3</sup> nachgeschaltet. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Frischwasserstationen (FWS) in jeder Wohnung (dezentral). Es wird ein 2+2-Verteilungssystem verwendet, das niedrige Vor- und Rücklauftemperaturen ermöglicht und somit zu geringeren Rohrleitungsverlusten führt. In [29] ist eine ausführliche Auswertung und Analyse zu finden.

### 5.4.2 Simulationsstudie

Am Beispiel des „PEQ“ Innsbruck Campagne werden WP-Integrationsmöglichkeiten sowie Photovoltaik (PV)-Integrationspotenziale hinsichtlich der Erreichung einer positiven Energiebilanz und der Berücksichtigung der sogenannten Winterlücke bewertet. Dafür wurden folgenden Heizungs-systemkonfigurationen hinsichtlich des Energiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen analysiert und verglichen:

- a) Wärmepumpe für jedes Gebäude (RH und TWW);
- b) Wärmepumpe für jedes Gebäude (RH) und direkte elektrische (DE) Warmwasserbereitung mit E-Boilern;
- c) Fernwärme für RH und TWW;
- d) Zentrale Wärmepumpe für RH, Fernwärme für Warmwasser (wie gebaut).

Es wurde eine vereinfachte monatliche Berechnung auf Basis des Carnot-Verfahrens (Carnot Gütegrad von 40 %) mit der monatlichen durchschnittlichen Grundwassertemperatur (Jahresmittelwert 11,9 °C) und der Solltemperatur (55 °C für Warmwasser und 40 °C für Raumheizung) durchgeführt. Die thermischen Verluste (Speicherung und Verteilung) wurden je nach Systemkonfiguration vereinfacht berücksichtigt. Die Verluste werden relativ zum Warmwasser- und Warmwasserbedarf angenommen. Im Falle einer Wärmepumpe zur Raumheizung (d. h. (a), (b) und (d)) können die Verluste aufgrund des Niedertemperatur-Verteilungssystems und der Position der Rohre in der thermischen Hülle vernachlässigt werden. Im Gegensatz dazu befindet sich in der Konfiguration mit zentraler Fernwärme (c) ein erheblicher Teil der Rohre außerhalb der thermischen Hülle, und es werden relative Verluste von 20 % angenommen. Für die zentrale Warmwasserbereitung werden relative Verluste von 75 % angenommen (Konfiguration (c) und (d)), die auf ca. 50 % bei reduzierter Solltemperatur (aufgrund des 2+2-Rohrsystems mit FWS). In der Konfiguration (a) mit der gebäudeweiten Wärmepumpe betragen die Verluste bei der Warmwasserspeicherung und -verteilung 50 %. Es werden dezentrale E-Boiler für die Warmwasserbereitung (Konfiguration (b)) mit relativ geringen Verlusten von 20 % angenommen.

### 5.4.3 PV-Potential

Das PV-Potenzial aller verfügbaren Flächen wurde in verschiedenen Detaillierungsstufen verglichen. Im ersten Schritt wurden alle undurchsichtigen Flächen mit PV ausgestattet (Variante „tot“), was neben den Dachflächen auch die Fassade einschließt. Als realistischere/wirtschaftlichere Alternative wurde zusätzlich ein jährliches PV-Ertragskriterium („red“-Variante) eingeführt, um Flächen auszuschließen, deren jährlicher PV-Ertrag (aufgrund von Verschattungen) unter einen bestimmten Schwellenwert fällt. Als detaillierteste Variante wurden zusätzlich die Verschattung benachbarter Gebäude, die Eigenverschattung und die tatsächliche Modulgeometrie berücksichtigt („real“).

Exemplarisch werden die Ergebnisse der Simulationsstudie zum PV-Potenzial der Dächer und Fassaden unter Berücksichtigung der (Eigen-)Verschattung dargestellt (Abbildung 1). Aufgrund der begrenzten Dachfläche im Verhältnis zur behandelten Fläche und der damit verbundenen Eigenverschattung im dichten Block ist das PV-Potenzial begrenzt, Abbildung 10. Durch die Einführung einer Begrenzung der Gesamtbestrahlungsstärke auf die Oberfläche (hier exemplarisch  $>700 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ) reduzieren sich die für PV verfügbaren Flächen im Vergleich zu einer vollständigen PV-Bedeckung deutlich insbesondere im Fall der Fassaden, wie in zusammengefasst.

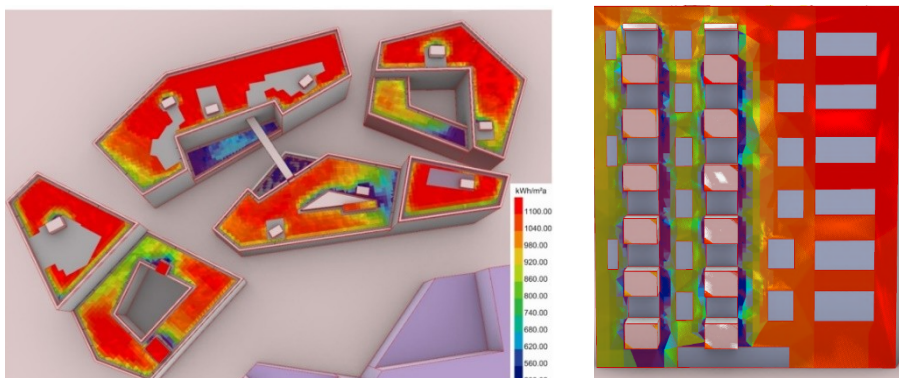


Abbildung 10: PV-Potential der Dächer der 4 Gebäude und Beispiel einer Fassade mit Fremdverschattung

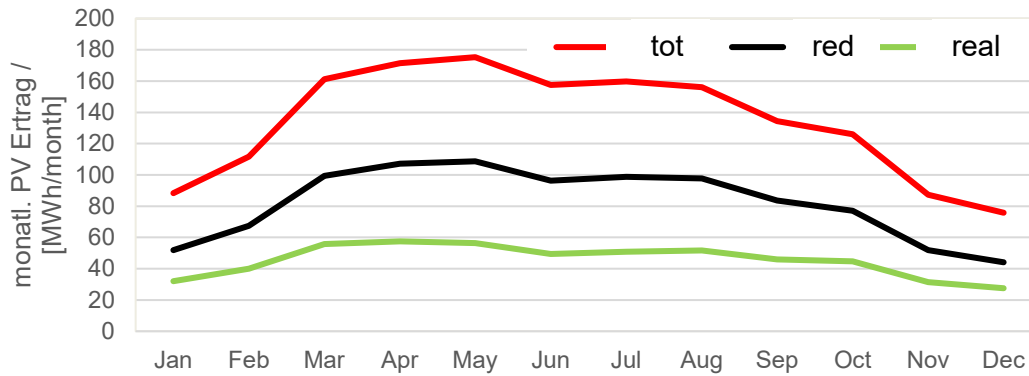


Abbildung 11: Monatlicher PV-Ertrag mit allen Flächen (tot), den reduzierten Flächen (red) und einer realen PV-Anlage (mit Eigen- und Fremdverschattung, real)

Tabelle 4: Verfügbare Flächen für PV auf Dächern und Fassaden in [m<sup>2</sup>] und Anteil in [%] an der gesamten verfügbaren Fläche

	Dach		Fassade	
<b>Gesamt (tot)</b>	4798	-	16430	-
<b>Reduziert (red)</b>	2841	59 %	11175	68 %
<b>Tatsächlich (real)</b>	2658	55 %	2164	13 %

#### 5.4.4 Energiebilanz

Die monatliche thermische (links) und elektrische (rechts) Energiebilanz ist in am Beispiel der GW-Wärmepumpe für Raumheizung und Fernwärme für Warmwasser dargestellt. Die saisonale Schwankung im Fall von nur WP (a) ist aufgrund des sehr geringen RH-Bedarfs und der effizienten Grundwasser-WP nicht stark ausgeprägt.

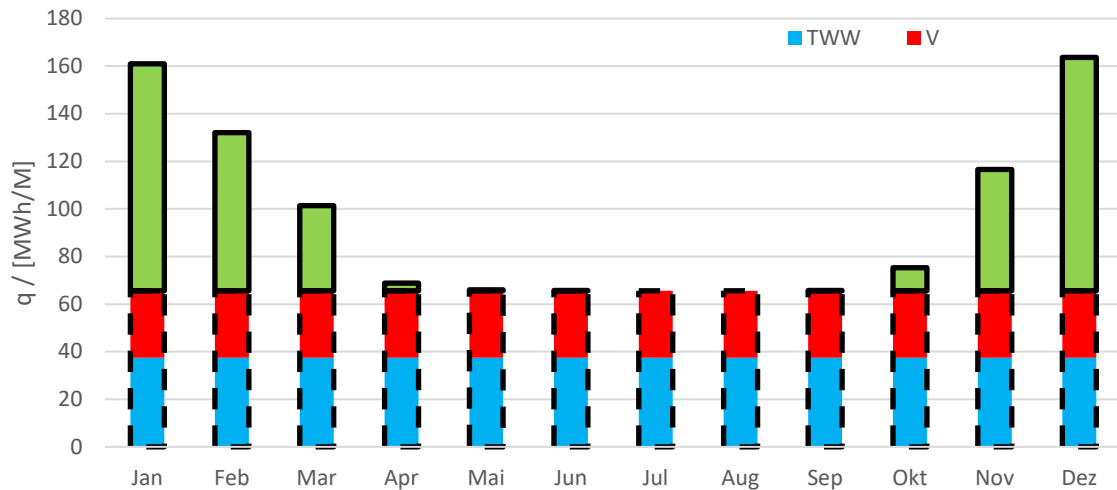


Abbildung 12: Monatlicher Wärmebedarf für Warmwasser (TWW), Zirkulationsverluste (V) und Raumheizung (RH); Anteile Fernwärme (FW) und Wärmepumpe (WP)

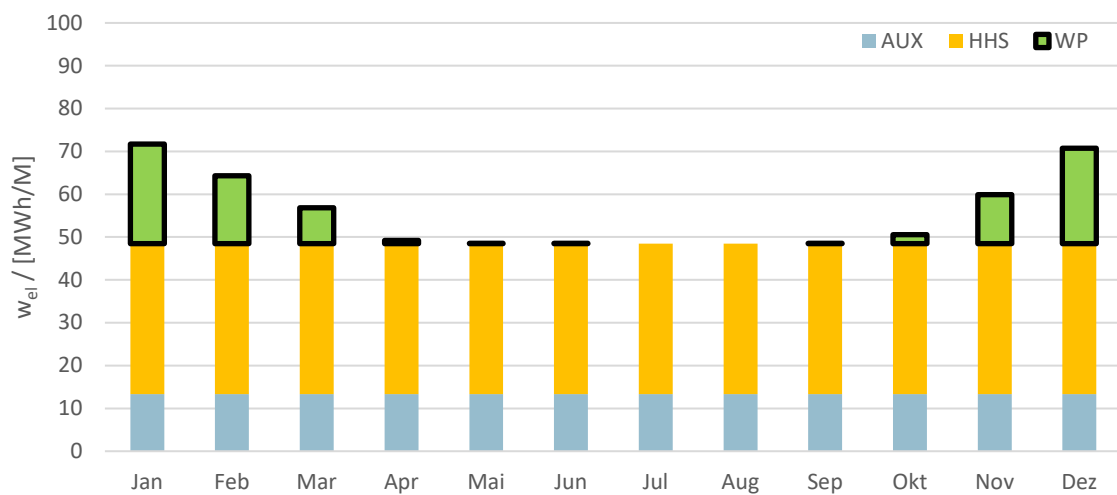


Abbildung 13: Monatlicher Strombedarf für Hilfsenergie (AUX), Haushaltsstrom (HHS) und Wärmepumpe (WP)

Die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, berechnet mit den monatlichen Umrechnungsfaktoren sowie den Jahresfaktoren, sind in Tabelle 5 zusammengefasst. In allen Fällen weist die reine WP-Konfiguration die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Bei den monatlichen Faktoren werden die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Konfiguration a) erzielt, gefolgt von d), b) und c). Bei den mittleren Umrechnungsfaktoren ist die Rangfolge identisch, es gibt jedoch Unterschiede hinsichtlich der relativen Differenz. Bei den Umrechnungsfaktoren nach OIB übertrifft Konfiguration c) hingegen Konfiguration (b).

Tabelle 5: CO<sub>2</sub>-Emissionen in [tCO<sub>2</sub>/Jahr] für die Varianten a) bis d) und abhängig vom Umrechnungsfaktor

	a)	b)	c)	d)
<b>Monatliche Faktoren</b>	104.7	209.3	258.8	198.0
<b>Mittelwert</b>	93.6	198.5	237.5	187.2
<b>OIB</b>	42.1	89.2	87.7	71.8

### 5.4.5 Diskussion und Schlussfolgerung

Eine positive Nettoenergiebilanz (oder Null-CO<sub>2</sub>-Bilanz) kann nur mit sehr geringem Energiebedarf und höchstmöglicher PV-Erzeugung (vor Ort) erreicht werden. Bei (mehrstöckigen) Mehrfamilienhäusern mit hoher Dichte (wie hier im Beispiel der Projekts Innsbruck Campagne) kann die Nettonullbilanz nicht erreicht werden. Die Lücke würde sich sogar noch vergrößern, wenn Elektromobilität und/oder die graue Energie in der Energiebilanz berücksichtigt würden. Unter Berücksichtigung der Modulgeometrie sowie der Eigen- und Außenverschattung ist das PV-Potenzial begrenzt, d.h. die Reduzierung des Bedarfs ist von größter Bedeutung. Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch PV zu kompensieren (auf Basis einer Jahresbilanz), werden bei allen betrachteten Konfigurationen zusätzliche horizontale (unverschattete) PV-Flächen benötigt. Im besten Fall (nur WP) wären mindestens 1031 m<sup>2</sup> zusätzliche Fläche erforderlich (im schlechtesten Fall 3068 m<sup>2</sup>), wie in Tabelle 6 dargestellt. Zur besseren Verständlichkeit wird die benötigte Fläche in relativen Fußballfeldern (100 m x 50 m) ausgedrückt. Zur Berechnung des zusätzlichen Flächenbedarfs wurde die horizontale Globalstrahlung herangezogen. Bei einer Netto-Jahresbilanz würde der Flächenbedarf unterschätzt. Der zusätzliche Flächenbedarf erhöht sich bei Konfiguration a) um 20 % und bei Konfiguration c) um 42 %.

