

# Wärmepumpen machen Umweltwärme in Gebäuden nutzbar – der Schlüssel zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung

## Einleitung

Etwa 30% des Endenergiebedarfs in Deutschland entfallen auf Niedertemperaturwärmeanwendungen in Gebäuden (Heizung und Warmwasserbereitung) [1]. Bislang werden mit rund 19 Mio. Bestandsanlagen zur Nutzung von Erdgas und Heizöl über 90% fossile Wärmeerzeuger eingesetzt [2]. Mit dem Klimaschutzgesetz (vgl. §1 KSG) und dem Gebäudeenergiegesetz (vgl. §1 Abs.1 GEG) wurden rechtliche Rahmenbedingungen für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen geschaffen. Weiterhin hat der Koalitionsausschuss beschlossen, dass ab dem 01.01.2024 alle neuen Heizungsanlagen mindestens zu 65% erneuerbare Energien einsetzen sollen, d.h. nicht nur im Neubau, sondern auch in Bestandsgebäuden, sobald ein Heizungstausch ansteht [3].

Wärmepumpen (WP) erschließen erneuerbare Wärme aus der Umgebung und machen diese für Anwendungen im Gebäude nutzbar. Im vorliegenden Beitrag werden ausschließlich elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen betrachtet.

## Arbeitsprinzip von Wärmepumpen

- Eine Wärmepumpe nimmt Umweltwärme bei niedriger Temperatur auf, indem ein Kältemittel bei geringem Druck verdampft wird.
- Der Dampf wird anschließend unter dem Einsatz elektrischer Energie verdichtet, wobei die Temperatur ansteigt.
- Durch Kondensation bei hohem Druck wird Wärme bei höherer Temperatur abgegeben.
- Nach der anschließenden Entspannung liegt das Kältemittel wieder im Ausgangszustand vor und kann den Prozess erneut durchlaufen.

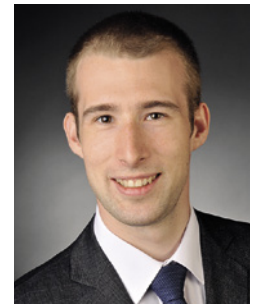
Durch die Mobilisierung lokaler Umweltwärme können Wärmepumpen in typischen Anwendungen etwa drei- bis viermal so viel Heizwärme bereitstellen, wie sie elektrische Energie aufnehmen. Entsprechend stellen Wärmepumpen einen großen Hebel für die Wärmebereitung aus elektrischer Energie dar.

Szenarien zur künftigen deutschen Energieversorgung unter Berücksichtigung der Emissionsminderungsziele weisen der Wärmepumpe daher eine Schlüsselrolle zu [4, 5, 6]. 3,4–11 Mio. installierte Wärmepumpen bis 2030, bzw. 7,4–17 Mio. installierte Wärmepumpen bis 2045 oder 2050 werden jeweils als vorteilhaftester Transformationspfad zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Wärmebereitung ermittelt. Beim WP-Gipfel der Bundesregierung am 10.08.2022 wurde daher das konkrete Ziel formuliert, die Zahl der pro Jahr installierten Heizungs-wärmepumpen schnell auf 500.000 zu steigern [7]. Für die benötigte, schnelle Transformation von fossiler Verbrennung zu elektrisch veredelter Umweltwärme müssen Wärmepumpen flächendeckend in Gebäuden im Neubau und Bestand zum Einsatz kommen.

Zwei Herausforderungen in diesem Kontext sind die nachhaltige Erschließung von Quellwärme und die Realisierung einer Betriebsführung mit Berücksichtigung der resultierenden Belastung des Stromnetzes. Der vorliegende Beitrag stellt Projektbeispiele aus verschiedenen Instituten des FVEE vor, die Lösungen aufzeigen und in der praktischen Umsetzung evaluieren.

