

SOLARE WÄRMEPUMPEN – HEIZEN UND KÜHLEN MIT HILFE DER SONNE

Wärmepumpen in Mehrfamilien- häusern im Bestand

Jens Clausen

Simon Hinterholzer



IMPRESSUM

KURZTITEL

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

AUTOREN

Jens Clausen (Borderstep Institut)

M clausen@borderstep.de

Simon Hinterholzer (Borderstep Institut)

M hinterholzer@borderstep.de

VERLAG

© Borderstep Institut

KONSORTIALFÜHRUNG

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Leibniz Universität Hannover

Herrenhäuser Str. 2 | 30419 Hannover

PROJEKTPARTNER

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH

Dr. Jens Clausen

Gieseckeweg 11 | 30659 Hannover | +49 (0)179 9285171 | www.borderstep.de

ZITIERVORSCHLAG

Clausen, J. & Hinterholzer, S. (2023). Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern im Bestand. Berlin: Borderstep Institut.

TITELBILD

© BWP

FÖRDERMITTELGEBER

Das Projekt „Solare Wärmepumpe“ wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Summary	1
1 Einführung	2
2 Die Wärmepumpe	3
2.1 Die Wärmewende.....	3
2.2 Funktionsprinzip der Wärmepumpe	5
2.3 Luft-Wasser, Luft-Luft, Wasser-Wasser und Erdwärmepumpen	7
2.3.1 Effizienz der Wärmepumpe.....	8
2.3.2 Kosten einer Wärmepumpenanlage	9
2.3.3 Arbeitszeit für die Installation.....	12
2.3.4 Kältemittel.....	12
3 Grundlagen für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern	14
3.1 Wahl des Wärmepumpensystems.....	14
3.2 Wärmepumpenplatzierung in Mehrfamilienhäusern	15
3.3 Luft-Luft Wärmepumpen in Etagenwohnungen	18
3.4 Rechtliche Aspekte	19
4 Beispiele von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern.....	21
4.1 Eigentümergemeinschaft in Berlin Schöneberg	21
4.2 degewo Zukunftshaus in Berlin Lankwitz	23
4.3 Mehrfamilienhaus bei Stuttgart	25
4.4 Plattenbau aus 1972 in Bad Hersfeld	26
4.5 Mehrfamilienhäuser in der Wedemark.....	27
4.6 Gründerzeithaus in Berlin Pankow	28
4.7 Alte Dorfschule am Niederrhein.....	29
4.8 Mehrfamilienhaus in Schwaben	30
4.9 Mehrfamilienhaus in Viersen	31
4.10Etagenwohnung in Dresden	33
Quellen.....	35

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Absatzzahlen für Wärmeerzeuger und Wärmepumpen bis 2045	4
Abbildung 2: Absatzzahlen von Wärmepumpen in Deutschland 2003 bis 2022 nach Wärmepumpentypen.....	4
Abbildung 3: Funktionsprinzip der Wärmepumpe.....	5
Abbildung 4: Bruttopreis verschiedener Wärmepumpentypen in Finnland.....	10
Abbildung 5: Gesamtkosten für Wärme je Wohnung aus Vermietendensicht.....	11
Abbildung 6: Aufbau eines dachintegrierten PVT-Kollektors des Herstellers nd-System.....	14
Abbildung 7: Mögliche Platzierung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern	15
Abbildung 8: Platzierungsoptionen von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern	16
Abbildung 9: Dachplatzierung einer Wärmepumpe	17
Abbildung 10: Optionen der Montage einer Luft-Luft-Wärmepumpe	17
Abbildung 11: Mehrfamilienhaus in Berlin Schöneberg	22
Abbildung 12: Vergleich Gasheizung zu Wärmepumpe für das Mehrfamilienhaus in Berlin Schöneberg	22
Abbildung 13: degewo Zukunftshaus in Berlin Lankwitz.....	23
Abbildung 14: Niedertemperatur-Erdwärmekollektor und Speicher und Deckenstrahlungsheizung ..	24
Abbildung 15: Vergleich Gasheizung zu Hybridheizung für das Mehrfamilienhaus in Berlin Lankwitz	24
Abbildung 16: Mehrfamilienhaus bei Stuttgart.....	25
Abbildung 17: Vergleich Gasheizung zu Wärmepumpe für das Mehrfamilienhaus bei Stuttgart	25
Abbildung 18: Plattenbau aus 1972 in Bad Hersfeld.....	26
Abbildung 19: Verschiedene ehemalige Hofstellen unsaniert (links) und saniert (rechts).....	27
Abbildung 20: Saniertes Mehrfamilienhaus im Wasserschutzgebiet.....	28
Abbildung 21: Gründerzeithaus in Berlin Pankow	29
Abbildung 22: Alte Dorfschule am Niederrhein	30
Abbildung 23: Vierfamilienhaus in Schwaben.....	31
Abbildung 24: Mehrfamilienhaus in Viersen.....	32
Abbildung 25: Vergleich Gasheizung zu Wärmepumpe für eine 100 m ² Wohnung in Viersen	32
Abbildung 26: Luft-Luft Wärmepumpe in einer Etagenwohnung.....	33

ZUSAMMENFASSUNG

Im Frühsommer 2023 tobt die Auseinandersetzung um das Gebäudeenergiegesetz, das jetzt Heizungsgesetz genannt wird, in unverminderter Intensität seit fast einem Vierteljahr. Aber völlig unabhängig von der politischen Diskussion, die vom Willen der Wählenden genauso beeinflusst wird wie von Lobbys der Energiewirtschaft und politischen Opportunitäten, schreitet der Klimawandel ebenfalls fort und fordert entschlossenes Handeln. Daher gilt es, die Einsatzmöglichkeiten der potenziell klimaneutralen Alternativen zu Gas- und Ölheizung nicht nur auszuloten, sondern auch auszuweiten.

Die hier vorliegende Darstellung zu Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern im Bestand ist eine Reaktion auf zahlreiche Anfragen von Mehrfamilienhausbesitzenden, die seit der Woche der Wärmepumpe im Herbst 2022 (Clausen, Conde-Schucht, Niedzwiedz, & Seckmeyer, 2023) auf uns mit Fragen zugekommen sind. Um diese Fragen zu beantworten stellen wir neben dem grundsätzlichen Funktionsprinzip der Wärmepumpe die Möglichkeit der Nutzung der verschiedenen Quellen von Umgebungswärme aus der Erde, dem Wasser und der Luft vor und erläutern Effizienz und Kosten von Wärmepumpenanlagen, die sich in Szenarien zukünftiger Energiepreise regelmäßig als entweder gleich teuer wie andere Heizungssysteme oder aber sogar als langfristig wirtschaftlich vorteilhaft erweisen.

Da ein Verbot klimaschädlicher Kältemittel durch die EU gegenwärtig bei immer mehr Baureihen von Wärmepumpen zum Einsatz sogenannter natürlicher Kältemittel führt sieht es so aus, dass die Kritik am Einsatz klimaschädlicher Kältemittel zwar sachlich geboten ist, sich aber im Laufe der nächsten wenigen Jahre hoffentlich überholen wird.

Speziell mit Blick auf Mehrfamilienhäuser ist es wichtig zu überlegen, welches Wärmepumpensystem eingebaut werden soll und wo ein machbarer Zugang zu einer Quelle von Umweltwärme besteht. Es kann dabei gezeigt werden, dass auch auf kleinen Grundstücken immer wieder die Niederbringung von Erdsonden möglich ist, dass aber Mehrfamilienhäuser auch erfolgreich mit Luftwärmepumpen beheizt werden können. Die Platzierung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern kann nicht nur in Art einer Zentralheizung z.B. im Keller erfolgen, kleine Wärmepumpen können auch in jeder Wohnung montiert werden, was nicht nur die Wärmeabrechnung überflüssig macht, sondern auch eine zentrale Trinkwasserversorgung erübrigt, was wiederum für die Verwaltung einiges vereinfacht.

