

Lösungsoptionen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Ad-hoc-Papier im Rahmen des Forschungsprojektes FKZ 3720 41 510 0

Zusammenfassung

Das vorliegende Kurzgutachten zeigt, wie sich hauptsächlich technische Hemmnisse beim Einbau von Wärmepumpen (WP) in Bestandsgebäuden lösen lassen. Hierzu werden folgende Kategorien gebildet: Systemtemperatur des Heizungssystems, bauliche Situation, Schall sowie weitere Aspekte.

Im Bereich der *Systemtemperaturen* wird Anpassungsbedarf bei rund der Hälfte der Bestandsgebäude im Bereich Wohnen identifiziert. Da hier die Vorlauftemperaturen für einen effizienten Betrieb einer Wärmepumpe zu hoch sind, wird in den häufigsten Fällen empfohlen, einzelne gering dimensionierte Heizkörper auszutauschen, um die Systemtemperatur des Gesamtsystems zu reduzieren. Wenn vor dem Heizungstausch möglich, erlaubt auch eine energetische Sanierung der Gebäudehülle bzw. Teile davon wie ein Fenstertausch niedrigere Systemtemperaturen.

Bauliche Einschränkungen werden bei dichten Bebauungsformen relevant, da hier beispielsweise eine Aufstellung von Wärmepumpen-Außeneinheiten vor dem Haus bzw. auf dem Hausdach bei MFH aus Platzgründen nicht möglich ist. Bei Etagen- bzw. Wohnungsheizungen besteht ebenfalls die Frage nach optimaler Aufstellung einer Wärmepumpenheizung. Die Einschränkungen lassen sich zum Beispiel überwinden, indem Sole-Wasser-WP mit Erdsonden statt Außeneinheiten von Luft-Wasser-WP verwendet werden oder neuartige Kompakt-Propanwärmepumpen. Letztere können in Innenräumen mit Einzelanbindung oder Gemeinschaftsanbindung an die Wärmequelle genutzt werden.

In Bezug auf die *Schallemissionen* von Luft-Wärmepumpen wurden in den letzten Jahren besonders leise Außeneinheiten bzw. Verdampfer entwickelt. Darüber hinaus können Einhausungen (in Form von Schallschutzhauben) oder bauliche Maßnahmen wie Schallschutzzäune die Geräusche weiter verringern.

Des Weiteren wird eine Reihe von *sonstigen und sozi-ökonomischen Hemmnisse* dargestellt, die den Einbau von Wärmepumpen oftmals behindern können. Hierbei sind die Wirtschaftlichkeit, die jeweilige Eigentümersituation, Planungshorizonte und rechtliche Aspekte (gerade in Hinblick auf Wohneigentümergeinschaften) als sehr relevant identifiziert worden.

Zusammenfassend sind die allermeisten Hemmnisse in rund 80 % der Wohngebäude mit zumutbarem Aufwand überwindbar. Lediglich in einem kleinen Bereich stellt die technische Unzumutbarkeit ein relevantes Hemmnis dar. Diese Fälle sind jedoch die absolute Minderheit, für die das Gebäudeenergiegesetz (GEG) im Rahmen der 65% Erneuerbaren-Energien Regel nach den vorliegenden Entwürfen entsprechende Ausnahmetatbestände vorsieht.

1 Problemstellung und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund der 65 %-Erneuerbare-Energien-Vorgabe für neue Heizungen ab 2024 werden im Rahmen dieses Papiers mögliche Lösungsoptionen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden aufgezeigt. Dabei findet zunächst nach einer knappen Darstellung unproblematischer Anwendungsfälle eine Systematisierung von möglichen Hemmnissen pro Gebäudetyp (inkl. Unterscheidung nach Wohn-/Nicht-Wohngebäuden), Baujahr, Effizienzstandard, Gebäude-/Bebauungskontext sowie der Relevanz/Häufigkeit für Bestandsbauten statt. Aufbauend darauf werden mögliche Lösungsoptionen skizziert und die Relevanz der Hemmnisse in Bezug auf die Gesamtheit aller Bestandsgebäude in Deutschland eingeordnet.

Ziel dieses Papiers ist es, für die (Fach-) Öffentlichkeit (bspw. Stakeholder aus der Wohnungs-/Immobilienwirtschaft, Handwerker, Energieberater, Eigentümerverbände, Politik etc.) eine Übersicht zu erstellen, die einerseits „schwierige“ (z.B. hochverdichtete Innenstadtlagen) von den unproblematischen Bestandsgebäuden in Bezug auf Wärmepumpen-Integration unterscheidet und andererseits für die „schwierigen“ Bestandsgebäude relevante, praxistaugliche Lösungsansätze zur Überwindung von Hemmnissen aufzuzeigen. Lösungsoptionen für sozio-ökonomische und weitere Hemmnisse sind nicht Gegenstand dieses Papiers.

Aus verschiedenen Untersuchungen konnten die folgenden Hauptkriterien für einen Wärmepumpen-Einbau identifiziert werden:

- ▶ Vorlauftemperatur des Heizsystems
- ▶ Bauliche Situation
- ▶ Schallemissionen
- ▶ (Sozio-)Ökonomische Situation

Diese Hauptkriterien werden in den folgenden Kapiteln in Bezug auf die Hemmnisse (Kapitel 3), deren Häufigkeiten und Relevanz (Kapitel 4) sowie die Lösungsoptionen (Kapitel 5) weiter berücksichtigt.

Zunächst jedoch gliedert sich die folgende Übersicht der unproblematischen Anwendungsfälle in Wohngebäude (Bestand und Neubau) und Nichtwohngebäude.

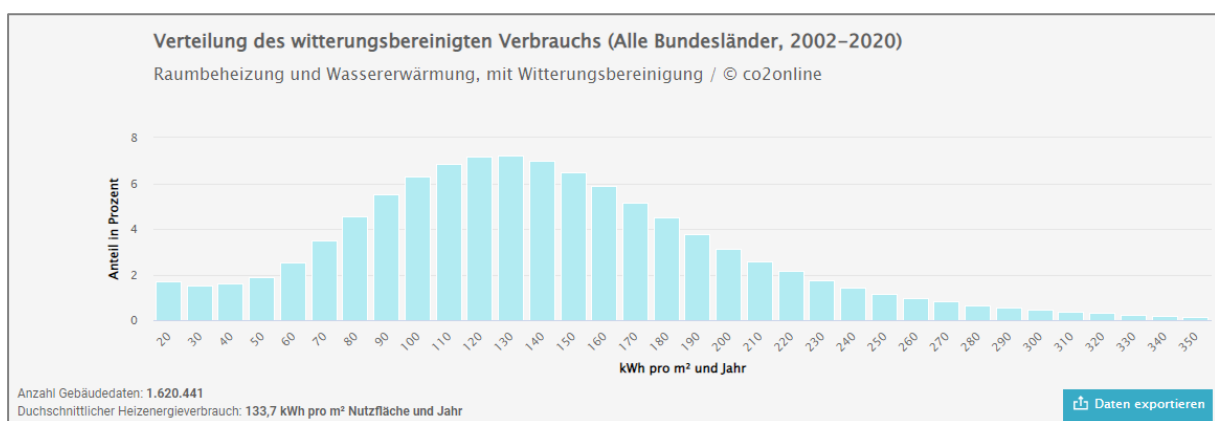
2 Übersicht unproblematischer Anwendungsfälle

2.1 Wohngebäude

2.1.1 Bestandsgebäude

Grundsätzlich haben Wohngebäude mit Baujahr nach 1995 (also nach der 3. Wärmeschutzverordnung von 1995) selten technische Probleme mit der Installation und dem Einsatz von Wärmepumpen, da sich ihr Wärmebedarf entsprechend gut mit Wärmepumpen decken lässt. Hierbei sind kleinere Maßnahmen wie der Tausch eines/weniger Heizkörper nicht ausgeschlossen. Das Fraunhofer ISE hat als Orientierungswert für einen effizienten Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden einen Endenergiebedarf von kleiner als 150 kWh/m² angeregt.¹ Das sind in Anlehnung an Abbildung 1 etwas weniger als 2/3 aller Wohngebäude in Deutschland.