## Innovative Quellwärmesysteme und optimierte Nutzung lokaler Ressourcen

Im Projekt Solar-VHF (BMW FKZ 03ETW013) erforscht das Institut für Solarenergieforschung (ISFH) gemeinsam mit Partnern thermisch aktivierte, vorgehängte, hinterlüftete Fassadenelemente zur Gewinnung von Wärme aus der Gebäudehülle. Der Ansatz ermöglicht es, Quellwärme für die Wärmepumpe nahezu ohne Geräuschemissionen und ästhetisch ansprechend am Nutzungsort zu gewinnen. Besonders für die Sanierung von Bestandsgebäuden schafft die kombinierte Möglichkeit Wärmedämmung zu realisieren und Teilflächen der Fassade unsichtbar zu aktivieren attraktive Optionen. Im Projekt wurden Fassadenelemente aus unterschiedlichen Materialtypen (Beton, Metall und Glas,



**ISFH**  
Fabian Hüsing  
huesing@isfh.de

Dr. Federico Giovannetti  
f.giovannetti@isfh.de

**CAE**  
Felix Klinker  
felix.klinker@cae-zeroarbon.de

**DBFZ**  
Dr. Volker Lenz  
volker.lenz@dbfz.de

**Fraunhofer ISE**  
Dr. Constanze Bongs

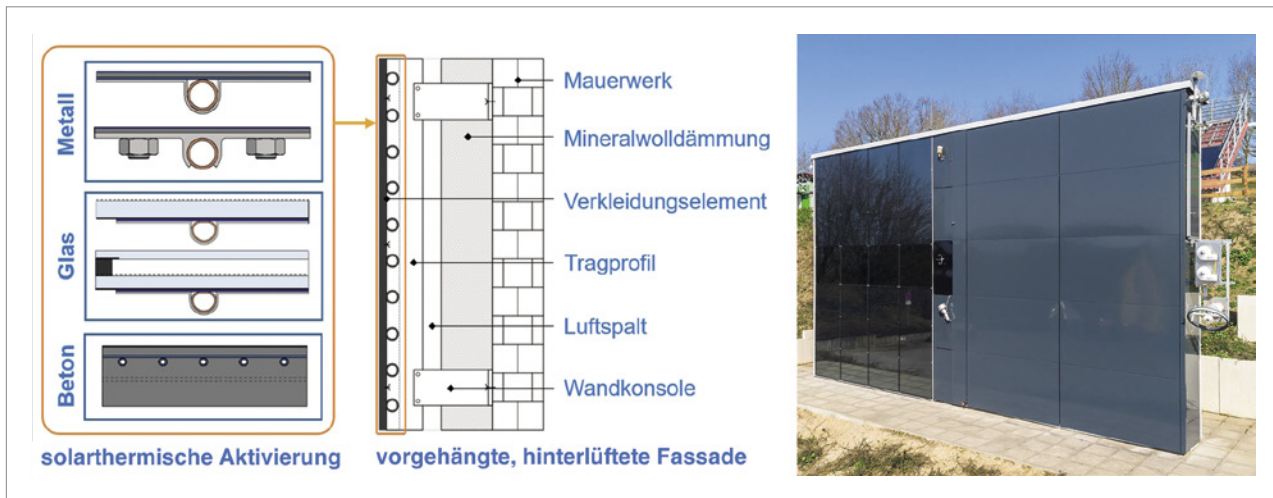


Abbildung 1 **Solar aktivierte hinterlüftete Fassade:**  
 • links: Aufbau  
 • rechts: Glas- und Metall-Fassadenelemente am Prüfstand des ISFH  
 (Quelle: ©ISFH)

siehe ► **Abbildung 1**) in repräsentativen Betriebszuständen experimentell untersucht und charakterisiert. Auf Basis der Erkenntnisse werden in Simulationsstudien optimierte Systemkonfigurationen und Regelungsstrategien entwickelt, die in Demonstrationsobjekten umgesetzt werden sollen.

Es konnte gezeigt werden, dass bereits mittels der Aktivierung eines relativ kleinen Anteils von ca. 10% der opaken Fassadenfläche die Dimensionierung der Erdwärmequelle eines Mehrfamilienhauses mit 19 Wohneinheiten um 25% reduziert werden kann, bei gleicher Performance und höherer Robustheit der Wärmequelle (Stabilität der Quelltemperatur und somit auch Effizienz der WP im langjährigen Betrieb). Diese Reduktion ist signifikant, da sie eine Realisierung dieses effizienten erdreichgekoppelten Wärmepumpensystems auf der limitierten Grundstücksfläche erst möglich macht. Die Fassadenelemente generieren nutzbare Wärmeerträge von ca. 350 kWh/m<sup>2</sup>a, von denen ca. 30% direkt im Verdampfer der Wärmepumpe genutzt und die restlichen ca. 70% zur Regeneration der Erdwärmesonden eingesetzt werden. Bei einer höheren Fassadenbelegung könnte die Erdwärmequelle bis zu 50% kleiner dimensioniert werden, was die Relevanz der Lösung vor allem in urbanen Räumen noch verdeutlicht.