Seit der Energiekrise in 2022 erfreut sich auch die Nutzung von Luft-Luft Wärmepumpen zum Heizen von Etagenwohnungen zunehmender Beliebtheit. Mit ihnen kann der Gasbedarf schnell und wirksam und vor allen Dingen zu extrem günstigen Investitionskosten gesenkt werden, denn Luft-Luft Wärmepumpen kleiner Leistungsklassen sind schon ab 2.000 € zu haben.

Der Blick auf neun Beispiele des Einbaus von Wärmepumpenanlagen in Mehrfamilienhäuser zeigt Gebäude aus den Baujahren 1881 bis 1972. Es fällt auf, dass mit zwei Ausnahmen in alle Gebäude die Wärmepumpenanlage im Zuge einer energetischen Modernisierung eingebaut wurde. Hatten die Gebäude vor der Modernisierung Energieeffizienzklassen H, G oder F, so verbesserte sich diese im Zuge der energetischen Optimierung auf D, C, B oder gar A. Mehr noch als bei Einfamilienhäusern scheint die Entscheidung über den Umbau der Heizungsanlage mit der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern verknüpft zu sein. Geht man davon aus, dass sich Gebäude der Energieeffizienzklassen A bis D mit nur geringen energetischen Optimierungen auf Wärmepumpe umrüsten lassen, dann kann aktuell etwas mehr als die Hälfte des Bestandes an Mehrfamilienhäusern kurz und mittelfristig auf Wärmepumpen umgerüstet werden.

1 Einführung

Der Absatz von Wärmepumpen ist in den letzten Jahren schnell gewachsen. Durch Änderungen im Gebäudeenergiegesetz werden in Zukunft nicht nur die Mehrheit der Neubauten mit Wärmepumpen ausgestattet werden, sondern die Wärmepumpe wird sich auch bei Sanierungen von Einfamilien- und Doppelhäusern genauso durchsetzen wie in der Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern. Dabei wird immer wieder diskutiert, mit welcher Performance und Energieeffizienz und zu welchen Kosten Wärmepumpen in Bestandsgebäuden für Heizungszwecke eingesetzt werden können.

Die Suche nach Fallstudien des Einsatzes von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern gestaltete sich als nicht ganz einfach, da die Zahl der realisierten Objekte noch nicht so groß zu sein scheint. Dabei wurden sowohl Objekte gefunden, die vollständig mit Wärmepumpe beheizt werden, als auch Objekte mit Hybridheizung. Je anspruchsvoller dabei die Sanierung durchgeführt wurde, desto geringer ist die Rolle, die die Hybridheizung in den Konzepten spielt. Ein herzlicher Dank für das Heraussuchen von Daten geht an verschiedene Privatleute sowie an die Installationsbetriebe Dolgner GmbH & Co. KG in der Wedemark, die Lunitronic GmbH in Kempen-Tönisberg, die Nick GmbH Wärmepumpen & Elektrotechnik in Leonberg sowie die Unternehmen Wohnwerke GmbH in Remshalden und die LEG-Immobilien SE in Düsseldorf. Für eine Durchsicht des Berichtes danken wir auch Angelika Niedzwiedz von der Leibniz Universität Hannover.

Es zeigte sich, dass der Einbau einer Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern sehr häufig mit anderen Sanierungsaktivitäten einhergeht. Die Gründe für diesen Unterschied zu Einfamilienhäusern wären noch zu untersuchen.

Kapitel 2 umreißt die Rahmenbedingungen der Wärmewende und erklärt das Funktionsprinzip, die Bauarten, Effizienz und Kosten einer Wärmepumpenanlage. Auch die Arbeitszeit für die Installation sowie die anstehenden Änderungen bei den Kältemitteln werden angesprochen.

Kapitel 3 führt in das Thema Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern ein und umreißt Stärken und Schwächen verschiedener Wärmepumpensysteme, Optionen der Platzierung im Gebäude, das besondere Thema der Luft-Luft-Wärmepumpe (Klimaanlage) als Ergänzung einer Gasheizung in der Etagenwohnung sowie einige rechtliche Aspekte.

Kapitel 4 beschreibt neun Praxisbeispiele und betrachtet dabei auch zwei Hochhäuser und eine Hybridheizung mit Luft-Luft-Wärmepumpe und Fernwärme auf der Etage.

2 Die Wärmepumpe

2.1 Die Wärmewende

Zahlreiche Studien zeichnen eine Zukunft mit erneuerbarer und CO₂-freier Wärmeversorgung. Die Dena-Leitstudie „Integrierte Energiewende“ erstellt von der Deutschen Energieagentur (dena) sieht hierfür die Zahl der Wärmepumpen zur Gebäudeheizung auf bis zu 17 Millionen Stück steigen (Dena, 2018, S. Teil 8, 19). Bei einem Bestand von ca. 19 Mio. Gebäuden (Statistisches Bundesamt, 2018, S. 16) mit Wohnraum entspräche dies einem Ausstattungsgrad von ca. 90 % aller Wohngebäude¹. Auch das Umweltbundesamt erwartet von Wärmepumpen in 2050 einen Beitrag von bis zu 75 % der Raumwärme- und Warmwasserversorgung (Umweltbundesamt, 2019, S. 173).

Wenn die Bundesregierung ihre im Sommer 2022 angekündigten und im April 2023 vom Kabinett gebilligten Pläne umsetzt, soll jede neu eingebaute Heizung ab 1. Januar 2024 mit mindestens 65 % erneuerbarer Energien betrieben werden (Die Bundesregierung, 2023). Beim Neubau von Gebäuden, genauso wie beim Ausfall einer alten Heizungsanlage und dem notwendigen Ersatz, sind Anlagen gefordert, die mindestens 65 % erneuerbare Wärme nutzen, z.B. durch (Die Bundesregierung, 2023):

- ▶ Anschluss an ein Wärmenetz,
- ▶ Einbau einer Wärmepumpe mit der Wärmequelle Luft, Erdreich oder Wasser,
- ▶ Einbau einer Biomasseheizung auf Basis von fester oder flüssiger Biomasse,
- ▶ Einbau einer Gasheizung unter Nutzung von grünen Gasen,
- ▶ Einbau einer Hybridheizung,
- ▶ Nutzung von solarthermischer Wärme,
- ▶ Einbau einer Stromdirektheizung.

Die deutliche Warnung der Bundesregierung vor Knappheiten bei der Versorgung mit Biomasse, grünem Wasserstoff und anderen strombasierten synthetischen Brennstoffen sowie die Einschränkung der Nutzung einer Stromdirektheizung auf extrem energieeffiziente Gebäude lässt die verbleibende Auswahl in vielen Fällen auf den Anschluss an ein Wärmenetz oder den Einbau einer Wärmepumpe zusammenschmelzen (BMWK & BMWSB, 2022).

Die konsequentere Klimapolitik der neuen Bundesregierung führt damit für alle Wohngebäude, die nicht an ein Wärmenetz angeschlossen werden können, dazu, dass die Wärmepumpe sich als Heizsystem der Zukunft mit sehr hohem Marktanteil etablieren wird. Zudem ist zu erwarten, dass diese Vorschriften nicht nur erlassen werden, sondern dass auch ein Vollzug organisiert wird. Eine regelmäßige Kontrolle durch die Schornsteinfegerinnen und Schornsteinfeger soll dafür sorgen, dass die Vorschriften auch umgesetzt werden (BMWK & BMWSB, 2022).

