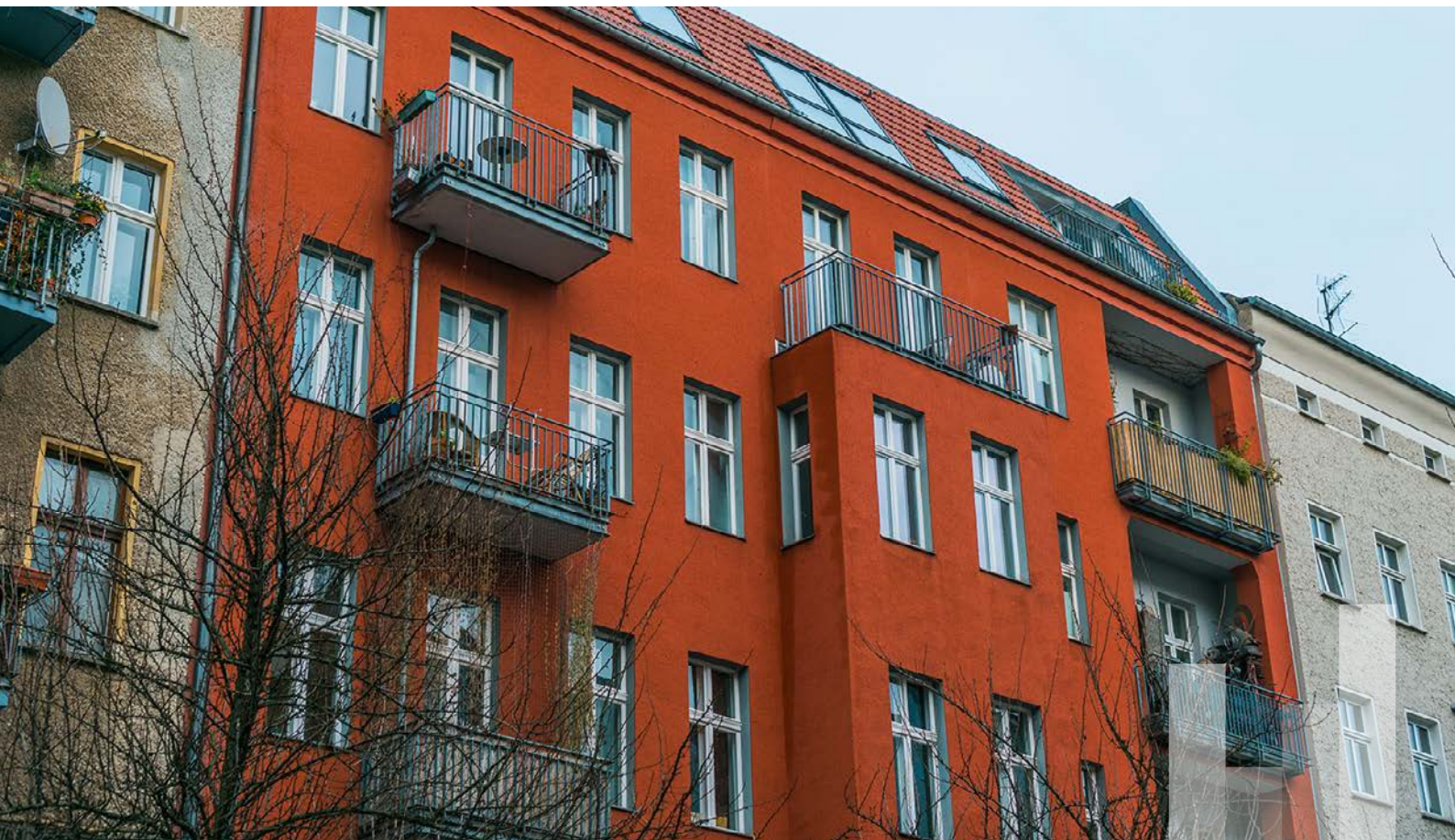




## Praxisleitfaden für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern

Status quo. Erfahrungen. Möglichkeiten.

Partner



# Impressum

## Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
Chausseestraße 128 a  
10115 Berlin  
Tel.: + 49 30 66 777-0  
Fax: + 49 30 66 777-699  
E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de)/[info@gebaeudeforum.de](mailto:info@gebaeudeforum.de)  
Internet: [www.dena.de](http://www.dena.de)/[www.gebaeudeforum.de](http://www.gebaeudeforum.de)



## Konzept und Redaktion:

Martina Schmitt, dena  
Doreen Stahr, dena  
Christina Rocker, dena

## Autorinnen und Autoren:

Michel Böhm, GdW  
Jörg Dengler, Fraunhofer ISE  
Peter Engelmann, Fraunhofer ISE  
Michael Kropp, Universität Freiburg, Inatech  
Sebastian Rohrer, Fraunhofer ISE  
Martina Schmitt, dena  
Dr. Björn Schreinermacher, BWP  
Felix Uthoff, BWP  
Jeanette Wapler, Fraunhofer ISE

## Unter Mitwirkung von:

Constanze Bongs, Berliner Hochschule für Technik; Arnulf Dinkel, Fraunhofer ISE; Danny Günther, Fraunhofer ISE; Andreas Koch, dena; Manuel Lämmle, Hochschule Offenburg; Marek Miara, Fraunhofer ISE; Beatrice Rodenbücher, Universität Freiburg, Inatech; Ferdinand Schmidt, Karlsruher Institut für Technologie; Tim Sternkopf, dena; Sirin Tezcan-Kamper, dena; Christian Wollbaum, dena

## Konzeption & Gestaltung:

Heimrich & Hannot GmbH

## Bildnachweis:

Titel – shutterstock/Wondervisuals; S. 20 – BWP;  
S. 31 – Jens Willebrand (Abb. 28), WG am Vorgebirgspark (Abb. 30), Renowate (Abb. 31), Systems (Abb. 32);  
S. 41 – Fraunhofer ISE (Abb. 37–40); S. 43 – LEG Immobilien SE (Abb. 41–43); S. 45 – Fraunhofer ISE (Abb. 44–47); S. 47 – Fischbach Gruppe (Abb. 48, 49), Vonovia SE (50, 51); S. 49 – Fraunhofer ISE (Abb. 52–56); S. 51 – Fraunhofer ISE (Abb. 57–60); S. 53 – Bilddokumentation LUXGREEN Climadesign (Abb. 61–64); S. 55 – Dominik Schiller (Abb. 65), Jens Willebrand (Abb. 66), VG am Vorgebirgspark (Abb. 67, 68); S. 60 – Fraunhofer ISE;  
alle anderen Bilder Copyright: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

## Datum der Veröffentlichung:

03/2024

## Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2024):  
„Praxisleitfaden für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Status Quo. Erfahrungen. Möglichkeiten.“

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                          |          |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Impressum .....</b>                                                   | <b>2</b> |
| <b>1 Vorwort .....</b>                                                   | <b>5</b> |
| <b>2 Einleitung .....</b>                                                | <b>6</b> |
| 2.1 Inhalt des Praxis-Leitfadens .....                                   | 6        |
| 2.2 Mehrfamilienhäuser in Deutschland .....                              | 6        |
| 2.3 Ziele und Herausforderungen für Gebäude der Wohnungswirtschaft ..... | 8        |
| <b>3 Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern .....</b>                        | <b>9</b> |
| 3.1 Grundlagen und Varianten .....                                       | 9        |
| 3.1.1 Voraussetzungen für den Einsatz von Wärmepumpen im Bestand .....   | 9        |
| 3.1.2 Funktionsweise Wärmepumpe .....                                    | 10       |
| 3.1.3 Wärmequellen .....                                                 | 10       |
| 3.1.4 Zentrale und dezentrale Systemlösungen und Integrationstiefe ..... | 12       |
| 3.1.5 Bauarten und Aufstellorte für Wärmepumpen .....                    | 13       |
| 3.1.6 Kombination mehrerer Wärmeerzeuger .....                           | 14       |
| 3.1.7 Leistungsanpassung der Wärmepumpe .....                            | 16       |
| 3.1.8 Trinkwassererwärmung .....                                         | 17       |
| 3.1.9 Wärmeübergabe mit Heizkörpern .....                                | 18       |
| 3.1.10 Effizienzsicherung und Betriebsüberwachung .....                  | 20       |
| 3.2 Einfluss von Auslegungsparametern auf die Effizienz .....            | 23       |
| 3.3 Vernetzte Wärmeversorgung in Quartieren .....                        | 28       |
| 3.4 Ganzheitliches Konzept: Serielles Sanieren mit Wärmepumpen .....     | 30       |

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4 Rechtlicher Rahmen und Förderung .....</b>                                            | <b>32</b> |
| 4.1 Gebäudeenergiegesetz (GEG).....                                                        | 32        |
| 4.2 Bedeutung der kommunalen Wärmeplanung für den Einsatz von Wärmepumpen .....            | 34        |
| 4.3 Kältemittel: F-Gase-Verordnung.....                                                    | 35        |
| 4.4 Netzanschluss und Netzintegration – Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) § 14 a .....       | 36        |
| 4.5 Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG): Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern ..... | 39        |
| <b>5 Praxis-Beispiele .....</b>                                                            | <b>41</b> |
| Wärmepumpen-Kessel-Hybridanlage vor und nach Sanierung .....                               | 41        |
| Luft-Luft-Wärmepumpen als Ersatz für Gas-Etagenheizungen.....                              | 43        |
| Grundwasser-Wärmepumpe im Contractingmodell .....                                          | 45        |
| Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Wärme aus Erdsonden .....                                       | 47        |
| Wärmepumpen-Kessel-Hybridanlage mit Kombiquelle .....                                      | 49        |
| Hybridanlage mit Hochtemperatur-Wärmepumpe und Gas-Kessel .....                            | 51        |
| Luft-Wasser-Wärmepumpe im Quartier.....                                                    | 53        |
| Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizbetrieb .....                                               | 55        |
| <b>6 Checkliste: Handlungsempfehlungen aus der Praxis .....</b>                            | <b>57</b> |
| <b>7 Weitere Informationsquellen.....</b>                                                  | <b>59</b> |
| <b>8 Anhang.....</b>                                                                       | <b>60</b> |
| <b>9 Quellen.....</b>                                                                      | <b>62</b> |



# 1 Vorwort

Deutschland hat sich im Rahmen des Klimaschutzgesetzes verpflichtet, bis 2045 klimaneutral zu sein. Der Gebäudesektor spielt dabei eine wichtige Rolle, da hier rund 40 % der Gesamtenergie verbraucht werden. Um diese Ziele zu erreichen, muss die Energieeffizienz der Gebäude verbessert, die Energieträger schrittweise klimaneutral und sukzessive mehr erneuerbare Energien eingesetzt werden. Denn immer noch werden rund 80 % der 24 Millionen installierten Wärmeerzeuger fossil mit Gas, Öl oder Kohle beheizt. Mit der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) wurde der Rahmen gesetzt für das Heizen mit Strom aus erneuerbaren Energien statt Kohle, Erdöl oder -gas, um die Gebäude in Deutschland auf den Pfad der Klimaneutralität zu bringen. In Neubaugebieten muss ab dem 01.01.2024 jede neu eingebaute Heizung mindestens 65 % erneuerbare Energie nutzen, für Bestandsgebäude etwas später. In Ein- und Zweifamilienhäusern übernehmen Wärmepumpen zunehmend sowohl im Bestand als auch in Neubauten die Wärmeversorgung anstelle fossil betriebener Heizungsanlagen. Zur Erreichung der Klimaschutzziele spielen Wärmepumpen eine entscheidende Rolle. Insbesondere die Potenziale für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern sind enorm und müssen nun verstärkt gehoben werden.

Es ist eine der großen Herausforderungen, grundlegende Empfehlungen und Standards für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern zu definieren. Für Ein- und Zweifamilienhäuser im Bestand gibt es jahrelange Erfahrungen, viel Know-how und erprobte Einbaukonzepte. In Mehrfamilienhäusern sind die Herausforderungen immens, z. B. beim Ersatz von dezentralen Gasetagenheizungen und für die Trinkwarmwasserversorgung. Lösungen, an denen sich die Wohnungswirtschaft, Wohnungseigentümergeinschaften sowie Besitzerinnen und Besitzer von Mehrfamilienhäusern orientieren können, gibt es nicht in vergleichbarer Breite.

In der Wohnungswirtschaft, der Forschung sowie aufseiten der Wärmepumpenhersteller ist heute bereits einiges an Wissen zur Integration der Wärmepumpentechnologie in Mehrfamilienhäusern vorhanden. Was derzeit jedoch noch fehlt, ist eine umfassende Vernetzung der Akteure, die Multiplikation von Wissen sowie die Weiterentwicklung von Lösungen, um die Technologie zu einem zentralen Bestandteil der zukünftigen Wärmeversorgung in Mehrfamilienhäusern zu machen.

Um diese Lücken aus unterschiedlichen Perspektiven zu schließen und grundlegende Empfehlungen für den Einbau von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäuser zu definieren, aufzubereiten und zu multiplizieren, haben sich zur Erstellung des vorliegenden Praxisleitfadens verschiedene Akteure zusammengeschlossen. Das Fraunhofer ISE bringt seine Forschungsexpertise als größtes Solarforschungsinstitut Europas und über 20 Jahre Forschung und Entwicklung von Wärmepumpensystemen ein, während der Bundesverband Wärmepumpe (BWP) die Interessen der Wärmepumpenwirtschaft vertritt. Der Gesamtverband der deutschen Wohnungswirtschaft (GdW) integriert seine Perspektive auf die spezifischen Herausforderungen an die Wohnungswirtschaft in den Praxisleitfaden. Die Deutsche Energie-Agentur (dena) trägt im Rahmen des Gebäudeforums klimaneutral ihre fachliche Expertise bei der inhaltlichen Konzeption, Erstellung und kommunikativen Umsetzung bei.

Das Gebäudeforum klimaneutral hat sich zum Ziel gesetzt, gemeinsam mit Netzwerkpartnern und den Umsetzenden vor Ort die Transformation zum klimaneutralen Gebäudebestand zu gestalten. Dazu werden Lösungen entwickelt, Fachwissen durch qualitativ-hochwertige Informationsformate bereitgestellt und Beispiele mit Vorbildfunktion multipliziert.

Der Praxisleitfaden wird im Rahmen des Gebäudeforums klimaneutral vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.



Abb. 1: Am Praxisleitfaden beteiligte Akteure



## 2 Einleitung

### 2.1 Inhalt des Praxisleitfaden

Das Spektrum der Umsetzungskonzepte mit Wärmepumpen ist breit und erweitert sich stetig. Diese Vielfalt der Systemvarianten mit Wärmepumpen erhöht die Komplexität und den Planungsaufwand gegenüber einer konventionellen Kesselheizung: Von zentralen Lösungen mit einer Wärmepumpe für das ganze Gebäude bis hin zu einer Wärmepumpe je Wohneinheit und der vernetzten Versorgung mehrerer Gebäude gibt es ein breit gefächertes Feld an Möglichkeiten zum Einsatz der Technologie. Diese kann mit unterschiedlichen erneuerbaren Energiequellen und zusätzlich übergangsweise mit fossilen, nicht erneuerbaren Systemen kombiniert werden.

Der Leitfaden richtet sich insbesondere an die strategischen und technischen Abteilungen der Wohnungsunternehmen und diejenigen, die für die Planung und Koordination der anstehenden Prozesse zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung verantwortlich sind. Er liefert konkrete Handlungsempfehlungen und praktische Beispiele für die Planung, Installation und den Betrieb von Wärmepumpen.

Der Leitfaden gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpensystemen in Mehrfamilienhäusern im Bestand mit dem Fokus auf technische Lösungen und Versorgungskonzepte. Grundlegende Zusammenhänge und

Auswirkungen von Auslegungsparametern auf die Effizienz werden durch Simulationen an verschiedenen Gebäudetypen verdeutlicht. Die Erfahrungen und Empfehlungen aus den umgesetzten Projekten in den Praxisbeispielen geben Hinweise und Unterstützung für zukünftige Projekte hinsichtlich Planung und Betrieb der Anlagen.

**Im Leitfaden dargestellt sind:**

- **Technische Grundlagen:** Wärmepumpentechnik und -systeme sowie Versorgungskonzepte und Lösungsansätze im Quartier und bei serieller Sanierung
- **Rechtlicher Rahmen:** Gebäudeenergiegesetz, kommunale Wärmeplanung, Kältemittel, Einbindung ins Stromnetz
- **Praxisbeispiele:** Erfahrungen aus umgesetzten Praxisbeispielen zeigen mögliche Konzepte, Projektdaten und Erfolgsfaktoren für Planung und Betrieb der Anlagen.
- **Handlungsempfehlungen:** Eine Checkliste bündelt die relevanten Erkenntnisse aus den Praxisbeispielen und weist auf wichtige Schritte hin, die beachtet werden sollten.

### 2.2 Mehrfamilienhäuser in Deutschland

Der deutsche Bestand an Mehrfamilienhäusern umfasst ca. 3,3 Millionen Gebäude mit ungefähr 23 Millionen Wohnungen. Dabei stellen Mehrfamilienhäuser über die Hälfte der

insgesamt verfügbaren Wohnungen auf einer Wohnfläche von 1,6 Milliarden m<sup>2</sup>. Die andere Hälfte der Wohnungen befindet sich überwiegend in Ein- und Zweifamilienhäusern.

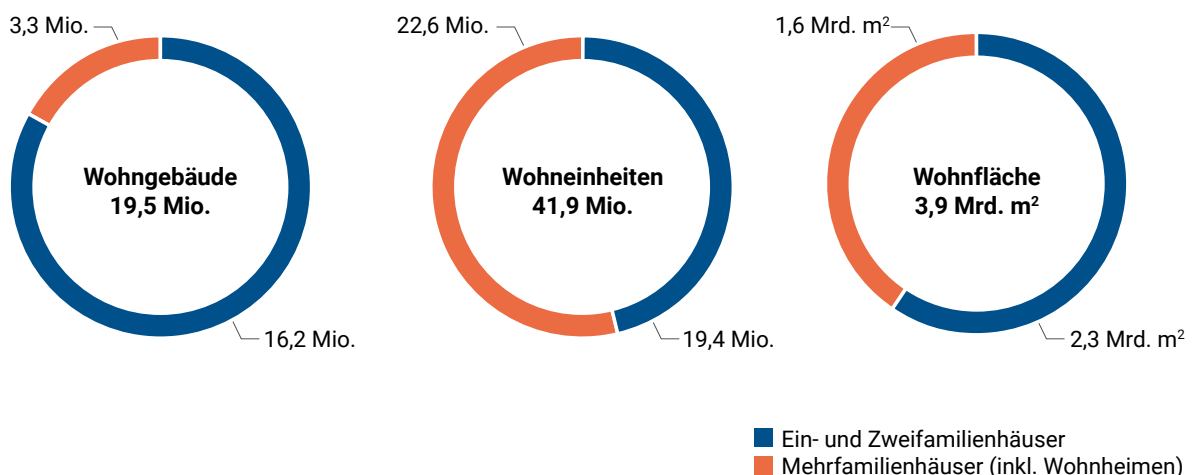


Abb. 2: Übersicht des Bestands an Wohngebäuden, -einheiten und -flächen in Deutschland 2022; Quelle: Destatis 2023a, Destatis 2023b, Destatis 2023c

## Das Potenzial für den Umstieg auf erneuerbare Energien im Bestand ist groß.

Rund ein Drittel der Energie wird in Deutschland für Wärme- und Kälteerzeugung aufgewendet. Von den 24 Millionen installierten Wärmeerzeugern im Gebäudebestand werden über 78 % fossil mit Gas, Öl oder Kohle betrieben rund 7 % sind Wärmepumpen. Das Potenzial für den Umstieg auf erneuerbare Energien ist also groß und der Einbau von Wärme-

pumpen wird eine zentrale Rolle spielen. Bislang haben sich Wärmepumpen vor allem im Neubau durchgesetzt, wo sie mittlerweile einen Anteil von 57 % haben. Dabei kommen Wärmepumpen mit rund 61 % überwiegend in Ein- und Zweifamilienhäusern zum Einsatz. In Mehrfamilienhäusern liegt der Einsatz im Neubau bei rund 36 %.

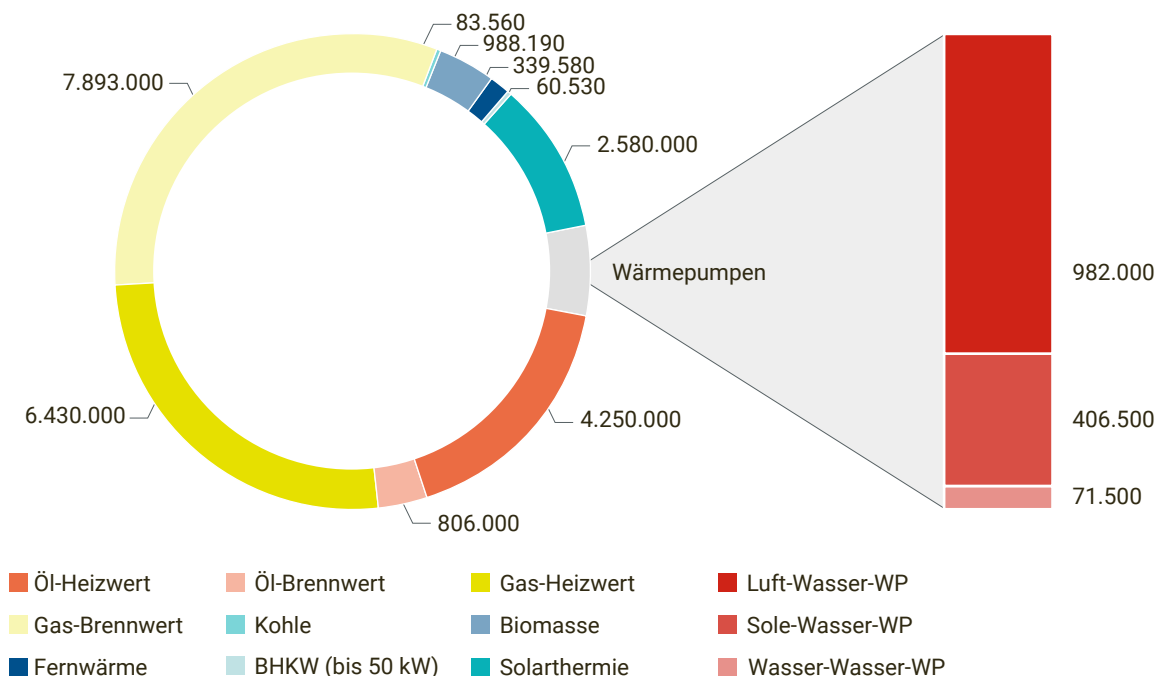


Abb. 3: Installierte Wärmeerzeuger; Quelle: Schornsteinfegerverband 2023, BSW 2023, BWP 2021, BAFA 2023, dena 2023a

## Die Wärmeversorgung in Mehrfamilienhäusern erfolgt überwiegend zentral und mit fossilen Energieträgern. Jede dritte Heizanlage ist über 20 Jahre alt.

Von den ca. 3,3 Millionen Mehrfamilien-Bestandsbauten werden nur ca. 3,3 % mit Wärmepumpen beheizt (BDEW, 2023). Über die Hälfte der Bestandsgebäude wird mit zentralen Heizkesseln und fossilen Energieträgern betrieben; 18,2 % werden über dezentrale, wohnungsweise Heizsysteme wie

Gasetagenheizung oder Einzelöfen mit Wärme versorgt. Mehr als ein Drittel der zentral beheizten Gebäude verfügt über eine zusätzliche dezentrale Trinkwassererwärmung (Durchlauferhitzer mit Strom oder Gas). Jede dritte Heizanlage ist bereits über 20 Jahre alt.

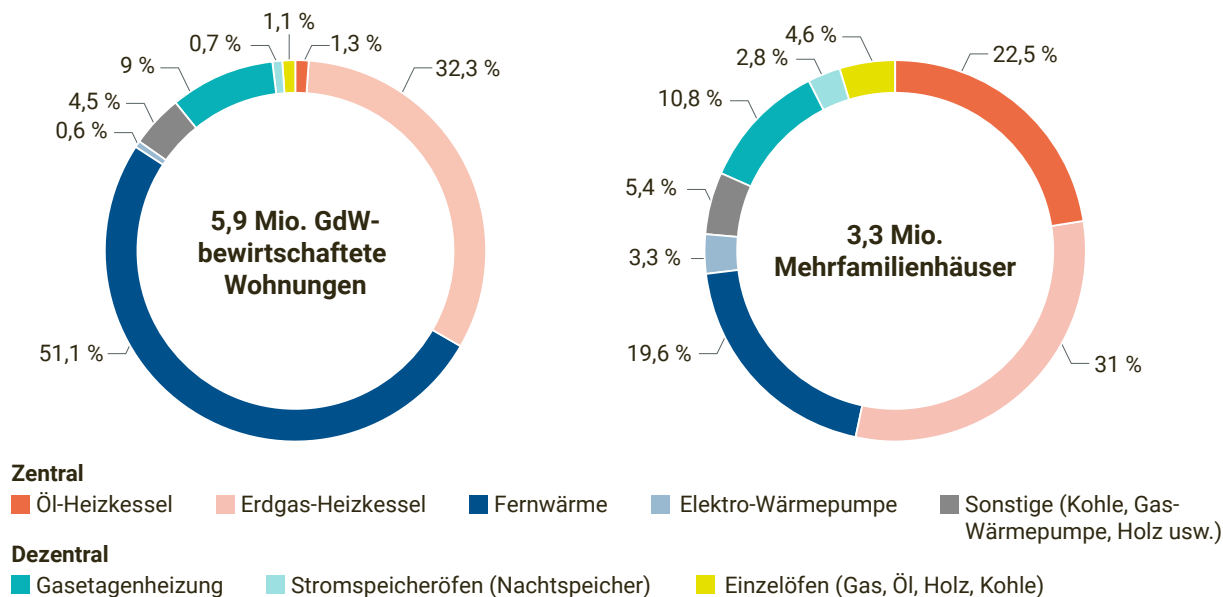


Abb. 4: Verteilung von Heizsystemen allgemein und in bewirtschafteten Wohnungen der GdW-Unternehmen; Quelle: BDEW 2023, GdW 2022

## 2.3 Ziele und Herausforderungen für Gebäude der Wohnungswirtschaft

Wohnungsunternehmen und -genossenschaften und weitere professionell gewerbliche Anbieter von Wohnungen sind Eigentümer von über 20 % der Wohneinheiten, die sich überwiegend in Mehrfamilienhäusern befinden. Somit sind sie wesentliche Akteursgruppen neben privaten Eigentümerinnen und Eigentümern sowie Selbstnutzerinnen und Selbstnutzern.

Die Wohnungswirtschaft steht vor vielfältigen Aufgaben: Neubau, energetische Modernisierung und Treibhausgas-minderung, altersgerechter Umbau, Instandsetzung und Sanierungsmaßnahmen, Quartiersentwicklung und Stadtumbau sowie die Anforderungen der zunehmenden Digitalisierung. Hinzu kommen weitere Themen wie die kommunale Wärmeplanung, die Ausweitung der Fernwärmeversorgung, der Wärmepumpenhochlauf, die CO<sub>2</sub>-Bepreisung und deren Kostenaufteilung auf Mietende und Vermietende.

Hinsichtlich der Transformation der Wärmeversorgung in Wohngebäuden hin zur Klimaneutralität unterstützt die Wohnungswirtschaft das Ziel, Wohngebäude mit erneuerbaren Energien zu versorgen. So hat die Wohnungswirtschaft seit 1990 große Teile ihrer Bestände teilweise oder vollständig saniert. Dies wirkt sich auf die energetische Qualität der Gebäude aus.

So befinden sich bereits knapp 20 % der Mehrfamilienhäuser im Bereich der Effizienzklassen A und B und über die Hälfte in den mittleren Klassen C, D und E. Die Wohngebäude dieser Klassen sind in den allermeisten Fällen ohne größere Maßnahmen bereits niedertemperaturfähig und geeignet, Wärmepumpen oder vergleichbare erneuerbare Wärmeversorgungslösungen einzusetzen.

Trotzdem stagniert der temperaturbereinigte spezifische Endenergieverbrauch für Raumwärme deutschlandweit seit 2015 nahezu (Gebäudereport 2023). Infolgedessen verfehlte der Immobiliensektor in den vergangenen Jahren wiederholt die von der Bundesregierung im Klimaschutzprogramm 2030 gesetzten Ziele zur Emissionsreduktion.

Zur raschen, kosteneffizienten und nachhaltigen Minderung der Treibhausgasemissionen im Gebäudebestand sind deshalb dringend neue Impulse notwendig.

Größter und schnellster Hebel zur Emissionsreduktion ist der Austausch der Energieerzeuger bzw. der Wechsel der Energieträger.

Trotz der bei der Emissionsminderung verfehlten Ziele sind sich die Wohnungsunternehmen ihrer Verantwortung für die Ertüchtigung ihrer Wohngebäude hin zur Klimaneutralität bis 2045 bewusst. Klar ist: Klimaneutralität kann während des Betriebs von Immobilien nur durch die Senkung des Energieverbrauchs und den Ausbau von erneuerbaren Energien zur Deckung des Energiebedarfs erreicht werden. Zugleich soll dieser klimaneutrale Gebäudebestand aber auch Teil einer sicheren und sozial verantwortungsvollen Wohnversorgung für breite Schichten der Bevölkerung sein. Maßnahmen zur Klimaneutralität müssen jedoch auch finanziert und refinanziert werden. Dieses Spannungsfeld zwischen Umwelt- und Klimapolitik und sozialen sowie wohnungswirtschaftlichen Zielen verlangt nach neuen Lösungen.

Bereits entwickelte und erprobte Ansätze dafür werden in diesem Leitfaden dargestellt, z. B. vielfältige Aspekte der Wärmepumpentechnologie, die eine zentrale Rolle bei der Dekarbonisierung des Wohnungsbestands einnimmt.

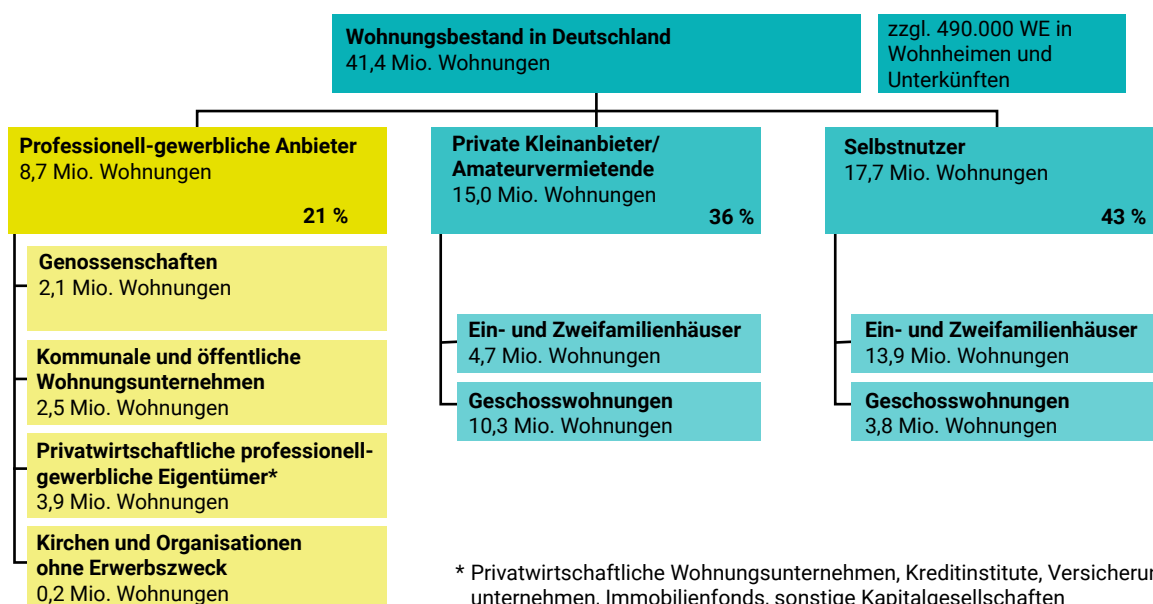


Abb. 5: Anbieterstruktur auf dem deutschen Wohnungsmarkt; Quelle: Destatis 2019a, Destatis 2019b, GdW 2018



## 3 Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern

### 3.1 Grundlagen und Varianten

Im Wohngebäudebereich kommen fast ausschließlich elektrisch angetriebene Wärmepumpen zum Einsatz. Die ausgereiften und kompakten Geräte können sowohl im Neubau als

auch in Bestandsgebäuden verwendet werden. Die folgenden Abschnitte beziehen sich daher auf elektrisch angetriebene Kompressions-Wärmepumpen.

#### 3.1.1 Voraussetzungen für den Einsatz von Wärmepumpen im Bestand

Aus technischer Sicht können Wärmepumpensysteme jedes Gebäude beheizen und Trinkwarmwasser erzeugen. Es besteht ein breites Spektrum an Varianten mit verschiedenen Wärmequellen und Wärmeübergabesystemen über Flächenheizungen, Heizkörper oder Luft.

**Faktoren, die die Auswahl an technischen Varianten einschränken:**

- **Platzangebot für Wärmequellenerschließung und Systemkomponenten:** In dicht bebauten, meist innerstädtischen Gebieten ist das Platzangebot aufgrund der baulichen Situation und erforderlichen Abstandsflächen begrenzt. **Schallschutzvorgaben und Denkmalschutz** können herausfordernd sein und es bedarf besonderer Lösungen, wie z. B. der Nutzung des Dachraums für die Aufstellung von Komponenten, den Einsatz von thermischen Photovoltaikmodulen als Wärmequelle oder Quartierslösungen über Wärmenetze.
  - **Umstellung dezentraler Wärmeversorgungssysteme:** Bestehende Heizanlagen in einzelnen Etagen oder Wohnungen, z. B. Etagenheizungen oder Öfen, können auf ein zentrales System mit Wärmepumpe umgerüstet werden. Dies erfordert die kostenintensive Installation eines hydraulischen Systems. Der Einsatz von dezentralen Wärmepumpensystemen bietet kostengünstigere Varianten, z. B. durch raumweise Luft-Luft-Wärmepumpen, die die Raumluft direkt erwärmen.
  - **Bei hohen Heizlasten Hybridheizung einbinden:** Für Gebäude mit hohem Wärmebedarf und höheren benötigten Heiztemperaturen kann die Wärmepumpe mit weiteren Wärmeerzeugern (z. B. Gas-Brennwertkessel, Hochtemperatur-Wärmepumpe) kombiniert werden. Dabei übernimmt die Wärmepumpe die Grundlast und wird durch den weiteren Wärmeerzeuger mit höheren Temperaturen unterstützt. Weiterhin sollten Maßnahmen umgesetzt werden, um den hohen Wärmebedarf und die Temperaturen im Heizsystem zu reduzieren und die Versorgung ausschließlich über die Wärmepumpe zu ermöglichen.
- Damit Wärmepumpen einen hohen Anteil erneuerbarer Energien nutzen und der Strombedarf gering bleibt, gibt es einige Voraussetzungen, die beachtet werden sollten:**
- **Wärmequellenverfügbarkeit prüfen:** Die Außenluft ist als Wärmequelle unbegrenzt verfügbar und vergleichsweise kostengünstig zu erschließen. Wärmequellen mit ganzjährig höherer Temperatur, wie das Erdreich, Grundwasser, Oberflächen- oder Abwasser, ermöglichen hingegen höhere Effizienzen und sollten hinsichtlich Verfügbarkeit und Nutzung geprüft werden.
  - **Temperaturen im Heizsystem absenken:** Entscheidend sind die Bewertung der erforderlichen Vorlauftemperatur des bestehenden Heizsystems und Maßnahmen für eine Absenkung der Vorlauftemperatur. Oft ist die erforderliche Vorlauftemperatur geringer als erwartet und kann mit geringinvestiven Maßnahmen (Heizkurvenabsenkung, Heizkörperaustausch, hydraulischer Abgleich) verringert werden.
  - **Wärmebedarf reduzieren:** Die Dämmung der Gebäudehülle ermöglicht die weitere Absenkung von Vorlauftemperaturen im Heizsystem und den Einsatz von Wärmepumpen mit geringerer Heizleistung, die kostengünstiger sind und weniger Platz und elektrische Anschlussleistung benötigen. Wärmequellen können kleiner dimensioniert werden.
  - **Einbindung Trinkwarmwassererzeugung prüfen:** Diese kann zentral über das Wärmepumpensystem zur Raumheizung erfolgen, mit Unterstützung von elektrischem Heizstab und hybriden Varianten. Es bestehen weiterhin Möglichkeiten, die Trinkwassertemperaturen abzusenken und gleichzeitig Hygieneanforderungen zu erfüllen, z. B. durch Frischwasserstationen und Ultrafiltration. Eine weitere Option ist die dezentrale direktelektrische Erwärmung des Trinkwassers unabhängig vom Wärmepumpensystem.

