

Wärmepumpen – aktuelle Entwicklungen und Lösungen für den Gebäudebestand



Fraunhofer ISE
Dr. Constanze Bongs

Dr. Hannes Fugmann
hannes.fugmann
@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer IEE
Dr. Michael Krause
michael.krause@iee.fraunhofer.de

ISFH
Niklas Kracht
n.kracht@isfh.de

In Wissenschaft und Politik besteht inzwischen weitgehend Einigkeit, dass eine schnelle Umstellung von fossilen Heizsystemen auf klimagerechtere Technologien der Wärmeversorgung notwendig ist. Neben dem Ausbau und der Dekarbonisierung von Wärmenetzen sind Wärmepumpen ein entscheidender Hebel für erfolgreichen Klimaschutz in Gebäuden. 62% des Gebäudebestands wurde vor 1979 und damit weitestgehend vor der ersten Wärmeschutzverordnung (1977) errichtet [1]. Diese Gebäude verursachen rund zwei Drittel des Endenergieverbrauchs im Gebäudesektor [2]. Es ist also deutlich: Klimaschutzziele sind nicht ohne eine Umstellung der Wärmeversorgung im Gebäudebestand zu erreichen.

Ein Blick auf die Altersstruktur der Anlagentechnik zeigt, dass für über 40% der Wärmeerzeuger mit einem Alter von über 20 Jahren ein baldiger Austausch ansteht. Das mittlere Alter der Anlagentechnik liegt bei 17 Jahren [3], die jährlichen Austauschraten bei ca. 2,5–3% des Anlagenbestands und somit höher als die Sanierungsraten mit ca. 1%. Daraus lässt sich ableiten, dass ein hoher Anteil des Erzeugeraustauschs ohne flankierende Maßnahmen zur Energiebedarfsreduktion am Gebäude durchgeführt wird. Dabei wurden in den vergangenen Jahren im Gebäudebestand bei der Heizungsmodernisierung immer noch sehr viele alte Heizkessel durch neue Gas- und Ölkessel ersetzt, die trotz Brennwertechnik hohe CO₂-Emissionen über viele Jahre festschreiben (Lock-In-Effekt). Die Klimaschutzziele im Gebäudesektor könnten bei Fortführung der aktuellen Praxis nicht erreicht werden.

Aktuell ist die Umstellung auf Wärmepumpensysteme im Bestand stärker in den Fokus gerückt. Ein Blick auf die Marktzahlen zeigt, dass der Absatz an Wärmepumpen im Bestand bereits vor dem Ukraine-Krieg an Fahrt aufgenommen hat. In Deutschland lag die Anzahl abgesetzter Wärmeerzeuger im Bestand in 2020 in der Größenordnung von 800.000 Wärmeerzeugern, von denen ca. 680.000 noch Gasgeräte waren [3]. Jedoch wurden bereits seit 2020 mehr

Wärmepumpen im Bestand als im Neubau abgesetzt (2021: 100.000 Wärmepumpen im Bestand, ca. 55.000 Wärmepumpen im Neubau) [4]. Die aktuell benannte Zielmarke der Bundesregierung von jährlich 500.000 installierten Wärmepumpen (ab 2024) bedeutet einen weiteren massiven Anstieg von Wärmepumpen im Bestand.

Herausforderungen für Wärmepumpen in Mehrfamilienbestandsgebäuden

Dass Wärmepumpen auch im Bestand mit guter Effizienz eingesetzt werden können, konnte das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) schon in umfangreichen Feldtests mit dem Schwerpunkt auf Ein- und Zweifamiliengebäuden nachweisen. So wurden im Projekt WPSmart im Bestand (FKZ 03ET1272A) 29 Außenluft- und 12 Erdreich-Wärmepumpen im Feld mittels eines wissenschaftlichen Monitorings analysiert. Im ausgewerteten Zeitraum Juli 2018 bis Juni 2019 haben die 29 untersuchten Außenluft-Wärmepumpen Jahresarbeitszahlen (JAZ) von 2,5 bis 3,8 erreicht. Der Mittelwert lag bei 3,1. Für die zwölf Erdreich-Wärmepumpen wurden JAZ zwischen 3,3 und 4,7, bei einem Mittelwert von 4,1 ermittelt.