Abbildung 1: Empirische Energieverbrauchsverteilung in Deutschland für Raumbeheizung und Wassererwärmung



Quelle: [co2online, 2020]

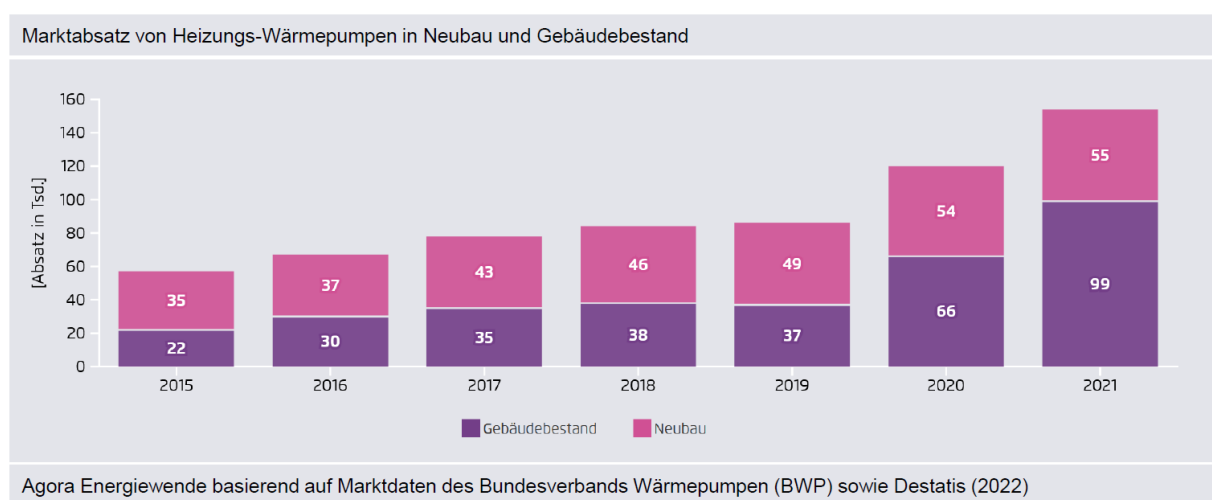
Grundsätzlich besteht bei dem weit überwiegenden Anteil der Heizungssysteme hinsichtlich systembedingter Vorlauftemperaturen keine technische Einschränkung für die Installation von Wärmepumpen. Für heutige Wärmepumpen sind maximale Vorlauftemperaturen für die kältesten Tage von bis zu 75 °C möglich. Moderne Wärmepumpen mit Propan als Kältemittel können diese Temperatur mit höherer Effizienz erreichen als ältere Modelle mit konventionellen Kältemitteln. Auf diese Weise werden Wärmepumpen für mehr Bestandsgebäude zugänglich. Auch das Fraunhofer ISE hat erst kürzlich festgestellt, dass es „aus technischer Sicht (...) kaum Gründe (gibt), Wärmepumpen in Bestandsgebäuden nicht einzusetzen“.² Allerdings ergeben sich bei Heizungssystemen mit hohen Vorlauftemperaturen typischerweise Effizienzeinbußen im Vergleich zu Systemen mit niedrigeren Vorlauftemperaturen, die einerseits in höheren Energiekosten resultieren, andererseits auch eine größere Leistung aus dem Energieversorgungssystem (100 % Erneuerbare Energien) benötigen.

Die grundsätzliche Eignung von Bestandsgebäuden für den Einsatz von Wärmepumpen zeigt sich ebenfalls in den Absatzzahlen von Wärmepumpen, siehe Abbildung 2. Im Jahr 2021 wurden in etwa 2/3 aller verkauften Wärmepumpen in Bestandsgebäuden installiert.

¹ Bürger et al., 2022, „Effizienzklasse D oder besser“

² Bürger et al., 2022

Abbildung 2: Marktabsatz von Heizungs-Wärmepumpen in Neubau und Gebäudebestand



Quelle: [Bürger et al., 2022]

In 2009 verfügten ca. 13 % der zentral versorgten Wohngebäude über eine Fußbodenheizung.³ Diese Gebäude sind besonders gut für den Wärmepumpeneinsatz geeignet, da aufgrund der gegenüber Heizkörpern vergrößerten Wärmeübertragungsfläche deutlich geringere Vorlauftemperaturen benötigt werden, um die gleiche Wärme im Gebäude bereitzustellen. Als sehr unproblematisch für den Einsatz von Wärmepumpen können auf jeden Fall alle Gebäude mit Fußbodenheizung und ohne bauliche Einschränkungen eingestuft werden (z.B. EFHs in Vorstädten).

Die aktuell auf dem Markt standardmäßig verfügbaren Leistungsklassen von Wärmepumpen decken auch einen Teil der Anwendungen für kleine Mehrfamilienhäuser mit ab. Daher gelten die obigen Aussagen für EFH mit einigen Einschränkungen auch für kleine MFH.

2.1.2 Neubauten

Technische Hindernisse für die Installation von Wärmepumpen in neuen Einfamilienhäusern sind faktisch nicht vorhanden und sollten aufgrund der Verfügbarkeit der Technik auf dem Markt bei geeigneter Planung leicht installiert werden können. Dies zeigt sich in Deutschland, da hier in mehr als 50 %⁴ der neu gebauten Einfamilienhäuser eine Wärmepumpe als primäres Heizsystem eingesetzt wird.

Aufgrund anderer, nichttechnischer Barrieren (vor allem Verfügbarkeit entsprechender Modelle auf dem Markt) ist dies in Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu Einfamilienhäusern etwas schwieriger zu erreichen. Dennoch ist der Prozentsatz in Deutschland stark gestiegen, da mehr als 30 %⁴ der neu gebauten Mehrfamilienhäuser mit Wärmepumpen-Lösungen als Heizsystem ausgestattet werden.

2.2 Nichtwohngebäude/Hallen

Bei Nichtwohngebäuden ist davon auszugehen, dass der Anteil der Wärmeerzeugungssysteme mit hohen Vorlauftemperaturen aufgrund der geringeren Verbreitung von Fußbodenheizungen und der größeren Anzahl von Gebäuden mit RLT-Anlagen mit Zuluftheizungen deutlich höher als bei Wohngebäuden ist.

³ Altbau: ca. 3 %, Neubau ab 2005: ca. 65 % (Stand: 2009), Quelle: Diefenbach et al., 2010

⁴ Destatis, 2022

Bei Produktions-, Werkstatt-, Lager- und Betriebsgebäuden (ca. 34 % der Nichtwohngebäude⁵) ist zudem davon auszugehen, dass überwiegend Strahlungsheizsysteme in den Hallengebäuden eingesetzt werden. Jedoch gibt es auch hier inzwischen andere Lösungen. Zum einen sind Industriehallen mit Fußbodenheizungen inzwischen standardmäßig realisierbar, zum anderen können Hallen z.B. über Konvektoren (auch: Warmluftheizung, Roof Tops usw.) mit Wärmepumpen grundtemperiert und an den Arbeitsplätzen punktuell mit Elektro-Heizstrahlern nachgeheizt werden. Im Fall von Konvektions-/Luftheizern stellt die Vorlauftemperatur bis mindestens 55 °C für Wärmepumpen keine Probleme dar.

Einen weiteren anderen großen Anteil der Nichtwohngebäude machen Verwaltungs-, Schul- und Beherbergungsgebäude aus (ca. 38 %),⁶ die mit ihren Heizverteilsystemen grundsätzlich gute technische Voraussetzungen für den Einbau von Wärmepumpen mitbringen. Hier stellt sich vielmehr die Frage der Verfügbarkeit der Wärmepumpen in den entsprechenden Leistungsklassen, ähnlich wie bei Mehrfamilienhäusern.

Ohne nähere Untersuchungen, die den Rahmen dieses Ad-hoc-Papiers übersteigen würden, wäre für die restlichen mehr als 50 % der Nichtwohngebäude der Einbau einer Wärmepumpe aus technischen Gründen wahrscheinlich etwas aufwendiger als bei den oben genannten Gebäudetypen.

⁵ IWU, 2021

⁶ IWU, 2021

3 Technische Hemmnisse in Bezug auf den Wärmepumpen-Einbau

Als Hauptkriterien für einen Wärmepumpen-Einbau wurden die folgenden Aspekte identifiziert:

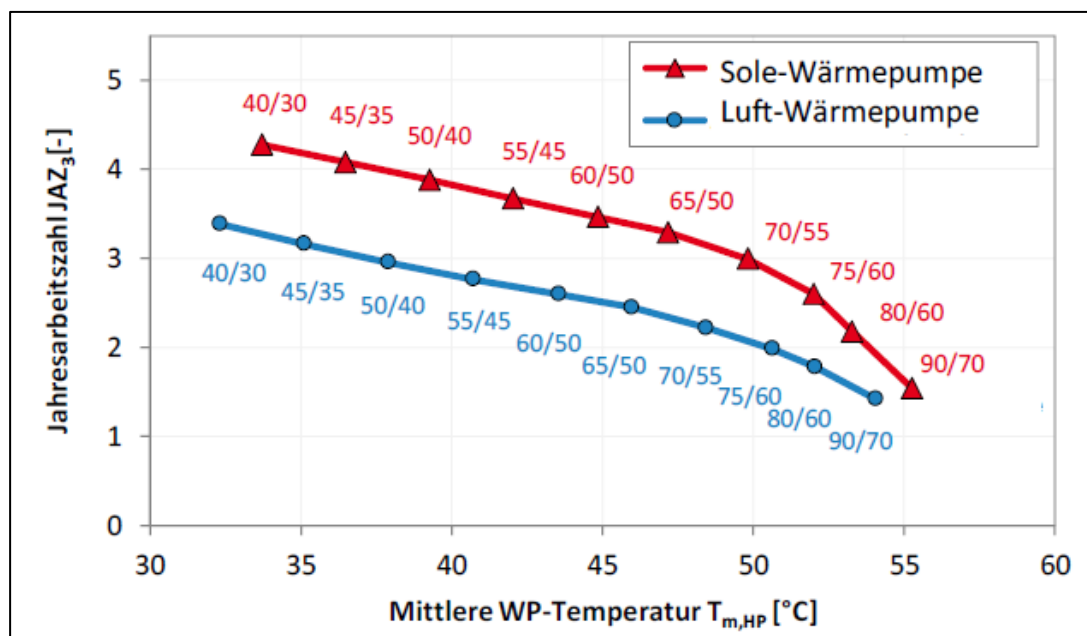
- ▶ Systemtemperatur des Heizsystems bzw. Systemtemperaturen,
- ▶ bauliche Situation,
- ▶ Schallemissionen sowie
- ▶ (sozio-)ökonomische Situation.