Aktuell wird ein Mehrfamilienhaus gebaut, in dem das im Vorhaben entwickelte System als Demonstrationsanlage mit einer Betonfassade umgesetzt wird, um mittels Monitoring die Funktion und Effizienz der Technologie im praktischen Einsatz nachzuweisen. In Simulationsstudien werden auch Möglichkeiten zur Nutzung der Fassadenelemente als alleinige Wärmequelle untersucht. Weitere Informationen siehe [8].

Der RENBuild-Systemansatz des ZAE (BMW FKZ 03EN1009) beinhaltet den Einsatz einer multivalenten, reversiblen Wärmepumpe und zeichnet sich dabei insbesondere durch seinen Systemgedanken aus, welcher sich in einer synergetischen Nutzung von Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung widerspiegelt. Als Umweltenergiequelle für die Wärmepumpe kommt anstelle eines herkömmlichen Luftwärmetauschers ein photovoltaisch-thermischer Hybridkollektor (PVT-Kollektor) zum Einsatz, der auf seiner aktiven Fläche sowohl Wärme und Strom, als auch Kälte bereitstellen kann.

Ein großer Vorteil der PVT-Kollektoren gegenüber Luftwärmetauschern ist deren lautloser Betrieb sowie die Möglichkeit der Nutzung vorhandener Dach- oder Fassadenflächen. Immissionsschutz sowie fehlende Stellflächen für den Wärmetauscher stellen somit kein Hindernis für den Einsatz einer Wärmepumpe dar. Auch gegenüber Erdkollektoren bzw. Erdsonden bieten sich Vorteile im Hinblick auf Planungsaufwand und Platzbedarf.

Die genannten Punkte machen den im Projekt verfolgten Ansatz grundsätzlich auch für den dicht bebauten städtischen Bereich bzw. unter gewissen Voraussetzungen für Nachrüstungen im Gebäudebestand interessant, wo weder Erdsonden realisiert werden können, noch geeignete Stellflächen für Luftwärmetauscher zur Verfügung stehen.

Um vorhandene Umweltenergie möglichst effizient zu nutzen, werden im RENBuild-System Latentwärmespeicher, sog. PCM-Hybrid-Speicher mit hoher Speicherdichte (etwa Faktor 3 ggü. Wasser), vorgesehen. Diese speichern zu günstigen Zeiten erzeugte Wärme oder Kälte für die spätere Nutzung zwischen. Die Speicherbeladung kann prinzipiell sowohl rein passiv über die PVT-Kollektoren als auch wärmepumpenunterstützt erfolgen, wobei die Wärme-

