

09 | 2023

# WÄRMEPUMPEN FÜR MEHRFAMILIENHÄUSER IM BESTAND

LOWEX-KONZEPTE FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG VON  
MEHRFAMILIEN-BESTANDSGEBÄUDEN

HANDREICHUNG FÜR DIE UMSETZUNG



EINFÜHRUNG .....	4
WP-SYSTEME FÜR MFH IM BESTAND .....	5
WÄRMEPUMPENGERÄTE .....	5
WÄRMEQUELLEN.....	9
WÄRMEPUMPE & WEITERE WÄRMEERZEUGER .....	11
KATEGORISIERUNG VON SYSTEMLÖSUNGEN FÜR MFH .....	14
AUFSTELLUNGSRORTE DER WÄRMEPUMPE .....	15
TRINKWASSERERWÄRMUNG .....	18
RAUMHEIZUNG UND WÄRMEÜBERGABE.....	21
LÜFTUNG.....	24
UMSETZUNGSBEISPIELE .....	25
WIRTSCHAFTLICHKEIT VON WÄRMEPUMPEN IM MFH-BESTAND .....	38
KERNERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG .....	41
HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN .....	42
LITERATURLISTE .....	44
IMPRESSUM.....	47

# INHALT

# PROJEKTVERBUND LOWEX BESTAND



## FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

 **Dr. Peter Engelmann**

Gruppenleitung Gebäudesystemtechnik

[peter.engelmann@ise.fraunhofer.de](mailto:peter.engelmann@ise.fraunhofer.de)



## UNIVERSITÄT FREIBURG - INATECH

 **Beatrice Rodenbücher**

Gruppe Nachhaltige Gebäudeenergie-technik

[beatrice.rodenbuecher@inatech.uni-freiburg.de](mailto:beatrice.rodenbuecher@inatech.uni-freiburg.de)



## KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE Institut für Angewandte Thermofluidik (IATF)

 **Dr. Ferdinand Schmidt**

Gruppenleiter Energie- und Gebäudetechnologie

[ferdinand.schmidt@kit.edu](mailto:ferdinand.schmidt@kit.edu)

## EINFÜHRUNG

In Wissenschaft und Politik besteht inzwischen weitgehende Einigkeit, dass eine schnelle Umstellung von fossilen Heizsystemen auf Wärmepumpen im Gebäudebestand einen entscheidenden Hebel für erfolgreichen Klimaschutz im Gebäudesektor darstellt. Während im Neubausektor bereits jedes zweite eingebaute Heizsystem eine Wärmepumpe ist, werden im Gebäudebestand bei der Heizungsmodernisierung immer noch sehr viele alte Heizkessel durch neue Gas- und Ölkessel ersetzt, die trotz Brennwerttechnik hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>1</sup> über viele Jahre festschreiben (Lock-In-Effekt). Demgegenüber haben Wärmepumpenheizungen den großen Vorteil, dass ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen über die Lebensdauer der Anlage von Jahr zu Jahr sinken in dem Maße, wie der Stromerzeugungsmix erneuerbarer und emissionsärmer wird. Im Mehrfamilienhaus (MFH)-Bestand werden Wärmepumpen bisher besonders selten eingesetzt. Hier sind die bestehenden Heizsysteme oft auf hohe Vorlauftemperaturen ausgelegt, und bei zentralen Trinkwarmwasserinstallationen sind hohe hygienische Anforderungen einzuhalten (Legionellenschutz).

Die vorliegende Handreichung für den Einsatz von Wärmepumpensystemen im MFH-Bestand basiert auf den Forschungsergebnissen des Projektverbunds „LowEx im Bestand“, der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wurde. In diesem Verbund haben das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gemeinsam mit Unternehmen der Heizungs- und Gebäudetechnik und Unternehmen der Wohnungswirtschaft neue Lösungen für Wärmepumpen im Mehrfamilienhaus-Bestand entwickelt und demonstriert. „LowEx“ steht darin für Heizsysteme, die thermodynamisch betrachtet einen geringen Exergieverlust aufweisen, indem sie durch geringe Temperaturdifferenzen zwischen Heizmedium und Nutzwärme besonders effizient arbeiten.

### Viele Heizkörper können wiedergenutzt werden

Ein wesentliches Hemmnis für den Einsatz von Wärmepumpen im MFH-Bestand ist die weitverbreitete Annahme, es müssten alle Heizkörper in allen Wohnungen ausgetauscht werden oder eine Fußbodenheizung installiert werden, um eine akzeptable Effizienz der Wärmepumpe zu erreichen. Diese Annahme ist in sehr vielen Fällen unzutreffend. Richtig ist, dass die Effizienz der Wärmepumpe umso höher ist, je weiter die Heizkreistemperaturen abgesenkt werden können. Durch

bereits erfolgte Sanierungsschritte der Gebäudehülle (wie Fensteraustausch oder Fassadendämmung) ist aber der Heizwärmebedarf der einzelnen Räume oft schon deutlich geringer als bei Planung des Heizungssystems, d. h. die Heizkörper sind für den aktuellen Wärmebedarf bereits überdimensioniert. Eine raumweise Heizlastberechnung bringt hier Klarheit, welche Heizkörper ausgetauscht müssen, um die Heizkreistemperaturen auf ein vorgegebenes Niveau absenken zu können.

Für die Trinkwassererwärmung mit Wärmepumpen gibt es je nach Ausgangssituation im Bestand eine Vielzahl möglicher Systemkonfigurationen, zu denen einige Projektergebnisse im Abschnitt Trinkwarmwasser vorgestellt werden. Eine interessante Zukunftsperspektive bieten hier Ultrafiltrationssysteme, die eine deutliche Absenkung der Warmwasser-Zirkulationstemperatur ermöglichen mit sehr positiver Auswirkung auf die Effizienz der Wärmepumpe. Diese Systeme sind jedoch noch nicht Stand der Technik und derzeit noch mit erhöhtem Aufwand bzgl. Genehmigung und Beprobung der Wasserqualität verbunden. Bei einer späteren Nachrüstung einer Ultrafiltrationsanlage lässt sich auch die Effizienz einer bereits früher installierten Wärmepumpe steigern.

Die Kombination eines Heizsystemwechsels auf ein Wärmepumpensystem im MFH mit weiteren, möglicherweise zeitversetzt stattfindenden Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle führt zu einer Vielzahl möglicher Sanierungspfade, die für ausgewählte Referenzgebäude im Vorhaben mittels Simulationen analysiert wurden. Dazu liegt ein umfassender Bericht vor [1]. Ein Hauptergebnis dieses Berichts ist, dass unter den getroffenen Annahmen für die Entwicklungen bei Strom und Gas die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmepumpensysteme kumuliert über die Lebensdauer in vollsanierten Gebäuden nur etwa halb so hoch sind wie die Emissionen der Vergleichssysteme mit Gasbrennwertkessel. Luftwärmepumpen können hier Jahresarbeitszahlen um 3,3 erreichen und erdgekoppelte Wärmepumpen Arbeitszahlen um 4,0.

<sup>1</sup> Zur einfacheren Lesbarkeit wird in dieser Veröffentlichung die Emission von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten als CO<sub>2</sub>-Emission bezeichnet.

## WP-SYSTEME FÜR MFH IM BESTAND

### WÄRMEPUMPENGERÄTE

Im Wohngebäudebereich werden bisher überwiegend fossile Kessel und Fernwärme eingesetzt. Die bereits verwendeten Wärmepumpen werden fast ausschließlich elektrisch angetrieben. Es sind ausgereifte und kompakte Geräte, die im Neubau wie in Bestandsgebäuden eingesetzt werden können. Der Markt für thermische Sorptionswärmepumpen entwickelt sich weiterhin nur sehr verhalten. Von Interesse für Mehrfamilienhäuser und marktverfügbar sind hier aktuell v.a. Absorptionswärmepumpen mit dem Stoffpaar Wasser/Ammoniak. Im Rahmen des thematischen Projektverbunds „LowEx-Bestand“ wurde auch erfolgreich eine Adsorptionswärmepumpe für MFH mit dem Stoffpaar Zeolith/Wasser entwickelt, die jedoch noch nicht marktverfügbar ist. Im Folgenden werden hier nur Lösungen mit elektrischen Wärmepumpen weiter behandelt.

### Funktionsweise

Eine elektrische Wärmepumpe funktioniert wie ein Kühlschrank. Der Kältekreis im Kühlschrank entzieht dem Kühlschrankinneren Wärme und gibt Wärme auf der Rückseite an die Raumluft ab. Die Wärmepumpe entzieht der Umwelt – Erdreich, Grundwasser, Luft – Wärme und erwärmt Heizungs- und Trinkwasser. In der Wärmepumpe befindet sich ein geschlossener Kreislauf, in dem Kältemittel fließt. In einem Wärmeübertrager (Verdampfer) erwärmt die Wärmequelle, das zunächst flüssige Kältemittel und das Kältemittel verdampft auf einem niedrigen Druckniveau. Der Kompressor saugt das dampfförmige Kältemittel an und verdichtet es auf ein höheres Druckniveau. Anschließend strömt das Kältemittel in einen zweiten Wärmeübertrager (Kondensator) und kondensiert dort. Die bei der Kondensation (Verflüssigung) freiwerdende Wärme wird an das Heizwasser abgegeben. In einem Expansionsventil wird der Druck des flüssigen Kältemittels vom hohen Kondensatordruck auf den niedrigeren Verdampferdruck reduziert. Nun tritt das Kältemittel wieder in den Verdampfer ein, um bei der Verdampfung erneut Umweltwärme aufzunehmen.

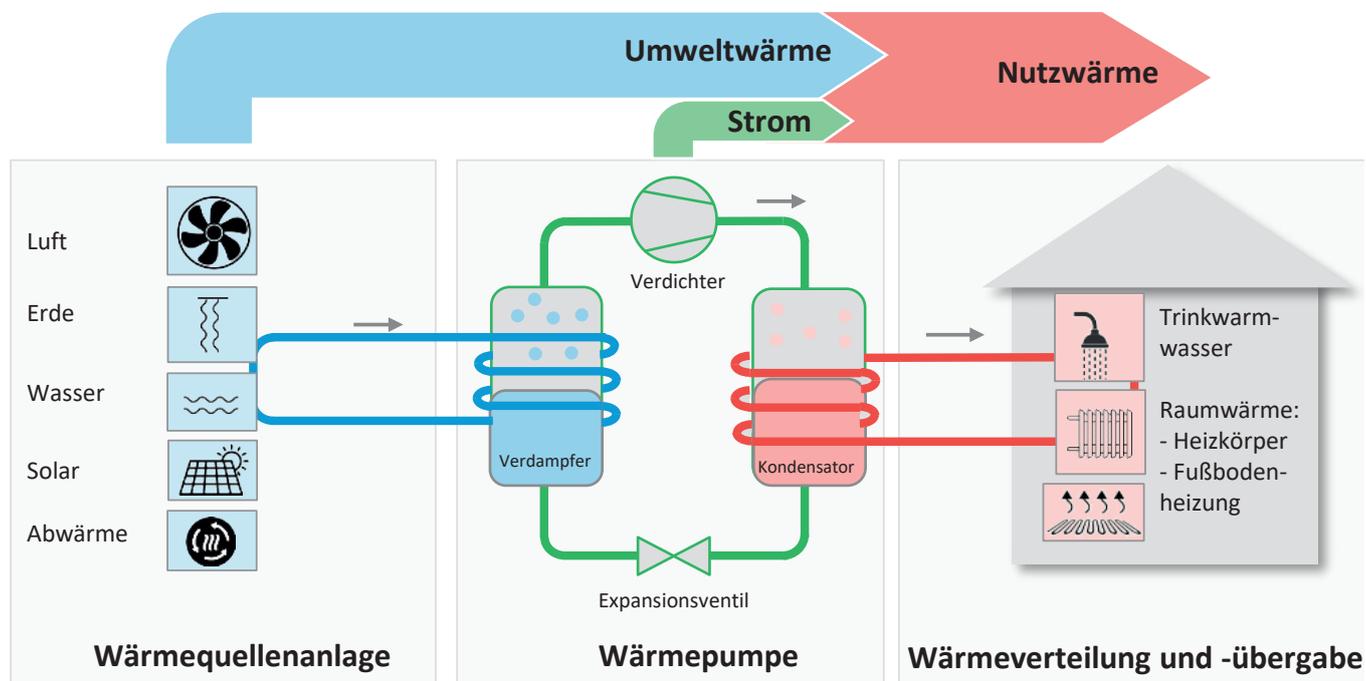


Abbildung 1: Funktionsprinzip eines Wärmepumpensystems

## Leistungsregelung

Die Heizleistung einer unregulierten Wärmepumpe ist von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (bspw. der Außenluft) und Wärmesenke (bspw. dem Heizkreis) abhängig. Mit sinkender Temperaturdifferenz steigt die Heizleistung. Damit besteht eine gegenläufige Tendenz gegenüber dem Wärmebedarf des Gebäudes: Während der Wärmebedarf des Gebäudes und die erforderliche Heizkreistemperatur mit steigender Außentemperatur sinken, steigt die verfügbare Heizleistung der Wärmepumpe. Besonders ausgeprägt ist dies bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen, da hier die Wärmequellentemperatur höheren jahreszeitlichen Änderungen unterworfen ist als bei erdgekoppelten Wärmepumpen.

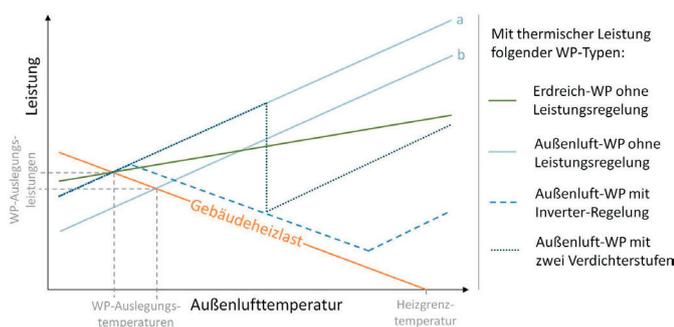


Abbildung 2: Möglichkeiten der Anpassung der Wärmepumpenleistung an die Gebäudeheizlast: Eine über einen großen Leistungsbereich stufenlose Anpassung (Modulation) ist mit Wärmepumpen mit Inverter-Regelung möglich.)

Bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen haben sich für Ein- und Zweifamilienhäuser modulierende Wärmepumpen durchgesetzt. Auch modulierende Sole-Wärmepumpen sind am Markt verfügbar und werden zunehmend nachgefragt. Die kontinuierliche Leistungsregelung des Verdichters passt die Heizleistung – bis zu einer Mindestdrehzahl – an den Wärmebedarf an. Am häufigsten wird die Invertertechnologie eingesetzt. Der Inverter wandelt den Wechselstrom aus dem Netz zunächst in Gleichstrom um. Anschließend wird aus Gleichstrom wieder Wechselstrom in variabler Frequenz erzeugt. Je nach Frequenz ergeben sich unterschiedliche Drehzahlen des Verdichters und somit unterschiedliche Heizleistungen.

Im größeren Leistungsbereich werden Wärmepumpen mit mehreren (meist zwei oder drei) Verdichtern angeboten, die dann meist nicht invertergeregelt sind, so dass diese Wärmepumpen so viele Leistungsstufen wie Verdichter haben. Zudem bieten Hersteller Regelungen für die Kaskadenschaltung mehrerer Wärmepumpengeräte. Mehrstufige Wärmepumpengeräte mit einem Kältekreislauf bieten gegenüber dem Einsatz mehrerer Wärmepumpengeräte das Potential einer höheren Effizienz im Teillastbetrieb. Zudem sind der Platzbedarf und der Installationsaufwand geringer.

Die Nutzung von mehreren Wärmepumpengeräten in einer Kaskade hingegen bietet eine erhöhte Ausfallsicherheit und mehr Flexibilität. So können – abhängig von der Charakteristik des Wärmebedarfes des Gebäudes – Wärmepumpengeräte unterschiedlicher Leistung zusammengestellt werden. Wird in einer Kaskade mehrerer Wärmepumpen eine modulierende Wärmepumpe mit eingebunden, ergibt sich eine kontinuierliche Regelbarkeit über einen großen Leistungsbereich. Die Heizleistung des Wärmepumpensystems kann sehr gut dem aktuellen Wärmebedarf angepasst werden. Ein weiterer Freiheitsgrad bei einer Kaskadenschaltung ist die Möglichkeit, Wärme (gleichzeitig) auf unterschiedlichen Temperaturniveaus bereitzustellen. Hierbei können für das jeweilige Temperaturniveau angepasste Wärmepumpen eingesetzt werden. Eine weiterführende Diskussion der Systemvarianten mit Empfehlungen zur Systemauswahl findet sich in einem Bericht der Stadt Zürich von 2014 [2]. Die Autoren sehen den Einsatzbereich von Kaskadenschaltungen mit mehreren Geräten bei Anlagen mit einer Gesamtleistung über 50 kW und empfehlen bei kleineren Anlagen den Einsatz einer „zweistufigen Anlage oder alleinige Drehzahlregelung mit Frequenzumrichter“.

## Effizienz

### Leistungszahl (COP) und Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe ermöglicht den Vergleich verschiedener Wärmepumpen unterschiedlicher Hersteller bei gleichen Randbedingungen (Quellen- und Senkentemperatur). Sie gibt das Verhältnis von nutzbarer Heizleistung zu aufgewendeter (elektrischer) Antriebsleistung an. Die Europäische Norm EN 14511 definiert Betriebspunkte und Prüfverfahren für die Bestimmung von Leistungszahlen (engl. COP – Coefficient of Performance). So bedeutet z.B. die Angabe A2/W35 für eine Luftwärmepumpe eine Außenlufttemperatur von 2 °C und eine Wassertemperatur (Heizungsvorlauf) von 35 °C.

Um den jährlichen Strombedarf einer Wärmepumpe abschätzen zu können, wird häufig die Jahresarbeitszahl (JAZ, nach VDI-Richtlinie 4650) verwendet. Sie beschreibt die zu erwartende Jahreseffizienz einer Wärmepumpe als Verhältnis der innerhalb eines Jahres abgegebenen Nutzwärme zur aufgenommenen Strommenge. Ermittelt werden kann die Jahresarbeitszahl aus Prüfstandsmessungen, indem für ein gegebenes Heizsystem (z.B. maximal 55 °C Vorlauftemperatur und 45 °C Rücklauftemperatur) die Leistungszahl über fünf repräsentative Betriebspunkte gemittelt wird, die jeweils für ein Fünftel des jährlichen Heizwärmebedarfs stehen. Von den so (am Prüfstand) ermittelten JAZ zu unterscheiden sind gemessene Jahresarbeitszahlen aus Feldtests mit realen Wärme- und Stromverbrauchsdaten eines ganzen Jahres.