3.1 Systemtemperaturen

Die Systemtemperaturen von Heizungssystemen hängen – neben der Effizienz der Gebäudehülle und der gewünschten Innenraumtemperatur - im Wesentlichen vom Wärmeübergabesystem ab. Während Flächenheizungen (insb. Fußbodenheizungen) i.d.R. auf maximale Vorlauftemperaturen bis 35 °C ausgelegt sind, erfordern andere Übergabesysteme (wie z.B. Heizkörper) in der Regel Auslegungstemperaturen im Bereich 55 °C und darüber.

Abbildung 3 zeigt den starken Zusammenhang der Effizienz von marktüblichen Wärmepumpen (Jahresarbeitszahl JAZ) mit den Auslegungssystemtemperaturen (Vorlauf=VL/Rücklauf=RL) für Luft- und Sole-Wärmepumpen.

Abbildung 3: Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl von den Nenn-Auslegungssystemtemperaturen (VL/RL)



Quelle: [Bongs et al., 2022], Definition mittlere WP-Temperatur aus [Günther et al., 2020]: Energetisch gemittelte Heizkreistemperatur.

3.2 Bauliche Einschränkungen

Neben den zuvor beschriebenen Systemtemperaturen können auch bauliche Einschränkungen wie z.B. unzureichender Platz im Technikraum oder auf dem Grundstück die Installation einer

Wärmepumpe verhindern. Bei freistehenden *Ein- und Zweifamilienhäusern* wird dies zumindest für Luftwärmepumpen nur selten ein Hemmnis darstellen. Dagegen ist zu erwarten, dass dies bei einem nicht unerheblichen Teil der *Mehrfamilienhäuser* und bei engen *Reihenhausbebauungen* ein Problem darstellt - insbesondere, wenn sich diese in hochverdichteten Innenstadtlagen befinden. Das gilt auch für die wenigen marktverfügbaren Lösungen für Etagenheizungen, die durch dezentrale Split-Systeme ersetzt werden können oder indirekt an eine gebäudezentrale Außeneinheit oder eine andere Form der Wärmequelle angebunden werden müssen.

Die Mehrzahl der Nichtwohngebäude befinden sich nicht in Innenstadtlagen (abgesehen von Handels-, Verwaltungs-, Schul- und Beherbergungsgebäuden) und/oder verfügen über ausreichend Flächen, um Außeneinheiten von Luft-Wasser-Wärmepumpen aufzustellen oder Bohrungen für Erdsonden vorzunehmen. Weiterhin ist bei größeren Wärmebereitstellungsanlagen auch die Anbindung an Abwärmeströme oder Abwasserkanäle denkbar.

3.3 Schallemissionen

Der Schalleistungspegel ist einer der maßgeblichen Parameter, der bei der Installation einer Luftwärmepumpe berücksichtigt werden muss. Er bezieht sich auf die Schallemissionen, die in alle Richtungen und unabhängig von Umgebungsverhältnissen abgestrahlt werden und wird unter Laborbedingungen direkt am Gerät gemessen. Die leisesten Geräte erreichen Schalleistungspegel von 35 db(A)⁷. Im Allgemeinen liegt die durchschnittliche Lautstärke einer Luftwärmepumpe üblicherweise zwischen 40 dB(A) und 60 dB(A).⁸ Am unteren Ende ist es leiser als ein leises Gespräch (50 dB(A)) und im oberen Bereich ähnlich wie eine normale Unterhaltung (60 dB(A)) und in einigen Fällen kann es lauter werden als bei einem Staubsauger (70 dB(A)).⁹

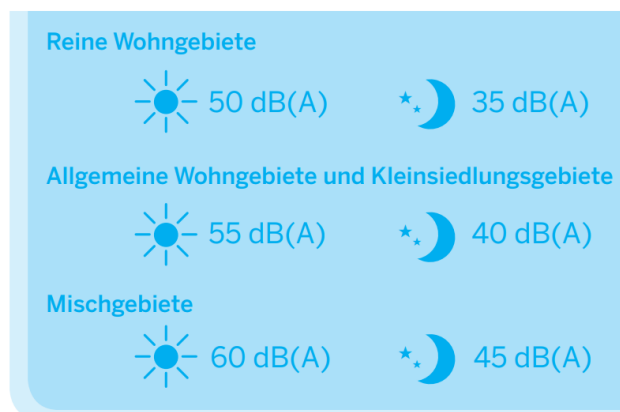
Im Gegensatz zum Schalleistungspegel bildet der Schalldruckpegel die Lautstärke an einem Empfängerpunkt mit Abstand zur Schallquelle ab. Er wird maßgeblich von der Entfernung zur Schallquelle, Umgebungsparametern und Umgebungsbedingungen beeinflusst und muss daher zur Auswahl eines geeigneten Aufstellorts der Wärmepumpe herangezogen werden.

⁷ Siehe TopTen, 2023

⁸ kelag Energie Blog, 2022

⁹ Passiontec Ratgeber, 2022

Abbildung 4: Immissionsrichtwerte für den Schalldruckpegel in Wohn- und Mischgebieten



Quelle: [Referat „Immissionsschutz bei Lärm“ (V-5), 2016]

Für Bereiche außerhalb von Gebäuden gibt es für unterschiedliche Siedlungsgebiete Immissionsrichtwerte, die tagsüber und nachts nicht überschritten werden dürfen (vgl. Abbildung 4). Daraus ergeben sich entsprechende Anforderungen an Außeneinheiten von insbesondere Luft-Wärmepumpen.

3.4 Sonstige Einschränkungen und (sozio-)ökonomische Aspekte

Auch wenn grundsätzlich keine technischen Hemmnisse eines Wärmeerzeugeraustauschs zu einer Wärmepumpe bestehen, können weitere „weiche“ Hemmnisse bzw. Barrieren wie z.B. die trotz der Förderung noch verbleibenden hohen Investitionskosten verbleiben - z.B. bei Investoren, die die Immobilie nicht selbst nutzen, oder Privatpersonen, die beispielsweise aufgrund des eigenen Alters oder der finanziellen Verhältnisse die als (zu) hoch empfundene Investition in eine Wärmepumpe und die zugehörigen Begleitmaßnahmen nicht tätigen wollen oder können. Darüber hinaus können auch hohe Strompreise als Hemmnis in Betracht kommen. Auch bei jungen Wärmeerzeugern (< 15 Jahre), wird ein Austausch vor dem Ende der Lebensdauer häufig nicht in Betracht gezogen. In Neubauten sind oftmals die Kosten für Wohnungen und folglich ihr Verkaufspreis das wichtigste Kriterium (75 %).¹⁰ Dies bedeutet, dass ein erneuerbares Heizsystem nicht ganz oben auf der Prioritätenliste steht.¹⁰