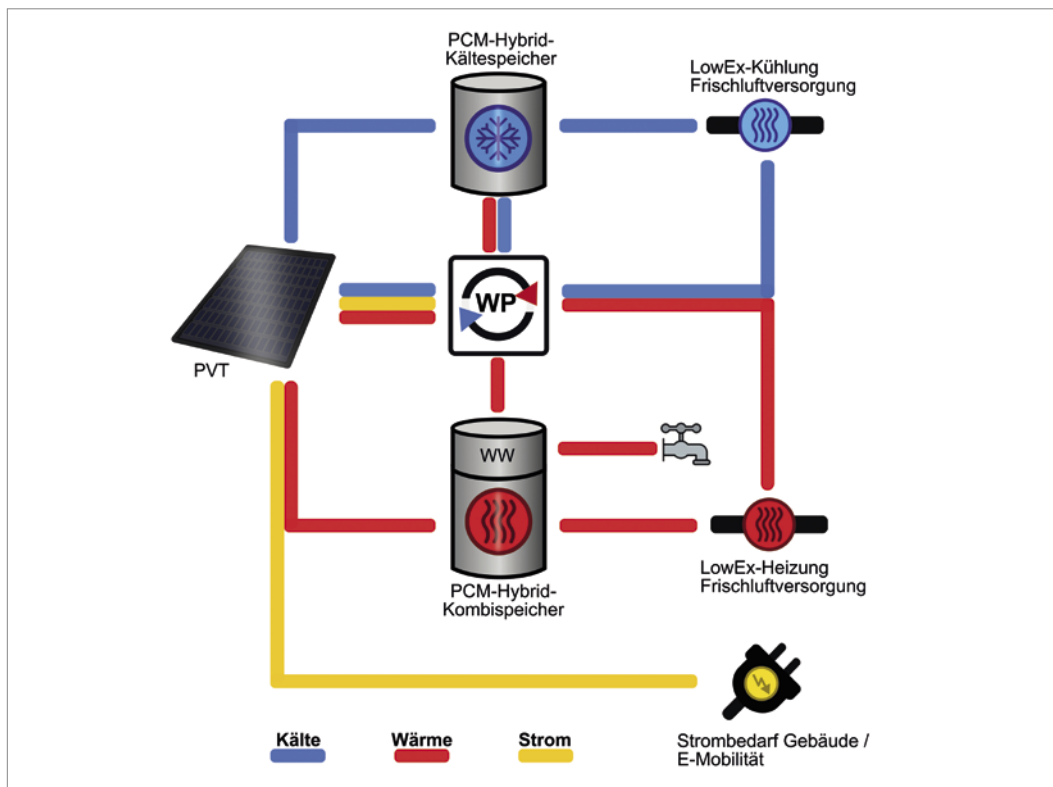


Abbildung 2

**RENBuild Systemansatz:**

Schema mit wesentlichen Komponenten und Energieströmen

(Quelle: © ZAE)

pumpe vorrangig mit dem zeitgleich erzeugten PV-Strom betrieben werden soll. Perspektivisch ermöglicht die Einbindung dieser Speicher mit hoher Kapazität aber auch netzdienliche Betriebsweisen über Power2Heat bzw. Power2Cold immer dann, wenn es beispielsweise ein Überangebot an Strom im öffentlichen Netz gibt.

Synergieeffekte im System ergeben sich, wenn die Wärmepumpe nutzbare Wärme und Kälte gleichzeitig erzeugt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Wärmepumpe quellenseitig die Wärme nicht mittels PVT-Kollektoren der Umgebung, sondern dem Kältespeicher entzieht, z.B. um das Gebäude zu kühlen und den Warmwasser-Speicher zu laden. Ein Schema des RENBuild-Systemansatzes mit den wesentlichen Komponenten und den möglichen Energieströmen zeigt ► *Abbildung 2*.

Der RENBuild-Systemansatz wurde im Projekt sowohl auf Basis detaillierter Simulationen untersucht, als auch in einer Experimentalanlage erprobt. Die Simulationen für ein Einfamilienhaus ergaben unter Berücksichtigung der Eigenstromnutzung Systemjahresarbeitszahlen von 5,2 ohne und 6,6 mit einem 7,5-kWh-Batteriespeicher. Aktuell wird das System in zwei Demonstrationsvorhaben umgesetzt: einem Wohn- und einem Bürogebäude (► *Abbildung 3*). Beide Gebäude durchlaufen eine Monitoringphase im Jahr 2023. Weitere Informationen siehe [9].

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) entwickelte in Zusammenarbeit mit der Uni Freiburg - Institut für Nachhaltige Energiesysteme (Inatech) und den Umsetzungspartnern Volkswohnung und den Stadtwerken Karlsruhe ein intelligentes Quartiersenergiesystem, das in Karlsruhe Durlach Wärmepumpen, PV-Module und Blockheizkraftwerke verbindet (BMW FKZ 03ET1590B).

Das Quartier besteht aus fünf zu versorgenden teil-sanisierten Mehrfamiliengebäuden aus den 1960er Jahren. Das integrierte Quartiersenergiesystem wurde im Jahr 2021 installiert und seitdem sukzessive in Betrieb genommen. An allen fünf Gebäuden sind PV-Module mit einer Gesamtleistung von 194 kWp installiert. Die Ergebnisse der simulationsbasierten Optimierung deuten darauf hin, dass große PV-Kapazitäten sowohl unter wirtschaftlichen als auch unter Energieeffizienzgesichtspunkten von Vorteil sind. Aufgrund gesetzlicher Vorschriften ist die installierte Leistung jedoch auf 100 kWp pro Jahr begrenzt. Die PV-Anlagen werden daher in zwei Stufen installiert.