International gibt es weitere Effizienz-Kennzahlen wie den SCOP (Seasonal COP) und den SPF (Seasonal Performance Factor), die nach einer abweichenden Berechnungsmethodik ermittelt werden und sich von der JAZ nach VDI 4650 hinsichtlich der Bilanzgrenzen, Eingangsgrößen und der Berücksichtigung von Hilfsenergiebedarfen unterscheiden. Eine weitere Effizienz-Kenngröße, die in der EU für die Beurteilung der Förderfähigkeit von Wärmepumpen herangezogen wird, ist die „jahreszeitbedingte Raumheizungs-Effizienz“  $\eta_s$  (ETA\_s), die in der Ökodesign-Richtlinie (EU 206/2012) definiert ist und eine auf den Primärenergieeinsatz bezogene Jahresarbeitszahl meint.

### Einflussfaktoren auf die Effizienz des Wärmepumpengeräts

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe steigt mit Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke (Temperaturhub); also mit steigender Quellentemperatur bzw. mit reduzierter Heizkreistemperatur. Die Abhängigkeit der Leistungszahl liegt im Bereich zwischen 1,5 % und 4 % pro Kelvin. Aufgrund des hohen Temperatureinflusses auf die Effizienz wird die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe wesentlich von dem Temperaturniveau auf der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite bestimmt. Der prinzipielle Zusammenhang ist in Abbildung 3 dargestellt.

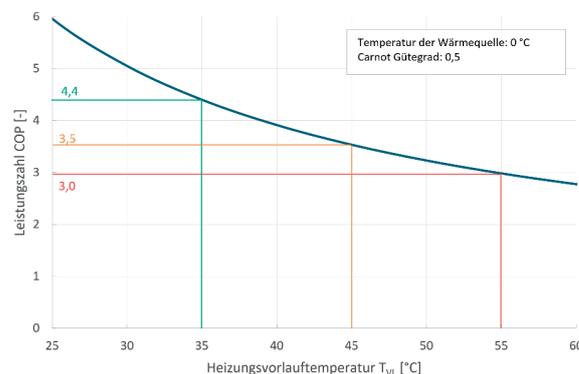


Abbildung 3: Effizienz einer Wärmepumpe, dargestellt bei einer Wärmequellentemperatur von 0 °C

Die Temperatur, mit der die Wärmepumpe auf der Wärmesenkenseite betrieben wird, ergibt sich aus einer Kette von Faktoren: vom Wetter über die Gebäudehülle bis zum Wärmepumpenanschluss im Heizungskeller. Ein entscheidender Systemparameter ist die erforderliche Nutzemperatur für die Raumheizung bzw. das Warmwasser. Das erforderliche Niveau der Heizkreistemperatur wird mit der Wahl des Wärmeübergabesystems und dessen Auslegung bestimmt. Hygienische Aspekte und (Komfort-) Anforderungen der Nutzer bestimmen die einzuhaltenden Warmwassertemperaturen. Die Betriebstemperatur der Wärmepumpe muss höher als die Nutzemperatur liegen, da die Temperatur des Heizungs- bzw. Warmwassers an mehreren Stellen im System reduziert wird.

Hierzu zählen die Grädigkeit an Wärmeübertragern (z.B. zur Trinkwassererwärmung und – selten – zur Entkopplung der Heizkreise vom Wärmeerzeugerkreis), Wärmeverluste des Rohrsystems und der Speicher sowie Mischverluste im Speicher und im Rohrnetz (z.B. in hydraulischen Weichen und Beimischschaltungen). Auch die Wahl der Regelung hat einen Einfluss auf die Betriebstemperatur der Wärmepumpe auf der Wärmesenkenseite. So kann eine nicht angepasste Heizkurve zur Folge haben, dass die Heizkreistemperatur höher als notwendig eingestellt ist.

### ***Einflussfaktoren auf die Systemeffizienz***

Es gibt eine Vielzahl von Faktoren, welche die Systemeffizienz eines Wärmepumpensystems im Betrieb bestimmen. Dies sind zum einen Parameter, welche die Effizienz des Wärmepumpengerätes im Betrieb bestimmen. In Abbildung 4 sind diese grün dargestellt. Hierzu zählen gerätespezifische Größen, wie das Gütegradkennfeld und system- bzw. betriebsabhängige Größen, wie die Betriebstemperaturen, die Taktung und die Leistungsregelung.

Zum anderen beeinflussen weitere Faktoren die Anlageneffizienz. In Abbildung 4 sind diese in grau dargestellt. Hierzu zählen insbesondere der Typ und damit die Effizienz des Zusatz-Wärmeerzeugers (z.B. Heizstab oder Gaskessel oder Solarthermie) sowie dessen Anteil an der Wärmebereitstellung. Hinzu kommen der Hilfsenergiebedarf für Pumpen und Steuerung und die Wärmeverluste von Speichern und Rohrleitungen.

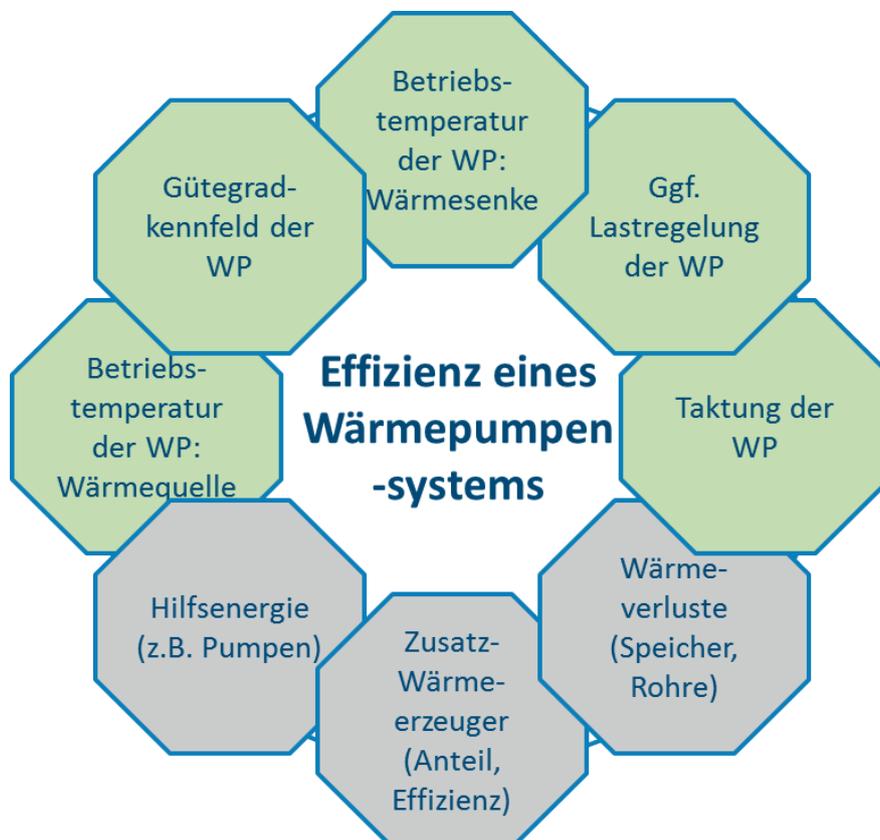


Abbildung 4: Einflussfaktoren auf die Effizienz von Wärmepumpensystemen

### Einsatzbereich

Eine breite Marktverfügbarkeit haben Wärmepumpen für die Beheizung einzelner Gebäude mit Vorlauftemperaturen bis zu 70 °C. Diese hohen Vorlauftemperaturen erreichen insbesondere Wärmepumpen der neuesten Generation mit dem natürlichen Kältemittel Propan. Wärmepumpen älterer Entwicklungsgenerationen erreichen oft nur geringere Vorlauftemperaturen um die 60 °C und weisen in Betriebspunkten mit den höchsten Temperaturen auch größere Effizienzeinbußen auf als die neueste Gerätegeneration. Diese hohen Vorlauftemperaturen sollten im Betrieb trotz allem möglichst vermieden werden, zum einen aufgrund der abfallenden Effizienz und zum anderen, da die Wärmepumpenverdichter im Regelfall nicht für den Dauerbetrieb bei hohen Vorlauftemperaturen (hohe Kondensatordrücke) ausgelegt sind. Ein Betrieb mit niedrigeren Vorlauftemperaturen schont die Wärmepumpe und verlängert ihre Lebensdauer.

Für Anwendungen im Bereich der Nah- und Fernwärme und der industriellen Prozesswärme stehen auch Großwärmepumpen zur Verfügung, die teils wesentlich höhere Heizkreistemperaturen liefern können. Diese Wärmepumpen nutzen zumeist keinen einstufigen Arbeitsmittelkreislauf, sondern einen komplexeren Kreislauf mit zusätzlichen Komponenten. Einen Überblick hierzu bietet das Buch „Hochtemperatur-Wärmepumpen“ von Cordin Arpagaus [3].

### Kältemittel

Wärmepumpen benötigen ein Kältemittel als Arbeitsmedium für ihren geschlossenen Kältekreis, der zumindest einen Verdampfer, einen Kompressor, einen Kondensator und ein Entspannungsorgan (meist Expansionsventil) enthält. Der Kältekreis realisiert den thermodynamischen Kreisprozess, der benötigt wird, um Wärme bei niedriger Temperatur (am Verdampfer) aufnehmen und bei höherer Temperatur (am Kondensator) abgeben zu können. Als Kältemittel werden bis heute überwiegend Stoffe eingesetzt, die zwar nicht mehr ozonschädigend sind, wie die bis in der 1980'er Jahre genutzten FCKWs, aber immer noch klimaschädlich sind, da sie eine vielfach höhere Treibhausgas-Wirksamkeit haben als CO<sub>2</sub> (angegeben durch den GWP-Wert für

„Global Warming Potential“ relativ zu CO<sub>2</sub>). In der EU wird durch die F-Gase-Verordnung der Übergang zu weniger klimaschädlichen Kältemitteln geregelt mit dem Ansatz einer Mengengrenzung, die bereits heute zu einer Verknappung und deutlichen Verteuerung der traditionellen Kältemittel führt. An neuen Kältemitteln mit geringem GWP, die nicht durch die F-Gase-Verordnung verknappert werden, stehen einerseits neue synthetische Kältemittel zur Verfügung, andererseits natürliche Kältemittel wie Propan, Ammoniak und CO<sub>2</sub>. Von diesen ist insbesondere Propan sehr gut geeignet für Wärmepumpen und wird von vielen europäischen Herstellern favorisiert.

## WÄRMEQUELLEN

### Außenluft

Außenluft ist die derzeit am häufigsten verwendete Wärmequelle für Heizungswärmepumpen in Deutschland, da diese den geringsten Aufwand bei der Installation mit sich bringt. Luft/Wasser-Wärmepumpen können üblicherweise im Außentemperaturbereich von +35 °C bis -25 °C betrieben werden. Es bestehen verschiedene Bauarten (Kompaktgerät und Splitgerät), und es sind unterschiedliche Aufstellungsorte möglich. Es bestehen vielfältige Lösungen, Außengeräte optisch gut zu integrieren. Die Anforderungen hinsichtlich des Lärmschutzes sind zu beachten und begrenzen insbesondere bei dichter innerstädtischer Bebauung das Anwendungspotenzial für Luftwärmepumpen. Eine vertiefte Diskussion zur Quellenverfügbarkeit für Wärmepumpen im MFH-Bestand in Abhängigkeit vom Gebäude- und Siedlungstyp findet sich in einem eigenen [Bericht](#) aus unserem Vorhaben LowEx-Bestand [4].

### Erdreich

Die Wärme kann über unterschiedliche Systeme dem Erdreich entzogen werden, bspw. Erdwärmesonden, Erdkollektoren, Energiepfähle. In der Wärmequellenanlage zirkuliert eine Flüssigkeit, häufig eine Wasser-Frostschutzmittel-Mischung. Die Flüssigkeit nimmt Wärme im Erdreich auf und transportiert diese zur Wärmepumpe.

Aufgrund des geringeren Flächenbedarfes bieten sich für Mehrfamiliengebäude Erdwärmesonden an. Die Kunststoffrohre werden üblicherweise senkrecht in das Erdreich eingebracht. Erdwärmesonden können in unterschiedlichen Längen erstellt werden. Aufgrund unterschiedlicher Vorgaben im Genehmigungsprozess sind in Deutschland Längen bis 100 m verbreitet. Aber auch längere Sonden sind mit Genehmigung nach Bergrecht möglich. Die Tiefe und Anzahl der Bohrungen hängt vom Wärmebedarf des Gebäudes und den geologischen Verhältnissen ab. Bestimmte Bohrfirmen bieten auch Bohrungen im Schrägbohrverfahren an, bei dem ausgehend von einem eingegrabenen Betonring schräg in verschiedene Richtungen gebohrt wird („geothermal radial drilling“, GRD). Im Vorfeld der Planung ist zu prüfen, ob und bis zu welcher Tiefe eine Bohrung durchgeführt werden darf und eventuell weitere regionale Vorgaben bestehen.

Erdsondenanlagen sind genehmigungspflichtig. Das Erdreich weist unterhalb einer Tiefe von ca. 10 m ganzjährig eine konstante Temperatur auf, die etwa dem Jahresdurchschnitt der Lufttemperatur am Standort entspricht. Für die Heizperiode bedeutet dies, dass Erdsonden eine deutlich höhere und konstantere Quellentemperatur liefern können als die Außenluft. Dies schlägt sich in deutlich (etwa um 0,7 bis 1,0) höheren Jahresarbeitszahlen von Erdreichwärmepumpen gegenüber Luftwärmepumpen (bei identischen Heizkreistemperaturen) nieder. Bei dichter Bebauung begrenzen oft die Grundstücksgrößen das Einsatzpotenzial von Erdsonden. Eine Quellenkombination von Luft und Erdreich kann hier aussichtsreich sein (vgl. Demonstrations-Anlage in Karlsruhe-Durlach).

### 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 strömungsabwärtsgelegenen Schluckbrunnen wieder in die grundwasserführende Schicht zurückgeführt. Die Verfügbarkeit ist auf Regionen mit einem hohen Grundwasserstand und geeigneter Wasserqualität eingeschränkt. Die Nutzung des Grundwassers als Wärmequelle ist genehmigungspflichtig. Dem Energiebedarf

der Grundwasserpumpe und der Leistungsregelung dieses Quellenkreises sind besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Durch eine überdimensionierte, unregelmäßige Grundwasserpumpe kann die Jahresarbeitszahl sonst leicht um 10% sinken (insbesondere bei tiefem Grundwasserstand).

### Solarthermie

Wird die Solarthermie auf der Wärmequellenseite eingebunden, ist ein niedrigeres Temperaturniveau ausreichend als bei der Einbindung zur „direkten“ Nutzung. Hier können die kostengünstigeren ungedeckten Absorber oder photovoltaisch-thermische Hybridkollektoren (PVT) eingesetzt werden. Solarthermie wird i.d.R. in Kombination mit einer zweiten Wärmequelle (Erdwärme oder Außenluft) als Wärmequelle eingesetzt. Gegenüber einer reinen Außenluft-Wärmepumpe bietet die quellenseitige Integration von Solarthermie das Potential höherer Wärmequellentemperaturen und die Minderung (bzw. zeitweise Vermeidung) möglicher Luftschallbelastung. In Kombination mit der Nutzung von Erdwärme kann die Erdwärmequellenanlage kleiner ausgelegt werden. Bei größeren Sondenfeldern kann auch eine solarthermische Regeneration des Erdreichs (mit Überschusswärme im Sommer) sinnvoll sein, dies sollte durch eine simulationsgestützte Auslegung überprüft werden. Die Vorteile der quellenseitigen Nutzung von Solarthermie kommen insbesondere bei innerstädtischen Anwendungen zum Tragen, wo eine begrenzte Quellenverfügbarkeit von Erdwärme und hohe Herausforderungen bzgl. der Schallbelastung bestehen.

### Wärmequellen für Quartierslösungen

Bei der Wärmeversorgung von Quartieren besteht die Möglichkeit, Wärme aus einer oder mehreren Wärmequellen zu gewinnen und über ein sogenanntes kaltes Nahwärmenetz an die umliegenden Gebäude zu verteilen. Der Hauptvorteil dieser „kalten Nahwärme“ gegenüber einem konventionellen Nahwärmenetz ist, dass bei dieser Wärmeverteilung nur geringe Wärmeverluste anfallen und so ein Netz im Falle günstiger Verlegungskosten schon bei geringen Anschlussdichten wirtschaftlich betrieben werden kann. Die Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden nutzen dieses Netz als Wärmequelle und stellen Wärme zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung auf dem jeweils erforderlichen Temperaturniveau zur Verfügung.

Je nach lokalen Gegebenheiten sind unterschiedliche Wärmequellen nutzbar. Neben Erdwärme, Grundwasser und Solarthermie bietet sich die Nutzung von Abwärme (bspw. Kühlanlagen, Gewerbebetriebe) an sowie des Abwassers. Je nach Wärmequelle wird das Netz bspw. auf einem Temperaturniveau von 5°C bis 20°C betrieben.

## WÄRMEPUMPE & WEITERE WÄRMEERZEUGER

### Monovalente Wärmepumpensysteme

Wird eine Wärmepumpe als alleiniger Wärmeerzeuger vorgesehen, spricht man von einem monovalenten Wärmepumpensystem. Dieses muss dann grundsätzlich auf die zu erwartende Spitzenlast ausgelegt werden unter Berücksichtigung des Einflusses von Pufferspeichern.