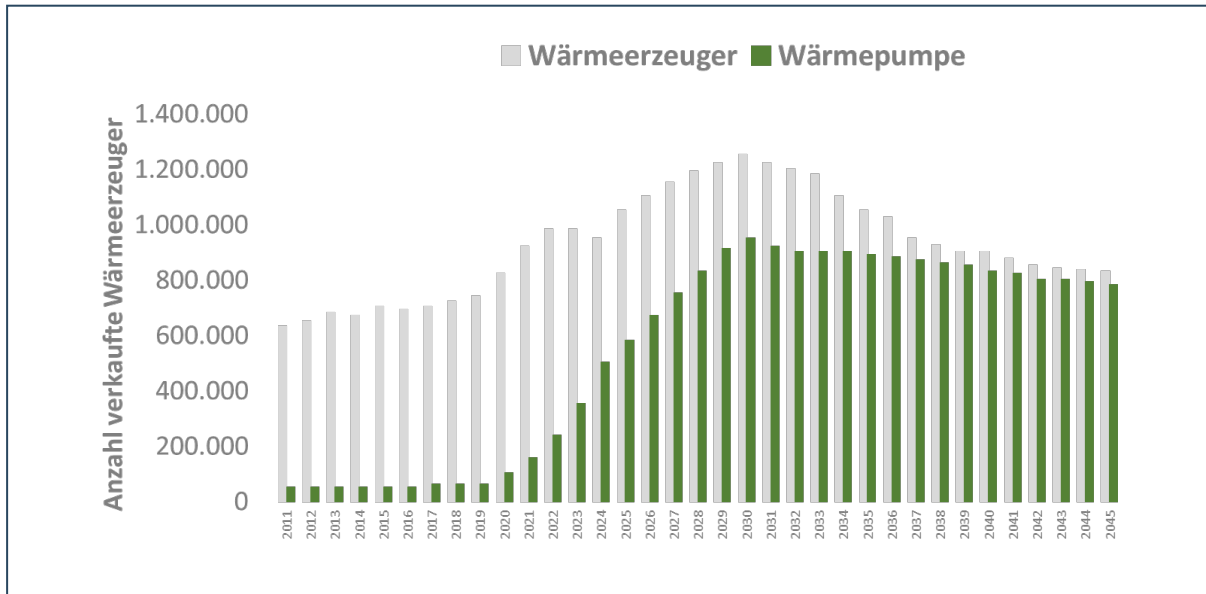
Die Bundesregierung begann im Sommer 2022 zusammen mit der Heizungsbranche einen Konsultationsprozess in der Form von zwei virtuellen Wärmepumpen-Gipfeln. Es wurde das Ziel vereinbart, den Marktanteil von Wärmepumpen von 16 % in 2021 auf 66 % in 2027 zu steigern und dabei in 2025 das erste Mal mehr als 500.000 Wärmepumpen zu installieren (Wärmepumpen-Gipfel, 2022). Der

¹ Unter Einbeziehung von Nichtwohngebäuden ergeben sich noch größere Zahlen, es bleibt aber bei der Erkenntnis, dass die Wärmepumpe heute nur einen Bruchteil der Gebäude versorgt und in den 30er und 40er Jahren mindestens 10 Millionen Wärmepumpen einen sehr großen Anteil der Gebäude heizen werden.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Bundesverband Wärmepumpe sieht als Folge der Beschlüsse des Wärmepumpengipfels (Wärmepumpen-Gipfel, 2022) folgende Entwicklung kommen:

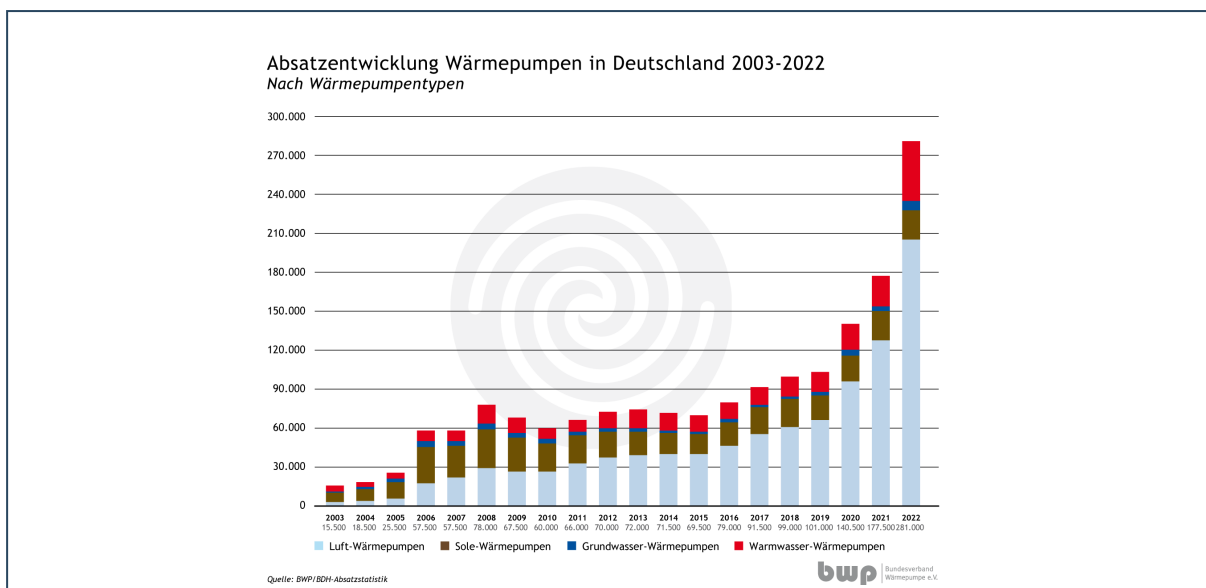
Abbildung 1: Absatzzahlen für Wärmeerzeuger und Wärmepumpen bis 2045



Quelle: BWP (2022)

Erfreulich ist, dass die Zahl der installierten Wärmepumpen seit einigen Jahren deutlich steigt und besonders durch die seit dem Jahr 2019 verbesserten Förderbedingungen im Jahr 2022 erstmals knapp 280.000 Stück, davon 236.000 Heizungswärmepumpen, erreichte. Jeder vierte installierte Wärmeerzeuger war 2022 eine Wärmepumpe.

Abbildung 2: Absatzzahlen von Wärmepumpen in Deutschland 2003 bis 2022 nach Wärmepumpentypen



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (2023)