Hingegen ist der Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienbestandsgebäuden aktuell in vielerlei Hinsicht noch Neuland. Hier liegen besondere Randbedingungen und Herausforderungen vor. Technische Herausforderungen ergeben sich aus der höheren erforderlichen Leistung des Wärmeerzeugers und der Verortung der Gebäude auch in Quartieren mit dichter Bebauung. Beide Aspekte führen dazu, dass der Erschließung der Umweltwärmequelle eine hohe Bedeutung zukommt. Weiter erfolgt die Wärmeübergabe in Mehrfamilienbestandsgebäuden zum Großteil mit Heizkörpern (auch älteren Datums), die häufig mit hohen Vorlauftemperaturen betrieben werden. Trinkwarmwasser wird ebenfalls bei hohen Temperaturen bereitgestellt (Legionellenschutz).

Wärmequelle	Wärmepumpe	Wärmesenke
Herausforderungen		
<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung der Wärmequelle • Luft-WP: Schallemission und Aufstellort • Sole-WP: Flächenverfügbarkeit für Bohrung 	<ul style="list-style-type: none"> • Umstellung auf klimafreundliche Kältemittel (z.B. Propan) • Bereitstellung höherer Temperaturen bei guter Effizienz • größere Leistungsklassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Absenkung von Systemtemperaturen • Weiternutzung von Bestands hydraulik • Nutzerakzeptanz für geringere Vorlauftemperaturen
Lösungsansätze		
<ul style="list-style-type: none"> • Quellenerschließung über die Gebäudehülle • PVT-Kombikollektoren • Multivalente Quellensysteme • bivalente Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • Weiterentwicklung von Propan-Wärmepumpen und Sicherheitskonzepten • Kaskadierung von Wärmepumpen 	<ul style="list-style-type: none"> • selektiver Heizkörperaustausch und hydraulischer Abgleich • dezentrale Frischwasserstationen oder zentrale Frischwasserstation mit Ultrafiltration

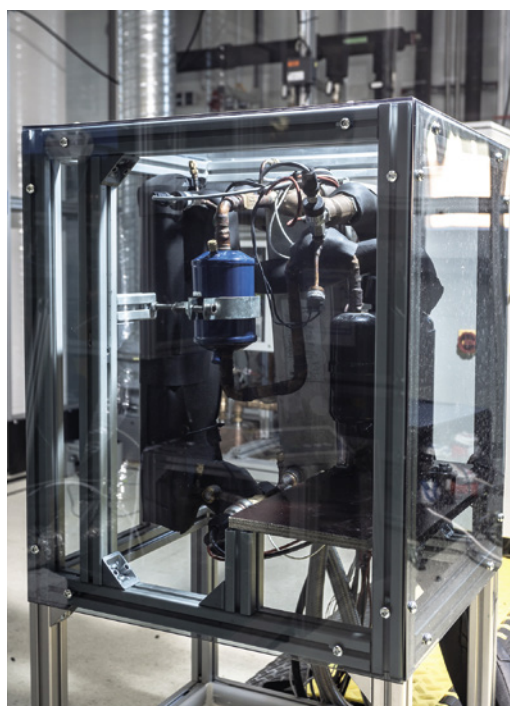
*Tabelle 1
Herausforderungen und Lösungsansätze für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, insbesondere im Geschosswohnungsbau*

Daher ergeben sich die zwei thematischen Bereiche „Quellenerschließung“ und „Systemtemperaturen“ als Schwerpunkte in der Entwicklung neuer Lösungen auf systemischer und auf Geräteebene. Die im Folgenden dargestellten Arbeiten der FVEE-Partnerinstitute fokussieren die Themenfelder der Quellenerschließung sowie der Weiterentwicklung von Wärmepumpentechnik mit klimafreundlichen Kältemitteln.