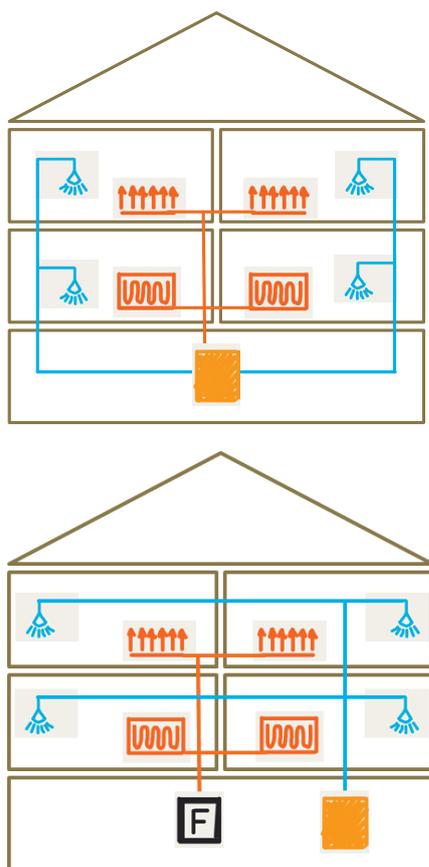


Abbildung 5:  
Monovalentes (WP) und monoenergetisches (WP + elektrischer Heizstab) System

### Monoenergetische Wärmepumpensysteme

Von einem monoenergetischen Wärmepumpensystem spricht man, wenn nur ein Endenergieträger (Strom) verwendet wird, aber eine elektrische Direktheizung (Heizstab) zusätzlich zum Kompressionskreislauf integriert ist. Bei der monoenergetischen Betriebsweise deckt die Wärmepumpe die gesamte Heizwärme bis zu einer definierten Außenlufttemperatur (Bivalenzpunkt). Bei geringeren Außenlufttemperaturen, also höherem Heizwärmebedarf, schaltet der Heizstab ein. Beide Wärmeerzeuger arbeiten i.d.R. parallel. Zur Trinkwassererwärmung wird der Heizstab u.U. auch unabhängig von der Außenlufttemperatur genutzt, um die Temperaturerhöhung über der Einsatzgrenze der Wärmepumpe zu übernehmen oder um ungewöhnliche Lastspitzen abzudecken.

Eine monoenergetische Auslegung ist zur Einsparung von Investitionskosten gegenüber dem monovalenten System von Vorteil, da der Wärmepumpenteil kleiner dimensioniert werden kann. Außerdem ist diese Auslegung erforderlich, falls Betriebsbedingungen außerhalb der Einsatzgrenzen der Wärmepumpe erwartet werden und kein bivalentes System eingebaut werden soll. Im Vergleich zu einem bivalenten System ist die Anlage weniger komplex. Voraussetzung für eine monoenergetische Auslegung ist, dass die zu erwartenden Betriebszeiten des Heizstabes sehr gering sind.

### Bivalente Wärmepumpensysteme

Von einem bivalenten Wärmepumpensystem spricht man, wenn ein zusätzlicher Wärmeerzeuger ins System integriert ist, der einen anderen Endenergieträger nutzt. Dies ist meist ein Gas- oder Ölkessel, kann aber bei größeren Anlagen z.B. auch ein Pelletkessel sein. Die Temperaturregelung der Anlage erfolgt dann meist nach demselben Prinzip wie oben für den Heizstab beschrieben.



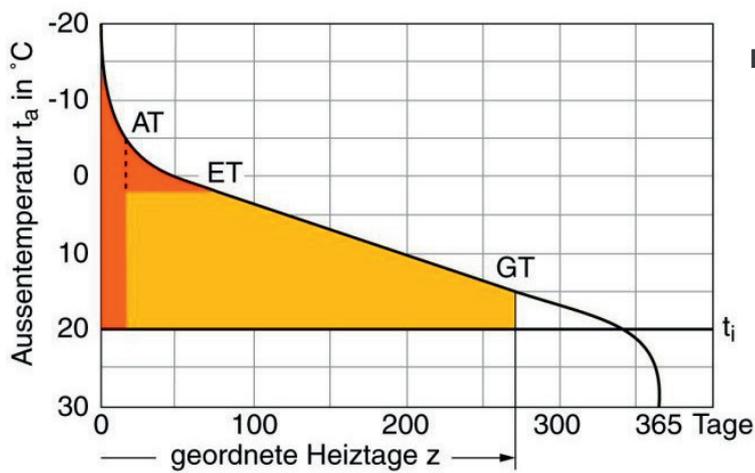
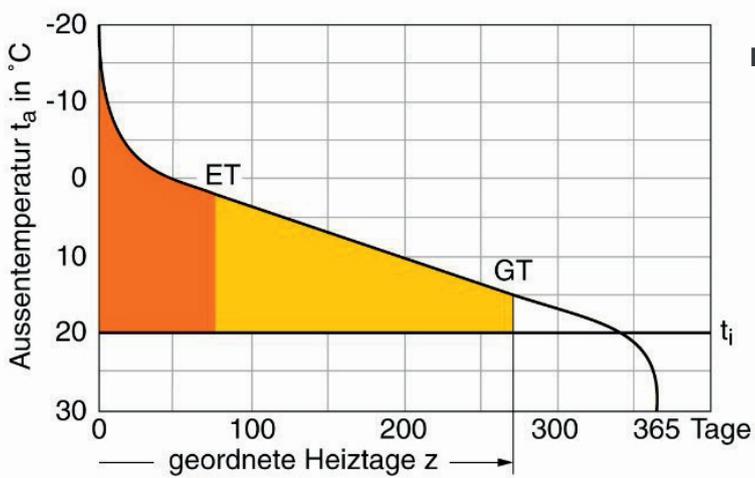
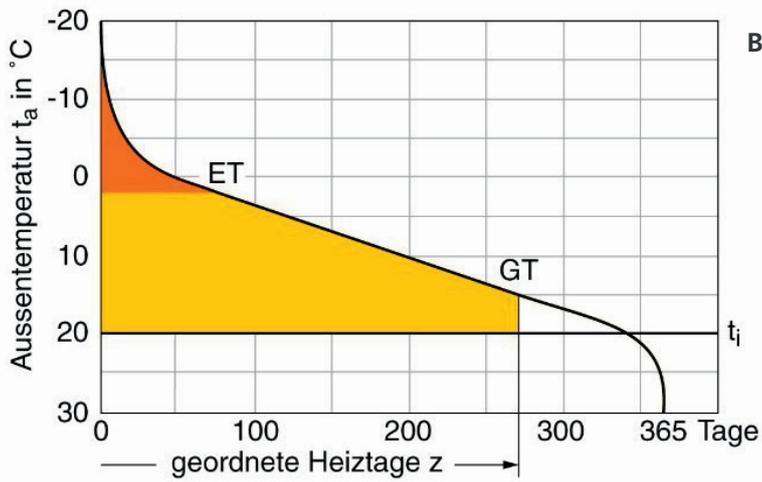
## VORTEILE

Es gibt unterschiedliche Gründe, die dafür sprechen können, zusätzlich zur Wärmepumpe einen Kessel einzusetzen:

- Wärmequellenverfügbarkeit ist nicht ausreichend für monovalentes System.
- Einsatzgrenzen der Wärmepumpe könnten (zeitweise) nicht eingehalten werden (bspw. Trinkwassertemperatur)
- Stufenweise Gebäude- und Anlagensanierung: Wird zunächst nur die Anlagentechnik erneuert und eine Gebäudesanierung zu einem deutlich späteren Zeitpunkt durchgeführt, so wird die Wärmepumpe nur auf den zukünftigen Anwendungsfall hin ausgelegt. Zunächst wird die vorhandene Kesselanlage – oder falls erforderlich bzw. sinnvoll - ein neuer Kessel bzw. Mehrkesselanlage - zusammen mit der Wärmepumpe betrieben.
- Minimierung der Betriebskosten: Abhängig von den aktuellen Energiepreisen (z.B. zeitvariabler Stromtarif) und der Effizienz würde der jeweils günstigere Wärmeerzeuger genutzt werden.
- Minimierung des Primärenergieeinsatzes oder der Emissionen (CO<sub>2</sub>) möglich: Abhängig vom aktuellen PE-Faktor bzw. der CO<sub>2</sub>-Intensität der Energieträger und der Effizienz könnte der jeweils günstigere Wärmeerzeuger genutzt werden.
- Einsparung von Investitionskosten (aufgrund der geringeren spezifischen Investitionskosten eines Gas- oder Ölkessels gegenüber einer Wärmepumpe) bei gleichzeitigem Erzielen einer guten Jahreseffizienz des Gesamtsystems (aufgrund des geringen Anteils von Spitzenlastzeiten)
- Erhöhung der Ausfallsicherheit der Heizungsanlage
- Begrenzung der elektrischen Anschlussleistung, ggf. relevant falls es hierzu technische Begrenzungen oder Auflagen des Netzversorgers geben sollte.
- Betriebsflexibilität in einem „smart grid“ – Betrieb.

Die Nachteile einer bivalenten Anlage können in einem höheren Aufwand für die Systemeinbindung liegen, insbesondere wenn Bestandskomponenten (Kessel, Speicher) zu integrieren sind. Für bivalente Wärmepumpensysteme gibt es drei grundsätzliche Betriebsführungsarten für das Zusammenspiel der beiden Wärmeerzeuger, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind:

- Bivalent-paralleler Betrieb: Unterhalb des Bivalenzpunktes werden weitere Wärmeerzeuger gleichzeitig mit der Wärmepumpe betrieben.
- Bivalent-alternativer Betrieb: Es deckt immer nur ein Wärmeerzeuger die gesamte Heizlast. Oberhalb der minimalen Einsatztemperatur ET ist dies die Wärmepumpe, unterhalb davon der Kessel. Dies ist der regelungstechnisch einfachste Fall.
- Bivalent-teilparalleler Betrieb: In dieser Betriebsweise sind zwischen dem Bivalenzpunkt und dem Abschaltpunkt die Wärmepumpen und der Kessel gemeinsam in Betrieb. Unterhalb des Abschaltpunktes wird die Wärmebereitstellung nur von dem Kessel übernommen.



Wärmepumpe  
 ergänzender Wärmeerzeuger

AT Abschalttemperatur  
 ET Einsatztemperatur  
 GT Heizgrenztemperatur  
 $t_i$  Raumtemperatur

Abbildung 6: Schematische Erläuterung der unterschiedlichen bivalenten Betriebsweisen

## KATEGORISIERUNG VON SYSTEMLÖSUNGEN FÜR DEN MEHRFAMILIENHAUSBESTAND

Bei der Umsetzung von Wärmepumpen in Mehrfamiliengebäuden ist eine Vielzahl an möglichen Systemkombinationen denkbar. Eine Systematisierung dieses großen Lösungsraums wurde im Rahmen der Arbeitsgruppe IEA HPP Annex 50 „Heat Pumps in Multi-Family Buildings“ anhand von Beispielen in verschiedenen teilnehmenden Ländern umgesetzter Systeme erarbeitet. Die vorgeschlagene Kategorisierung (vgl. Abbildung 7) und vereinfachte schematische Visualisierung ermöglicht einen Überblick der Möglichkeiten von Wärmepumpenlösungen in Mehrfamilienhäusern. Sie zielt darauf ab, die Komplexität des Lösungsraums zu reduzieren und Orientierung zu geben, wenn eine Entscheidung über ein neues Heizsystem ansteht.

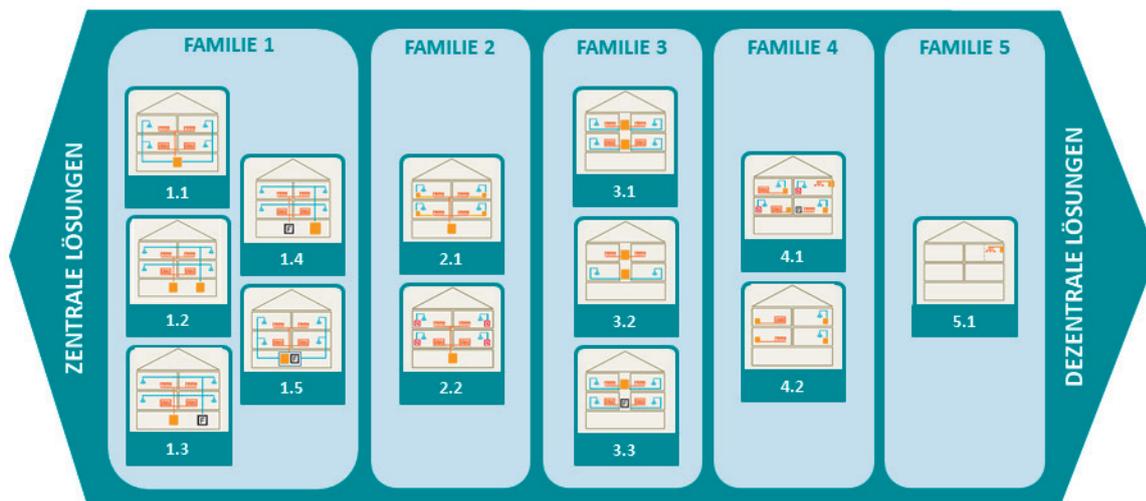


Abbildung 7: Klassifizierung von Wärmepumpenlösungen in fünf Familien mit 13 Basiskonzepten

In größeren Mehrfamiliengebäuden ist eine Vielzahl an möglichen Kombinationen zwischen zentralen und dezentralen Systemen denkbar. Diese wurden anhand von Beispielen realisierter Systeme aus verschiedenen teilnehmenden Ländern erarbeitet. Besonders die Beispiele aus großen europäischen Städten wie London, Genf oder Amsterdam bestätigen, dass Wärmepumpen sowohl in neuen als auch in alten und oftmals nicht sanierten Hochhäusern eingesetzt werden können.

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 Systemen. Die erste Klassifikationsebene besteht aus fünf sogenannten „Lösungsfamilien“. Diese generischen Gruppen werden im Folgenden kurz beschrieben.

### Familie 1 - „Zentrale Wärmepumpensysteme für das Gesamtgebäude“

- Lösung 1.1: Eine zentrale Wärmepumpe für das gesamte Gebäude für Heizung und Trinkwasser.
- Lösung 1.2: Eine separate Wärmepumpe je Modus: eine WP für Raumheizung, eine für Trinkwassererwärmung
- Lösung 1.3: Wärmepumpe für Heizung, ein anderes Gerät für Trinkwassererwärmung
- Lösung 1.4: Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung, ein anderes Gerät für Heizung
- Lösung 1.5: Eine Hybrid-Wärmepumpe für Raumheizung und Trinkwasser für das gesamte Gebäude

#### Familie 2 - „Kombination von zentralen und dezentralen Lösungen“

- Lösung 2.1: Ein zentrales Wärmepumpensystem für eine Betriebsart (z.B. Raumheizung) und dezentrale Wärmepumpen für die zweite Betriebsart (z.B. Warmwasser).
- Lösung 2.2: Eine zentrale Wärmepumpe für Raumheizung, dezentral direktelektrische Warmwasserbereitung

#### Familie 3 - „Wärmepumpen für bestimmte Wohneinheiten“

- Lösung 3.1: Eine Wärmepumpe für mehrere Wohneinheiten, typischerweise gruppiert nach Stockwerk
- Lösung 3.2: Wohneinheiten gruppiert nach WP-Modus. Ein Wärmepumpensystem in einem Modus (Raumheizung oder Trinkwasser) für mehrere Wohneinheiten, typischerweise gruppiert nach Stockwerk
- Lösung 3.3: Wohneinheiten gruppiert nach Wärmeerzeuger. Wohneinheiten werden nach Wärmeerzeuger zusammengeschlossen, typischerweise gruppiert nach Stockwerk

#### Familie 4 - „Wohnungsweise Wärmepumpen“

- Lösung 4.1: Jede Wohnung hat ein individuelles Konzept für Raumheizung und Warmwasserbereitung.
- Lösung 4.2: Eine Dezentrale Wärmepumpe je Betriebsart pro Wohneinheit

#### Familie 5 - „Einzelraum-Wärmepumpe“

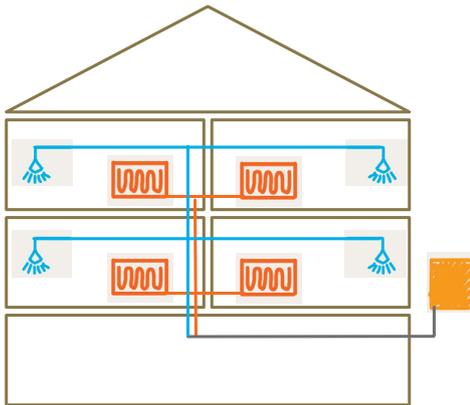
- Lösung 5.1: Eine Wärmepumpe für Raumheizung (oder -kühlung) je Einzelraum der Wohneinheit

Weiterführende Informationen können auf der Website  
des IEA HPP Annex 50 gefunden werden:

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/>

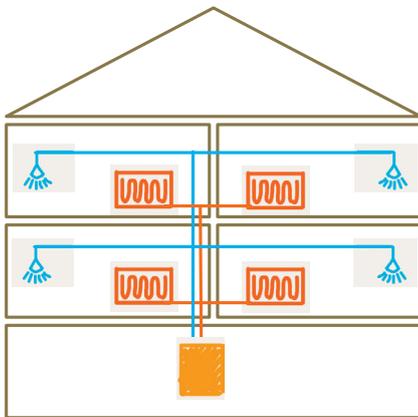
### AUFSTELLUNGSRORTE DER WÄRMEPUMPE

Bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen lassen sich unterschiedliche Bauarten (Kompaktgerät und Splitgerät) und unterschiedliche Möglichkeiten für den Aufstellungsort unterscheiden. Bei Kompaktwärmepumpen (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 geprägt. Auch für Sole/Wasser-Wärmepumpen bieten sich unterschiedliche Aufstellungsmöglichkeiten. Die folgende Zusammenstellung zeigt mögliche Aufstellungsorte von Wärmepumpen bei zentralen und semi-zentralen Versorgungskonzepten.



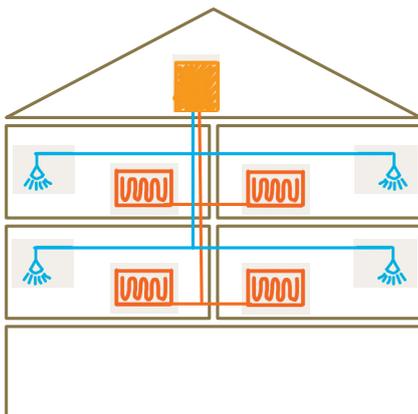
### Aufstellung im Außenraum

Die Aufstellung von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen im Außenraum ist eine etablierte und – bei naher Aufstellung am Gebäude - vergleichsweise günstige Lösung. Der bauliche Aufwand und Platzbedarf im „Heizungskeller“ ist geringer als bei einer innenaufgestellten Wärmepumpe; die Schallbelastung im Außenraum ist höher. Ausschlaggebend für die Schallbelastung ist neben dem Schalleistungspegel des Gerätes der Aufstellort und die Nutzung zusätzlicher Lärmschutzmaßnahmen. Eine weitere Herausforderung bietet die gestalterische Integration in den Außenraum. Ein ansprechendes Geräte-Design oder das Verbergen bzw. Integrieren der Wärmepumpe hinter baulichen Elementen (Zäune, Bepflanzungen, Schuppen u.a.) bieten örtlich angepasste Lösungsansätze. Als eine Variante der Aufstellung der Wärmepumpe kann eine Heiztechnikzentrale außerhalb des Gebäudes errichtet werden. Dies bietet auch die Möglichkeit, die Haustechnikzentrale als vorgefertigte Gesamteinheit anliefern zu lassen.