- **Fachgerechte Konzeption, Planung, Installation:** Die VDI-Richtlinie 4645 „Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern“ stellt ausführlich die erforderlichen Schritte von der Voruntersuchung und Konzepterstellung bis zur Detailplanung dar. Sie gibt Hinweise zu empfohlenen hydraulischen Schaltungen, zur Dimensionierung von Anlagenkomponenten, zur Dokumentation, zur Inbetriebnahme der Anlage und Unterweisung des Betreibers und auch zu Kostenbetrachtungen.
- **Kennzahlen und technische Spezifikation von Wärmepumpen und Komponenten vergleichen:** Die Wärmepumpentechnologie wird kontinuierlich weiterentwickelt und

Innovationen ermöglichen weitere Technologiesprünge. Die Komponentenentwicklung, z. B. Invertertechnologie mit stufenloser Leistungsanpassung des Verdichters oder neue Kältemittel, ermöglicht die Erhöhung der Effizienz und Einsatzbreite im Gebäudebestand sowie die Verringerung von Schallemissionen.

- **Betrieb der Anlagen überwachen:** In Wärmepumpenanlagen kommen verschiedene Systemkomponenten der Wärmequelle, Wärmeerzeuger, hydraulischen Einbindung und Stromversorgung zum Einsatz. Das optimale Zusammenspiel der Komponenten in diesem komplexen System hat viele Einflussfaktoren und sollte überwacht werden.

### 3.1.2 Funktionsweise Wärmepumpe

In einer elektrischen Wärmepumpe zirkuliert ein Medium (Kältemittel) in einem geschlossenen Kreislauf. Es verdampft in einem Wärmeübertrager (Verdampfer) bei geringem Druck und entzieht dabei seiner Umgebung Wärme. Das gasförmig vorliegende Kältemittel wird in einem Verdichter komprimiert, wodurch sich seine Temperatur erhöht. Unter höherem Druck

condensiert das Kältemittel wieder und gibt dabei Wärme auf höherem Temperaturniveau an die Medien zur Wärmeverteilung (Wasser oder Luft) ab. Über ein Expansionsventil wird der Druck des flüssigen Kältemittels anschließend wieder auf den niedrigeren Verdampfendruck reduziert.

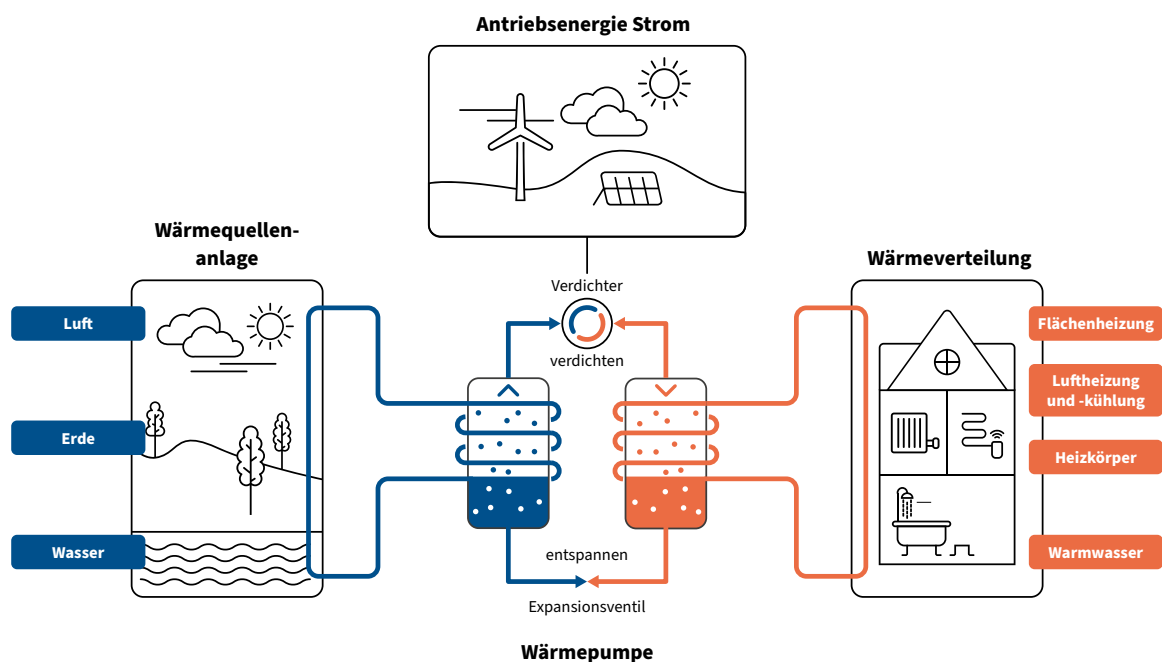


Abb. 6: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Wärmepumpe

### 3.1.3 Wärmequellen

Eine Herausforderung für den Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern besteht in der Erschließung der Wärmequellen, oft aufgrund eingeschränkter Platzverfügbarkeit und der in dichten Bebauungsgebieten erhöhten Anforderungen an den Schall- und Brandschutz. Als natürliche Wärmequellen für Wärmepumpen dominieren das Erdreich und die Außenluft. Obwohl das Erdreich im Mittel höhere Quellentemperaturen bereitstellt und damit höhere Effizienzwerte ermöglicht, geht der Trend aufgrund geringerer Investitionskosten und des geringeren Planungs- und Installationsaufwandes in Rich-

tung Außenluft. Vor allem im innerstädtischen Bereich ist der Einsatz von Außenluft-Wärmepumpen mit großer Leistung und Außenaufstellung aufgrund des Schallschutzes eingeschränkt. Eine Alternative stellen innen aufgestellte Luft-Wasser-Wärmepumpen dar sowie die nahezu geräuschlose Wärmequellennutzung durch PVT-Kollektoren dar.

Im Folgenden sind typische Quellen für Wärmepumpensysteme und zentrale Einflussfaktoren beschrieben.

## Außenluft

Außenluft ist die derzeit am häufigsten verwendete Wärmequelle für Heizungs-Wärmepumpen in Deutschland, da sie mit geringstem Aufwand erschließbar ist. Luft-Wasser-Wärmepumpen können üblicherweise im Außentemperaturbereich von  $-25$  bis  $+35$  °C betrieben werden. Verschiedene Bauarten (Kompakt-, Monoblock- und Splitgeräte) ermöglichen unterschiedliche Aufstellorte. Anforderungen an die Aufstellung resultieren vor allem aus Schallschutz und Platzangebot, insbesondere bei dichter innerstädtischer Bebauung. Ortspezifische Anforderungen aus den Landesbauordnungen müssen berücksichtigt werden. Der Nachteil von Außenluft als Wärmequelle ist die in der Heizperiode sinkende Außenlufttemperatur und infolgedessen verringerte Effizienz des Wärmepumpenprozesses.

Während bei Luft-Wasser-Wärmepumpen die Wärmeübertragung an die Räume durch wassergeführte Heizflächen wie Heizkörper oder Flächenheizungen erfolgt, wird diese bei Luft-Luft-Wärmepumpen – ohne Wasser – über Konvektoren an die Raumluft übertragen. Eine einfache Variante von Luft-Luft-Wärmepumpen sind Klimageräte, die beispielsweise in Hotels oder Büros zu finden sind.

## Erdreich

Dem Erdreich kann über unterschiedliche Systeme Wärme entzogen werden, z. B. über Erdwärmesonden, Erdkollektoren oder Energiepfähle. In der Wärmequellenanlage zirkuliert eine Flüssigkeit, häufig eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel (Sole), die dem Erdreich Wärme entzieht. Aufgrund des geringeren Flächenbedarfes werden im Mehrfamilienhaus häufig Erdwärmesonden eingesetzt. Diese können in unterschiedlichen Längen ausgeführt werden. Aufgrund unterschiedlicher Vorgaben im Genehmigungsprozess sind in Deutschland Längen bis 100 Meter verbreitet, aber es kann auch tiefer gebohrt werden. Tiefe und Anzahl der Bohrungen hängen vom Wärmebedarf des Gebäudes und von den geologischen Verhältnissen vor Ort ab. Im Vorfeld der Planung ist zu prüfen, ob und bis zu welcher Tiefe eine Bohrung durchgeführt werden darf und ob eventuell weitere regionale Vorgaben zu berücksichtigen sind.

Das Erdreich weist unterhalb einer Tiefe von ca. zehn Metern ganzjährig eine nahezu konstante Temperatur auf, die etwa dem Jahresdurchschnitt der Lufttemperatur am Standort entspricht. Für die Heizperiode bedeutet dies, dass Erdsonden eine deutlich höhere und konstantere Quelltemperatur liefern können als die Außenluft. Bei dichter Bebauung und einer Tiefenbegrenzung können Grundstücksgrößen das Einsatzpotenzial von Erdsonden begrenzen. Eine Kombination der Quellen Luft und Erdreich kann hier eine Lösung sein.

## Grundwasser

Wasser-Wasser-Wärmepumpen nutzen die über das Jahr nahezu konstante Temperatur des Grundwassers als Wärmequelle. Über einen Saugbrunnen wird Grundwasser entnommen, zur Wärmepumpe geleitet und in einen strömungsabwärts gelegenen Schluckbrunnen wieder in die grundwasserführende Schicht zurückgeführt. Die Verfügbarkeit ist auf Regionen mit einem hohen Grundwasserstand und geeigneter Wasserqualität beschränkt. Die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle ist genehmigungspflichtig. Bei der Planung ist die Dimensionierung der Grundwasserpumpe und Leistungsregelung des Quellenkreises zu beachten: Durch überdimensionierte, unregelmäßige Pumpen zur Erschließung der Wärmequelle kann sich die Effizienz des Gesamtsystems deutlich reduzieren, insbesondere bei tiefem Grundwasserstand.

## Abwasser

Thermische Energie aus Abwasser steht ganzjährig mit vergleichbar hohen Quelltemperaturen zur Verfügung. Abwasser wird in verschiedene Kategorien unterteilt: behandlungsbedürftiges oder nicht behandlungsbedürftiges Regenwasser, Schmutzwasser aus Haushalten und Betrieben sowie Industrieabwasser. Abwasserkanäle bieten die meiste Zeit des Jahres eine konstante und – besonders im urbanen Raum – relativ einfach zu erschließende lokale Wärmequelle. Die Nutzbarkeit von Abwasser als Wärmequelle wird von zwei Parametern bestimmt: erstens dem Trockenwetterabfluss als Summe aller anfallenden Schmutzwässer und dem Fremdwasser, welches zusätzlich in die Kanalisation eintritt, sowie zweitens dem max. möglichen Wärmeentzug aus dem Abwasser vor dem Klärwerk. Dieser wird durch Prozesse in den Klärwerken limitiert: Die Mindesttemperatur des Abwassers darf bei Erreichen des Klärwerks nicht unter 8 °C liegen.

Die Kombination von Wärmepumpen mit Abwasserwärme ist Stand der Technik. Die Abstimmung über die Verfügbarkeit von Abwasserwärmeleistung und Koordination von Baumaßnahmen erfolgt mit den lokalen Behörden bzw. Wasserwerken. Zunehmend stehen Abwasserkataster zur Verfügung, die Auskunft über Lage und mögliche Entzugsleistung geben.

## Abwärme und Abluft

Neben dem Abwasser gibt es in Mehrfamilienhäusern oder der direkten Umgebung der Gebäude oft Wärmequellen, z. B. aus Produktionsprozessen, Kühlanlagen oder Verbrennungsprozessen, die mithilfe von Wärmepumpen für die Beheizung oder die Warmwasserproduktion genutzt werden können. Bei Gebäuden mit einer Lüftungsanlage kommt die vorhandene Wärme in der Abluft ebenfalls als Wärmequelle in Betracht.

## Solarthermie und Photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT-Kollektoren)

Für die Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle für Wärmepumpen ist ein niedrigeres Temperaturniveau als bei der direkten Nutzung der Wärme zur Heizungsunterstützung oder Trinkwassererwärmung ausreichend. Dazu können kostengünstigere ungedeckte Absorber oder photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT-Kollektoren) eingesetzt werden. Die Vorteile der Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle für Wärmepumpen kommen insbesondere bei innerstädtischen Anwendungen zum Tragen, wo eine begrenzte Quellenverfügbarkeit von Erdwärme und hohe Herausforderungen bezüglich der Schallbelastung bestehen. Solarthermie wird in der Regel in Kombination mit einer zweiten Wärmequelle (Erdwärme oder Außenluft) eingesetzt. Gegenüber einer reinen Außenluft-Wärmepumpe ermöglicht die quellenseitige Integration von Solarthermie höhere Wärmequellentemperaturen und eine reduzierte Luftschallbelastung. In Kombination mit der Nutzung von Erdwärme kann die Erdwärmequellenanlage kleiner dimensioniert werden. Die Überschusswärme der Solarthermie-Kollektoren kann zur thermischen Regeneration des Erdreichs genutzt werden.

## Wärmenetze und weitere Wärmequellen

Bei der Wärmeversorgung von mehreren Gebäuden in einer Liegenschaft bzw. im Quartier besteht die Möglichkeit, Wärme aus einer oder mehreren Wärmequellen zu gewinnen

und über ein Wärmenetz an die umliegenden Gebäude zu verteilen. Wird die Wärme auf einem sehr geringen Temperaturniveau verteilt, spricht man von „kalter“ Nahwärme. Der Hauptvorteil gegenüber einem konventionellen Wärmenetz mit höheren Temperaturen ist der geringere Wärmeverlust. Das Wärmenetz dient den Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden als Wärmequelle. Die Wärmepumpen stellen die Wärme zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung auf dem jeweils erforderlichen Temperaturniveau zur Verfügung. Je nach lokalen Gegebenheiten sind neben Außenluft, Erdreich und Grundwasser unterschiedliche Wärmequellen im Wärmenetz nutzbar: Solarthermie, Abwärme aus Kühlanlagen und Gewerbebetrieben, Abwasser sowie Oberflächenwasser (See, Fluss). Je nach Wärmequelle wird das Netz auf einem Temperaturniveau von 0 bis 20 °C betrieben, oft auch in Kombination mit zentralen Speichern.

## Thermische Wärmequellenspeicher

Lokal verfügbare Energiequellen unterliegen oft starken Schwankungen über den Tages- oder Jahresverlauf, wie z. B. Sonnenenergie oder unvermeidbare Abwärme aus Industrieprozessen. Mit thermischen Speichern können die Schwankungen im Tagesverlauf ausgeglichen bzw. Wärme saisonal gespeichert werden, wie z. B. in Wasser-, Eis-, Erdwärmesonden- oder Aquiferspeichern. Diese Technologieoptionen sind dargestellt in der Studie „Thermische Energiespeicher für Quartiere“ (dena 2023b).

### 3.1.4 Zentrale und dezentrale Systemlösungen und Integrationstiefe

Die Art der Bereitstellung von Heizwärme und Trinkwarmwasser in Mehrfamilienhäusern kann vielfältig erfolgen: zentral, dezentral, gekoppelt oder getrennt. Bei der Umstellung der Wärmeversorgung auf Wärmepumpen ist eine Vielzahl an Systemkombinationen denkbar und möglich. Eine Systematisierung dieses Lösungsraums wurde vom Wärmepumpenzentrum (Heat Pump Centre) der Internationalen Energieagentur (IEA) anhand von Beispielen erarbeitet, die in verschiedenen teilnehmenden Ländern umgesetzt wurden. Die dargestellte Kategorisierung und vereinfachte schematische Visualisierung ermöglicht einen Überblick über Wärmepumpenlösungen in Mehrfamilienhäusern. Sie zielt darauf ab, die Komplexität des Lösungsraums zu reduzieren und Orientierung zu geben, wenn die Entscheidung über ein neues Heizsystem ansteht.

Ein wichtiger Punkt bei der Klassifizierung von Wärmepumpensystemen ist die Definition der Integrationstiefe in das Gebäude. Diese reicht von komplett zentralen Systemen für das ganze Gebäude über Etagenlösungen bis hin zu vollständig dezentralen, raumweisen Lösungen. Diese wurden in fünf sogenannte „Lösungsfamilien“ gegliedert:

- Familie 1: Zentrale Wärmepumpensysteme für das Gesamtgebäude ohne und mit Kombinationen von Kesselanlagen mit gekoppelter und getrennter Trinkwassererwärmung
- Familie 2: Kombination von zentralen und dezentralen Lösungen
- Familie 3: Wärmepumpen für bestimmte Wohneinheiten
- Familie 4: Wohnungsweise Wärmepumpen
- Familie 5: Einzelraum-Wärmepumpen

### Weitere Informationen

Weiterführende Informationen und internationale Praxisbeispiele finden sich auf den Webseiten der IEA-Projekte:

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex62/>

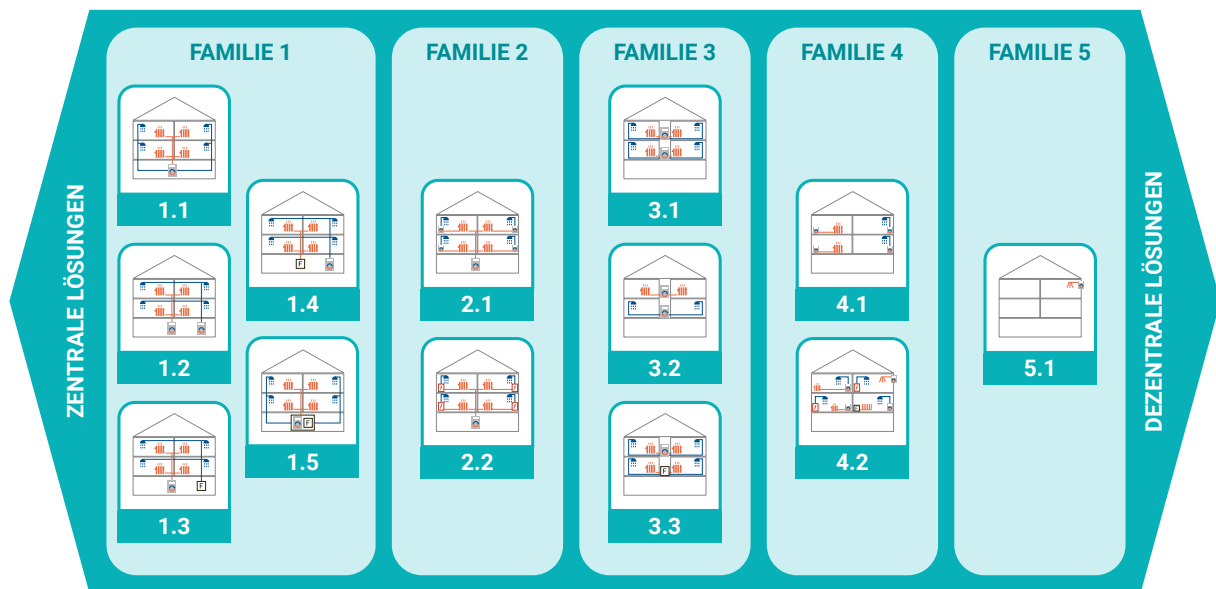


Abb. 7: Systematisierung von Wärmepumpenlösungen in Mehrfamilienhäusern; Quelle: IEA 2022

### 3.1.5 Bauarten und Aufstellorte für Wärmepumpen

Bei Außenluft-Wasser-Wärmepumpen lassen sich unterschiedliche Bauarten (Kompakt- und Splitgerät) und unterschiedliche Möglichkeiten für den Aufstellort unterscheiden. Bei Kompakt-Wärmepumpen (auch Monoblock genannt) befinden sich alle Komponenten des Wärmepumpengerätes – wie auch bei Sole-Wärmepumpen – in einem Gehäuse. Diese können innen oder außen aufgestellt werden. Splitgeräte hingegen bestehen aus einer Außen- und einer Inneneinheit, die durch Kältemittelleitungen miteinander verbunden sind. Die Bewertung der Aufstellungsvarianten ist von der konkreten baulichen Situation abhängig. Auch für Sole-Wasser-Wärmepumpen bieten sich unterschiedliche Aufstellmöglichkeiten. Die folgende Zusammenstellung zeigt schematisch mögliche Aufstellorte von Wärmepumpen bei zentralen und semizentralen Versorgungskonzepten.

#### Aufstellung im Außenraum

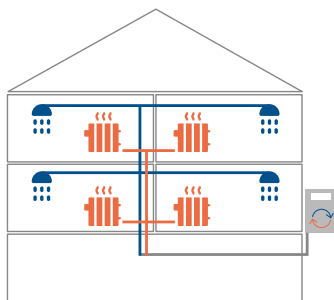


Abb. 8: Aufstellung der Wärmepumpe im Außenraum

Die Aufstellung von Außenluft-Wasser-Wärmepumpen im Außenraum ist eine etablierte und – bei naher Aufstellung am Gebäude – vergleichsweise günstige Lösung. Bei eingeschränktem Platzbedarf im „Heizungskeller“ ist der bauliche Aufwand bei Außenaufstellung oft geringer. Dabei ist die Schallbelastung im Außenraum zu beachten. Ausschlaggebend für die Schallbelastung sind, neben dem Schallleistungspegel des Gerätes, der Aufstellort und die Nutzung zusätzlicher Lärmschutzmaßnahmen.

Eine weitere Herausforderung ist die gestalterische Integration in den Außenraum. Ein ansprechendes Gerätedesign bzw. das Integrieren der Wärmepumpe hinter baulichen Elementen (Zäune, Bepflanzungen, Schuppen usw.) bieten örtlich angepasste Lösungsansätze.

Als eine Variante der Aufstellung der Wärmepumpe kann eine Heiztechnikzentrale außerhalb des Gebäudes bzw. im Erdreich errichtet werden. Das beinhaltet auch die Möglichkeit, die Haus-technikzentrale als vorgefertigte Gesamteinheit anliefern zu lassen, und dient zugleich dem Schutz vor Vandalismus.

#### Innenaufstellung im Kellergeschoss

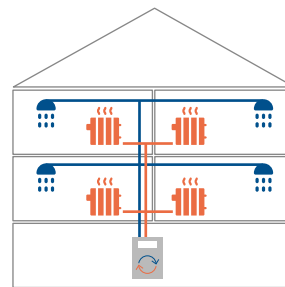


Abb. 9: Aufstellung der Wärmepumpe im Kellergeschoss

Die Innenaufstellung von Luft-Wärmepumpen erfordert nicht nur Platz für das Wärmepumpengerät, sondern auch für die voluminösen Luftkanäle. Ist ein großer Heizungsraum mit großen Fenstern oder Luftschächten vorhanden, die sich für Luftführung eignen, ist der Aufwand gering. Beengte Platzverhältnisse, komplizierte Luftführungen und Wanddurchbrüche erhöhen den Aufwand teils erheblich oder stehen dem Einbau einer Wärmepumpe im Gebäude entgegen. Bei innen aufgestellten Wärmepumpen ist neben der Übertragung des Schalls über die Luft auch der Weg über das Gebäude selbst (Körperschall) zu beachten und durch Entkopplung zu vermeiden.

## Aufstellung im Dachbereich

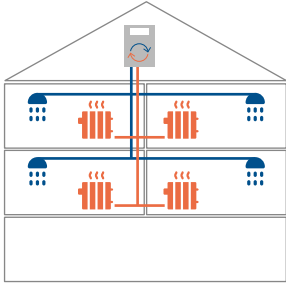


Abb. 10: Aufstellung der Wärmepumpe im Dachbereich

Die Aufstellung der Wärmepumpe im Dachbereich stellt höhere bauliche und schallschutztechnische Anforderungen als die zuvor genannten Varianten. Dies betrifft sowohl Maßnahmen zur Vermeidung der Körperschallübertragung als auch der Entwicklung und Verbreitung von Luftschall im

Außenraum. Zudem ist die Statik des Gebäudes zu beachten. Die Entscheidung für die Art der Wärmepumpe (Monoblock oder Splitgerät) sowie für die Luftführung über Giebelseite und/oder Dachfläche ist von der konkreten baulichen Situation abhängig.

## Aufstellung pro Etage

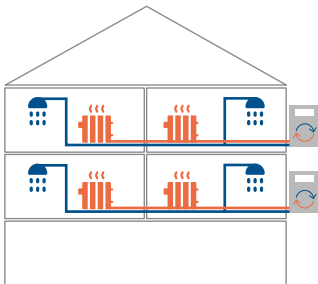


Abb. 11: Aufstellung der Wärmepumpe an der Gebäudefassade

Die Wärmeversorgung kann etagenweise über Wärmepumpen erfolgen, die am oder im Gebäude integriert sind. Ein Lösungsansatz sind dezentrale Wärmepumpen in Fassadenbalkonsystemen, die jeweils mehrere oder alle Wohnungen einer Etage mit Wärme versorgen.

Im Zuge einer Hüllsanierung besteht die Möglichkeit, mit vorgefertigten Elementen die Gebäudetechnik in die Hülle zu integrieren. Bei Nutzung von Erdreich oder PVT-Kollektoren kann die Rohrleitung in die Fassade integriert werden. Ebenfalls können alte Kaminzüge genutzt werden.

## Aufstellung in den Wohnungen

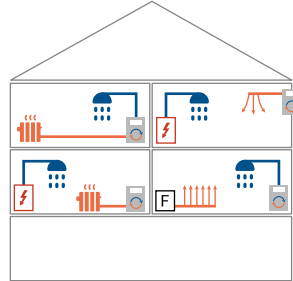


Abb. 12: Aufstellung der Wärmepumpe in den einzelnen Wohnungen

Für den Fall wohnungsweiser Wärmepumpen erfolgt die Aufstellung innerhalb der Wohnungen. In jeder Wohnung wird ausreichend Platz für die Installation der Wärmepumpe benötigt. Außenluft ist die naheliegendste Wärmequelle für wohnungsweise Wärmepumpenlösungen. Abluft kann für

bestimmte Anwendungsarten genutzt werden.

Bei allen Konzepten ist die Abführung von Kondensat zu beachten: Hier gelten teilweise kommunal spezifische Regelwerke zur Behandlung des Kondensats, z. B. ob eine Einleitung ins Abwasser zulässig ist bzw. das Kondensat vor Ort versickert werden darf.

## 3.1.6 Kombination mehrerer Wärmeerzeuger

Im Gegensatz zu kleineren Gebäuden werden in Mehrfamilienhäusern aufgrund der hohen Wärmelast für Raumheizung und Trinkwarmwasser mehrere Wärmeerzeuger kombiniert. Diese werden in unterschiedlichen Betriebsweisen gefahren.

### Monovalentes System

Wird eine Wärmepumpe als alleiniger Wärmeerzeuger vorgesehen, spricht man von einem monovalenten Wärmepumpensystem. Die Wärmepumpe wird auf die zu erwartende Spitzenlast ausgelegt und die Wärmequellenverfügbarkeit muss ganzjährig gegeben sein.

### Monoenergetisches System

Bei einem monoenergetischen Wärmepumpensystem wird nur ein Endenergieträger (Strom) verwendet; zusätzlich ist eine elektrische Direktheizung (Elektroheizstab) integriert. Bei der monoenergetischen Betriebsweise deckt die Wärmepumpe die gesamte Heizwärme bis zu einer definierten Außentemperatur (Bivalenzpunkt). Bei geringeren Außentemperaturen, also höherem Heizwärmebedarf, schaltet

sich der Elektroheizstab zu oder ersetzt die Wärmepumpe. Der Elektroheizstab kann zur Trinkwassererwärmung auch unabhängig von der Außentemperatur eingesetzt werden, um die Temperaturerhöhung über der Einsatzgrenze der Wärmepumpe zu übernehmen oder um ungewöhnliche Lastspitzen abzudecken.

- Eine monoenergetische Auslegung kann gegenüber dem monovalenten System ökonomisch von Vorteil sein, da der Wärmepumpenteil kleiner dimensioniert werden kann und sich dadurch Investitionskosten reduzieren.
- Im Vergleich zu einem bivalenten System ist die Anlage weniger komplex.
- Voraussetzung für einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb einer monoenergetischen Auslegung ist, dass die zu erwartenden Betriebszeiten des Elektroheizstabes gering sind.

## ■ Bivalentes System

Von einem bivalenten Wärmepumpensystem spricht man, wenn ein zusätzlicher Wärmeerzeuger ins System integriert ist, der einen anderen Endenergieträger als Strom nutzt. Dies kann ein (bestehender) Gas-, Öl- oder Biomassekessel sein. Die Regelung der Anlage erfolgt grundsätzlich nach demselben Prinzip wie beim monoenergetischen System für den Elektroheizstab beschrieben. Es gibt verschiedene Gründe für einen zusätzlichen Kessel:

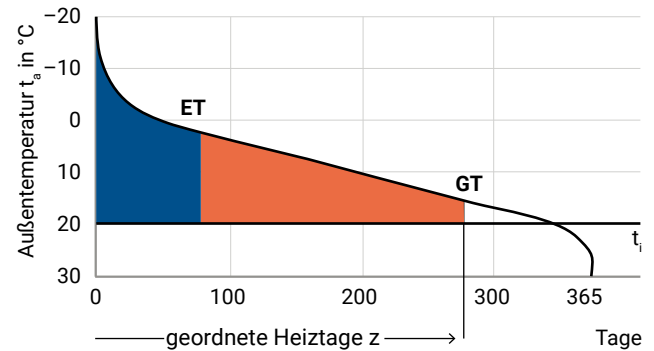
- Die Wärmequellenverfügbarkeit ist nicht ausreichend für ein monovalentes System.
- Die Einsatzgrenzen der Wärmepumpe können zeitweise nicht eingehalten werden (beispielsweise Trinkwarmwassertemperatur).
- Stufenweise Gebäude- und Anlagensanierung: Wird zunächst nur die Anlagentechnik erneuert und eine Gebäudesanierung zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt, so wird die Wärmepumpe auf den zukünftigen Wärmebedarf ausgelegt.
- Minimierung der Betriebskosten: Abhängig von den aktuellen Energiepreisen (z. B. zeitvariabler Stromtarif) und der Effizienz kann der jeweils günstigere Wärmeerzeuger genutzt werden.
- Verringerung von Investitionskosten: geringere Investitionskosten eines Kessels gegenüber einer Wärmepumpe und aufgrund des geringen Anteils von Spitzenlastzeiten der Wärmepumpe gute Jahreseffizienz des Gesamtsystems.
- Erhöhung der Betriebssicherheit der Heizungsanlage bei Ausfall eines Wärmeerzeugers und bei Begrenzung der elektrischen Anschlussleistung des Netzbetreibers.

Die Nachteile einer bivalenten Anlage können in einem höheren Aufwand für die Systemeinbindung liegen, insbesondere wenn Bestandskomponenten (Kessel, Speicher) zu integrieren sind, sowie in höheren Wartungskosten.

## Grundsätzliche Betriebsführungsarten

Für bivalente Wärmepumpensysteme gibt es drei grundsätzliche Betriebsführungsarten für das Zusammenspiel der Wärmeerzeuger:

**Bivalent-alternativer Betrieb:** Oberhalb der minimalen Einsatztemperatur (ET) deckt die Wärmepumpe die gesamte Heizlast, unterhalb davon der Kessel. Dies ist der regelungstechnisch einfachste Fall.

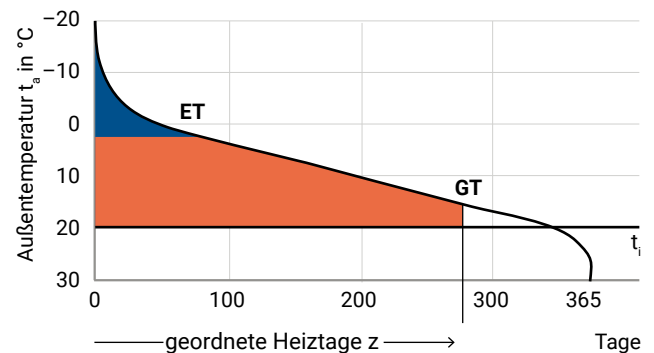


■ Wärmepumpe  
■ ergänzender Wärmeerzeuger

ET Einsatztemperatur  
GT Heizgrenztemperatur  
 $t_i$  Raumtemperatur

Abb. 13: Heiztage in Abhängigkeit von Außentemperatur und Einsatz der Wärmeerzeuger im bivalent-alternativen Betrieb

**Bivalent-paralleler Betrieb:** Unterhalb des Bivalenzpunktes werden weitere Wärmeerzeuger gleichzeitig (parallel) mit der Wärmepumpe betrieben.



■ Wärmepumpe  
■ ergänzender Wärmeerzeuger

ET Einsatztemperatur  
GT Heizgrenztemperatur  
 $t_i$  Raumtemperatur

Abb. 14: Heiztage in Abhängigkeit von Außentemperatur und Einsatz der Wärmeerzeuger im bivalent-parallelen Betrieb

**Bivalent-teilparalleler Betrieb:** Unterhalb des Abschaltpunktes wird die Wärmebereitstellung nur vom ergänzenden Wärmeerzeuger, z. B. Kessel, übernommen. Zwischen dem Bivalenz- und dem Abschaltpunkt sind Wärmepumpe und Kessel gemeinsam in Betrieb.

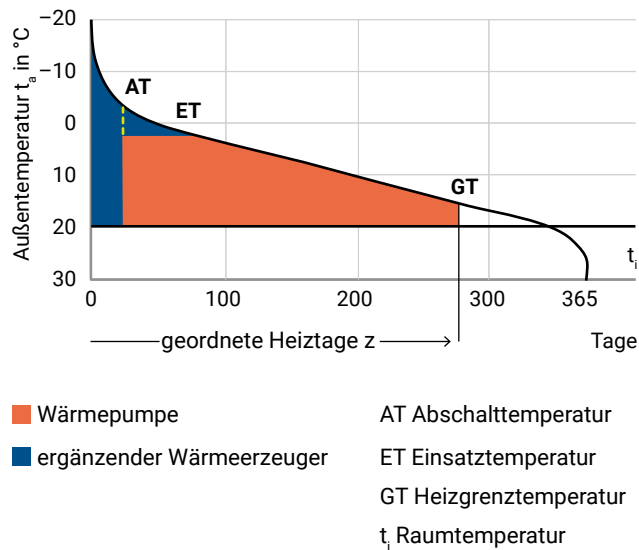


Abb. 15: Heiztage in Abhängigkeit von Außentemperatur und Einsatz der Wärmeerzeuger im bivalent-teilparallelen Betrieb

### 3.1.7 Leistungsanpassung der Wärmepumpe

Eine Leistungsanpassung des Wärmepumpensystems ist von zentraler Bedeutung für einen effizienten Anlagenbetrieb und zulässige Taktzyklen. Denn schwankender Wärmebedarf bei unterschiedlichen Außentemperaturen und schwankende Wärmequellentemperaturen erfordern eine Anpassung der Heizleistung.