Zwei dezentrale Wärmepumpensysteme mit einer thermischen Leistung von 43 kWth und 71 kWth versorgen zwei Gebäude mit Wärme. Die Wärmepumpen verwenden innovative Niedertemperaturquellen, die sich speziell mit der Herausforderung der begrenzten Verfügbarkeit von Umgebungswärme-

Abbildung 3

**RENBuild-System:**  
Demonstration in  
einem Einfamilienhaus

(Quelle: ©Hanse Haus  
GmbH & Co. KG)



quellen in städtischen Gebieten befassen. Das erste Wärmepumpensystem mit 43 kWth thermischer Leistung ist mit hybriden Photovoltaik-/thermischen PVT-Kollektoren mit einer Gesamtkollektorfläche von 202 m<sup>2</sup> gekoppelt. Als alleinige Quelle der Wärmepumpe werden PVT-Kollektoren mit verbesserter Wärmeübertragung aus der Umgebung durch einen rückseitigen Lamellenwärmetauscher verwendet. Das zweite Wärmepumpensystem mit einer thermischen Leistung von 71 kWth nutzt ein Mehrquellensystem mit intelligenter Steuerung und Hydraulik. Durch die Quellenkombination aus Erdwärme und Außenluft wird nur 50% der Größe eines herkömmlichen Erdsondenfelds benötigt.

Drei weitere Gebäude sind an ein Nahwärmenetz angeschlossen, das von zwei mit Erdgas betriebenen Blockheizkraftwerken (BHKW) mit einer Leistung von jeweils 50 kWel/92 kWth betrieben wird. Messergebnisse aus der ersten Heizperiode konnten bisher für einzelne Monate ausgewertet werden. Das Mehrquellen-Wärmepumpensystem erreichte eine Arbeitszahl von 3,1 (bilanzierter Zeitraum: 19.2.-7.3.2022 / Übergangszeit), nachdem die Heizkurve abgesenkt und ein Spitzenlast-Mischventil optimiert wurde. Auf Quartiersebene wurde im Januar 2022 ein hohes Maß an elektrischer Autarkie (88%) und Selbstversorgung (81%) erreicht und der Strom für die Wärmepumpen vollständig von den KWK- und PV-Anlagen geliefert. Weitere Informationen siehe [10].

Im Projekt OptDienE – Optionen zum netzdienlichen Betrieb von Einzelraumfeuerstätten (BMWK FKZ 03KB138) hat das DBFZ zusammen mit dem ISFH untersucht, wie der Einsatz von bestehenden Einzelraumfeuerstätten für Holz zu einer Absenkung der durch Wärmepumpen verursachten Stromlast

beitragen kann. Wesentliche Motivation ist, dass Luft/Wasser-Wärmepumpen absehbar auch weiterhin den größten Marktanteil in Bestandsgebäuden erreichen werden, da sie keine großen Veränderungen am Grundstück oder tiefe Bohrungen inkl. der Genehmigungsfragestellungen erfordern.

Luft/Wasser-Wärmepumpen weisen jedoch im Winter, wenn der höchste Heizbedarf vorliegt, einen wesentlichen Nachteil auf: Die kalte Außentemperatur der Wärmequelle verringert die Leistungszahl, so dass insbesondere in den Zeiten mit geringer PV- und teilweise auch Windenergiebereitstellung besonders hohe Stromnachfragen entstehen, die das Stromnetz bei einem massiven Ausbau der Anlagenzahlen stark belasten kann.

Daher wird vielfach davon ausgegangen, dass für Bestandsgebäude mit Präferenz zur Luft/Wasser-Wärmepumpe entweder zunächst eine kostenintensive energetische Vollsanierung des Gebäudes oder die Wahl eines anderen erneuerbaren Heizsystems (z. B. eine alleinige Pelletfeuerung) vorzusehen ist. Letzteres ist aber bei der Größe des Altbaubestands mit Radiatorenheizungen und der sehr schleichenden Gebäudesanierung aufgrund begrenzter nachhaltiger Biomassepotenziale im notwendigen Umfang nicht realisierbar. Dieser Engpass wird verstärkt durch eine wachsende Nachfrage an Biomasse für die Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozessenergie.

Eine vielversprechende Lösung können Wärmepumpen-Biomasse-Hybride sein. Hierbei deckt die Biomassefeuerung nur die 20–25% des Energiebedarfs, die eine Luft-Wasser-Wärmepumpe nicht effizient bereitstellen kann. Auf diese Weise wird die Wärmewende für alle Gebäude schon heute möglich.