Kompakte Wärmepumpenkältekreise mit dem Kältemittel Propan

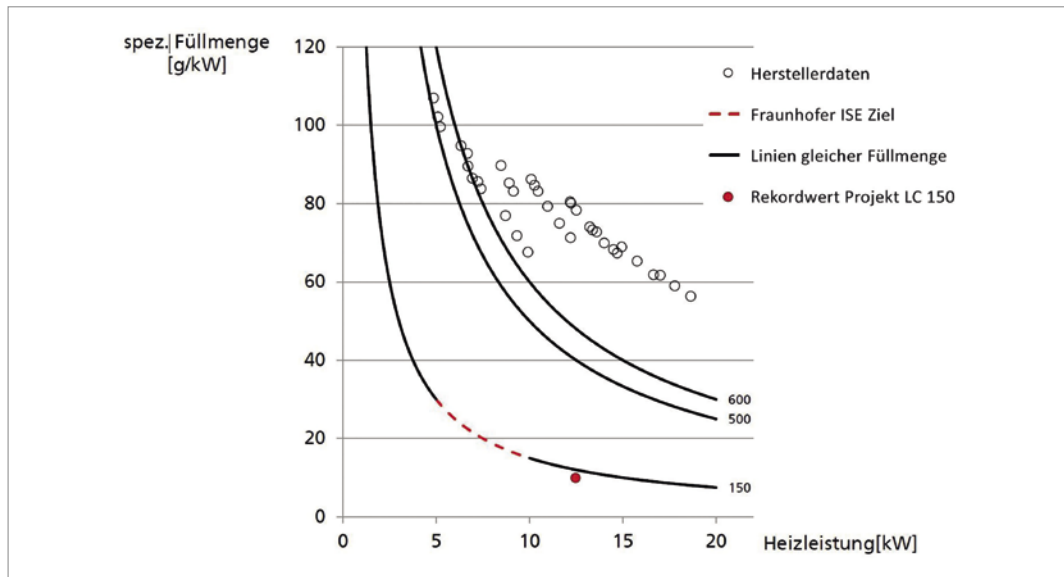
Wärmepumpen-Hersteller arbeiten derzeit sowohl an Kostensenkungen als auch an nachhaltigen Kältemitteln für ihre Geräte. Im Projekt LC150 (»low charge 150 g«) (FKZ 03EN4001A) entwickeln das Fraunhofer ISE und ein Konsortium aus Wärmepumpenherstellern einen standardisierten und kältemittelreduzierten Propan-Kältekreis für Sole-Wasser-Wärmepumpen (► *Abbildung 1a*). Propan zeichnet sich durch sehr gute thermodynamische Eigenschaften und ein geringes Erderwärmungspotenzial aus. Da es aber brennbar ist, wird eine möglichst geringe Propanmenge angestrebt. In mehr als 5000 Messungen wurden hierfür bereits zwei Dutzend Kältekreisprüflinge an einer weitgehend automatisierten Messinfrastruktur im Zentrum für Wärme- und Kältetechnologien des Fraunhofer ISE vermessen. Ziel ist, die beste Kombination von Verdampfer, Kondensator und Verdichter zu identifizieren und Potenziale für eine weitere Kältemittelreduktion zu erschließen. In der angestrebten Größenordnung von sechs bis zehn Kilowatt Heizleistung (für Ein-/Zweifamilienhäuser) gelang es bereits mit mehreren Prüflingen einen »Seasonal Coefficient of Performance« (SCOP) zu erreichen, der die Anforderungen

des Bundesamts für Wirtschaft und Ausführungkontrolle (BAFA) zur Förderfähigkeit erfüllt. Der aktuell beste Prüfling erzielt mit einer Kältemittelmenge von 124 g eine Heizleistung von 12,5 kW bei einer saisonalen Effizienz von 4,7 (SCOP). Daraus ergibt sich eine spezifische Kältemittelfüllmenge von ~10 g/kW. Handelsübliche Wärmepumpen liegen bei etwa 60 Gramm Propan pro Kilowatt. Die Erkenntnisse aus dem Projekt LC150 zur Reduktion des Kältemittels und dem Umgang mit brennbaren Kältemitteln nutzt das Fraunhofer ISE auch für die laufende Entwicklung von sicheren Wärmepumpen mit größeren Leistungen, Luft als Quelle und höheren Temperaturen für Industrieenanwendungen (► *Abbildung 1b*).



*Abbildung 1a
Propan-Kältekreis mit geringer Füllmenge
(Quelle: Fraunhofer ISE)*

Abbildung 1b
Einordnung der Füllmengenreduktion im Vergleich zu marktverfügbaren Geräten
 (Quelle: Fraunhofer ISE)