**Folgende Varianten können für eine Leistungsanpassung umgesetzt werden:**

- modulierende Wärmepumpe,
- mehrstufige Wärmepumpe,
- Kaskadierung mehrerer Wärmepumpengeräte.

Modulierende Wärmepumpen können die Leistung des Verdichters und somit die Heizleistung über einen bestimmten Bereich stufenlos anpassen. Dies wird über einen Frequenzumrichter „Inverter“ erreicht.

Der Einsatz eines mehrstufigen Wärmepumpengerätes mit einem Kältekreislauf bietet gegenüber getrennten Geräten den Vorteil einer höheren Effizienz im Teillastbetrieb (ein Verdichter in Betrieb), da die identische Wärmeübertragerfläche wie in Volllast (mehrere Verdichter in Betrieb) genutzt wird. Zudem sind der Platzbedarf und der Installationsaufwand geringer, wenn ein zwei- bzw. dreistufiges Wärmepumpengerät anstelle mehrerer Geräte eingebaut wird.

Die Nutzung von mehreren Geräten bei einer Kaskadenschaltung hingegen bietet mehr Flexibilität und erhöht die Ausfallsicherheit. Die Flexibilität zeigt sich zum einen darin, dass Geräte unterschiedlicher Leistung zusammengestellt und damit auch Phasen mit geringer Teillast bei geringen Taktzyklen gewährleistet werden können. Ein weiterer Freiheitsgrad ist die Möglichkeit, (gleichzeitig) unterschiedliche Temperaturniveaus effizient zu bedienen. Wird in der Kaskade ein kontinuierlich geregeltes Wärmepumpengerät mit eingebunden, so kann die Leistung des Wärmepumpensystems im Betrieb noch besser auf den aktuellen Wärmebedarf angepasst und eine kontinuierliche Regelbarkeit über einen großen Leistungsbereich erreicht werden.

### 3.1.8 Trinkwassererwärmung

Der Anteil des Wärmebedarfs der Trinkwassererwärmung am gesamten Wärmebedarf des Gebäudes erhöht sich mit sinkendem Heizwärmebedarf. Grundsätzlich steigt der Anteil der Trinkwassererwärmung von etwa 20 % im unsanierten Bestand auf über 50 % bei Wohngebäuden mit hohem Wärmeschutz.

#### Hygieneanforderungen

Bei der Trinkwassererwärmung sind die Hygieneanforderungen einzuhalten, insbesondere die Verhinderung der Vermehrung bzw. Ausbreitung von Legionellen. Dies geschieht in der Regel durch hohe Wassertemperaturen und indem die Verweilzeit bzw. Stagnation des erwärmten Wassers im Trinkwassersystem reduziert wird. Allerdings beeinträchtigen hohe Temperaturen insbesondere bei Wärmepumpen die Effizienz des Gesamtsystems. Insgesamt erfordert die Trinkwassererwärmung eine Verbindung von hygienischen Anforderungen und energetischer Effizienz. In Mehrfamilienhäusern erfolgt die Umsetzung üblicherweise durch Erhitzung des Trinkwassers über 60 °C und Zirkulationssysteme. Neue Konzepte mit Filtration des Wassers und Verringerung der Leitungslängen durch dezentrale Systeme ermöglichen eine Absenkung der Temperaturen. Hygienische Aspekte von Trinkwassererwärmungsanlagen werden in Deutschland nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 551 und den Technischen Regeln für Trinkwasserinstallationen DIN 1988–200 behandelt. Darin werden Anlagen in Klein- und Großanlagen unterteilt. Kleinanlagen befinden sich in Ein- und Zweifamilienhäusern und umfassen Anlagen mit Speichergrößen kleiner 400 Liter und einem Leitungsinhalt kleiner 3 Liter zwischen Trinkwasserspeicher und Entnahmestelle.

#### Zentrale Trinkwassererwärmung in Mehrfamilienhäusern

Im Mehrfamilienhausbereich mit zentraler Trinkwassererwärmung liegen daher meist Großanlagen vor, bei denen eine permanente Wasseraustrittstemperatur am Trinkwasserspeicher von mindestens 60 °C gefordert ist. Außerdem sind Zirkulationssysteme einzubauen und so zu betreiben, dass die Rücklauftemperatur 55 °C nicht unterschreitet. Der gesamte Trinkwasserinhalt von Vorwärmstufen (z. B. Trinkwasserspeicher) muss mindestens einmal täglich auf 60 °C aufgeheizt werden. Dieses hohe Temperaturniveau bei zentraler Trinkwassererwärmung im Mehrfamilienhausbereich stellt eine Herausforderung für den Einsatz von Wärmepumpen dar – aufgrund der geringeren Effizienz bei hohen Temperaturdifferenzen. Deshalb empfehlen sich der Einsatz eines zweiten Wärmeerzeugers wie z. B. einer Hochtemperatur-Wärmepumpe (über 60 °C) oder eines Gaskessels bzw. Maßnahmen zur Temperaturabsenkung bei der Trinkwassererwärmung, z. B. über Frischwasserstationen.

#### Zentrale und dezentrale Varianten der Trinkwassererwärmung

Die im Folgenden dargestellten Varianten der Trinkwassererwärmung können grundsätzlich sowohl mit monovalenten als auch bivalenten Wärmepumpen bedient werden.

#### Trinkwarmwasserspeicher mit integriertem Wärmeübertrager

Für einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe muss die Wärmeübertragerfläche im Trinkwarmwasserspeicher so groß bemessen sein, dass die Heizleistung der Wärmepumpe auch noch am Ende der Beladung bei hohen Vorlauftemperaturen und geringen Temperaturdifferenzen im Wärmeübertrager übertragen werden kann. Im Mehrfamilienhausbereich stößt man hier aufgrund großer benötigter Wärmeübertragerflächen konstruktiv und fertigungstechnisch an die Grenzen der Machbarkeit. Außerdem ist ein großer Volumenbereitschaftsteil für eine hohe Zapfleistung notwendig. Kommt hier eine monovalente Wärmepumpe zum Einsatz, muss diese eine Vorlauftemperatur von 65 °C liefern können.

#### ■ Speicherladesysteme

Bei größeren benötigten Wärmeleistungen ist der Einsatz eines entsprechend dimensionierten Ladesystems als externer Wärmeübertrager zwischen Wärmepumpe und Speicher sinnvoll. Dadurch kann die Wärmeübertragerfläche unabhängig vom Speicher gewählt und somit große Leistungen mit kleinen Grädigkeiten übertragen werden. Um die Temperaturschichtung im Speicher zu erhalten, empfiehlt sich der Einsatz von Ladelanzen. Häufig werden für Speicherladesysteme Plattenwärmeübertrager eingesetzt. Bei der Auslegung ist zu beachten, dass die Spreizung auf der Primärseite durch die Wärmepumpe vorgegeben ist und nur in sehr engen Grenzen variiert werden kann. Beim Einsatz von Plattenwärmeübertragern ist allgemein auf die Wasserqualität und vor allem auf die Wasserhärte zu achten, sodass die Bildung von Kalkablagerungen vermieden wird.

#### ■ Kombispeicher

Wenn geringer Platzbedarf gefordert ist oder weitere Wärmequellen zu integrieren sind, können Kombispeicher als Heizungspufferspeicher mit integriertem Trinkwasserbereiber zum Einsatz kommen. Zwar wird bei Kombispeichern hauptsächlich Heizungswasser bevorratet, die hygienischen Anforderungen müssen aufgrund des integrierten Durchlaufprinzips für Trinkwasser trotzdem eingehalten werden.

#### ■ Zentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung (Frischwasserstation)

Bei der zentralen Durchfluss-Trinkwassererwärmung wird Heizungswasser in einem Heizungspufferspeicher bevorratet und über ein externes Wärmeübertragersystem (Frischwasserstation) an die Trinkwasserverteilung abgegeben. In der Regel sind Frischwasserstationen vorgefertigte Baugruppen, die Pumpen, Ventile, Plattenwärmeübertrager und die Regeleinheit enthalten. Für große Warmwasserleistungsanforderungen können mehrere Module verschaltet werden. Der Vorteil der Frischwasserstation liegt in der Deckung eines großen Leistungsbedarfs ohne Speicherung von Trinkwasser.

Der Nachteil ist, dass die Pufferspeichertemperatur wie bei Kombispeichern um einige Grad höher sein muss, um die Wärmeübertragung zu ermöglichen. Auch hier liegt häufig noch ein Zirkulationssystem hinter der Frischwasserstation, sodass höhere Zirkulationstemperaturen einzuhalten sind.

#### ■ **Zentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung mit zwei Wärmeübertragern**

Bei diesem System werden zwei Plattenwärmeübertrager in Reihe geschaltet. Der Rücklauf aus den Wärmeübertragern der Frischwasserstation kann je nach Betriebsweise (Zirkulation oder Zapfung) unterschiedlich in den Speicher zurückgeführt werden, um die Schichtung im Speicher zu erhalten. Dadurch können kalte und warme Bereiche getrennt werden, was einen hygienisch einwandfreien Betrieb ermöglicht.

#### ■ **Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung (Wohnungsstation)**

Bei diesen Systemen erfolgt die Trinkwassererwärmung dezentral in den einzelnen Wohnungen im Durchflussprinzip mit zentral erzeugtem Warmwasser. Diese Wohnungsstationen können als System zur reinen Trinkwassererwärmung oder gekoppelt für Raumheizung und Trinkwassererwärmung ausgeführt werden. Aufgrund der kleinen Wasservolumen gegenüber zentralen Systemen gelten diese Anlagen als Kleinanlagen und dürfen mit geringeren Temperaturen betrieben werden.

#### ■ **Sonderform der dezentralen Trinkwassererwärmung: Elektrogeräte**

Eine häufig genutzte Form sind dezentrale, elektrisch beheizte und elektronisch geregelte Durchfluss-Trinkwassererwärmung.

Man unterscheidet zwischen Kleinstspeichern, wie z. B. 5-Liter-Untertischgeräten, die direkt am Zapfort installiert

werden und eine Zapfstelle versorgen, und Elektro-Durchlauferhitzern, die eine kleine Gruppe von Zapfstellen versorgen können. Sie werden vorzugsweise eingesetzt, wenn kein zentrales Leitungsnetz für warmes Trinkwasser vorgesehen werden soll oder der Wärmebedarf gering ist. Allerdings sind die Betriebskosten dieser Systeme höher einzuschätzen, da das Wasser direkt elektrisch erzeugt wird. Des Weiteren benötigen die Durchlauferhitzer eine hohe elektrische Anschlussleistung von bis zu 27 kW und somit die entsprechende Infrastruktur wie elektrische Leitungsquerschnitte.

#### ■ **Zentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung mit Ultrafiltration**

Der Einsatz weiterer Technologien zur Vermeidung von Legionellenwachstum wie der Ultrafiltration kann die Problematik der hohen Trinkwarmwasser-Temperaturen bei Wärmepumpensystemen entschärfen. Bei einem zentralen Durchfluss-System zur Trinkwassererwärmung wird die Ultrafiltrationseinheit zur mechanischen Filtration von Legionellen in der Zirkulation (Bypass-Betrieb) verbaut. Dadurch kann die Systemtemperatur im Trinkwarmwasser-Kreis gesenkt werden. Aufgrund dieser Temperaturabsenkung sinken auch die Speicher- und Verteilverluste in der Trinkwasserinstallation. Vor allem aber kann die Wärmepumpe in einem effizienteren Betriebspunkt arbeiten und den gesamten Wärmebedarf decken. Da sich der Einsatz der Ultrafiltration noch in einer Übergangsphase mit Erprobung befindet, sind Rahmenbedingungen für den Einsatz zu beachten. So muss z. B. der hygienisch einwandfreie Betrieb im ersten Jahr durch Beprobung häufiger nachgewiesen und aktuell noch das zuständige Gesundheitsamt mit einbezogen werden. Nach einer erfolgreichen Erstuntersuchung kann die direkte Absenkung auf die Zieltemperatur von 47 bis 45 °C vorgenommen werden. Die Ultrafiltration stellt damit einen der aussichtsreichsten Ansätze zur Effizienzsteigerung von Wärmepumpen im Trinkwassererwärmungs-Betrieb dar. Die Umsetzung mit erhöhten Auflagen ist auch jetzt schon möglich.

### **3.1.9 Wärmeübergabe mit Heizkörpern**

Wie bei der Warmwasserbereitung ist auch bei der Raumwärmebereitstellung eine möglichst niedrige Temperatur vorteilhaft, um die Effizienz des Wärmepumpensystems zu erhöhen. Eine Absenkung der Temperaturen im Heizkreis ist demnach ein wichtiger Hebel für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb in Bestandsgebäuden. Flächenheizsysteme (Fußboden- oder Wandheizungen) haben dabei grundsätzlich den Vorteil von geringen Systemtemperaturen, sind aber bei der Umrüstung bestehender Systeme mit erheblichem Aufwand verbunden und daher in der Sanierung nur in Ausnahmefällen möglich.

Allerdings können auch bestehende Radiatoren sehr gut mit Wärmepumpen betrieben werden. Dazu muss geprüft werden, ob die Heizleistung vorhandener Heizkörper mit niedrigeren Temperaturen zur Verfügung gestellt werden kann. Eine

raumweise Heizlastberechnung stellt in Kombination mit einem hydraulischen Abgleich eine wirksame Möglichkeit dar, die Systemtemperaturen des Wärmeübergabesystems zu prüfen und ggf. abzusenken. Bei dieser minimalinvestiven Maßnahme werden die „kritischen“ Heizkörper identifiziert und ausgetauscht, während das Wärmeverteilsystem und die überwiegende Zahl der Heizkörper nicht verändert werden. Eine weitere Möglichkeit, Heizlasten zu reduzieren, stellt die Verbesserung des Wärmeschutzes dar. Durch ein Absenken des Heizwärmebedarfs sinkt nicht nur der erforderliche Strombedarf für die Wärmepumpe, sondern auch Anlagenteile im gesamten System können kleiner dimensioniert werden.

Zur Identifikation der kritischen, unterdimensionierten Heizkörper ist eine raumweise Betrachtung von Heizlast und Heizkörperleistung notwendig. Dazu sind im Einzelnen folgende Schritte erforderlich:

1. Berechnung der raumweisen Heizlast, z. B. nach DIN EN 12831-1:2017
2. Bestimmung der installierten Heizkörperleistung bei Normbedingungen (75 °C/65 °C/55 °C)
3. Berechnung der Heizkörperleistung bei abgesenkten Heiztemperaturen
4. Vergleich der raumweisen Heizlast (Punkt 1) mit der berechneten Heizkörperleistung (Punkt 3) und Identifikation der unterdimensionierten Heizkörper je Nenn-temperatur
5. Austausch der identifizierten Heizkörper
6. Hydraulischer Abgleich

Bei Heizkörpern, die sich in der raumweisen Analyse als unterdimensioniert erweisen, kann die Wärmeabgabeleistung durch die Nachrüstung von Ventilatoren gesteigert werden. Sie eignet sich auch als „Back-up-Maßnahme“ nach einem selektiven Heizkörpertausch für den Fall, dass einzelne Nutzerinnen oder Nutzer mit der Wärmeleistung ihrer nicht ausgetauschten Heizkörper nach der Heizkreis-Temperaturabsenkung unzufrieden sind. Hier ist insbesondere im Mietwohnungsbau eine gute und frühzeitige Kommunikation mit den Nutzenden entscheidend für die Akzeptanz.

Die Wirksamkeit der Maßnahme hängt dabei insbesondere vom Sanierungsstand des Gebäudes und von der ursprünglichen Auslegung der Heizkörper ab. Trotz Ähnlichkeit von Gebäuden (Größe, Struktur, Baualtersklasse) kann das Ergebnis stark divergieren. Daher muss die Methode bei jedem Gebäude individuell evaluiert werden. Für die raumweise Heizlastberechnung werden Daten zu den Wärmeverlusten der Gebäudehülle (U-Werte) benötigt, die typischerweise an anderer Stelle (z. B. zur Erstellung von Energieausweisen) bereits erhoben wurden. Um den Aufwand der Heizlastberechnung zu minimieren, sollten diese Daten erfasst und möglichst automatisiert verfügbar sein.

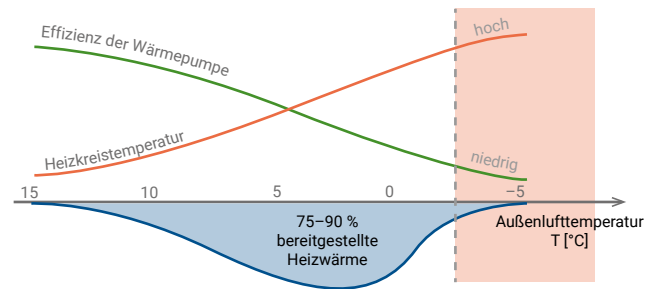


Abb. 16: Zusammenhang von Außentemperatur, benötigter Heizleistung (Heizkreistemperatur) eines Gebäudes, der Effizienz einer Wärmepumpe und Häufigkeitsverteilung des Wärmebedarfs

### 3.1.10 Effizienz-sicherung und Betriebsüberwachung

Der effiziente Betrieb von Wärmepumpen hängt von vielen Randbedingungen ab, dabei dominiert der Einfluss der Temperaturen auf der Quellen- und auf der Senkenseite: Je geringer die Temperaturdifferenz, desto effizienter der Betrieb. Wärmepumpen reagieren sensibler auf Änderungen dieser Parameter als Wärmeerzeuger mit Verbrennungsprozessen. Aufgrund von Fehlbetrieb kann der Endenergiebezug (Strom) stark ansteigen und einen ökonomischen Betrieb verhindern. In diesem Zusammenhang übernimmt die Betriebsüberwachung eine wichtige Rolle, denn ohne Überwachung der Anlage bleiben Fehlfunktionen oft unerkannt bzw. zeigen sich erst bei Abrechnung der Stromkosten für die Wärmepumpe.

Das Betriebsverhalten, die Effizienz und somit die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpenanlage sind in der realen Nutzung von zahlreichen Faktoren abhängig, die variabel sind.

Das sind beispielsweise:

- Standortfaktoren (Lage und Klima, Wärmequellen-temperatur)
- Gebäude und Heizsystem (energetischer Zustand Gebäudehülle, Temperaturniveau Wärmeübergabesystem, Speichereinbindung)
- Nutzerverhalten (Anteil Trinkwarmwasser, Lüftungsverhalten)
- Wärmepumpenmodell (Leistungszahl, Invertertechnologie, Kältemittel)
- Betriebsmodus und Regelparameter (Heizstabeinsatz)
- Einbindung ins System (Hydraulik, weitere Komponenten, Stromnetzintegration)

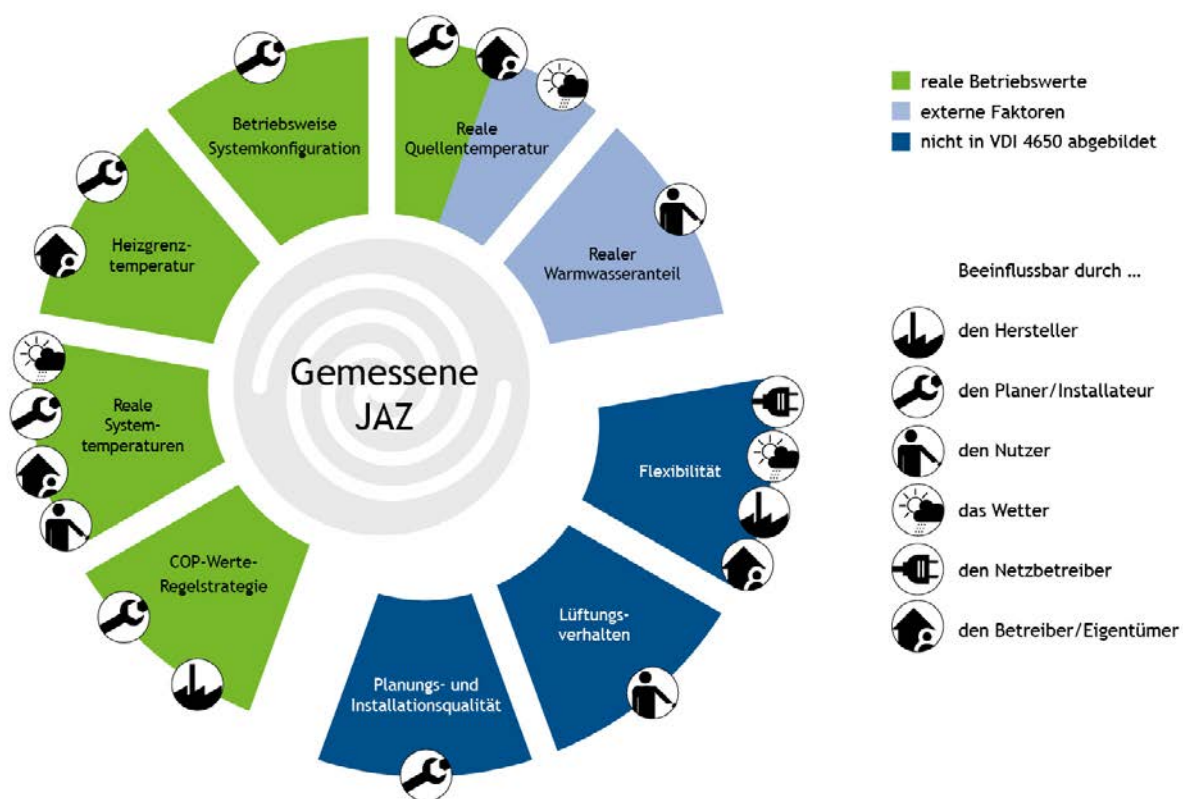


Abb. 17: Einflussgrößen auf die Effizienz von Wärmepumpen

## ■ Kenngrößen der Effizienzbewertung

Im Zusammenhang mit der Leistung und Effizienz einer Wärmepumpe gibt es zahlreiche Begriffe und Kenngrößen. Mit dem Wissen, was die wichtigen Effizienzbegriffe bedeuten und was die Einflussfaktoren sind, lassen sich die Effizienz in Planung und Betrieb und somit der Stromverbrauch sowie die Betriebskosten optimieren.

## ■ Leistungszahl, COP – Coefficient of Performance

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe wird für einen definierten Betriebspunkt (Quellen- und Senkentemperatur) ermittelt und angegeben. Damit ist ein Vergleich der Wärmepumpen an diesem Betriebspunkt möglich. Sie gibt das Verhältnis von nutzbarer Heizleistung zu aufgewendeter (elektrischer) Antriebsleistung in einem Betriebspunkt an. Die Europäische Norm EN 14511 definiert Betriebspunkte und Prüfverfahren für die Bestimmung von Leistungszahlen. So bedeutet z. B. die Angabe A2/W35 für eine Luft-Wärmepumpe den Betrieb bei Außenlufttemperatur von 2 °C und einer Wärmeabgabe (Heizungsvorlauf) von 35 °C.

## ■ Jahresarbeitszahl JAZ, berechnet und gemessen

Um den jährlichen Strombedarf einer Wärmepumpe abzuschätzen, wird häufig die Jahresarbeitszahl nach VDI-Richtlinie 4650 berechnet. Sie beschreibt die zu erwartende Jahreseffizienz einer Wärmepumpe als Verhältnis der innerhalb eines Jahres abgegebenen Nutzwärme zur aufgenommenen Strommenge. Spezielle Software hilft dabei, die Betriebsdaten einer Wärmepumpe möglichst präzise zu berechnen und den Betrieb zu simulieren. Auch Optimierungen während des laufenden Betriebs sind damit möglich.

Diese rechnerisch ermittelten Werte unterscheiden sich von gemessenen Jahresarbeitszahlen aus dem Monitoring der Anlage oder Feldtests mit realen Wärme- und Stromverbrauchsdaten eines ganzen Jahres. Sie geben Auskunft über die tatsächliche Effizienz der Heizungsanlage unter realen Bedingungen wie dem Einfluss des Wetters, der Nutzung und technischen Einbausituation im Gebäude und dem Regelverhalten der Wärmepumpe. Entscheidend für die Vergleichbarkeit von Jahresarbeitszahlen ist die Bilanzgrenze und damit eine Definition davon, welche Verbraucher gemessen und in der JAZ berücksichtigt werden (z. B. Pumpenleistung, Speicherverluste, elektrischer Heizstab).

Im Jahresarbeitszahl-Rechner des BWP kann die JAZ nach VDI 4650 berechnet werden.

## ■ Jahreszeitbedingte Leistungszahl, SCOP – Seasonal Coefficient of Performance

Im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie und der Einführung des Effizienzlabels für Wärmepumpen wurde zur praxisnäheren Bewertung der Effizienz im Jahresbetrieb der Wärmepumpe der SCOP definiert (DIN EN 14825). Der Unterschied

zum COP: Die Leistungsmessung findet nicht nur bei einer einzigen Temperatur der Wärmequelle und unter Normbedingungen statt, sondern bei vier unterschiedlichen Werten und für Teillastbedingungen der Wärmepumpe. Diese entsprechen den durchschnittlichen Außenlufttemperaturen der vier Jahreszeiten: 12, 7, 2 °C und –7 °C. Die COP-Werte werden entsprechend der Häufigkeit der Temperaturen im Jahresverlauf für verschiedene Klimazonen gewichtet und in einem Wert, dem SCOP, zusammengefasst.

Die Bewertung von Wärmepumpen in Europa wird in drei Klimazonen unterteilt: Nord-, Mittel- und Südeuropa. Auf dem Effizienzlabel ist immer die mittlere Klimazone abgebildet, zu der auch Deutschland zählt. Das gleiche Wärmepumpenmodell hat demnach einen anderen SCOP in Deutschland als in Nord- oder Südeuropa.

## ■ Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz $\eta_s$ (ETAs)

Bei Wärmepumpen wird entsprechend der Ökodesign-Richtlinie die jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz  $\eta_s$  (ETAs) bzw. der „Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad“  $\eta_{s,h}$  (ETAs,h) angegeben. Diese bzw. dieser wird aus der saisonalen Effizienz (Seasonal Coefficient of Performance = SCOP) für die mittlere Temperaturzone am Standort Straßburg gemäß der EN 14825 und dem festen Umwandlungskoeffizienten für den durchschnittlichen Wirkungsgrad der Stromerzeugung in der EU ermittelt. In der Förderung werden ETAs-Werte als Effizienzbewertung herangezogen. Mindestwerte bestimmen die Fördervoraussetzung für die jeweiligen Heizungstechnologien. Bei Wärmepumpen werden die Einstufungen für das Energielabel und die Förderung unterschieden nach Wärmequellen (Luft, Erdwärme, Wasser, Sonstige), Heizmedium (Luft, Wasser) und Heiztemperatur (35 und 55 °C).

## Weitere Informationen

Gebäudeforum klimaneutral: [Übersicht der Einflussfaktoren und Kennzahlen zur Effizienz von Wärmepumpen](#)

## Betriebsüberwachung

Zur Ermittlung der Effizienz im Betrieb empfiehlt es sich, über die zu Abrechnungszwecken installierte Sensorik (Strom- und Wärmehzähler) hinaus Betriebsdaten zu erfassen bzw. die Häufigkeit der Ablesung von Zähler- und Betriebszuständen engmaschiger als zur Abrechnung von Verbrauchsdaten nötig vorzunehmen. Damit kann die funktionale und energetische Performance von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen während der gesamten Betriebsphase nachhaltig

gesichert werden. Um einen Vergleich von Verbrauchsdaten oder daraus abgeleiteten Kenngrößen (z. B. Arbeitszahlen) zu ermöglichen, sollten möglichst einheitliche Bilanzgrenzen gewählt werden. Eine automatisierte Datenerfassung und Auswertung hilft, in der Planungsphase berechnete oder definierte Zielgrößen im Betrieb zu überprüfen, Fehlbetrieb zu detektieren und Optimierungsmaßnahmen durchzuführen und zu quantifizieren.

### Empfohlene Messgrößen für Betriebsüberwachung:

| Messgröße                                 | Sensor                                        | Einheit                                    | Nutzung                                                                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Außentemperatur</b>                    | Temperaturfühler                              | °C                                         | Überprüfung der Regelung: Heizkurve, Umschaltpunkte (Heizgrenze, Bivalenzpunkte, Abschaltpunkt) |
| <b>Solare Einstrahlung</b>                | Einstrahlungssensor (Solarzelle, Pyranometer) | W/m <sup>2</sup> bzw. kWh/m <sup>2</sup> a | Ertragsbewertung solare Anlagentechnik (Photovoltaik, PVT, Solarthermie)                        |
| <b>Strombezug WP, Laufzeit Verdichter</b> | Elektrozähler (ein- oder dreiphasig)          | W<br>kWh/[Tag, Monat, Jahr]                | Effizienz der Wärmepumpe, Taktverhalten                                                         |
| <b>Strombezug Pumpen (und Regelung)</b>   | Elektrozähler                                 | W<br>kWh/[Tag, Monat, Jahr]                | Bewertung WP-System, Ermittlung Teilenergiekennwerte für Hilfsenergie                           |
| <b>Wärmeabgabe Wärmepumpe</b>             | Wärmemengenzähler                             | W<br>kWh/[Tag, Monat, Jahr]                | Effizienz / Arbeitszahl der WP                                                                  |
| <b>Wärmeabgabe Heizkreis</b>              | Wärmemengenzähler                             | W<br>kWh/[Tag, Monat, Jahr]                | Teileffizienz WP Heizbetrieb, Heizwärmeverbrauch Gebäude                                        |
| <b>Wärmeabgabe Trinkwassererwärmung</b>   | Wärmemengenzähler                             | W<br>kWh/[Tag, Monat, Jahr]                | Teileffizienz WP Trinkwassererwärmung, Wärmeverbrauch Trinkwassererwärmung                      |

### Bilanzgrenzen

Um Anlagen untereinander oder mit Literaturwerten zu vergleichen, muss darauf geachtet werden, dass die gleichen Verbraucher in die Bilanz eingehen. Auf der elektrischen Seite sind das neben der Wärmepumpe (Verdichter, evtl. Heizstab) vor allem Hilfsenergien wie Pumpen (Quell-Erschließung,

Wärmeverteilung) und Regelung. Auf der thermischen Seite erfolgt bei detaillierterer Betrachtung die Trennung in Heizung und Trinkwassererwärmung. Dabei ist zu beachten, ob der Wärmeverbrauch vor oder hinter vorhandenen Speichern erfasst wird.

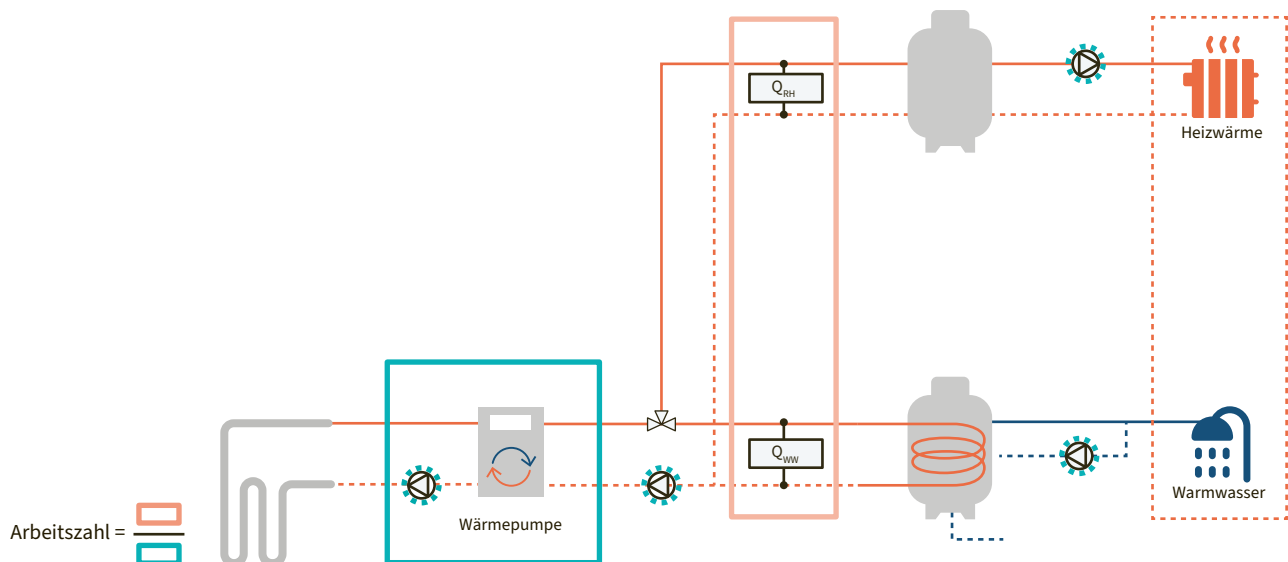


Abb. 18: Schematische Darstellung von Bilanzgrenzen für eine Bewertung der Anlageneffizienz

## Energieverbrauchs- und Effizienzanzeige

In den technischen Mindestanforderungen der Förderung für Wärmepumpen (BEG EM) ist der Einbau einer Energieverbrauchs- und Effizienzanzeige gefordert. Die Umsetzung kann durch messtechnische Erfassung an der Wärmepumpenanlage oder durch Anzeige im Wärmepumpengerät durch Hersteller erfolgen. Die Effizienzanzeige ist so zu gestalten, dass Energieverbräuche und erzeugte Wärmemengen mit

den Werten vorheriger Heizperioden bzw. vergleichbarer Betriebszeiträume verglichen werden können. Die Umsetzung der Anforderung durch die Hersteller variiert hinsichtlich Erfassung, Aufbereitung und Darstellung der Daten. Für die Bewertung der gesamten Heizanlage, z. B. bei Einbindung weiterer Komponenten wie Gaskessel, sind weitere Zähler und Auswertungen nötig.

## 3.2 Einfluss von Auslegungsparametern auf die Effizienz

In diesem Abschnitt wird der Einfluss verschiedener Parameter bei Auslegung und Betrieb auf die Effizienz der Wärmepumpenanlage an einem Beispielgebäude rechnerisch ermittelt und vergleichend gegenübergestellt.

Bei dem Gebäude handelt es sich um ein typisches Mehrfamilienhaus aus der Baualtersphase 1958–1978 mit drei Vollgeschossen, 970 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche und zwölf Wohneinheiten (Details zum Gebäude im Anhang). Bei der Qualität der Gebäudehülle werden zwei Varianten untersucht: ein teilsanierter Bestandszustand (Fall B), der im Wesentlichen dem Erbauungszustand entspricht, lediglich die Fenster wurden bereits getauscht. Demgegenüber wird in einer zweiten Variante ein nach GEG-Anforderungen saniertes Gebäude untersucht (Fall S).

### Luft-Wasser-Wärmepumpe mit repräsentativer Effizienz

Zur Wärmeversorgung wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt. Um die Wärmepumpe mit einer repräsentativen Effizienz abzubilden, wurden Daten aus geförderten Wärmepumpen im Jahr 2020 ausgewertet. Die Leistungszahl (COP bei A2/W35) des Modells liegt bei 4,2. Hierdurch ist eine

Geräteeffizienz repräsentiert, die leicht oberhalb des Medians der im Jahr 2020 geförderten Wärmepumpen in Bestandsgebäuden liegt. Damit bilden die vorliegenden Rechnungen den Bereich von aktuell guten, aber nicht sehr guten Geräten ab. Die Wärmeübergabe an den Raum erfolgt über Radiatoren. Die Erwärmung des Trinkwassers erfolgt über einen zentralen Speicher mit Zirkulation, die Anforderungen an die Trinkwasserhygiene (Trinkwarmwasser-Speicher 60 °C) werden dabei eingehalten. Wärmepumpe und weitere Erzeuger (elektrischer Heizstab oder Gaskessel) werden im Bedarfsfall parallel betrieben, d. h., zunächst deckt immer die Wärmepumpe die Wärmelasten, nur wenn die Leistung nicht ausreicht, wird der verbleibende Bedarf durch weitere Erzeuger gedeckt.