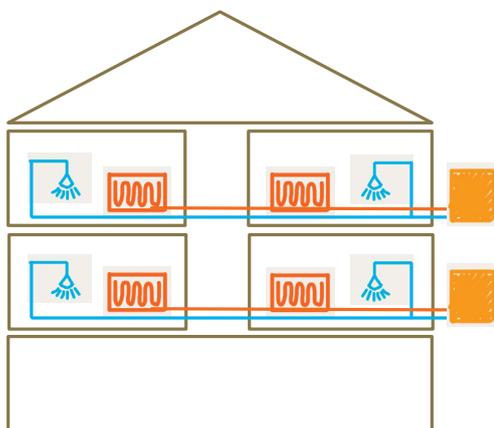
### Innenaufstellung im Kellergeschoss

Die Innenaufstellung erfordert nicht nur für die Aufstellung der Wärmepumpe selber sondern auch wegen der voluminösen Luftkanäle einen höheren Platzbedarf im Heizungsraum. Ist ein großer Heizungsraum mit großen Fenstern oder Luftschächten, die sich für Luftführung eignen, vorhanden, 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 korrekter Ausführung ist die Schallbelastung im Außenraum geringer als bei außen aufgestellten Wärmepumpen. Für Erd- und Grundwasserwärmepumpen ist der Keller meist der naheliegende Aufstellort, hier entfällt die Problematik von Luftkanälen mit großen Leitungsquerschnitten.



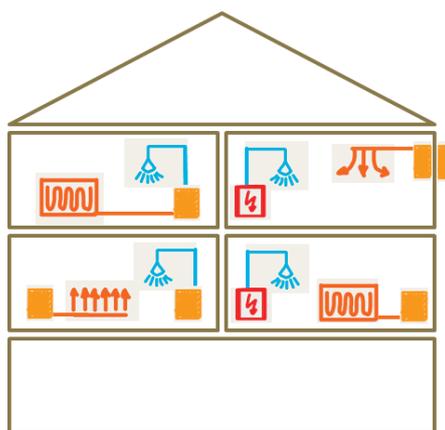
### Aufstellung im Dachbereich

Die Aufstellung von Luftwärmepumpen 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 zu beachten. Die Lösungsmöglichkeiten für die Wahl der Wärmepumpe (Monoblock oder Splitgerät) sowie für die Luftführung über Giebelseite und/oder Dachfläche sind von der konkreten baulichen Situation abhängig.



### Aufstellung an Gebäudefassade

Für Gebäude mit bisher ungedämmter Hülle bietet sich im Zuge der Hüllsanierung mit vorgefertigten Elementen die Option, Gebäudetechnik zu integrieren. Ein Lösungsansatz ist dezentrale Wärmepumpen in Fassaden-Balkonsysteme zu integrieren, die jeweils mehrere oder alle Wohnungen einer Etage mit Wärme versorgen. Die Nutzung von Außenluft als Wärmequelle kann aufgrund der Schallbelastung eine Herausforderung darstellen. Bei Nutzung von Erdreich oder PVT-Kollektoren können die Rohrleitungen in der Fassadenebene geführt werden. (Quelle: <https://www.energiesprung.de>)



### Aufstellung in den 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.

# TRINKWASSERERWÄRMUNG

Bei der Trinkwassererwärmung spielen hygienische Gesichtspunkte, insbesondere die Verhinderung der Ausbreitung von Legionellen in der Trinkwarmwasseranlage, eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich am besten geeignet für den Einsatz von Wärmepumpen sind Trinkwarmwassersysteme, bei denen das Trinkwasser im Durchlaufprinzip erst kurz vor der Zapfung erwärmt wird. Hierfür muss die Wärmepumpe das Wasser nicht über die Zapftemperatur (z.B. 45 °C) hinaus erwärmen, was der Anlageneffizienz zugutekommt. Allerdings sind in der Mehrzahl der Mehrfamiliengebäude in Deutschland zentrale Trinkwarmwassersysteme installiert, in denen das bereits erwärmte Trinkwasser in Rohrleitungen zirkuliert, damit an jeder Zapfstelle schnell warmes Wasser zur Verfügung steht. In diesem Abschnitt werden die Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen für die wichtigsten Fallkonstellationen dargestellt.

Der Anteil des Wärmebedarfs, der auf die Trinkwassererwärmung (TWE) entfällt, hängt stark vom Sanierungszustand der Gebäudehülle ab. Abbildung 7 stellt diese Situation für drei verschiedene Sanierungszustände mittelgroßer Mehrfamilienhäuser aus zwei Baualtersperioden (BAP) dar. Bei einer Sanierung der Gebäudehülle mit Komponenten nach Neubaustandard des Gebäudeenergiegesetzes (S) entfällt etwa ein Viertel des gesamten Wärmebedarfs (inkl. Speicher- und Verteilverlusten) auf das Trinkwarmwasser (TWW), bei einer weitergehenden Sanierung mit Passivhauskomponenten (P) etwa ein Drittel. Der absolute TWW-Wärmebedarf ist dabei nutzerabhängig und bleibt bei einer Sanierung nahezu konstant.

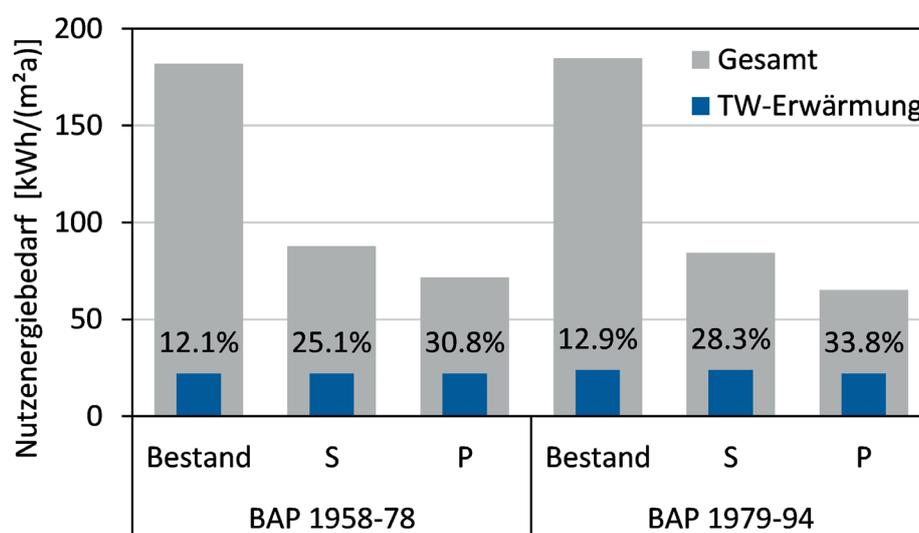


Abbildung 7: Einfluss des Sanierungsstandes auf den Nutzenergiebedarf und den Anteil der TW-Erwärmung am Gesamtenergieverbrauch (Graphik auf Basis von Simulationsergebnissen erstellt)

Hygienische Aspekte von Trinkwassererwärmungsanlagen werden in Deutschland nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 551 behandelt. Darin werden TWE-Anlagen in Klein- und Großanlagen unterteilt. Kleinanlagen sind TWE-Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie Anlagen mit Speichergrößen kleiner 400 l und einem Rohrinhalt kleiner 3 l zwischen Trinkwassererwärmer und Entnahmestelle. Im MFH-Bereich liegen daher meist Großanlagen vor, bei denen eine permanente Wasseraustrittstemperatur am Trinkwassererwärmer 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.

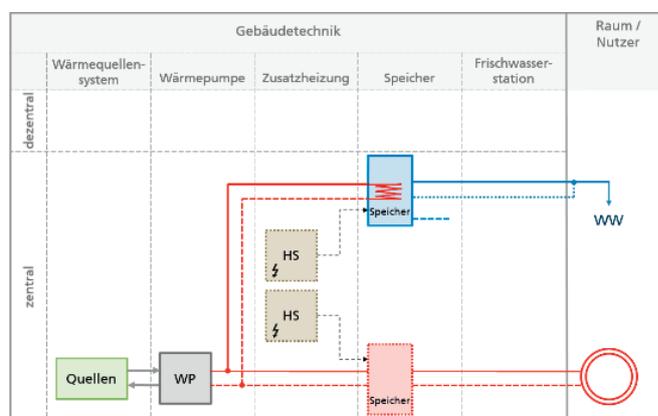
Dieses hohe Temperaturniveau bei zentraler TWE im MFH-Bereich stellt ein Hemmnis für den Einsatz von Wärmepumpen dar. Je höher die bereitgestellte Temperatur, desto niedriger die Effizienz der Wärmepumpe. Zusätzlich kann die maximale Vorlauftemperatur den Deckungsanteil der WP begrenzen und einen zweiten Wärmeerzeuger zur TWE notwendig machen. Deshalb gewinnen Maßnahmen zur Temperaturabsenkung bei der TWE oder der Einsatz von Wärmepumpen mit höheren maximalen Betriebstemperaturen zunehmend an Bedeutung.

Die im Folgenden dargestellten TWE-Varianten können grundsätzlich sowohl mit monovalenten als auch bivalenten Wärmepumpen bedient werden. Die Raumheizung wird hier als Standardfall mit zentralem Pufferspeicher und die Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe und elektrischen Zusatzheizern dargestellt. Im Allgemeinen sind die zuvor für die Raumheizung beschriebenen Betriebsweisen auch auf die TWE anwendbar. Ein energetischer Vergleich der Varianten für ein Wärmepumpensystem in einem großen MFH ist in einem [Konferenzbeitrag](#) [5] dargestellt.

Bei allen Systemen müssen für einen energieeffizienten und hygienischen Betrieb die allgemein anerkannten Regeln der Technik bei Planung, Bau und Betrieb eingehalten werden. So ist auf einen regelmäßigen und hinreichenden Wasseraustausch sowie auf Einhaltung der Temperaturen, sowohl auf Warm- als auch auf Kaltwasserseite, zu achten.

## Trinkwarmwasserspeicher mit integriertem Wärmeübertrager

Aufgrund der limitierten Vorlauftemperaturen bei Wärmepumpen muss für einen effizienten Betrieb die Wärmeübertragerfläche im Trinkwarmwasserspeicher so groß bemessen sein, dass die Heizleistung der Wärmepumpe auch noch am Ende der Beladung übertragen werden kann (geringe Temperaturdifferenzen im Wärmeübertrager). Als Faustregel gilt: 0,25 m<sup>2</sup> Wärmeübertragungsfläche je kW Heizleistung. Im MFH-Bereich stößt man hier 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 sie eine Vorlauftemperatur von 75 °C liefern können.

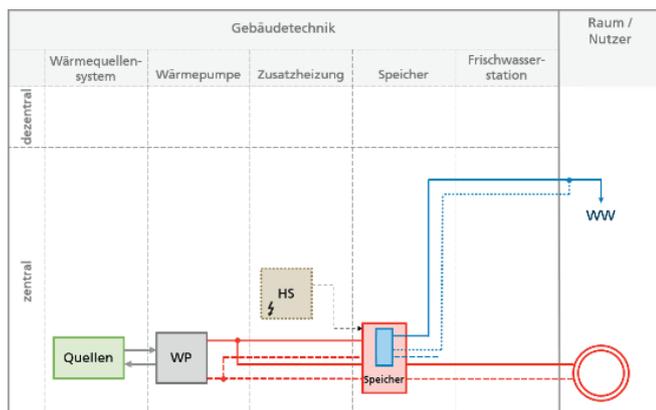


## Speicherladesysteme

Bei größeren Leistungen ist der Einsatz eines entsprechend dimensionierten Ladesystems (externer Wärmeübertrager) zwischen Wärmepumpe und Speicher sinnvoll. Dadurch kann die Wärmeübertragerfläche unabhängig vom Speicher gewählt werden 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.

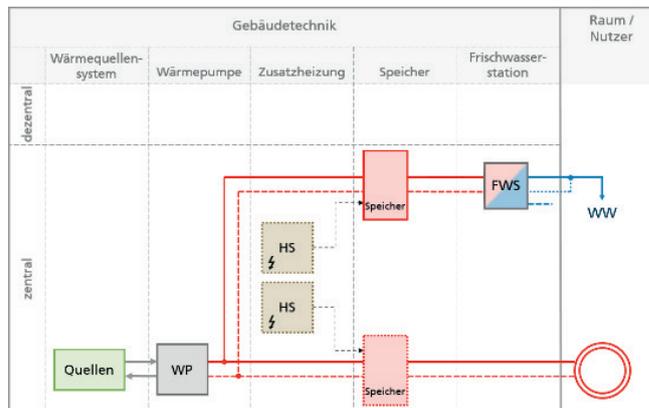
## Kombispeicher

Wenn ein geringer Platzbedarf gefordert ist oder weitere Wärmequellen (für Heizung oder TWE) zu integrieren sind, können Kombispeicher (Heizungspufferspeicher mit integriertem Trinkwasserbereiter) zum Einsatz kommen. Hier werden zwei wesentliche Arten unterschieden: Tank-in-Tank-Systeme und Speicher mit integriertem Durchlaufprinzip. Aufgrund der geringen Oberfläche (vor allem bei Tank-in-Tank-Systemen) ist die Warmwasserleistung in Abhängigkeit von der Puffertemperatur begrenzt. Zwar wird bei Kombispeichern (vor allem mit integriertem Durchlaufprinzip) hauptsächlich Heizungswasser bevorratet, die hygienischen Anforderungen müssen jedoch trotzdem eingehalten werden.



## Zentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung (Frischwasserstation)

Bei der zentralen Durchfluss-TWE wird Heizungswasser in einem Heizungspufferspeicher bevorratet und über ein Plattenwärmeübertragungssystem (Frischwasserstation) an die Trinkwasserverteilung abgegeben. In der Regel sind Frischwasserstationen vorgefertigte Baugruppen, die Pumpen, Ventile, Plattenwärmeübertrager und Regelung enthalten. Die Regelung der TWW-Temperatur erfolgt über Volumenstromregelung der Primärpumpe. Für große Warmwasserleistungsanforderungen können mehrere Module verschaltet werden. Der Vorteil der Frischwasserstation liegt in der möglichen Deckung eines großen Leistungsbedarfs ohne Bevorratung von Trinkwasser. Zu beachten ist, dass die Pufferspeichertemperatur wie bei Kombispeichern um die Grädigkeit der Wärmeübertragers über der gewünschten TWW-Temperatur liegen muss. Auch hier liegt häufig noch ein Zirkulationssystem hinter der Frischwasserstation, so dass weiterhin hohe Zirkulationstemperaturen einzuhalten sind.



## Dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmung (Wohnungsstation)

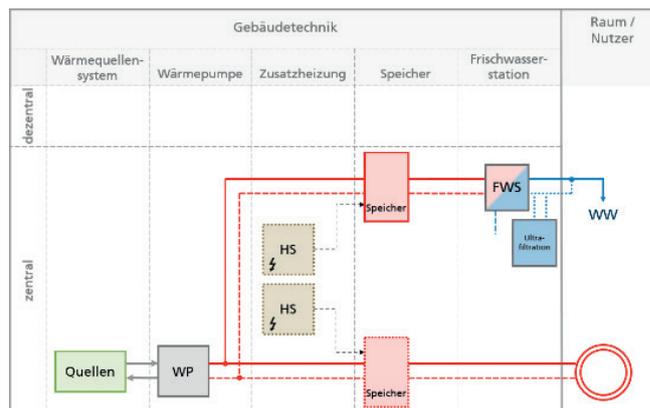
Bei diesen Systemen erfolgt die Trinkwassererwärmung dezentral, meist in den einzelnen Wohnungen. Diese sog. Wohnungsstationen können als Stationen zur reinen TWE oder als Stationen für Raumheizung und TWE ausgeführt werden. Aufgrund der kleinen Systemvolumen gelten diese Anlagen nach DVGW-Arbeitsblatt als Kleinanlagen und haben daher keine Temperaturanforderungen, da sie potentiell weniger anfällig für Legionellenkontaminationen sind. Die hygienische Unbedenklichkeit kann jedoch nicht für alle dezentralen Systeme belegt werden.

Eine Sonderform sind elektrisch beheizte dezentrale Durchfluss-TWE. Diese werden vorzugsweise bei geringem TWW-Bedarf und wenn kein zentrales TWW-Netz vorgesehen ist, eingesetzt. Aufgrund der direkt elektrischen Heizung ist eine hohe elektronische Anschlussleistung notwendig. Außerdem sind die reinen Betriebskosten hoch. Die Umstellung auf ein dezentrales TWE-System ist aufgrund des erhöhten Aufwandes (Bauarbeiten in allen Wohneinheiten) und höheren Investitionskosten herausfordernd. Müssen allerdings im Sanierungsfall die Verteilleitungen sowieso erneuert werden, ergibt sich durch diese Umstellung eine energieeffiziente Variante zur TWE, mit der die Effizienz der Wärmepumpe gegenüber den zentralen Varianten deutlich gesteigert werden kann.

## Ultrafiltration

Der Einsatz zusätzlicher Technologien zur Legionellenbekämpfung, wie der Ultrafiltration, kann die Problematik der hohen TWW-Temperaturen bei Wärmepumpensystemen entschärfen. Hier dargestellt ist ein zentrales Durchfluss-TWE-System, bei dem zusätzlich eine Ultrafiltrationseinheit zur mechanischen Bekämpfung von Legionellen im Zirkulationsrücklauf (Bypass-Betrieb) verbaut ist. Dadurch kann laut Hersteller die Systemtemperatur im TWW-Kreis bis fast auf die Temperatur des gezapften Wassers (45 °C) gesenkt werden. Aufgrund dieser Temperaturabsenkung sinken die Speicher- und Verteilverluste in der Trinkwasserinstallation.

Außerdem kann die Wärmepumpe in einem effizienteren Betriebspunkt arbeiten und den gesamten Wärmebedarf decken. Da der Einsatz der Ultrafiltration bisher noch nicht ausreichend erprobt ist, sind Vorgaben zum Schutz der Verbraucher notwendig. So muss z.B. der hygienisch einwandfreie Betrieb regelmäßig nachgewiesen und das zuständige Gesundheitsamt einbezogen werden. Nach einer erfolgreichen Erstuntersuchung kann mit der stufenweisen Temperaturabsenkung begonnen werden. Die Ultrafiltration stellt somit sicherlich einen der aussichtsreichsten Ansätze zur Effizienzsteigerung von Wärmepumpen im TWE-Betrieb dar. Falls der administrative Aufwand für die Genehmigung und Umsetzung der Ultrafiltration aktuell noch zu hoch erscheint, sollte eine Nachrüstung zu einem späteren Zeitpunkt (mit ggf. vereinfachten Einsatzregeln) erneut geprüft werden.