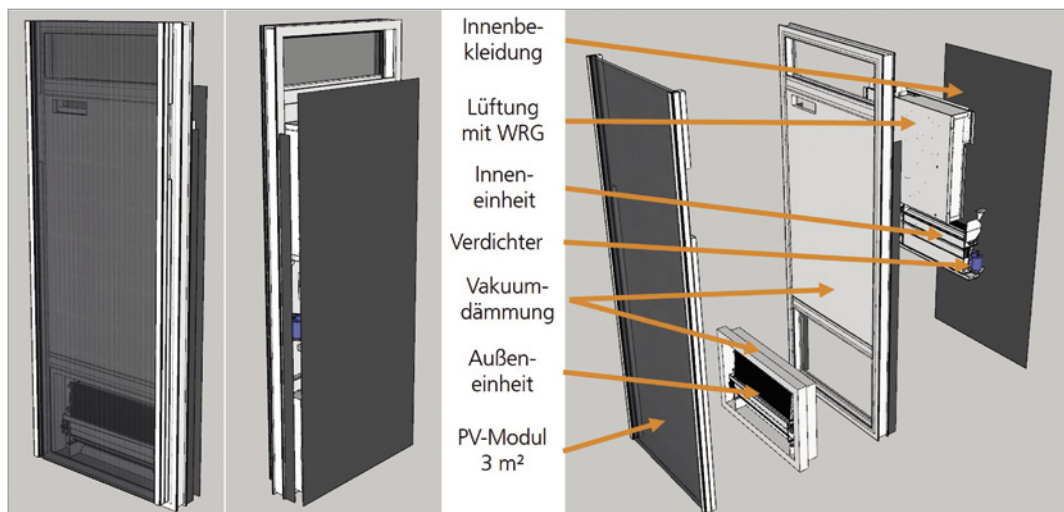
Dezentrale Integration von Kleinstwärmepumpe in vorgefertigte Fassadenelemente

Einen vollständig dezentralen Ansatz zur Integration von Wärmepumpen in Gebäude verfolgt das Forschungsprojekt „EE-Modul“ (BWMK FKZ 03ET1530), in dem zur individuellen Versorgung der Räume eines Gebäudes Kleinstwärmepumpen zum Einsatz kommen. Unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE) in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wurde hierzu mit industriellen Partnern ein neuartiges Fassadensystem entwickelt, in welchem die anlagentechnischen Funktionen Heizen, Kühlen, Lüften und Energieerzeugen in einer elementierten Modulfassade vereint sind. Die technischen Funktionen müssen somit nicht wie üblich vom Gebäudekern ausgehend bereitgestellt werden, sondern können direkt in die Gebäudehülle integriert werden

und kommen, abgesehen von einer Stromleitung, vollständig ohne weitere Versorgungsleitungen aus. Kern der Entwicklung ist ein standardisiertes Fassadensystem, welches um ein anlagentechnisches Modul (► *Abbildung 2*), erweitert wird, welches ein Lüftungssystem, eine Luft/Luft-Wärmepumpe und ein Photovoltaikpaneel enthält.

Die neu entwickelte Demofassade wurde am Teststand des Fraunhofer IBP sowohl hinsichtlich des Bauablaufs als auch hinsichtlich energetischer, raumklimatischer und akustischer Aspekte untersucht. Die einjährige Messphase hat sowohl in Bezug auf die Leistungsbereitstellung als auch auf die Arbeitszahlen gute Ergebnisse gezeigt. Das System zeichnet sich aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades durch eine hohe Kostensicherheit (Investment, Betrieb) sowie einen beschleunigten Bauprozess (geringerer Abstimmungsaufwand, weniger Arbeiten im Inneren des Gebäudes) aus.

Abbildung 2:
EE-Modulfassade:
 Komponenten des
 Technischelements
 (Quelle: Fraunhofer IEE)