Tabelle 6: Zusätzlich benötigte (unverschattete) PV-Fläche, um eine Nettonull CO<sub>2</sub>-Bilanz zu erreichen (in m<sup>2</sup> und Anteile Fussballfelder)

	(a)		(b)		(c)		(d)	
<b>f<sub>monthly</sub></b>	1241	25%	2482	50%	3068	61%	2347	47%
<b>f<sub>mean</sub></b>	1031	21%	2184	44%	2614	52%	2060	41%
<b>f<sub>OIB</sub></b>	1031	21%	2184	44%	2146	43%	1758	35%

Um eine positive Energiebilanz zu erreichen, müssen in der Planungsphase mehrere Aspekte berücksichtigt werden:

- Sehr hochwertige Gebäudehülle, Lüftung mit WRG
- Geringer Warmwasserbedarf (geringe Verteilungsverluste, Nutzung einer Duschabwasser-rückgewinnung)
- Effiziente Geräte (inkl. Monitoring und Mieterinformation)
- Sehr effizientes Heizsystem mit geringem Hilfsenergiebedarf.

Im Hinblick auf die Eigenstromerzeugung müssen Eigenverschattung, Fremdverschattung (inkl. möglicher zukünftiger Nachbarbebauung) und eine hinsichtlich der Modulgrößen optimal ausgelegte Photovoltaikanlage berücksichtigt werden.

Die Reduzierung des Strombedarfs durch eine hochwertige Gebäudehülle und ein effizientes Wärmeerzeugungs- und -verteilungssystem ist entscheidend. Erste Monitoringergebnisse zeigen Potenzial für weitere Verbesserungen, insbesondere bei der Regelung der Fußbodenheizung (Innentemperaturen) sowie den Vor- und Rücklauftemperaturen der Warmwasserbereitung. Der Grundwasserbrunnen ist für die Endausbaustufe des Quartiers (mit 16 Gebäuden) ausgelegt und somit für den aktuellen Zustand mit nur vier Gebäuden deutlich überdimensioniert.

## **5.5 PEQ und Fernwärme – Integration Dezentrale Wärmepumpen**

### **5.5.1 Einleitung, Zielsetzung und Demonstrator**

Die zunehmende Dekarbonisierung der Wärmeversorgung gewinnt im urbanen Raum eine immer zentralere Bedeutung. Dennoch beruhen viele Fernwärmenetze nach wie vor auf hohen Systemtemperaturen und einem beträchtlichen Anteil fossiler Energieträger. Eine zentrale Fragestellung zukünftiger Energiestrategien ist daher, wie bestehende Netze flexibilisiert und für erneuerbare Technologien geöffnet werden können. Eine effiziente Umstellung auf erneuerbare Quellen sowie auf niedrigere Betriebstemperaturen gilt als Schlüssel zur Erreichung der Klimaziele. Gleichzeitig operieren nahezu alle größeren europäischen Fernwärmenetze im verdichteten urbanen Raum und agieren somit im gleichen Ökosystem wie Positive Energy District (PEDs) – Quartiere, die durch ihre innovative erneuerbare Energieversorgung und Energieeffizienz in der Lage sind, mehr Energie zu erzeugen, als sie selbst verbrauchen. Wärmepumpen spielen aufgrund ihrer Fähigkeiten im Bereich der Sektorkopplung, der Heizung und Kühlung mit nur einer Anlage und der Möglichkeit Temperaturniveaus an den Bedarf anzupassen eine entscheidende Rolle für PEDs die oftmals heterogene Erzeugungs- und Bedarfsprofile ausweisen. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen des nationalen Forschungsprojektes Hybrid LSC, gefördert durch den Klima- und Energiefonds im Rahme der Initiative Vorzeigeregion Green Energy Lab, untersucht wie Wärmepumpen und Positive Energy Districts (PEDs) synergetisch mit Fernwärmenetzen zusammenwirken können.

Im Zusammenspiel von Fernwärme und PEDs können Wärmepumpen in drei zentralen Use Cases eingesetzt werden:

1. Als Technologie für **Transition-Pfade bestehender Fernwärmenetze** hin zu niedrig-Temperaturnetzen.
2. In **neu gebauten Quartieren** als Technologie zur Temperaturanpassung in Niedrig-Temperatur oder **Anergienetzen** (4. oder 5. Generations-Fernwärmenetzen kurz 4GDH/5GDH) als Ableger des Fernwärme Primärnetzes ((NREL 2020)
3. Zur **Nutzung von Abwärme**, die bei der Kühlung von Gebäuden entsteht, durch Einspeisung in das Fernwärmesystem anstatt der Abwärme-Vernichtung über z.B. dezentrale Fan Coils

Das nationale Forschungsprojekt Hybrid LSC hat insbesondere die Use Cases 1 und 3 anhand eines real umgesetzten und im Projekt vermessenen Demonstrations-Quartiers in Wien untersucht und bewertet, siehe Abbildung 14.



Abbildung 14: Rendering des Quartiers „Sargfabrik“ und schematische Darstellung (Quelle: [www.kuku23.at](http://www.kuku23.at))

Das Wohnbauprojekt Quartier „Sargfabrik“ der gemeinnützigen Bauvereine Altmannsdorf & Hetzendorf sowie Heimbau im 23. Wiener Bezirk umfasst rund 445 geförderte Wohnungen mit gesamt ca. 13 000 m<sup>2</sup> beheizter Nutzfläche. Jedes Gebäude Quartiers des verfügt über eine eigene Hausstation mit zentraler Trinkwasserbereitung und Fußbodenheizung, die sowohl für den Heiz- als auch den Kühlbetrieb genutzt werden kann. Die Versorgung erfolgt über ein sekundäres Fernwärmenetz der Wien Energie, das von einer primären Station mit Temperaturen bis zu 160 °C und Drücken bis 22,5 bar gespeist wird. Flow-Temperaturen von mindestens 63 °C werden ganzjährig gewährleistet. Im Sommer wird durch die verbaute Fußbodenheizung die Kühlfunktion realisiert: Wärme wird dem Gebäude entzogen, die abgeführte Wärme wird über die, im Quartier situierte Wärmepumpe direkt in den Rücklauf des Sekundärnetzes eingebracht. Somit werden FanCoil-Anlagen am Gebäudedach vermieden und die Abwärme kann genutzt werden anstatt an die Umwelt verloren zu gehen. Damit wird der Wärmefluss im Sommer umgekehrt: Aus einer typischen Verlustgröße wird eine zusätzliche Energiequelle für das Netz. Die Betriebsumschaltung zwischen Heiz- und Kühlmodus erfolgt automatisch anhand von Außentemperatur und Datumslogik.

Eine weitere Innovation am Standort ist die umgesetzte Rücklaufeinbindung des Quartiers. Dabei wird die gesamte Liegenschaft nicht, wie sonst üblich, aus dem Vorlauf des Fernwärmesekundärnetzes versorgt, sondern direkt aus dem Rücklauf. Dadurch können die Rücklauftemperaturen im Netzabschnitt weiter abgesenkt werden, was sowohl den Netzverlust mindert als auch die Einbindung niedriger Temperaturquellen ermöglicht und die Netzkapazitäten für Energieübertragung durch die höhere Temperaturspreizung erhöht. Traditionelle Fernwärmenetze arbeiten häufig mit hohen Vorlauftemperaturen (z. B.  $> 90\text{ °C}$ ) und Rücklauftemperaturen in Größenordnungen um  $60\text{ °C}$ – $80\text{ °C}$ . Diese hohen Temperaturen führen zu erheblichen Netzverlusten und behindern die Integration von Niedertemperatur- oder Abwärmequellen. Im Idealfall entstehen dabei bidirektionale Systeme, in denen Gebäude nicht nur Verbraucher, sondern auch Einspeiser von Wärme sind. Eine Reduktion der Rücklauftemperatur kann einen entscheidenden Beitrag zur Effizienzsteigerung während Wärmepumpen durch sektorübergreifende Integration die Kopplung von Strom- und Wärmesystemen ermöglichen. Eine schematische Hydraulik Übersicht ist in Abbildung 15 dargestellt.

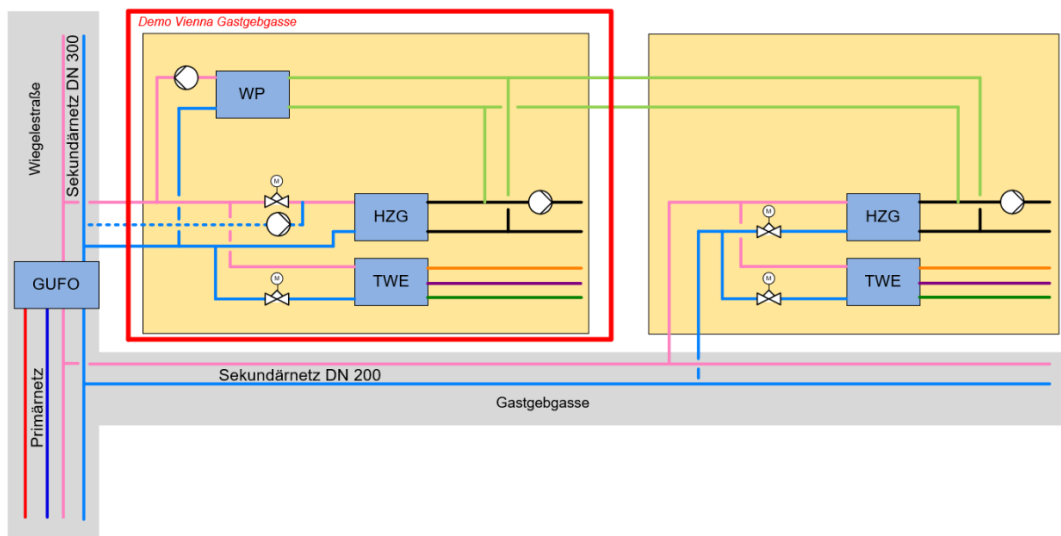


Abbildung 15: Schematische Hydraulik Übersicht der Fernwärmearbeitung des Quartiers „Sargfabrik“ (Quelle: Wien Energie)

Die im Projekt eingesetzten Komponenten sind weitgehend standardisiert (Wärmepumpe, Wärme- und Kältemengenzähler, Regler, Sensoren). Die Innovation liegt insbesondere in der hydraulischen Vernetzung. Der geringfügig erhöhte Platzbedarf – gegenüber traditionellen Hausstationen – bleibt überschaubar. Damit besteht das Potenzial, das Konzept in weiteren Quartieren oder Beständen zu übertragen. Die Hausstation am Standort umfasst eine Wärmepumpe/Kältemaschine, Umwälzpumpen, Steuer- und Regeltechnik, Wärme- und Kältemengenzähler sowie elektrische Energiezähler. Ein EMS-System (Energie-Management-System) übernimmt Steuerung, Datenübertragung und Visualisierung via Saia-Controller, PG5-Suite, MPLS/UDP-Netz, Kafka/Schnittstellen, Grafana und DAVIS. Dabei werden 15-Minuten-Intervalle für Sensor- und Zählerdaten genutzt und Ringpuffer für historische Werte geführt. Es werden 15-Minuten-Intervalle für Temperaturen, Ventilstellungen und Zählerdaten erfasst; tägliche Energiekennwerte für Strom (Wärmepumpe) ausgewertet. Die Ringpuffer

erlauben Rückblicke bis zu 1000 Messwerten. Diese Messdaten bilden die Basis für Simulationen, Sensitivitätsanalysen und Bewertung der Rücklaufausnutzung und der Wärmepumpen Performance, eine Übersicht der Datenflüsse ist in Abbildung 16 dargestellt.

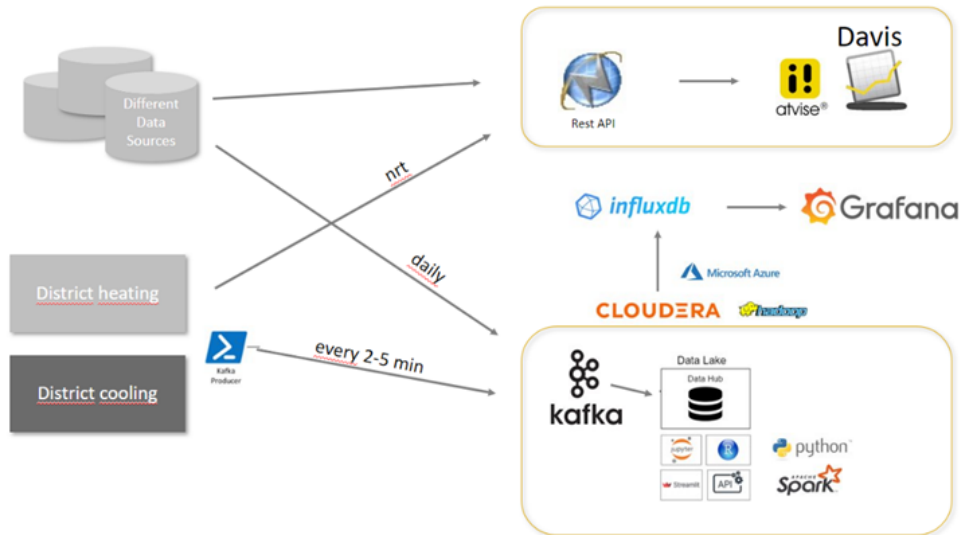


Abbildung 16: Übersicht der Datenflüsse für das Monitoring im Projekt HybridLSC (Quelle: Wien Energie)

## 5.5.2 Untersuchte technische Systeme und Methodik

### Rücklauf Versorgung und Wärmepumpen als Enabler für Transition-Pfade bestehender Fernwärmenetze

Für Use Case 1 – Transition-Pfade für Fernwärmenetze wurde die am Objekt umgesetzte Rücklaufeinbindung des Quartiers Sargfabrik vermessen und bewertet. Dabei wurde einerseits die technische Machbarkeit der Versorgung über den Rücklauf validiert und weiters untersucht, ob diese Anwendung im Zusammenspiel mit Wärmepumpen geeignete Transition-Pfade für bestehende Fernwärmenetze ermöglicht um Bestandsnetze hin zu 4. oder 5. Generations-Fernwärmenetzen (4GDH/5GDH) mit niedrigen bis sehr niedrigen Netztemperaturen zu transformieren. Dabei wurde in Zusammenarbeit mit den im Projekt vertretenen Industriepartnern Netzhydraulik, Regeltechnik, Übertragungsstrategien und Monitoringkonzepte so gestaltet, dass sie sowohl technisch als auch wirtschaftlich für die Umsetzung der Rücklauf Versorgung tragfähig sind. Hierfür ist eine hydraulische Konfiguration erforderlich, die über den herkömmlichen Vorlauf hinausgeht – im vorliegenden Projekt das sogenannte supply-return-return-flow-Schema. Im Heizbetrieb wird die Wärme vorrangig aus dem Rücklauf des sekundären Netzes bezogen. Ist Rücklauftemperatur oder Volumenstrom nicht ausreichend, würde automatisch ein entsprechender Anteil aus dem Vorlauf beigemischt. Eine Steuerung mittels Dreibeigeventil und Pumpenregelung gewährleistet Stabilität und maximale Rücklaufausnutzung.