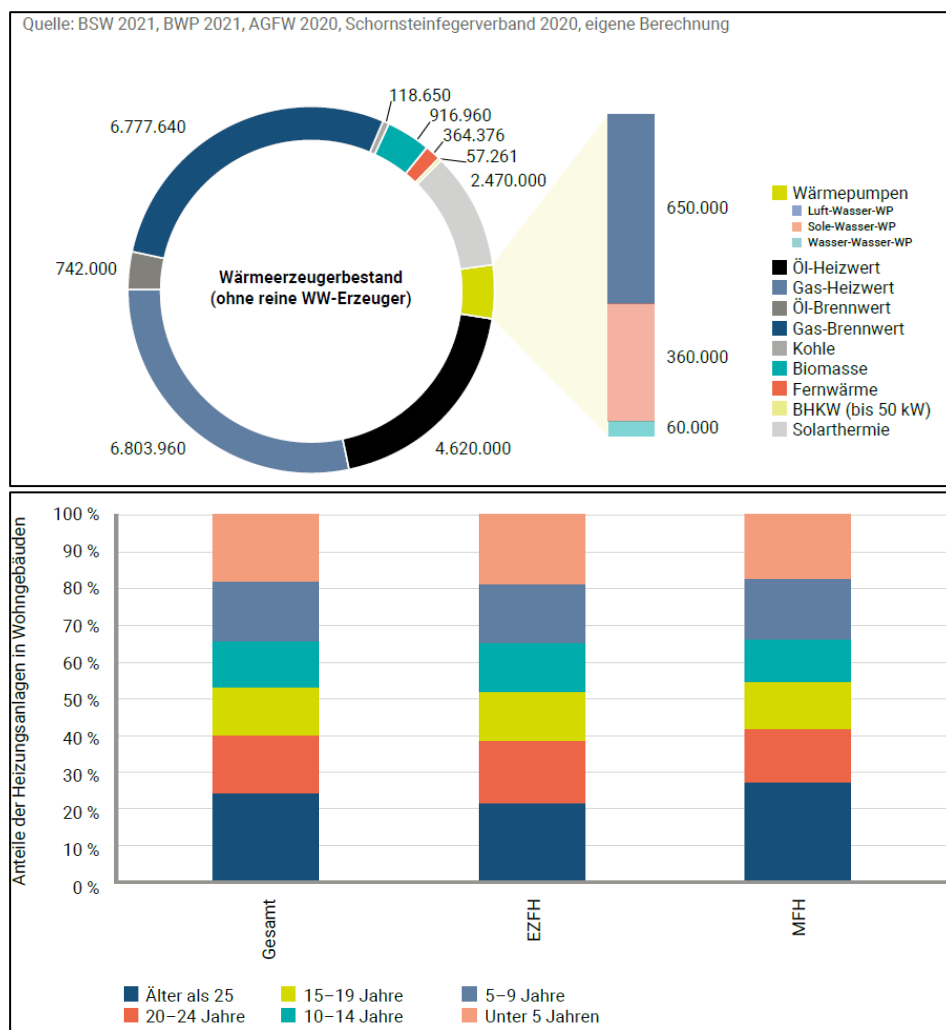
Ein weiteres, nicht zu unterschätzendes Hemmnis kann außerdem die Optik sein, die vor allem bei den Außeneinheiten von Luftwärmepumpen ein Problem darstellen kann.

¹⁰ IEA, 2022

4 Häufigkeit und Relevanz der erkannten Hemmnisse

Grundsätzlich werden die Gebäude, die aktuell bereits mit Wärmepumpen betrieben werden, auch in Zukunft dafür geeignet sein. Der Wärmepumpenanteil an Wärmeerzeugern im Bestand lag im Jahr 2020 bei etwa 4,6 %.¹¹ Außerdem stehen aktuell mit Fernwärme oder Biomasse versorgte Gebäude zunächst nicht im Fokus,¹² in der nahen Zukunft durch Wärmepumpen ersetzt zu werden. Der Anteil an Fernwärme- und Biomasse-Wärmeerzeugern im Bestand lag im Jahr 2020 bei etwa 5,9 %.¹³ Abbildung 5 zeigt den entsprechenden Wärmeerzeugerbestand aus dem Jahr 2020.

Abbildung 5: Wärmeerzeuger im Bestand 2020 und Alter von Heizungsanlagen in Wohngebäuden



Quelle: [Dena, 2022]

¹¹ Dena, 2022, Hinweis: Um hauptsächlich primäre Wärmeerzeuger zu berücksichtigen, wurden die Solarthermieanlagen bei der Berechnung der prozentualen Anteile nicht berücksichtigt, da diese nur der Heizungsunterstützung (bzw. der Warmwasserbereitung) dienen.

¹² Bei Biomassekesseln ist ein Ersatz durch Wärmepumpen aus klimaschutztechnischen Gesichtspunkten nicht so dringend erforderlich. Bei bestehenden Fernwärmenetzen ist die Integration von Wärmepumpen aufgrund der hohen Systemtemperaturen i. d. R. schwierig. Unabhängig davon ist es notwendig, auch Fernwärmenetze auf erneuerbare Energien umzustellen. Wie dies geschehen kann, ist nicht Gegenstand dieses Papiers.

¹³ Dena, 2022

Demnach verbleiben noch etwa 90 % der primären Wärmeerzeuger in Deutschland, die für den Einsatz mit Wärmepumpen in naher Zukunft in Frage kommen. In den kommenden Kapiteln beziehen sich die genannten Prozente der unproblematischen Anwendungsfälle auf die Heizsysteme, die für einen Einsatz mit Wärmepumpen in Frage kommen.

Weiterhin weisen 40 % der Wärmeerzeuger in Wohngebäuden ein Alter von 20 Jahren und mehr auf – in diesen Fällen wird ein Austausch wahrscheinlich ohnehin in den nächsten Jahren anstehen.

4.1 Systemtemperaturen

Die Einschätzung der Verteilung der Vorlauftemperaturen von Nicht-Flächensystemen ist schwierig. Ein Anhaltspunkt bei **Wohngebäuden** könnte der *Anteil der Brennwertkessel* am Gesamtkesselbestand sein,¹⁴ bei denen aufgrund von höheren Kosten gegenüber Niedertemperaturkesseln von Vorlauftemperaturen um/unter 55 °C ausgegangen werden kann. Obwohl sich die Brennwerttechnik seit über 30 Jahren breitflächig am Markt durchgesetzt hat, sind immer noch weniger als die Hälfte der Gas- und Ölkessel mit dieser Technik ausgestattet (ca. 42 %).¹⁵ Der niedrige Anteil an Brennwertkesseln im Gebäudebestand ist neben den Systemtemperaturen (Brennwertnutzen) teilweise sicherlich auch in den Investitionskosten inkl. der ggf. notwendigen Sanierung des Abgassystems begründet. Das bedeutet demnach nicht, dass bei **58 %** der Gebäude Vorlauftemperaturen über 55 °C vorliegen, da auch in Gebäuden mit Niedertemperaturkesseln bereits Sanierungen stattgefunden haben und Vorlauftemperaturen reduziert wurden.

Ein weiterer Ansatz zur Abschätzung der Systemtemperaturen könnte über die *Modernisierungsraten der Verteilsysteme* in Verbindung mit der Altersstruktur der Gebäude erfolgen. Die Wohngebäude-Sanierungsrate der Verteilsysteme beträgt 1,55 %.¹⁶ Unter Berücksichtigung einer Abrissrate von 0,04 % beträgt die mittlere Lebensdauer der Heizungsverteilsysteme demnach etwas über 60 Jahre. Statistisch betrachtet läge demnach die Baujahresgrenze für eine Erneuerung der Heizungsverteilsysteme bei etwa 1960. Wenn man des Weiteren davon ausgeht, dass ab 1995 vornehmlich Niedertemperatursysteme mit Auslegungstemperaturen von 55 °C und darunter verbaut worden sind, und darüber hinaus voraussetzt, dass bei einer Erneuerung der Heizungsverteilsysteme in der Regel auch die Übergabesysteme (Heizkörper) ausgetauscht werden, ergibt sich eine Baujahresspanne von 1960 bis 1995, bei der mutmaßlich überwiegend Heizungssysteme mit höheren Vorlauftemperaturen installiert sind. Dies betrifft ca. **40 %** des Gebäudebestandes.

Aus den beiden Ansätzen (Brennwertkesselanteile und Heizverteilsystemmodernisierungen) ist also davon auszugehen, dass bei **knapp der Hälfte**¹⁷ der Heizungssysteme der zentral fossil versorgten Wohngebäude die ursprünglichen Auslegungsvorlauftemperaturen über 55 °C lagen. Ausgehend von einer typischen ursprünglichen Auslegungstemperatur von 70 °C erscheint unter Berücksichtigung von energetischen Sanierungsmaßnahmen (insb. Austausch der Fenster) und der mutmaßlich systematischen Überdimensionierung der Heizkörper die Annahme einer mittleren erforderlichen Auslegungstemperatur für diese Gebäude von 60 °C-65 °C realistisch. Sicherlich ist hierbei jedoch eine Verteilung zu berücksichtigen. Der Anteil der Heizungen in Wohngebäuden, die eine Auslegungstemperatur von 65 °C und mehr bedürfen, wird daher als gering (etwa **10 %**) eingeschätzt.

¹⁴ Hinweis: Seit 2015 sind NT-Kessel nur noch als Gasetagenheizung zulässig.