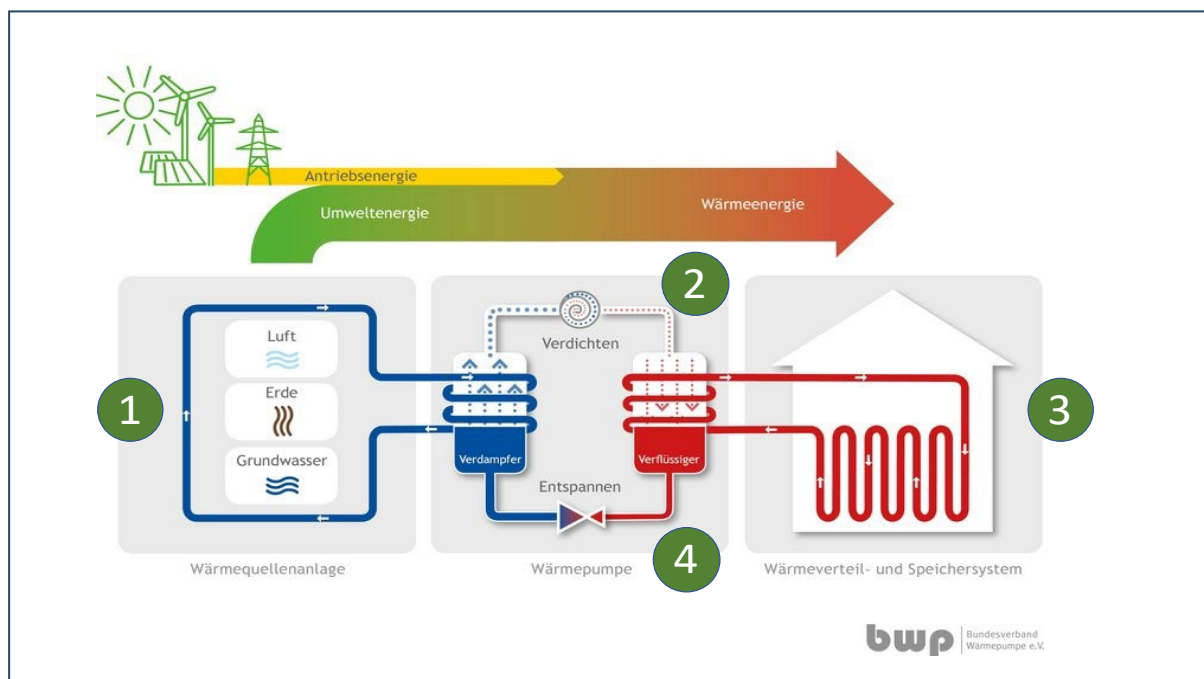
WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

87 % der installierten Geräte waren Luft-Wasser-Wärmepumpen. Der Marktanteil von erdgekoppelten Wärmepumpen geht langsam zurück. Er lag 2006 noch bei über 50 % ist bis 2022 auf ca. 10 % der Heizungswärmepumpen gefallen.

2.2 Funktionsprinzip der Wärmepumpe

Vielen Menschen ist nicht klar, wie eine Wärmepumpe funktioniert. Dabei handelt es sich mehr oder weniger um den gleichen physikalischen Prozess wie in einem Kühlschrank, den wir alle kennen. Ein Kühlschrank „pumpt“ Energie aus dem Innenraum heraus in die umgebende Luft. Eine Wärmepumpe „pumpt“ Energie aus der Umgebung, z.B. aus der Luft oder aus der Erde, in ein Haus. Aber wie macht sie das eigentlich? In einzelnen Schritten erklärt ist das ganz einfach. Der Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2021) stellt das Funktionsprinzip der Wärmepumpe wie folgt grafisch dar:

Abbildung 3: Funktionsprinzip der Wärmepumpe



Quelle: nach Bundesverband Wärmepumpe (2021), modifiziert durch J. Clausen (2022)

Durch die **Wärmequellenanlage (1)** wird die Wärmeenergie der Umwelt (Luft, Erdwärme, Grundwasser) entzogen. Die **Wärmepumpe (2)** sorgt mit dem Verdichter für die nötige Erhöhung der Temperatur. Das **Wärmeverteilsystem (ggf. mit Speicher) (3)** bringt die Wärme in das zu beheizende Gebäude und auf dem Rückweg wiederum in der **Wärmepumpe (4)** erfolgt die Entspannung und damit Abkühlung des Wärmeträgermediums. Dieses kann dann, wenn es möglichst weit abgekühlt ist, wieder Wärme aus der Umgebung aufnehmen.

Die einzelnen Schritte dieses Prozesses scheinen kompliziert, sind es aber gar nicht:

Schritt 1 – Die Wärmequelle: Ein stark abgekühltes Wärmeträgermedium wird in den Rohren eines Wärmetauschers durch eine relativ wärmere Umgebung geführt. Das können z.B. die Rohre einer Erdwärmesonde sein, die neben dem Gebäude ca. 100 m in die Tiefe führen. Es kann aber auch über

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

einen Wärmetauscher der Kontakt mit der Außenluft sein. Hier nimmt das Medium einen Teil der Energie auf, die es später an die Wohnung abgeben wird, es erwärmt sich.

Schritt 2 - Der Verdichter: Alle, die schon mal mit einer Fahrradpumpe einen Reifen aufgepumpt haben, wissen, dass die Luftpumpe dabei warm wird. Mit der Hand, die die Pumpe vorne festhält, ist es spürbar. Und auch später, wenn man das Käppchen auf das warme Ventil schraubt, ist die Wärme spürbar. Wenn also ein Medium wie z.B. Luft verdichtet wird, dann wird dies Medium wärmer. Diesen Effekt macht sich die Wärmepumpe zu nutze. Im Verdichter erhöht sich die Temperatur und natürlich auch der Druck des Mediums. Um den Verdichter anzutreiben wird elektrische Energie benötigt.

Schritt 3 – Die Wärmeverteilung: Das Medium hat hinter dem Verdichter eine Temperatur erreicht, mit der man heizen und warmes Wasser bereiten kann. Es durchströmt einen Wärmetauscher² und erhitzt Wasser oder Luft, welches nun entweder die Heizkörper, eine Fußboden- oder Wandheizung³ durchströmt und die Wärme an die Wohnräume abgibt oder durch Luftleitungen zu Luftverteilteräten geleitet wird und als Warme Heizluft in den Raum strömt.

Schritt 4 – Die Entspannung: Das im Wärmetauscher abgekühlte Medium, das immer noch unter höherem Druck steht, durchströmt nun zum Entspannen ein Expansionsventil. Das ist quasi so, als wenn unter Druck stehende Luft durch eine kleine Öffnung aus einem Luftballon entweicht. Dabei sinken sowohl der Druck als auch die Temperatur des Mediums wieder stark ab, häufig auf Minusgrade.

Eine Wärmepumpenanlage hat drei zentrale technische Kennzahlen, nämlich Leistung, Leistungszahl und Jahresarbeitszahl (JAZ), die im Folgenden erläutert werden.

Die erste Kennzahl ist die **Leistung**, auf die die Wärmepumpenanlage ausgelegt ist. Für die Versorgung eines Einfamilien-Passivhauses mit Wärme ist oft eine Leistung von 3 kW ausreichend, für einen Neubau mit Standardwärmedämmung ist eine Wärmepumpe mit einer Leistung von 4 bis 6 kW erforderlich und Altbauten können noch höhere Leistungen erfordern. Für größere Gebäude stehen Wärmepumpen mit höherer Leistung zur Verfügung.

Die zweite technische Kennzahl ist die **Leistungszahl**. Die Leistungszahl gibt an, wieviel Wärmeenergie mit jeweils einer Kilowattstunde elektrischer Antriebsenergie in das Haus befördert werden kann. Je höher diese Zahl ist, desto weniger Strom wird benötigt und desto preiswerter ist der Betrieb der Wärmepumpe. Die Leistungszahl ist abhängig von der Temperatur der Wärmequelle sowie der notwendigen Vorlauftemperatur für das Wärmeverteilsystems. Es handelt sich also eigentlich nicht um eine feste Zahl, sondern eher um eine Kurvenschar.