Die grundlegende Funktionalität der Gebäudeversorgung durch den Rücklauf konnte im Monitoring Prozess durch Messdaten einer vollständigen Heizperiode validiert werden. In der gesamten Heizsaison 24/25 konnte die notwendige Wärmeenergie durch eine ausschließliche Versorgung mit dem Rücklauf bereitgestellt werden. Ein Test des Notbetriebs durch den Vorlauf wurde durchgeführt, wäre aber technisch nicht notwendig gewesen, um die Energieversorgung zu gewährleisten. Die Rücklauf Versorgung hat damit nachgewiesenermaßen das Potential auf weitere geeignete Gebäude mit entsprechenden Temperaturvorgaben ausgerollt zu werden.

Daher wurden zur Bewertung der technischen Leistungsfähigkeit für die Realisierung von Transition-Pfaden in Richtung 4GDH/5GDH außerdem umfangreiche Simulationen durchgeführt, um den Einfluss einer systematischen Rücklauf-Versorgung mehrere Gebäude im Netzverbund zu untersuchen. In einem Sensitivitätsansatz wurde zunächst untersucht, wie stark der Systemnutzen vom Gebäudemix im Netz abhängt. Dabei zeigte sich, dass die größte Effizienzsteigerung dann erreicht wird, wenn sowohl ältere Gebäude mit hohen als auch neue Gebäude mit niedrigen Vorlauftemperaturen gleichzeitig an das Netz angeschlossen sind. In einem homogenen Netz – also entweder nur Alt- oder nur Neubauten – vermindert sich der Vorteil deutlich. In 500 Simulationsläufen mit zehn Gebäuden (Heizlasten zwischen 50 und 300 kW Heizlast, Vorlauf 30–60 °C, Rücklauf 20–50 °C) ergab sich eine durchschnittliche Absenkung der Rücklauftemperatur um 2,3 K im simulierten Sekundärnetz der Sargfabrik erzielt. Diese Reduktion hängt maßgeblich von der Netztopologie (Trassenlänge, Rücklauftemperatur ohne Gebäude mit Rücklauf Versorgung, Anzahl an Gebäuden mit Rücklauf Versorgung etc.) ab, der Wert soll daher als Indikator für die grundsätzliche Wirksamkeit der Maßnahme zur Rücklauftemperatur Absenkung verstanden werden und muss für weitere Umsetzungen gesondert ermittelt werden.

### **Wärmepumpen als Bindeglied zwischen PEDs und Fernwärmenetz zur Nutzung von Abwärme**

Im Sommerbetrieb fungiert die am Standort integrierte Wärmepumpe als Kältemaschine, die Kälte wird über die Fußbodenheizungsverrohrung an die Wohneinheiten übertragen. Dabei wird die angefallene Abwärme nicht extern z.B. über Fan Coils abgeführt, sondern in das sekundäre Fernwärmenetz eingespeist und dort z.B. an anderen Anschlüssen für Trinkwassererwärmung genutzt. Durch diese Rückspeisung erhöht sich nicht nur die Gesamteffizienz des Fernwärmenetzes, sondern realisiert gleichzeitig das Konzept der Gebäudes/Quartiers als Energielieferant – als Beispiel mit welchen Verwertungspfaden Positive Energy Districts ihre Rolle im Energiesystem erfüllen können. Die Integration der Wärmepumpe/Kältemaschine ermöglicht es so, Gebäude nicht nur als Energieverbraucher, sondern auch als potenzielle Energielieferanten im Netzwerkprozess zu betrachten.

Die Regelung erfolgt über ein EMS mit Saia-Reglern, gesteuert durch Außentemperatur- und Datumlogik. Die Fußbodenheizungs- bzw. Kühlsystemzone wird individuell vom Nutzer über Raumthermostate beeinflusst, die Hausstation zentral geregelt. Steuerungssignale werden lokal verarbeitet; eine Datenkommunikation zwischen Nutzerebene und Stationsebene findet nicht statt. Für die

Gebäudenutzer bleibt das System komfortabel: Raumtemperaturen werden über einfache Thermostate geregelt, während die zentrale Steuerung die Gesamtstrategie koordiniert.

Der Betrieb der Wärmepumpe in der Kühleisaison wurde ebenso wie die Performance der Rücklauf Versorgung mit einem detaillierten Energiemonitoring erfasst. In den Kühlperioden Sommer 2024 und Sommer 2025 konnte die grundlegende Funktionalität des Systems nachgewiesen werden. Die Wärmepumpe ist, insbesondere im Teillastbetrieb, in der Lage die erzeugte Abwärme aus der Gebäudekühlung dem Sekundärnetz zuzuführen. Im Vollastbetrieb ergaben sich allerdings Probleme in der Wärmeabfuhr, die teilweise zu Abschaltungen des Wärmepumpensystems führten.

Es wurde daher in Kooperation mit den im Projekt vertretenen Industriepartnern eingehend analysiert, wie empfindlich das System im Kühlbetrieb auf die Fähigkeit des Fernwärmenetzes reagiert, die von der Wärmepumpe erzeugte Abwärme aufzunehmen. Wird diese Abwärme nicht ausreichend vom Netz dissipiert, kann es, wie im vorliegenden Fall geschehen, zu einer Leistungsbegrenzung oder gar Abschaltung der Anlage kommen. Diese Sensitivität ist insbesondere im Sommer kritisch, wenn die Wärmelast im Netz niedrig ist. Hier zeigt sich deutlich, dass technische Integration immer auch eine koordinierte betriebliche Abstimmung zwischen Gebäudetechnik und Netzführung erfordert. Ein intelligentes Lastmanagement, gegebenenfalls kombiniert mit thermischen Speichern, kann solche Betriebsrisiken minimieren.

### **5.5.3 Diskussion der Ergebnisse**

Die Messungen und Auswertungen in der Sargfabrik belegen die grundsätzliche Machbarkeit und den Nutzen des Konzepts. Sowohl die Rücklaufausnutzung als auch die Abwärmeeinspeisung über die Bi-Generation haben im Monitoringbetrieb stabil funktioniert. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass die hydraulische Komplexität im Vergleich zu konventionellen Hausstationen höher ist – sowohl hinsichtlich Regelung als auch Fehlerbehandlung. Die verwendeten Standardkomponenten erleichtern jedoch Wartung und Skalierbarkeit. Die Systemlösung kann somit mit überschaubarem Mehraufwand auch in anderen Gebäuden implementiert werden, sofern gewisse Voraussetzungen erfüllt sind: ausreichend niedrige Heiztemperaturen im Gebäude, ein Netz mit heterogener Gebäudestruktur und eine elektrische Infrastruktur, die den zusätzlichen Leistungsbedarf der Wärmepumpe decken kann.

### **Rücklauf Versorgung und Wärmepumpen als Enabler für Transition-Pfade bestehender Fernwärmenetze**

Die Funktionalität der Rücklaufversorgung konnte im Projekt Hybrid LSC erfolgreich anhand Messdaten der realen Umsetzung im Demonstrator Sargfabrik nachgewiesen werden. Eine 100%ige Versorgung des Quartiers aus dem Fernwärme Rücklauf war technisch lückenlos in der Heizsaison 24/25 möglich, siehe auch Abbildung 17.

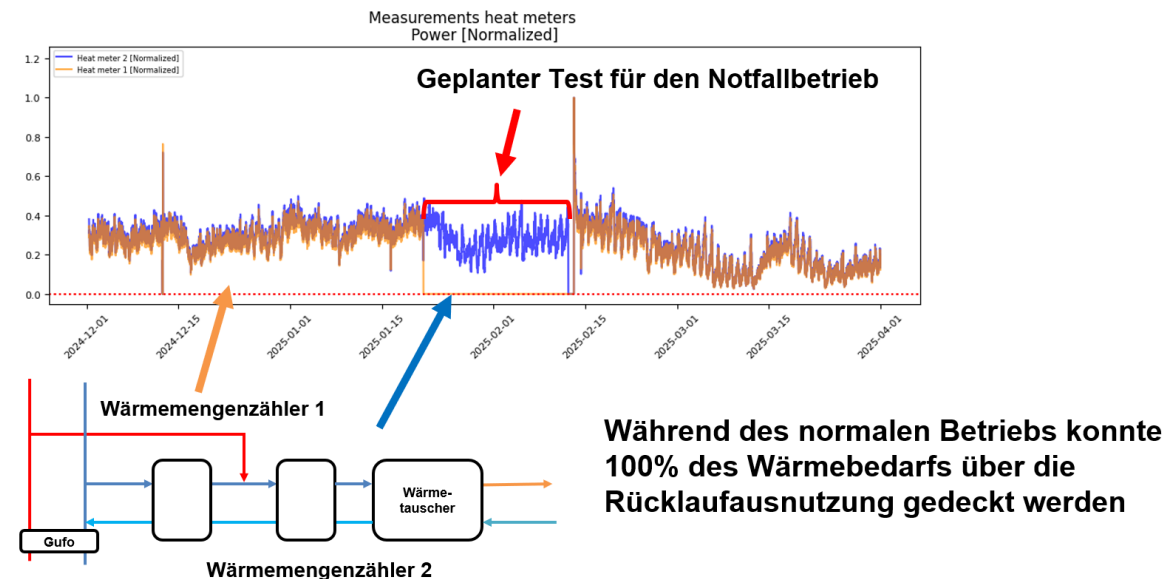


Abbildung 17: Darstellung der erhobenen Monitoring Daten für die Rücklaufversorgung, inkl. Datenausschnitt für den geplanten Test des Notfallbetriebs (Quelle: AEE INTEC, eigene Darstellung)

Es wurden weitere Simulationsstudien zur Bewertung von Skalierungseffekten durchgeführt, die belegen, dass der erwartete Effekt einer Absenkung der Rücklauf Temperatur im Gesamtnetz stattfindet und mit der Anzahl an, durch den Rücklauf versorgten, Gebäuden steigt. Kritisch ist zu diskutieren, dass Wärmenetze zur Ausnutzung dieser Effekte eine heterogene Gebäudestruktur aufweisen müssen, um technisch funktionstüchtig zu bleiben. Gebäude, die sich aus dem Rücklauf versorgen, sind darauf angewiesen, dass ausreichend temperierte Rücklaufströme im Netz vorhanden sind. Diese werden von Verbrauchern mit hohen benötigten Vorlauftemperaturen erzeugt. Darunter fallen vor allem unsanierte Bestandsgebäude mit Radiatoren und anderen Wärmeabgabesystemen, die auf hohe Netztemperaturen angewiesen sind. Weiters würde eine 100%ige Versorgung aller angeschlossenen Gebäude durch den Rücklauf zu technischen Problemen führen, die einen Betrieb des Netzes verunmöglichen, insbesondere Herausforderungen in der Übertragungskapazität und dem Halten sinnvoller Temperaturniveaus im Netz. Trotzdem kann die Rücklauf Versorgung dazu beitragen, heterogene Netze schrittweise an eine Umstellung auf 4GDH/5GDH Netze heranzuführen.

### **Wärmepumpen als Bindeglied zwischen PEDs und Fernwärmenetz zur Nutzung von Abwärme**

Für die Nutzung von Abwärme aus der Gebäudekühlung konnte die grundlegende Funktionalität ebenfalls nachgewiesen werden. Zwei kritische Aspekte für die technische Machbarkeit die zu diskutieren sind, sind einerseits die hydraulische und regelungstechnische Einbringung der Wärmepumpe in das Gesamtsystem und andererseits die Fähigkeit des Fernwärmenetzes, die von der Wärmepumpe erzeugte Abwärme aufzunehmen und zu verarbeiten. Für die hydraulische Einbindung sind vor allem das Vorsehen notwendiger Rückschlagklappen, Speicher und hydraulischer Weichen

ausschlaggebend, um die Wärmepumpe optimal mit dem Sekundärnetz zu verbinden. Sollte keine ausreichend zufriedenstellende Trennung zwischen Wärmepumpe und Sekundärnetz hergestellt werden, kann das zu Herausforderungen im Betrieb führen. Die regelungstechnische Einbindung der Wärmepumpe muss insbesondere darauf Rücksicht nehmen, welche Pumpen und hydraulischen Drücke im System vorliegen und ist eng mit dem apparativen Design verbunden. Globale Regelungen dürfen nicht mit lokalen Regelungsvorgaben konkurrieren, da sonst Effizienzverluste und Einschränkungen der Funktionalität bis hin zu Abschaltungen der Wärmepumpe auftreten können. Neben diesen anlagenspezifischen Aspekten ist insbesondere die Fähigkeit des Fernwärmenetzes, die von der Wärmepumpe erzeugte Abwärme verlässlich aufzunehmen, kritisch für den Erfolg des Gesamtsystems. Wird diese Abwärme nicht ausreichend vom Netz dissipiert, kann es zu einer Leistungsbegrenzung oder gar Abschaltung der Anlage kommen.

#### **5.5.4 Schlussfolgerungen**

Die Demonstration im Quartier Sargfabrik belegt: Rücklaufausnutzung ist technisch umsetzbar und führt zu messbarer Reduktion der Rücklauftemperatur und damit zu besseren Netzbedingungen. Die Kombination mit Wärmepumpen (Bi-Generation) ermöglicht, dass Abwärme sinnvoll genutzt wird – nicht nur für Kühlung, sondern über die Rückeinspeisung der Abwärme in das Netz auch für Trinkwassererwärmung in anderen Netzteilen, wodurch zusätzliche Systemvorteile generiert werden können. Die Demonstration im Quartier Sargfabrik zeigt, dass Fernwärme und PEDs keine konkurrierenden, sondern komplementäre Technologien darstellen, die über Wärmepumpen gewinnbringend miteinander verknüpft werden können und eine neue Rolle für Gebäude als aktive Energielieferanten (PEDs) in urbanen Wärmenetzen ermöglichen. Für eine nachhaltige Umstellung urbaner Wärmeversorgungssysteme können Wärmepumpen und Positive Energy Districts synergetisch mit Fernwärmenetzen zusammenwirken – sowohl im Bestand als auch bei Neubauquartieren.

### **5.6 Multiwärmequellen für Wärmepumpen in PEQ**

Die Integration von drei unterschiedlichen Wärmequellen – Erdsonden (Borehole Heat Exchangers, BHE), Solarkollektoren (SC) und Asphaltkollektoren (AC) – in Kombination mit Wärmepumpen sowie einer zusätzlichen Abwasserwärmepumpe zur Bereitstellung von Raumwärme, Warmwasser und Free Cooling (FC) wird am Beispiel von Wohngebäuden in Wien, Österreich, untersucht. Das System umfasst 64 Erdsonden mit einer Tiefe von jeweils 142 Metern und einer Leistung von 410 kW. Der unglasierte Solarkollektor verfügt über eine Fläche von 290 m<sup>2</sup> und eine Leistung von 87 kW, während der Asphaltkollektor eine Leistung von 40,5 kW bei einer Expositionsfläche von 135 m<sup>2</sup> bietet. Diese Quellen werden zur Unterstützung von drei Wärmepumpen mit Leistungen von 138 kW, 175 kW und 155 kW integriert; außerdem werden die Erdsonden direkt für das Free Cooling genutzt, wobei eine Kühllast von 266 kW abgedeckt wird. Zusätzlich nutzt das System die durch den AC und SC aufgenommene Wärme zur Regeneration des Untergrunds, was zur Reduktion des städtischen Wärmeinseleffekts beiträgt.