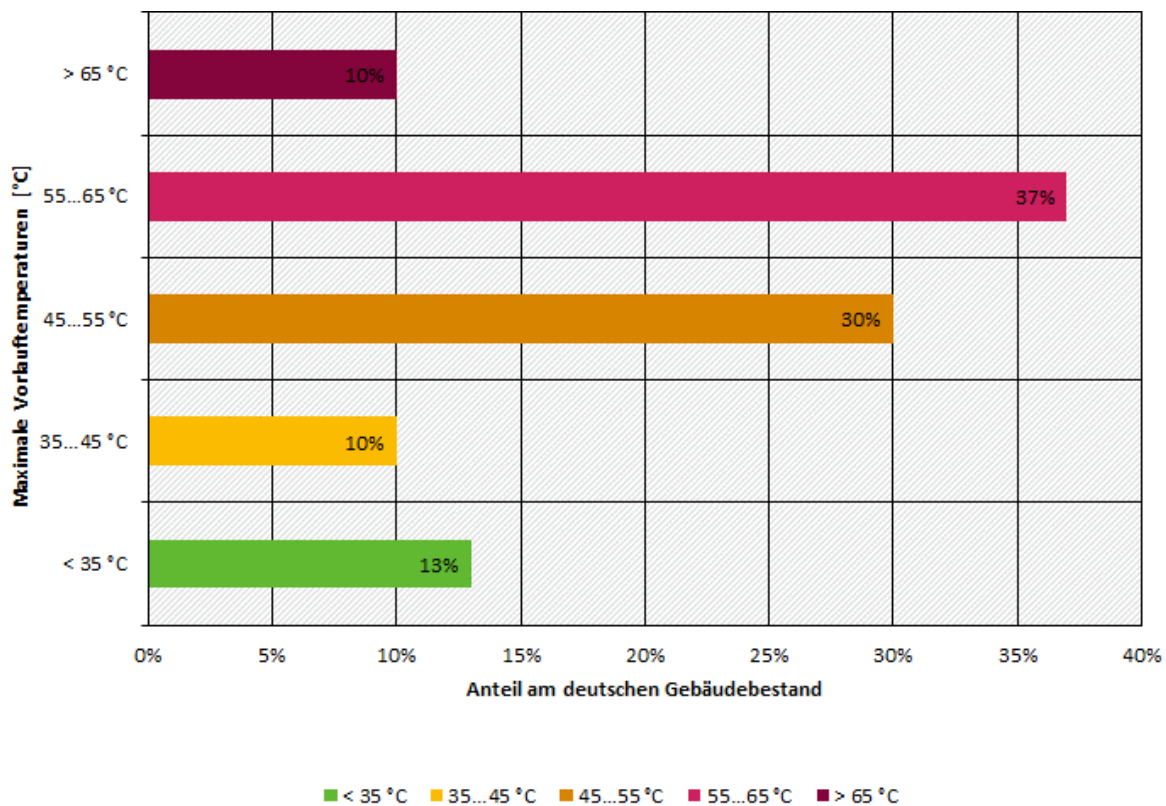
¹⁵ Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV), 2022

¹⁶ Quelle: Cischinsky und Diefenbach, 2018

¹⁷ Basierend auf den < 58 % (Brennwertansatz) und ca. 40 % (Heizverteilsystemmodernisierungsansatz)

Abbildung 6 zeigt die Einschätzung der Anteile der maximalen Vorlauftemperatur-Bereiche am deutschen Gebäudebestand.

Abbildung 6: Anteil maximaler Vorlauftemperatur-Bereiche am deutschen Gebäudebestand



Quelle: Eigene Einschätzung basierend auf [Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV), 2022] und [Cischinsky und Diefenbach, 2018]

Zusammenfassend liegt bei ca. 40 % der Systeme die Auslegungs-Vorlauftemperatur zwischen 35 °C und 55 °C.¹⁸ Berücksichtigt man die ca. 13 %¹⁹ mit Fußbodenheizung versorgten Systeme²⁰ (< 35 °C) verbleibt ein Anteil an Kesseln von ca. 47 % mit Auslegungsvorlauftemperatur von über 55 °C.

Bei Systemen mit höheren Auslegungsvorlauftemperaturen ist der Einbau von monoenergetisch betriebenen Wärmepumpen (mit elektrischem Heizstab) über Hochtemperatur-Wärmepumpen in der Regel möglich, jedoch mit Effizienzeinschränkungen verbunden. Eine Verbesserung der Gebäudehülle (insb. Fassade, Fenster und Luftdichtigkeit) und/oder Ausstattung einzelner Räume²¹ mit neuen Heizkörpern mit vergrößerten Heizflächen sind Maßnahmen, um die notwendigen Vorlauftemperaturen zu senken.

Gemäß erster Simulationsergebnisse aus dem UBA-Projekt FKZ 3720 41 510 0 liegt der Mehrverbrauch eines mit einer Luftwärmepumpe versorgten Heizungssystems mit einer Auslegungsvorlauftemperatur von 70 °C gegenüber einem System mit einer

¹⁸ Anteil der BW-Kessel

¹⁹ Diefenbach et al., 2010

²⁰ Altbau: ca. 3 %, Neubau ab 2005: ca. 65 % (Stand: 2009)

²¹ Räume in einem Haus oder einer Wohnung, die die höchste Vorlauftemperatur benötigen, um das gewünschte Raumtemperaturniveau zu gewährleisten

Auslegungsvorlauftemperatur von 55 °C im Bereich von 30 %.²² Auch der Forschungsverbund „LowEx-Bestand“ weist in seinem Abschlussbericht einen ähnlichen Mehrverbrauch bei 70 °C gegenüber 55 °C Vorlauftemperatur aus.²³ Da bereits 30 % eine hohe Effizienzverschlechterung von 55 °C zu 70 °C darstellt und das Energiesystem der Zukunft bei einer Wärmepumpenoffensive stark belasten würde, stufen wir alle Systeme mit Vorlauftemperaturen bis 55 °C als unproblematische Anwendungsfälle ein. Es ergeben sich also in etwa **53 % aus Effizienzsicht unproblematische Anwendungsfälle**.

Jedoch sind auch Systeme mit Vorlauftemperaturen über 55 °C mit modernen Hochtemperatur-Wärmepumpen (bis 75 °C) technisch möglich, oder sie können durch Austausch einzelner Heizkörper auf niedrigere Vorlauftemperaturen umgestellt werden. Somit wären wahrscheinlich **über 95 % aller Anwendungsfälle technisch hinsichtlich der Systemtemperaturen unproblematisch**.²⁴

Die unproblematischen Anwendungsfälle sind vor allem in jüngeren Baujahren ab 1994 sowie in Baujahren vor 1958 zu finden, da hier vorwiegend Flächenheizsysteme eingebaut sind oder häufig Heizkörper-Nachrüstungen stattgefunden haben. Tabelle 1 zeigt eine Grobeinschätzung Eignungsgrades des deutschen Gebäudebestands für die Nutzung mit Wärmepumpen nach Baujahrs-Spannen und Gebäudetyp.

Tabelle 1 Grobeinschätzung des Eignungsgrades des deutschen Gebäudebestands für die Nutzung mit Wärmepumpen, Flächen in Mio. m² Wohnfläche (WG)

Gebäudetyp / Baujahr	vor 1958	1958-1994	ab 1994
EFH	447	739	455
RH	215	285	132
MFH	433	591	143
GMH	62	191	36

Legende:

Grün = Gut geeignet für WP (niedrige Vorlauf-Temperaturen und fast ausschließlich Niedertemperatur-Heizkörper unter 55 °C oder Flächenheizungen)

Blau = Technisch noch geeignet für WP (mittlere Vorlauf-Temperaturen um 55 °C und überwiegend Niedertemperatur-Heizkörper nachgerüstet, überwiegend energetische Sanierungen bereits durchgeführt)

Rot = häufigerer Anpassungsbedarf bei den Heizkörpern zu erwarten (höhere Vorlauf-Temperaturen über 55 °C und wenige Heizkörper-Nachrüstungen)

Quellen: [Cischinsky und Diefenbach, 2018]

4.2 Bauliche Einschränkungen

Wie oben beschrieben sind bauliche Restriktionen im **Wohngebäudebereich** vor allem bei **Mehrfamilienhäusern** und bei engen **Reihenhausbebauungen** vorzufinden, und dies sowohl für zentrale Wärmepumpensysteme als auch für Etagenheizungen mit/ohne zentrale Anbindung an eine Außeneinheit. Diese Situationen werden vorwiegend in verdichteten Innenstadtlagen vorgefunden

²² Gegenüber einem System mit einer Auslegungsvorlauftemperatur von 35°C (Fußbodenheizung) liegt der Mehrverbrauch sogar im Bereich von 70 %.

²³ Bongs et al., 2022: JAZ 2,3 (70°C) anstatt 2,8 (55°C) bei einem MFH-Demonstrationsprojekt (ca. 22 % Ersparnis). Eine Verringerung der Vorlauftemperatur von 75 auf 50°C führt bei diesem Objekt sogar zu einem 50 % niedrigeren Verbrauch (JAZ 3,0 anstelle von vorher 2,0).

²⁴ Heizungssysteme mit Vorlauftemperaturen > 75°C

In einer ersten Näherung können die Anzahl an jeweiligen Gebäudetypen herangezogen werden, bspw. aus der deutschen Wohngebäudetypologie, vgl. Abbildung 7. Freistehende Gebäude ermöglichen häufiger die Umsetzbarkeit und Einbindung von Wärmepumpen, während geschlossene Bebauungen deutliche häufiger entsprechende Restriktionen aufweisen. Schätzungsweise sind bei den ca. 80 % freistehenden Gebäuden im Bereich EZFH und Doppelhaushälften deutlich weniger Restriktionen zu erwarten als bei den ca. 10 % Mittelhäuser in geschlossenen Bebauungen. Bei MFH sind knapp 75 % der Gebäude freistehend oder keine Mittelhäuser, und weisen damit weniger Einschränkungen auf als geschlossene Bebauungen.