Um die energetische Effizienz von Wärmepumpen im Praxisbetrieb vergleichen zu können, wird die **Jahresarbeitszahl (JAZ)** einer Anlage ermittelt (Baunetz-Wissen, 2022). Zwar wird für jede Wärmepumpe vom Hersteller die individuelle Effizienz als Leistungszahl angegeben, diese wird jedoch auf Testständen festgestellt, unter optimalen Einstell- und Arbeitsparametern, und bildet daher nicht die realen Betriebsbedingungen von z.B. sich laufend verändernden Außentemperaturen ab. Aussagekräftiger ist daher die JAZ. Vereinfacht ausgedrückt ist die JAZ der Quotient aus erzeugter Wärme

² Ein **Wärmetauscher** sorgt dafür, dass Wärme aus einer Flüssigkeit in eine andere transportiert wird. Dafür kann man z.B. das erhitzte Wärmeträgermedium in Rohren durch einen Behälter mit Heizwasser führen. Das Heizwasser kommt mit den warmen Rohren in Berührung und erwärmt sich.

³ Heizwasser strömt meistens durch an der Wand unter den Fenstern angebrachte Heizkörper. Rohre für das Heizwasser können aber auch im Fußboden oder in der Wand verlegt werden und diese großflächig erwärmen. Das ist nicht nur sehr angenehm, sondern es führt auch dazu, dass das Heizwasser gar nicht so heiß sein muss. Oft reicht es, das Heizwasser für **Fußboden und Wandheizungen** auf 30 °C bis 35 °C zu erwärmen.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

und dem dafür benötigten Strom, bezogen jeweils auf ein volles Jahr (Baunetz-Wissen, 2022). Um die Jahresarbeitszahl ermitteln zu können benötigt man einen Wärmemengenzähler und einen separaten Stromzähler, der den Stromverbrauch der Wärmepumpe misst.

Technische Anforderungen an eine für ein Gebäude optimale Wärmepumpe sind:

- ▶ Die Wärmepumpe hat eine ausreichende und trotzdem möglichst niedrige Leistung, da eine zu große Dimensionierung eine schlechtere Effizienz mit sich bringt.
- ▶ Außerdem ist es gut, wenn die Anlage eine möglichst warme Wärmequelle nutzt. So lässt sich z.B. die Umgebungswärme aus einer 10 °C warmen Erdwärmepumpe effizienter auf das Niveau von Heizwärme pumpen als die winterliche „Wärme“ aus 0 °C „kalter“ Außenluft.
- ▶ Für eine hohe Effizienz, also eine hohe Jahresarbeitszahl, ist es weiter vorteilhaft, die Wärmeverteilung so zu gestalten, dass eine niedrige Vorlauftemperatur zur Beheizung des Gebäudes ausreicht. Besonders günstig ist hier z.B. eine Flächen- oder Wandheizung, für die oft eine Vorlauftemperatur von 30 °C bis 35 °C ausreicht, statt konventionelle Heizkörper, die je nach Größe 40 °C bis 60 °C Vorlauftemperatur für die Wärmeverteilung erfordern (Miara, 2022; Scientists for Future, 2022).

Der Klimawandel verändert aber die Randbedingungen für die Auswahl von Wärmepumpen. In der Referenzperiode 1961 bis 1990 betrug die Mitteltemperatur in Niedersachsen im kältesten Monat (Januar) etwa 1°C (DWD, 2018, S. 7). Durch den fortschreitenden Klimawandel lag dieses Mittel schon 2014 bereits bei ca. 3°C (DWD, 2018, S. 7), und es ist in Zukunft mit weiter steigenden Temperaturen zu rechnen, so dass sich der Vorteil der „warmen“ Erdwärmepumpe gegenüber eine Luft-Luft Wärmepumpe weiter verringern dürfte.

2.3 Luft-Wasser, Luft-Luft, Wasser-Wasser und Erdwärmepumpen

Die Vielfalt der Wärmepumpen ist groß. Je nachdem, welche Quelle an Umweltwärme genutzt und wie diese Wärme im Gebäude verteilt wird, werden Wärmepumpen unterschiedlich bezeichnet.

In Deutschland sehr verbreitet ist die **Luft-Wasser Wärmepumpe**, die der Umgebungsluft Wärme entzieht. In 2022 repräsentierten Luft-Wasser Wärmepumpen einen Marktanteil von 87 % vom Wärmepumpenabsatz (BWP, 2023).

Die **Erdwärmepumpe**, auch **Sole-Wärmepumpe** genannt, bezieht ihre Umgebungswärme aus einer ca. 100 m tiefen Bohrung oder aus einer in einigen Metern Tiefe verlegten Erdsonde. Erdwärmepumpen speisen einen Heizwasserkreislauf. Ihr Marktanteil 2022 lag bei ca. 10 % (BWP, 2023).

Die **Wasser-Wasser Wärmepumpe** nutzt eine Wasserader oder ein Gewässer als Wärmequelle. Sie pumpt z.B. Grundwasser aus der Erde, entzieht ihm Wärme und speist es leicht abgekühlt wieder zurück. Auch Wasser-Wasser Wärmepumpen speisen einen Heizwasserkreislauf. Als Variante existiert die **Abwasser-Wasser-Wärmepumpe**, die die Wärme aus einem in einem Abwasserkanal verlegten Wärmetauscher bezieht.

Die **Luft-Luft Wärmepumpe** entzieht ebenfalls der Umgebungsluft Wärme, speist diese aber nicht in einen Wasserkreislauf ein, sondern erwärmt einen Luftstrom. Dies kann entweder direkt in der Wärmepumpe geschehen (Monoblock), in separaten Geräten (Split-Anlage) oder der Luftstrom kann durch ein Rohrsystem verteilt werden.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

- ▶ In einer **Split-Anlage** wird das in der Wärmepumpe erwärmte Kältemittel durch Rohre zu sogenannten Innengeräten geleitet, in denen es dann einen durch sie hindurch geleiteten Luftstrom erwärmt.
- ▶ Der Luftstrom einer **Monoblockanlage** tritt entweder direkt aus dem Gerät aus oder
- ▶ er kann durch eine **Monoblockanlage mit Rohrleitungssystem** im Haus verteilt werden.

Als Variante existiert weiter die **Abluft-Wärmepumpe**, die die Wärme des Abluftstroms einer Belüftungsanlage als Wärmequelle nutzt.

(Ab-)Wasser-Wasser Wärmepumpen, (Ab-)Luft-Luft Wärmepumpen erreichen in Deutschland nur minimale Marktanteile von zusammen ca. 3 % (BWP, 2023). Das ist in anderen Ländern völlig anders. In Finnland z.B. erreicht die Luft-Luft-Wärmepumpe einen Marktanteil von knapp 80 %, während die Luft-Wasser Wärmepumpe nur eine marginale Rolle spielt.

Es bleibt zu fragen, wie sich die in den verschiedenen Ländern unterschiedlichen Marktanteile erklären und welche Vor- und Nachteile die Systeme jeweils aufweisen. Eine Reihe von Eigenschaften sollen im Folgenden betrachtet werden:

Aus technischer Sicht ist die **Effizienz der Wärmepumpe** von hoher Bedeutung, da sie den späteren Stromverbrauch der Wärmepumpenheizung entscheidend bestimmt.

Aus Sicht der Kundinnen und Kunden sind die **Kosten einer Wärmepumpenanlage** wichtig, da eine preiswertere Technik auch weniger liquiden Haushalten die Investition in eine Wärmepumpe ermöglicht.

Mit dem Ziel der Beschleunigung der Transformation ist auch die **Arbeitszeit für die Installation** von hoher Bedeutung, da der Umbau der Wärmeversorgung dann auch mit weniger Fachkräften durchgeführt werden kann.

Aus ökologischer Sicht ist weiter das **Kältemittel** wichtig, denn der Klimaschutzeffekt einer Wärmepumpe wird in einigen Fällen durch extrem klimaschädliche Kältemittel verringert.