Obwohl das integrierte System ein erhebliches Potenzial für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen und die Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels aufweist, traten Herausforderungen infolge ineffizienter Auslegung, Planung und Betriebsführung auf. In diesem Beitrag untersuchen wir diese Problematiken auf Basis einer umfassenden analytischen Auswertung von einjährigen In-situ-Messungen. Diese Messungen umfassen Temperaturen, Durchflussmengen, Wetterbedingungen und Energieverbrauch. Darüber hinaus geben wir Empfehlungen zur Optimierung des Anlagenbetriebs und der Regelungsstrategie, mit dem Ziel, die Verbreitung solcher Systeme zur Erreichung stadtweiter Nachhaltigkeitsziele zu fördern.

### 5.6.1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Technologien entwickelt, um Energie aus erneuerbaren Quellen, insbesondere aus Solarenergie, zu gewinnen. Die von der Sonne emittierte Solarstrahlung kann auf der Erde absorbiert und gespeichert werden, was häufig zu erhöhten Temperaturen führt und zum städtischen Wärmeinseleffekt (Urban Heat Island, UHI) beiträgt [30]. Dieses Phänomen, das durch höhere Temperaturen in urbanen Gebieten im Vergleich zu ländlichen und vorstädtischen Regionen gekennzeichnet ist, wird durch Materialien wie Asphalt verstärkt, die im Sommer Temperaturen von bis zu 70 °C erreichen können [31]. Der daraus resultierende Anstieg der Lufttemperatur erhöht den Energieverbrauch, insbesondere für Klimatisierung, und verschlechtert die Luftqualität. Asphaltbeläge, die weit verbreitet in Straßen, Parkplätzen und Flughäfen eingesetzt werden, absorbieren erhebliche Mengen an Solarstrahlung und stehen daher im Fokus von Energiegewinnungsverfahren. Asphaltkollektoren (AC), bestehend aus unterirdischen Rohrleitungen mit zirkulierenden Fluiden, erfassen und übertragen Wärme aus dem Belag auf das Fluid, wodurch die Oberflächentemperatur reduziert und die UHI-Effekte abgeschwächt werden [32]. Gleichzeitig erzeugen AC nutzbare Energie, indem sie die Fluidtemperatur erhöhen, wodurch ein doppelter Nutzen in Form von Energieproduktion und umweltbezogener Kühlung entsteht [33]. Die Baukosten für Asphaltkollektoren liegen zwischen 25 und 150 €/m<sup>2</sup> für den Kollektor und zwischen 1.750 und 3.000 €/m<sup>2</sup> für die Gesamtkosten einschließlich Wärmetauscher. Die Energieertragskapazität von Asphaltkollektorsystemen (0,6–0,8 GJ/m<sup>2</sup>/Jahr) sowie der notwendige Wärmebedarf für Schneeschmelzsysteme (100–900 W/m<sup>2</sup>) variieren zwischen den Projekten erheblich [31]. Vizzari et al. [34] diskutierten die Vor- und Nachteile verschiedener Technologien zur Energiegewinnung aus Straßenbelägen anhand von Baukosten, elektrischen und thermischen Energieerträgen, Effizienz und technischem Reifegrad. Xiang et al. [35] schlugen eine Integration eines photovoltaisch-thermischen Straßenbelags und einer erdgekoppelten Wärmepumpe (PVTR-GSHP) vor, wie in Abbildung 18 dargestellt und durch eine zehnjährige Simulation untermauert. Während Alessandro et al. [36] experimentelle Ergebnisse zur Kopplung von AC und Erdsonden (BHE) für die Gebäudeheizung vorstellten – wobei eine Spitzenleistung von etwa 13,6 kW während der Sommersaison in mediterranem Klima rund 13,5 MWh/Jahr erzeugen konnte – erreichte das System in Utrecht laut Taher et al. [37] etwa 1,17 GJ/m<sup>2</sup>. Die gesamten energetischen und exergetischen Wirkungsgrade wurden von Onder und Leyla Ozgener [38] mit 22 % bzw. 80 % angegeben. Zudem zeigten Razavi et al. [39], dass die maximale und minimale jährliche mittlere Leistungszahl (COP) einer solarunterstützten erdgekoppelten Wärmepumpe 3,75 bzw. 3,52 betragen. Diese Kopplung

reicht aus, um im Winter die Raumheizung (SH) und die Warmwasserversorgung (DHW) eines Gebäudes im Iran vollständig zu gewährleisten. Obwohl die Literatur zeigt, dass die Nutzung von Wärme aus Asphaltkollektoren machbar und effizient ist, besteht weiterhin ein Mangel an In-situ-Messungen solcher großmaßstäblichen Projekte. Daher stellt unsere Arbeit einen neuen Ansatz vor, bei dem drei unterschiedliche thermische Energiequellen – Erdsonden (Borehole Heat Exchangers, BHE), Solarkollektoren (SC) und Asphaltkollektoren (AC) – mit Wärmepumpen verbunden werden. Dieses System wurde aufgebaut, engmaschig überwacht und anhand von In-situ-Messungen analysiert. Das System erfasst überschüssige Wärme aus urbanen Hotspots während des Sommers, speichert sie im Untergrund und nutzt sie im Winter zur Beheizung von Gebäuden. Diese Technologie ist besonders relevant in Gebieten, in denen Begrünung oder Wasserflächen nicht umsetzbar sind, und zeigt eine besonders hohe Effektivität auf großen asphaltgedeckten Flächen wie Parkplätzen.

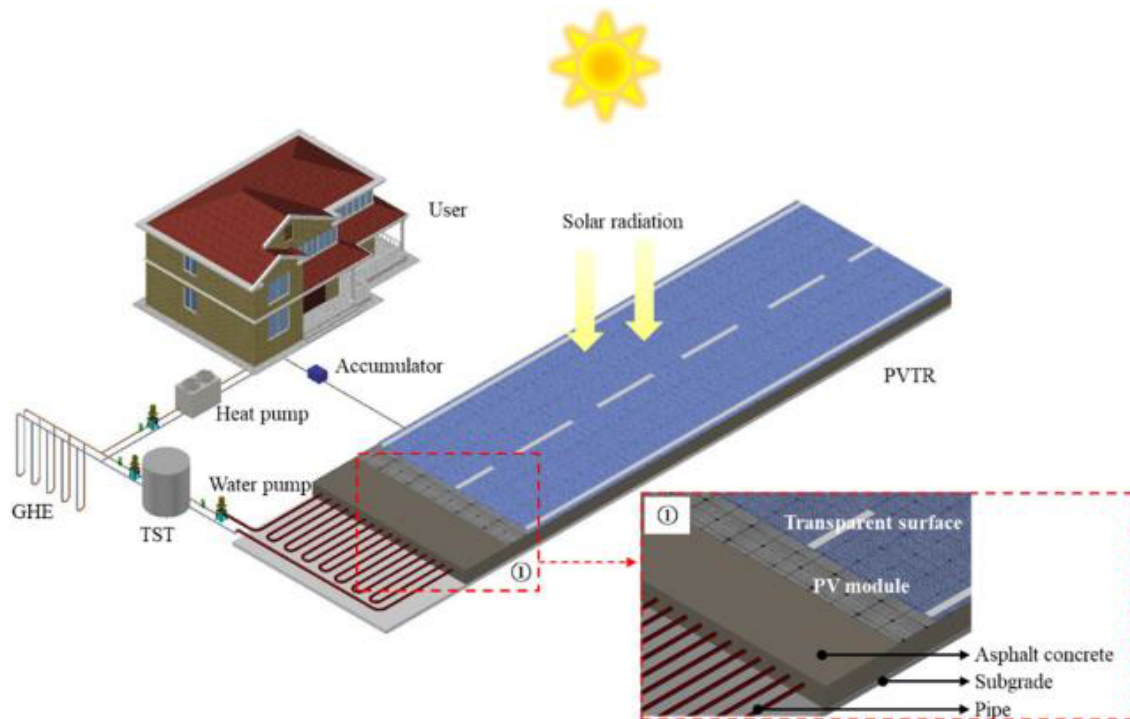


Abbildung 18: PVTR-GSHP vorgeschlagen von Xiang et al. [35].

### 5.6.2 Beschreibung des Systems

Ein neues integriertes System zur Nutzung von Solarenergie und zur Regeneration von oberflächennaher Geothermie wurde entwickelt, um den Heiz- und Kühlbedarf von 295 Wohnungen in Wien, Österreich, zu decken. Das System besteht aus 64 Erdsonden (Borehole Heat Exchangers, BHEs) mit einer Tiefe von jeweils 142 Metern, drei Wärmepumpen (WP) mit Leistungen von 138 kW, 176 kW und 155 kW, einer 136-kW-Abwasserwärmepumpe, 290 m<sup>2</sup> Solarkollektoren (SCs) sowie 135 m<sup>2</sup> Asphaltkollektoren (ACs), wie in Abbildung 19 dargestellt. Das Erdsondenfeld ist in zwei Felder unterteilt, bestehend aus 30 bzw. 34 BHEs. Jede Sonde ist mit einem Doppel-U-Rohr

mit einem Durchmesser von 32 mm ausgestattet. Beide Felder können hydraulisch unabhängig voneinander isoliert werden, sodass ein separater Betrieb während der Heiz- und Regenerationsphasen möglich ist. Das AC-System besteht aus Rohren mit einem Durchmesser von  $20 \times 2,9$  mm, die in einem Abstand von 15 cm verlegt und in 35 m langen Schleifen angeordnet sind. Diese Rohre sind in einer Tiefe von 110 mm unterhalb des Belags installiert. Die Abwasserwärmepumpe, unterstützt durch die 155-kW-Wärmepumpe und ein Fernwärmenetz, versorgt hauptsächlich die Warmwasserbereitung. Die durch die BHEs und SCs gewonnene geothermische und solare Energie wird von den Wärmepumpen zur Raumheizung genutzt. Die ACs dienen überwiegend der Regeneration des oberflächennahen Untergrunds außerhalb der Heizsaison.



Abbildung 19: Reale Fotos von a) Straße mit Asphaltkollektor (AIT), b) Installation des Asphaltkollektors (AIT), c) Abwasserwärmerückgewinnung (WBV-GPA), d) Solarthermischen Kollektoren (WBV-GPA) und e) Bohrarbeiten für Erdsonden (Quelle: AIT).

Die Wärme- und Kälteversorgung erfolgt über eine Betonkernaktivierung in den Decken sowie über eine mechanische Lüftungsanlage mit Luftbehandlungsgeräten (Gesamt-Heizleistung 509,9 kW). Überschüssige thermische Energie wird in zwei Warmwasserspeichern mit einem Fassungsvermögen von jeweils 5000 Litern gespeichert. Der Anlagenbau beginnt mit dem Bohren der Erdsonden, gefolgt von der Installation der Absorberrohre unter dem Straßenbelag. Jede Schleife wird anschließend an einen Verteiler angeschlossen, wie in Abbildung 19 dargestellt. Im Sommer wird die direkte Kühlung über einen Wärmetauscher realisiert, der Wärme von der Nachfrageseite in den oberflächennahen geothermischen Bereich über die Erdsonden überträgt. Die hydraulischen Verbindungen des Gesamtsystems sind in Abbildung 20 dargestellt.

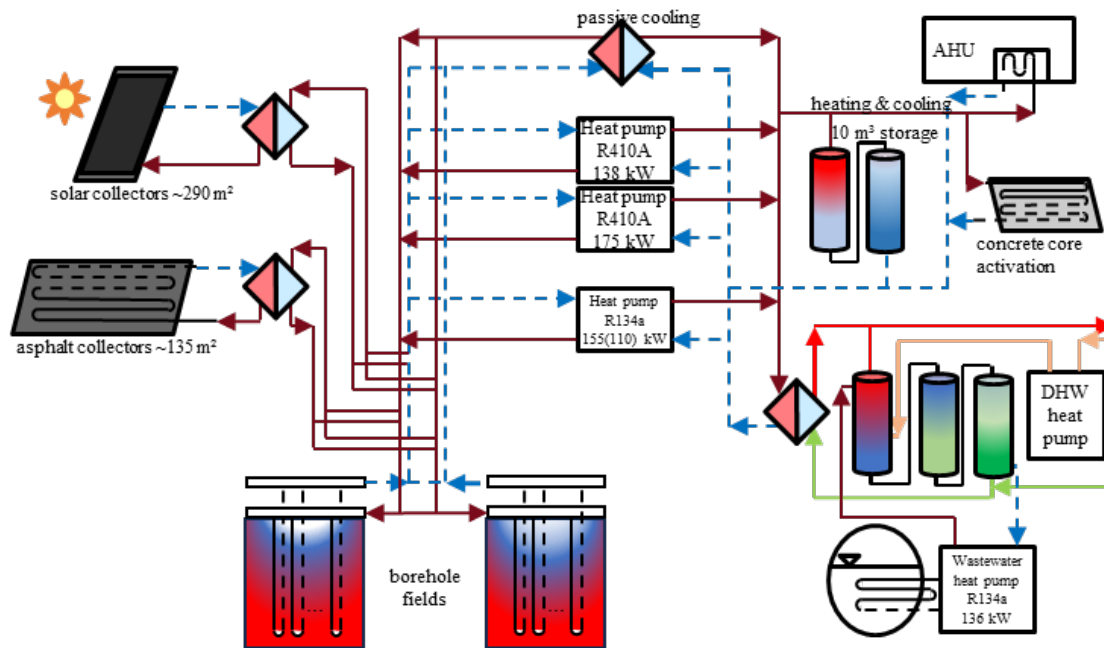


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Systems (Quelle: AIT)

### 5.6.3 Betriebs- und Regelungsstrategie

Das integrierte System verfügt über eine ausgelegte Vorlauftemperatur von 34 °C während der Heizperiode und 20 °C während der Kühlperiode. Dies wurde durch ein kernaktiviertes Heiz- und Kühlsystem erreicht, das Niedertemperaturen sowohl für den Heiz- als auch für den Kühlbetrieb nutzt und dadurch die Leistungszahl (COP) der Wärmepumpe verbessert. Es ist wichtig zu beachten, dass das System ausschließlich entweder im Heiz- oder im Kühlmodus betrieben wurde und keinen gleichzeitigen Betrieb beider Modi zuließ. Das auf der Quellenseite zirkulierende Fluid der Wärmepumpen ist eine Frostschutzsole, bestehend aus einer Mischung von 25 % Ethylenglykol und Wasser. Diese Zusammensetzung ist für das mitteleuropäische Klima geeignet und ermöglicht eine Vorlauftemperatur von 1 °C auf der Verdampferseite der Wärmepumpe sowie eine Rücklauftemperatur von 5 °C. Die Asphaltkollektoren (AC) sind in drei verschiedene Zonen unterteilt. Jede Zone ist mit drei Temperatursensoren ausgestattet: einem zur Messung der Asphalttemperatur an der Oberfläche, einem weiteren zur Überwachung der Temperatur auf Rohrebene und einem dritten Sensor unterhalb der Rohrschicht zur Erfassung der Temperatur des umliegenden Erdreichs. Im System wurde eine große Anzahl von Sensoren installiert, um Überwachung und Diagnose zu ermöglichen. Thermometer, Druckmessgeräte, Durchflussmesser und Wärmemengenzähler sind an wichtigen Komponenten installiert, darunter an der Verdampfer- und Verflüssigerseite der Wärmepumpen, in den Primär- und Sekundärkreisläufen der solarthermischen und Asphaltkollektoren sowie in den Betonkernaktivierungsschleifen und Luftbehandlungsgeräten. Diese Ausstattung ermöglicht eine umfassende Systemanalyse. Allerdings umfasst das System keine Ventilpositionsüberwachung, die zur vollständigen Bestimmung der Flussrichtung erforderlich wäre.