### Gebäudevarianten

Für die beiden Gebäudevarianten wurde die Heizleistung der Wärmepumpe entsprechend dem Energiebedarf angepasst und die Auslegungstemperaturen der Heizung und die Betriebsweise (monoenergetisch: Wärmeerzeugung über Wärmepumpe und elektrischen Heizstab oder hybrid: Wärmepumpe in Kombination mit einem Gaskessel) variiert. Folgende Fälle werden untersucht:

| Variante                                                         | B1              | B2              | B3                 | S1              | S2              |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| Gebäude                                                          | Teilsaniert     | Teilsaniert     | Teilsaniert        | Voll saniert    | Voll saniert    |
| Heizleistung Auslegung [kW]                                      | 75              | 75              | 75                 | 36              | 36              |
| Jahreswärmebedarf Heizung/Trinkwarmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a] | 158/21          | 158/21          | 158/21             | 65/21           | 65/21           |
| Auslegungstemperatur Heizung, $T_{vi} / T_{ri}$ [°C]             | 70/50           | 60/50           | 70/50              | 60/50           | 50/40           |
| Wärmeversorgung                                                  | Monoenergetisch | Monoenergetisch | Hybrid (Gaskessel) | Monoenergetisch | Monoenergetisch |
| Leistung WP A2/W35 [kW]                                          | 64              | 61              | 32                 | 32              | 32              |

Variante B1 dient als Referenz: Das Gebäude entspricht einem teilsanierten Gebäude (erneuerte Fenster im Vergleich zum Erbauungszustand). Die Systemtemperaturen der Heizung werden mit 70/50 °C für Vor- und Rücklauf im Auslegungspunkt angesetzt. Im Fall B2 wird angenommen, dass über Anpassungen der Hydraulik oder Austausch von einzelnen Heizkörpern eine Reduktion im Vor- und Rücklauf auf 60/50 °C im Auslegungspunkt möglich ist. Im Fall B3 werden die Temperaturen auf 70/50 °C belassen, die Versorgung erfolgt hier als hybrides System aus Wärmepumpe und Gaskessel, die Wärmepumpe wird auf 50 % der in Variante B1 ermittelten Leistung ausgelegt. Damit unterstützt ein Gaskessel die Trinkwassererwärmung und die Deckung der Heizlasten unter 6 °C Außentemperatur, die Betriebsführung ist bivalent-parallel.

In der Variante S1 wird angenommen, dass das Gebäude vollsanziert wird und damit den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) genügt. Durch die Reduktion der Heizlast sinken auch die nötigen Auslegungstemperaturen im Heizkreis auf 60/50 °C. Die Sanierung bewirkt etwa eine Halbierung der Heizlast, wodurch sich die nötigen Vorlauftemperaturen (ausgehend von 70/50 °C) entsprechend reduzieren. In Variante S2 wird dieses Niveau noch einmal auf 50/40 °C gesenkt. Die Wärmepumpe ist in beiden Fällen so dimensioniert, dass sie der Variante B3 entspricht.

### Auswirkung Senkung Wärmebedarf auf Heizkreistemperatur

Abbildung 19 zeigt den Zusammenhang zwischen der Reduktion des Wärmebedarfs durch Sanierungsmaßnahmen (Verhältnis der Heizlasten Q<sub>HL</sub> saniert/unsaniert auf der X-Achse) und nötiger Vor- und Rücklauftemperatur (TVL und TRL auf der Y-Achse) im Wärmeübergabesystem. Durch Reduktion der Heizleistung auf 50 % des Ursprungswerts kann die max. Vorlauftemperatur von 70 auf 50 °C abgesenkt werden.

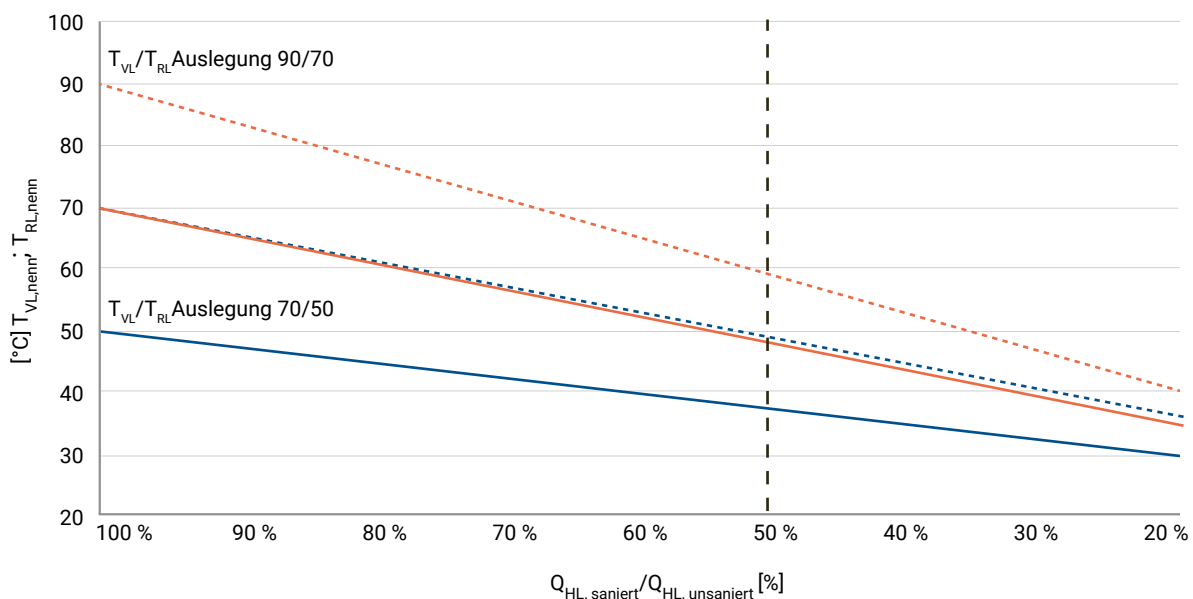


Abb. 19: Abhängigkeit der Heizkreistemperaturen TVL und TRL vom Sanierungsstand

## Auslegung der Wärmepumpe

Abbildung 20 beschreibt schematisch den Zusammenhang zwischen Außentemperatur, nötiger Heizleistung und verfügbarer Leistung einer Wärmepumpe (die minimale Leistung bezieht sich auf die kleinste Leistungsstufe invertergeregelter Wärmepumpen). Die nötige Heizleistung ergibt sich aus Parametern des Gebäudes (u. a. Wärmeverluste). Die max. zur Verfügung stehende Leistung der Wärmepumpe ist gerätespezifisch. Die Auslegung erfolgt nach VDI 4645 (Quelle: VDI 2023). Die Heizleistung der Wärmepumpe sinkt bei abnehmenden Außentemperaturen, während die benötigte Heizleistung steigt. Der Schnittpunkt der Linien bestimmt den Bivalenzpunkt. Das ist die Außentemperatur, ab der ein weiterer Erzeuger zur Deckung der Wärmelast nötig ist.

Durch Festlegung des Bivalenzpunktes (im Szenario B1 und B2 mit  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ergibt sich die nötige Leistung der Wärmepumpe. Für die Leistungsdeckung im Bivalenzbereich wurde ein bivalent-paralleler Betrieb modelliert (d. h., Wärmepumpe und zweiter Erzeuger arbeiten gleichzeitig). Im monoenergetischen Fall ist der zweite Erzeuger ein elektrischer Heizstab, bei hybrider Versorgung ein Gaskessel. Der Betrieb der Wärmeerzeuger wird mithilfe des am Fraunhofer ISE entwickelten Simulationswerkzeugs HEBAP (Heating Energy Balancing Program) dynamisch über ein Jahr berechnet. Dabei werden Lastprofile aus Gebäudeheizlast und Trinkwarmwasserzapfung als Zeitreihen eingelesen und die Deckungsbeiträge aus den Erzeugern berechnet (inkl. Puffer- und Trinkwarmwasserspeicher).

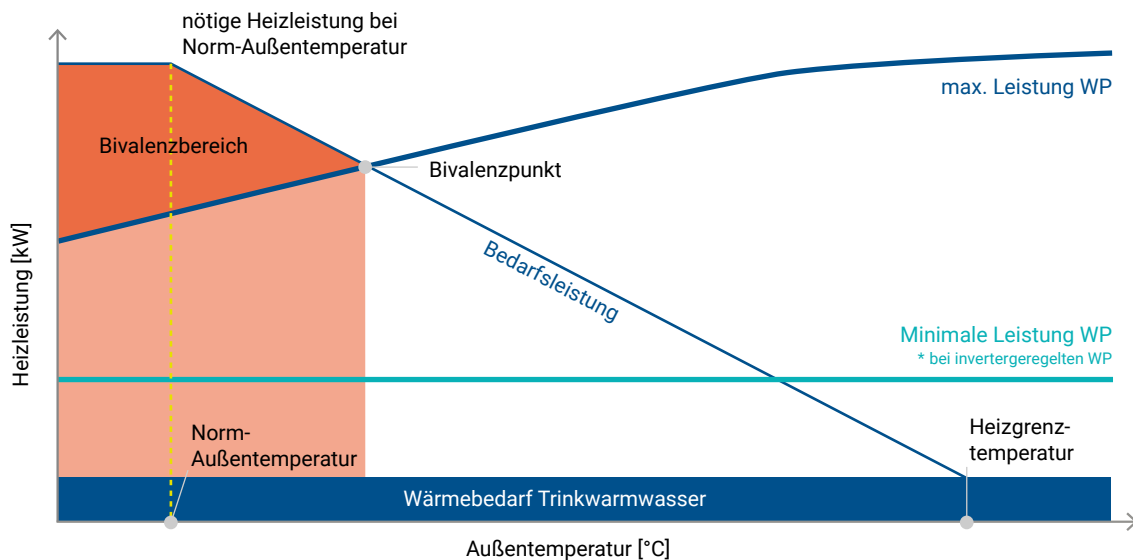


Abb. 20: Schematische Darstellung zur Auslegung der Wärmepumpe

## Ergebnisse des Variantenvergleichs

Die folgenden Grafiken zeigen die Ergebnisse des Variantenvergleichs, die sich aus den Simulationen ergeben. Die Ergebnisse aller Varianten sind in Abbildung 24 als Jahressummenwerte der erzeugten Wärme und Effizienzwerte (JAZ) angegeben. Für drei Varianten zeigen die Abbildungen 21, 22 und 23 in der linken Grafik die Betriebspunkte als Stundenmittelwerte von erzeugter Wärme in Abhängigkeit der Außentemperatur. In Abbildung 21 sind zusätzlich die Arbeitszahlen, getrennt für Heizwärme und Trinkwassererwärmung, dargestellt.

### Variante B1 – teilsaniert, monoenergetisch mit Wärmepumpe und Heizstab

Für Variante B1 wird der überwiegende Anteil der Wärme durch die Wärmepumpe erzeugt. Der Heizstab unterstützt ab  $-5\text{ °C}$  die Wärmeerzeugung, wobei der Anteil im Jahr nur 2 % an der gesamt erzeugten Wärmemenge von  $181\text{ kWh/m}^2\text{a}$  beträgt. Die Arbeitszahlen für den Heizbetrieb schwanken zwischen 2,0 bei  $-10\text{ °C}$  Außentemperatur und 5,5 bei  $15\text{ °C}$  Außentemperatur. Die AZ für das Trinkwarmwasser streuen zwischen 1,9 und 3,0. Der Anteil des Trinkwarmwassers an der erzeugten Wärme beträgt 12 %.

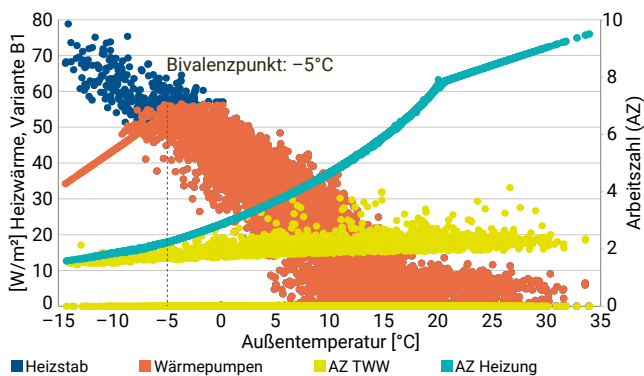


Abb. 21: Betriebspunkte Variante B1: erzeugte Heizwärme in Abhängigkeit der Außentemperatur (Stundenmittelwerte) und Effizienz (Arbeitszahl) für Heizung und Trinkwarmwasser (TWW)

### Variante B3 – teilsaniert, bivalent mit Wärmepumpe und Gaskessel

In Variante B3 unterstützt ab  $5\text{ °C}$  Außentemperatur der Gaskessel die Wärmeerzeugung. Der Anteil der Wärme vom Gaskessel beträgt 54 % für das Trinkwarmwasser und 17 % der Heizwärme. Durch die bivalent-parallele Betriebsführung läuft die Wärmepumpe unterhalb des Bivalenzpunktes von  $5\text{ °C}$  mit voller Leistung weiter. Ab welcher Temperatur eine Abschaltung erfolgen sollte, hängt zum einen von den technischen Daten der Wärmepumpe ab (minimale Einsatztemperatur), ist aber auch eine ökonomische Fragestellung: Im Simulationsmodell sinkt die Arbeitszahl für den Heizbetrieb ab Außentemperaturen von  $-2,8\text{ °C}$  unter 2,5. Je nach Preis der Endenergieträger kann es ökonomisch sinnvoller sein, die Wärme nur über den Gaskessel bereitzustellen.

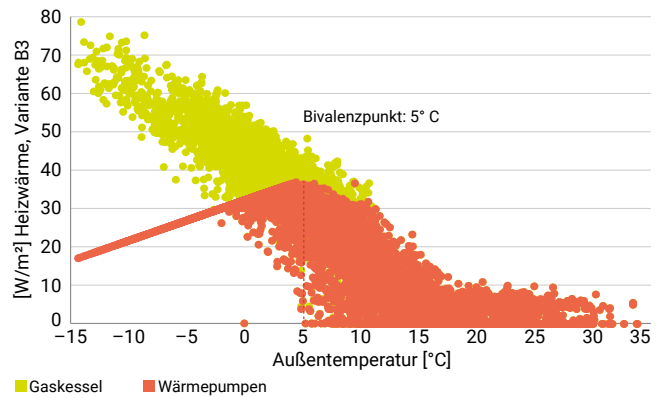


Abb. 22: Betriebspunkte Variante B3: erzeugte Heizwärme in Abhängigkeit der Außentemperatur (Stundenmittelwerte)

### Variante S2 – saniert, abgesenkte Heizkreistemperaturen, monoenergetisch mit Wärmepumpe und Heizstab

In Variante S2 besteht ein geringerer Wärmebedarf des Gebäudes. Die Vorlauftemperatur wurde auf  $50\text{ °C}$  abgesenkt. Durch die geringere Heizlast verschiebt sich der Bivalenzpunkt auf ca.  $-3\text{ °C}$ , wodurch eine monoenergetische Versorgung möglich ist. Bei der Zusammensetzung der Deckungsanteile zeigt sich, dass bei sinkendem Heizwärmebedarf der Anteil des Trinkwarmwassers steigt – in diesem Fall auf 25 %.

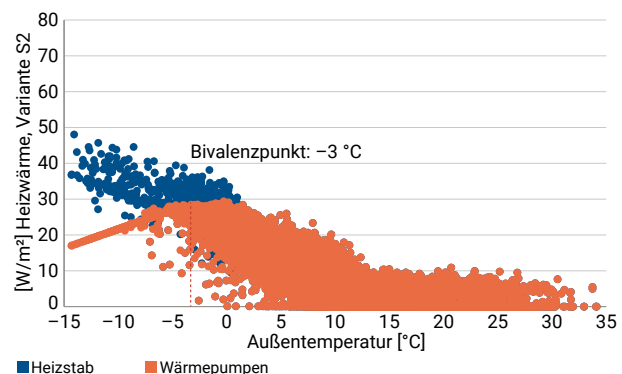


Abb. 23: Betriebspunkte Variante S2: erzeugte Heizwärme in Abhängigkeit der Außentemperatur (Stundenmittelwerte)

## Vergleich der Varianten im teilsanierten Gebäude B: Absenkung der Heizkreistemperatur und hybride Betriebsweise erhöhen die Effizienz der Wärmepumpe

Für die Variante B1 (monoenergetisches System, max. 70 °C Vorlauf) ergibt sich eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,0 für das Gesamtsystem (3,1 für die Heizwärme, 2,1 für die Trinkwassererwärmung, siehe Abbildung 24). Können die Temperaturen im Heizkreis abgesenkt werden (auf 60 °C Vorlauf, Variante B2), erhöht sich die JAZ für die Raumheizung von 3,1 auf 3,4 und damit für das Gesamtsystem auf 3,2. Im hybriden System (B3, Vorlauf Raumheizung max. 70 °C) deckt der Gaskessel 17 % der Raumwärme und 54 % des Trinkwarmwassers. Dadurch sinkt der Anteil der Wärmepumpe an der Wärmeerzeugung bei niedrigen Außenlufttemperaturen und damit steigt vor allem die JAZ für die Trinkwarmwasser-Erzeugung, woraus sich eine Gesamt-JAZ von 3,3 ergibt.

## Vergleich der Varianten im teilsanierten und sanierten Gebäude: Sanierung ermöglicht weitere Absenkung der Heizkreistemperatur und Effizienzsteigerung

Im Vergleich der Varianten im sanierten und teilsanierten Gebäude hat sich nach einer Sanierung der Gebäudehülle der Heizwärmebedarf um etwa die Hälfte gesenkt. Dadurch verdoppelt sich der Anteil des Trinkwarmwassers an der gesamt erzeugten Wärmemenge von 12 % (bei teilsanierten Varianten B) auf 25 % (bei sanierten Varianten S). Trotz reduzierter Temperaturen im Heizkreis (Variante S1 mit max 60 °C Vorlauf) liegt die JAZ des Gesamtsystems bei 3,0, da der Anteil des Trinkwarmwassers mit schlechteren JAZ anteilig wächst. Erst eine Absenkung der Vorlauftemperatur auf max. 50 °C in Variante S2 erhöht vor allem die JAZ im Raumheizbetrieb auf 3,8 und für das Gesamtsystem ergibt sich ein Wert von 3,3.

## Variantenvergleich des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Abbildung 25 zeigt den Endenergieverbrauch an Strom und Gas für alle Varianten sowie die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den spezifischen Emissionsfaktoren 2023 und prognostizierten Faktoren für 2040.

Bei einem geringfügig sanierten Gebäude (Heizwärme: 160 kWh/m<sup>2</sup>a) mit Heizkreistemperaturen von max. 70 °C Vorlauf und einer monoenergetischen Betriebsweise mit Wärmepumpe und elektrischem Heizstab sowie zentraler Trinkwassererwärmung (21 kWh/m<sup>2</sup>a) können JAZ von 3,0 (Variante B1) erreicht werden und somit ein Endenergiebedarf an Strom von 61 kWh/m<sup>2</sup>a. Eine Steigerung der Effizienz und dadurch eine Senkung des Stromverbrauchs wird durch Absenkung der Temperaturen im Heizkreis erreicht. Die Deckung der Hochtemperaturwärme durch einen zweiten Erzeuger (Gaskessel) erhöht den Endenergieverbrauch insgesamt, da weniger erneuerbare Energien genutzt werden (Variante B3). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für 2023 für die hybride Variante sind vergleichbar mit der monoenergetischen Variante. Sie würden sich jedoch im Jahr 2040 gegenüber der monoenergetischen Wärmepumpenvariante fast verdoppeln.

Durch die energetische Sanierung der Gebäudehülle reduziert sich neben dem Wärmebedarf auch die nötige Vorlauftemperatur im Heizkreis (Varianten S). Dadurch halbiert sich der Endenergieverbrauch in den Varianten S und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

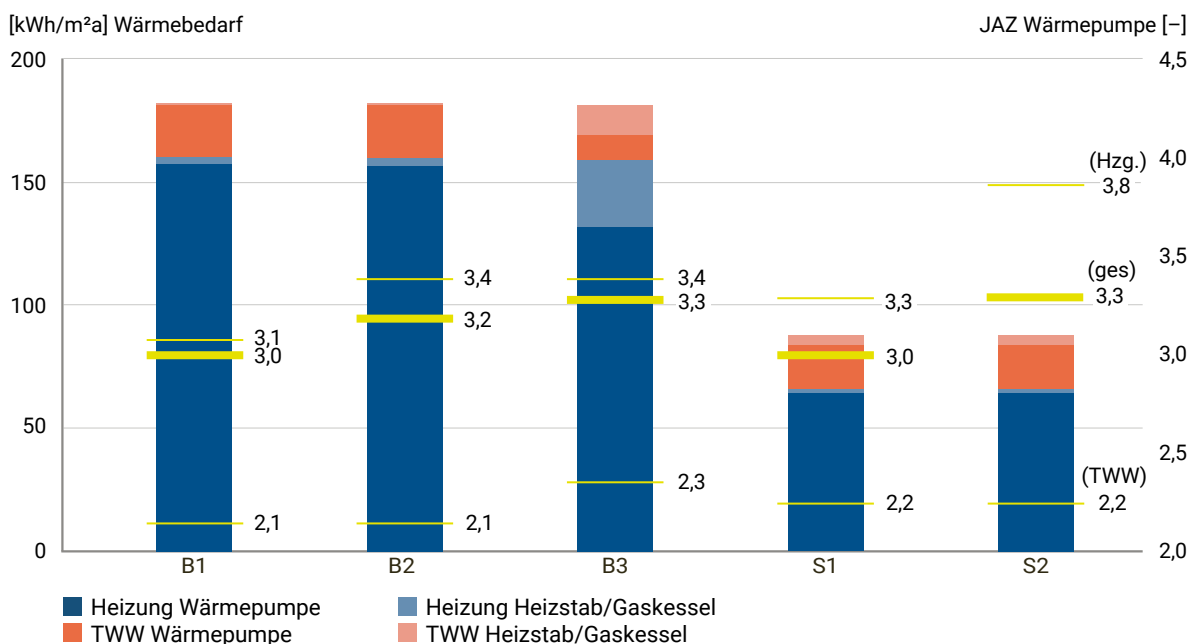


Abb. 24: Deckungsanteile des Wärmebedarfs für Raumheizung und Trinkwassererwärmung (TWW) der Varianten und Effizienz (JAZ) als Jahreswerte

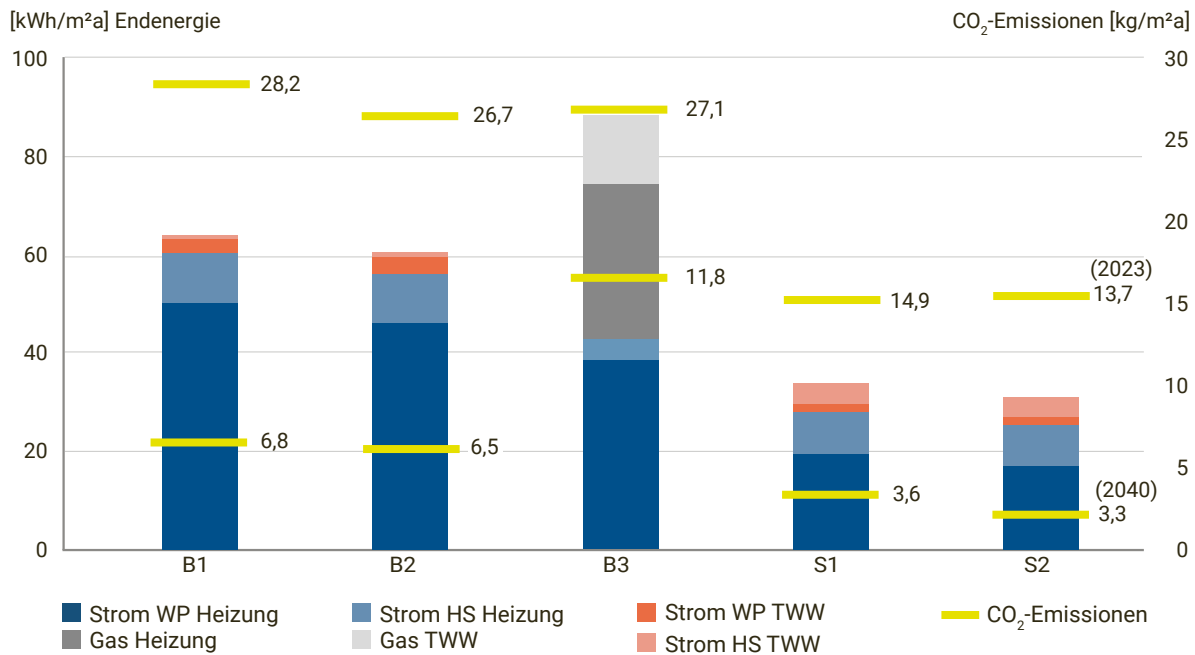


Abb. 25: Benötigte Endenergie (Strom für Wärmepumpe WP, Heizstab HS, Trinkwarmwasser TWW sowie Gas für Heizkessel) für die untersuchten Varianten sowie die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Emissionen im Jahr 2023 sowie prognostizierte Faktoren im Jahr 2040

### 3.3 Vernetzte Wärmeversorgung in Quartieren

Die Wärmeversorgung in Quartieren ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand. Es ist oft leichter und wirtschaftlicher, eine Lösung für eine Gruppe von Gebäuden zu finden als für jedes einzelne. Nicht jede Immobilie kann energetisch so ertüchtigt werden, dass gebäudespezifische Einsparziele zu erreichen sind. Betrachtet man jedoch Gebäude in einem Quartier zusammen, kann es wirtschaftlicher und einfacher sein, ein gemeinschaftliches Energiekonzept zu erstellen. Darüber hinaus ist das Quartier ebenfalls ein soziales und städtebauliches Konzept. Die Kombination mit Instrumenten der Stadtansanierung kann hier zu einer Verbesserung der Lebensqualität auf verschiedenen Ebenen beitragen. Für die Herausforderung von Teilhabe und Akzeptanz bietet eine Quartiersumsetzung die Möglichkeit, bis tief in die Bewohnerschaft hinein Impulse zu setzen und die Vorteile von erneuerbaren Energien wirtschaftlich und praktisch nutzbar auszugestalten.

#### Vorteilhafte Wärmenetze

Die Verbindung von Wärmequellen, Speicheranlagen und Einheiten für die Wärmeübergabe wird im Quartier durch Nahwärmenetze realisiert. Insgesamt bieten Wärmenetze für Quartiere viele Vorteile: Dank ihrer Größe können mehrere Erzeugungstechnologien und Speichermöglichkeiten miteinander kombiniert und deren verschiedene Vorteile genutzt werden. So können jahres- und tageszeitbedingte Schwankungen einzelner Technologien leichter ausgeglichen werden. Für einzelne Wohngebäude ist es meist zu kostspielig, mehrere Erzeugungsanlagen zu installieren. Die niedrigere Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs bei einer höheren Zahl an Anschlussnehmern senkt die benötigten Erzeugungskapazitäten und spart somit Investitionskosten für Wärmeerzeuger.

Zudem gewährleistet die zentrale Steuerung des Wärmenetzes eine größere Flexibilität sowie bessere Planbarkeit der Ausbaubedarfe. Im Ergebnis können wärmenetzbasierte Versorgungskonzepte den Ausbaubedarf des Stromnetzes erheblich reduzieren.

Auch ermöglichen Quartiere durch den höheren Wärmeleistungsbedarf den wirtschaftlichen Einsatz kostenintensiver Technologien:

- Erschließung von Umweltwärmequellen der Geo-, Solar-, See- und Flussthermie oder Abwärmequellen (z. B. Abwasser, Abwärme aus Gewerbe/Produktion und Kühlprozessen)
- Große thermische Speicher
- Komplexe Anlagenparks, die verschiedene Erzeugungsanlagen und Technologien kombinieren

#### Vernetzte Versorgungskonzepte

Die vernetzten Versorgungskonzepte unterscheiden sich im Wesentlichen dahin gehend, ob gebäudeintegrierte Wärmepumpen oder Nahwärmenetze mit einer Großwärmepumpe genutzt werden. In der dena-Studie „Vernetzte Wärmeversorgung in Bestandsquartieren“ (dena 2023c) werden fünf unterschiedliche wärmepumpenbasierte Versorgungskonzepte analysiert. Zudem sind Handlungsstrategien und Anwendungsfälle für die Initiierung, Planung und Umsetzung in Bestandsquartieren für die Zielgruppe der kommunalen Stellen aufbereitet.

## Abwasserwärme

 Wärmespeicher

 Wärmepumpe

 Kommunikationseinheit

 Strom

 Abwassersiel

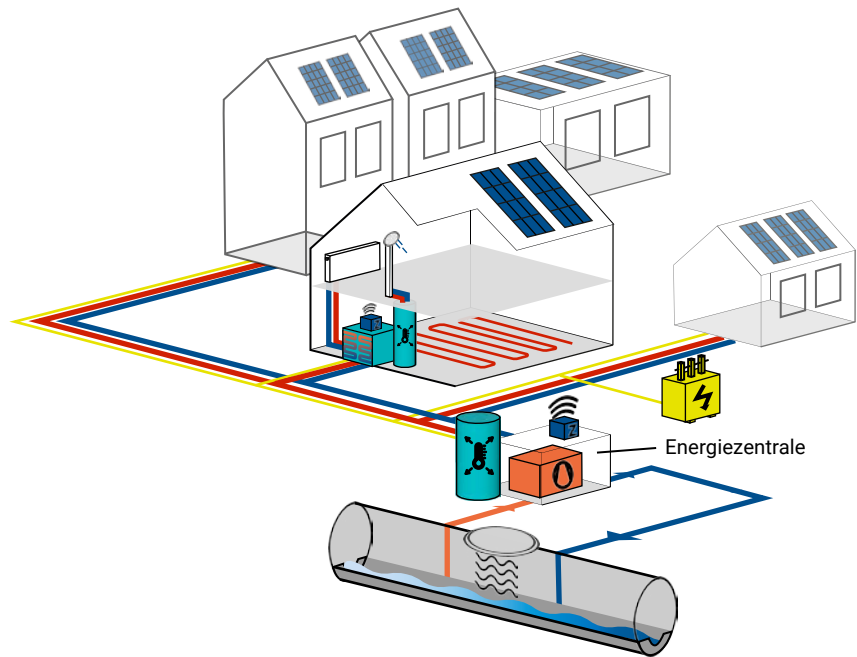


Abb. 26: Nutzung von Abwasser aus der Kanalisation als Wärmequelle für eine zentrale Wärmepumpe für das Quartier

### Weitere Informationen

Gebäudeforum klimaneutral:

- [Checkliste für Gebäude- und kleine Wärmenetze](#)
- [weitere Studien, Berichte, Factsheets und Praxisbeispiele zum Thema integrierte Quartiere](#)

### 3.4 Ganzheitliches Konzept: serielles Sanieren mit Wärmepumpen

Serielles Sanieren ist ein innovatives Konzept, das Bestandsgebäude schneller, einfacher und mieterfreundlicher ganzheitlich klimaneutral gestaltet. Der Umstieg auf erneuerbare Energien und die Steigerung der Energieeffizienz in der Gebäudetechnik und an der Gebäudehülle werden dabei zusammengedacht und umgesetzt.

Statt kleinteiliger Einzelleistungen unterschiedlicher Gewerke kombiniert serielles Sanieren digitale Planung mit industrieller Vorfertigung und standardisierten Prozessen. Fassaden-, Dach- und Energiemodule werden im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle nur noch montiert. Große Bestände lassen sich so mit weniger Fachkräften in kürzerer Zeit auf den klimaneutralen NetZero-Standard bringen.

#### 30 % aller Bestandsgebäude sind geeignet

Konzentrierte sich serielles Sanieren in der Anfangsphase zunächst auf die „Low Hanging Fruits“ – bis zu viergeschossige Mehrfamilienhäuser mit einfacher Kubatur –, gibt es mittlerweile immer mehr Lösungen für „Higher Hanging Fruits“ – Gebäude, die bis dato als nicht optimal galten. In Witten lässt die Vonovia einen Wohnkomplex mit bis zu achtgeschossigen Gebäuden seriell sanieren. In München saniert B&O für die Baugenossenschaft Hartmannshofen zwei fünfgeschossige Mehrfamilienhäuser mit Vor- und Rücksprüngen und stockt sie um weitere drei Geschosse auf. Laut Expertenschätzung sind rund 30 % aller deutschen Wohngebäude prinzipiell für eine serielle Sanierung geeignet.

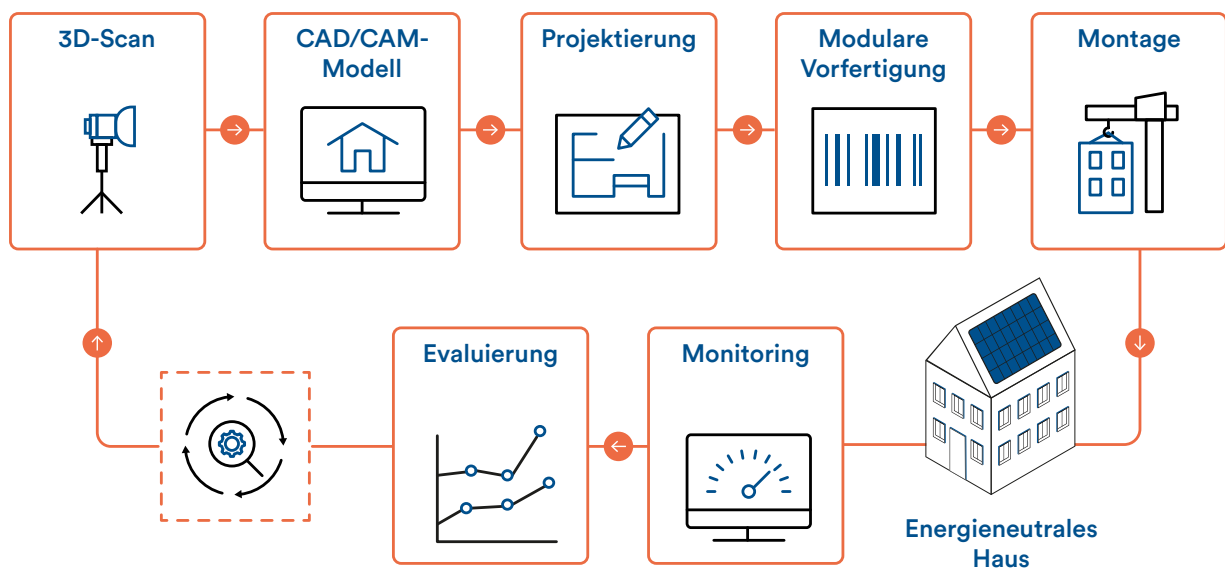


Abb. 27: Sanierung 4.0: serielles Sanieren Schritt für Schritt (Entwicklung des Energiesprung-Prinzips)

## Energiesprung auf Neubauniveau

Ein wichtiger Baustein des in den Niederlanden entwickelten Energiesprung-Prinzips ist der NetZero-Standard: Über Photovoltaikmodule auf dem Dach und bei höheren Gebäuden auch Teile der Fassade erzeugen die Gebäude im Jahresdurchschnitt mindestens so viel erneuerbare Energie, wie die Bewohnenden für Heizung, Warmwasser (Wärmepumpe) und Haushaltsstrom benötigen. Im Idealfall kompensieren die hohen Energieeinsparungen sowie die dauerhaft günstigen Preise für den selbst erzeugten Solarstrom die Modernisierungsumlage, sodass die Mietenden unterm Strich nicht mehr zahlen als vorher. Alle bislang realisierten Projekte haben einen energetischen Sprung von G oder H nach A gemacht – ein Effizienzniveau, das einem hochmodernen Neubau entspricht. Welche Einsparungen erzielt werden können, zeigt der Pilot der Wohnungsgenossenschaft am Vorgebirgs-park in Köln-Zollstock. Es ist das erste Bestandsgebäude in der Energiesprung-Historie, das auf den ambitionierten 40-EE-Standard modernisiert wurde. Ein Jahr nach der Sanierung hat sich der Energieverbrauch von 201 kWh/m<sup>2</sup>/a auf -10 kWh/m<sup>2</sup>/a reduziert, die CO<sub>2</sub>-Emissionen sanken von 48 kg/m<sup>2</sup>/a auf -4 kg/m<sup>2</sup>/a.