## RAUMHEIZUNG UND WÄRMEÜBERGABE

Genauso wie bei der Warmwasserbereitung ist auch bei der Raumwärmebereitstellung eine möglichst niedrige Temperatur gefragt, um die Effizienz der Wärmepumpe zu erhöhen. Abbildung 9 zeigt die ausgewerteten Ergebnisse aus dem Monitoringprojekt „WPsmart im Bestand“ für 34 Luft- und 15 Erdreich-Wärmepumpen. Demnach steigt mit jedem Grad Celsius geringerer Wärmepumpentemperatur<sup>2</sup> die Jahresarbeitszahl um etwa 0.13 Punkte für die Luft-Wärmepumpe und um etwa 0.10 Punkte für die Erdreich-Wärmepumpe. Eine Absenkung der Temperaturen im Heizkreis ist demnach ein wichtiger Hebel für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb in Bestandsgebäuden. Der Austausch einzelner unterdimensionierter Heizkörper stellt, in Kombination mit einem hydraulischen Abgleich, eine wirksame Möglichkeit dar, die Systemtemperaturen des Wärmeübergabesystems abzusenken und damit das Heizsystem für den Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden zu ertüchtigen. Bei dieser minimalinvestiven Maßnahme werden lediglich die „kritischen“, am kleinsten dimensionierten Heizkörper ausgetauscht, während das Wärmeverteilsystem und die überwiegende Zahl der Heizkörper nicht verändert werden.

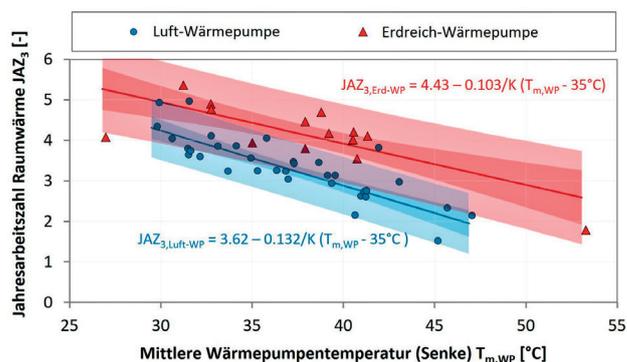


Abbildung 9: Jahresarbeitszahl für Raumwärme in Abhängigkeit der mittleren Wärmepumpentemperatur [6]

<sup>2</sup> Die hier dargestellte mittlere Wärmepumpentemperatur ist die Mitteltemperatur der Vor- und Rücklauftemperaturen auf der Senkenseite der Wärmepumpe (Heizkreis), die über das Jahr anhand ihrer energetischen Beiträge gemittelt wurden.

Die Methode und Ergebnisse des selektiven Heizkörpertauschs werden im Folgenden beispielhaft für das Demo-Vorhaben „Smartes Quartier Karlsruhe-Durlach“ diskutiert. Eine Sanierung der Gebäudehülle erfolgte bereits in den 90er Jahren, sodass die Nennheizlast auf 66 kW, bzw. 50 % der ursprünglichen Heizlast abgesenkt wurde. Die Heizkörper wurden dabei nicht gewechselt, sodass diese für den sanierten Zustand teilweise überdimensioniert sind, und eine Absenkung der Heiznenntemperaturen bzw. der Heizkurve ermöglichen.

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

- Berechnung der raumweisen Heizlast, z.B. nach DIN EN 12831-1:2017
- Bestimmung der installierten Heizkörperleistung bei Norm-Bedingungen (75°C/65°C/20°C)
- Berechnung der Heizkörperleistung bei abgesenkten Heiztemperaturen
- Vergleich der raumweisen Heizlast (Punkt 1) mit der berechneten Heizkörperleistung (Punkt 3) und Identifikation der unterkritisch-dimensionierten Heizkörper je Nenntemperatur.

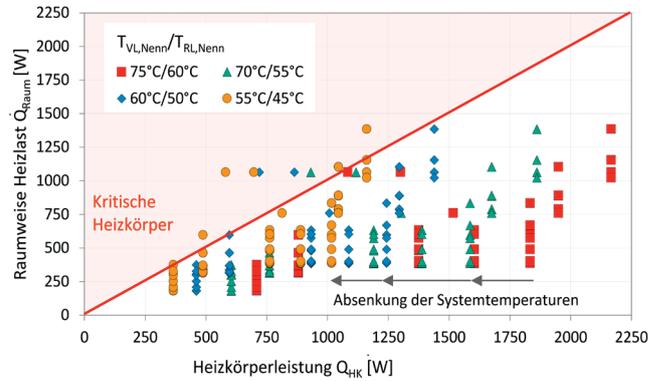


Abbildung 10: Raumweiser Vergleich von berechneter Heizlast und Leistung der Heizkörper Heizkörpernennleistung bei unterschiedlichen Vor- und Rücklauf-Nenntemperaturen für Gebäudetyp 1

Abbildung 10 zeigt den Vergleich der raumweisen Heizlast mit den installierten Heizkörpern für unterschiedliche Systemtemperaturen. Die installierten Heizkörper erlauben demnach einen Betrieb mit Nenn-Vor- bzw. Rücklauf-Temperaturen von 75°C / 60°C. Um die Nenntemperaturen auf 60°C / 50°C bzw. 55°C / 45°C absenken zu können, reicht in diesem Gebäude ein Austausch von 2 Prozent, bzw. 7 Prozent aller Heizkörper aus.

Die folgende Tabelle zeigt dabei den Zusammenhang zwischen Nenntemperaturen und Anzahl der kritischen Heizkörper für zwei Gebäudetypen im Quartier. Durch einen Austausch der unterdimensionierten Heizkörper kann die Heizkurve abgesenkt werden, sodass das mittlere Temperaturniveau der Wärmepumpe reduziert wird, und entsprechend die Jahresarbeitszahl steigt. Die Auswirkung auf die Jahresarbeitszahl wurde dafür mit einer dynamischen Systemsimulation in Dymola/Modelica analysiert.

Nenn- Heiztemperaturen $T_{VL,Nenn}/T_{RL,Nenn}$	Gebäudetyp 1		Gebäudetyp 2		Jahresarbeitszahl JAZ <sub>3</sub>	
	Kritische Heizkörper (150 gesamt)		Kritische Heizkörper (180 gesamt)		Luft-WP	Erd-WP
75°C/60°C	0	0 %	0	0 %	2.0	2.6
70°C/55°C	1	0.7 %	10	6%	2.3	3.0
65°C/50°C	2	1.3 %	18	10%	2.5	3.4
60°C/50°C	3	2 %	64	36%	2.7	3.5
55°C/45°C	11	7 %	94	52%	2.8	3.7
50°C/40°C	44	29 %	138	77%	3.0	4.0

Tabelle 1: Anzahl von kritischen Heizkörpern je Nenntemperatur und korrespondierende Jahresarbeitszahl

Die Untersuchungen zeigen, dass der selektive Austausch von Heizkörpern in Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpen zu einer erheblichen Steigerung von Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Einsparungen führen kann. Im konkreten Beispiel wird eine Absenkung der Nenn-Heiztemperaturen von 75°C / 60°C auf 55°C / 45°C durch einen Austausch von 7 Prozent aller Heizkörper erzielt. Dadurch steigt die Jahresarbeitszahl um 40 Prozent. Bei geringem Investitions- und Umsetzungsaufwand werden die verbrauchsbedingten Betriebskosten entsprechend um 40 Prozent reduziert, sodass die CO<sub>2</sub>-Emissionen gleichfalls um 40 Prozent sinken. Die Maßnahme weist damit eine hohe Wirtschaftlichkeit auf und ist sowohl unter ökonomischen, energetischen als auch ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll.

Die Wirksamkeit der Maßnahme hängt dabei insbesondere von dem Sanierungsstand des Gebäudes und der ursprünglichen Auslegung der Heizkörper ab. Eine Anwendung der Methode auf einen zweiten Gebäudetyp im Quartier zeigt, dass die Ergebnisse trotz der Ähnlichkeit der Gebäude in derselben Baualtersklasse 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 gesammelt zur Verfügung stehen.

Statt eines Austauschs der Heizkörper, ist auch die Nachrüstung der bestehenden Heizkörper mit Ventilatoren möglich.

## NACHRÜSTUNG VON HEIZKÖRPERN MIT VENTILATOREN

Bei Heizkörpern, die sich in der raumweisen Analyse als unterdimensioniert erweisen, kann durch Nachrüstung von Ventilatoren die Wärmeabgabeleistung gesteigert werden. Entsprechende Nachrüst-Sets mit typischerweise drei bis acht Ventilatoren sind als „Heizkörperverstärker“ erhältlich. Ein sehr leiser Betrieb kann erreicht werden mit relativ langsam laufenden Axialventilatoren, die typischerweise mit Magnethalterungen unter dem Heizkörper befestigt werden und sich mittels eines Temperaturfühlers automatisch einschalten, wenn der Heizkörper aktiv ist. Der erhöhte Luftdurchsatz durch den Heizkörper führt zu einem besseren Wärmeübergang und dadurch zu einer um bis zu 50% höheren Heizkörperleistung (je nach Anzahl und Drehzahl der Ventilatoren).

Die Nachrüstung von Ventilatoren eignet sich auch als „Backup-Maßnahme“ nach einem selektiven Heizkörperaustausch für den Fall, dass einzelne Nutzer\*innen 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 Nutzer\*innen entscheidend für die Akzeptanz. In diesem Fall kann im Vorfeld der Maßnahme kommuniziert werden, dass möglichst wenige Heizkörper ausgetauscht werden, um unnötige Kosten zu vermeiden, und dass es einen guten „Plan B“ gibt für den Fall unerwarteter Auswirkungen auf den Nutzerkomfort.

Zum thermischen und akustischen Komfort eines (integrierten) ventilatorunterstützten Heizkörpers wurden am KIT im Rahmen des Vorhabens „LowEx-Bestand: Analyse“ Untersuchungen durchgeführt, zu deren Ergebnissen ein [Bericht](#) verfügbar ist [7].

# LÜFTUNG

Bei der thermischen Sanierung von Gebäudehüllen und der Fenster sollen die Bauteile luftdicht angeschlossen werden. Es sind somit Lüftungskonzepte zu erstellen mit nutzerunabhängigen Systemen, die die Raumluftqualität und den Feuchteschutz sicherstellen (Lüftungskonzept nach DIN 1946-6). Der Einbau von gebäude- und wohnungszentralen Systemen ist dann oft mit erheblichen Eingriffen ins Gebäude oder in die Wohnungen verbunden. Es bieten sich daher minimal-invasive Lösungen an.

Eine kostengünstige Standardlösung besteht in dezentralen Zuluftöffnungen an Fenstern in Verbindung mit einer zentralen Abluftanlage. Diese Systeme ermöglichen jedoch keine Wärmerückgewinnung zwischen Ab- und Zuluft und können daher durch Kaltluftströmungen gewisse Komforteinbußen mit sich bringen. Bei vorhandenen zentralen Abluftsystemen kann Abluft als Quelle für Luft-WP eingebunden werden, sie ist allerdings nicht als alleinige Quelle geeignet, da die Leistung nicht ausreicht. Bei Gaswärmepumpen hingegen kann die Abluft ggf. eine sehr interessante Quelle sein.

Eine weitere Möglichkeit bieten zentrale Lüftungsgeräte und die Versorgung der Räume über in der Fassade geführte Luftleitungen – sofern die Fassaden neu gedämmt werden. Hier sind durch eine Wärmerückgewinnung zwischen Ab- und Zuluft geringe Lüftungswärmeverluste und ein erhöhter Komfort (durch höhere Zulufttemperatur) erreichbar. Auch hier sind geometrische und brandschutztechnische Rahmenbedingungen zu beachten, diese Systeme können aber weitgehend ohne Eingriff in Wohnungen installiert werden.

Eine vollständig dezentrale Lösung stellen raumweise Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung dar. Durch die benötigte Anzahl an Geräten ist der Aufwand hier recht hoch, und Wartungsmaßnahmen müssen i.d.R. von innerhalb der Wohnungen erfolgen. Eine aufwandsreduzierte Variante dieses dezentralen Ansatzes stellen Pendellüfter dar, die paarweise und alternierend betrieben werden. Die Wärmerückgewinnung erfolgt hier über eine in den Luftstrom (typischerweise im Bereich des Wanddurchbruchs) integrierte Speichermasse.



©Jan Kopankiewicz auf Unsplash

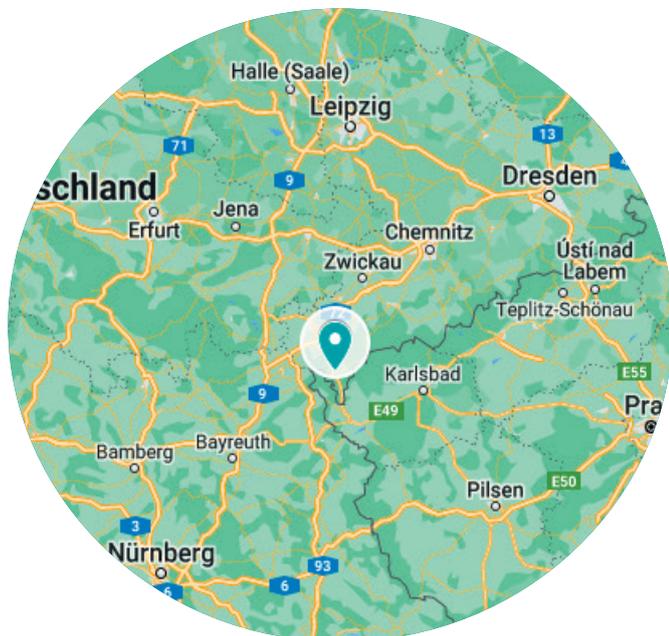
Bei allen diesen Systemen besteht die Entwicklungsperspektive, dass weiterentwickelte Steuerungen auf Nutzerpräferenzen reagieren können bei gleichzeitiger Einhaltung der Normen. Allen Systemen gemein ist die Herausforderung, den Nutzern ein verständliches Interface (Schalter/Steuerungsmöglichkeit) zu geben. Nur so kann Effizienz und Akzeptanz erzielt werden. Jede Versorgungsvariante hat ihre jeweiligen Vor- bzw. Nachteile und sollte für jedes Projekt entsprechend abgewogen werden.

Im Projekt FIHLS, Demoprojekt Adorf wurde ein fassadenintegriertes Pendellüftungsgerät entwickelt, welches wartungsfreundlich am Sockel integriert werden kann und über Luftrohre mit dem jeweiligen Raum verbunden wird. Durch die spezielle Auslegung sind die Geräte unempfindlich gegenüber Wind und auch sehr leise. Dies könnte eine Lösung für serielle Fassadensanierungen sein, die mit minimalem Eingriff in die Wohnungen geplant werden.

# UMSETZUNGSBEISPIELE

**Im Projektverbund wurden in mehreren Mehrfamilienhäusern verschiedene - teils neu entwickelte - Wärmepumpensystemkonzepte sowie fassadenintegrierte Lüftungstechnik erprobt und gemonitort. Allen Projekten gemein ist die Umstellung der Heiztechnik für einen möglichst niedrigen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Die Demonstrationsprojekte und die hierbei gesammelten Erfahrungen werden in den folgenden Steckbriefen und Kurzzusammenstellung der Betriebsanalyse vorgestellt. Eine detaillierte Darstellung der Betriebsanalyse findet sich im *Endbericht zum Vorhaben LowEx Bestand Analyse*.**

# WOHNEN-ADORF



©2023 Google My Maps

Von der Wohnungsgesellschaft Adorf wurde ein Mehrfamilienhaus mit 5 Wohneinheiten zur Verfügung gestellt, bei welchem eine umfangreiche Gebäudesanierung vorgenommen wurde. Es wurden folgende Komponenten demonstriert: Wärmepumpen/Kessel-Hybridanlage, neue Fenster im Dämmrahmen in der Dämmebene und dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und Luftleitungen integriert in vorgefertigte WDVS Dämmelemente. Das Gebäude wurde 1963 mit Fertigteilen aus der WBS Serie erstellt. Vor Sanierung wurde das Gebäude mit einer zentralen Gas-Heizanlage (ohne Brennwerttechnik, Einbau 1993) versorgt. Es waren keine Lüftungssysteme vorhanden.

Es wurde in zwei Schritten saniert: 1) Umbau zur Wärmepumpenanlage und 2) Gebäudehüllsanierung mit Dachdämmung, WDVS mit integrierter Lüftung und neuen 3-fach Isolierglasfenstern.

## GEBÄUDE

Ort	Adorf, Sachsen
Baujahr	1962
Wärmeübergabe	Heizkörper
Beheizte Wohnfläche	280 m <sup>2</sup>
Gebäudehülle	WDVS 20 cm nach Sanierung

## WÄRMEPUMPE UND QUELLE

Anzahl WP	1
Installierte WP-Leistung	3-11 kWth (A2/W35)
Betriebsart	hybrid, monovalent
Wärmequelle	Außenluft
Zusätzliche WE	Gasbrennwertkessel

## WEITERE INFOS

Lüftungssystem	Ja, in Fassade integriert
----------------	---------------------------

## TRINKWARMWASSER

Systemtyp	zentral
Temperatur	65 °C
Zirkulation	ja

## HEIZUNG

Wärmebedarf	50 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Temperatur	65/55 °C

## LESSONS LEARNED

Monitoring des Betriebs  
Bivalente Systeme gut geeignet für nachgelagerte Gebäudesanierung



Draufklicken und viel Freude beim Anschauen des Videos.



Wärmepumpen in Bestandsgebäuden:  
Demonstrationsprojekt "Adorf"



### Zusammenfassung der Betriebserfahrung

Das bivalente System wurde vor Hüllsanierung eingebaut und vor und nach Sanierung durch ein Monitoring begleitet. Das Monitoring wurde im Dezember 2021 in Betrieb genommen. Die hier gezeigten Ergebnisse umfassen die Auswertungsperiode von Januar 2020 bis Juni 2022. Die Gebäudehülle wurde ab Q2/2021 saniert. Ende Oktober 2021 war die Sanierung der Gebäudehülle in weiten Teilen abgeschlossen. Abbildung 11 zeigt Tageswerte der Heizlast bezogen auf die mittlere Außenlufttemperatur vor und nach der Sanierung. Die Streuung der Heizlast ist eine Folge der Unterschiede der solaren Einstrahlung, des Nutzerverhaltens und ggf. der Anlagenparametrierung. Der Einfluss der Gebäudesanierung tritt deutlich hervor.