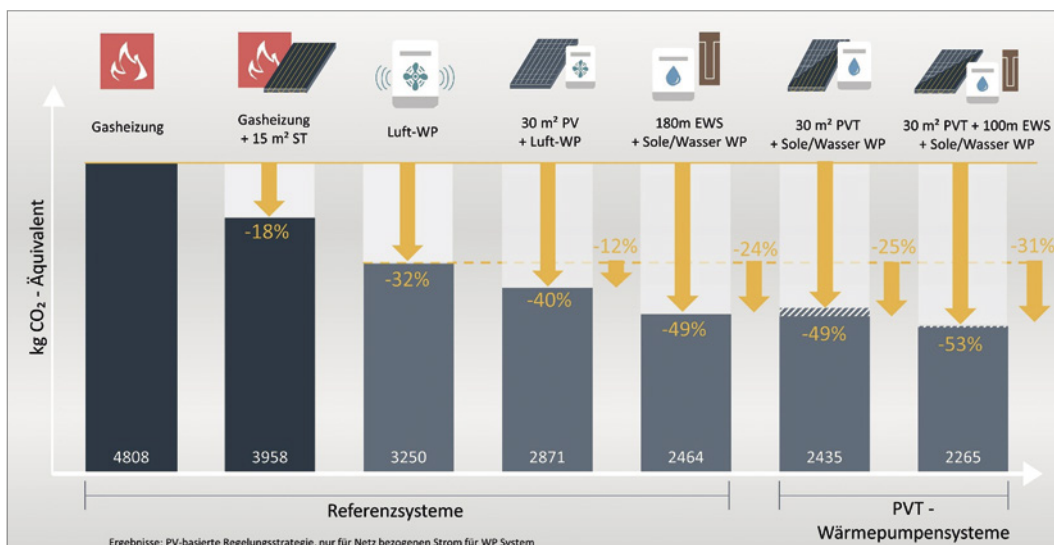


Abbildung 3
CO₂-Emissionen der verschiedenen simulierten Wärmeerzeugungsanlagen
(Quelle: ISFH)

PVT-Kombikollektoren zur Quellenerschließung über die Gebäudehülle

Das BMWK-geförderte Projekt „integrATe“ (BMWK FKZ 03EGB0023) untersucht PVT-Kollektoren (photovoltaisch-thermische Kollektoren) mit Wärmepumpen, um die Verbreitung dieses attraktiven Energieversorgungssystems für den Gebäudesektor zu erhöhen. PVT-Kollektoren liefern gleichzeitig Wärme und Strom für den Wärmepumpenbetrieb. Diese können sowohl als bauliche Einheit als auch als Clamp-On-Wärmetauscher bei bestehenden PV-Anlagen nachgerüstet werden. Im Rahmen des Projekts werden zehn Demonstrationsanlagen überwacht. Neben dem Monitoring werden auch detaillierte Simulationsstudien zu verschiedenen Energieversorgungssystemen durchgeführt. In der Simulationsstudie des ISFH wurden zwei

PVT-Wärmepumpensysteme mit verschiedenen Referenzsystemen für die Energieversorgung eines Bestandseinfamilienhauses mit einem Gesamtheiz- und Warmwasserbedarf von 123 kWh/(m²·a) verglichen.

Die Ergebnisse sind in ► **Abbildung 3** grafisch dargestellt. Im Resultat weist der Gaskessel mit 4808 kg die höchsten CO₂-Emissionen auf. Die Luft-Wärmepumpe ist das Wärmepumpensystem mit einem CO₂-Ausstoß von 3250 kg, was einer Reduzierung von 32% im Vergleich zum Gaskessel entspricht. Die Kombination einer PV-Anlage mit der Luft-Wärmepumpe reduziert die Emissionen um 40% im Vergleich zum Gaskessel und um 12% im Vergleich zur Luft-Wärmepumpe ohne PV-Anlage. Ein noch höheres Potenzial zur CO₂-Reduktion besteht bei der Wärmeversorgung mit der Kombination PVT-Wärmepumpe.