Abb. 28: Vogelperspektive auf das Projektgebäude: Nach der seriellen Sanierung erzeugt das Gebäude 20 % mehr Solarstrom, als die Bewohnenden benötigen.

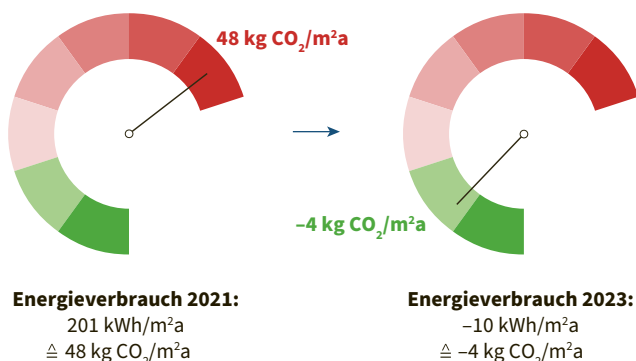


Abb. 29: Der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind im grünen (Minus-)Bereich.

## Wärmepumpen als wichtiger Bestandteil des seriellen Sanierens

Je nach den Besonderheiten des jeweiligen Standortes werden hier ganz unterschiedliche Lösungen umgesetzt. In Köln-Zollstock ist die Luft-Wärmepumpe klassisch vor dem Haus positioniert. Im LEG-Projekt in der Mönchengladbacher Zeppelinstraße hat man kaskadierende Luft-Wasser-Wärmepumpen auf dem Dachstuhl platziert. Bei der Gewobau in Erlangen befindet sich die Erd-Wärmepumpe in einem Ground Cube – einem unterirdischen Betonkubus, in dem die gesamte Gebäudetechnik verbaut ist.



Abb. 30, 31 und 32: Gebäudetechnik

### Weitere Informationen

- [Energiesprung-Projekt Witten](#)
- [Energiesprung-Projekt München](#)
- [Energiesprung-Projekt Köln-Zollstock](#)



## 4 Rechtlicher Rahmen und Förderung

### 4.1 Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Mit der zweiten Novelle des Gebäudeenergiegesetzes wird der Umstieg auf erneuerbare Energien beim Heizen und bei der Warmwasserbereitung gesetzlich verankert. Sie leitet somit die Dekarbonisierung des Wärmebereichs ein und wird seit dem 01.01.2024 schrittweise umgesetzt. Ein wesentliches Ziel der Novellierung ist, dass jede neu eingebaute Heizung zu 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden soll (sogenannte 65 %-Regel).

#### Vorgaben zur Nutzung von 65 % erneuerbarer Energie zur Wärmeerzeugung

Die 65 %-Regel gilt seit dem 01.01.2024 zunächst nur für Neubauten in Neubaugebieten. Als Neubauten gelten Gebäude, für die ab dem 01.01.2024 ein Bauantrag gestellt wird.

Für Heizungen in Neubauten außerhalb von Neubaugebieten und in allen Bestandsgebäuden gelten die Regelungen zum Einsatz erneuerbarer Energie spätestens, wenn die Fristen für die Erstellung der kommunalen Wärmepläne ablaufen. Die kommunale Wärmeplanung soll in Kommunen ab 100.000 Einwohnern bis zum 30.06.2026 und in kleineren Kommunen bis zum 30.06.2028 verbindlich sein.

Liegt die kommunale Wärmeplanung vor Ablauf dieser Fristen vor, gilt die 65 %-Regel einen Monat nach der Bekanntgabe der Kommune über die „Ausweisung als Gebiet zum Neu- oder Ausbau eines Wärmenetzes oder als Wasserstoffnetzausbaugebiet“.

Kommunen, in denen bis zum Ablauf der Fristen keine Wärmeplanung vorliegt, werden so behandelt, als läge eine Wärmeplanung vor.

Die 65 %-Regel gilt für

- Neubauten in Neubaugebieten ab dem 01.01.2024
- Neubauten außerhalb von Neubaugebieten und Bestandsgebäude einen Monat ab Bekanntgabe der Kommune über kommunale Wärmeplanung bzw. Gebietsausweisung von Wärme- und Wasserstoffnetzen

Spätestens gelten diese Stichtage, auch wenn keine Wärmeplanung vorliegt:

- > 100.000 Einwohner: spätestens ab dem 01.07.2026
- ≤ 100.000 Einwohner: spätestens ab dem 01.07.2028

Wird ab dem 01.01.2024 und vor dem Inkrafttreten der 65 %-Regel eine Heizung ausgetauscht, dürfen weiterhin Gas- und Ölheizungen eingebaut werden. Allerdings muss der Betreiber oder die Betreiberin der Heizung in diesen Fällen sicherstellen, dass ab dem 01.01.2029 mindestens 15 %, ab 2035 mindestens 30 % und ab 2040 mindestens 60 % der mit der Anlage bereitgestellten Wärme aus Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff erzeugt werden. Außerdem ist eine verpflichtende Beratung vorgesehen, um auf wirtschaftliche Risiken durch steigende CO<sub>2</sub>-Preise hinzuweisen sowie Alternativen zu betrachten. Diese verpflichtende Beratung muss von einer fachkundigen Person durchgeführt werden.

Diese Auflage entfällt nur, wenn der Betreiber oder die Betreiberin auf den Anschluss an ein neues Wärmenetz oder eine Wasserstofflieferung aus einem umgestellten Gasnetz wartet (bis zu zehn Jahre) und die jeweils dafür vorgesehenen Voraussetzungen erfüllt. Nach Ablauf der Wartezeit hat der Eigentümer oder die Eigentümerin das Gebäude an das entsprechende Netz anzuschließen. Stellt sich heraus, dass das Wärme- oder Wasserstoffnetz nicht realisiert wird, müssen die betroffenen Gebäudeeigentümer oder -eigentümerinnen innerhalb von drei Jahren eine andere Erfüllungsoption umsetzen (z. B. Hybridheizung durch Nachrüstung einer Wärmepumpe).

Die 65 %-Regel gilt nicht für Heizungsanlagen, die vor dem 19.04.2023 beauftragt wurden und bis zum 18.10.2024 eingebaut werden. Bestehende Heizungen sind nicht betroffen und können weiter genutzt werden. Auch Reparaturen sind weiterhin möglich.

#### Generelles Enddatum für die Nutzung fossiler Brennstoffe in Heizungen ist der 31.12.2044

Die Vorgaben gelten für folgende Anlagen einzeln oder in Kombination miteinander als erfüllt, wenn sie den Wärmebedarf des Gebäudes oder des Gebäudenetzes vollständig decken oder eine Bestandsanlage ergänzen:

- elektrisch angetriebene Wärmepumpe
- Wärmepumpen-Hybridheizung
- Hausübergabestation zum Anschluss an ein Wärmenetz
- Stromdirektheizung (hier gelten Anforderungen an den Wärmeschutz des Gebäudes)
- solarthermische Anlage

- Heizungsanlage zur Nutzung von Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff einschließlich daraus hergestellter Derivate

In diesen Fällen kann auf einen Nachweis nach DIN V 18599:2018-09 verzichtet werden.

## Wärmepumpen erfüllen die GEG-Anforderungen

Beim Einbau einer Wärmepumpe gilt die Vorgabe als erfüllt, wenn die Wärmepumpe zur vollständigen Raumheizung und Trinkwassererwärmung eingesetzt wird. Eine ggf. notwendige elektrische Nachheizung bleibt unberücksichtigt. Erfolgt eine von der Wärmepumpe getrennte dezentrale elektrische Trinkwassererwärmung, gilt die Anforderung an die Warmwasserbereitung ebenfalls als erfüllt. Beim Einsatz elektrischer Durchlauferhitzer müssen diese elektronisch geregelt sein.

## Anforderungen an die Betriebsweise von Wärmepumpen-Hybridheizungen

Die Vorgaben des Gebäudeenergiegesetzes zu einer Wärmepumpen-Hybridheizung beziehen sich auf einen Neueinbau von Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel als Einzel- oder Kombigeräte. Für dieses System gelten die Vorgaben als erfüllt, wenn

- der Betrieb bivalent-parallel, bivalent-teilparallel oder bivalent-alternativ mit Vorrang für die Wärmepumpe erfolgt,
- die Wärmepumpen-Hybridheizung über eine gemeinsame, fernansprechbare Steuerung verfügt und
- die thermische Leistung der Wärmepumpe bei bivalent-parallel oder -teilparallel Betrieb mindestens 30 % und bei bivalent-alternativ Betrieb mindestens 40 % der Heizlast des von der Wärmepumpen-Hybridheizung versorgten Gebäudes beträgt.

Erfolgt die Nachrüstung einer Wärmepumpe zusätzlich zu einem funktionstüchtigen Gas-Brennwertkessel, welcher nicht der Austauschverpflichtung unterliegt, gelten die Anforderungen nur für den neu eingebauten Wärmeerzeuger. Die Anforderungen an den neuen Wärmeerzeuger sind durch die Wärmepumpe erfüllt. Oben genannte zusätzliche Maßgaben an eine Wärmepumpen-Hybridheizung gelten in diesem Fall nicht, sind aber sinnvollerweise ebenfalls umzusetzen.

## Regelungen in vermieteten Wohnungen

Wenn in vermieteten Gebäuden oder Wohnungen eine Wärmepumpe installiert wird, muss nach § 71 GEG die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe über 2,5 liegen, damit der Vermieter oder die Vermieterin die volle Modernisierungsumlage geltend machen kann. Wenn der Vermieter oder die Vermieterin den Nachweis nicht erbringt, sind nur 50 % der Kosten umlagefähig. Wenn allerdings das Gebäude nach 1996 errichtet worden ist oder mindestens der Wärmeschutzverordnung in der bis zum Ablauf des 31.1.2002 geltenden Fassung entspricht, entfällt der Nachweis.

Auch wenn nach einer Sanierung mindestens die Anforderungen des Effizienzhauses 115 oder 100 erreicht werden oder das Gebäude lediglich mit einer Vorlauftemperatur bis zu 55 °C betrieben wird, entfällt der Nachweis.

Die Kosten, die für den Einbau von Heizungsanlagen zur Erfüllung des § 71 GEG für die entsprechende Wohnung aufgewendet werden, können zu 10 % auf die jährliche Miete umgelegt werden. Dies wird ermöglicht durch eine mit dem GEG beschlossene Ergänzung des § 555b BGB. Nicht berücksichtigt werden die in Anspruch genommenen Drittmittel. Allerdings darf sich die Miete um nicht mehr als 0,5 Euro pro m² Wohnfläche innerhalb von sechs Jahren erhöhen.

## Übergangsfristen für Mehrfamilienhäuser mit Etagenheizung und für Wohnungseigentümergeinschaften (WEG)

Bei Gebäuden mit mindestens einer Etagenheizung wird nach § 71 GEG eine Entscheidungsfrist von fünf Jahren nach Ausfall der ersten Etagenheizung für die Planung einer Zentralisierung gewährt. Für die Umsetzung der zentralen Heizungslösung stehen max. weitere acht Jahre zur Verfügung. Für Wohnungseigentümergeinschaften von Mehrfamilienhäusern mit mindestens einer Etagenheizung gelten die gleichen Fristen, allerdings muss die Gemeinschaft der Wohnungseigentümer und -eigentümerinnen bis zum 31.12.2024 eine Mitteilung des Bezirksschornsteinfegers bzw. der Bezirksschornsteinfegerin zu den installierten Anlagen sowie von den Eigentümerinnen und Eigentümern Angaben zu Anlagen im Sondereigentum verlangen. Die Gemeinschaft muss diese nach Erhalt innerhalb von drei Monaten den Wohnungseigentümern und -eigentümerinnen zur Verfügung stellen. Nach Kenntnis des ersten Austauschs einer Etagenheizung muss der Verwalter oder die Verwalterin eine Eigentümerversammlung einberufen, um über die Umsetzung der 65 %-Anforderung zu informieren und zu beraten.

Es sollte berücksichtigt werden, dass es sich bei den genannten Fristen um die max. zulässigen Planungs- und Umsetzungszeiträume handelt. Vor allem für den Umstieg von Etagenheizungen auf eine zentrale Heizungsanlage sollten die Zeiträume für eine abgestimmte Planung genutzt werden. Sind in dem Zeitraum von 13 Jahren bauliche Maßnahmen zu erwarten, bietet sich die Kombination der Heizungsumstellung mit einem integrierten Sanierungsfahrplan an, um eine möglichst effiziente und nachhaltige Lösung umzusetzen.

## 4.2 Bedeutung der kommunalen Wärmeplanung für den Einsatz von Wärmepumpen

Die Bundesregierung hat die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) und das neue Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz; kurz: WPG) miteinander verknüpft vorangetrieben. Die im WPG beschriebene strategische Wärmeplanung ist so direkt mit den gebäudebezogenen Anforderungen des GEG verzahnt. Das WPG ist gleichzeitig mit der GEG-Novelle am 01.01.2024 in Kraft getreten.

Mit dem WPG werden die Länder zur Erstellung von Wärmeplänen für ihr Hoheitsgebiet verpflichtet. Der durch die planungsverantwortliche Stelle erarbeitete Wärmeplan muss in der weiteren Planung (z. B. bei der Erstellung von Bebauungsplänen) berücksichtigt werden. Neben der Wärmeplanung sieht das WPG die Ausweisung von Gebieten zum Neu- oder Ausbau eines Wärmenetzes oder zum Wasserstoffnetzausbau vor.

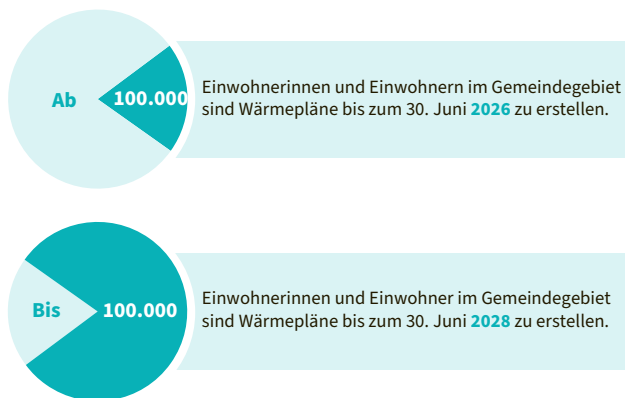


Abb. 33: Eckpunkte des Wärmeplanungsgesetzes

Grundsätzlich gilt die 65 %-Regel ab dem 01.01.2024 zunächst nur für Neubauten in Neubaugebieten. Für alle weiteren Gebäude gelten Regelungen spätestens nach Ende der Fristen für die Erstellung der kommunalen Wärmepläne. Liegt ein Gebäude in einem Gebiet, das auf Grundlage des Wärmeplans als Gebiet zum Neu- oder Ausbau eines Wärmenetzes oder als Wasserstoffnetzausbaugebiet ausgewiesen wurde, gilt die Pflicht einen Monat nach Bekanntgabe der Entscheidung.

Die Gebietsausweisung soll die Planungssicherheit für die im Gebiet ansässigen Eigentümerinnen und Eigentümer erhöhen; sie ist nicht gleichbedeutend mit einem Anschlusszwang, sodass nach derzeitigem Stand der Diskussion auch der Einbau von Wärmepumpenheizungen in einem Wärmenetzausbaugebiet zulässig ist, sofern keine weiteren Bestimmungen vorliegen.

### Wärmepumpen in Wärmenetzen: Erfüllung der 65 %-Regel

Gemäß den Anforderungen nach § 71 GEG Abs. 1 müssen Heizungsanlagen mindestens 65 % der mit der Anlage bereitgestellten Wärme mit erneuerbaren Energien oder

unvermeidbarer Abwärme erzeugen. Neben dem Einsatz als Heizungsanlage können Wärmepumpen auch als Erzeuger zur Wärmeeinspeisung in Gebäude- oder Wärmenetze eingesetzt werden. Gebäudenetze sind definiert als Wärmenetze mit bis zu 16 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten.

Die Verpflichtung zur Nutzung von 65 % erneuerbaren Energien gilt nach GEG auch für Heizungsanlagen, die in Gebäudenetze einspeisen. Entsprechend kommen als Erzeuger für Gebäudenetze auch elektrisch angetriebene Wärmepumpen infrage.

Zusätzlich kann die Anforderung auch durch Wärmepumpen-Hybridheizungen, bestehend aus einer elektrisch angetriebenen Wärmepumpe in Kombination mit einer Gas-, Biomasse- oder Flüssigbrennstofffeuerung, erfolgen.

Der Anschluss an ein Wärmenetz wird im GEG ebenfalls als Erfüllungsoption genannt. Beim Anschluss an bestehende Netze gelten die im Wärmeplanungsgesetz genannten Mindestanteile erneuerbarer Energien in den Jahren 2030 und 2040. Besonders für neue Wärmenetze können Wärmepumpen eine geeignete Wärmequelle darstellen, um die zukünftigen Anforderungen zu erfüllen.

Übergangsfristen werden eingeräumt, sofern durch den Gebäudeeigentümer oder die Gebäudeeigentümerin ein Vertrag für die zukünftige Belieferung mit mindestens 65 % erneuerbaren Energien oder Abwärme durch den Anschluss an ein Wärmenetz vorgelegt wird. Dafür muss der Wärmenetzbetreiber über einen Wärmenetzausbau- und -dekarbonisierungsfahrplan verfügen, der in Einklang mit den jeweils geltenden gesetzlichen Anforderungen steht und zwei- bis dreijährliche Meilensteine für die Erschließung des Gebiets mit einem Wärmenetz enthält. Zudem muss das Gebäude spätestens innerhalb von zehn Jahren nach Vertragsschluss beliefert werden.

Quartiersansätze, wie beispielsweise durch das KfW-Programm 432 „Energetische Stadtsanierung“ gefördert, ergänzen die reine Versorgungslösung von Gebäude- oder Wärmenetzen um Strategien für Sanierungen. Ganzheitliche Sanierungsstrategien berücksichtigen zusätzlich Effizienzmaßnahmen der Gebäudehülle.

### Weitere Informationen

- [Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: Fragen und Antworten zur kommunalen Wärmeplanung](#)
- [Kompetenzzentrum Wärmewende](#)

## 4.3 Kältemittel: F-Gase-Verordnung

Für die Funktionsweise von Wärmepumpen sind Kältemittel unerlässlich. Sie ermöglichen, dass die Wärmeenergie auf niedrigem Temperaturniveau aus Außenluft, Erdreich und Wasser für die Erwärmung von Wasser oder Luft mit höheren Temperaturen in den Gebäuden genutzt werden kann. Kältemittel werden beurteilt hinsichtlich thermophysikalischer Eigenschaften, Umweltwirkung und Sicherheit.

### Eigenschaften von Kältemitteln

Die grundsätzliche Eignung eines Kältemittels ergibt sich aus den thermophysikalischen Eigenschaften (z. B. Verdampfungs- und Siedetemperatur). Verdichter benötigen für den sicheren Betrieb Öl, um die bewegten Bauteile zu schmieren. Eine gute Kältemittellöslichkeit ist für den optimalen Abtransport aus dem Verdampfer förderlich und wirkt sich in der Praxis positiv auf die Effizienz der Wärmepumpe aus.

Kältemittel werden hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Erzeugung in natürliche Kältemittel (z. B. Propan R290, Ammoniak R717, Kohlendioxid R744) und synthetische Kältemittel (z. B. Difluormethan R32, Tetrafluorethan R134a) unterteilt sowie in verschiedene Sicherheitsklassen gruppiert.

### Umweltwirkung auf Klima und Lebewesen

In der Vergangenheit wurden überwiegend synthetische Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) als Kältemittel eingesetzt. Sie haben vorteilhafte Eigenschaften, schädigen aber die Ozonschicht und wurden verboten. Als Ersatz für die FCKWs wurden hauptsächlich synthetische, teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKWs) als Kältemittel eingesetzt. Diese schädigen zwar nicht die Ozonschicht, haben aber zum Teil ein starkes Treibhauspotenzial, das Global Warming Potential (GWP), und je nach chemischem Aufbau wird deren Abbauprodukt Trifluorsäure (TFA) als potenziell umweltgefährdende Per- und Polyfluoralkylsubstanz (PFAS) eingeordnet. Nicht unter die PFAS-Definition fällt z. B. das in Wärmepumpen gängige Kältemittel R32.

PFAS sind chemisch stabil und verbleiben über Jahrzehnte in der Umwelt. Das geplante Verbot dieser „ewigen Chemikalien“ soll ihre Freisetzung in die Umwelt stark reduzieren und wird im Rahmen der EU-Chemikalienverordnung REACH geregelt. Mit einer Entscheidung über den Beschränkungsvorschlag durch die Europäische Kommission gemeinsam mit den Mitgliedsstaaten ist frühestens Ende 2025 zu rechnen. Betroffen sind viele fluorierte und somit die meisten synthetischen Kältemittel. Die Zersetzungsprodukte der sogenannten natürlichen Kältemittel sind gemäß Definition keine PFAS.

### Novellierung der F-Gase-Verordnung

Seit 2015 wird durch die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase, auch „F-Gase-Verordnung“ genannt, eine schrittweise Beschränkung von diesen Kältemitteln über ein Quotensystem (Phase-Down) umgesetzt. Unterstützt wird das Phase-Down durch Verwendungsverbote von Kältemitteln mit hohem GWP in bestimmten Anwendungen.

Im Oktober 2023 wurde die F-Gase-Verordnung novelliert und ein beschleunigter Phase-Down der Menge an teilfluorierten Treibhausgasen (HFKWs) bis auf null im Jahr 2050 beschlossen. Des Weiteren werden in der Verordnung die o. a. Verbote für das Inverkehrbringen auf Wärmepumpen und Klimageräte ausgeweitet.

### Trends bei natürlichen und synthetischen Kältemitteln

Die synthetischen Kältemittel R-410A und R-407C dominierten bisher den Markt. Der Trend in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche geht zu synthetischen Kältemitteln mit möglichst niedrigem Treibhauspotenzial (z. B. R32 und HFO-Kältemittel je nach Anwendung) bzw. zu natürlichen Kältemitteln mit GWP nahe null, z. B. Propan R 290. Für Wärmepumpen im Gebäudebereich werden als neue Kältemittel überwiegend R32 Difluormethan und R290 Propan eingesetzt. Speziell bei den Monoblock-Wärmepumpen zur Außenaufstellung entwickelt sich in Deutschland der Markt hin zu natürlichen Kältemitteln.

### Sicherheit von Kältemitteln in Wärmepumpen

Bei der Auswahl des Kältemittels steht neben der Umweltbelastung die Sicherheit im Vordergrund. Kältemittel werden gemäß DIN EN 378-1 in Sicherheitsklassen hinsichtlich ihrer Toxizität und Entflammbarkeit kategorisiert. Darüber hinaus ist für Wärmepumpen die IEC 60335-2-40 relevant. Diese enthält bei brennbaren Kältemitteln Vorgaben bezüglich max. zulässiger Füllmengen und konstruktiv zu ergreifender Sicherheitsvorkehrungen sowie Anforderungen an Räume oder Aufstellungsorte, z. B. minimale Raumgrößen.

## Natürliches Kältemittel Propan

In Wärmepumpen für Wohngebäude wird als natürliches Kältemittel überwiegend Propan eingesetzt. Es besitzt gute thermodynamische Eigenschaften bei gleichzeitig hoher Effizienz. Propan wird als brennbares Kältemittel der Sicherheitsstufe A3 (leicht entflammbar) eingestuft. Das führt zu den o. a. Einschränkungen: A3-Kältemittel dürfen nach dem aktuellen Produktsicherheitsstandard IEC 60335-2-40 im Innenbereich nur in geringen Füllmengen (unter 150 Gramm) eingesetzt werden bzw. in Abhängigkeit von Raumgröße und Höhe der Aufstellung bis zu 998 Gramm. Kann die auf die Füllmenge bezogene notwendige Raumgröße nicht gewährleistet werden oder kommen größere Füllmengen zum Einsatz, sind zusätzliche technische Maßnahmen wie z. B. eine Entlüftung erforderlich.

Die Bundesregierung fördert den Einsatz natürlicher Kältemittel ab 2024 in der Richtlinie BEG EM mit einem Bonus von 5 %. Als natürliche Kältemittel anerkannt werden: R290 Propan, R600a Isobutan, R1270 Propen, R717 Ammoniak, R718 Wasser und R744 Kohlendioxid.

### Weitere Informationen

Einen Überblick über die Ausgestaltung der [Verordnung](#) bietet das Umweltbundesamt mit weiteren Informationen zu Verwendungsverboten, Betreiberpflichten und einer Liste der GWP-Werte.

## 4.4 Netzzanschluss und -integration – Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) § 14a

In den kommenden Jahren werden viele zusätzliche Anschlüsse, z. B. für Wärmepumpen und Ladepunkte für Elektroautos, in den Verteilnetzen benötigt. Dadurch können temporär und regional begrenzt Engpässe in den Niederspannungsnetzen entstehen.

### Netzzanschluss ohne Verzögerung und reduziertes Netzentgelt

Damit neue Verbrauchsanlagen trotzdem ohne Verzögerung angeschlossen werden können, wurde mit der Novelle § 14a EnWG (Energiewirtschaftsgesetz) die gesetzliche Grundlage geschaffen, dass ab dem 01.01.2024 Verteilnetzbetreiber die Leistung neuer steuerbarer Verbrauchsanlagen (Wärmepumpen, Klimaanlage, Wallboxen, Stromspeicher) auf eine Mindestleistung reduzieren können. Im Gegenzug müssen neue Verbrauchsanlagen ohne Verzögerung ans Netz angeschlossen werden, ein Verweis auf mangelnde Netzkapazität ist somit nicht mehr als Grund für Verzögerung oder Verweigerung eines Netzzanschlusses gestattet. Weiterhin wird ein reduziertes Netzentgelt gewährt.

Mit der Novelle wird das bisherige Verfahren, Wärmepumpen bis zu dreimal täglich für zwei Stunden ganz vom Netz zu nehmen, abgelöst.

### Verpflichtende Teilnahme für steuerbare Verbrauchsanlagen ab 4,2 kW elektrischer Leistung

Zur Teilnahme verpflichtet sind Betreiber von steuerbaren Verbrauchsanlagen ab einer elektrischen Leistung von 4,2 kW. Hierbei ist zu beachten, dass bei der Installation mehrerer kleiner Wärmepumpen, Heizstäbe oder Klimaanlage deren Leistung aggregiert und vom Netzbetreiber als eine große Wärmepumpe/Klimaanlage betrachtet wird.

Die Regelung sieht vor, dass Netzbetreiber den netzwirksamen Leistungsbezug steuerbarer Verbraucher im betroffenen Gebiet auf minimal 4,2 kW reduzieren können, sodass ein Engpass vermieden wird. Die Minimalleistung von größeren Wärmepumpen und Klimaanlage (> 11 kW) im Steuerungsfall wird nicht fest auf 4,2 kW begrenzt, sondern prozentual auf Grundlage der Anschlussleistung und eines Skalierungsfaktors bestimmt.

### Steuereingriffe sind zeitlich begrenzt mit Mindestbezug von 4,2 kW bzw. mindestens 40 % der elektrischen Leistung

Steuereingriffe dürfen nur stattfinden, wenn eine unmittelbare Überlastung des betroffenen Netzes droht. Der Netzbetreiber darf für einen Übergangszeitraum bis zum 31.12.2028, jedoch für max. 24 Monate nach dem ersten Steuereingriff, eine präventive Steuerung nutzen. Diese ist auf zwei Stunden pro Tag begrenzt. Das erstmalige Auslösen eines Steuereingriffs verpflichtet Netzbetreiber, den Engpass schnellstmöglich zu beseitigen.

Während für alle steuerbaren Verbrauchseinrichtungen im Steuerungsfall ein Mindestbezug von 4,2 kW festgelegt ist, findet bei Wärmepumpen und Klimaanlage mit einer Leistung von mehr als 11 kW eine prozentuale Bemessung auf Grundlage der Netzzanschlussleistung und eines Skalierungsfaktors statt. Dieser ist initial auf 40 % festgelegt, soll jedoch in Zukunft auch praxisnah angepasst werden können. Das heißt, dass eine Wärmepumpe mit einer Anschlussleistung von beispielsweise 15 kW zu jeder Zeit mit 40 % ihrer Anschlussleistung, also minimal 6 kW, betrieben werden kann.

So wird sichergestellt, dass das Gebäude bei Steuereingriffen weiterhin geheizt wird, wenn auch mit reduzierter Heizleistung. Es empfiehlt sich somit, einen ausreichend großen Pufferspeicher bei der Konzeption der Anlage einzuplanen, um ggf. längere Perioden mit reduzierter Heizleistung überbrücken zu können. Dabei ist die Wärmespeicherfähigkeit des Wärmepumpensystems in Gebäuden einzuplanen, die es ermöglicht, den Strombezug zeitlich um einige Stunden zu verschieben, ohne dass der Komfort eingeschränkt wird. Dieses Konzept hat sich seit Jahren bewährt und war Voraussetzung, um den reduzierten Strompreis (Wärmepumpentarif) zu erhalten.

Zu beachten ist außerdem, dass die Leistung eines Heizstabs zur Heizspitzenabdeckung bei niedrigen Temperaturen ebenfalls unter § 14a EnWG fällt und dessen Leistung mit der der Wärmepumpen aggregiert wird, wohingegen Pumpen und weitere Sekundärtechnik zur Verteilung der erzeugten Wärme nicht unter diesen fallen.

### Umsetzung der Steuerbarkeit muss durch Betreiber beauftragt werden

Die Steuerbarkeit muss vom Betreiber der Verbrauchseinrichtung gewährleistet werden und kann sowohl durch die Beauftragung eines Messstellenbetreibers als auch durch eine direkte Beauftragung des zuständigen Netzbetreibers erfüllt werden. Technisch realisiert werden kann dies entweder durch ein Smart Meter Gateway mit Steuerbox oder, bis 2026, mittels Rundsteuerempfänger bzw. Zeituhr bei präventiver Steuerung.

Der reguläre Haushaltsstrombezug bleibt bei der Steuerung explizit unberücksichtigt.

Betreiber können aus zwei Steuerungsmodellen auswählen:

1. **Direktsteuerung:** Jeder steuerbare Verbraucher wird direkt vom Netzbetreiber angesteuert und dessen Leistung im Bedarfsfall auf 4,2 kW bzw. 40 % der Anschlussleistung gedimmt.
2. **EMS-Steuerung:** Die Dimmung wird auf ein Signal des Netzbetreibers hin vom Energiemanagementsystem (EMS) umgesetzt. Hier ist der sogenannte netzwirksame Leistungsbezug der angeschlossenen steuerbaren Verbrauchseinrichtung entscheidend. Sind mehrere steuerbare Verbraucher installiert, wird der Berechnung ebenfalls ein Gleichzeitigkeitsfaktor zugrunde gelegt. Der Betreiber des EMS entscheidet, wie dieser netzwirksame Leistungsbezug auf die entsprechenden steuerbaren Verbraucher verteilt wird. Außerdem können steuerbare Verbraucher durch lokal erzeugten oder eingespeicherten Strom auch über die reduzierte Leistung hinaus betrieben werden. Dieses Modell eignet sich insbesondere für Vorhaben mit mehreren steuerbaren Verbrauchseinrichtungen oder bei lokaler Stromerzeugung, beispielsweise durch Photovoltaik.

Es kann zwischen einer pauschalen oder prozentualen Reduzierung des Netzentgeltes gewählt werden. Zusätzlich zur pauschalen Reduzierung können zeitvariable Netzentgelte in Anspruch genommen werden:

- **Modul 1 – Pauschale Netzentgeltreduktion:** Der Netzbetreiber reduziert das Netzentgelt jährlich pauschal um 80 Euro brutto sowie um eine netzbetreiberindividuelle Stabilitätsprämie, die auf Basis einer steuerbaren Verbrauchseinrichtung mit einem Verbrauch von 3.750 kWh/Jahr und dem netzbetreiberindividuellen Arbeitspreis für das Netzentgelt bestimmt wird. Die Teilnahme an Modul 1 erfordert keinen separaten Stromzähler für die steuerbaren Verbrauchseinrichtungen und erlaubt die Teilnahme an Modul 3.
- **Modul 2 – Prozentuale Arbeitspreisreduzierung:** Der Netzbetreiber gewährt eine Reduzierung des Netzentgelt-Arbeitspreises von 60 %. Voraussetzung hierfür ist, dass alle steuerbaren Verbraucher über einen separaten Stromzähler erfasst werden müssen. Bei Wahl dieses Moduls ist eine Teilnahme an Modul 3 nicht möglich, dafür jedoch eine Kombination mit der Umlagebefreiung für Wärmestrom (KWK- und Offshore-Umlage, Umlagebefreiung nach EnFG).
- **Modul 3 – Zeitlich variable Arbeitspreisreduzierung:** Es werden variable Arbeitspreise der Netzentgelte angeboten. Dies ist erst ab April 2025 möglich und nur in Kombination mit Modul 1. Außerdem ist ein intelligentes Messsystem Voraussetzung für dieses Modul (Steuerung über ein Smart Meter Gateway mit Steuerbox).

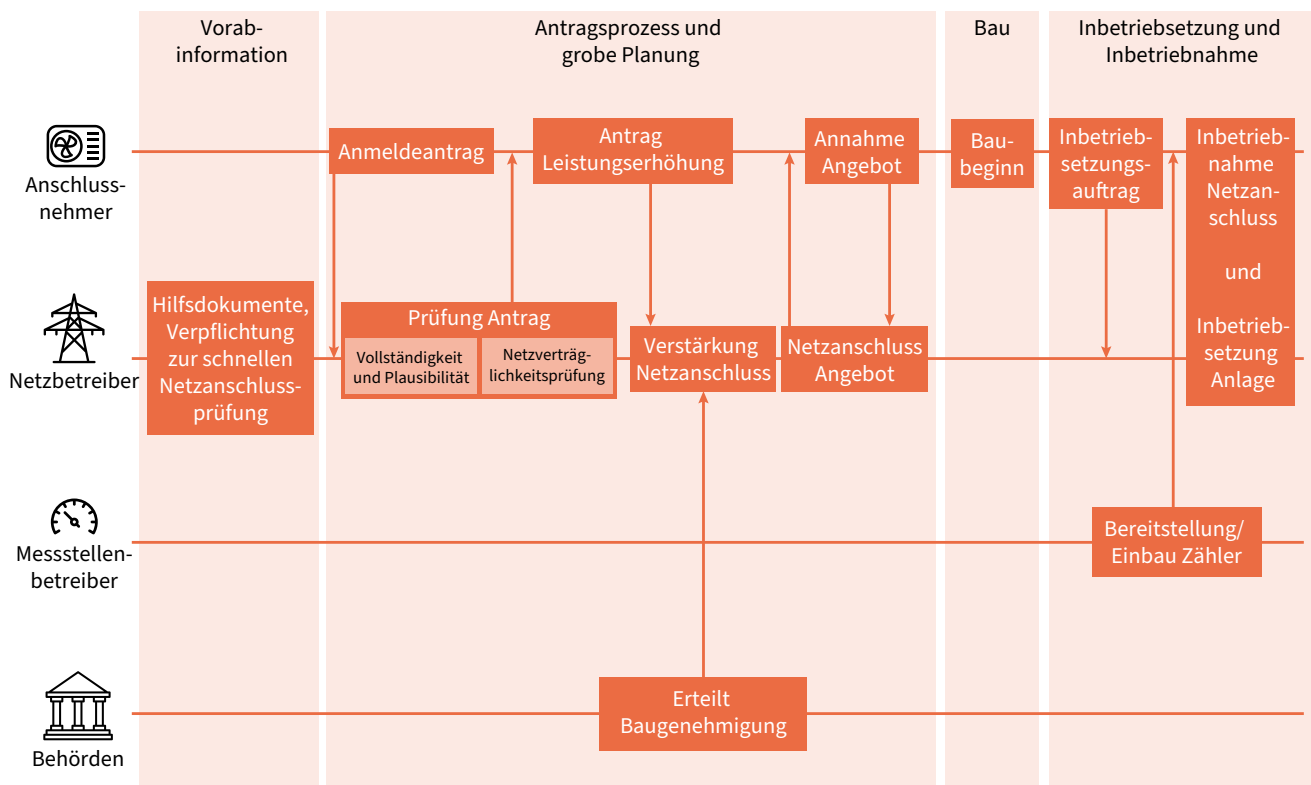


Abb. 34: Schritt für Schritt: Netzanschluss Wärmepumpe

## Verfahren bei Netzanschluss von Wärmepumpen

Für den Netzanschluss von Wärmepumpen muss beim Netzbetreiber ein Antrag gestellt werden. Daraufhin führt dieser eine Netzverträglichkeitsprüfung durch. Der Netzbetreiber ist dazu verpflichtet, diese innerhalb von höchstens acht Wochen durchzuführen.