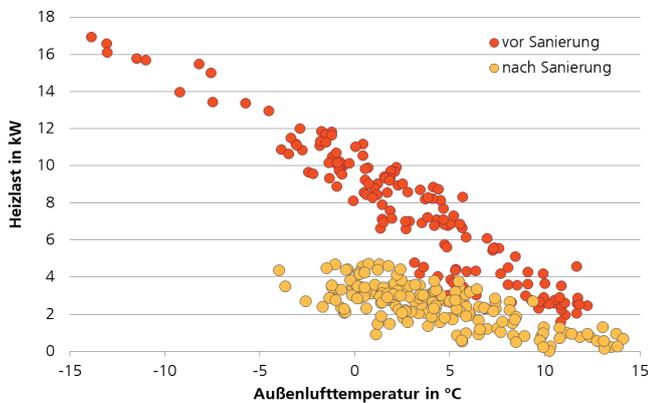


Abbildung 11: Wärmenutzung zur Raumheizung über der Außenlufttemperatur als Tageswerte

Abbildung 12 zeigt die Wärmebereitstellung der beiden Wärmeerzeuger als Tageswerte über der Außenlufttemperatur vor und nach der Gebäudesanierung und Absenkung der Heizkurve. Vor der Gebäudesanierung wurde der Kessel ab Temperaturen unter 2°C bis 5°C zur Unterstützung der Raumheizung eingesetzt. Bei Außenlufttemperaturen von rund -3°C lag der tägliche Deckungsbeitrag von Wärmepumpe und Kessel im RH-Modus in der gleichen Größenordnung. Bei niedrigen Außenlufttemperaturen sank der Deckungsbeitrag der Wärmepumpe deutlich. Nach der Gebäudesanierung und Absenkung der Heizkurve wurde der Kessel – außerhalb eines Ausnahme-Notbetriebes – nahezu nie mehr im RH-Modus betrieben.

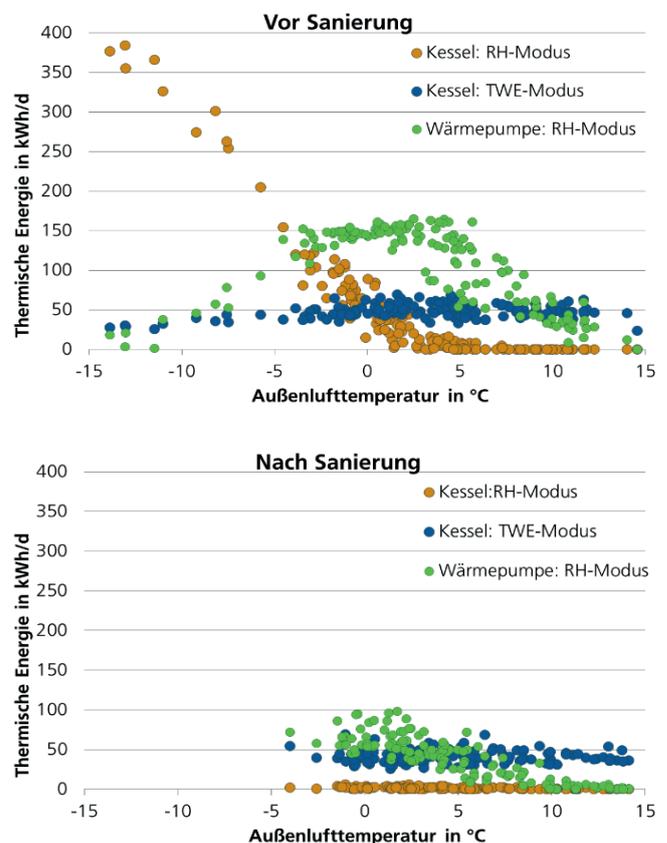


Abbildung 12: Wärmebereitstellung der beiden Wärmeerzeuger über der Außenlufttemperatur

Abbildung 13 zeigt die Heizkreistemperaturen als Tagesmittelwerte über der Außenlufttemperatur vor und nach der Gebäudesanierung und Absenkung der Heizkurve (die Periode mit Notbetrieb ausgenommen). Die Heizkreistemperatur wird über eine außenlufttemperaturabhängige Heizkurve bestimmt. Nach der Gebäudesanierung wurde die Heizkurvenparametrierung angepasst. Vor der Gebäudesanierung wurde der Heizkreis mit einer hohen Spreizung betrieben; bei einer Außenlufttemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  mit rund  $75^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$  und bei  $0^{\circ}\text{C}$  mit rund  $50^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$ . Nach Absenkung der Heizkurve liegt die Heizkreistemperatur bei einer Außenlufttemperatur von  $0^{\circ}\text{C}$  bei rund  $43^{\circ}\text{C}/35^{\circ}\text{C}$ . (Ein Vergleich bei einer Tagesmitteltemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  oder  $-15^{\circ}\text{C}$  kann nicht vorgenommen werden, da im Messzeitraum nach Sanierung nicht so geringe Außentemperaturen auftraten.)

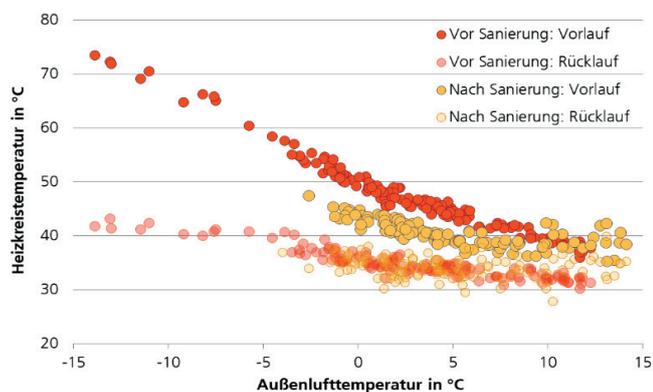


Abbildung 13: Heizkreistemperatur über der Außenlufttemperatur

Abbildung 14 zeigt die Arbeitszahl über der Außenlufttemperatur als Tageswerte. Die Arbeitszahl berücksichtigt den elektrischen Energiebezug des Verdichters, des Ventilators und der Regelung. Die bereitgestellte Wärme wurde im „Heizraum“ (Entfernung Wärmemengenzähler zu WP > 9m) gemessen; die während der Abtauung dem Heizkreis entzogene Wärme wurde abgezogen. Die Temperaturabhängigkeit der Effizienz der Wärmepumpen wird deutlich. Bei einer Außenlufttemperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  und einer Wärmesenktemperatur von rund  $50^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$  liegt die Tagesarbeitszahl bei rund 2,2. Im Vergleich wird bei einer Außenlufttemperatur von  $+5^{\circ}\text{C}$  und Wärmesenktemperatur von rund  $43^{\circ}\text{C}/36^{\circ}\text{C}$  eine Arbeitszahl von rund 3,0 erreicht (vor Sanierung).

Nach der Gebäudesanierung kann zum einen die Heizkreistemperatur abgesenkt werden. Zum anderen wirkt sich positiv auf die Arbeitszahl aus, dass die Wärmepumpe häufiger im Teillastbetrieb arbeitet. Nach Sanierung liegt die Arbeitszahl bei einer Außenlufttemperatur von  $+5^{\circ}\text{C}$  im Mittel bei 3,5. Die Bandbreite der Arbeitszahlen wird insbesondere durch die Unterschiede im Betrieb (Dauer der Betriebsphasen, Teillastfaktor) bestimmt<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Es liegt eine Unschärfe bei der Messung der Außenlufttemperatur vor, da die Positionierung des Sensors bis zur Fertigstellung der Gebäudehülle zeitweise geändert wurde und teilweise u.U. durch den Wärmepumpenauslass beeinflusst wurde. Dieser Effekt wird als untergeordnet bei der Erklärung der Streuung der Arbeitszahl bei gleicher Außenlufttemperatur eingeordnet.

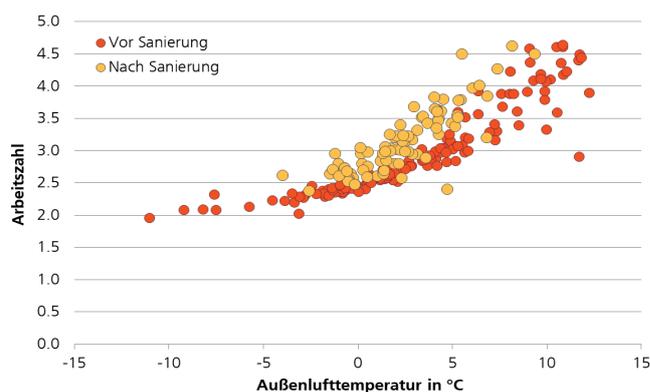
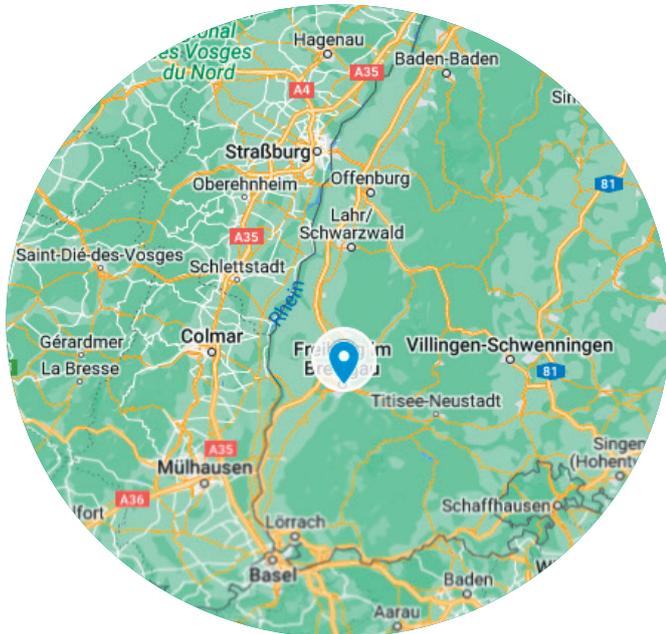


Abbildung 14: Arbeitszahl über der Außenlufttemperatur

# WOHNHAUSANLAGE

## FREIBURG, BADEN-WÜRTTEMBERG



©2023 Google My Maps

Es ist eine Wohnanlage mit 43 Wohnungen, darin wurden zwei neue Grundwasser-WP für Heizung und TWW eingebaut mit Spitzenlastversorgung im Parallelbetrieb. Neue Speicher, Legionellenfilter und Absenkung des TWW Temperaturniveau (Zulassung beantragt) sollen die Effizienz steigern. Der Umbau fand in bewohntem Zustand in der Heizperiode (Heizcontainer während Umbaumaßnahme) statt. Es wurden in einer aufwendigen Vorplanung verschiedene Konzepte diskutiert. Das umgesetzte Konzept dient als Proof-of-concept für weitere Bestandssanierungen im Contractingmodell. Die Komponentenauslegung und Abwicklung sollen weiter standardisiert werden. Das Contracting ist mit Effizienzgarantie (min. JAZ) festgelegt. Es wurde in 2 Schritten saniert: 1) Ausbau alter Komponenten mit gleichzeitigem Heizbetrieb (Wärmecontainer außerhalb); 2) Umbau der Wärmepumpenanlage.

### GEBÄUDE

Ort	Freiburg, Baden-Württemberg
Baujahr	2002
Wärmeübergabe	Fußbodenheizung
Beheizte Wohnfläche	3430 m <sup>2</sup>
Gebäudehülle	WDVS 20 cm

### WÄRMEPUMPE UND QUELLE

Anzahl WP	2
Installierte Leistung	146 kWth + 77 kWth
Betriebsart	monovalent
Wärmequelle	Grundwasser

### WEITERE INFOS

Investitionskosten	NN
Lüftungssystem	Nein

### TRINKWARMWASSER

Systemtyp	zentral
Temperatur	65 °C
Zirkulation	ja

### HEIZUNG

Wärmebedarf	ca. 60 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Temperatur	43/37 °C

### LESSONS LEARNED

Monitoring des Betriebs  
Standardisierung Komponentenauslegung und Abläufe



Draufklicken und viel Freude beim Anschauen des Videos.



Wärmepumpen in Bestandsgebäuden:  
Demonstrationsprojekt "SanBest"



### Zusammenfassung der Betriebserfahrung

Die Wärmeversorgung eines Bestandsquartiers mit 43 Wohneinheiten wurde durch ein erneuertes Wärmepumpensystem mit Grundwasser als Wärmequelle umgesetzt. Das Gebäudeensemble mit Baujahr 2002 besteht aus 2 Mehrfamilienhäusern (11 und 15 Wohneinheiten) und 2 Reihenhauseszeilen mit je 5 Häusern und 2 Doppelhäusern. Insgesamt umfassen die Gebäudeensembles eine beheizte Fläche von 3.430 m<sup>2</sup>. Die Wärmeversorgung erfolgt zentral (Heizung und Trinkwarmwasser) und nutzt Fußbodenheizungen für die Wärmeübergabe. Die Anlage wurde im Energie-Contracting-Modell aufgebaut. Das neue System besteht aus zwei 2-stufigen Grundwasser/Wasser-Wärmepumpen, die für einen monovalenten Betrieb ausgelegt wurden. Eine elektrische Zusatzheizung durch einen Heizstab ist nicht vorgesehen. Die Anlage ist nach den Einsatzbereichen Raumheizung und Trinkwassererwärmung aufgeteilt. Jede Wärmepumpe übernimmt vorrangig einen dieser Einsatzbereiche, so dass eine Separierung nach Temperaturniveaus über die meiste Zeit im Jahr erreicht wird. Dabei wird die Niedertemperatur-Wärmepumpe (NT) hauptsächlich für die Bereitstellung von Raumwärme und die Hochtemperatur-Wärmepumpe (HT) hauptsächlich für die Bereitstellung des Trinkwarmwasser eingesetzt.

Der Betrieb der Anlage wurde über zwei vollständige Jahre anhand von Messdaten des Betriebs analysiert (Juli 2020 bis Juni 2022). Die Heizwärmenutzung lag bei 59 kWh/(m<sup>2</sup>a) im ersten Auswertungsjahr (2020/2021) und 51 kWh/(m<sup>2</sup>a) im zweiten Auswertungsjahr (2021/2022). Zur Trinkwassererwärmung wurde eine jährliche Wärmemenge von 36 kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. 42 kWh/(m<sup>2</sup>a) benötigt. Die Wärmemenge, die am Speicherausgang im Zuge von Trinkwasserzapfungen (bei regulärem Betrieb) gemessen wird, beträgt rund 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Für die durchgängig betriebene Zirkulation (24h/d) wurde eine um ein Viertel höhere Wärmemenge ermittelt (19 kWh/(m<sup>2</sup>a)).

Abbildung 15 zeigt Tageswerte der Arbeitszahl AZ1 der Wärmepumpengeräte in Abhängigkeit von der Wärmesenktemperatur. Die Wärmesenktemperatur wird aus dem Mittelwert der Vorlauf- und Rücklauf-temperatur gebildet. Die Arbeitszahl AZ1 berücksichtigt die Wärmebereitstellung direkt nach den Wärmepumpen und umfasst den elektrischen Energiebezug des Verdichters und der Steuerung. Die Niedertemperatur-Wärmepumpe

wurde meist bei einer mittleren Heizkreistemperatur um 39°C betrieben. Hier wurden Arbeitszahlen AZ1 im Bereich von 5,0 bis 5,5 erreicht. Für die Trinkwassererwärmung lag die mittlere Betriebstemperatur höher mit rund 62°C / 58°C (Vorlauf / Rücklauf der HT-Wärmepumpe) bis April 2021. Diese wurde anschließend auf rund 66°C / 61°C angehoben.

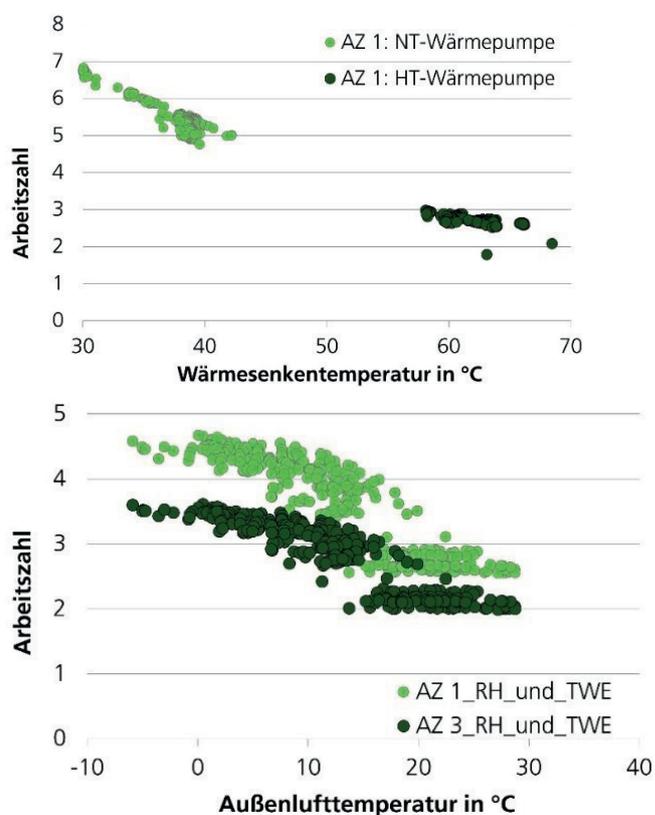


Abbildung 15: Tageswerte der Arbeitszahl 1 getrennt für beide Wärmepumpen über der Wärmesenktemperatur (a) und Arbeitszahl beider Wärmepumpen gemeinsam (b).

Die gemessenen Jahresarbeitszahlen JAZ<sub>1</sub> der Wärmepumpenkaskade (beide Wärmepumpen) lagen bei 4,0 (erstes Betriebsjahr) und 3,5 (zweites Betriebsjahr). Zur Bewertung der Anlageneffizienz der Gesamtanlage ist der Wärmequellenantrieb zu berücksichtigen. Der Wärmequellenantrieb besteht hier aus einer Grundwasserpumpe und je einer Wärmequellenpumpe je Wärmepumpe. Dieser wird mit der Bilanzgrenze 3 berücksichtigt.