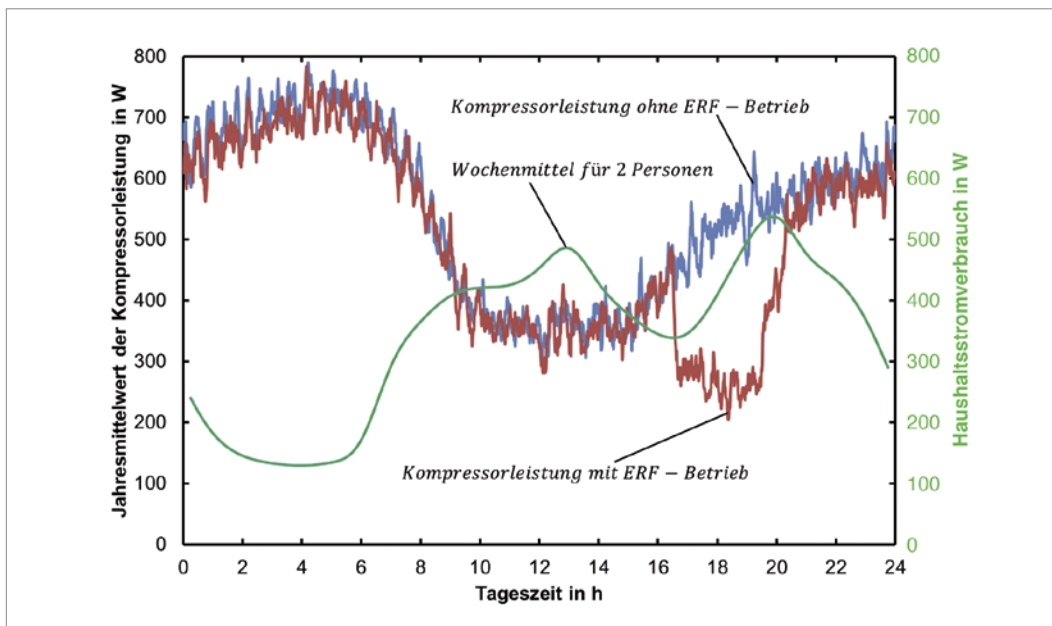


Abbildung 4

**Minderung des mittleren elektrischen Leistungsbedarfs der Wärmepumpe durch gezielte Nutzung einer Einzelraumfeuerung (ERF)**

(Quelle: ©ISFH)

Im Projekt OptDienE hat sich gezeigt, dass je nach Einsatzzeit marktüblicher Einzelraumfeuerstätten signifikante Minderungen des Leistungsbedarfs der Wärmepumpe im Schnitt über das Jahr um bis zu 50% während der Ofenbetriebszeit möglich sind (► *Abbildung 4*). Im Hinblick auf die Vermeidung von Stromlastspitzen im Netz ist eine Flexibilisierung der Einsatzzeiten abhängig vom Netzbedarf anzustreben. Hierzu bedarf es vor allem klarer Preissignale, die auch bei den Endkund\*innen ankommen, sowie Geräten mit großen Beiträgen ins zentrale Heizungssystem mit hoher Betriebsflexibilität, d. h. entweder einem passend dimensionierten Pufferspeicher oder einer automatisierten Feuerung mit automatischer Brennstoffzufuhr und automatischer Zündung. Pellet- und Holzhackschnitzel-Kessel und -öfen weisen hier große Vorteile auf. Stückholzfeuerungen brauchen einen ausreichend großen Pufferspeicher und automatisierte Rückmeldesysteme an die Betreiber\*innen.

Im Vorhaben GeoResume des ISFH (FKZ: 03EE4021A) wird der nachhaltige und leistungsoptimierte Betrieb von Erdwärmesondenfeldern durch zweckmäßige Betriebsüberwachung und thermische Regeneration erforscht. Durch detailliertes Monitoring mehrerer Anlagen in Norddeutschland werden Erkenntnisse zum realen Betriebsverhalten großer Erdwärmesondenfelder ermittelt und so die Grundlage für validierte Simulationsmodelle geschaffen.