Wird auf dieser Basis ein Netzausbaubedarf festgestellt, kann der Netzbetreiber bei Überschreitung der Hausanschlussleistung von 30 kW einen Baukostenzuschuss fordern. Dabei kann ein Rabatt von bis zu 20 % auf den Anteil gewährt werden, der auf die steuerbaren Verbrauchseinrichtungen entfällt.

### Was es beim Netzanschluss von Wärmepumpen zu beachten gibt:

- Die Eigentümerin bzw. der Eigentümer oder eine beauftragte Elektroinstallationsfirma stellt den Antrag auf Netzanschluss der Wärmepumpe beim zuständigen Netzbetreiber.
- Für den Antrag werden alle relevanten Informationen zu deren Modell, Leistung und etwaig genutzten Heizstäben benötigt.
- Die Anforderungen der Steuerung des zuständigen Netzbetreibers können direkt bei Antragstellung erfragt werden.
- Der Betreiber entscheidet sich für die Art der Steuerung (Direktsteuerung oder Steuerung über Energiemanagementsystem) und ein Entgeltmodul (pauschale oder prozentuale Reduzierung).

- Für die jeweiligen Steuergeräte muss genügend Platz zur Verfügung stehen, um den Einbau möglichst störungsfrei zu gewährleisten.
- Der Netzbetreiber prüft den Antrag und informiert darüber, ob eine Verstärkung des Netzanchlusses nötig ist oder ein Baukostenzuschuss im Rahmen von künftig mit dem Anschluss verbundenen Netzausbaukosten anfällt.
- Eigentümerin bzw. Eigentümer oder die ggf. beauftragte Elektroinstallationsfirma stellt im Bedarfsfall einen Antrag auf Leistungserhöhung.
- Wenn der Netzanschlussantrag vom Netzbetreiber genehmigt wurde, können die Baumaßnahmen beginnen und ein Messstellenbetreiber mit der Bereitstellung der erforderlichen Zähler beauftragt werden.
- Nach Bauabschluss und Zäblersetzung wird die Anlage gemeinsam mit dem Netzbetreiber in Betrieb genommen.

### Weitere Informationen

- [Netzportal der Verteilnetzbetreiber \(VNBdigital\): Netzanschluss und Netzausbaupläne](#)
- [Bundesnetzagentur \(BNetzA\): flexible Steuerung von Verbrauchern \(§ 14a EnWG\)](#)
- [Kompetenzzentrum Energieeffizienz durch Digitalisierung \(KEDi\): Factsheet mit Beispielrechnung zur netzorientierten Steuerung](#)

## 4.5 Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG): Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern

Mit der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) werden Maßnahmen für mehr Energieeffizienz in Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie u. a. der Austausch alter, fossiler Heizungen durch Heizungen auf Basis erneuerbarer Energien gefördert. Der Einbau einer Wärmepumpe im Bestand wird innerhalb der „Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG)“ als energetische Einzelmaßnahme (BEG EM) gefördert. Förderberechtigt sind neben Privatpersonen, Kommunen und gemeinnützigen Einrichtungen auch Unternehmen. Wohnungseigentümergeinschaften sind ebenfalls antragsberechtigt; sie müssen gemeinschaftlich einen Antrag stellen.

Systemische Maßnahmen, mit denen bei der Sanierung von Gebäuden eine Effizienzgebäudestufe erreicht wird, werden in der BEG WG und BEG NWG gefördert. Ein Heizungstausch wird in der BEG Einzelmaßnahmen (BEG EM) gefördert. Entscheiden sich Wohnungsunternehmen, ihre Gebäude mit effizienten, elektrisch angetriebenen Wärmepumpen auszustatten, können sie hier eine Förderung beantragen. Bei bivalenten Kombi-/Kompaktgeräten werden die anteiligen Ausgaben für Wärmepumpen gefördert.

Hier die Förderbedingungen im Überblick:

- Bei Einbau einer Wärmepumpe erfolgen sowohl die Zuschussvariante als auch der Ergänzungskredit über die KfW-Förderquote:

- Grundförderung (für alle Investoren): 30 %
- Effizienzbonus von 5 %, wenn
  - als Wärmequelle Wasser, Erdreich oder Abwasser erschlossen wird oder
  - ein natürliches Kältemittel eingesetzt wird (als natürliche Kältemittel werden beispielsweise anerkannt: R290 Propan, R600a Isobutan, R1270 Propen, R717 Ammoniak, R718 Wasser, R744 Kohlendioxid)
- Klimageschwindigkeitsbonus von 20 %: Beim Austausch einer funktionstüchtigen Öl-, Kohle-, Gasetagen- oder Nachtspeicherheizung egal welchen Alters oder einer mindestens 20 Jahre alten Gas- oder Biomasseheizung gibt es bis 31.12.2028 einen Bonus von 20 %, ab dem 01.01.2029 17 %. Danach sinkt der Bonus alle zwei Jahre um 3 %. Der Bonus wird nur selbstnutzenden Eigentümern bzw. Eigentümerinnen gewährt.
- Einkommensbonus von 30 % für selbstnutzende Eigentümer bzw. Eigentümerinnen mit einem zu versteuernden Haushaltsjahreseinkommen von bis zu 40.000 Euro

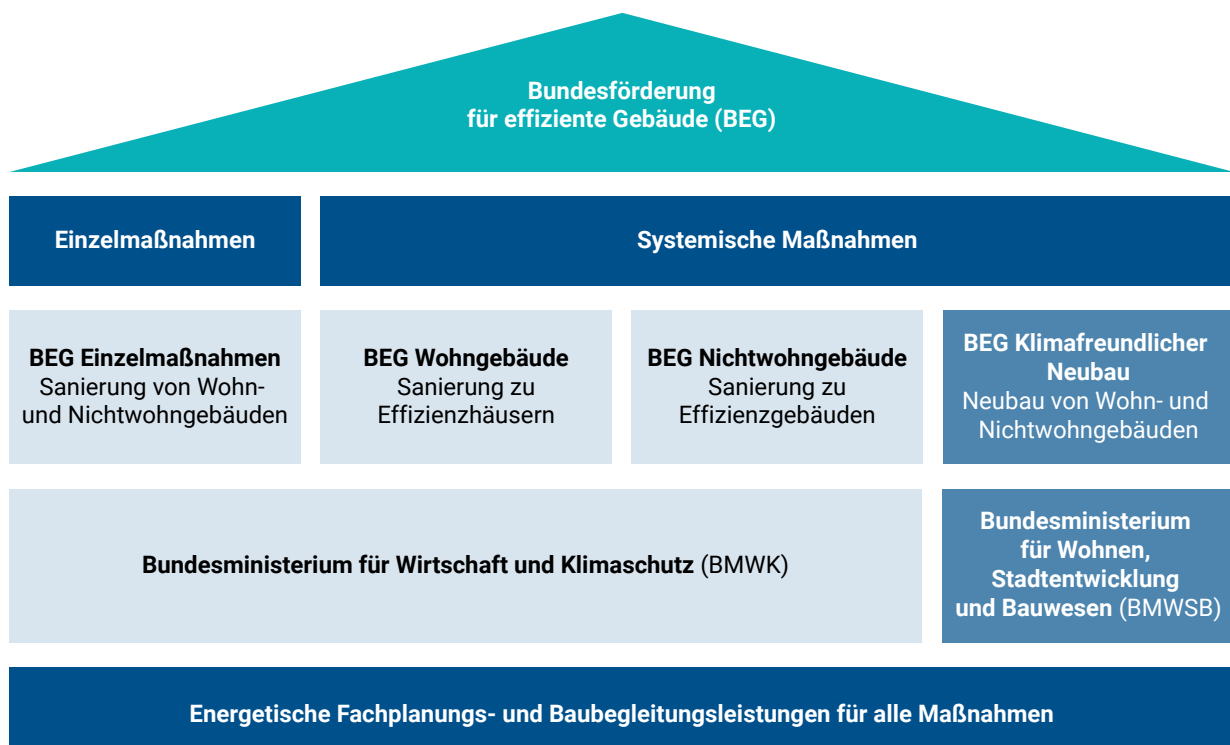


Abb. 35: Struktur der BEG

|                                                     | Wärmepumpen <sup>1</sup><br>(WP) | Biomasse-<br>heizungen <sup>1/3</sup> | Solarthermische-<br>Anlage <sup>1</sup> | Brennstoffzellen-<br>heizung <sup>1</sup> |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Zuschuss</b>                                     | 30 %                             | 30 %                                  | 30 %                                    | 30 %                                      |
| <b>Klimageschwindig-<br/>keitsbonus<sup>4</sup></b> | + max. 20 % <sup>2</sup>         | + max. 20 % <sup>2</sup>              | + max. 20 % <sup>2</sup>                | + max. 20 % <sup>2</sup>                  |
| <b>Einkommensbonus<sup>4</sup></b>                  | +30 %                            | +30 %                                 | +30 %                                   | +30 %                                     |
| <b>Effizienzbonus</b>                               | +5 %                             |                                       |                                         |                                           |

<sup>1</sup> Max. 70 % Förderung in der Summe aus Zuschuss und Boni.

<sup>2</sup> Ab 01.01.2029: 17 Prozent, danach Absinken alle zwei Jahre um 3 %.

<sup>3</sup> Emissionsminderungszuschlag: 2.500 € (pauschal).

<sup>4</sup> Gilt nur für selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer.

Abb. 36: Übersicht der Einzelmaßnahmen

Der Einkommens- und Klimageschwindigkeitsbonus wird nur selbstnutzenden Eigentümern und Eigentümerinnen gewährt.

Höchstgrenzen der förderfähigen Ausgaben pro Gebäude:

- 30.000 Euro für 1. Wohneinheit (WE)
- jeweils 15.000 Euro für 2. bis 6. WE
- jeweils 8.000 Euro ab der 7. WE
- Wenn nicht alle WE eines Gebäudes betroffen sind, ist der anteilige Höchstbetrag einzuhalten. Der Höchstbetrag pro Gebäude verteilt sich auf alle WE zu gleichen Teilen.
- Die Höchstgrenzen der förderfähigen Ausgaben für Heizungstausch einerseits und weitere Effizienzmaßnahmen andererseits sind additiv.
- Die Höchstgrenze kann für den Heizungstausch nur einmal pro Gebäude ausgeschöpft werden.

Um die Förderung zu erhalten, müssen die Maßnahmen mit mehr als 50 % („überwiegend“) einem der folgenden Zwecke dienen:

- Warmwasserbereitung
- Raumheizung
- kombinierte Warmwasserbereitung und Raumheizung
- solare Kälteerzeugung
- der Zuführung der Wärme oder solaren Kälte in ein Gebäudenetz

Die Wohneinheiten müssen nach der Sanierung zu 65 % durch erneuerbare Energien beheizt werden. Weitere Details werden in den „Technischen FAQ – BEG EM“ erwähnt.

Die BEG fördert nur Anlagen, die bestimmte technische Qualitätskriterien erfüllen und einen Prüf/Effizienznachweis haben. Diese können auf der sogenannten Positivliste eingesehen werden („Liste der förderfähigen Wärmepumpenanlagen“).

### Weitere Informationen

- [Übersicht, Struktur und Eckdaten zum BEG](#)
- [Passende Förderprogramme für Unternehmen](#)
- [FAQ zu den Anpassungen](#)
- [Neue Richtlinie BEG EM](#)
- [Fördermittelrechner des BWP](#)

# 5 Praxisbeispiele

## Wärmepumpen-Kessel-Hybridanlage vor und nach Sanierung

### Neupositionierung und Steigerung Wohnwert durch Innovation

#### Motivation

Der marode Zustand des Gebäudes erforderte Handlungsbedarf, um Leerstand zu vermeiden. Gleichzeitig strebte die Wohnungsgesellschaft Adorf mbH im Vogtland in Sachsen eine Neupositionierung als innovativer und moderner Vermieter an. Mit Mut und Risikobereitschaft nahm sie am Forschungsprojekt zur nachhaltigen Beheizung von Mehrfamilienhäusern (LowEx-Bestand) teil. Unterstützt wurde sie durch die Bundesförderung innerhalb des Zukunftsprojektes „Adorf anders“.



Abb. 37: Speicher und Wärmepumpengerät



Abb. 38: Dezentrale Lüftungseinheiten integriert in Dämmelemente



Abb. 39: Gebäude vor Sanierung mit Wärmepumpen-Außenluft-Einheit



Abb. 40: Gebäude nach Sanierung

#### Umsetzung und Ergebnisse

**Vor Sanierung der Gebäudehülle:** Der Austausch von 70 % der alten Heizkörper und eine Anpassung der Heizkurve ermöglichte eine Absenkung der Heizkreistemperatur. Bei einer Außenlufttemperatur von 0 °C konnte die Vorlauftemperatur von 50 auf 43 °C reduziert werden.

**Nach Sanierung der Gebäudehülle:** Die Sanierung wurde im bewohnten Zustand umgesetzt. Durch den verringerten Heizwärmebedarf nach Sanierung der Gebäudehülle und integrierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist der Gaskesselbetrieb für die Raumheizung nicht mehr erforderlich, diese wird komplett von der Wärmepumpe bereitgestellt. Der Gaskessel übernimmt weiterhin die Trinkwarmwasser-Erzeugung. Die Heizkreistemperatur konnte nach der Sanierung nochmals gesenkt werden, sodass sich die Effizienz der Wärmepumpenanlage erhöhte von Arbeitszahl 3,0 (vor der Sanierung) auf im Mittel 3,5 (nach der Sanierung) bei Außenlufttemperatur von +5 °C.

#### Gebäude

**Größe:** ein Gebäude mit fünf Wohneinheiten, beheizte Wohnfläche: 280 m<sup>2</sup>

**Lage:** Ortsrandlage Adorf, erhöhte ruhige Lage 450 Meter über NN, ländlich geprägt

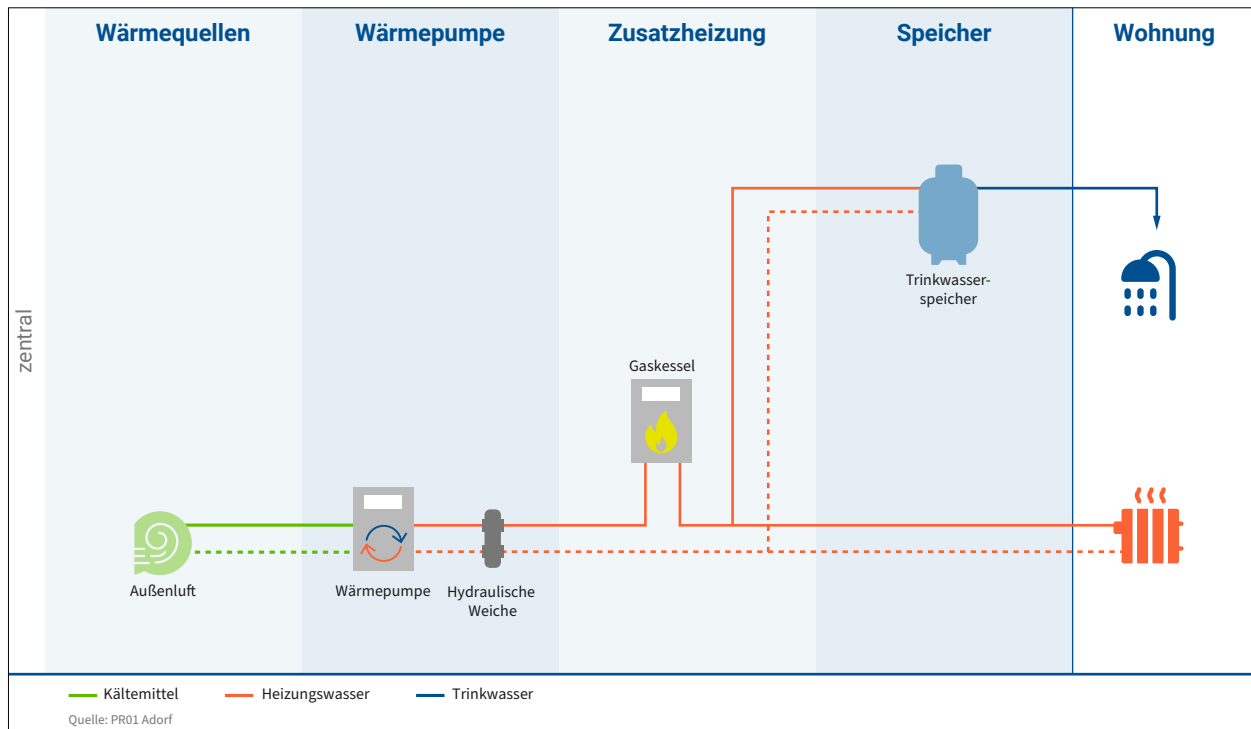
#### Energetischer Zustand:

- **vor Sanierung:** Baujahr 1962, Heizwärmeverbrauch: 216 kWh/m<sup>2</sup>a, 1993 Einbau Niedertemperatur-Gaskessel, Umrüstung Wärmepumpen-Kessel-Hybridanlage 2022 vor Sanierung
- **nach Sanierung:** Herbst 2021 Gebäudehüllsanierung mit Dachdämmung, WDVS 20 cm mit fassadenintegrierter Lüftung und neuen 3-fach-Isolierglasfenstern, Heizwärmebedarf: 50 kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Steuerung und Fernüberwachung:** Die Hybridanlage kann gezielt CO<sub>2</sub>- bzw. betriebskostenoptimiert gesteuert werden. Dazu müssen Vertragspreise für Strom und Erdgas hinterlegt werden. Die Anlagenfernüberwachung durch eine lokale Heizungsfirma vereinfacht die technische Betriebsführung für das Wohnungsunternehmen. Das Heizungsunternehmen erhält Statusmeldungen der Anlage über Störungen. Die Mietenden erhalten Informationen und Anreize für Verhaltensanpassungen. Dadurch wird der Betrieb der Anlage optimiert.

**Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben:** „LowEx im Bestand“. Das Forschungsvorhaben ist gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe/zusätzlicher Wärmeerzeuger:** eine Außenluft-Wärmepumpe mit thermischer Leistung 3–11 kW<sub>th</sub> und zusätzlichem Gas-Brennwertkessel

**Betriebsart:** hybrid; Trinkwassererwärmung über Kessel; Raumheizung im teilparallelen Betrieb von Gaskessel und Wärmepumpe

**Wärmequelle:** Außenluft

**Trinkwarmwasser:** zentral, 65 °C, Zirkulation, Legionellen-schaltung

**Besonderheiten:** fassadenintegriertes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung (Wartung erfolgt über Außenfassade ohne Wohnungszutritt)

## Lessons Learned

**Offenheit für Innovation durch intensive Kommunikation:** Skepsis gegenüber innovativer Technik wird durch Information und Knowhow-Aufbau überwunden, z. B. durch Schulungen der Herstellerfirmen für den lokalen Handwerksbetrieb. Die intensive Einbindung der Mietenden, z. B. durch Feedback zur Lüftungsregelung, ergänzte die Entwicklung von Innovation und schaffte Akzeptanz bei den Mietenden.

**Geräuscharmer Betrieb:** Die Außeneinheit der Wärmepumpe wurde vor einer fensterlosen Fassade platziert, zudem ist das Modell geräuscharm. Der Betrieb wird von den Bewoh-

nerinnen und Bewohnern als leise empfunden; es sind keine weiteren Maßnahmen zum Schallschutz nötig.

**Wohnwertsteigerung durch nachhaltiges Konzept:** Die Mietenden sind zufrieden mit dem innovativen Konzept und die Nachfrage von Mietinteressenten ist gestiegen. Das Projekt liefert einen wichtigen Beitrag zur Profilbildung der Wohnungsgesellschaft als modernes Unternehmen mit Strahlkraft in die Region.

# Luft-Luft-Wärmepumpen als Ersatz für Gasetagenheizungen

## Dezentrale, wohnungsweise Umstellung der Wärmeerzeuger

### Motivation

Die LEG Immobilien SE aus Düsseldorf ist mit 167.000 Mietwohnungen im Segment „bezahlbares Wohnen“ und rund 500.000 Bewohnerinnen und Bewohnern ein großes börsennotiertes Wohnungsunternehmen. In den Wohnungsbeständen besteht ein signifikanter Anteil von dezentralen Wärmeerzeugern – im Kerngebiet Nordrhein-Westfalen werden ca. 15 % der Wohnungen dezentral beheizt. Um für diese Wohnungen Lösungen zur Dekarbonisierung zu erarbeiten – bei möglichst geringer finanzieller Belastung für die Mietenden –, hat die LEG den Einsatz von Luft-Luft-Wärmepumpen in Form von Multi-Splitgeräten getestet. Motivation für den Einsatz dieser bei Einsatz von Grünstrom CO<sub>2</sub>-freien Technik ist, dass keine Zentralisierung der Wärmeversorgung mit kostenaufwendiger Strangverlegung erfolgen muss und eine schnelle Umrüstung im bewohnten Bestand, gerade im Havariefall, umgesetzt werden kann.

### Gebäude

**Größe:** Umsetzung in neun Pilotgebäuden mit Wohnungen von 39 bis 80 m<sup>2</sup> Wohnfläche

**Lage:** Duisburg und Leverkusen

**Energetischer Zustand:** unterschiedlich, verschiedene Baualtersklassen, unterschiedliche Sanierungsstände

- **Ausgangszustand:** dezentrale Wärmeversorgung, häufig Gas-Kombithermen, aber auch Einzelöfen
- **Maßnahmen:** 2022/2023 Rückbau der vorhandenen Heizung, Installation der Splitgeräte, üblicherweise eine Außeneinheit mit drei bis vier Inneneinheiten



Abb. 41: Inneneinheit des Splitgeräts



Abb. 42: Installierte Außeneinheiten an Demonstrationsgebäuden



Abb. 43: Einzelnes Außengerät

### Umsetzung und Ergebnisse

**Umrüstung mit Außen- und Inneneinheiten:** Eine Ausstattung der Wohnungen mit Inneneinheiten, die über den Kältekreislauf mit dem Außengerät verbunden sind, ist im bewohnten Zustand in ein bis zwei Tagen möglich. Die Installation erfolgt üblicherweise über der Tür (Abbildung 41). Für drei bis vier Inneneinheiten erfolgt eine Installation eines Außengerätes an der Außenfassade zur Erschließung der Außenluft als Wärmequelle über Ventilatoren.

**Sonderlösung für Bäder nötig:** Die Inneneinheiten der Splitgeräte sind aufgrund der Feuchte nicht für Sanitärräume geeignet. Daher sind Sonderlösungen für Bäder nötig (z. B. Infrarotstrahler).

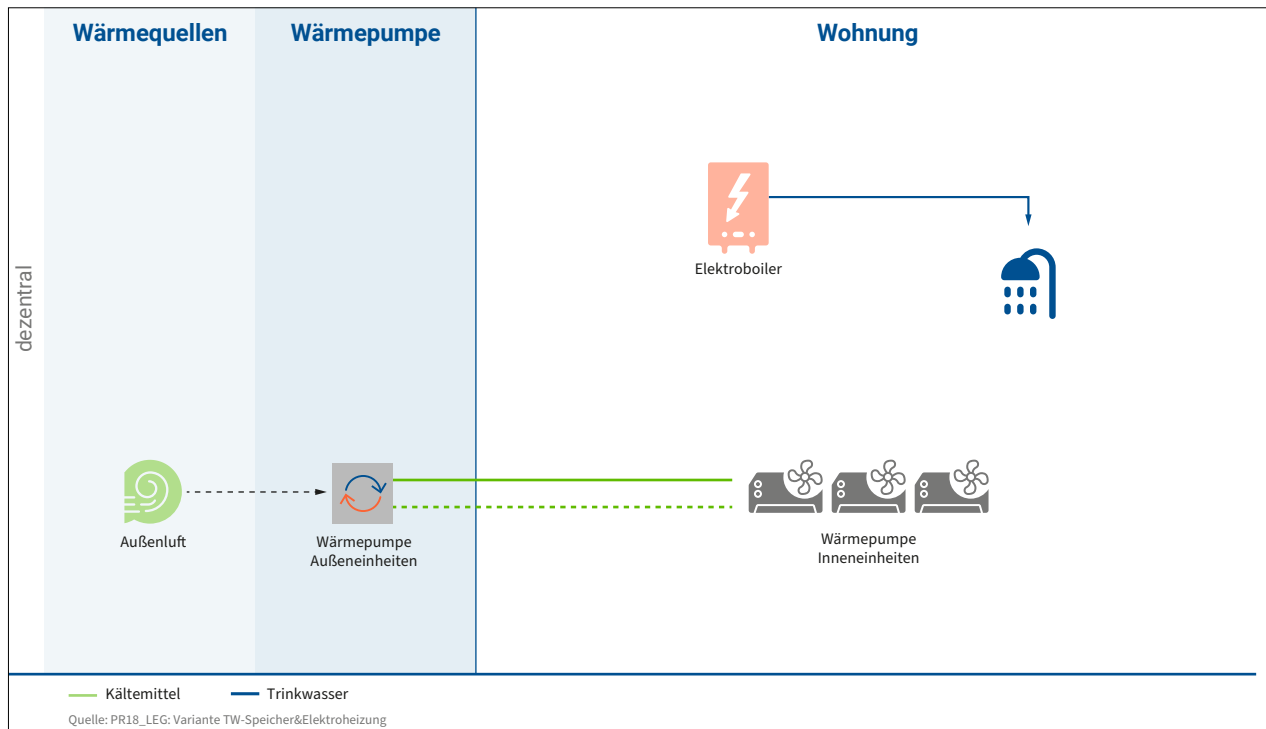
**Speicherlösung für Trinkwassererwärmung:** Die Trinkwassererwärmung erfordert andere Lösungen. Für Trinkwasser-Wärmepumpen ist kein Platz vorhanden. Präferiert wurden elektrische Durchlauferhitzer. Die elektrischen Anschlüsse in den Wohnungen sind aber in der Regel nicht für die nötige Leistung (21 kW) ausgelegt, sodass Speicherlösungen eingesetzt wurden (80-Liter-Elektroboiler mit 2 bis 6 kW).

**Kondensatablauf für Kühlmöglichkeit im Sommer:** Sollen die Geräte im Sommer auch zum Kühlen verwendet werden, muss der Ablauf von Kondensat sichergestellt werden (z. B. über Kondensatpumpen). Da der Strom für Kühlung nicht als Betriebskosten vom Vermietenden abgerechnet werden kann, ist die Kühlmöglichkeit vorerst nur dann freigeschaltet, wenn der Stromanschluss über die Mietenden erfolgt.

**Effizienz der Anlagen:** Die Beheizung des Raumes erfolgt direkt über Luftzirkulation statt über den Wasserkreislauf in den Radiatoren. Das erfordert geringere Vorlauftemperaturen, die eine höhere Effizienz ermöglichen. Jahresarbeitszahlen von über 3,5 werden erwartet. Die Planungen sehen eine warmmietenneutrale Umstellung für die Mietenden vor. Eine Fernwartung und Effizienzüberwachung werden angestrebt.

**Technische Einweisung der Mietenden:** Der Umgang mit der neuen Technik und den Steuerungsmöglichkeiten (Fernbedienung, App usw.) im Innenraum wurde den Mietenden erläutert.

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe/zusätzlicher Wärmeerzeuger:** Luft-Luft-Splitgeräte, elektrische Anschlussleistung  $1,8\text{--}2,8\text{ kW}_{\text{elektr}}$  mit Heizleistung  $6,4\text{--}10,5\text{ kW}_{\text{therm}}$

**Betriebsart:** monovalent

**Wärmequelle:** Außenluft

**Trinkwarmwasser:** dezentral, Elektroboiler bzw. elektrische Durchlauferhitzer

**Besonderheiten:** Sonderlösungen für Bäder (z. B. Infrarotstrahler)

## Lessons Learned

**Aufbau Installationsteam, Qualifikation und Standardisierung:** Die größte Herausforderung für die Umsetzung war die Verfügbarkeit von Handwerker:innen, daher wurde ein eigenes Team mit den nötigen Qualifikationen (Kälteschein) aufgebaut. 2023 wurde mit einem regionalen Fachbetrieb ein Joint Venture für den Roll-out gegründet. Der Installations- und Wartungsprozess soll standardisiert werden, um die Lösung perspektivisch über ein Contracting anbieten zu können.

**Umfrageergebnisse ergaben Akzeptanz in der Mieterschaft:** Die Mietenden waren überwiegend sehr zufrieden. Die Heizung über die Luft anstatt über Heizkörper wird als leise, schnell und angenehm empfunden. Die Außeneinheiten

werden häufiger wahrgenommen, hier sollen weitere Optimierungsmaßnahmen den Schallschutz verbessern. Weiterhin werden Maßnahmen umgesetzt, um die Optik und Integration in den Bestand zu verbessern und um Vandalismus zu verhindern.

**Vom Piloten zum Roll-out:** Erste Pilotinstallationen liefen erfolgreich und konnten für 10 bis 12 TEuro pro Wohnung (inkl. elektrischer Hausanschlussinstallation und Trinkwarmwasser-Lösung) umgesetzt werden, sodass die LEG die Umsetzung weiter standardisieren und in größerem Umfang ausrollen möchte. Ab 2027 sollen jährlich mehrere Tausend Wohneinheiten mit Luft-Luft-Wärmepumpen ausgestattet werden.

# Grundwasser-Wärmepumpe im Contractingmodell

## Ersatz einer 18 Jahre alten Wärmepumpe mit Effizienzgarantie

### Motivation

Die Eigentümergemeinschaft entschied sich bereits vor über 20 Jahren bei Errichtung der Gebäude für den Einsatz einer Grundwasser-Wärmepumpe zur Wärmeversorgung. Seitdem wurde die Anlage über ein Contractingmodell betrieben. Im Winter 2020 wurde die 18 Jahre alte Anlage umgerüstet. Eine neue Contractingphase war notwendig, weil für die bestehende Wärmepumpenanlage keine Ersatzteile mehr lieferbar waren und Umbauarbeiten somit notwendig wurden. Die bestehende Altanlage wurde ausgebaut und durch eine neue Anlage ersetzt. Innerhalb des Forschungsprojektes „SanBest“ wurde eine Betriebsanalyse vorgenommen und die Entwicklung eines Geschäftsmodells mit Effizienzgarantie unterstützt.



Abb. 44: HT- und NT-Wärmepumpe



Abb. 45: Zentrale Trinkwasserspeicher

### Gebäude

**Größe:** zwei Gebäude mit 11 und 14 Wohneinheiten; zwei Reihenhauszeilen mit je fünf Häusern und zwei Doppelhäusern, insgesamt 43 Wohneinheiten mit 3.430 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche

**Lage:** Freiburg, innerstädtisches Wohngebiet

**Energetischer Zustand:** Baujahr Gebäude 2002, Gebäudehülle gedämmt mit 20 cm Wärmedämmverbundsystem, Fußbodenheizung, Heizwärmebedarf: ca. 60 kWh/m<sup>2</sup>a, Heizung und Trinkwarmwasser-Erwärmung zentral über Grundwasser-Wärmepumpe

**Maßnahmen:** 2020 Ersatz von vorhandener Grundwasser-Wärmepumpe durch zwei neue Grundwasser-Wärmepumpen und Optimierung des Heizsystems



Abb. 46 und 47: Die Wärmepumpen versorgen mehrere Gebäude mit Heizwärme und warmem Trinkwasser



### Umsetzung und Ergebnisse

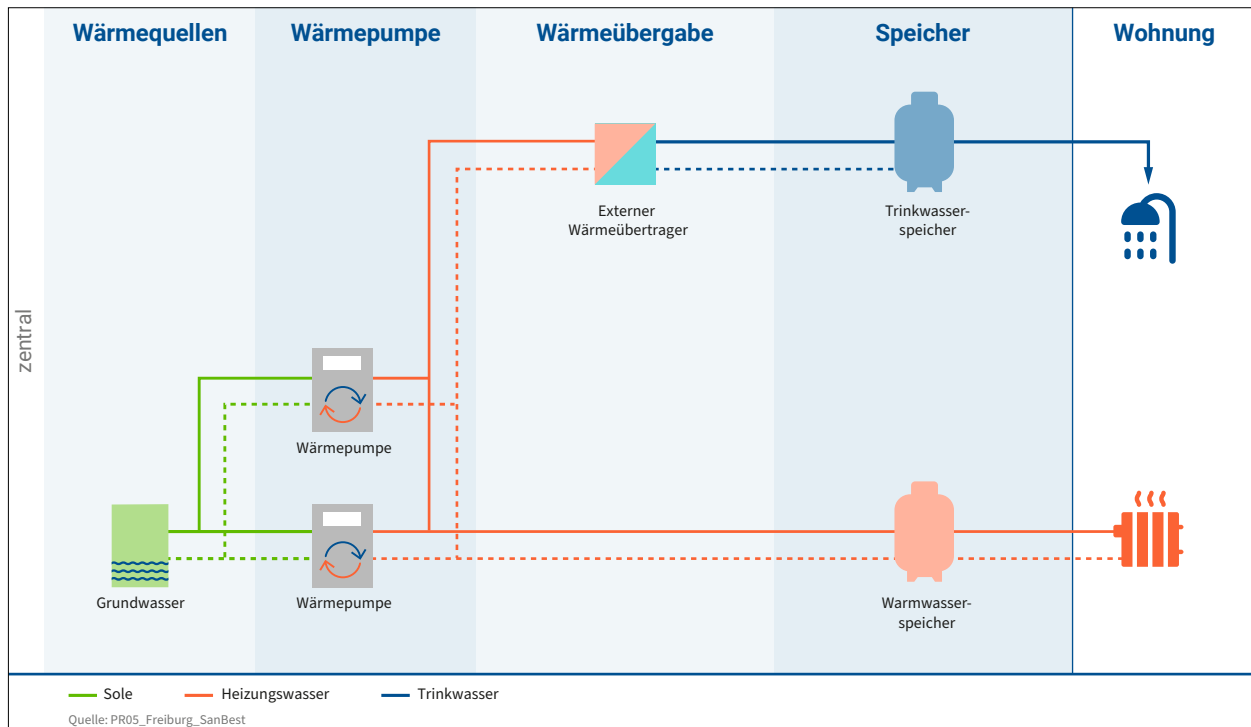
**Neue Wärmepumpenanlage zur Nutzung des hohen Effizienzpotenzials:** Die Betriebsanalyse der ursprünglichen Wärmepumpenanlage zeigte eine unzureichende Effizienz von 1,9 für die JAZ. Dabei wurde das Trinkwarmwasser überwiegend über den Heizstab erzeugt und das hohe Effizienzpotenzial der Anlage durch hohe Grundwasser- und niedrige Vorlauftemperaturen (Fußbodenheizung) nicht genutzt. Das neue System besteht aus zwei Grundwasser-Wärmepumpen; eine primär für Heizwärme (Niedertemperatur-Wärme (NT)) und eine zur Erzeugung von Hochtemperatur-Wärme (HT) zur Trinkwassererwärmung. Der Umbau erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurden die alten Komponenten ausgebaut bei gleichzeitigem Heizbetrieb über einen Wärmecontainer, dann wurde die neue Wärmepumpenanlage eingebaut.