Der Energiebezug des Wärmequellenantriebs wird in dieser Anlage durch die Brunnenpumpe dominiert und beläuft sich auf gut ein Fünftel des Energiebezuges der Verdichter und Steuerung der Wärmepumpen. Der hohe Energiebezug der Brunnenpumpe ist auf die hohe unregelmäßige Leistungsaufnahme (5 kW) zurückzuführen. Daher liegen die Jahresarbeitszahlen AZ3 der Kaskade mit 3,1 (erstes Betriebsjahr) und 2,8 (zweites Betriebsjahr) deutlich niedriger als die Jahresarbeitszahlen der Bilanzgrenze 1. Hier liegt ein guter Ansatzpunkt für eine weitere Anlagenoptimierung. Weiter wurde in der Anlage häufiges Takteten der Wärmepumpen beobachtet. Für zukünftige Wärmepumpeninstallation lässt sich aus dieser Anlage ableiten, dass eine angepasste Dimensionierung, insbesondere eine sinnvolle Kaskadierung und Wärmepumpenmodulation wichtige Voraussetzungen sind, um einen Betrieb mit geringer Taktung zu ermöglichen.

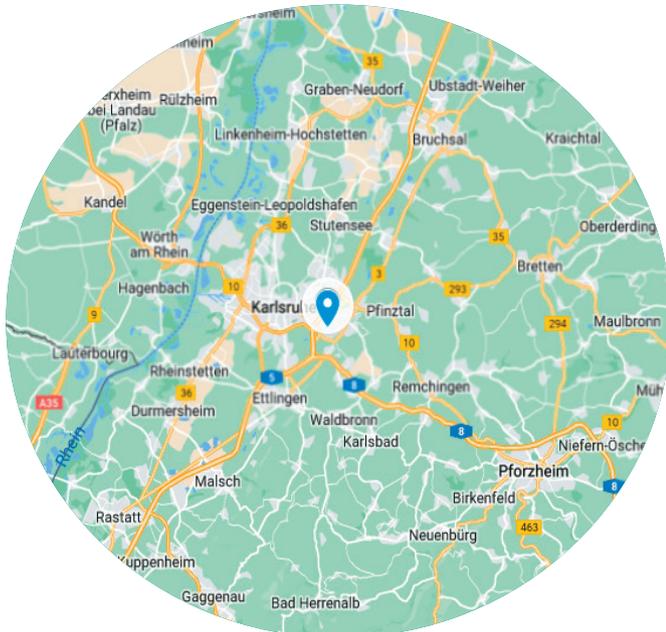


Wohnhausanlage in Freiburg.  
© Energiedienst

# SMARTES QUARTIER

## KARLSRUHE-DURLACH

### ERSINGER STRASSE 4 <<HEAVEN>>



©2023 Google My Maps

Das Gebäude ist Teil eines Clusters von fünf großen sanierten Mehrfamilienhäusern aus den 1960er Jahren im Karlsruher Stadtteil Durlach, in dem im Rahmen des Forschungsprojekts „Smartes Quartier Durlach“ ein integriertes Energiesystem demonstriert wird. Das Gebäude wurde 1995 modernisiert (2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung,  $U_{\text{Fenster}} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) und die Gebäudehülle wärmedämmend: Fassade (6 cm), Kellerdecke (10 cm) und die oberste Geschossdecke (12 cm, begehbar). Das Gebäude hat eine beheizte Wohnfläche von 2112 m<sup>2</sup> verteilt auf fünf Etagen mit insgesamt 30 Wohneinheiten. Das Wärmepumpensystem wurde im Rahmen des Projekts „HEAVEN“ von der Fa. Viessmann und dem Fraunhofer ISE entwickelt: Die innovative Wärmequellenhydraulik nutzt die Synergien von Luft (Verfügbarkeit, Kosten) und Erdwärme (Leistung) als Wärmequelle und ermöglicht Regeneration und Abtauung durch intelligente Steuerung.

#### GEBÄUDE

Ort	Karlsruhe, Baden-Württemberg
Baujahr	1963
Wärmeübergabe	Heizkörper
Beheizte Wohnfläche	2112 m <sup>2</sup>
Gebäudehülle	6 cm Wärmedämmung (1995 renoviert)

#### WÄRMEPUMPE UND QUELLE

Anzahl WP	2
Installierte Leistung	27 kWth + 43 kWth
Betriebsart	bivalent
Wärmequelle	Luft (Außeneinheit) + Erdwärmesonden

#### WEITERE INFOS

Investitionskosten	NN
Lüftungssystem	Nein
PV-Anlage	ja (PVT)

#### TRINKWARMWASSER

Systemtyp	zentral
Temperatur	65/55 °C
Zirkulation	ja

#### HEIZUNG

Wärmebedarf	ca. 60 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Temperatur	55/45 °C

#### LESSONS LEARNED

Monitoring des Betriebs  
Vereinheitlichung Komponentenauslegung und Abläufe



Viel Freude beim Anschauen!



### Zusammenfassung der Betriebserfahrung

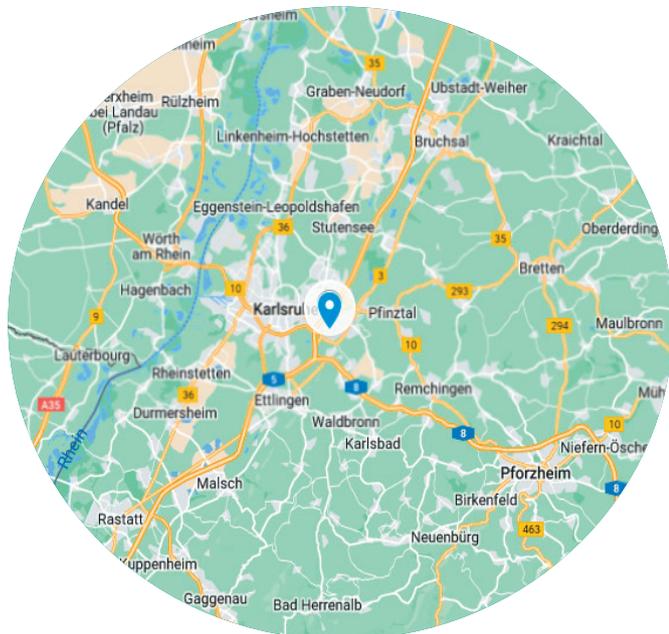
Kernstück der Anlage ist eine neu entwickelte Mehrquellen-Hydraulik mitsamt Regelungslogik. Der systemische Ansatz adressiert das Problem der begrenzten Flächenverfügbarkeit in städtischen Wohngebieten. Im Vergleich zu einem System mit nur einer Wärmequelle wird der Flächenbedarf des Erdwärmeübertragers im vorliegenden Fall um 50 % reduziert. Im Demonstrator wird das Mehrquellen-WP-System von einem 91 kW<sub>th</sub> Gasbrennwertkessel unterstützt und ist als bivalent paralleles System ausgelegt. Es wurde ein erster Betriebszeitraum von Februar – September 2022 ausgewertet. Der Wärmebedarf für Raumwärme und Trinkwarmwasser wurde zu 68% von der Wärmepumpe gedeckt. Der Gaskessel war insbesondere für die Trinkwarmwassererzeugung zuständig. Das Erdsondenfeld stellte rund 36% der Umweltwärme auf der Quellenseite bereit. Dieser Anteil wird sich voraussichtlich bei Berücksichtigung einer vollständigen Heizsaison erhöhen. Die Mehrquellenhydraulik erzielt im beobachteten Betriebszeitraum relativ hohe Quelltemperaturen. Dies führt trotz hoher Temperaturen der Wärmebereitstellung (Vorlauftemperatur für Raumwärme zwischen 55-60°C bei 0°C Außentemperatur) zu einer guten Arbeitszahl des ersten Betriebshalbjahrs von 3,2 (Raumwärme und Trinkwarmwasser).



# SMARTES QUARTIER

## KARLSRUHE-DURLACH

### ERSINGER STRASSE 2



©2023 Google My Maps

Das Gebäude ist Teil eines Clusters von fünf großen sanierten Mehrfamilienhäusern aus den 1960er Jahren im Karlsruher Stadtteil Durlach, in dem im Rahmen des Forschungsprojekts „Smartes Quartier Durlach“ ein integriertes Energiesystem demonstriert wird. Das Gebäude wurde 1995 modernisiert (2-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung,  $U_{\text{Fenster}} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) und die Gebäudehülle wärmegeklämmt: Fassade (6 cm), Kellerdecke (10 cm) und die oberste Geschossdecke (12 cm, begehbar). Das Gebäude hat eine beheizte Wohnfläche von 2112 m<sup>2</sup> verteilt auf fünf Etagen mit insgesamt 30 Wohneinheiten. Die demonstrierte Wärmepumpentechnologie nutzt PVT-Kollektoren als alleinige Quelle. Außerdem wurden 13 von 150 Heizkörpern ausgetauscht, um eine Absenkung der Heiztemperatur auf 55/45 °C zu ermöglichen.

#### GEBÄUDE

Ort	Karlsruhe, Baden-Württemberg
Baujahr	1963
Wärmeübergabe	Heizkörper
Beheizte Wohnfläche	2112 m <sup>2</sup>
Gebäudehülle	6 cm Wärmedämmung (1995 renoviert)

#### WÄRMEPUMPE UND QUELLE

Anzahl WP	1
Installierte Leistung	55,4 kWth
Betriebsart	bivalent
Wärmequelle	PVT-Kollektoren

#### WEITERE INFOS

Investitionskosten	NN
Lüftungssystem	Nein
PV-Anlage	ja (PVT)

#### TRINKWARMWASSER

Systemtyp	zentral
Temperatur	65/55 °C
Zirkulation	ja

#### HEIZUNG

Wärmebedarf	ca. 60 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Temperatur	55/45 °C

#### LESSONS LEARNED

Monitoring des Betriebs  
Vereinheitlichung Komponentenauslegung und Abläufe



### Zusammenfassung der Betriebserfahrung

Das Wärmepumpensystem wurde zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Dokuments noch nicht in Betrieb genommen. Daher kann nicht über Betriebserfahrungen berichtet werden.





## WIRTSCHAFTLICHKEIT VON WP IM BESTAND

Aufbauend auf der Simulation verschiedener Systemvarianten monoenergetischer und bivalenter Wärmepumpensysteme für unterschiedlich renovierte Mehrfamiliengebäude wurden Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Wärmepumpensysteme durchgeführt. Hinzuweisen ist darauf, dass die Annahmen zur Entwicklung von Energiebezugskosten im Laufe der Projektbearbeitung getroffen wurden (Projektende Februar 2022) und daher nicht die seit Februar 2022 verzeichnete Dynamik repräsentieren. Daher sind die folgenden Ausführungen eher als qualitativer Vergleich von Systemvarianten zu interpretieren.

Die im Rahmen des Projekts angenommene Entwicklung von Energiebezugskosten und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Strom und Gas ist in Tabelle 2 dargestellt. Aufgrund der Ressourcenverknappung wird hierbei für Gas eine Erhöhung der Bezugskosten erwartet, wohingegen für Strom für den Wärmepumpeneinsatz eine Abnahme der Bezugskosten, hervorgerufen durch Zunahme von Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien (EE), prognostiziert wird. Im gleichen Maße ist für eine Vorhersage der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Gebäudesektor die Entwicklung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen bedeutsam. Durch die Herstellung von Wasserstoff mit Strom aus EE ist hier eine Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Gas möglich. In noch stärkerem Maße drückt sich jedoch eine Steigerung der Stromproduktion durch EE auf die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen desselben aus.



Mittels Kostendaten und Lastreihen eines mittleren Mehrfamilienhauses (MMH) der Baualtersperiode (BAP) 1958-78 ergeben sich Barwerte für verschiedene Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle (siehe Abbildung 15). Unabhängig von der Sanierungstiefe (S: Sanierung nach GEG-Standard oder P: nach Passivhaus-Standard) führt eine Sanierung der Gebäudehülle inklusive Wechsel des Heizsystems von Gas-Brennwertkessel auf Wärmepumpen(WP)-Systeme zu einem weniger negativen Barwert (entspricht den niedrigsten Gesamtkosten). Hierbei schneiden bivalente Außenluft-WP-Systeme, unabhängig vom Sanierungsgrad, am besten ab. Durch den hohen Invest in die Gebäudehülle bei der Sanierung nach Passivhaus-Standard, welcher nicht durch geringere Energiebezugskosten kompensiert werden kann, ergeben sich höhere Kosten für die hochwertigere Sanierungsstufe. Dies zeigt Abbildung 16), beispielhaft für die Systemvariante A60b (bivalentes System mit Luftwärmepumpe und Dimensionierungsfaktor von 60%).



Abbildung 15: Barwert verschiedener Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle für alle untersuchten Sanierungsstufen der Baualtersperiode 1958-78 für MMH

Jahr	Energiebezugskosten			Spezifische CO <sub>2</sub> Äq-Emissionen		
	Strom (WP) ct/kWh	Gas ct/kWh	Verhältnis Strom/Gas	Strommix g <sub>CO<sub>2</sub>Äq</sub> /kWh	Gas g <sub>CO<sub>2</sub>Äq</sub> /kWh	Verhältnis Strom/Gas
2020	23,6	6,3	3,7	402,9	200,8	2,0
2030	18,7	11,3	1,7	193,0	183,9	1,0
2040	19,0	13,4	1,4	107,1	175,2	0,6
2050	19,4	15,4	1,3	21,1	166,4	0,1

Tabelle 2: Szenario für Entwicklung der Energiebezugskosten für Wärmepumpen-Strom und Gas sowie der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen für Strom sowie Gas bis zum Jahr 2050

Neben verschiedenen Sanierungsstufen ist die Größe des Gebäudes ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen. Unabhängig von der Gebäudegröße ergeben sich weniger negative Barwerte durch den Wechsel von einem Brennwertkessel auf mono- oder bivalente WP-Systeme (siehe Abbildung 17 a)). Insbesondere bei großen Mehrfamilienhäusern (GMH) ist eine signifikante Reduzierung der Gesamtkosten durch einen Wechsel des Heizsystems erreichbar. Noch stärker wirkt sich dieser Wechsel auf die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus (siehe Abbildung 17 b)), die je nach Gebäudegröße durch die Nutzung von WP-Systemen um bis zu mehr als 50% gesenkt werden können.

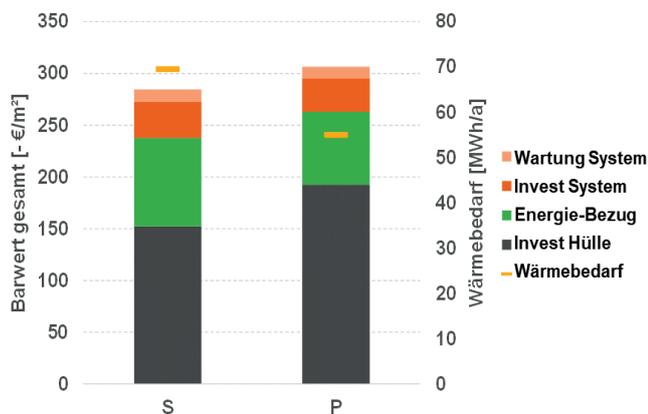


Abbildung 16: Barwert verschiedener Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle für alle untersuchten Sanierungsstufen der Baualtersperiode 1958-78 für MMH, Variante A60b.

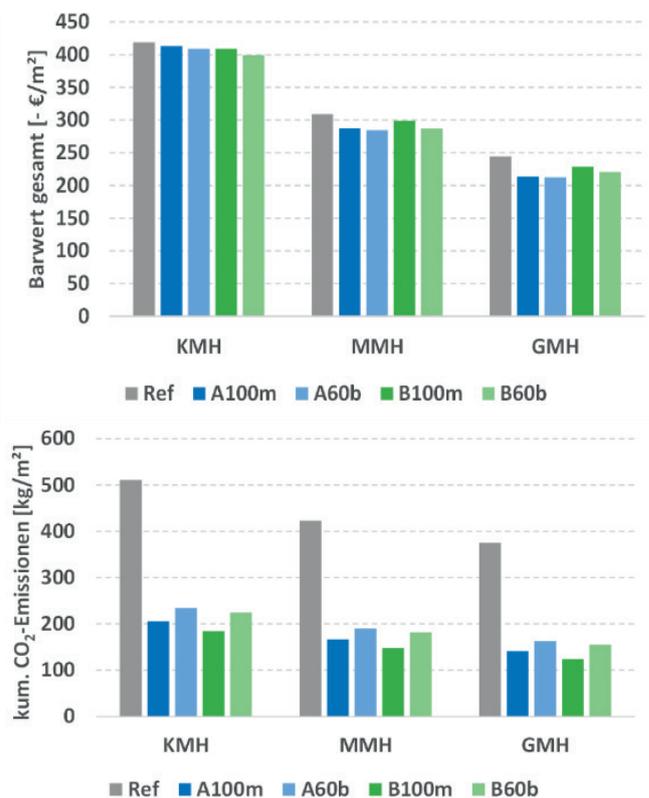


Abbildung 17: a) Barwert für verschiedene Gebäudegrößen und Sanierungspakete nach S-Sanierung, b) Kumulierte CO<sub>2</sub>-Emissionen über gesamten Betrachtungszeitraum

Insbesondere für die Wohnungsnutzung sind die Kosten für die Beheizung (=LCOH) von Bedeutung. Sowohl für den Einsatz eines Gasbrennwertkessels als auch für eine Variation an WP-Systemen ist in Abbildung 18 a) die zeitliche Entwicklung der Kosten für Wärme unter Berücksichtigung von Förderungen für die Sanierungsmaßnahmen über die CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgetragen. Sowohl bezüglich Emissionen als auch Wärmekosten können innerhalb der nächsten Jahre WP-Systeme Gasbrennwertkesseln überlegen sein. Dies ist sogar der Fall ohne Förderung der WP-Systeme, niedrigere Kosten für Wärme treten dabei nur zu einem etwas späteren Zeitpunkt ein (siehe Abbildung 18 b)).