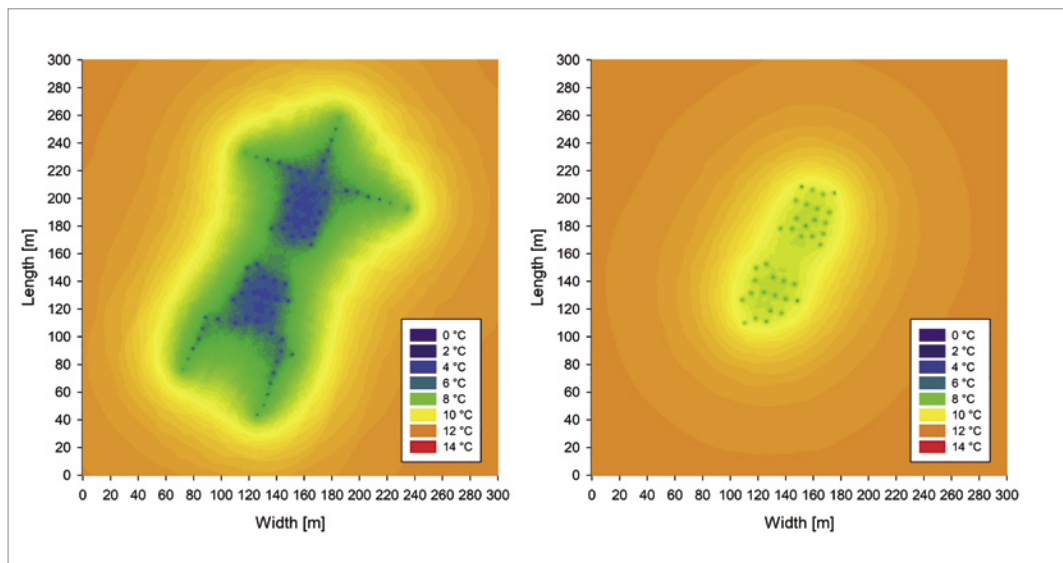
In Simulationsstudien werden optimierte Konzepte zum nachhaltigen Betrieb durch Regeneration mit Solar-, Umwelt- und Abwärme anhand von Fallbeispielen entwickelt.

Ein Beispiel ist die Versorgung eines Neubaugebiets in Hannover, das sich eine hohe Eigenversorgungsquote mit erneuerbaren Energien zum Ziel gesetzt hat. Dafür waren eine Belegung der Dachflächen mit Photovoltaik (PV) und die Installation dezentraler Wärmepumpen mit zentraler Quellwärmegewinnung mittels Erdwärmesondenfeld und Quellwärmenetz vorgesehen. Da maximal 70 Erdwärmesonden (EWS) auf dem Gelände erschlossen werden können, wurde eine Regeneration mittels PVT-Kollektoren untersucht, welche anteilig PV-Module ersetzen. Die Eigenschaften dieser bivalenten Quelle werden nachfolgend an zwei Dimensionierungsbeispielen diskutiert.

Mit 80 m<sup>2</sup> PVT-Kollektorfläche und 70 EWS kann die Quellwärme unter Einhaltung der minimal zulässigen Eintrittstemperaturen auf dem Grundstück erschlossen werden. Bei Realisierung von 700 m<sup>2</sup> PVT-Kollektorfläche reichen 35 EWS für die Wärmequelle aus. Während im ersten Fall (70 EWS) nach 50 Jahren eine deutliche Auskühlung des Erdreichs auftritt, liefert die zweite Dimensionierung (35 EWS) stabile Temperaturen (► *Abbildung 5*), die sich in kontinuierlich hoher Wärmepumpeneffizienz widerspiegeln.

Simulationsergebnisse aus EED und TRNSYS verdeutlichen, dass Erdwärmesondenfelder besonders stark von thermischer Regeneration profitieren. Nachhaltiger Betrieb wird auch bei kleineren Sondenabständen möglich und somit der Flächenbedarf für die Erschließung der Wärmequelle wesentlich reduziert. Die Kombination hoher thermischer Leistung (Solarthermie) und hoher thermischer Kapazität (EWS) ergibt eine robuste multivalente Wärmequelle, insbesondere für hohe flächenspezifische Wärme-

Abbildung 5  
**Erdwärmesondenfeld:**  
 Temperaturverteilung  
 im Erdreich in  
 75 m Tiefe nach  
 50 Jahren Betrieb  
 links: 70 EWS  
 mit 80 m<sup>2</sup> PVT  
 rechts: 35 EWS  
 mit 700 m<sup>2</sup>  
 (Quelle: © ISFH)



bedarfe. Im Projekt werden verallgemeinerbare wirtschaftlich technische Bewertungsmethoden als Entscheidungshilfe für multivalente Wärmequellen erarbeitet. Weitere Informationen siehe [11].