**Heizmodus:** Im Winter bleibt der Asphaltkollektor aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Solarenergie als Primärquelle außer Betrieb. Während solarthermische Kollektoren üblicherweise zur Warmwasserbereitung eingesetzt werden, dienen sie in diesem System als zusätzliche Wärmequelle für den Heizbetrieb und – bis zu einem gewissen Grad – zur Regeneration der Erdsondenfelder in den Übergangszeiten. Das Warmwassersystem umfasst drei in Reihe geschaltete 5000-Liter-Speicher. Eine Abwasserwärmerückgewinnungs-Wärmepumpe deckt die Grundlast ab; bei Spitzenlast aktiviert sich jedoch ein paralleler Kreislauf über ein Ventil. Dadurch kann über einen Wärmetauscher Wärme an das Warmwasser übertragen werden, bereitgestellt durch eine Wärmepumpe (mit Kältemittel R134a), die primär die Betonkernaktivierungssysteme versorgt. Für die Warmwasserbereitung erreicht die Wärmepumpe jedoch nicht ihre maximale Leistung von 155 kW, sondern nur 110 kW, da sie hierfür ein höheres Temperaturniveau bereitstellen muss. Zusätzlich wird alle 72 Stunden ein 15-minütiger thermischer Desinfektionszyklus durchgeführt, um Legionellenwachstum zu verhindern. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe hält die Warmwassertemperatur aufrecht, indem sie Wärme aus dem Technikraum entzieht. Dabei ist darauf zu achten, dass der Technikraum nicht übermäßig abgekühlt wird und die Temperatur nicht unter den Gefrierpunkt fällt.

**Kühlmodus:** Die Wärmepumpen sind nicht für aktive Kühlung ausgelegt, können jedoch eine passive Kühlung über einen Free-Cooling-Wärmetauscher (FCHE) bereitstellen. In diesem Aufbau wird Wärme aus dem Gebäude sowie Solarenergie, die von Solar- oder Asphaltkollektoren aufgenommen wird, an die Erdsonden abgeführt, die als thermisches Senkenreservoir für die Regeneration dienen. Allerdings besteht ein sequentielles Problem in der Anordnung der drei Teilsysteme: der passiven Gebäudekühlung (über Erdsonden, BHE), des Solarkollektors und des Asphaltkollektors. Der Solarkollektor ist hydraulisch vor dem Asphaltkollektor angeordnet, was zu höheren Temperaturen führt und die Effektivität des Asphaltkollektors einschränkt. Dieses Problem reduziert das Regenerationspotenzial des Asphaltkollektors im Sommer, insbesondere aufgrund fehlender Temperaturregelung. Die Erdsonden weisen eine maximale Temperaturgrenze von 30 °C auf, und im System fehlen Drei-Wege-Mischventile sowie eine steuerbare Flussrichtung. Infolgedessen bleibt der Solarkollektor im Sommer inaktiv, obwohl er in mitteleuropäischen Klimazonen ein hohes Ertragspotenzial besitzt. Hydraulisch könnte das System in zwei Erdsondenfelder aufgeteilt werden: eines für die Regeneration durch den Asphaltkollektor, indem die Temperatur des Rücklaufs der passiven Kühlung erhöht wird, und ein weiteres für den solarthermischen Kollektor. Da jedoch im Sommer die Kühllast ihren Höchstwert erreicht, wären die separaten Felder mit 30 bzw. 34 Erdsonden nicht ausreichend leistungsfähig, sodass für eine zuverlässige Funktion das gesamte Feld mit 64 Erdsonden erforderlich ist. Dies verdeutlicht die Einschränkungen, die aus der aktuellen FC–SC–AC–BHE-Verbindungsline resultieren. Zusätzlich führt das Fehlen eines Mischventils dazu, dass selbst bei einer Trennung der Erdsondenfelder der solarthermische Kollektor den Betrieb einstellen muss, sobald die Temperatur im Erdreich die Grenze von 30 °C erreicht. Dies schränkt seine Einsatzmöglichkeiten weiter ein. Zusätzlich zu den zuvor genannten Einschränkungen für den Solarkollektor wurde eine weitere Bedingung festgelegt: Die Sekundär-Vorlauftemperatur des Solarkollektors (Austrittstemperatur des Erdsondenfeldes) muss jeden Monat unter einem definierten Grenzwert bleiben. Dies stellt sicher, dass in den folgenden Tagen der Kühlperiode weiterhin das Potenzial für Free Cooling besteht. Die Temperaturgrenzen liegen bei 18 °C für Juni und Juli sowie

bei 20 °C für August. Im Regenerationsmodus führt diese Vorgabe im Wiener Klima praktisch zu einer nahezu vollständigen Abschaltung des Solarkollektors.

#### **Regenerationsbetrieb durch den Asphaltkollektor (AC):**

Während der Sommerperiode wird die von den Asphaltkollektoren (AC) gewonnene Solarenergie über Erdsonden (Borehole Heat Exchanger, BHE) in den oberflächennahen Untergrund eingetragen. In dieser Studie werden drei unterschiedliche Betriebsmodi untersucht: Dauerbetrieb, Temperaturdifferenzregelung ( $\Delta T$ ) und tageslichtbasierte Regelung. Jeder Modus wird hinsichtlich seiner Wirksamkeit bei der Steuerung und Speicherung des Energieeintrags bewertet. Im Dauerbetrieb werden sowohl die Primär- als auch die Sekundärkreisumpen des Asphaltkollektors kontinuierlich betrieben, um die Regeneration am Einlass der Erdsonden sicherzustellen. Bei der Temperaturdifferenzregelung ( $\Delta T$ ) muss die Rohrtemperatur des Asphaltkollektors mindestens 2 K höher sein als die Erdsonden-Eintrittstemperatur, damit die Primärpumpe aktiviert wird. Die Sekundärpumpe kann nur dann zur Regeneration starten, wenn die Primärpumpe bereits in Betrieb ist und die Austrittstemperatur des Asphaltkollektors auf der Sekundärseite mindestens 2 K über der Erdsonden-Eintrittstemperatur liegt. Sobald diese Bedingungen erfüllt sind, startet die Sekundärpumpe und die Regeneration des Erdsondenfeldes beginnt. Um häufige Schaltvorgänge zu vermeiden, wird das System abgeschaltet, sobald die Temperaturdifferenz zwischen dem sekundären Auslauf und dem Erdsonden-Einlass auf 1 K oder weniger abfällt; es wird eine Hysterese von 1 K angewendet. Darüber hinaus wird eine Mindestwartezeit von 30 Minuten implementiert, bevor das System erneut aktiviert werden kann. Im Tageslichtbetrieb wird die Primärkreispumpe aktiviert, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: (1) die Wetterstation registriert Tageslicht und (2) die Kollektortemperatur übersteigt die Erdsonden-Eintrittstemperatur um mindestens 4 K. Das System arbeitet mit einer Mindestdurchflussbegrenzung, um eine hohe Temperaturdifferenz sicherzustellen und somit einen effizienten Energieeintrag zu gewährleisten.

#### **5.6.4 Ergebnisse und Diskussion**

Die Systemleistung wurde zwischen Juni 2023 und Oktober 2024 überwacht. In diesem Zeitraum wurden die Betriebsmodi untersucht und analysiert. Obwohl umfassende Messdaten im 15-Minuten-Intervall aufgezeichnet wurden, fehlen einige Werte, insbesondere für das Free Cooling über den Direktwärmetauscher sowie bestimmte Messgrößen im Zusammenhang mit den Asphalt- (AC) und Solarkollektoren (SC). Die erfassten Daten umfassen Temperaturen in den Primär- und Sekundärkreisläufen der Wärmetauscher für AC, SC, BHEs, FC und Wärmepumpen. Zusätzlich wurden die Durchflussmengen auf der Primärseite von AC und SC sowie für die BHE-Felder gemessen. Wärmemengenzähler erfassten die Heiz- und Kühlleistungen der Wärmepumpen, der BHEs sowie der AC- und SC-Systeme. Darüber hinaus spiegelten Stromzähler die langfristigen Betriebstrends wider. Die Ergebnisse werden für zwei Betriebsmodi dargestellt: „Dauerbetrieb“ und „Tageslichtregelung“. Der Modus „ $\Delta T$ -Regelung“ wurde ausgeschlossen, da aufgrund eines fehlerhaften Hardware-Programmierens die Einschaltkriterien nicht korrekt umgesetzt wurden.

**Regelung im Dauerbetrieb:** Der Dauerbetrieb des Asphaltkollektors (AC) wird für den August 2024 analysiert. In diesem Zeitraum wird der durchschnittliche Pumpenvolumenstrom auf der Primärseite mit  $0,77 \text{ m}^3/\text{h}$  konstant gehalten, während die Pumpe des Solarkollektors (SC) so geregelt wird, dass die Vorlauftemperatur unter  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  bleibt und die Temperaturdifferenz zwischen Primär- und Sekundärseite im Bereich von  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  liegt. Dies erklärt die schwankenden Durchflussmengen in den Abbildung 21a und Abbildung 22a. Die Vorlauftemperaturen erreichen  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  sowohl beim AC als auch beim SC sowie  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  beim Free Cooling (FC), was zu einer durchschnittlichen Vorlauftemperatur von  $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$  zu den Erdsonden führt. Die Ergebnisse zeigen, dass die in die Erdsonden (BHE) eingetragene Energie hauptsächlich von der durch das FC absorbierten Kühlenergie bestimmt wird, die eine Spitzenleistung von  $300 \text{ kW}$  erreicht. An zweiter Stelle folgt die vom SC während der Spitzen-Solarstunden (12:00–18:00 Uhr) bereitgestellte Energie, mit einer Spitzenleistung von  $200 \text{ kW}$ , wie in Abbildung 21b dargestellt. Abbildung 21c zeigt das Lastverteilungsprofil dieser drei Wärmequellen. Es wird deutlich, dass der SC zur Mittagszeit mehr als  $60 \%$  der Energie liefert, während der Beitrag des AC aufgrund geringer Durchflussmengen und begrenztem Wärmeübergang  $10 \%$  nicht überschreitet. Die verbleibende Energie, die in die Erdsonden eingetragen wird, stammt aus dem FC.

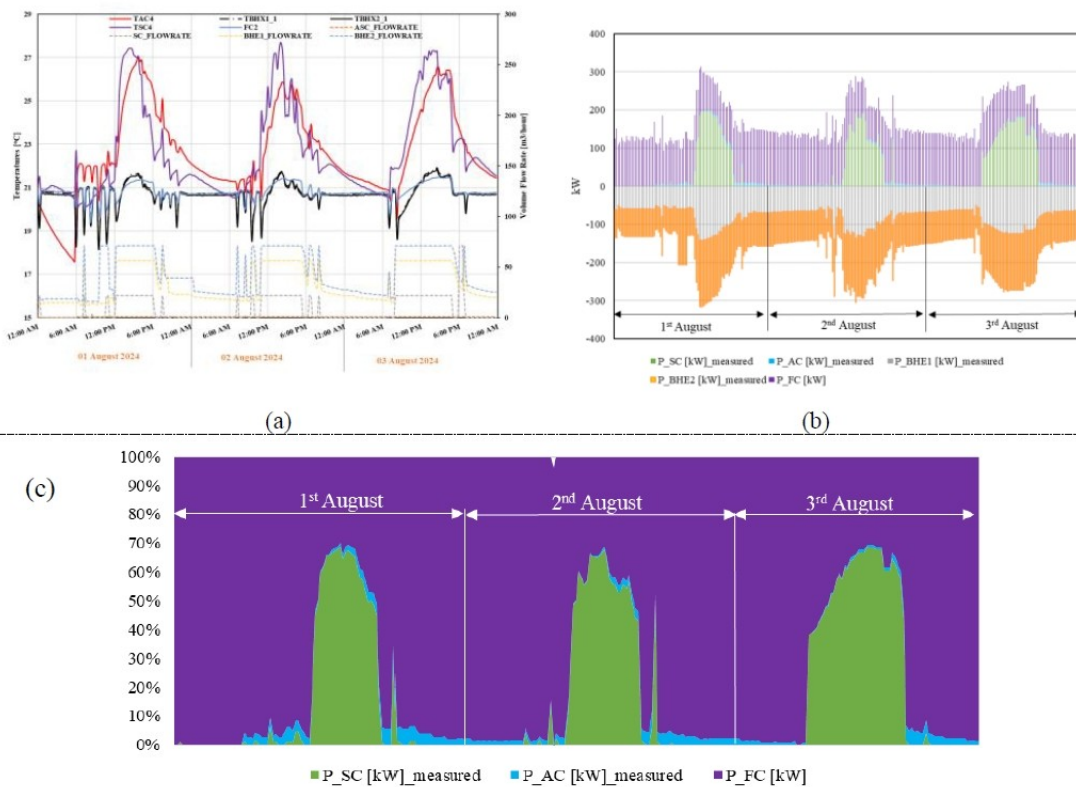


Abbildung 21: Dauerbetriebsmodus: a) Temperaturverläufe, b) Leistungsverlauf, c) Lastverteilungsprofil (Quelle: AIT)

**Regelung im Tageslichtbetrieb:** Der zweite Betriebsmodus, bei dem das Tageslicht den Betrieb der AC-Pumpe steuert, wird für Juli 2024 analysiert, wie in Abbildung 22 dargestellt. Die durchschnittliche Austrittstemperatur der Erdsonden (BHE) erreicht 20,7 °C, wie in Abbildung 22a gezeigt. Diese Temperatur wird hauptsächlich durch die aus den Gebäuden aufgenommene Kühlenergie beeinflusst, die eine Spitzenleistung von 140 kW erreicht. Danach folgt der Beitrag des Asphaltkollektors (AC) mit einer Spitzenleistung von 9 kW, wie in Abbildung 22b dargestellt; der Beitrag des Solarkollektors (SC) ist aufgrund der Regelkriterien nahezu vernachlässigbar. In beiden Regelungsmodi bleibt der Beitrag des AC aufgrund der niedrigen verwendeten Volumenströme und der Begrenzung der maximalen Temperatur am BHE-Einlass sehr gering.