Abbildung 7. Wohngebäude nach Bauweise

Tabelle 13: Ein-/Zwei- und Mehrfamilienhäuser nach der Bauweise	
	Ein-/Zweifamilienhäuser
freistehendes Gebäude	65,0 % +/- 1,2 %
Doppelhaushälfte	16,9 % +/- 0,9 %
geschlossene Bebauung (ab drei Gebäuden, z. B. Reihenhausezeile)	18,1 % +/- 1,0 %
... davon ein direkt angrenzendes Nachbargebäude (z. B. Reihenhendhaus)	47,9 % +/- 3,6 %
... davon zwei oder mehr direkt angrenzende Nachbargebäude (z. B. Reihennittelhaus)	52,1 % +/- 3,6 %
	Mehrfamilienhäuser
freistehendes Gebäude	47,4 % +/- 1,7 %
geschlossene Bebauung (ab zwei Gebäuden)	52,6 % +/- 1,8 %
... davon ein direkt angrenzendes Nachbargebäude (z. B. Reihenhendhaus)	51,9 % +/- 2,6 %
... davon zwei oder mehr direkt angrenzende Nachbargebäude (z. B. Reihennittelhaus)	48,1 % +/- 2,6 %

Quelle: Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Eigene Berechnungen.

Quelle: [Cischinsky und Diefenbach, 2018]

4.3 Schallemissionen

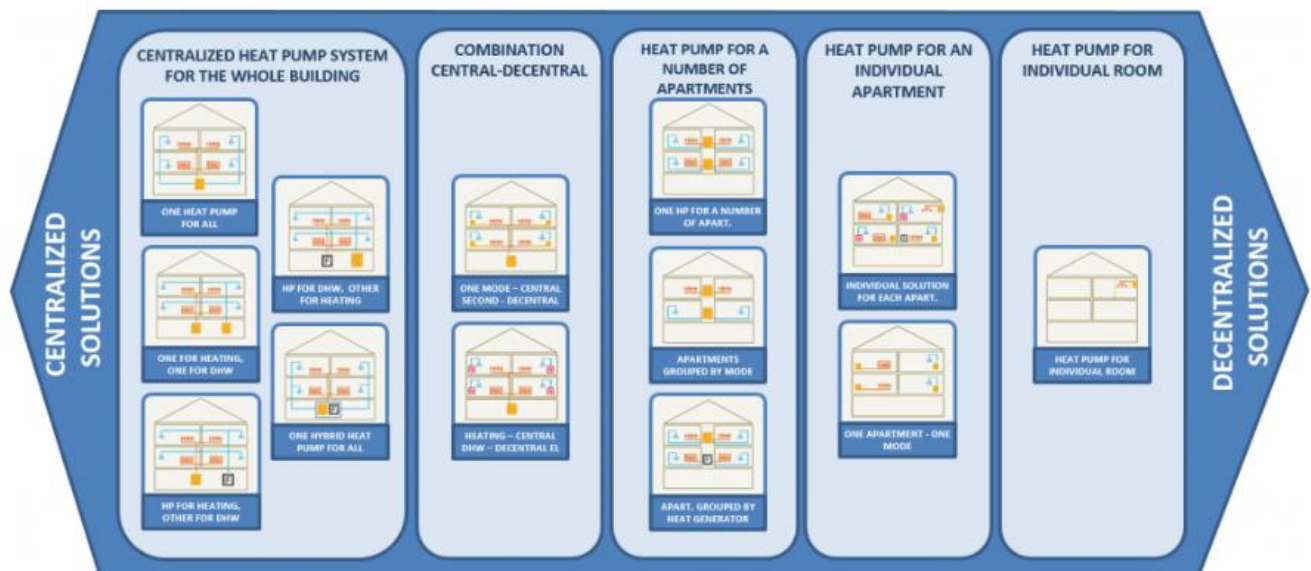
Der Schalldruckpegel (Kenngröße für die von einer Wärmepumpe abgegebenen Schallemissionen) in der baulichen Situation vor Ort ist das zentrale Kriterium für die Bewertung von Schallemissionen. Die Frage, ob diese die zulässigen Grenzwerte überschreiten oder nicht, korreliert daher sehr eng mit der baulichen Situation, siehe im vorherigen Abschnitt. Vor allem für dichte Wohnbebauung in Form von Reihenhausezeilen und engen Mehrfamilienhausbebauungen besteht eine Relevanz.

5 Mögliche Lösungsoptionen bzw. Voraussetzungen für den Einsatz von Wärmepumpen

Die relevantesten und aktuellsten Untersuchungen zum Thema Einsatzmöglichkeiten von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden (z.B. von Agora Energiewende zum „Durchbruch für die Wärmepumpe“²⁵ oder die Messanalysen des Fraunhofer ISE zu „WPsmart im Bestand“²⁶) sehen aus rein technischer Sicht kaum Gründe, warum Wärmepumpen im Bestand nicht eingesetzt werden könnten. Grundsätzlich gibt es bereits viele Lösungen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: 2/3 aller installierten Wärmepumpen wurden im Jahr 2021 bereits in Bestandsgebäuden verbaut.²⁷

Auch die Untersuchungen, die speziell auf den komplexeren Anwendungsfall der Mehrfamilienhäuser ausgerichtet waren, wie z.B. die aktuellen Demonstrationsprojekte des Fraunhofer ISE²⁸ oder die IEA HPP Annex 50 Forschungskooperation²⁹ mit Case Studies in acht europäischen Ländern,³⁰ zeigen bereits mögliche Lösungen für die Einsetzbarkeit von Wärmepumpen Mehrfamilienhäusern auf. In der IEA-Forschungskooperation wurde u.a. eine sogenannte „Solution Matrix“ für WP in Bestands-Mehrfamilienhäuser entwickelt, die 5 „Lösungsfamilien“ (solution family, Oberkategorie) mit jeweils mehreren „Familienangehörigen“ (family members, Unterkategorie) beinhaltet. Abbildung 8 zeigt die insgesamt 13 Wärmepumpenlösungen für Bestands-Mehrfamilienhäusern aus der IEA-Forschungskooperation.

Abbildung 8. Wärmepumpenlösungen für Bestands-Mehrfamilienhäusern



Quelle: [IEA, 2022]

Jeder der 13 Lösungsoptionen wurden reale Beispiele aus den teilnehmenden Ländern zugeordnet und Vor- und Nachteile der Lösungen aufgeführt. Die Beispiele decken eine breite

²⁵ Bürger et al., 2022

²⁶ Günther et al., 2020

²⁷ Bürger et al., 2022

²⁸ Bongs et al., 2022

²⁹ IEA, 2022

³⁰ Österreich, Dänemark, Frankreich, Italien, Deutschland, Schweiz, Niederlande, Großbritannien

Palette an Lösungsoptionen ab, insbesondere auch solche mit WP-Hybridlösungen (Kombination von Wärmepumpe mit weiterem Wärmeerzeuger wie bspw. Gaskessel).

Die folgenden Lösungsoptionen zu Systemtemperaturen, baulichen Einschränkungen, Schallemissionen und sonstigen Einschränkungen sollen einen Einblick gewähren, wie sich die technischen Schwierigkeiten in Bestandsgebäuden verringern lassen.

5.1 Systemtemperaturen

Die Systemtemperaturen bzw. Vorlauftemperaturen (Betriebstemperatur des Heizverteilsystems) hängen von den beiden Faktoren „spezifischer Energieverbrauch des Gebäudes“ und „Größe der Heizflächen/Anzahl der Heizkörper“ ab. Erstere sind im Wesentlichen von der Qualität der Dämmung an der Gebäudehülle abhängig. Daher sind Heizkörpertausch oder der Einsatz von Hybrid-Wärmepumpen ein sinnvoller erster Schritt, da diese die von der Wärmepumpe zur Verfügung zu stellende Vorlauftemperatur absenken. Wenn immer möglich sollte die **Renovierung bestehender Gebäude** stattfinden, um den Einsatz von Wärmepumpen zu erleichtern. Die Renovierung von Fenstern und Dächern alter bestehender Gebäude könnte die Effizienz von Wärmepumpen für eine beträchtliche Anzahl von Gebäuden verbessern und somit die Möglichkeit bieten, Wärmepumpenlösungen entweder in SFH oder MFH zu installieren.