### Fazit

Die Ergebnisse der vorgestellten Vorhaben machen deutlich, dass eine Vielzahl an Technologiebausteinen durch intelligente Kombination und Betriebsführung die nachhaltige Wärmeversorgung mittels Wärmepumpen in unterschiedlichen Gebäuden ermöglicht. Von zentraler Bedeutung sind dabei jeweils die Analyse der lokalen Bedarfe und die zielgerichtete Erschließung vorhandener Potenziale. Einige Technologien und Systemkonzepte haben schon einen hohen technologischen Reifegrad erreicht. Durch die Umsetzung und Betriebsanalyse innerhalb der Projekte ist sichergestellt, dass die Erkenntnisse schnell in die praktische Anwendung überführt werden können.

### Danksagung

Die vorgestellten Erkenntnisse basieren jeweils auf der konstruktiven Zusammenarbeit mit Partnern aus Wissenschaft, Industrie, Planung und Umsetzung. Die Projekte werden bzw. wurden aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags vom Bundesministerium für Wirtschaft, Klimaschutz und Energie gefördert. Die Autor\*innen danken für die Unterstützung Ihrer Arbeit. Die Inhalte des Beitrags liegen in der alleinigen Verantwortung der Autor\*innen.

## Literatur

- [1] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme#warmeverbrauch-und-erzeugung-nach-sektoren>, abgerufen am 15.09.2022
- [2] [https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Pressegrafiken/Diagramm\\_Gesamtzahl\\_Waermeerzeuger\\_2021\\_DE.jpg](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Diagramm_Gesamtzahl_Waermeerzeuger_2021_DE.jpg), abgerufen am 15.09.2022
- [3] [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/65-prozent-erneuerbare-energien-beim-einbau-von-neuen-heizungen-ab-2024.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/65-prozent-erneuerbare-energien-beim-einbau-von-neuen-heizungen-ab-2024.pdf?__blob=publicationFile&v=6), abgerufen am 15.09.2022
- [4] Ausfelder F., Drake F.-D., Erlach B., Fishedick M., Henning H.-M., Kost C., Münch W., Pittel K., Rehtanz C., Sauer J., Schätzler K., Stephanos C., Themann M., Umbach E., Wagemann K., Wagner H.-J., Wagner U.: »Sektorkopplung« – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft), München 2017, S. 122
- [5] Gebert P., Herhold P., Burchard J., Schönberger S., Rechenmacher F., Kirchner A., Kemmler A. und Wünsch M. 2018. Klimapfade für Deutschland – Study by Boston Consulting Group and Prognos on behalf of the Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) e. V., Berlin, S. 220f
- [6] Bründlinger T., König J. E., Frank O., Gründig D., Jugel C., Kraft P., Krieger O., Mischinger S., Prein P., Seidl H., Siegemund S., Stolte C., Teichmann M., Willke J., Wolke M. 2018. dena-Leitstudie Integrierte Energiewende – Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen, Herausgeber: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, S. 150
- [7] <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/A/absichtserklaerung-waerme-pumpen.html>, abgerufen am 15.09.2022
- [8] Büttner C., Frick E. und Giovannetti F. (2022): Solar-Thermal Activation of Rear-Ventilated Façades as a Source for Heat Pump Based Heat Supply Systems, Proceedings of EuroSun 2022, Kassel, Germany, 28.09.2022
- [9] <https://ewb.innoecos.com/Group/03EN1009verbund/Informationen>
- [10] Lämmle M., Kropp M., Metz J. und Herkel S. (2022): SIMULATION AND MEASUREMENT RESULTS OF A SMART DISTRICT WITH CONNECTED HEAT PUMPS, PV AND CHP AS A MODEL PROJECT FOR DECARBONIZING EXISTING MULTIFAMILY BUILDINGS, Proceedings of BauSIM 2022, Weimar, Germany, 20.–22.09.2022
- [11] Weiland F., Kracht N., Chhugani B. Pärtsch P. (2022): Techno-Economical Assessment of a Solar Regenerated Borehole Heat Exchanger Field with PVT Collectors for District Heating, Proceedings of EuroSun 2022, Kassel, Germany, 26.09.2022