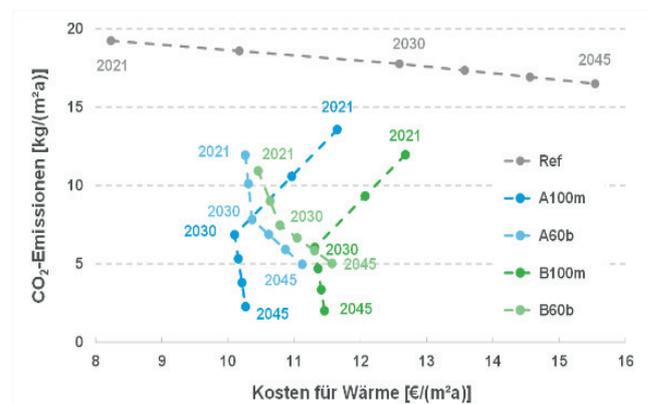
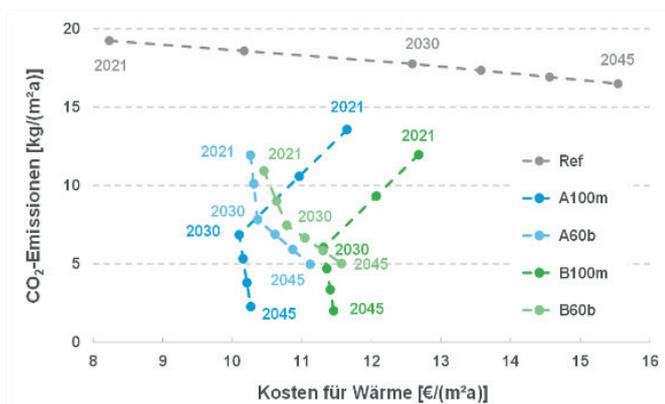


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf von spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und spezifischen Kosten für Wärme a) die Ergebnisse sind unter Berücksichtigung von BEG-Fördersätzen angegeben, b) die Ergebnisse sind ohne Berücksichtigung von Fördersätzen angegeben.

## KERNERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG

- Die Analyse von Gebäuden und Anlagentechnik zeigt, dass kleinere Mehrfamiliengebäude mit 3-12 Wohneinheiten mit einem Baualter zwischen 1958 bis 1968 den Bestand dominieren. Vorherrschende Heizungstechnik sind zentrale Wärmeversorgungssysteme und Heizkörper zur Wärmeübergabe.
- Um Effizienzpotentiale der Wärmepumpen zu heben, ist eine Absenkung von Systemtemperaturen anzustreben. Für die Raumwärme kann dazu der selektive Austausch einzelner, unterdimensionierter Heizkörper ein kosteneffizienter Weg sein. Für die Trinkwassererwärmung weisen dezentrale Wohnungsstationen sowie Frischwasserstationen mit Ultrafiltration den geringsten Endenergieverbrauch auf.
- Die Quellenerschließung kann im dicht bebauten urbanen Raum eine kritische Randbedingung darstellen, wenn die verfügbare Fläche zu klein zur Nutzung von Luft oder von Erdwärme als alleiniger Quelle ist. Für diese Fälle können photovoltaisch-thermische Kombi-Kollektoren (PVT-Kollektoren), Mehrquellen-Systeme oder kalte Fernwärmenetze in Betracht gezogen werden.
- Bivalente Systeme kombinieren eine Wärmepumpe mit einem fossilen Wärmeerzeuger. Dadurch können Wärmequellen kleiner dimensioniert und Investitionskosten gesenkt werden. Betriebsstrategien für bivalente Systeme wurden für Gebäude mit unterschiedlichen Sanierungsstufen entwickelt und evaluiert. Unterhalb eines Verhältnisses von Strom- zu Erdgaspreis von 2,5 ist die Wärmepumpe stets der bevorzugte Wärmeerzeuger. Die untersuchten Systeme weisen über den Betrachtungszeitraum kumuliert eine CO<sub>2</sub>-Emissions-Reduktion von mehr als 50 % gegenüber einem Gasbrennwertgerät auf.
- An sechs Demonstrationsgebäuden wurden Systemlösungen und technische Weiterentwicklungen von Wärmepumpen und Lüftungstechnik in Bestands-Mehrfamiliengebäuden implementiert und vermessen. Die Monitoringergebnisse weisen gute Effizienzwerte der eingesetzten monovalenten und bivalenten Wärmepumpen-Anlagen nach. Hybridsysteme sind besonders für die stufenweise Sanierung geeignet. Neben Wärmepumpensystemtechnik werden auch dezentrale Lüftungssysteme mit optimierter Regelung demonstriert.
- Aus den Projektergebnissen kann gefolgert werden, dass LowEx-Systeme wie Wärmepumpen und dezentrale Lüftungstechnik für den Einsatz im Mehrfamiliengebäudebestand geeignet sind, es aber weiterhin einen großen Aufholbedarf an Praxiserfahrung und Bedarf für weitere Systemstandardisierung gibt.

# HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

- Bestandsaufnahme des Zustands der Gebäudehülle (U-Werte, Restlebensdauern der Komponenten), der Heizungstechnik inkl. Verteilung und Raumübergabe, sowie der Warmwasserbereitung und –verteilung, z.B. durch Energieberater.
- Analyse von Sanierungsvarianten von Gebäudehülle und Heizungstechnik: Wann muss spätestens saniert / ersetzt werden? Welche Maßnahmen lassen sich sinnvoll bündeln / vorziehen?
- Steht ein Ausbau der Nah- oder Fernwärmeversorgung am Gebäudestandort in naher Zukunft an?
- Welcher Effizienzhausstandard ist mit welchem Aufwand erreichbar, welche Förderungen können in Anspruch genommen werden? Welche Sanierungsreihenfolge ermöglicht welche Inanspruchnahme von Förderung (z.B. nach BEG)? Diese Fragen können im Rahmen eines individuellen Sanierungsfahrplans (iSFP) beantwortet werden, der selbst förderfähig ist und zu einem Bonus beim Heizungs austausch und der Hüllensanierung führt.
- Durchführen einer raumweisen Heizlastberechnung zur Ermittlung des Potenzials einer Temperaturabsenkung des Heizkreises bei selektivem Austausch von Heizkörpern. Die App ZVPlan auf der Website <https://www.heizungcheck.de/> kann beispielsweise hierfür eingesetzt werden.
- Wenn in den nächsten ca. 5 Jahren ohnehin eine Sanierung der Gebäudehülle ansteht, sollte vorrangig analysiert werden, ob diese Maßnahmen vorgezogen werden können und dann eine monoenergetische Wärmepumpe als Heizsystem eingesetzt werden kann (ggf. nach Austausch der am kleinsten dimensionierten Heizkörper).
- Wenn in den nächsten ca. 5 Jahren keine Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle anstehen, aber der Heizenergiebedarf noch oberhalb von rund 100 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt, könnte die Option einer Gashybrid-Wärmepumpe in Betracht gezogen werden. Bei einer späteren Sanierung der Hülle steigt dann der Deckungsanteil der Wärmepumpe an der Deckung des Wärmebedarfs, und bei einer späteren Senkung der Heizkreistemperaturen steigt die Effizienz der Wärmepumpe. Bei einem auf die aktuelle Heizlast ausgelegten monoenergetischen Wärmepumpensystem wäre die Wärmepumpe nach einer späteren Sanierung der Gebäudehülle überdimensioniert.
- Liegt der Heizenergiebedarf bereits unter rund 100 kWh/m<sup>2</sup>a und stehen in den nächsten ca. 5 Jahren keine weiteren Sanierungsschritte der Gebäudehülle an, sollte eine monoenergetische Wärmepumpe in Betracht gezogen werden und Maßnahmen zur Absenkung der Heizkreistemperaturen (selektiver Heizkörperaustausch, Einsatz von Hilfsventilatoren für bestehende Heizkörper) analysiert werden.

- Falls bisher keine mechanische Lüftungsanlage vorhanden ist, sollte die Nachrüstung einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung (z.B. über Pendellüfter, ein im Zuge einer Fassadensanierung einzubringendes fassadenintegriertes System oder auch ein zentrales Lüftungsgerät) in Betracht gezogen werden.
- Falls bereits ein zentrales Abluftsystem vorhanden ist, sollte geprüft werden, ob der Einsatz einer Abluftwärmepumpe möglich ist. Bei größeren Gebäuden können auch Multi-Quellensysteme von Interesse sein, die jedoch einer sorgfältigen Planung und Auslegung bedürfen.
- Falls eine zentrale Warmwasserbereitung mit Zirkulation vorhanden ist, so stellt dies bzgl. der benötigten hohen Temperaturen und der oftmals hohen Zirkulationswärmeverluste eine ungünstige Voraussetzung für eine Wärmepumpe dar, jedoch kein Ausschlusskriterium! Für den Einsatz einer monoenergetischen Wärmepumpe sollten unter Beachtung der hygienischen Anforderungen Möglichkeiten zur Absenkung der Zirkulationstemperaturen (z.B. Ultrafiltration) untersucht werden sowie mögliche Maßnahmen zur Senkung der Zirkulationswärmeverluste. Eine Gashybridwärmepumpe mit Warmwasserbereitung über den Gaskessel kann ebenfalls in Betracht gezogen werden.
- Intelligenz lässt sich nachrüsten! Nach der Inbetriebnahme eines Wärmepumpensystems ist eine Aufzeichnung der Heizenergieverbräuche und Effizienzwerte der Wärmepumpe wichtig, um ggf. Schwächen der Regelung oder Installationsfehler bemerken und entgegenwirken zu können und den Betrieb weiter verbessern zu können. Auch eine Aufzeichnung der Heizkreistemperaturen ist sinnvoll. Eine intelligenter Systemregelung, z.B. eine bedarfsorientierte Anpassung der Vorlauftemperaturen (Absenkung der Heizkurve, smarte Thermostate), lässt sich häufig später nachrüsten und kann zu deutlichen Effizienzverbesserungen im Betrieb führen.
- Die Kombination mit Photovoltaik-Anlagen senkt sowohl den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als auch die Strombezugskosten. Der eigenerzeugte PV-Strom kann insbesondere in der Übergangszeit (Frühjahr, Herbst) durch die Wärmepumpe selbst genutzt werden.

## VERWEISE IM BERICHT

---

- [1] Bräuer, F. et al.: Techno-ökonomische und ökologische Analyse von Sanierungspaketen aus Gebäudehülle und LowEx-Systemen. Bericht zu AP 5, Projekt LowEx-Bestand Analyse, FKZ 03SBE0001, 2022. [http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/06/2022-02-08\\_LiB\\_Bericht\\_AP-5\\_Techno-%C3%B6konom\\_Analyse.pdf](http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/06/2022-02-08_LiB_Bericht_AP-5_Techno-%C3%B6konom_Analyse.pdf).
- [2] Primas et al. 2014, Wärmepumpen für die Instandsetzung. Schlussbericht, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten 2014. <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere%20Dokumente/Bauen-2000-Watt/Grundlagen-Studienergebnisse/EGT/2014/2014-08-WP-Instandsetzung-Schlussbericht.pdf>.
- [3] Arpagaus, C.: Hochtemperatur-Wärmepumpen. Marktübersicht, Stand der Technik und Anwendungspotenziale. VDE-Verlag, Berlin, 2019. ISBN 978-3-8007-4550-0.
- [4] Vollmer, R. et al.: Quellen-Verfügbarkeit für Wärmepumpen-Systeme in Mehrfamilienhäusern im Bestand. Bericht zu AP 2.1, Projekt LowEx-Bestand Analyse, FKZ 03SBE0001, 2019. [http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/02/Abschlussbericht-zu-AP-2.1\\_rv\\_sh.pdf](http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/02/Abschlussbericht-zu-AP-2.1_rv_sh.pdf).
- [5] Kropp, M. et al.: Einfluss der Trinkwarmwasser-Systemvariante auf die Performance von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. DKV-Tagung online, 19.-20.11.2020. <http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2021/01/AA-IV-07-DKV-2020-Manuskript-Kropp.pdf>.
- [6] Lämmle, M. et al.: Performance of air and ground source heat pumps retrofitted to radiator heating systems and measures to reduce space heating temperatures in existing buildings. Energy, 122952. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122952>.
- [7] Safi, R. und Wagner, A.: Bewertung von Wärmeübergabesystemen im Hinblick auf Raumkomfort. Bericht zu AP 2.2, Projekt LowEx-Bestand Analyse, FKZ 03SBE0001, 2021. [http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/01/2022-01-04-LowEx-Bestand\\_Bericht\\_AP2.2\\_final\\_sh.pdf](http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/01/2022-01-04-LowEx-Bestand_Bericht_AP2.2_final_sh.pdf)

Bildnachweise: Fraunhofer ISE, ©Google Maps, ©Pixabay, ©Unsplash

## QUELLEN UND VERÖFFENTLICHUNGEN IM RAHMEN VON LOWEX IM BESTAND

---

### ABSCHLUSSBERICHT

- Gemeinsamer Schlussbericht des Projekts LowEx-Bestand Analyse: Abschlussbericht\_LiB

### ARBEITSPAKETE

Öffentlich zugängliche Berichte zu einzelnen Arbeitspaketen des Projekts LowEx-Bestand Analyse

- Abschlussbericht zu AP 1.1 Systematische Analyse von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden\_final
- Abschlussbericht zu AP 1.2 und 1.4 Akteure und Prozesse in der Gebäudesanierung
- Abschlussbericht zu AP 1.3 Technische Anforderungen an MFH
- Abschlussbericht zu AP 2.1 Quellen-Verfügbarkeit für Wärmepumpen- Systeme in Mehrfamilienhäusern
- Abschlussbericht zu AP 2.2 Bewertung von Lüftungsstrategien im Hinblick auf Raumkomfort & Luftqualität
- Abschlussbericht zu AP 3.1 Referenzgebäude: Geometrie, Bauphysik & Sanierungsszenarien
- Abschlussbericht zu AP 5 Techno-ökonomische und ökologische Analyse von Sanierungspaketen
- Weitere Journal und Konferenz-Artikel: <https://www.lowex-bestand.de/index.php/ergebnisse/?lang=de>

### IEA ANNEX

- <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/>

### VIDEOS DER DEMOS

- Adorf: <https://www.youtube.com/watch?v=E9fKidGEvUw>
- SQ-Durlach: <https://www.youtube.com/watch?v=237ws7Ticmg>
- SanBest: <https://www.youtube.com/watch?v=cRsuj3hZVho>

## WEITERFÜHRENDE LINKS UND LEITFÄDEN

**BDH:** Bivalente Wärmepumpen-Systeme. Informationsblatt Nr. 57 (03/2014).

Herausgeber: Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH.

- [https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt\\_Nr\\_57\\_Bivalente\\_Waermepumpensysteme.pdf](https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Infoblaetter/Infoblatt_Nr_57_Bivalente_Waermepumpensysteme.pdf)

**BDH:** HEIZEN IN BESTEHENDEN GEBAUDEN.

Wärmepumpen in Kombination mit Wärmeübergabesystemen (03/2019).

- [https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user\\_upload/ISH2019/Broschueren/broschuere\\_mae\\_rz\\_2019\\_heizen\\_in\\_bestehenden\\_wohngebaeuden.pdf](https://www.bdh-koeln.de/fileadmin/user_upload/ISH2019/Broschueren/broschuere_mae_rz_2019_heizen_in_bestehenden_wohngebaeuden.pdf)

**BFE SCHWEIZ:** Dott, R. et al. (2014). Stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger.

- <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4378.0005>

**BWP:** Praxisratgeber Modernisieren mit Wärmepumpe. Für Handwerker. Tipps und Informationen von der Bedarfsermittlung bis zum Angebot (10/2021).

- [https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/waermepumpe/08\\_Sonstige/File\\_dump/Praxisratgeber\\_Modernisieren\\_2021\\_RZ\\_WEB.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/08_Sonstige/File_dump/Praxisratgeber_Modernisieren_2021_RZ_WEB.pdf)

**ENERGIEAGENTUR.NRW:** Wärmepumpen-Leitfaden für die Wohnungswirtschaft (01/2007).

- [https://www.energie-experten.org/fileadmin/Newsartikel/Inhalt\\_Download/Erdw%C3%A4rme/Erdwaerme\\_Nordrhein-Westfalen\\_Leitfaden\\_Waermepumpe.pdf](https://www.energie-experten.org/fileadmin/Newsartikel/Inhalt_Download/Erdw%C3%A4rme/Erdwaerme_Nordrhein-Westfalen_Leitfaden_Waermepumpe.pdf)

**EnergieZukunft Schweiz:** Varga, M. et al. (12/2018). Heizungsersatz durch Luft-Wasser-Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern: Übersicht über realisierte Projekte, Studien und Fördermittel der Kantone:

- <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9574>

**Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW:** Steinke, G et al. (2018): Integration von Luft/Wasser-Wärmepumpen im städtischen Kontext. Schlussbericht.

- [https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/hochschulen/architektur-bau-geomatik/institute/ineb/publikationen/artikel/media/181108\\_integrationlw-wp\\_sb-vers1-7\\_fhnw.pdf](https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/hochschulen/architektur-bau-geomatik/institute/ineb/publikationen/artikel/media/181108_integrationlw-wp_sb-vers1-7_fhnw.pdf)

**STADT ZÜRICH:** Primas, A et al. (2014): Wärmepumpen für die Instandsetzung. Systemevaluation für die Instandsetzung. Schlussbericht.

- <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/hbd/Deutsch/Hochbau/Weitere%20Dokumente/Bauen-2000-Watt/Grundlagen-Studienergebnisse/EGT/2014/2014-08-WP-Instandsetzung-Schlussbericht.pdf>

WIR ÜBERNEHMEN KEINE HAFTUNG FÜR DIE INHALTE EXTERNER LINKS. FÜR DEN INHALT DER VERLINKTEN SEITEN SIND AUSSCHLIESSLICH DEREN BETREIBER VERANTWORTLICH.

Der vorliegende Leitfaden entstand im Rahmen der wissenschaftlichen Querspange »LowEx-Bestand Analyse« des thematischen Projektverbunds »LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden (LowEx-Bestand)« zusammen. In diesem Verbund arbeiteten die drei Forschungsinstitute Fraunhofer ISE, KIT und Universität Freiburg (INATECH) mit Herstellern von Heizungs- und Lüftungstechnik und mit Unternehmen der Wohnungswirtschaft zusammen. Gemeinsam wurden Lösungen entwickelt, analysiert und demonstriert, die den effizienten Einsatz von Wärmepumpen, Wärmeübergabesystemen und Lüftungssystemen bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamiliengebäuden zum Ziel haben.

Datum: Juni 2023

#### REDAKTION

Constanze Bongs, Manuel Lämmle, Ferdinand Schmidt

#### BEITRAGENDE AUTORINNEN UND AUTOREN

Jeannette Wapler, Arnulf Dinkel, Marek Miara, Sven Auerswald  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Stefan Hess, Michael Kropp, Rebekka Eberle, Beatrice Rodenbücher  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, INATECH

Manuel Ruppert, Nicolas Carbonare, Andreas Wagner  
KIT - Die Forschungsuniversität in der Helmholtz- Gemeinschaft

Satz und Layout: Aylin Kübler



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
Förderkennzeichen: 03SBE0001 A-C

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

[www.lowex-bestand.de](http://www.lowex-bestand.de)