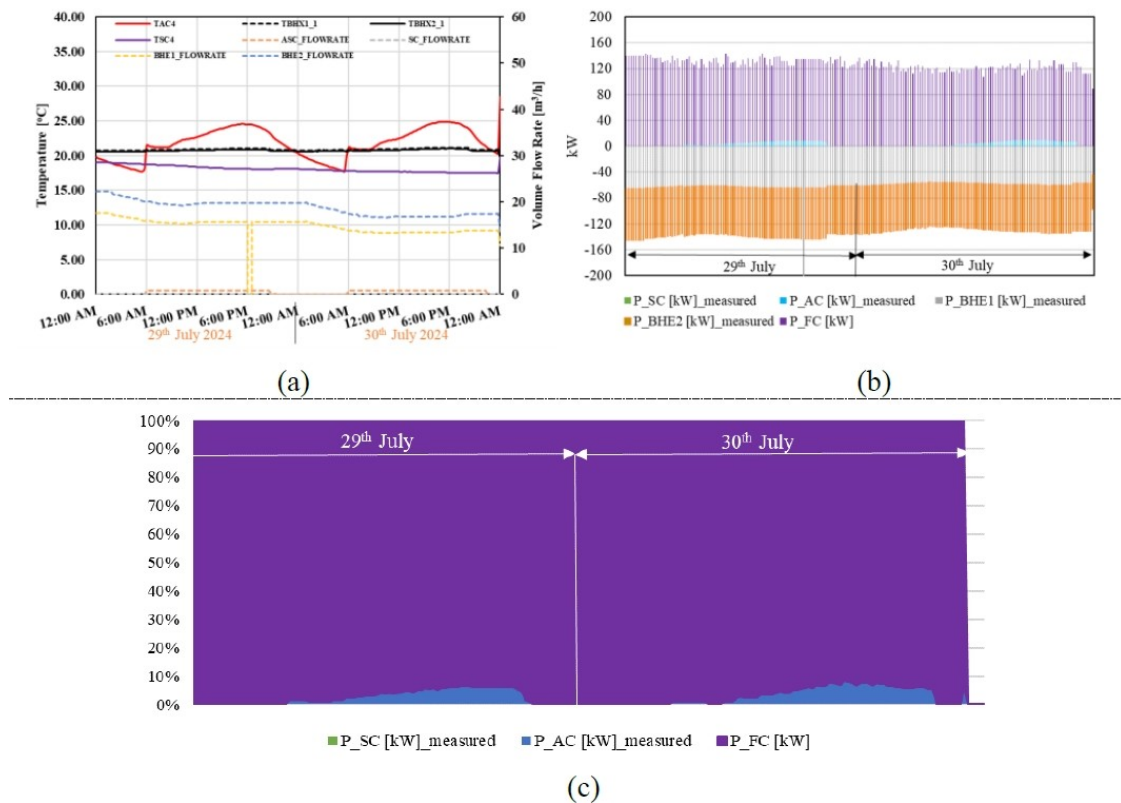


Abbildung 22: Tageslichtbetriebsmodus: a) Temperaturprofile, b) Leistungsprofil, c) Lastverteilungsprofil (Quelle: AIT)

**Energieeffizienz:** Die monatlich sowie insgesamt erzeugten Energiemengen der Asphaltkollektoren (AC) und Solarkollektoren (SC) in den Jahren 2023 und 2024 wurden unter verschiedenen Betriebs- und Regelungsstrategien ausgewertet. Die in einem Monat erzeugte Spitzenenergie der AC und SC erreichte im August 2024 unter der Tageslichtregelung 1.790 kWh bzw. 24.030 kWh. Die insgesamt erzeugte Energie beider Systeme in zehn Monaten des Jahres 2024 betrug 4.460 kWh für die AC und 127.210 kWh für die SC.

### 5.6.5 Zusammenfassung

Dieser Abschnitt untersucht die Integration von drei thermischen Energiequellen, die in den Jahren 2023 bis 2024 überwacht wurden. Das System kombiniert Asphaltkollektoren (AC) und Solarkollektoren (SC) mit oberflächennahen geothermischen Erdsonden für Heiz-, Kühl- und Regenerationsanwendungen und versorgt eine Wohnsiedlung in Wien, Österreich. Insbesondere wurden zwei Regelungsmodi – Dauerbetrieb und Tageslichtregelung – während der Regenerationsphase getestet. Die wichtigsten Ergebnisse aus den Monitoringdaten sind wie folgt: (1) Im August 2024 erreichte die Spitzenenergie, die unter der Tageslichtregelung vom AC bzw. SC erzeugt wurde, 1.790 kWh bzw. 24.030 kWh. (2) Insgesamt erzeugten AC und SC von Januar bis Oktober 2024 4.460 kWh bzw. 127.210 kWh Energie. (3) Im Dauerbetriebsmodus trug der SC etwa 70 % der Gesamtenergie bei, während der Beitrag des AC unter 10 % lag.

Während der Monitoringphase wurden jedoch mehrere Einschränkungen identifiziert, die die Effizienz des Systems beeinträchtigen: (1) Der Beitrag des Asphaltkollektors (AC) war aufgrund niedriger Volumenströme und der Temperaturbegrenzung am Einlass des Erdsondenwärmetauschers (BHE) sehr gering. (2) Das Fehlen eines Mischventils führt dazu, dass – selbst bei einer hydraulischen Trennung der Erdsondenfelder – der solarthermische Kollektor den Betrieb einstellen muss, sobald die Eintrittstemperatur auf der Sekundärseite 30 °C erreicht. Dies reduziert seine Funktionalität erheblich. Zusätzlich wird der Solarkollektor während der Kühlperiode durch weitere temperaturbasierte Begrenzungen eingeschränkt, die auf einer monatsabhängigen Look-up-Tabelle basieren, um das volle Free-Cooling-Potenzial der Erdsonden zu erhalten. Infolgedessen bleibt der Solarkollektor im Sommer inaktiv, obwohl er im mitteleuropäischen Klima ein hohes Ertragspotenzial hätte. (3) Der Solarkollektor ist hydraulisch vor dem Asphaltkollektor angeordnet, was zu höheren Temperaturen führt und die Effizienz des Asphaltkollektors weiter begrenzt.

# 6 Vernetzung und Ergebnistransfer

## **Konsortium**

Die österreichischen Kooperationspartner (UIBK, AIT, AEE INTEC) haben langjährige Erfahrung in der internationalen Zusammenarbeit. Ergebnisse aus nationalen Projekten werden entsprechend der Ziele der Arbeitspakete des internationalen Projekts analysiert, aufbereitet, übersetzt, bei den internationalen Meetings präsentiert und mit den Expert:innen aus anderen teilnehmenden Ländern diskutiert. Zusätzlich werden ergänzende Forschungsfragen kooperativ bearbeitet. Der ExCo-Vertreter wurde in alle Aktivitäten eingebunden.

Der IEA HPT Annex 61 stand in Verbindungen mit weiteren parallel laufenden internationalen Projekten wodurch auch die Vernetzung mit anderen TCPs garantiert ist:

- HPT Annex 57, der Gebäudegruppen oder Quartieren mit thermischen Netzen untersucht;
- HPT Annex 62, mit Schwerpunkt auf Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern;
- SHC Task 66 mit Fokus auf sog. Solar Energy Buildings; und
- EBC Annex 83 mit Fokus auf Plusenergiequartiere;

## **Ziele der nationalen Dissemination**

Die Disseminationstätigkeiten hatten insbesondere das Ziel der Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit der nationalen Wärmepumpenforschung durch die Einbringung der österreichischen Beiträge in internationale Expertenmeetings und Präsentation auf Konferenzen/Tagungen. Dies erfolgte in Abstimmung und unter Einbindung nationaler WP Hersteller (z.B. idm, Heliotherm, Drexel und Weiss) auch um deren Wettbewerbsvorteil zu stärken.

Die Ziele der Kommunikations und Disseminierungsarbeiten sind

- Aufbereiten von Information und Know-how Transfer zum Bewusstsein von PEQ und der Rolle von Wärmepumpen in PEQ.
- Erhöhung der Akzeptanz von Wärmepumpensysteme in Gebäuden und Quartieren für die beschleunigte Erreichung von PEQ in Österreich. Aufbereitung der Information für öffentliche Entscheidungsträger:innen, Planungsbüros und Nutzer:innen.
- Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit der österreichischen Forschung und Entwicklung im Bereich Wärmepumpen und PEQ.
- Einbindung der Forschungsergebnisse in die Lehre, insbesondere an der UIBK in Innsbruck.
- Kontinuierlicher Informationsfluss an das BMK sowie den nationalen Ex-Co Vertreter über die Projektergebnisse

## **Zielgruppen**

- Auftraggeber (BMK) sowie nationaler Ex-Co Vertreter
- Wissenschaftler
- Forschungsinstitute

- Studierende an den Universitäten
- Hersteller und Anbieter von Wärmepumpen und Wärmepumpensysteme
- TGA Planungs- und Architekturbüros sowie Energieberater:innen
- Projektentwickler und Bauträger
- Wohnbaugesellschaften
- Fernwärmebetreiber und Energieversorger
- Politische Entscheidungsträger:innen
- Vertreter:innen von Branchen und Verbände (insbesondere Wärmepumpe Austria)

### **Kommunikationsstrategie und Aktivitäten**

Teilnahme mind. Jeweils 1 Partners an den internationalen Meetings. Vor- und Nachbereitung durch nationale (online) Meetings

Zielgruppe: nat. + int. Projektpartner, ExCo, BMK, Wissenschaftler:innen

Datum: Projektstart, dann alle 6 Monate

Sprache: D

Nationale Arbeitstreffen (physikalisch und Online) zur besseren nat. Vernetzung und zum effizienten Beitragen der nationalen Ergebnisse zum int. Annex

Zielgruppe: nat. Projektpartner, ExCo, BMK, Wissenschaftler:innen

Datum: Projektstart, dann alle 6 Monate

Sprache: D

Präsentation des Projekts sowie ausgewählter Ergebnisse auf der Website der Projekt-Partner

Zielgruppe: alle

Datum: Projektstart

Sprache: D / E

Projektbeschreibung auf [www.nachhaltigwirtschaften.at/iea](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea)

Zielgruppe: alle

Datum: Projektstart

Sprache: D

Einladung des BMK und des nationalen ExCo Vertreters zu Veranstaltungen

Zielgruppe: alle

Datum: Projektstart

Sprache: D

Präsentation des Projekts sowie ausgewählter Ergebnisse und Erkenntnisse auf nat. IEA Vernetzungstreffen

Zielgruppe: nationale Wissenschaftler:innen, Planer:innen, Energieberatung; WP Hersteller, Kommunen, ESCOs

Datum: jährlich

Sprache: D

Präsentation von Ergebnissen einem Newsletter des Verbandes Wärmepumpe Austria

Zielgruppe: nationale Wissenschaftler:innen, Planer:innen, Energieberatung; WP Hersteller, Kommunen, ESCOs

Datum: Dezember 2025

Sprache: D

<https://www.waermepumpe-austria.at/newsdetails/aktuelle-forschungsergebnisse-waermepumpen-in-plusenergie-quartieren>

Nationale Vernetzung mit relevanten IEA HPT Annexen (A57, A60) und SHC Tasks (T63, T66) durch Teilnahme und Präsentation an deren Expert:innen WS

Zielgruppe: nationale Wissenschaftler:innen, Planer:innen, Energieberatung; WP Hersteller, Kommunen, ESCOs

Datum: jährlich

Sprache: D / E

Einbringung relevanter Erkenntnisse in Sitzungen nat. und internat. Normungs- & Standardisierungsgremien (Komitee 175 und Komitee 235)

Zielgruppe: nationale Wissenschaftler:innen, Planer:innen, Energieberatung; WP Hersteller, Kommunen, ESCOs

Datum: Projektende

Sprache: D

Beitrag in relevanten Fachzeitschriften

TGA, (2023, <https://tga.at/wohnbau/serielle-sanierung-renowave/>);

EcoNova (2025, [https://issuu.com/eco.nova/docs/eco.nova\\_februar\\_2025](https://issuu.com/eco.nova/docs/eco.nova_februar_2025))

Nachhaltige Technologien, 03/2024; Netto-Null-Sanierung im Geschosswohnbau mit vorgefertigten Fassaden und Kleinst-Wärmepumpen „nachhaltige technologien 03 | 2023“

Zielgruppe: Energieberatung; WP Hersteller, Kommunen, Wohnbaugesellschaften

Datum: Projektende

Sprache: D

Durchführung gemeinsamer Workshops mit IEA SHC Task 66, IEA EBC Annex83, IEA HPT Annex 62

- IEA SHC Task 66, EBC Annex 83 im Rahmen der IEA HPT Konferenz 2023 (15.05.2024 Chicago)

- IEA SHC Task 66 im Rahmen des IEA SHC Task 66 Industrieworkshops (10.10.2023 Graz)

- IEA EBC Annex 83 im Rahmen der BAUZ! 2024 (16.04.2024 Wien)

- IEA HPT Annex 62, Online-Workshop am 17.06.2025

Zielgruppe: internationale Wissenschaftler:innen, Planer:innen, Energieberatung; WP Hersteller, Kommunen, ESCOs

Sprache: E

Durchführung eines nationalen Workshops in Wien am AIT zur Präsentation der Ergebnisse für den österreichischen Markt

Zielgruppe Wärmepumpenherstellern (über Wärmepumpenverband) Planer:innen

Datum: 10.09.2025

Sprache: D

<https://www.uibk.ac.at/de/bauphysik/aktuell/workshop-waermepumpen-in-plusenergie-quartieren/>

Vortrag bei Summerschool: Ochs, Fabian; PEDs and Digital Twins, Concordia University, Montreal, PED Summer School 23.07.2024

Zielgruppe Studierende

Datum: 10.09.2025

Sprache: E

Vortrag bei Impact Days, Renowave.at Ochs, Fabian; Wärmepumpen in der Bestandssanierung;