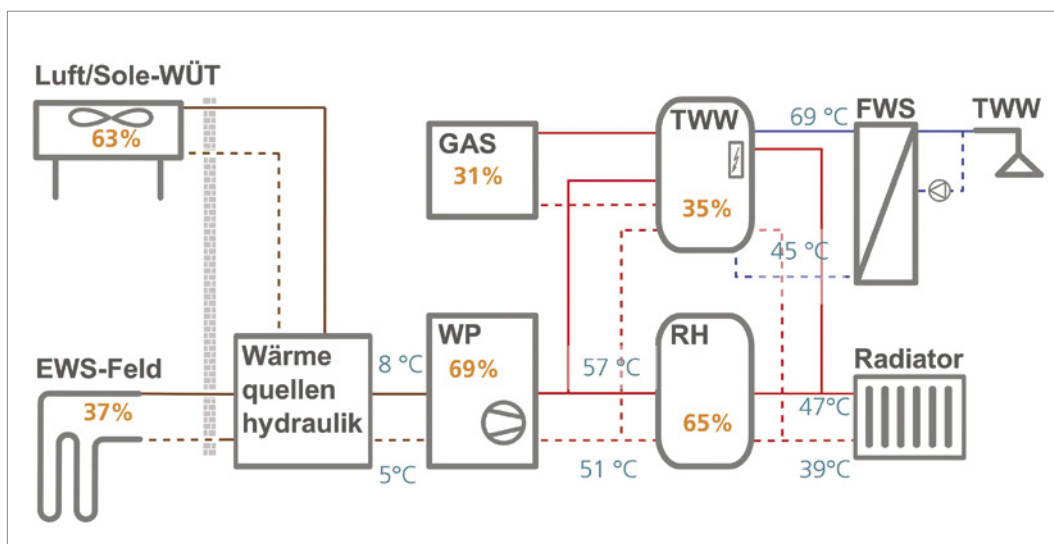
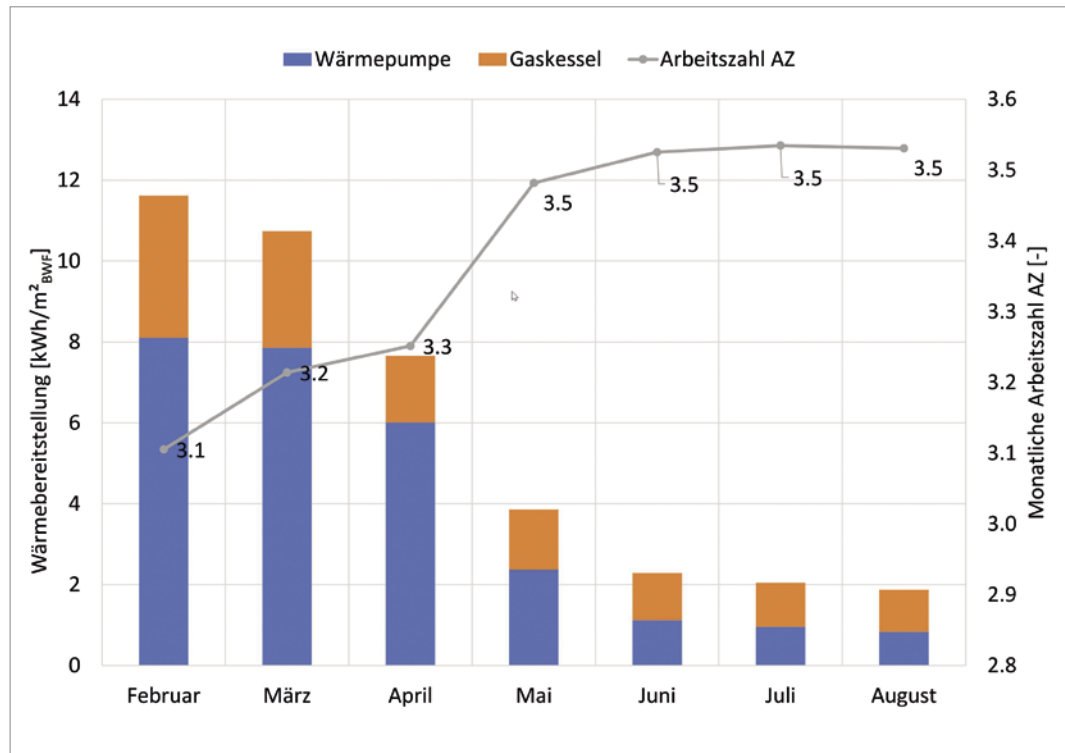


Abbildung 4a
Mehrquellen-Wärmepumpen-System:
Hydraulikschema (Temperaturen in blau = energetisch gewichtete Mitteltemperaturen)
(Quelle: Fraunhofer ISE)

Abbildung 4b
Mehrquellen-Wärmepumpen-System:
 Felddaten
 (Quelle: Fraunhofer ISE)



Diese erreicht eine CO₂-Einsparung von 49%, ebenso wie 180m Erdsonden mit Wärmepumpe. Im Allgemeinen bietet der PVT-Kollektor in Kombination mit einer Wärmepumpe ein erhebliches CO₂-Einsparungspotenzial und stellt eine attraktive Alternative zur luft- oder erdgekoppelten Wärmepumpe dar. Andererseits ist die PVT-Erdsonden-Wärmepumpen-Kombination nachweislich noch effizienter und kann die CO₂-Emissionen um bis zu 53% reduzieren.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass PVT-Wärmepumpensysteme einen wichtigen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen leisten können. Darüber hinaus kann durch die Kombination von PVT-Kollektoren und erdgekoppelten Wärmepumpensystemen die Erdwärmesonde kleiner dimensioniert werden bei gleichzeitig geringeren Emissionen. Es ist auch möglich, die Erdwärmesonde ganz zu ersetzen, wenn diese zum Beispiel nicht errichtet werden darf.