2.3.1 Effizienz der Wärmepumpe

Die Effizienz von **Erdwärmepumpen** wie auch von **Luft-Wasser Wärmepumpen** wurde z.B. durch das Fraunhofer ISE im Projekt WP-Smart untersucht. Der Ergebnisbericht gibt für Luft-Wasser Wärmepumpen auf der Basis von 29 gemessenen Anlagen Jahresarbeitszahlen in einem Bereich von 2,5 bis 3,8 (Mittelwert 3,1) an (Fraunhofer ISE, 2020). Auf Basis von 12 gemessenen Erdwärmepumpen wurde für die Jahresarbeitszahlen eine Spanne von 3,3 bis 4,7 (Mittelwert 4,1) ermittelt (a.a.O.). Auch eine Schweizer Untersuchung findet ähnliche Werte (energie Schweiz & Bundesamt für Energie, 2021).

Weder in deutschen noch in Schweizer Untersuchungen finden sich allerdings Ergebnisse aus der Messung von **Luft-Luft Wärmepumpen**, also Klimaanlage, die auch als Heizgerät eingesetzt werden. Verkaufszahlen von Luft-Luft Wärmepumpen werden durch den BWP nicht dokumentiert und sie spielen auch in den Feldmessungen des Fraunhofer ISE keine Rolle. Zudem werden in einschlägigen Studien Luft-Luft und Luft-Wasser Wärmepumpen nicht immer eindeutig unterschieden (z.B. Carroll,

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Chesser, & Lyons, 2020) oder es werden SCOP-Werte⁴ theoretisch und aufwendig errechnet, aber eben keine Jahresarbeitszahlen gemessen (z.B. Ruhnau, Hirth, & Praktijnjo, 2019).

Turton et al. (2017) stellen fest, dass der In-Situ SCOP von Luft-Luft-Wärmepumpen schwierig zu messen ist, dokumentieren deklarierte SCOP Angaben der Hersteller von ca. 4,1 und arbeiten in ihrer Analyse mit einem Abschlag von 32 %, um den praktisch erzielbaren SCOP letztlich auf 2,8 zu veranschlagen.

Johnson misst in zwei Wintern an einer im US Bundesstaat Connecticut installierten Luft-Luft Wärmepumpe Jahresarbeitszahlen (SCOP) von 2,78 im ersten und 2,83 im zweiten Winter (Johnson, 2013). Die von Danielski und Fröling (2012) vorgelegte Fallstudie zu einem Haus in Schweden lässt durch den Vergleich des Stromverbrauchs von Widerstandsheizung und Luft-Luft Wärmepumpe auf eine Arbeitszahl von ca. 1,5 schließen.

Eine in den Neuengland-Staaten der USA durchgeführte Studie (Cadmus Group, 2022) erhob Daten in 43 Wohngebäuden, deren 73 Luft-Luft Wärmepumpen teils als Split-Anlagen, teils mit verrohrter Luftverteilung ausgeführt waren. Die Arbeitszahlen der Anlagen waren unterschiedlich. Für Split-Anlagen mit zwei oder drei Inneneinheiten fand die Studie gemessene SCOP-Werte von 2,24 (15 Anlagen mit zwei Inneneinheiten) und 2,57 (13 Anlagen mit drei Inneneinheiten), war nur eine wandmontierte Inneneinheit vorhanden wurden bei 19 Anlagen durchschnittlich ein SCOP von 3,23 gemessen. Erfolgte die Warmluftverteilung durch Rohre wurde an 15 Anlagen ein durchschnittlicher SCOP von 2,25 gemessen (Cadmus Group, 2022).

Nun wäre der Einsatz von Luft-Luft Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern besonders dann eine interessante Option, wenn jede Wohnung einzeln z.B. durch eine Gastherme beheizt wird. Bei Ausfall einer einzelnen Gastherme müsste nicht das ganze Haus umgebaut werden, sondern es könnten eine oder zwei Luft-Luft Wärmepumpen zur Beheizung einer einzelnen Wohnung installiert werden. Wäre das Ergebnis der Cadmus Group (Cadmus Group, 2022) robust könnte dies mit einer Split-Anlage mit wandmontierte Inneneinheit und einem SCOP von ca. 3,2 erfolgen und wäre gar nicht viel weniger effizient als mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Die Heißwasserversorgung müsste dann mit einem Durchlauferhitzer und Fünflitergeräten realisiert werden.

Letztlich ist aber festzustellen, dass die Studienlage klare Aussagen zu möglichen Arbeitszahlen kaum zulässt. Zudem ist die Arbeitszahl auch für die Beurteilung der Technologie nur einer unter mehreren Faktoren, da die Nutzung von Luft-Luft-Wärmepumpen auch zu neuen Verhaltensweisen führt, die ihrerseits zum Einsparen von Energie beitragen (vgl. Kapitel 3.3).

2.3.2 Kosten einer Wärmepumpenanlage

Der finnische Wärmepumpenverband SULPU veröffentlicht eine Statistik, die nicht nur die Zahl der verkauften und primär in Einfamilienhäusern eingebauten Wärmepumpen dokumentiert, sondern auch die dafür erforderlichen Investitionen. Auf dieser Basis lässt sich ein Vergleich der Kosten verschiedener Wärmepumpentypen für den Einsatz in Einfamilienhäusern aufstellen.

So wurden im Jahr 2022 die hohe Zahl von 161.920 Luft-Luft Wärmepumpen abgesetzt 19.035 Luft-Wasser Wärmepumpen, 11.772 Erdwärmepumpen incl. Wasser-Wasser Wärmepumpen sowie 3.626

⁴ SCOP ist die Abkürzung von „Seasonal Coefficient of Performance“ und ermittelt eine theoretische Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe auf Basis von Prüfstandsmessungen in verschiedenen Betriebszuständen, die nach Klimazonen gewichtet werden. Dabei werden für den Heizbetrieb die Aussentemperaturen 12°, 7°, 2° und -7° Celsius für die Messung herangezogen.

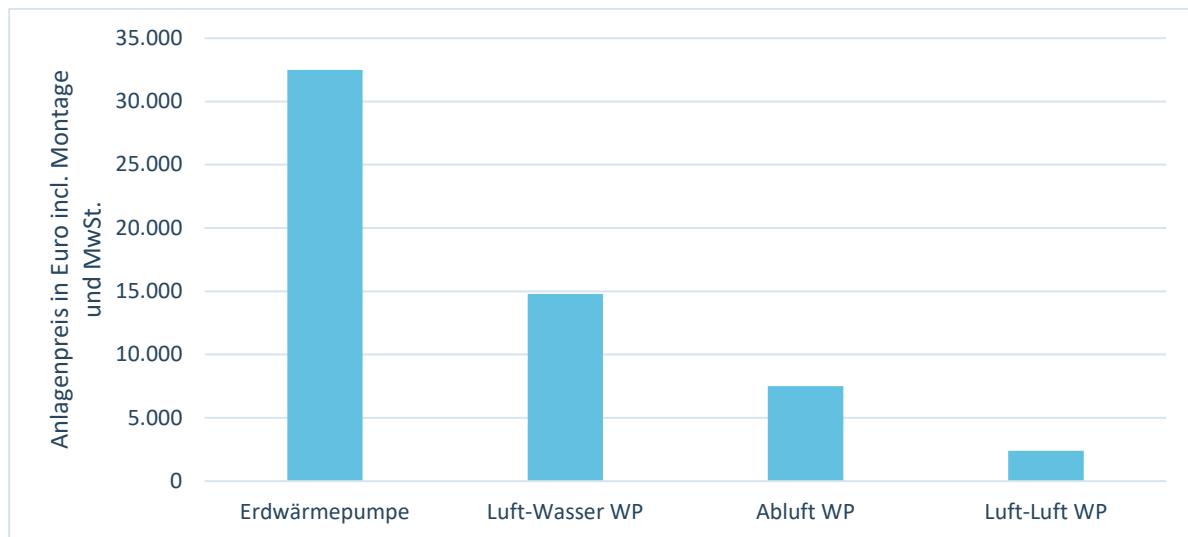
WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Abluft-Wärmepumpen (SULPU, 2023). Aus den im selben Dokument angegebenen Investitionssummen lassen sich für Erdwärmepumpen incl. Wasser-Wasser Wärmepumpen durchschnittliche Investitionen von ca. 32.500 € errechnen, für Luft-Wasser Wärmepumpen ca. 14.800 €, für Abluft-Wärmepumpen ca. 7.500 € und für Luft-Luft Wärmepumpen (alias Klimaanlage) ca. 2.400 €.