Zielgruppe Wärmepumpenherstellern (über Wärmepumpenverband) Planer:innen

Datum: 10.11.2024

Sprache: D

Impact Days 2024, <https://impact-days.at/wp-content/uploads/2024/11/ochs-fabian-waermepumpe.pdf>

### **Wissenschaftliche Vernetzung und Dissemination international**

Zielgruppe: Wissenschaftler:innen, WP Hersteller, Planungsbüros, Energieberatung

- Beitrag zur **IEA HPT Konferenz 2023** (Chicago)  
Ochs, Fabian; Tosatto, Alice; Magni, Mara; Venturi, Elisa; Monteleone, William; Dermentzis, Georgios (2023): Strategies to overcome the dilemma in renovating and integrating HPs and RE into the building stock. In: 14 th IEA Heat Pump Conference, 2023, Chicago. Proceedings. 15-18 May 2023, Chicago, Illinois. IEA - Heat Pumping Technologies, S. 1 - 12. [https://www.hpc2023.org/wp-content/uploads/gravity\\_forms/3-7075ba8a16c5f78b321724d090fb2a34/2023/05/0651\\_HPC2023\\_Full\\_Paper\\_Ochs\\_v02.pdf](https://www.hpc2023.org/wp-content/uploads/gravity_forms/3-7075ba8a16c5f78b321724d090fb2a34/2023/05/0651_HPC2023_Full_Paper_Ochs_v02.pdf)
- Beitrag zum **HP Summit in Nürnberg** 2023 und 2025  
Ochs, Fabian; Towards Cost-Optimal Heat Pump System Design for Positive Energy Districts; European Heat Pump Summit, November 2025, Nürnberg. European Heat Pump Summit  
Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Magni, Mara; Monteleone, William; Venturi, Elisa: Integral planning tool for thermal renovation and Heat Pump application in multi-apartment buildings. European Heat Pump Summit, Nürnberg, 25.10.2023. European Heat Pump Summit
- Beitrag zum 1. Ingolstädter Wärmepumpen-Forum  
Ochs, Fabian; Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in (Plus-Energie-)Quartieren. 1. Ingolstädter Wärmepumpen-Forum - Projekt W<sup>3</sup>, Ingolstadt, TH Ingolstadt 12.03.2024.
- **Beitrag auf int. Konferenzen**  
Wemhoener, Carsten; Ochs, Fabian; Betzold, Christina; Bockelmann, Franziska; Heat pump integration in Positive Energy Districts – Simulation and monitoring results of IEA HPT Annex 61, CISBAT 2025

Ochs, Fabian; Breuss, Samuel; Venturi, Elisa; Magni, Mara; Dermentzis, Georgios (2024): Towards Positive Energy Districts. Innsbruck, "Campagne Areal". In: AEE INTEC: ISEC 2024. The 3rd International Conference on Renewable Heating and Cooling in Integrated Urban and Industrial Energy Systems. AEE INTEC.

Breuss, Samuel; Venturi, Elisa; Monteleone, William; Dermentzis, Georgios; Ochs, Fabian; Optimization of a multi-apartment HVAC system using simulation and monitoring data, Clima 2025

Serageldin, Ahmed A.; Mihály, Nándor; Kling, Stephan; Reichl, Christoph; Haslinger, Edith: Insights into Thermal and Energy Efficiency of a Residential Heating System: A Case Study on Asphalt Collector Integration with Heat Pump, Clima 2025

Ochs, Fabian; Wemhoener, Carsten; Rohringer, Christoph; Reichl, Christoph: IEA HPT Annex 61 – Integration of Heat Pumps in Positive Energy Districts, Joint Annual Meeting of ÖPG and SPS 2025: 74th Joint Annual Meeting of the Austrian Physical Society

Wemhoener, Carsten; Ochs, Fabian; Betzold, Christina; Bockelmann, Franziska (2024): IEA HPT Annex 61 - Simulation von Wärmepumpen in Plusenergiequartieren. In: Bednar, Thomas: Proceedings of BauSim Conference 2024. 10te Konferenz von IBPSA-DACH, TU Wien, Österreich. Proceedings. 23-26 September 2024, Vienna, Austria. International Building Performance Simulation Association (IBPSA), ISBN 978-3-200-10068-8, S. 184 - 191.

Dermentzis, Georgios; Tsaris, Anastasios; Monteleone, William; Ochs, Fabian; Performance Evaluation of Decentralized Split Unit Air-to-air Heat Pumps; Proceedings Bausim 2024, 23.-26. September, TU Vienna

Venturi, Elisa, Ochs, Fabian; Magni, Mara; Dermentzis, Georgios; EuroSun, Evaluation of positive energy districts with district heating and heat pumps. In: Alexandros Charalambides: EuroSun 2024 Proceedings. ISES and IEA SHC International Conference on Sustainable and Solar Energy for Buildings and Industry. Freiburg i. Br.: International Solar Energy Society (ISES).

Wemhoener, Carsten; Bockelmann, Franziska; Ochs, Fabian; Hummel, Sebastian; Annex 61 – State of heat pumps in positive energy districts; Proceedings Zero Carbon in the Built Environment ZCBE Conference, 3.-5. July, 2024, University of Nottingham

Wemhoener, Carsten; Ochs, Fabian; Bockelmann, Franziska; Betzold, Christina; Heat Pumps in Positive Energy Districts; EuroSun 2022 Proceedings, 26. – 28.9.2022, Kassel

- **Wiss. Paper in internationalem Journal**

Ochs, Fabian; Tosatto, Alice; Venturi, Elisa; Wemhöner, Carsten; Characteristic Load Curves of Positive Energy Districts, Solar Energy Advances, Elsevier, 2024

- Ochs, Fabian; Franzoi, Nicola; Dermentzis, Georgios; Monteleone, William; Magni, Mara; "Monitoring and simulation-based optimization of two multi-apartment NZEBs with heat pump, solar thermal and PV" Journal of Building Performance Simulation, 1-26

- Ochs, Fabian; Magni, Mara; Dermentzis, Georgios; Integration of heat pumps in buildings and district heating systems—Evaluation on a building and energy system level; Energies 15 (11), 3889

- Vorbereitung eines Beitrags zur **IEA HPT Konferenz 2026** (Vienna)  
Ochs, Fabian; Magni, Mara; Venturi, Elisa; Monteleone, William; Breuss, Samuel; Georgios, Dermentzis 2026, Simulation-based Heat Pump System Design and Optimization for Multi-Apartment Buildings. In: 15th IEA HP Conference 2026, Vienna (accepted)  
Venturi, Elisa; Breuss, Samuel; Ochs, Fabian; Life Cycle Assessment of Heat Pump-Based Hydronic Systems for Multi-Apartment Buildings. In: 15th IEA HP Conference 2026, Vienna (accepted)
- Breuss, Samuel; Venturi, Elisa; Magni, Mara; Monteleone, William; Ochs, Fabian; (2025):  
Reduced Order Modeling of Domestic Hot Water Distribution Systems for Heat Pump Integration in Multi Apartment Buildings. In: 15th IEA Heat Pump Conference 2026 Vienna (accepted)

# 7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

## Schlussfolgerungen

Das Konzept der Plusenergiequartiere (PEQ) zielt darauf ab, die Energiewende in Städten durch die Förderung von Planungsprozessen, -instrumenten und -technologien zu unterstützen. Darüber hinaus soll das Bewusstsein für nachhaltige Städte gestärkt und die Machbarkeit einer positiven Energiebilanz auf Quartiersebene aufgezeigt werden. Es besteht die Notwendigkeit einer klaren Definition von PEQ. Während ein virtuelles PEQ einen Weg zur Angleichung an nationale Prinzipien bietet, lässt sich ein autonomes PEQ nur bei begrenztem Energiebedarf realisieren.

Die Dekarbonisierung des Gebäudesektors ist eng mit der Elektrifizierung von Gebäuden und der Fernwärmeversorgung durch die Integration von Wärmepumpen verknüpft. Dadurch erhöht sich die Belastung des Stromnetzes. Die Auswirkungen von Energieeffizienz und Energieflexibilität auf das Stromnetz werden anhand von Gebäude- und Quartiersmodellen analysiert und verglichen. Eine positive Energiebilanz mit erneuerbaren Energien vor Ort (PEQ) ist nur bei Neubauten oder umfassend sanierten Einfamilienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern mit effizienten Wärmepumpensystemen möglich. In dicht bebauten Quartieren (Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude) und Quartieren mit bestehenden, nicht sanierten Gebäuden kann der Energiebedarf nicht vollständig durch erneuerbare Energien vor Ort gedeckt werden. Die Anwendung des PEQ-Konzepts ist dennoch sinnvoll, da es das Verständnis und die Bewertung verschiedener Maßnahmen zur Erreichung einer positiven Energiebilanz unterstützt, wie z. B. die Qualität der Gebäudehülle, effiziente Wärmepumpensysteme und Photovoltaikanlagen nicht nur auf dem Dach, sondern auch an der Fassade. Die Schließung der Lücke zwischen Energiebedarf im Winter und Erzeugung erneuerbarer Energien im Sommer (sogenannte Winterlücke) ist entscheidend für den Aufbau eines nachhaltigen und resilienten Energiesystems.

Durch die Integration von Photovoltaik und Batteriespeichern lässt sich zwar der aus dem Netz bezogene Strombedarf spürbar senken, die Auswirkungen auf die Netzlast bleiben jedoch gering. Insbesondere im Winter zeigt sich kaum ein Effekt auf die Netznachfrage. Zwar kann der Stromverbrauch von der Nacht in die Tagesstunden verlagert werden, was die Integration fluktuierender erneuerbarer Energien verbessert, dennoch werden weder der Bedarf an Spitzenlastkapazitäten im Netz noch der Einsatz von Spitzenlastkraftwerken bzw. zentralen Speichern nennenswert reduziert. Die saisonale Diskrepanz zwischen Energieerzeugung und -nachfrage, insbesondere auch die Überproduktion im Sommer durch die Abhängigkeit von Photovoltaik, kann zu Netzengpässen führen und somit neue Herausforderungen für die Dekarbonisierung mit sich bringen.

Demgegenüber führen Effizienzmaßnahmen wie umfassende thermische Sanierungen, der Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung oder der Umstieg auf effiziente Wärmepumpen zu einer deutlich spürbaren Reduktion von Netzlast und Winterlücke und beeinflussen damit auch die erforderliche Netzlastkapazität. Solche Maßnahmen senken die Last signifikant und tragen gleichzeitig zur Reduzierung von Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. In Gebäuden mit hohem Energiebedarf fällt die Winterlücke wesentlich länger und ausgeprägter aus als in hocheffizienten Gebäuden mit optimal ausgelegten Anlagensystemen.

Lastmanagement und die Integration von Speichern können ein ausgewogeneres Energiesystem zusätzlich unterstützen, jedoch erst als letzter Schritt, wenn alle Effizienzpotenziale ausgeschöpft sind. Eine integrierte Gebäude- und Systemplanung, die die Energieeffizienz von Gebäuden und Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage, die Effizienz von Übertragung und Verteilung sowie die Effizienz von Energiespeichern berücksichtigt, ist Voraussetzung. Kenntnisse über die charakteristischen Lastkurven und das Potenzial erneuerbarer Energien können den Entscheidungsprozess in einer frühen Planungsphase unterstützen.

### **Ausblick und Empfehlungen**

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass es keine universelle Lösung für die Umsetzung von PEQ gibt, da sich städtische Gebiete hinsichtlich ihrer räumlichen, infrastrukturellen und sozioökonomischen Merkmale erheblich unterscheiden. Daher müssen Strategien für PEQ an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden. In diesem Zusammenhang ist die Umsetzung und Dokumentation von Best Practice PEQ notwendig.

Eine positive Energiebilanz ist für neue, hocheffiziente Gebäude mit effizienten Wärmepumpensystemen und erneuerbaren Energien vor Ort selbst in kalten Klimazonen möglich. Die Realisierung eines PEQ in bestehenden oder dicht bebauten Gebieten kann jedoch eine große Herausforderung darstellen. Darüber hinaus ist die Planung von Wärmepumpensystemen für PEQs aufgrund des deutlich höheren Gestaltungsspielraums wesentlich komplexer. Unterschiedliche Energiebedürfnisse auf verschiedenen Temperaturebenen, wie z. B. Raumheizung, Warmwasserbereitung und Raumkühlung, müssen berücksichtigt werden.

Abhängig vom Lastprofil, das von der Gebäudeart (Wohn- oder Nichtwohngebäude), dem Klima und der Verfügbarkeit von Wärmepumpen vor Ort (oder in der Nähe) abhängt, stehen verschiedene Optionen für die Auslegung und Integration von Wärmepumpensystemen zur Verfügung.

- Zentral (eine pro Stadtteil)
- Semizentral (zentrale Niedertemperatur-Wärmepumpe + dezentrale Zusatz-Wärmepumpe auf Gebäude- oder Wohnungsebene)
- Dezentral (Wärmepumpe pro Gebäude)
- Gemischt (z. B. zentrale Heizung, dezentrale Warmwasserbereitung)

Es wird ein Planungsablauf für Wärmepumpensysteme in PEQ benötigt, der lokale Randbedingungen (Quellenverfügbarkeit und Temperatur) sowie Einschränkungen wie Platzmangel oder Schallemissionen berücksichtigt. Der Planungsablauf sollte dem Ansatz der Kostenoptimalität gemäß EPBD folgen. Zukünftig sollten schwerpunktmäßig bestehende Quartiere berücksichtigt werden und Untersuchungen sollten die Kühlung von Gebäuden beinhalten.

Plusenergiequartiere verbinden hohe Gebäudeeffizienz mit lokal erzeugter erneuerbarer Energie und Flexibilitätsdiensten und sind damit ein zentraler Baustein der österreichischen Klimaneutralitätsstrategie. Die Erkenntnisse aus IEA HPT Annex 61 liefern praxisnahe Methoden für Systemintegration, Monitoring und Performance-Bewertung, die die Basis für nachfolgende Demonstrationsprojekte bieten können.