Mehrquellensystem für Wärmepumpen im Geschosswohnungsbau

Für den Einsatz im Geschosswohnungsbau wurde im Projekt HEAVEN (BMW FKZ 03ET1540) ein Mehrquellensystem zur Kombination der Wärmequellen Erdreich und Außenluft entwickelt und in einem Demonstrator in Karlsruhe-Durlach umgesetzt. Kernstück ist eine neu entwickelte Mehrquellen-Hydraulik mitsamt Regelungslogik.

Der systemische Ansatz adressiert das Problem der begrenzten Flächenverfügbarkeit in städtischen Wohngebieten. Im Vergleich zu einem System mit nur einer Wärmequelle wird der Flächenbedarf des Erdwärmeübertragers im vorliegenden Fall um 50% reduziert.

Im Demonstrator wird das Mehrquellen-WP-System von einem 91 kW_{th} Gasbrennwertkessel unterstützt und ist als bivalent paralleles System ausgelegt. Der Gasbrennwertkessel ist dabei für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser oberhalb von 62°C und für die Bereitstellung von Heizwasser bei Außentemperaturen von unter -5°C vorgesehen.

► **Abbildung 4** zeigt die Auswertung des Demonstrators für das erste Betriebshalbjahr Februar – August 2022. Der Wärmebedarf für Raumwärme und Trinkwarmwasser wurde zu 69% von der Wärmepumpe gedeckt. Der Gaskessel war insbesondere für die Trinkwarmwassererzeugung zuständig. Die Mehrquellenhydraulik erzielt ganzjährig relativ hohe Quelltemperaturen. Dies führt trotz hoher Temperaturen der Wärmebereitstellung (Vorlauftemperatur für Raumwärme zwischen 55–60°C bei 0°C Außentemperatur) zu einer hohen Arbeitszahl des ersten Betriebshalbjahrs von 3,2. Für eine Skalierung und Übertragung der Ergebnisse auf Anlagen ohne wissenschaftliche Begleitung scheint vor allem eine Standardisierung von Komponenten, Hydraulik-schemen und Regelung erfolgsversprechend. [5]

Multivalente Quellenerschließung im Quartier: Lagarde-Campus in Bamberg

Den Quartiersansatz verfolgt die Quartiersentwicklung des Lagarde-Campus in Bamberg, in dem verschiedene Wärmequellen und Energieträger für die Versorgung eines Mischquartiers bestehend aus Neu- und Bestandsbauten genutzt werden.

Die Neubauten werden zukünftig über dezentrale, an ein kaltes Nahwärmenetz angeschlossene Wärmepumpen beheizt. Als Wärmequellen dienen Erdsonden, Erdkollektoren sowie Abwasser.

Die Altbauten werden über ein Hochtemperaturnetz mit Fernwärme sowie mit über ein Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugter Nahwärme versorgt. Der erzeugte Strom von BHKW sowie PV-Anlagen wird über ein elektrisches Betriebsnetz für den Betrieb der Wärmepumpen genutzt. Das Forschungsprojekt Enable (BMW FKZ 03EN3061) untersucht am Beispiel dieses Quartiersversorgungskonzepts, wie eine sektorenübergreifende, optimierte Ansteuerung von Gebäude/Campus-Energiesystemen und eine Vermarktung von Flexibilität durch den Aufbau einer Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) realisiert werden kann.

Literatur

- [1] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), Januar 2020, Berlin: Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa. Umweltgutachten 2020.
- [2] Deutsche Energie-Agentur: Der DENA-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand.
- [3] Deutsche Energie-Agentur: DENA Gebäude-report 2022. Zahlen, Daten, Fakten.
- [4] Bundesverband Wärmepumpe 2022: Marktzahlen aus der BWP/BDH-Absatzstatistik und Baufertigstellungsstatistik.
- [5] Bongs, C.; Wapler, J.; Metz, J.; Miara, M.; Lämmle, M.: Wärmeversorgung im Geschosswohnungsbau mit Wärmepumpen, nbau, Übersichtsaufsatz, Veröffentlichung online am 26.02.2023.
<https://www.nbau.org/2023/02/26/waermeversorgung-im-geschosswohnungsbau-mit-waermepumpen/>