Aufgrund der in Finnland günstigen Elektrizität, deren Preis seit 2012 von ca. 15 Cent/kWh auf gegenwärtig ca. 20 Cent/kWh incl. Steuern gestiegen ist (countryeconomy.com, 2023) werden Wärmepumpen häufig zusammen mit einer direktelektrischen Heizung (Heizstab u.ä.) installiert.

Eine neuseeländische Fallstudie bestätigt die niedrigen Kosten von Luft-Luft-Wärmepumpen aber auch für Mehrfamilienhäuser. In einen Apartmentblock in Auckland mit 59 Apartments wurden 45 Luft-Luft-Wärmepumpen zu Gesamtkosten von 120.000 NZ-\$ (57 Cent) eingebaut, was ca. 1.520 € pro Wärmepumpe entspricht (Noel Leeming Commercial, 2020).

Abbildung 4: Bruttopreis verschiedener Wärmepumpentypen in Finnland



Quelle: Borderstep auf Basis von Daten von SULPU (2023)

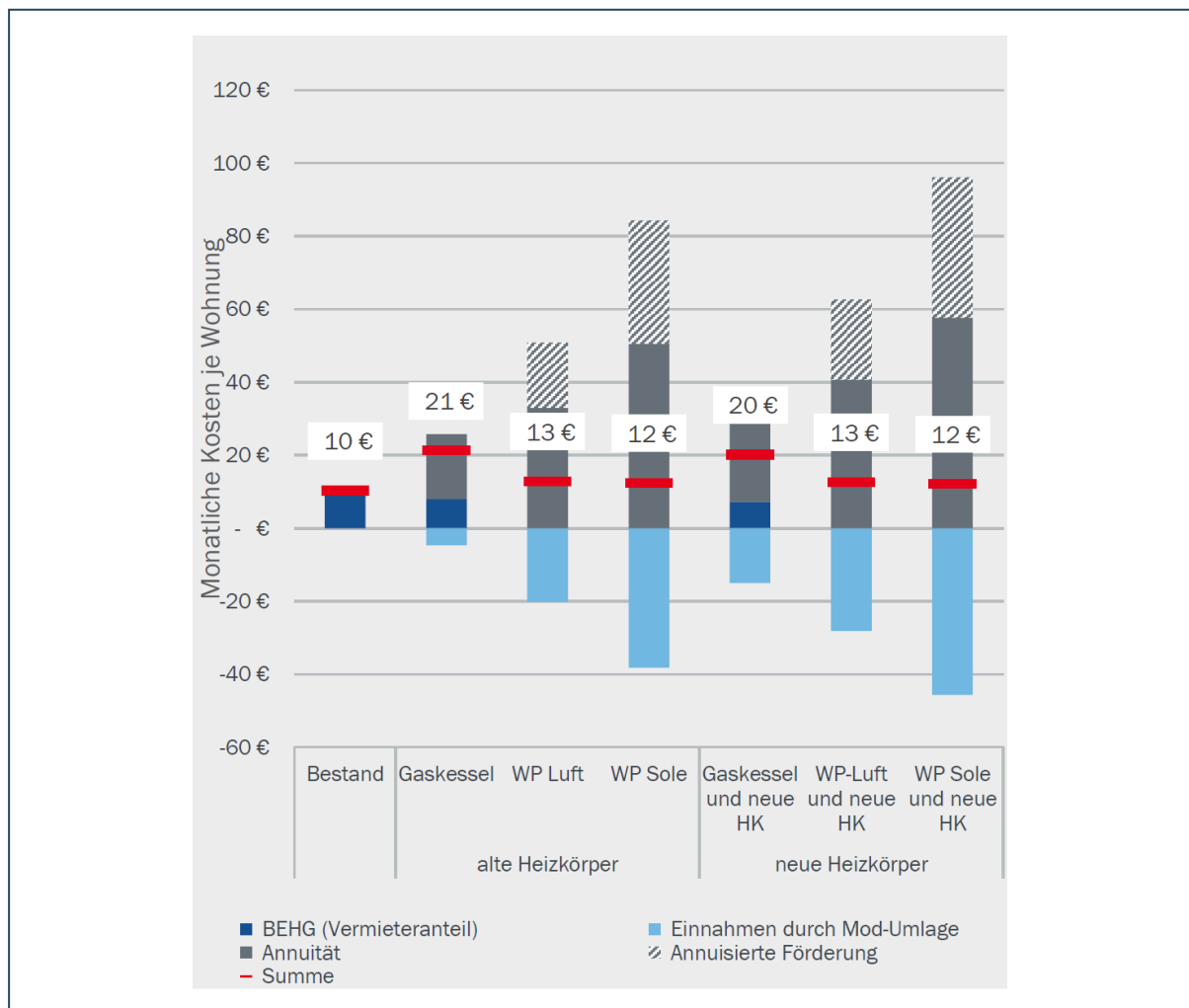
Die finnischen Zahlen zeigen, dass Erdwärmepumpen grundsätzlich teurer sind als Luft-Wasser Wärmepumpen. Beide Typen können nicht nur das Haus heizen, sondern auch Warmwasser erzeugen. Die Luft-Luft Wärmepumpe (alias Klimaanlage) kann das nicht und hat wohl auch eine schlechtere Jahresarbeitszahl, ist dafür aber deutlich preiswerter.

Einen Vergleich der Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern hat die Prognos AG im Auftrag des BWP im Herbst 2022 erarbeitet (Prognos AG, 2022) und im Frühjahr 2023 aktualisiert (Prognos AG, 2023). Dabei wurde ein typisches kleines Mehrfamilienhaus untersucht, welches zwischen 1969 und 1978 gebaut worden sein könnte, vier Stockwerke, sechs Wohnungen und 420 m² Wohnfläche aufweist. Der Wärmeverbrauch incl. Warmwasser wird mit 146 kWh/m² angenommen, was der Energieeffizienzklasse E entspricht. Die Investitionskosten für eine Luft-Wasser Wärmepumpenanlage werden auf 47.000 € veranschlagt, die für eine Sole-Wasser Wärmepumpe auf 78.000 €. Ohne den Einbau neuer Heizkörper wird bei der Luftwärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 2,6 erreicht, mit neuen Heizkörpern 3,0. Die Erdwärmepumpe erreicht von mit unveränderten Heizkörpern eine JAZ von 3,1 und mit neuen Heizkörpern sogar 3,6 (Prognos AG, 2022).