Da oftmals eine Renovierung der Gebäude größeren Aufwand erfordert, können zunächst auch unterdimensionierte Heizkörper ausgetauscht werden, um die Systemtemperaturen zu verringern. Dafür müssen die **unterdimensionierten Heizkörper** identifiziert und durch Heizkörper mit größerer Heizleistung oder Niedertemperatur-Heizkörper ausgetauscht werden. Dafür muss ein Vergleich der installierten Heizkörperleistung mit der raumweisen Heizlast³¹ durchgeführt werden. In bestimmten Fällen können bereits durch den Austausch von wenigen Heizkörpern signifikante Vorlauftemperaturreduktionen erreicht werden: Im Forschungsverbund „LowEx-Bestand“³² konnten in einem sanierten MFH-Demonstrationsobjekt in Karlsruhe die Nenn-Vorlauftemperaturen durch den Austausch von 7 % der Heizkörper von 75 auf 55 °C abgesenkt werden. Dadurch konnte die Effizienz der Wärmepumpe um 40 % erhöht werden (Steigerung der JAZ von 2,0 auf 2,8).

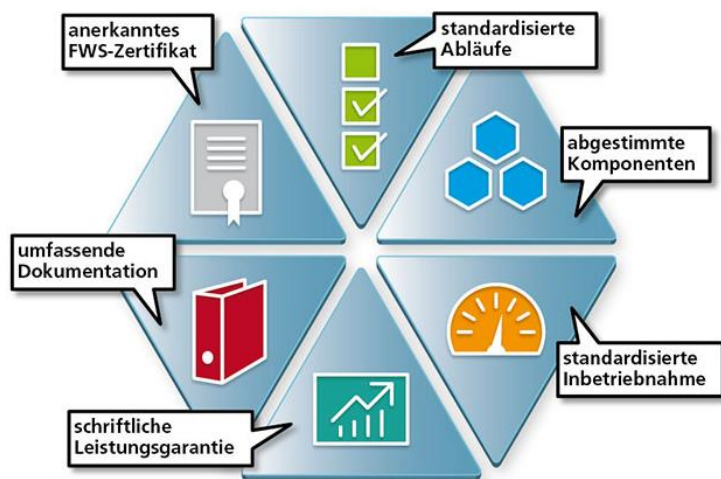
Bei der Einbindung/Installation von Wärmepumpen in vorhandene Heizungssysteme mit ihren oft individuell ausgelegten Verteil- und Speichersystemen stellt sich oftmals die Frage einer optimalen **hydraulischen Einbindung ins bestehende System**. Da die Einbindung einen sehr großen Einfluss auf die Effizienz des Gesamtsystems hat, werden standardisierte Installations-Schemata empfohlen, um Fehler zu vermeiden bzw. zu minimieren.

Ein Beispiel im Bereich standardisierter Schemata für Heizungsbauer stellt das Schweizer Systemmodul da, vgl. Abbildung 9. Hierbei werden beispielsweise verbindlich geregelte und standardisierte Abläufe von der Planung bis zur Inbetriebnahme der Wärmepumpenanlage vorgeschrieben.

³¹ nach DIN EN 12831-1

³² Bongs et al., 2022

Abbildung 9. Aspekte einer standardisierten WP-Installation nach Schweizer Systemmodul



Quelle: Schweizer Systemmodul (<https://www.wp-systemmodul.ch/>)

Neben der Vorlauftemperatur im Heizbetrieb spielt auch die Temperatur der Trinkwassererwärmung eine Rolle. Eine weitere Lösungsoption zur Senkung der Trinkwarmwasser-Temperaturen ist die **Integration einer Ultrafiltrationsanlage** zur Filtration von Legionellen im Zirkulationsrücklauf. Das könnte es ermöglichen, die Warmwassertemperaturen deutlich zu senken. Dadurch erhöht sich in einem Beispiel des Forschungsverbunds „LowEx-Bestand“³³ die JAZ der Wärmepumpe signifikant um gut 80 % (von 1,8 auf 3,3). Da jedoch der Einsatz der Ultrafiltration bisher noch nicht ausreichend erprobt ist, müssen Vorgaben zum Verbraucherschutz umgesetzt werden. So müssen regelmäßige Legionellen-Beprobungen durchgeführt werden, um den hygienisch einwandfreien dem zuständigen Gesundheitsamt nachweisen zu können.³⁴ Daher ist der Einsatz der Ultrafiltration eher als perspektivische Lösung zu betrachten.

Weiterhin können **Frischwasserstationen** als effiziente Einbindung des Warmwassersystems in die Heizungsanlage dienen. In einigen Fällen können auch **Warmwasser-Wärmepumpen mit CO₂ als Kältemittel** geeignet sein, da der Einsatz von CO₂ einen größeren Temperaturhub und höhere Zieltemperaturen mit höherer Effizienz im Vergleich zu alternativen Kältemitteln ermöglicht.

Durch Berücksichtigung der oben genannten Lösungsoptionen, die in Verbindung mit einer Systemtemperatur-Optimierung inkl. hydraulischem Abgleich durchzuführen sind, könnte der Anteil der aus Effizienzsicht unproblematischen Anwendungsfälle für Wärmepumpen (siehe Kapitel 4) erheblich von etwa **53 %** auf über **65 %** der Fälle erhöht werden. Unter zusätzlicher Berücksichtigung eines *umfassenden Heizkörpertauschs*³⁵ kann davon ausgegangen werden, dass die Auslegungs-Vorlauftemperatur in **über 80 % der Fälle** auf unter 55 °C abgesenkt werden kann und diese Heizungssysteme dann als aus Effizienzsicht unproblematisch eingestuft werden können.

Als Alternative, insbesondere für Gebäude mit hohen Auslegungsvorlauftemperaturen (über 55 °C), bei denen ein Kesseltausch notwendig wird, bei denen aber die o.g. möglichen Verbesserungen derzeit noch nicht sinnvoll sind, könnten **Hybrid-(Luft)Wärmepumpen** mit zusätzlichem bzw. bestehendem Biomasse-, Gas- oder Öl-Kessel zum Einsatz kommen, die den

³³ Bongs et al., 2022

³⁴ DVGW, 2022

³⁵ Nicht nur der unterdimensionierten Heizkörper

Betrieb bei geringen Außentemperaturen und/oder (perspektivisch) bei geringen Anteilen erneuerbarer Energien im Stromnetz übernehmen. Hybrid-Wärmepumpen sind am Markt inzwischen auch als Kompaktgeräte samt Steuerung zum direkten Einbau verfügbar.

Bei **Nichtwohngebäuden** ist wie oben geschrieben ein hoher Anteil an RLT-Anlagen vorhanden. Für diese Systeme ist eine Nachrüstung von Luft-Luft Wärmepumpen in RLT-Anlagen denkbar, wenn die Platzverhältnisse und Lüftungskanäle es zulassen. Auch eine Nutzung von (Eis-) Speichern in Verbindung mit Solarthermieanlagen als Quelle von Wärmepumpen kann die Effizienz des Gesamtsystems deutlich verbessern und, als zusätzliche Funktion, ein Gebäude im Sommer umweltfreundlich kühlen.

Wie beschrieben werden bei Produktions-, Werkstatt-, Lager und Betriebsgebäuden überwiegend Strahlungsheizsysteme eingesetzt. Der Ersatz solcher Systeme ist nach aktuellem Stand durch Luft-Luft Wärmepumpen in Zusammenarbeit mit HVLS-Ventilatoren möglich.³⁶ Dabei wird die Schichtung der Luft durch die permanente Durchmischung vermieden. Bei einer Umrüstung von Strahlungsheizungen auf Luftheizungen ist allerdings zu beachten, dass die Gebäudehülle dann ggf. auch gedämmt werden müsste, um auftretende Transmissionswärmeverluste durch die erwärmte Luft zu verringern.

5.2 Bauliche Einschränkungen

In Bezug auf bauliche Einschränkungen sind folgende Lösungsoptionen je nach Gebäudetyp möglich:

Reihenhäuser

Reihenhäuser sind in der Regel mit baulichen Einschränkungen behaftet, die den Einbau von Wärmepumpen verhindern, jedoch sind folgende Lösungen möglich:

- ▶ Zentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe errichtet direkt vor dem Haus, ggf. auch als vorgefertigtes Systemmodul inkl. vorgefertigter Haustechnik.
- ▶ Mehrere Sole-Wärmepumpen für mehrere Häuser (~10), die an ein Nahwärmenetz angeschlossen sind, das Energie aus einer Erdquelle mit mehreren geothermischen Bohrungen bezieht
- ▶ Innenaufstellung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe
- ▶ Aufstellung im Dachraum (Statik prüfen und ggf. Gewicht verteilen)

Mehrfamilienhäuser (MFHs)

MFHs in innerstädtischer Bebauung und dicht besiedelten Gebieten haben ähnlich wie die Reihenhäuser mehrere bauliche Einschränkungen, die den Einbau einer Wärmepumpe erschweren. Es sind jedoch mehrere Lösungen möglich wie folgt:

- ▶ Zentrale Luftwärmepumpe errichtet auf dem Flachdach. Die Luft-Wärmepumpe wird auf dem Dach aufgestellt. Die Trinkwassererwärmung erfolgt entweder zentral mit Ultrafiltration oder dezentral mittels Durchlauferhitzer oder Brauchwasser-Wärmepumpen.
- ▶ Sole-Wärmepumpe mit Erdsonde(n) im Innenhof, ggf. „tiefe Erdsonden“ bei Platzmangel
- ▶ Wärmepumpe mit Abwasserkanal-Wärmetauschern.
- ▶ Einbau in Dachböden

³⁶ Schwank, 2023

Mehrere Lösungen möglich durch die Umrüstung auf eine wohnungsweise Beheizung wie folgend:

- ▶ Zentrale Wärmequelle, z.B. Luft-Wasser-Wärmepumpe auf dem Dach, mit Sole-Wärmepumpen für jede der Wohnungen, die über ein gebäudeinternes Wärmenetz an die zentrale Wärmequelle angeschlossen sind.
- ▶ Zentrale gewerbliche Abwärmequelle, von der aus eine Nahwärmeleitung zu den Wohnungen führt. In den Wohnungen werden Heizwärme und Warmwasser über dezentrale Sole-Wärmepumpen erzeugt.
- ▶ Eigenständige Luft-Wasser-Wärmepumpen pro Wohnung oder Etage. Die Außenluft kann genutzt werden, indem die Luftwärmepumpe als Monoblock in einen Nebenraum (Hauswirtschaftsraum, Küche, Bad) pro Etage oder Wohnung gestellt wird. Die Zu- und Abluft des Lüfters erfolgt dann über ein Lüftungsgitter. Im kürzlich gestarteten Forschungsvorhaben „*Propan-Wärmepumpen als Ersatz von Gas- und Ölheizungen in Mehrfamilienhäusern*“³⁷ wird der Einsatz von kompakten Propan-Wärmepumpen unter Einhaltung der maximal erlaubten Kältemittelmenge analysiert.
- ▶ Nutzung weiterer Wärmequellen: Abluft (z.B. aus Entlüftung innenliegender Bäder), Photovoltaisch-Thermische Kollektoren (PVT-Kollektoren), Eisspeicher.
- ▶ Kombination mehrerer Wärmequellen erlaubt z.B. kleinere Erdsonden und seltenere Nutzung der Umgebungsluft (was damit weniger Schallemissionen verursacht).

5.3 Schallemissionen

Eine mögliche Lösung, den Lärm von Wärmepumpen zu dämpfen und zu reduzieren, ist neben dem Einsatz einer leisen Wärmepumpe die Installation von **schalldämmenden Wandpaneelen oder -zäunen**. Dies absorbiert den Schall und verhindert, dass er widerhallt und verstärkt wird, was wiederum den Geräuschpegel stark reduziert.

Professionell hergestellte **Schallschutzgehäuse** sind eine weitere Lösung, um den Lärm der Wärmepumpe zu reduzieren. Sie sind in einer Vielzahl von Materialien erhältlich, gewährleisten einen ausreichenden Luftstrom um das Gerät herum, haben den zusätzlichen Vorteil, dass sie sicher und manipulationssicher sind, und sind von einer Vielzahl spezialisierter Hersteller auf dem Markt erhältlich. Ein Beispiel für ein solches Gehäuse ist ein Gehäuse aus imprägniertem Holz oder UV-beständigem Kunststoff, das Gehäuse wird dann mit einem Schallschutzprodukt ausgekleidet. Schallschutzgehäuse können den Lärm um bis zu 15 dB(A) reduzieren.³⁸

Schließlich sind **Schallschutzhüllen** (auch als Schallschutzdecke oder Schalldämpfungsdecke bekannt) eine weitere Lösung, um die vom Kompressor erzeugten Lärm zu begrenzen. Es handelt sich um Hüllen aus schalldämmendem Material, die sich um den Kompressor wickeln und die von ihnen erzeugten Geräusche dämpfen.

³⁷ Fraunhofer-ISE, 2022

³⁸ Energie-Experten.org, 2022

6 Quellenverzeichnis

- Bongs, Constanze; Wapler, Jeannette; Dinkel, Arnulf; Miara, Marek; Auerswald, Sven; Lämmle, Manuel et al. (2022): *LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden*. LowEx-Bestand Analyse. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE); Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Online verfügbar unter http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2022/10/Abschlussbericht_LiB.pdf.
- Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV) (2022): *Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks*. Jährliche Erhebungen 2018-2021. online, Sankt Augustin (Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks).
- Bürger, Veit; Braungardt, Sibylle; Miara, Marek (2022): *Durchbruch für die Wärmepumpe*. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Agora Energiewende; Fraunhofer ISE; Öko-Institut; RAP. online.
- Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018): *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016*. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. 1. Auflage. Unter Mitarbeit von Alexandra Beer, Rolf Born, Jens Calisti, Günter Lohmann, Ines Nowak, Galina Nuss und Markus Rodenfels. Institut für Wohnen und Umwelt (IWU). Darmstadt.
- co2online (2020): *Wohnen und Sanieren*. Wohngebäude-Statistiken 2002 bis heute. Online verfügbar unter <https://www.wohngebaeude.info/daten/#/heizen/bundesweit;main=allgemein;sub=verteilung>, abgerufen am 01.08.2022.
- Dena (2022): *DENA-GEBÄUDEREPORT 2023*. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Unter Mitarbeit von Simon Becker, Jonas Hagen, Rico Krüger und Alexander Exner. Deutsche Energie-Agentur (dena).
- Destatis (2022): https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_226_31121.html
- Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, H.; Rodenfels, M.; Clausnitzer, K.-D. (2010): *Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand* (Germany, 19.03.2012).
- DIN EN 12831-1:2017: *Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 1: Raumheizlast*. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-12831-1/261292587>.
- DVGW (2022): *Absenkung der Temperatur des Trinkwassers (warm) bei mikrobiologisch und technisch einwandfreien Trinkwasser-Installationen*. Rahmenbedingungen für die hygienisch sichere Erprobung der Ultrafiltration bei wissenschaftlich begleiteten Feldversuchen innerhalb von Forschungsprojekten, die vom DVGW begleitet werden. Unter Mitarbeit von Dr. Andreas Korth und Hanna Wippermann. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
- Energie-Experten.org (2022): Ratgeber: Schallschutz und Schalldämmung von Wärmepumpen. <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/luftwaermepumpe/schallschutz>.
- EPREL (2023): EPREL - European Product Registry for Energy Labelling. Online verfügbar unter <https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/spaceheaters>
- Fraunhofer-ISE (2022): Propan-Wärmepumpen als Ersatz von Gas- und Ölheizungen in Mehrfamilienhäusern. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2022/propan-waermepumpen-als-ersatz-von-gas-und-oelheizungen-in-mehrfamilienhaeusern.html>

- Günther, Danny; Wapler, Jeannette; Langner, Robert; Helmling, Sebastian; Miara, Marek; Fischer, David et al. (2020): *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden*. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "WPsmart im Bestand". Unter Mitarbeit von Danny Günther, Jeannette Wapler, Robert Langner, Sebastian Helmling, Marek Miara, David Fischer et al. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE).
- IEA (2022): *IEA Annex 50. Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and Domestic Hot Water (DHW)*. Unter Mitarbeit von Marek Miara. International Energy Agency (IEA). Online verfügbar unter <https://heatpumpingtechnologies.org/>.
- IWU (2021): *ENOB:dataNWG: Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland ist vermessen* (2021).
- kelag Energie Blog (2022): *Wie laut sind Luft-Wärmepumpen wirklich?* online. Online verfügbar unter <https://blog.kelag.at/waermepumpe-lautstaerke>, abgerufen am 21.11.2021.
- Passiontec Ratgeber (2022): *Was ist der Unterschied zwischen Schallleistungspegel und Schalldruckpegel?* Online verfügbar unter <https://www.passiontec.de/ratgeber/was-ist-der-unterschied-zwischen-schallleistungspegel-und-schalldruckpegel.html>, abgerufen am 21.11.2021.
- Referat „Immissionsschutz bei Lärm“ (V-5) (2016): *Mach' es richtig! Lärmschutz bei Luftwärmepumpen*. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Fachverband Sanitär Heizung Klima NRW; Energieagentur NRW; Westdeutscher Handwerkskammertag. online.
- Schwank (2023): *Schwank Wärmepumpen in der Logistik*. Online verfügbar unter <https://schwank.de/report/nextpharma-logistics-loest-ambitioniertes-3-temperaturziel-mit-waermepumpen-und-hvls-ventilatoren>
- TopTen.eu (2023): *Energy Efficient Heat Pumps*. Online verfügbar unter https://www.topten.eu/private/products/heat_pumps?sort_attribute=noise_db_external&sort_direction=4

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet:
www.umweltbundesamt.de
[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

Autoren

Markus Offermann, Guidehouse
Bernhard von Manteuffel, Guidehouse
Dr. Kjell Bettgenhäuser, Guidehouse

Redaktion

Jens Schuberth, V 1.4 Energieeffizienz

Stand: März 2023