Für die österreichische FTI-Politik heißt das: priorisierte Förderung interdisziplinärer Living-Labs, mit standardisierter Evaluierung und Bewertung, damit Projekte reproduzierbar und skalierbar werden. Förderinstrumente sollten gezielt die Geschäftsmodellinnovation, die Kopplung von Wärme-/Kältenetzen, die Erschließung von Wärmequellen im urbanen Raum und digitale Plattformen adressieren und dabei die Bürger:innenbeteiligung berücksichtigen. Österreich kann einerseits seine Vorreiterrolle stärken und kosteneffiziente, sozial verträgliche Plusenergiequartiere breiter umsetzen.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: PEQ Archetypen nach [25]; Einfamilienhaus (EFH), kleines Mehrfamilienhaus (kMFH), großes Mehrfamilienhaus (gMFH), Büro B.....	29
Tabelle 2: Kennzahlen (Planung) der vier Gebäude (A, B, C, D) .....	33
Tabelle 3: Vergleich des gemessenen und berechneten HWB mit Heizgradtagkompensation.....	34
Tabelle 4: Verfügbare Flächen für PV auf Dächern und Fassaden in [m <sup>2</sup> ] und Anteil in [%] an der gesamten verfügbaren Fläche.....	37
Tabelle 5: CO <sub>2</sub> -Emissionen in [tCO <sub>2</sub> /Jahr] für die Varianten a) bis d) und abhängig vom Umrechnungsfaktor .....	39
Tabelle 6: Zusätzlich benötigte (unverschattete) PV-Fläche, um eine Nettonull CO <sub>2</sub> -Bilanz zu erreichen (in m <sup>2</sup> und Anteile Fussballfelder).....	39

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in Plusenergiequartiere (Quelle: Wemöner, C. OST) .....	14
Abbildung 2: Überblick über die Demonstrationsprojekte im IEA HPT Annex 61 (Quelle: Wemöner, C. OST) .....	14
Abbildung 3: Systemgrenzen für PEQ autonom (oben), PEQ dynamisch (Mitte) und PEQ virtuell (unten), nach [19].....	23
Abbildung 4: Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen in Quartiere mit Fernwärme, modifiziert, nach [24] .....	26
Abbildung 5: Referenzgebäude als Grundlage für die PEQ Archetypen [25].....	28
Abbildung 6: Normierte elektrische Lastkurven (RH, TWW, HHS und AUX) der sechs archetypischen PEDs mit PV und BIPV; (a) ohne und (b) mit Batterie. Positiv: eingekaufter Strom, negativ: verkaufter Strom nach [25]. .....	30
Abbildung 7: Relative Spitzen-Leistung vs. relativer Energieverbrauch für verschiedene Verbesserungsmassnahmen (Gebäudehülle und Gebäudetechnik) aus [25]; DE, Direktelektrisch, A/W-HP Luftwasser-Wärmepumpe, GW-HP Grundwasser-Wärmepumpe, BIPV PV in Fassade .....	30
Abbildung 8: Campagne Areal mit relativ kleiner PV-Anlage auf den Dächern der Gebäude B, C, D (Foto: Google Earth) .....	32
Abbildung 9: Wärmeversorgung des der vier Gebäude im Campagne Areal mit GW-WP für die Raumheizung und Fernwärme für Warmwasser mit dezentralen Frischwasserstationen, Wärmeübertrager für die Systemtrnung zwischen Gebäude A, B und D, C .....	33
Abbildung 10: PV-Potential der Dächer der 4 Gebäude und Beispiel einer Fassade mit Fremdverschattung .....	36
Abbildung 11: Monatlicher PV-Ertrag mit allen Flächen (tot), den reduzierten Flächen (red) und einer realen PV-Anlage (mit Eigen- und Fremdverschattung, real) .....	37
Abbildung 12: Monatlicher Wärmebedarf für Warmwasser (TWW), Zirkulationsverluste (V) und Raumheizung (RH); Anteile Fernwärme (FW) und Wärmepumpe (WP).....	38
Abbildung 13: Monatlicher Strombedarf für Hilfsenergie (AUX), Haushaltsstrom (HHS) und Wärmepumpe (WP) .....	38
Abbildung 14: Rendering des Quartiers „Sargfabrik“ und schematische Darstellung (Quelle: www.kuku23.at) .....	41
Abbildung 15: Schematische Hydraulik Übersicht der Fernwärmearbeitung des Quartiers „Sargfabrik“ (Quelle: Wien Energie).....	42
Abbildung 16: Übersicht der Datenflüsse für das Monitoring im Projekt HybridLSC (Quelle: Wien Energie) .....	43
Abbildung 17: Darstellung der erhobenen Monitoring Daten für die Rücklaufversorgung, inkl. Datenausschnitt für den geplanten Test des Notfallbetriebs (Quelle: AEE INTEC, eigene Darstellung) .....	46
Abbildung 18: PVTR-GSHP vorgeschlagen von Xiang et al. [35].....	49

Abbildung 19: Reale Fotos von a) Straße mit Asphaltkollektor (AIT), b) Installation des Asphaltkollektors (AIT), c) Abwasserwärmerückgewinnung (WBV-GPA), d) Solarthermischen Kollektoren (WBV-GPA) und e) Bohrarbeiten für Erdsonden (Quelle: AIT). .....	50
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Systems (Quelle: AIT) .....	51
Abbildung 21: Dauerbetriebsmodus: a) Temperaturverläufe, b) Leistungsverlauf, c) Lastverteilungsprofil (Quelle: AIT) .....	54
Abbildung 22: Tageslichtbetriebsmodus: a) Temperaturprofile, b) Leistungsprofil, c) Lastverteilungsprofil (Quelle: AIT) .....	55

## Literaturverzeichnis

- [1] United Nations Environment Programme, "Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector," Nairobi, 2021.
- [2] F Ochs, M Magni, G Dermentzis Heat Pumps and Renewables in District Heating–Evaluation of Central and Decentral Approaches CLIMA 2022 conference
- [3] G. Dermentzis, F. Ochs, A. Thuer, and W. Streicher; Supporting decision-making for heating and distribution systems in a new residential district - An Austrian case study; Energy, vol. 224, p. 120141, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.120141.
- [4] HPT (Heat Pump Technologies), Annex 49 Deliverables. <https://heatpumpingtechnologies.org/annex49/deliverables/>(accessed Jul. 11, 2022)
- [5] M. Magni, F. Ochs, G. Dermentzis, and E. Venturi; Modelling and Simulation of Booster Heat Pump for DHW Preparation in a Multi-Family Building Connected to the District Heating; Eurosun, 2022.
- [6] F. Ochs, M. Magni, and G. Dermentzis, Integration of Heat Pumps in Buildings and District Heating Systems - evaluation on building and on energy system level; Energies, vol. pp. 1–34, 2022.
- [7] M. Magni, F. Ochs, A. Knotzer, T. Roßkopf-nachbaur, G. Dermentzis, and E. Venturi; Supporting the decision-making process related to the renovation of multi-family houses; 2nd International Sustainable Energy Conference, 2022.
- [8] Andreas Tuerk, Dorian Frieden, Camilla Neumann, Konstantinos Latanis, Anastasios Tsitsanis, Spyridon Kousouris, Javier Llorente, Ismo Heimonen, Francesco Reda, Mia Ala-Juusela, Koen Allaerts, Chris Caerts, Thomas Schwarzl, Martin Ulbrich, Anette Stosch, Thomas Ramschak (2021): Integrating plusenergy buildings and districts with the EU energy community framework: regulatory opportunities, barriers and technological solutions, in Buildings 2021, 11(10), 468; <https://doi.org/10.3390/buildings11100468> - 12 Oct 2021
- [9] A. Bres, F. Amblard , J. Page, S. Hauer, A. Shadrina; Now it looks more real A Study of Metrics and Resolution for the Calibration of Dynamic Simulation; Proceedings Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA, (2019).
- [10] United Nations-Habitat. Energy n.d., <https://unhabitat.org/topic/energy>
- [11] European Parliament. 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and Council of May 19, 2010 on the energy performance of buildings (recast), Journal of the European Union, p. L 153/13, 18.6.2010, Brussels, EU

- [12] JPI Urban Europe. 2018. SET-Plan Action no 3.2. Implementation Plan: Europe to become a global role model in integrated, innovative solutions for the planning, deployment and replication of Positive Energy Districts. Online: [https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2018/09/setplan\\_smartcities\\_implementationplan.pdf](https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2018/09/setplan_smartcities_implementationplan.pdf)
- [13] JPI Urban Europe. 2020. Europe towards positive energy districts a compilation towards sustainable urbanisation and the energy transition, Online: [https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/06/PED-Booklet-Update-Feb-2020\\_2.pdf](https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/06/PED-Booklet-Update-Feb-2020_2.pdf)
- [14] Hedman Å, Rehman HU, Gabaldon A, Bisello A, Albert-Seifried V, Zhang X, et al. IEA EBC Annex83 Positive energy districts. *Buildings* 2021,11(3), 130. <https://doi.org/10.3390/buildings11030130>
- [15] COST Action Positive Energy Districts European Network. PED-EU-NET | COST ACTION CA19126 – Positive Energy Districts European Network n.d. <https://pedeu.net>
- [16] JPI Urban Europe. 2020b White Paper on PED reference framework for Positive Energy Districts and Neighbourhoods, Online: <https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/White-Paper-PED-Framework-Definition-2020323-final.pdf>
- [17] Zhang X., Penaka S., Giriraj S., Sánchez M., Civiero P. and Vandevyvere H. 2021 Characterizing positive energy district (PED) through a preliminary review of 60 existing projects in Europe, *Buildings* 11 318, <https://doi.org/10.3390/buildings11080318>
- [18] L.-N. Sassenou, L. Olivieri, F. Olivieri. 2024. Challenges for positive energy districts deployment: A systematic review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 191, 114152, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114152>
- [19] Lindholm, O., Rehman, H.U., Reda, F. 2021. Positioning positive energy districts in European cities. *Buildings* 2021, 11(1), 19, <https://doi.org/10.3390/buildings11010019>
- [20] Wyckmans, A.; Karatzoudi, K.; Brigg, D.; Ahlers, D. 2019 D9.5: Report on Attendance at Event-sheld by Other SCC-01 Co-Ordinators 2, +CityxChangeWork Package 9 Task 9.2.
- [21] FMEZEN 2022 Zero Emission Neighbourhoods in smart cities - Definition, assessment criteria and key performance indicators version 4.0, ZEN REPORT No. 45, Online: [https://fmezen.no/wp-content/uploads/2023/02/ZEN-Report-no-45\\_.pdf](https://fmezen.no/wp-content/uploads/2023/02/ZEN-Report-no-45_.pdf)
- [22] Albert-Seifried V., Murauskaite V, Massa G, Aelenei L, Baer D, Krangsås S, Alpagut B, Mutule A, Pokorny N and Vandevyvere H. 2021. Definitions of positive energy districts: a review of the status quo and challenges Sustainability in Energy and Buildings Smart Innovation, Systems and Technologies book Series Howlett R. and Jain L Springer Volume 263
- [23] Bossi S., Gollner C. and Theierling S. 2020 Towards 100 positive energy districts in europe: preliminary data analysis of 61 european cases *Energies* 13 6083

- [24] Ochs, Fabian; Magni, Mara; Dermentzis, Georgios; Integration of heat pumps in buildings and district heating systems—Evaluation on a building and energy system level; *Energies* 15 (11), 3889
- [25] Ochs, Fabian; Tosatto, Alice; Venturi, Elisa; Wemhöner, Carsten; Characteristic Load Curves of Positive Energy Districts, *Solar Energy Advances*, Elsevier, 2024
- [26] Ochs, Fabian; Breuss, Samuel; Venturi, Elisa; Magni, Mara; Dermentzis, Georgios (2024): Towards Positive Energy Districts. Innsbruck, “Campagne Areal” ISEC 2024. The 3rd International Conference on Renewable Heating and Cooling in Integrated Urban and Industrial Energy Systems.
- [27] Dermentzis, Georgios; Ochs, Fabian; Thuer, Alexander; Streicher, Wolfgang; "Supporting decision-making for heating and distribution systems in a new residential district-An Austrian case study." *Energy* 224 (2021): 120141. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120141>
- [28] Venturi, Elisa; Ochs, Fabian; Dermentzis, Georgios; Breuss, Samuel; Campagne project: Passive houses to enable Positive Energy District, 27th International Passive House Conference, Innsbruck, Austria, 2024.
- [29] Venturi, Elisa; Ochs, Fabian; Breuss, Samuel; Magni, Mara; Dermentzis, Georgios; Monitoring-Based Analysis of Decentralized Domestic Hot Water Preparation in Large Multi-Family Buildings, *Clima 2025*, Milano
- [30] Bobes-Jesus V, PACual-Muñoz P, Castro-Fresno D, Rodriguez-Hernandez J (2013) Asphalt Collectors: A literature review. *Applied Energy* 102:962–970
- [31] Ghalandari T, Hasheminejad N, Van Den Bergh W, Vuye C (2021) A critical review on large-scale research prototypes and actual projects of hydronic asphalt pavement systems. *Renewable Energy* 177:1421–1437
- [32] Songok J, Mäkiranta A, Rapantova N, Pospisil P, Martinkauppi B (2023) Numerical simulation of heat recovery from asphalt pavement in Finnish climate conditions. *International Journal of Thermal Sciences* 187:108181
- [33] Abbas FA, Alhamdo MH (2024) Experimental and numerical analysis of an Asphalt Collector with a conductive asphalt mixture. *Energy Reports* 11:327–341
- [34] Vizzari D, Genesseeaux E, Lavaud S, Bouron S, Chailleux E (2021) Pavement energy harvesting technologies: a critical review. *RILEM Tech Lett* 6:93–104
- [35] Xiang B, Ji Y, Yuan Y, Wu D, Zeng C, Zhou J (2021) 10-year simulation of photovoltaic-thermal road assisted ground source heat pump system for accommodation building heating in expressway service area. *Solar Energy* 215:459–472

- [36] Buscemi A, Beccali M, Guarino S, Lo Brano V (2023) Coupling a road solar thermal collector and borehole thermal energy storage for building heating: First experimental and numerical results. *Energy Conversion and Management* 291:117279
- [37] Ghalandari T, Hernando D, Hasheminejad N, Moenielal M, Vuye C (2023) Lessons learnt from thermo-mechanical feasibility assessment of pavement solar collectors using a FE-ANN approach. *Case Studies in Construction Materials* 19:e02582
- [38] Ozgener O, Ozgener L (2015) Modeling of driveway as a solar collector for improving efficiency of solar assisted geothermal heat pump system: a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 46:210–217
- [39] Razavi SH, Ahmadi R, Zahedi A (2018) Modeling, simulation and dynamic control of solar assisted ground source heat pump to provide heating load and DHW. *Applied Thermal Engineering* 129:127–144

## Abkürzungen

AC	Asphaltkollektor
AHU	Air Handling Unit, RLT-Gerät (Raumluftechnisches Gerät)
BHE	Erdsondenwärmetauscher
COP	Coefficient of Performance
FC	Freies Kühlen (free cooling)
FW	Fernwärme
GW	Grundwasser
I/W	Luft-Wasser
NZEB	Nett Zero Energy Building (Netto-Null Energie Gebäude)
nZEB	Nearly Zero Energy Building (Niedrigstenergiehaus)
PEQ	Plusenergiequartier
PED	Positive Energy District
SC	Solarkollektor
W/W	Wasser-Wasser
WP	Wärmepumpe