**Ertüchtigung der Brunnenanlage:** Es erfolgte eine Nachbohrung der Brunnenanlage. Die Brunnenpumpe zur Förderung des Grundwassers wies einen hohen Stromverbrauch auf, da diese mit nur einer Leistungsstufe von 5 kW ausgestattet war. Somit erfolgte keine Anpassung des Fördervolumens an den Wärmebedarf. Die neuen Pumpen werden drehzahlregelt

und haben im Mittel einen elektrischen Leistungsbezug von 0,5 kW (NT-Wärmepumpe) und 0,2 kW (HT-Wärmepumpe). Vorgesehen ist die Möglichkeit zur freien Kühlung über das Brunnenwasser.

**Betriebsoptimierung der neuen Anlage:** Die Betriebsanalyse der neuen Wärmepumpenanlage ergab weiteres Optimierungspotenzial. Die NT-Wärmepumpe, primär zur Deckung der Heizwärme, war überdimensioniert, d. h., die thermische Leistung der Wärmepumpe wurde zu hoch gewählt. Das führt vor allem in der Übergangszeit (Frühling und Herbst) zu häufigem An- und Ausschalten (Takten) der Anlage und einem ineffizienten Betrieb. Die Leistungsregelung der Kompressoren (Verdichter) in den Wärmepumpen ist nur zweistufig (50 und 100 % der Regelung) und kann dem Wärmebedarf nicht angepasst werden wie bei drehzahlgeregelten Verdichtern. Die gemessenen Arbeitszahlen der Wärmepumpen liegen (im Mittel) mit 5,4 für Heizung und 2,7 für die Trinkwassererwärmung aber bereits auf hohem Niveau.

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe/zusätzlicher Wärmeerzeuger:** Niedertemperatur-(NT-)Wärmepumpe vorwiegend für Heizung (max. 67 °C), Leistung: 146 kWth (W10/W35), Hochtemperatur-(HT-)Wärmepumpe vorwiegend für Trinkwarmwasser (max. 75 °C), Leistung: 77 kWth (W10/W35), zweistufige Leistungsregelung der Verdichter, 900-Liter-Heizungspufferspeicher

**Betriebsart:** monovalent mit Heizstab

**Wärmequelle:** Grundwasser über Saug- und Schluckbrunnen

**Trinkwarmwasser:** zwei zentrale Trinkwarmwasser-Speicher à 900 Liter, mit Zirkulation

**Besonderheiten:** Betrieb der Anlage im Contracting mit „Effizienzgarantie“

**Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben:** Das Forschungsvorhaben „SanBest: Sanierung und integrierte Energieversorgung von Bestandsgebäuden in der Wohnungswirtschaft“ ist gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

## Lessons Learned

**Dimensionierung der Komponenten an Bedarf anpassen:** Bei Wärmepumpenanlagen hat die Dimensionierung der Komponenten einen großen Einfluss auf die Effizienz. Insbesondere die thermische Leistung der Wärmepumpe sollte bei zweistufig geregelten Verdichtern nicht zu groß gewählt werden. Die Leistungsanpassung kann gegenüber modulierenden Verdichtern nicht stufenlos erfolgen. Bei überdimensionierten Anlagen erfolgt ein An- und Ausschalten (Takten) der Anlage, was zu ineffizientem Betrieb und vorzeitigem Verschleiß führt.

**Schallerzeugung und -übertragung verringern:** Durch die Unterbringung der Anlage im geschlossenen Raum und die konsequente Beachtung der Entkopplung der Anlage vom Gebäude wird die Übertragung von Schallwellen durch den Baukörper verhindert.

**Contracting mit Effizienzgarantie:** Der Betreiber der Anlage garantiert gegenüber dem Contractor eine JAZ von 4,0 für den Heizbetrieb und von 2,5 für die Trinkwassererwärmung.

# Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Wärme aus Erdsonden

## Net Zero-Standard mit serieller Sanierung, Wärmepumpe und Photovoltaik (PV)

### Motivation

Mit 556.000 Wohnungen ist Vonovia der größte Wohnungskonzern in Deutschland. Um das Portfolio bis 2045 in die CO<sub>2</sub>-Neutralität zu führen, hat das Unternehmen nach Lösungen gesucht, die die energetische Modernisierung beschleunigen. Dazu zählt die serielle Sanierung von drei Nachkriegsgebäuden in Bochum nach dem Energiesprong-Prinzip, die Ende 2021 bis Juli 2022 als Pilotvorhaben umgesetzt wurde. Dabei sollte die Umsetzbarkeit des innovativen, ganzheitlichen Konzepts für die Sanierung im bewohnten Zustand sowie die Übertragbarkeit auf eine große Anzahl vorhandener, älterer Gebäude erprobt werden.

### Gebäude

**Größe:** drei Gebäude mit 24 Wohnungen und einer Wohnfläche von insgesamt 1.164 m<sup>2</sup>

**Lage:** Bochum, Katharinastraße

### Energetischer Zustand:

- **vor Sanierung:** Baujahr 1955, Energieverbrauch für Heizen und Trinkwarmwasser: ca. 124 kWh/m<sup>2</sup>a, Gaskessel
- **nach Sanierung:** vorgefertigte Fassadenelemente in Holzständerbauweise mit Einblasdämmung wurden auf die vorhandene Fassade montiert und die oberste Geschossdecke gedämmt, Energiebedarf für Heizen und Trinkwarmwasser: ca. 79 kWh/m<sup>2</sup>a



Abb. 48: Gebäude vor Sanierung



Abb. 49: Gebäude nach Sanierung

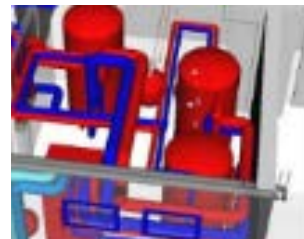


Abb. 50: Visualisierung Anordnung Wärmepumpen und Speicher im Kellerraum



Abb. 51: Sole-Wasser-Wärmepumpe

### Umsetzung und Ergebnisse

#### Minimierung von Wärmebedarf und Vorlauftemperatur:

Durch Maßnahmen an der Gebäudehülle wurde der Wärmebedarf gesenkt. Alle Heizkörper wurden gewechselt und somit eine Absenkung der Vorlauftemperatur auf 45 °C erreicht.

**Variantenvergleich mit verschiedenen Wärmequellen:** In der Konzeptionierungsphase wurden Außenluft und Erdreich als mögliche Wärmequellen verglichen. Die Bodenuntersuchungen und Daten des webbasierten Geothermiekatasters ergaben eine hohe Effizienz des Systems durch die Wärmequelle Erdreich mit höheren Temperaturen im Winter.

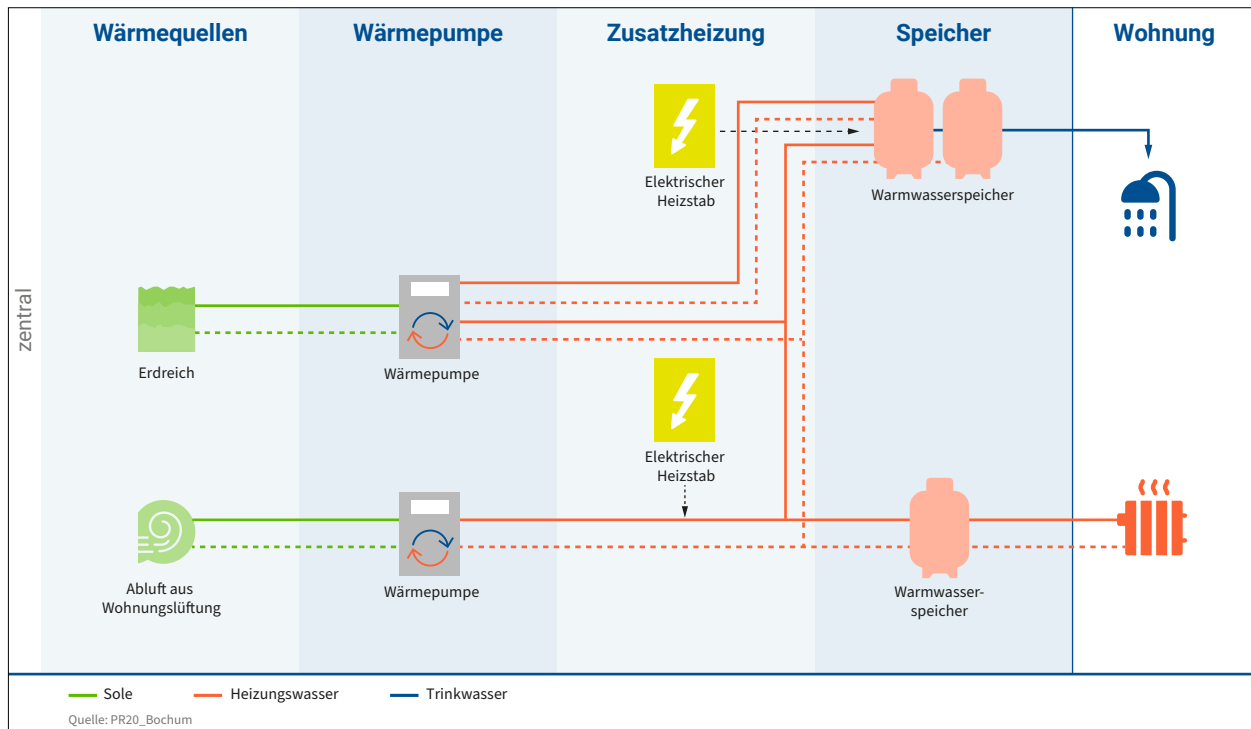
Die Abluft der Wohnungen wird über die nicht mehr benötigten Kamine geführt und über die Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung im Dach dem Solekreis als weitere Wärmequelle der kleineren Wärmepumpe zugeführt.

**Umbau im bewohnten Zustand:** Parallel zum alten, bestehenden Heizraum wurde ein neuer Raum für die Wärmepumpenanlage aufgebaut. Bedingung für die Umstellung der Wärmeversorgung auf die neue Anlage war die Fertigstellung der Gebäudehülle, denn die neue Wärmepumpenanlage ist auf den verringerten Wärmebedarf angepasst. Der Umstieg auf das neue Wärmepumpensystem erfolgte innerhalb eines Tages.

**Kommunikation mit Mietenden:** Die Mietenden wurden durch leicht verständliche Informationen (z. B. Flyer) und Veranstaltungen informiert. Ein Härtefallmanagement wurde eingeführt, um der Skepsis von Mietenden gegenüber der Baustellsituation im bewohnten Zustand zu begegnen. Im Ergebnis gab es kein negatives Feedback der Mieterschaft.

**Weitere Ergebnisse:** [Energiesprong-Projekt Katharinastraße](#)

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe und Wärmequelle:** Sole-Wasser-Wärmepumpe mit max. thermischer Leistung von 44 kWth und Wärmequelle Erdreich über Erdsonden mit 8 Bohrungen à 99 Meter Tiefe und unterstützende Sole-Wasser-Wärmepumpe (8 kWth) mit Wärmequelle Abluft aus Lüftungsanlage

**Betriebsweise:** monoenergetische Betriebsweise mit zusätzlichem E-Heizstab und Bivalenzpunkt  $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  für Deckungsanteil von 99,9 % durch Wärmepumpe

**Trinkwarmwasser:** zentral über Wärmepumpenanlage, mit Zirkulation, Legionellenschaltung

**Besonderheiten:** kontrollierte Wohnraumlüftung mit Frischluftzufuhr über passive Lüftung in Fensternähe und eine Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung im Dachgeschoss; Photovoltaikanlagen auf dem Dach versorgen die Gebäude mit Solarstrom

## Lessons Learned

**Klimaneutraler Net Zero-Standard:** Nach der Sanierung erzeugen die Photovoltaikanlagen der drei Häuser so viel Energie wie die Bewohnerinnen und Bewohner für Heizung, Warmwasser und Strom benötigen. Durch die Umstellung der Versorgung auf 100 % erneuerbare Energien reduzieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null.

**Vom Piloten zum Roll-out:** Das Pilotprojekt hat gezeigt, dass die serielle Sanierung mit vorfertigten Fassaden-, Dach- und Technikmodulen die Kosten und den Aufwand auf der

Baustelle reduziert, sodass die Energiewende im Bestand trotz Fachkräftemangels umgesetzt werden kann. Die Belastung der Mietenden wird auf ein Minimum reduziert. Die in Bochum gesammelten Erfahrungen dienen als Grundlage für weitere Sanierungen in ganz Deutschland. Umgesetzt werden zukünftig auch Konzepte mit Außenluft-Wärmepumpen.

# Wärmepumpen-Kessel-Hybridanlage mit Kombiquelle

## Kombiquelle aus Außenluft und Erdreich (Sonden)

### Motivation

Die Volkswohnung GmbH vermietet in Karlsruhe ca. 18.000 Wohnungen, wovon zwei Drittel mit Fernwärme versorgt werden. Für einige Gebäude im Stadtteil Durlach war kein Fernwärmegebiet vorgesehen. Für die Umstellung der über 25 Jahre alten Niedertemperatur-(NT-)Gaskessel auf eine nachhaltige und emissionsarme Wärmeversorgung wurde innerhalb des Forschungsvorhabens „Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach“ ein Quartierskonzept umgesetzt. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugt Wärme für einen Teil der Gebäude und Strom für den Betrieb von Wärmepumpenanlagen in zwei weiteren Gebäuden. Diese Gebäude wurden mit verschiedenen Wärmepumpensystemen ausgestattet, um unterschiedliche Lösungen zu demonstrieren. In diesem Beispiel werden die Ergebnisse und Erfahrungen mit der Kombination der Wärmequellen Erdreich und Außenluft als hybrides Wärmepumpensystem (Kaskade) dargestellt, gekoppelt mit einem Gas-Brennwertkessel zur Spitzenlastdeckung.



Abb. 52: Wärmepumpen im Keller



Abb. 53: Hydraulik der Quell-Erdschließung im Keller

### Umsetzung und Ergebnisse

**Senkung der Heizkreistemperaturen:** Raumweise Heizlastberechnungen und die Prüfung der Leistung vorhandener Heizkörper ergaben eine mögliche Absenkung der Heizkreistemperatur auf 55/45 °C. Dafür wurden 11 von 115 Heizkörpern (7 %) ausgetauscht und ein hydraulischer Abgleich vorgenommen.

**Entwicklung Mehrquellensystem:** Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden in diesem Gebäude eine Mehrquellenanlage und die notwendige Hydraulik entwickelt. Dabei wird die Umweltwärme der Außenluft und des Erdreichs über Erdsonden genutzt. Das solegeführte System ermöglicht die einzelne oder parallele Nutzung beider Quellen. Weiterhin sind Vorteile, dass Erdwärme zur Abtauung der vereisten Außenlufteinheit genutzt werden kann und die Regeneration des Erdreichs durch Wärme aus der Außenluft ermöglicht wird.

**Deckungsanteil und Effizienz des hybriden Systems:** Die Deckungsanteile der Wärmepumpen an der Wärmeversorgung sind durch die max. Temperaturen der Wärmepumpen von 63 °C limitiert. Die Auswertung der gemessenen Wärmemengen für die Jahre 2022/2023 ergibt einen Deckungsanteil für die

### Gebäude

**Größe:** Gebäude mit 30 Wohneinheiten, beheizte Wohnfläche: 2.200 m<sup>2</sup>

**Lage:** Karlsruhe, Ortsteil Durlach, Wohngebiet mit Zeilenbebauung

### Energetischer Zustand:

- **Ausgangszustand:** Baujahr 1963, energetische Sanierung 1995 auf U-Wert von 0,42 W/m<sup>2</sup>K, Wärmeversorgung zentral über NT-Gaskessel, Verbrauch für Heizwärme: ca. 55 kWh/m<sup>2</sup>a und Trinkwarmwasser: ca. 28 kWh/m<sup>2</sup>a
- **Maßnahmen:** 2021 selektiver Heizkörpertausch zur Absenkung der Heizkreistemperatur auf 55/45 °C, Einbau Wärmepumpensystem und Einbindung in Quartierskonzept mit Eigenstromversorgung über BHKW, neuer Gas-Brennwertkessel zur Spitzenlastdeckung



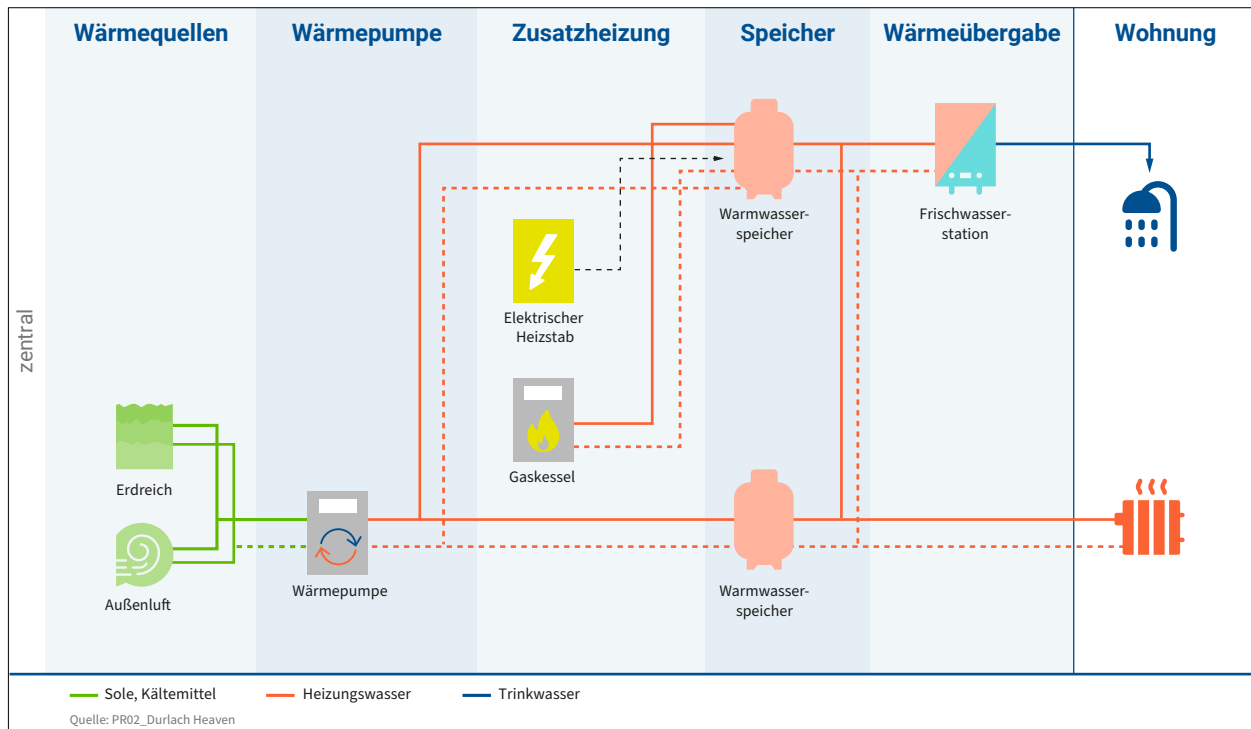
Abb. 54, 55, 56: Gebäude (li.) aus der Vogelperspektive, das angebaute Müllhaus mit Außenlufteinheit auf der Giebelseite (Mitte) und Montage der Erdwärmesonden (re.)

Wärmepumpen von 77 % und für den Gaskessel von 23 % mit einer Jahresarbeitszahl von 3,4 für das Gesamtsystem.

**Quartiers- und Contractingkonzept ermöglichen Kostenoptimierung und CO<sub>2</sub>-Minderung:** Die Wärmepumpe wird zum Teil mit Strom aus Eigenerzeugung des BHKW im Quartier versorgt. Die Wärmeerzeuger werden über ein Contractingmodell der Tochtergesellschaft Karlsruher Energieservice GmbH (KES) betrieben. Durch das Zusammenspiel der Wärmeversorgung im Quartier und die Einbindung von PV auf den Dächern wurden der Primärenergieeinsatz und die CO<sub>2</sub>-Emissionen signifikant reduziert. Die Wärmegestehungskosten im Quartier liegen für die Jahre 2022/2023 bei etwa 9 ct/kWh, die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei etwa 10 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> Nutzfläche.

**Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben:** [Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach](#) und [HEAVEN](#). Die Forschungsvorhaben sind gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe/zusätzlicher Wärmeerzeuger:** zwei Wärmepumpen (Kaskade): 42 + 29 kWth sowie Gas-Brennwertkessel zur Deckung von Spitzenlasten, 850-Liter-Heizungspufferspeicher

**Betriebsart:** zwei Wärmepumpen in Kaskadenschaltung, Hybridsystem mit Gaskessel: bivalent parallel

**Wärmequelle:** Außenluft und Erdreich: Außenlufteinheit und 18 Sondenbohrungen à 18 Meter, solegeführtes System

**Trinkwarmwasser:** zentrale Frischwasserstation mit Zirkulation, zwei Pufferspeicher à 850 Liter

## Lessons Learned

**Betriebsoptimierung durch Monitoring und Analyse:** Im ersten Betriebsjahr wurden viele Optimierungsmöglichkeiten durch ein Monitoring von Messdaten und deren Analyse erkannt. Es zeigten sich z. B. zu geringe Spreizungen der Temperaturen in den Heizkreisen beim Beladen der TWW-Speicher. Potenziale zur Senkung der Rücklauftemperaturen wurden ermittelt und Maßnahmen umgesetzt. Auch im optimalen Zusammenspiel der verschiedenen Wärmeerzeuger wurden im ersten Betriebsjahr Abweichungen zum Planungsstand festgestellt (zu hoher Deckungsanteil durch Gaskessel) und Anpassungen vorgenommen.

**Mehrquellensysteme haben hohes Potenzial für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen:** Die Kombination mehrerer Wärmequellen ermöglicht es, mehr erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung zu nutzen und somit eine Effizienzsteigerung herbeizuführen. Die Betriebsführung wird durch die

Einbindung mehrerer Quellen komplexer und bedarf einer Betriebsüberwachung für den Abgleich von Planungen und realem Betrieb.

**Messtechnik als Grundlage für Betriebsanalyse:** Auch beim Einsatz der Messtechnik bedarf es der Qualitätssicherung, z. B. beim korrekten Einbau von Zählern und bei störungsfreier Datenübertragung. Die Generierung und Verarbeitung von Messdaten ist herausfordernd und zwingende Voraussetzung für eine detaillierte Betriebsanalyse.

**Komfort für Bewohnerinnen und Bewohner:** Von den Bewohnerinnen und Bewohnern wird die neue Anlage gut angenommen – außer durch die Baumaßnahmen bei der Erschließung der Wärmequellen gab es für sie keine Veränderungen im Komfort.

# Hybridanlage mit Hochtemperatur-Wärmepumpe und Gaskessel

## Erschließung Wärmequelle mit Photovoltaisch-thermischen Kollektoren (PVT-Kollektoren)

### Motivation

Die Volkswohnung GmbH vermietet in Karlsruhe ca. 18.000 Wohnungen, wovon zwei Drittel mit Fernwärme versorgt werden. Für einige Gebäude im Stadtteil Durlach war kein Fernwärmegebiet vorgesehen. Für die Umstellung der über 25 Jahre alten Niedertemperatur-(NT-)Gaskessel auf eine nachhaltige und emissionsarme Wärmeversorgung wurde innerhalb des Forschungsvorhabens „Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach“ ein Quartierskonzept umgesetzt. Dabei erzeugt ein Blockheizkraftwerk (BHKW) Wärme für einen Teil der Gebäude und Strom für den Betrieb von Wärmepumpenanlagen in zwei weiteren Gebäuden. Diese Gebäude wurden dabei mit verschiedenen Wärmepumpensystemen ausgestattet, um unterschiedliche Lösungen zu demonstrieren. In diesem Beispiel werden die Ergebnisse und Erfahrungen mit der Wärmequellenerschließung über PVT-Kollektoren als hybrides Wärmepumpensystem dargestellt, gekoppelt mit einem Gas-Brennwertkessel zur Spitzenlastdeckung im Heizbetrieb.



Abb. 57: Wärmepumpe



Abb. 58: PVT-Kollektoren auf dem Dach des Gebäudes



Abb. 59 und 60: Gebäude mit PVT-Anlage auf dem Dach in Ost-West-Ausrichtung



### Gebäude

**Größe:** Gebäude mit 30 Wohneinheiten, beheizte Wohnfläche: 2.200 m<sup>2</sup>

**Lage:** Karlsruhe, Ortsteil Durlach, Wohngebiet mit Zeilenbebauung

### Energetischer Zustand:

- **Außangszustand:** Baujahr 1963, Sanierung Gebäudehülle 1995 auf U-Wert von 0,42 W/m<sup>2</sup>K, Wärmeversorgung zentral über NT-Gaskessel, Verbrauch für Heizwärme: ca. 59 kWh/m<sup>2</sup>a und für Trinkwarmwasser: ca. 32 kWh/m<sup>2</sup>a
- **Maßnahmen:** selektiver Heizkörpertausch zur Reduktion der Heizkreistemperatur, 2021 Einbau der Wärmepumpe und Einbindung in Quartierskonzept (Eigenstromversorgung über BHKW), neuer Gas-Brennwertkessel zur Spitzenlastdeckung

### Umsetzung und Ergebnisse

**Senkung der Heizkreistemperaturen:** Raumweise Heizlastberechnungen und die Prüfung der Leistung vorhandener Heizkörper ergaben eine mögliche Absenkung der Heizkreistemperatur auf 55/45 °C. Dafür wurden 9 % der Heizkörper getauscht und ein hydraulischer Abgleich vorgenommen.

**PVT als Strom- und Wärmequelle:** Die PVT-Kollektoren erzeugen Strom für die Mietenden und sammeln auf der gleichen Fläche die Wärme aus Solarstrahlung und Außenluft über den Kollektor, die über einen Solekreislauf zur Wärmepumpe transportiert wird. Im Sommer entstehen dabei hohe Soletemperaturen, die auf 20 °C reduziert werden, passend zur Größe des Verdampfers der Wärmepumpe. Im Winter sind die Temperaturen durch die Außenluftkopplung geringer.

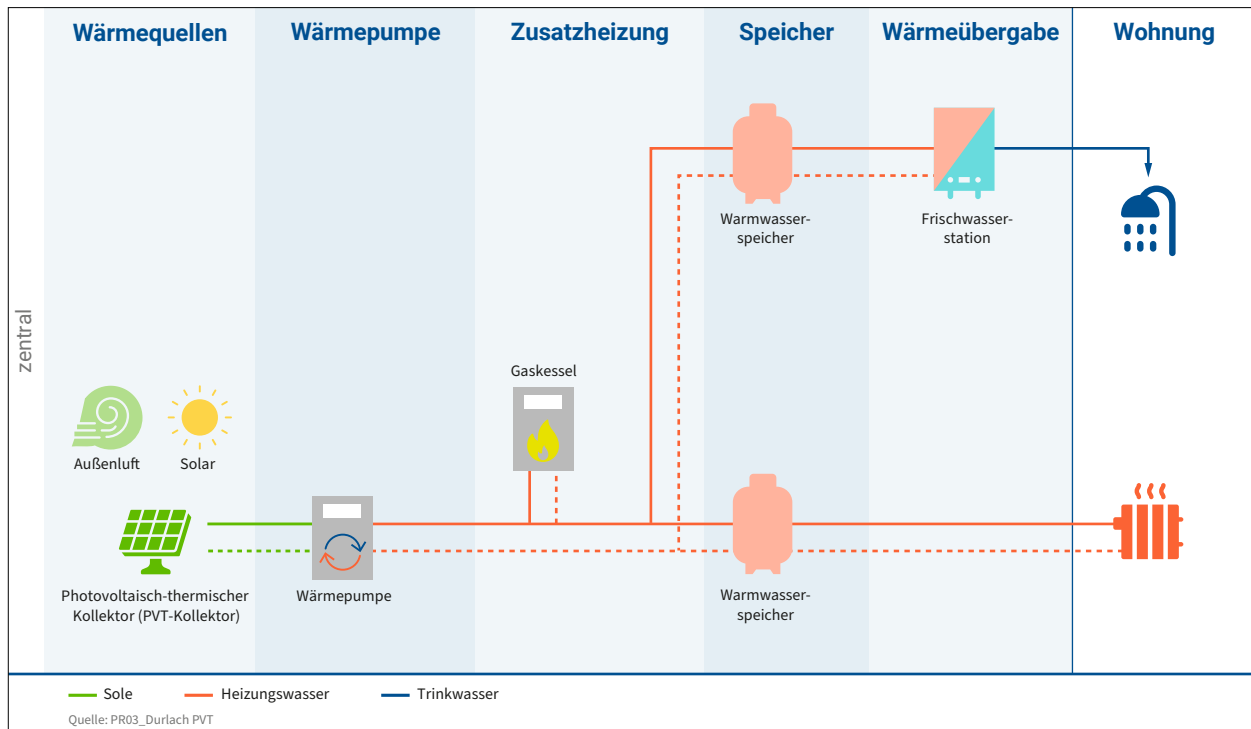
**Hochtemperatur-Wärmepumpe erzeugt Trinkwarmwasser im Sommer mit hoher Effizienz:** Die Wärmepumpe kann Temperaturen bis 75 °C erreichen. Somit ist eine Trinkwassererwärmung auf hohe Temperaturen möglich. Im Sommer wird

das Trinkwarmwasser allein durch die Wärmepumpe und mit hoher Effizienz erzeugt; es ergibt sich eine mittlere JAZ für die Trinkwarmwasser-Bereitstellung von 3,0. Im Winterbetrieb unterstützt der Gas-Brennwertkessel die Wärmeerzeugung. Diese wird bei 0 °C Außentemperatur dazugeschaltet und übernimmt ab -5 °C die Wärmeversorgung. Die hohe thermische Leistung des Gaskessels wurde aufgrund der Redundanz und sicheren Wärmeversorgung gewählt.

**Quartiers- und Contractingkonzept:** Die Wärmepumpe wird zum Teil mit Strom aus Eigenerzeugung des BHKW im Quartier versorgt. Die Wärmeerzeuger werden über ein Contractingmodell der Tochtergesellschaft Karlsruher Energieservice GmbH (KES) betrieben.

**Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben:** [Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach](#). Das Forschungsvorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe/zusätzlicher Wärmeerzeuger:** Hochtemperatur-Wärmepumpe (max. Vorlauftemperatur von 75° C) mit thermischer Leistung von 55 kW<sub>th</sub>, Gas-Brennwertkessel (90 kW<sub>th</sub>) zur Deckung von Spitzenlasten

**Betriebsart:** Hybridsystem, bivalent parallel von 0 bis –5 °C, ab –5 °C nur Gaskessel

**Wärmequelle:** Außenluft und Solarstrahlung über PVT-Kollektoren

**Trinkwarmwasser:** Erzeugung zentral über Heizsystem und Verteilung über zentrale Frischwasserstation mit Zirkulation, drei Pufferspeicher à 850 Liter

## Lessons Learned

**Schallerzeugung und -übertragung verringern:** Die Inbetriebnahme der Wärmepumpe wurde durch zu hohe Schallemissionen verzögert. Die Leistungselektronik (Frequenzumformer) war nicht auf einen geräuscharmen Betrieb optimiert und Vibrationen der Wärmepumpe wurden über den Baukörper im Gebäude übertragen. Durch Anpassung der Steuerung (Sanftanlauf) konnten die Frequenzumformer ausgebaut werden und die Wärmepumpe wurde mit speziellen Gummimatten vom Baukörper entkoppelt. Im Ergebnis läuft die Anlage innerhalb der Schallgrenzwerte und beschwerdefrei.

**Auswahl aufeinander abgestimmter Komponenten erhöhen Effizienz:** Beim Einsatz von PVT als Wärmequelle ist die Auswahl der passenden Sole-Wärmepumpe zu beachten. Diese sind üblicherweise auf die Wärmequelltemperatur eines Erdreichkollektors ausgelegt. Dieser generiert im Sommer geringere und im Winter höhere Quelltemperaturen als ein PVT-Kollektor. Im Winter treten durch die Außenluftanbindung tiefere Soletemperaturen auf (< –5 °C) als bei erdreichgekoppelten Kollektoren. Die Wärmepumpe sollte daher auch auf tiefe Quelltemperaturen ausgelegt sein.

**Effizienzsteigerung durch Anpassung der Regelung und Betriebsoptimierung:** Durch die Auswertung von Messwerten im Betrieb der Anlage (Monitoring) zeigt sich Optimierungspotenzial; Teile der Heizungsanlage (Speicher) werden auch dann durchströmt, wenn sie nicht genutzt werden, was zu Bereitstellungsverlusten führt. Dies kann durch Anpassung der Regelung verhindert werden. Weiteres Potenzial für Effizienzsteigerung ergibt sich z. B. durch die Nutzung höherer Außentemperaturen und solarer Einstrahlung zu bestimmten Zeiten. Durch die Anpassung von Zeitprogrammen kann die Quelltemperatur angehoben und damit die Effizienz weiter erhöht werden. Voraussetzung dafür ist die entsprechend große Dimensionierung des Speichers.

**PVT-Kollektoren generieren Wärme aus Außenluft und Solarstrahlung platzsparend und geräuscharm:** Dank der Nutzung der PV-Fläche auch als Wärmequelle ist kein zusätzlicher Platz für eine Außenlufteinheit oder einen Erdkollektor notwendig. Es werden keine Geräusche erzeugt (wie z. B. über Ventilatoren) und durch die Montage auf dem Dach ist die Anlage vor Vandalismus geschützt.

# Luft-Wasser-Wärmepumpe im Quartier

## Demonstrationsgebäude mit hybrider Wärmeversorgung

### Motivation

Das Siedlungsquartier befindet sich westlich der Regensburger Altstadt und im Eigentum der Baugenossenschaft Margaretenau e. G. Das Ensemble besteht aus Wohngebäuden, die im Zeitraum von 1919 bis 1935 entstanden sind. Deren Gebäudehülle und Anlagentechnik wiesen hohen Sanierungsbedarf auf. Im Rahmen des Forschungsprojekts MAGGIE entwickelte und demonstrierte die Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg zusammen mit den beteiligten Partnern verschiedene Lösungen für solaroptimierte Fassadensanierungen und eine netzdienliche, emissionsarme Strom- und Wärmeversorgung durch die Kombination von Wärmepumpe, Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW), Photovoltaik (PV) und intelligentem Energiemanagement.



Abb. 61 und 62: Zwei Gebäude vor (li.) und nach der Sanierung

### Umsetzung und Ergebnisse

**Stufenweise Kernsanierung:** Die Gebäude wurden umfassend saniert und im Dachgeschoss aufgestockt. Die Kernsanierung lief dabei stufenweise Gebäude für Gebäude. Für die denkmalgerechte Modernisierung historischer Fassaden wurde ein solaraktives und -adaptives Außenputzsystem entwickelt und getestet. Die Wärmeübergabe der Heizwärme erfolgt über eine Fußbodenheizung, die im Zuge der Sanierungsarbeiten verlegt wurde.

**Umfangreiches Wärmeversorgungskonzept zur Senkung der Betriebskosten:** Die Wärmebereitstellung erfolgt durch drei Wärmeerzeuger. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe deckt Wärmelasten für die Heizung bis 55 °C. Das BHKW lädt den zugehörigen Pufferspeicher auf ein Temperaturniveau von 80 °C bei gleichzeitiger Stromproduktion. Dieser speist die sechs dezentralen Speicher in den einzelnen Häusern. Ein Gaskessel deckt Wärmebedarfsspitzen und dient als Redundanz bei schrittweiser Sanierung sowie Ausfall der Wärmepumpe oder des BHKWs. Wärmepumpe und BHKW werden als sich ergänzende Technologien eingesetzt. Die Vorteile der Wärmepumpe durch den Einsatz erneuerbarer Energien, die hohe Energieeffizienz sowie langlebige Technik mit geringem Wartungsaufwand werden kombiniert mit gleichzeitiger Bereitstellung von Strom und Wärme durch das BHKW. Dafür wird im BHKW Erdgas als Energieträger eingesetzt. Vor dem Hintergrund sich verändernder Strom- und Gaspreise ist zu prüfen, inwieweit dieses

### Gebäude

**Größe:** U-förmiges, viergeschossiges Gebäude (Keller-, Erd-, Ober- und Dachgeschoss) umfasst 30 Wohneinheiten mit jeweils etwa 60 m<sup>2</sup> Wohnfläche

**Lage:** Regensburg, Wohngebiet im innerstädtischen Bereich

**Energetischer Zustand:** Baujahr 1931, ungedämmt mit 204 kWh/m<sup>2</sup>a Energiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser, Wärmeversorgung über dezentrale Einzelfeuerungen (Gas, Öl, Holz/Kohle), Trinkwassererwärmung dezentral elektrisch (Elektroboiler)

**Maßnahmen:** 2018–2022 Sanierung der bestehenden Etagen auf Effizienzhaus-70-Standard, für den Ausbau im Dachgeschoss auf EH-50, Endenergiebedarf: 40 bzw. 26 kWh/m<sup>2</sup>a, 2020 Einbau eines hybriden Versorgungssystems aus BHKW, Wärmepumpe und Gaskessel sowie PV



Abb. 63 und 64: Das Demonstrationsgebäude im Quartier Margaretenau. Im Bild rechts die Außeneinheit der Wärmepumpe.

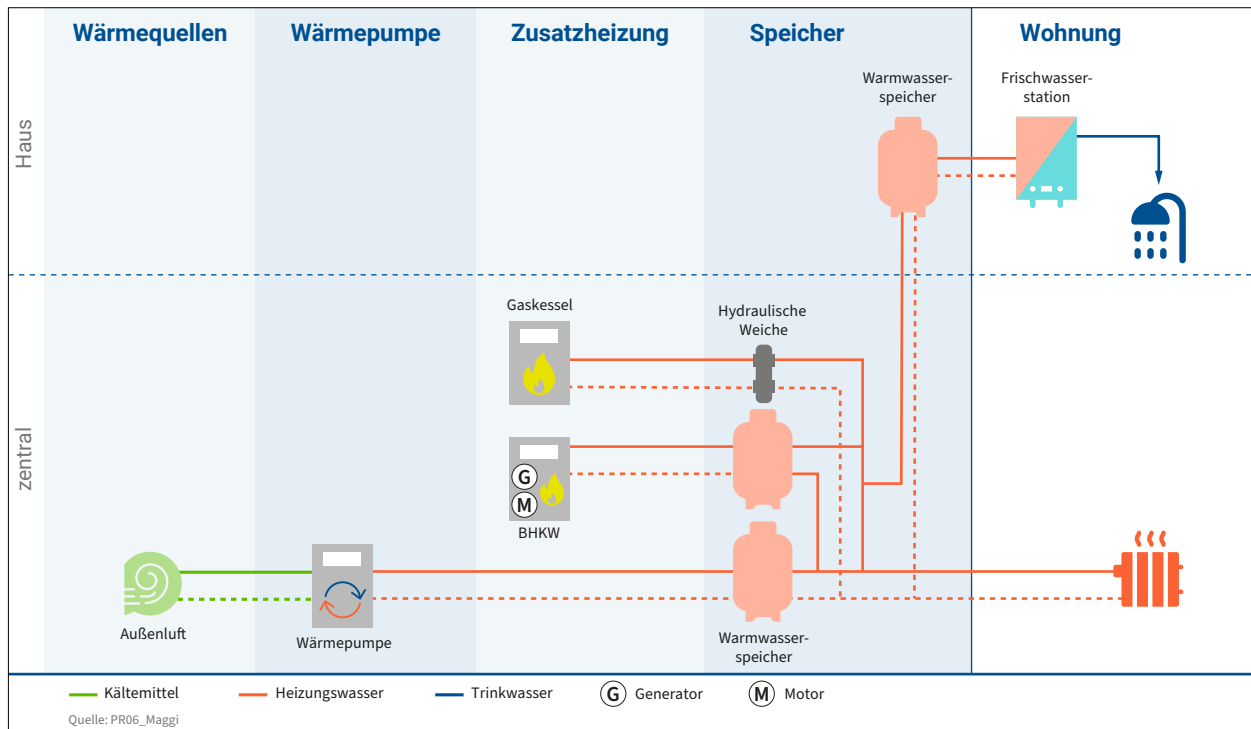
Konzept wirtschaftlich tragfähig ist und den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes entspricht. Die Ergebnisse und Lessons Learned für den Wärmepumpeneinsatz aus dem Projekt werden dargestellt.

**Einsatz von Frischwasserstationen:** Die Trinkwarmwasserversorgung der Wohnungen erfolgt über dezentrale, wohnungsweise Frischwasserstationen. Mit den Mietenden wurde eine max. Zapftemperatur von 42 °C vereinbart. In jedem Gebäude befindet sich ein Speicher, der jeweils nur bedarfsgerecht zeitweise beladen wird, um Verteilverluste zu minimieren.

**Entwicklung eines KI-gesteuerten Energiemanagementsystems:** Eine bedarfs- und angebotssensitive Systemsteuerung wurde entwickelt, die mithilfe von Methoden aus der Künstlichen Intelligenz (KI) den Anteil der Versorgung aus regenerativen Energieträgern maximieren und die Kosten für die Mietenden minimieren soll. Dafür werden Wetterdaten und Muster im Energieverbrauch berücksichtigt und alle Komponenten (Erzeuger und Speicher) durch ein dynamisches, prognosebasiertes Energiemanagement gesteuert. Das Tool steht als Open Source zur Verfügung.

**Weitere Informationen zum Forschungsvorhaben:** [MAGGIE](#). Das Forschungsvorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe/zusätzlicher Wärmeerzeuger:** hybrides System, Wärmepumpe 40 kWth (A7/W35); Bivalenzpunkt: ca. 3 °C, 560-Liter-Heizungspufferspeicher BHKW (51 kWth); 1.000 Liter Pufferspeicher Gaskessel für Spitzenlasten und Redundanz (186 kWth)

**Wärmequelle:** Außenluft

**Trinkwarmwasser:** dezentrale, wohnungsweise Frischwasserstationen

**Betriebsart:** bivalent, teilparallel, COP-abhängige Abschaltung der Wärmepumpe ( $COP < 2$ )

## Lessons Learned

**Platzangebot für Aggregate sicherstellen:** Zunächst waren höhere Deckungsanteile der Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe geplant. Aus Platzgründen konnte jedoch kein größeres Aggregat untergebracht werden. Auch die Größen der Pufferspeicher (560 Liter für WP, 1.000 Liter für BHKW) sind teilweise dem mangelnden Platz geschuldet; beide haben sich im Betrieb als zu klein herausgestellt.

**Betriebsanalyse und -optimierung erhöhen Effizienz:** Die zu geringe Speichergröße bewirkte, dass die Wärmepumpe im Teillastbetrieb lief und ein zu geringer COP erreicht wurde.

Durch Anpassungen der Steuerung, der Rücklauftemperaturen der Frischwasserstationen und durch die Einspeisung in die anderen Speicher konnte der COP gesteigert werden.

**Hohe Akzeptanz durch Einbindung Mietende:** Im Projekt fand eine umfangreiche sozialwissenschaftliche Begleitung statt. Mietende wurden intensiv über geplante Maßnahmen informiert und über die Erfassung des Nutzerverhaltens eingebunden. Anfängliche Vorbehalte konnten so abgebaut und eine hohe Akzeptanz erreicht werden.

# Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizbetrieb

## Ganzheitliches Sanierungskonzept minimiert Strombedarf

### Motivation

Die 1920 gegründete Kölner Wohnungsgenossenschaft am Vorgebirgspark eG verfügt über einen Wohnungsbestand von 863 Wohneinheiten, verteilt auf 103 Häuser. Anlässlich ihres 100-jährigen Jubiläums entschloss sie sich, ein Zeichen gegen den Klimawandel zu setzen. Mit einem innovativen Sanierungsverfahren nach dem Energiesprong-Prinzip sollte ein Mehrfamilienhaus schnell und kosteneffizient auf den klimaneutralen Net Zero-Standard gebracht werden. Bestandteile des ganzheitlichen Sanierungskonzepts mit strombasierter Energieversorgung sind Wärmepumpen.



Abb. 65: Gebäude vor der Sanierung



Abb. 66: Gebäude nach der Sanierung

### Umsetzung und Ergebnisse

**Sanierung im bewohnten Zustand:** Während der gesamten Bauzeit konnten die 16 Mietparteien in ihren Wohnungen verbleiben. Die Sanierung erfolgte mit vorgefertigten Fassadenelementen. Diese haben einen hohen Dämmstandard und enthalten dezentrale Lüftungseinheiten mit Wärmerückgewinnung.

**Wärmepumpen mit hoher Effizienz und geringem Platzbedarf:** Der Energiebedarf wurde durch die Sanierung so weit reduziert, dass eine geringe Heizleistung der Wärmepumpen benötigt wird. Diese wird durch zwei Wärmepumpengeräte bereitgestellt, die einzeln oder gemeinsam (Kaskadenschaltung) das Wasser im Pufferspeicher erwärmen und Redundanz bei der Wärmeversorgung sicherstellen. Zwei Außeneinheiten entziehen der Außenluft die Wärme. Über die Inneneinheiten wird die Vorlauftemperatur des Wassers im Heizkreis auf max. 45 °C erwärmt. Aufgrund der geringen Heizleistung sind die Geräte kleiner und kompakter und benötigen weniger Platz. Über das Auslesen der Zählerstände über ein Jahr wurde eine Effizienz der Wärmepumpe von 4 (JAZ) ermittelt. Das Trinkwarmwasser wird für die Mietenden über wohnungsweise elektrische Durchlauferhitzer zur Verfügung gestellt.

### Gebäude

**Größe:** viergeschossiges Gebäude mit 16 Wohneinheiten und 992 m<sup>2</sup> Wohnfläche

**Lage:** innerstädtische Mietwohnsiedlung in Köln-Zollstock

**Ausgangszustand:** Baujahr 1962, Energiebedarf für Heizung und Trinkwarmwasser: 201 kWh/m<sup>2</sup>a, seit den 1980er-Jahren Heizung zentral über Gaskessel

**Maßnahmen:** 2022 Sanierung Effizienzhaus-40-Plus-Standard mit Endenergiebedarf (Trinkwarmwasser und Heizung) von 22 kWh/m<sup>2</sup>a, Einbau einer Außenluft-Wärmepumpe, dezentrale Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Photovoltaikanlage



Abb. 67: Zwei Außeneinheiten der Wärmepumpe



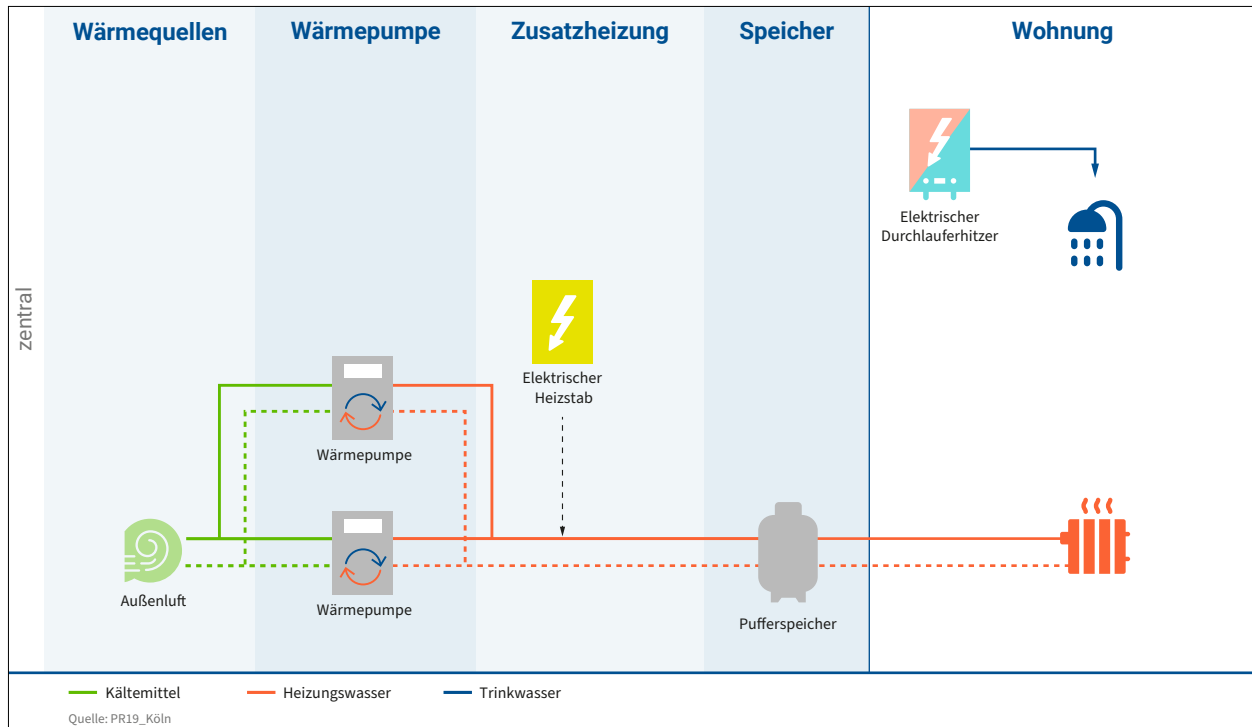
Abb. 68: Zwei Inneneinheiten der Wärmepumpe mit Pufferspeicher

**Austausch der Heizkörper ermöglicht geringe Vorlauftemperatur:** Die Wärme wird weiterhin über Heizkörper in den Wohnungen bereitgestellt. Diese wurden komplett ausgetauscht und mit Heizkörperventilatoren ausgestattet, um die Wärme zügiger an die Raumluft zu übertragen. Dafür wurden Elektroanschlüsse über die Fassade nachgerüstet. Die Vorlauftemperatur beträgt max. 45 °C.

**Einbindung der Mieterschaft und Begrenzung der Raumtemperatur:** Die Mietenden wurden im Vorfeld und während des Bauvorhabens in den Prozess eingebunden. Sie wurden über die verringerte Heizkörpertemperatur informiert, die nach der Umstellung ungewohnt niedrig ist. Die Raumtemperatur wurde in Abstimmung mit der Mieterschaft auf max. 22 °C begrenzt. In den Bädern sollen 24 °C erreicht werden. Die Befürchtungen der Mietenden wurden durch das unerwartet positive Komforterlebnis aufgrund des hohen energetischen Standards ausgeräumt.

**Kontakt und weitere Informationen unter:** [Mehrfamilienhaus in Köln-Zollstock – Energiesprong Deutschland](#)

## Anlagenschema



## Anlagenbeschreibung

**Wärmepumpe:** zwei Wärmepumpen in Kaskadenschaltung, jeweils 16 kWth, 950-Liter-Heizungspufferspeicher

**Betriebsart:** monoenergetisch, Heizstäbe als Back-up

**Wärmequelle:** Außenluft

**Trinkwarmwasser:** dezentrale, wohnungsweise Durchlauferhitzer

**Besonderheiten:** fassadenintegrierte, dezentrale Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Photovoltaik mit 64 kWp

## Lessons Learned

**Bestandsdaten wohnungsweise erheben vor Heizungstausch:** Geplant war eine strangweise einheitliche Umsetzung des Heizkörpertauschs aufgrund der Annahme, die Wohnungen wären gleich. Bei der Installation gab es Überraschungen aufgrund baulicher Änderungen, die nicht in den Plänen verzeichnet waren. Empfohlen wird die Aufnahme der Abmessungen jedes Heizkörpers im Vorfeld der Planungen.

**Energetisches Monitoring digitalisieren:** Im Rahmen des Energiesprung-Projektes besteht eine zweijährige Monitoringpflicht für die Erfassung und Auswertung der Ener-

gieverbrauchsdaten. Derzeit erfolgt dazu eine monatliche Zählerauslesung. Ein Energiemanagement wird im Zuge der Sanierung weiterer Gebäude projektiert.

**Innovatives Gesamtkonzept mit überzeugendem Ergebnis:** Ein Jahr nach der Sanierung hat sich der Energieverbrauch von 201 kWh/m²/a auf -10 kWh/m²/a reduziert. Somit erzeugt das Konzept mehr Energie, als die 16 Mietparteien für Heizung, Strom und Warmwasser benötigen. Das Bauvorhaben wurde annähernd wärmietenneutral umgesetzt.

# 6 Checkliste: Handlungsempfehlungen aus der Praxis

Die folgenden Empfehlungen für Projekte zur Umstellung der Wärmeversorgung in Bestandsgebäuden auf Wärmepumpensysteme sind aus den Erfahrungen der Projektbeteiligten der vorgestellten Praxisbeispiele abgeleitet. Sie ergeben sich aus Lessons-Learned der ersten Umsetzungsprojekte.

## Strategie und Konzeption:

Zur Auswahl von Gebäuden und Umsetzungskonzepten für den Einsatz von Wärmepumpensystemen

- **Bewertung des Gebäudeportfolios:** Energieberatung durchführen und Sanierungsfahrplan erstellen
- **Quartiersansatz prüfen:** erweiterte Umsetzungsmöglichkeiten und Synergien im Gebäudeverbund nutzen
- **Sanierungspfad festlegen:** Komplettsanierung der Gebäudehülle und Energieversorgung oder schrittweise Umsetzung
- **Variantenvergleich mit verschiedenen Technikkonzepten und Wärmequellen:** Vergleich möglicher Wärmequellen und Wärmeversorgungskonzepte hinsichtlich Investitions-, Betriebskosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen
- **Innovationen anwenden und entwickeln:** Zukunft gestalten von der seriellen Sanierung bis zur Ultrafiltration
- **Betriebsüberwachung einplanen:** effizienten Betrieb der Anlage und Systemkomponenten überwachen und optimieren; Messkonzept beauftragen, Zuständigkeiten für Analyse und Optimierung festlegen
- **Umsetzungsstrategie festlegen:** fachliche Partner für Koordination, Planung, Umsetzung und Betrieb im Unternehmen benennen oder extern beauftragen
- **Knowhow und Ressourcen im Unternehmen aufbauen:** technische Mitarbeitende hinsichtlich Wärmepumpentechnik schulen und weiterbilden; Netzwerke für Erfahrungsaustausch nutzen
- **Betreibermodell prüfen:** Varianten für den Betrieb der technischen Anlage bewerten, z. B. Betreibergesellschaften, Contractingmodelle ohne und mit Effizienzgarantie
- **Förderung in Anspruch nehmen:** Förderprogramme des Bundes, der Länder und Innovationsprogramme berücksichtigen, Förderbonus für natürliche Kältemittel oder Wärmequellen beachten

Die erforderlichen Schritte von der Voruntersuchung und Konzepterstellung bis zur Detailplanung sind in der VDI 4645 Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern dargestellt.

- **Einbindung der Mieterschaft:** Informieren der Mieterschaft über geplante Änderungen (z. B. reduzierte Heizkörpertemperaturen) und aktives Einbinden (z. B. Schulungen) unterstützen Akzeptanz und effizienten Betrieb

## Planung und Betrieb der Wärmepumpenanlage:

Systemkomponenten der Wärmequelle, -pumpe, -verteilung und -speicherung

- **Bestandsdaten wohnungsweise erheben:** Bauliche Änderungen sind in Plänen nicht verlässlich notiert. Empfohlen wird die Aufnahme der baulichen Situation und Installation, z. B. Abmessungen der Heizkörper im Vorfeld der Planungen.
- **Absenkung der Heizkreistemperatur:** raumweise Heizlastberechnung durchführen, Anpassung der Heizflächen prüfen (z. B. Heizkörperdimensionierung und Heizkörpertausch oder Flächenheizungen), Heizkurve absenken, hydraulischen Abgleich durchführen
- **Variantenvergleich mit verschiedenen Technikkonzepten und Wärmequellen:** Vergleich möglicher Wärmequellen und Wärmeversorgungskonzepte (zentrale und dezentrale Versorgungsvarianten) mit Simulationen und Parametervariation hinsichtlich Investitions-, Betriebskosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen; Genehmigungen bei Nutzung von Wärmequellen (z. B. Erdreich und Grundwasser) beachten
- **Lösungen für Trinkwarmwasserversorgung:** verschiedene Konzepte für Trinkwarmwasserversorgung prüfen hinsichtlich Effizienz und Kosten für Investition und Betrieb, z. B. zentrale Versorgung über Wärmepumpensystem oder hybride Systeme, Frischwasserstationen, Ultrafiltration, dezentrale Lösungen mit elektrischen Durchlauferhitzern
- **Heizwärmebedarf des Gebäudes berücksichtigen:** derzeitigen und zukünftigen energetischen Zustand des Gebäudes einplanen und Versorgungskonzept anpassen für Auslegung der technischen Komponenten und ggf. zusätzlichen Wärmeerzeuger (hybride Versorgungskonzepte), z. B. prüfen, ob bestehender Gaskessel in eine

Hybridvariante mit Wärmepumpensystem eingebunden werden kann mit dem Ziel der schrittweisen Sanierung der Gebäudehülle und Abschaltung des Gaskessels

- **Auswahl und Dimensionierung der Komponenten:** Auslegungsparameter einzelner Komponenten und Aggregate beachten und aufeinander abstimmen bezüglich Wärmequelle, -pumpe und -übergabe bzw. Speichereinbindung usw.; Wärmepumpe nicht überdimensionieren
- **Betriebsüberwachung:** Effizienz des Wärmeversorgungssystems überwachen, Zählerkonzept erstellen, Messstellen festlegen; Datenschnittstellen, -übertragung und Analyse der Zählerdaten konzipieren; Anforderung der Effizienzanzeige als Fördervoraussetzung beachten
- **Platzbedarf und Aufstellort der Wärmepumpenanlage:** Platz für Komponenten der Anlage sowie deren hydraulische Einbindung berücksichtigen und Aufstellorte prüfen (z. B. Technikraum, Dach, etagenweise Aufstellung, Außenaufstellung, Ground-Cube), Schutz vor Vandalismus berücksichtigen
- **Schallschutz beachten und Schallausbreitung verhindern:** Bedingungen am Aufstellort beachten (z. B. Schallreflexionen baulicher Anlagen, Fenster in Fassade), Herstellerangaben für Schallleistung der Komponenten beachten (z. B. Wärmepumpe und Leistungselektronik), fachgerechte Einbausituation sicherstellen (z. B. Luftkanäle) und Wärmepumpe vom Baukörper entkoppeln (Gummimatten, Schwingungsdämpfer)
- **Alte Kamine nutzen:** Nutzung der nicht mehr benötigten Kamine prüfen, z. B. für Luftführungen, Soleleitungen, sonstige Medien
- **Abführung von Kondensat:** Kondensatableitung einplanen, kommunalspezifische Regelungen für Abwassereinleitung oder -versickerung beachten
- **Inbetriebnahme:** Zeitbedarf für Inbetriebnahme von Messstellen und Anlagenkomponenten einplanen
- **Qualitätssicherung bei Installation:** fachgerechte Installation aller Komponenten und Einbindung ins System gewährleisten
- **Betriebsüberwachung:** geplante Betriebszustände durch Einregulierung der Komponenten ermöglichen und effizienten Betrieb überwachen sowie optimieren (ggf. über Dienstleistung); Betriebskontrolle entsprechend Gebäudeenergiegesetz gewährleisten

## Stromversorgung der Wärmepumpenanlage:

Netzanschluss und Steuerung rechtzeitig planen

- **Ertüchtigung der Elektroinstallation:** Bestandsgebäude bedürfen oft der Ertüchtigung und Nachrüstung der Elektroinstallationen bzw. Hausanschlüsse; der Platzbedarf steigt z. B. durch zusätzliche Zähler, Steuergeräte.
- **Kapazitäten für Anschlussleistung:** elektrischen Leistungsbedarf der Komponenten bewerten und mit Kapazitäten des Hausanschlusses abgleichen, ggf. Erweiterung der Anschlussleistung beantragen bzw. mit Netzbetreiber abstimmen
- **Frühzeitige Anmeldung beim Netzbetreiber:** Steuerbare Verbraucher wie Wärmepumpen müssen beim Netzbetreiber angemeldet werden, ggf. ist eine Leistungsverstärkung durch den Netzbetreiber notwendig (Zeit und ggf. Baukostenzuschuss einplanen).
- **Steuerbarkeit und Leistungsreduzierung:** Leistungsreduzierung der Wärmepumpe durch Netzbetreiber bei Stromnetzengpass einplanen; Anforderungen der Steuerbarkeit beim Netzbetreiber erfragen, Entscheidung für Direktsteuerung oder Steuerung über Energiemanagementsystem und Modell für reduziertes Netzentgelt (pauschale oder prozentuale Reduzierung)
- **Schnittstelle zur netzdienlichen Steuerung:** Wärmepumpenmodell auswählen mit Schnittstelle für zertifiziertes Smart Meter Gateway (Standard SG-ready, VHP-ready)
- **Zählersetzung beauftragen:** Netzbetreiber oder Messstellenbetreiber mit Zählersetzung beauftragen (Smart Meter Gateway)

# 7 Weitere Informationsquellen

## Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanlagen

Wirtschaftlichkeit von acht verschiedenen Heizungssystemen für ein Ein- und ein Mehrfamilienhaus über den gesamten Lebenszyklus

- Ariadne-Studie: Heizkosten und Treibhausgasemissionen in Bestandsgebäuden – Aktualisierung auf Basis der GEG-Novelle 2024

## Weitere Praxisbeispiele für Wärmepumpen

- Best Practice Portal des Gebäudeforum klimaneutral
- Beispiele für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern in Europa
- Projekt-Datenbank des Bundesverbandes Wärmepumpe BWP

## Schulungen und Weiterbildungen

- Übersicht zu Weiterbildungsangeboten und Schulungen zum Thema Wärmepumpe

## Simulations- und Planungstools für Wärmepumpen

- Softwarevergleich für Planungstools für Wärmepumpen und Wärmequellen

## Schallemissionen von Wärmepumpen

- Überblick Anforderungen an Schallschutz, Kriterien, Schallreduzierung bei Wärmepumpenanlagen
- Abschätzung der Lärmemissionen mit Schallrechner des BWP

# 8 Anhang

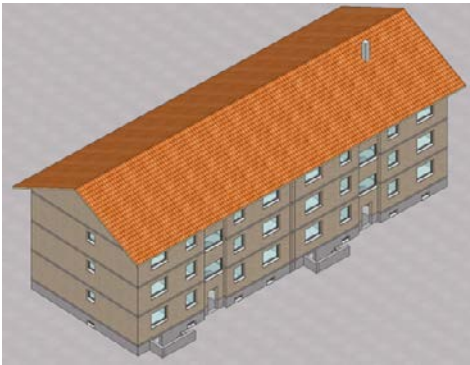


Abb. 37: Isometrie und Grundriss des untersuchten Referenzgebäudes, Heizlast des Gebäudes mithilfe einer thermischen Gebäudesimulation ermittelt (TRNSYS); für die Trinkwarmwasserzapfungen wurden dynamische Lastprofile über das Simulationstool „synPro“ des Fraunhofer ISE erstellt

Tabelle: Kenndaten des untersuchten Referenzgebäudes

| Kenngröße                        | MMH                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------|
| Anzahl Vollgeschosse             | 3                                      |
| Anzahl Wohneinheiten             | 12                                     |
| Anzahl Treppenhäuser             | 2                                      |
| Keller                           | vorhanden (unbeheizt)                  |
| Dachraum                         | vorhanden (unbeheizt, Satteldach)      |
| Gebäudeorientierung              | Nord-Süd (Giebelseite)                 |
| Gebäudemaße (L × B)              | 11,9 × 32,1 m                          |
| Geschosshöhe                     | 2,75 m                                 |
| Konditionierte Wohnfläche pro WE | 75,7 m <sup>2</sup> (ohne Treppenhaus) |
| Konditionierte Wohnfläche        | 908 m <sup>2</sup>                     |
| Nettogrundfläche                 | 969,5 m <sup>2</sup>                   |
| Transparente Fassade             | 128 m <sup>2</sup>                     |
| Opake Fassade                    | 598 m <sup>2</sup>                     |

Tabelle: Bauphysikalische Parameter des Gebäudes für die untersuchten Varianten

|                                    | Bestandszustand (B) | GEG-Sanierung (S) |
|------------------------------------|---------------------|-------------------|
|                                    | U-Wert [W/(m²K)]    | U-Wert [W/(m²K)]  |
| <b>Außenwand</b>                   | 1,12                | 0,23              |
| <b>Oberste Geschossdecke</b>       | 0,6                 | 0,6               |
| <b>Dach</b>                        | 1,60                | 0,19              |
| <b>Unterster Geschossboden</b>     | 1,32                | 0,30              |
|                                    | g-Wert 0,6          | g-Wert 0,6        |
| <b>Fenster</b>                     | U-Wert 1,9          | U-Wert 1,3        |
| <b>Heizwärmebedarf</b>             | 145 kWh/m²a         | 60 kWh/m²a        |
| <b>Wärmebedarf Trinkwarmwasser</b> | 22 kWh/m²a          | 22 kWh/m²a        |

# 9 Quellen

**BAFA (2020):** Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis. Heizen mit Erneuerbaren Energien. Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Abgerufen von: [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee\\_waermepumpen\\_anlagenliste\\_bis\\_2020.pdf](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee_waermepumpen_anlagenliste_bis_2020.pdf)

**BAFA (2023):** Zulassungen von KWK-Anlagen nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG). Eschborn: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Abgerufen von: [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kwk\\_statistik\\_zulassungen\\_kwk\\_anlagen.html](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kwk_statistik_zulassungen_kwk_anlagen.html)

**BDEW (2023):** Wie heizt Deutschland 2023? Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. Abgerufen von: [https://www.bdew.de/media/documents/BDEW\\_Heizungsmarkt\\_2023\\_Langfassung\\_final\\_28.11.2023\\_korrigiert.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_2023_Langfassung_final_28.11.2023_korrigiert.pdf)

**BSW (2023):** Marktdaten – Daten und Infos zur Deutschen Solarbranche. Berlin: Bundesverband Solarwirtschaft e. V. Abgerufen von: <https://www.solarwirtschaft.de/presse/marktdaten/>

**BWP (2021):** Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2021. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe e. V. Abgerufen von: [https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/BWP\\_Branchenstudie\\_2021\\_WEB.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/BWP_Branchenstudie_2021_WEB.pdf)

**dena (2015):** DENA-GEBÄUDEREPORT 2015. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Berlin: Deutsche Energie-Agentur. Abgerufen von: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/8162\\_dena-Gebaeudereport\\_2015\\_PDF.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/8162_dena-Gebaeudereport_2015_PDF.pdf)

**dena (2023a):** DENA-GEBÄUDEREPORT 2024. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Berlin: Deutsche Energie-Agentur. Abgerufen von: [file:///vmfile22.dena.de/Home/DSTAHR/Downloads/dena-Gebaeudereport\\_2024.pdf](file:///vmfile22.dena.de/Home/DSTAHR/Downloads/dena-Gebaeudereport_2024.pdf)

**dena (2023b):** Thermische Energiespeicher für Quartiere. Aktualisierung, Überblick zu Rahmenbedingungen, Marktsituation und Technologieoptionen für Planung, Beratung und politische Entscheidungen im Gebäudesektor. Berlin: Deutsche Energie-Agentur. Abgerufen von: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Thermische\\_Energiespeicher\\_fuer\\_Quartiere\\_-\\_Aktualisierung.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Thermische_Energiespeicher_fuer_Quartiere_-_Aktualisierung.pdf)

**dena (2023c):** Vernetzte Wärmeversorgung in Bestandsquartieren. Handlungsstrategien und Anwendungsfälle für die Initiierung, Planung und Umsetzung vor Ort. Berlin: Deutsche Energie-Agentur. Abgerufen von: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Studie\\_Waermerversorgung.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Studie_Waermerversorgung.pdf)

**Destatis (2019a):** Mikrozensus 2018, Zensusdatenbank der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Bevoelkerung/mikrozensus-2018.html>

**Destatis (2019b):** Wohnen in Deutschland – Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018, Zensusdatenbank der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publikationen/Downloads-Wohnen/wohnen-in-deutschland-5122125189005.html>

**Destatis (2022):** Mehr als die Hälfte der im Jahr 2021 gebauten Wohngebäude heizen mit Wärmepumpen. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22\\_226\\_31121.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_226_31121.html)

**Destatis (2023a):** Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche: Deutschland, Stichtag, Anzahl der Wohnungen – Genesis 31231-0005. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>

**Destatis (2023b):** Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden: Deutschland, Stichtag, Anzahl der Räume – Genesis 31231-0003. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>

**Destatis (2023c):** Wohnungsbestand nach Anzahl und Quadratmeter Wohnfläche. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Abgerufen von: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/wohnungsbestand-deutschland.html>

**GdW (2018):** Daten und Trends 2018/2019. Zahlen und Analysen aus der Jahresstatistik des GdW Berlin: GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V. Abgerufen von: [https://www.gdw.de/uploads/pdf/publikationen/d\\_u\\_t/DuT\\_2018\\_2019\\_web.pdf](https://www.gdw.de/uploads/pdf/publikationen/d_u_t/DuT_2018_2019_web.pdf)

**GdW (2022):** Daten und Trends 2022/2023. Zahlen und Analysen aus der Jahresstatistik des GdW. Berlin: GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e. V. Abgerufen von: [https://www.gdw.de/media/2022/11/gdw-dt-2022\\_kurzfassung.pdf](https://www.gdw.de/media/2022/11/gdw-dt-2022_kurzfassung.pdf)

**IEA (2022):** Heat Pumps in Multi-Family Buildings. Annex 50. Borås, Sweden: International Energy Agency IEA: Abgerufen von: <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-annex-50-heat-pumps-in-multi-family-buildings-for-space-heating-and-dhw/>

**LowEx (2023):** Abschlussbericht. LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden („LowEx-Bestand Analyse“). Karlsruhe, München, Freiburg: Projekt-Verbund „LowEx-Bestand“. Abgerufen von: [http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2023/03/Abschlussbericht\\_LiB.pdf](http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2023/03/Abschlussbericht_LiB.pdf)

**Schornsteinfegerverband (2023):** Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks 2022. Sankt Augustin: Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks. Abgerufen von: <https://www.schornsteinfeger.de/erhebungen.aspx>

**VDI (2023):** VDI 4645: Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern – Planung, Errichtung, Betrieb. Düsseldorf: Verein deutscher Ingenieure e. V. Beuth Verlag



GEBÄUDEFORUM  
**KLIMANEUTRAL**