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Nimmt die Studie für die kommenden Jahre ein mittleres Preisniveau für Erdgas an (also den Mittelwert von Gaspreisprognosen für die nächsten 15 Jahre), dann ergeben sich für die Mietenden leichte Kostenvorteile von etwa 10 % der spezifischen Kosten für Energie (Prognos AG, 2022). Diese Kostenvorteile sind aus Sicht des Jahres 2023 niedriger, aber auch im Frühjahr 2023 lassen die Rechnungen keine Kostennachteile für die Mietenden beim Ersatz eines Gaskessels durch eine Wärmepumpe erkennen (Prognos AG, 2023). Einbezogen sind dabei die Kosten für den Energiebezug (ohne Kosten aufgrund des BEHG⁵), der BEHG-Mieteranteil, die Modernisierungs-Umlage sowie die Wartung (Prognos AG, 2022). Bei der Warmmiete sieht die Studie beim mittleren Preisniveau kaum eine Veränderung, die aber eintreten würde, wenn der Preis für fossile Brennstoffe doch stärker steigen sollte.

Abbildung 5: Gesamtkosten für Wärme je Wohnung aus Vermietendensicht



Quelle: Prognos AG (2022).

Aus der Perspektive der Vermietenden sind die wärmebezogenen Kosten nur von den Investitionskosten und den Förderquoten abhängig und nicht von den Energiepreisen. Beim Austausch des Wärmeerzeugers zeigt sich die Option eines neuen Gaskessels als besonders ungünstig. Auch das

⁵ Brennstoffemissionshandelsgesetz

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

beibehalten des alten Gaskessels führt zu Kostensteigerungen von mittelfristig etwa 10 €/m² aufgrund des Vermieteranteils der Belastungen aus dem Brennstoffemissionshandelsgesetz. Aufgrund der Förderungen sowie der Möglichkeit, Kosten anteilig durch die Modernisierungsumlage an die Mietenden weiterzugeben, ist die Investition in eine Wärmepumpe sowohl mit wie auch ohne Tausch der Heizkörper nur unwesentlich teurer als der Beibehalt des alten Gaskessels (Prognos AG, 2022).

Mittelfristig dürfte also die Umrüstung eines kleinen Mietshauses von Gas auf Wärmepumpe keine gravierenden Vor- oder Nachteile für die Mietenden wie für die Vermietenden mit sich bringen. Durch die aktuell diskutierte 65 %-Regel und die in diesem Kontext avisierten Förderungen für klimafreundliche Lösungen könnte in vielen Fällen sogar ein finanzieller Vorteil gegenüber der fossilen Lösung entstehen (Prognos AG, 2023).

Die Energie-Experten (2023b) resümieren in einer aktuellen Untersuchung zu Mehrfamilienhäusern: *„Die Investitionskosten von Wärmepumpen liegen deutlich über denen von Erdgaskesseln. Demgegenüber stehen jedoch langfristig stabile und günstigere Heizkosten, sodass sich eine Wärmepumpe auch im Mehrfamilienhaus rentiert.“*

2.3.3 Arbeitszeit für die Installation

Die Arbeitszeit für die Installation einer Wärmepumpenanlage wird vom Bundesverband Wärmepumpe mit ca. 4 bis 6 Tagen angegeben (Altermatt et al., 2023). Im Falle von Erdwärmepumpen kommt noch die Arbeitszeit für das Bohren der Erdsonde hinzu, für welche ebenfalls eine Dauer in der Größenordnung von insgesamt 4 bis 6 Tagen angegeben wird (Medienwerkstatt, 2023).

Deutlich schneller geht die einfache Montage einer Klimaanlage mit einem Innen- sowie Außengerät. Sie dauert in der Regel nur ca. 4 bis 5 Stunden (Paetzold, 2023). Die Arbeit kann aber auch deutlich länger dauern, wenn leistungsstarke Anlagen montiert werden oder aufwendige Fräsarbeiten oder eine Dachmontage notwendig sind.

Vorbereitende Arbeiten wie das Erstellen von Wanddurchbrüchen oder –bohrungen können grundsätzlich auch Do-it-yourself vorgenommen werden. Die Installation, Wartung, Instandhaltung, Reparatur oder Stilllegung von kältetechnischen Anlagen wie Wärmepumpen und Klimaanlage muss nach der EU-Verordnung Nr. 517/2014 durch zertifiziertes Fachpersonal mit „Kälteschein“ vorgenommen werden. Dies gilt ebenso für den elektrischen Anschluss von Wärmepumpen. Klimaanlage mit Schukostecker dürfen dagegen von jedermann elektrisch angeschlossen werden.

2.3.4 Kältemittel

Die EU-Verordnung Nr. 517/2014 über fluoriierte Treibhausgase, kurz F-Gase-Verordnung, schreibt eine kontinuierliche Reduktion des klimaschädlichen Potenzials von Kältemitteln vor. 2020 traten Verwendungsverbote für Kältemittel in Kraft, deren Global Warming Potential (GWP) das 2.500-fache von CO₂ (GWP-Wert 1) übersteigt. Ab 2025 werden Kältemittel mit einem GWP von über 750 verboten. Gegenwärtig werden mehr und mehr Luft-Wasser- sowie auch Sole-Wasser-Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln angeboten, also z.B. Ammoniak (R-717), Kohlendioxid CO₂ (R-744), Wasser (R-718), Isobutan (R600a) und Propan (R290). Propan (GWP-Wert 3) und Ammoniak (GWP-Wert 0). In Zukunft wird also die oftmals angeführte Klimaschädlichkeit des Kältemittels kein Argument gegen Wärmepumpen mehr sein.

Der BWP (2023a) sieht in der Branche einen klaren Trend zu natürlichen Kältemitteln, besonders im Segment der Ein- und Zweifamilienhäuser. Durch den seit Beginn dieses Jahres angebotenen BEG-

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Förderbonus von 5 Prozentpunkten für den Einbau von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln erwartet der BWP eine schnell steigende Nachfrage nach Wärmepumpen mit diesen Kältemitteln (BWP e.V., 2023a). Der reale Marktanteil scheint aber im Frühjahr 2023 noch überschaubar zu sein.

Weniger schnell scheint die Entwicklung hin zu natürlichen Kältemitteln dagegen bei Luft-Luft-Klimaanlagen voranzuschreiten. Insbesondere bei Split-Anlagen wäre eine größere Menge Propan erforderlich, mit dessen Verwendung die Hersteller mit Blick auf die Brandgefahr aber zurückhaltend sind (Weinmann, 2023).

Magnetokalorische Wärmepumpen?

Durch das Anlegen eines elektrischen oder magnetischen Feldes werden bestimmte Materialien wärmer. Der Effekt wird als magneto- oder elektrokalorischer Effekt bezeichnet (Moench et al., 2022). Das Unternehmen Magnotherm (2023) produziert gegenwärtig eine erste Kleinserie von magnetokalorischen Getränkeköhlern mit einer Kühlleistung von 45 Watt. Da die theoretisch erreichbare Leistung eines magneto- oder elektrokalorischen Wärmepumpensystems die moderner Kompressionswärmepumpen übertreffen kann und elektrokalorische Wärmepumpen ohne schädliche Kältemittel und ohne Treibhauspotenzial realisierbar sind, bieten sie langfristig die Möglichkeit, Effizienz und Klimafreundlichkeit von Wärmepumpen noch weiter zu erhöhen (Moench et al., 2022). Mit Blick auf den Entwicklungsstand der Technologie dürfte es aber noch viele Jahre bis zur ersten elektro- oder magnetokalorischen Wärmepumpe der Leistungsklasse 4 kW dauern.

3 Grundlagen für Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern

3.1 Wahl des Wärmepumpensystems

Aufgrund der Lage von Mehrfamilienhäusern unterliegt die Wahl des Wärmepumpensystems verschiedenen Einschränkungen (Energie Experten, 2023b):

- ▶ Flächenkollektoren kommen in verdichteten Wohnlagen kaum in Frage und insbesondere bei Blockrandbebauung dürfte es nur selten möglich sein, einen geeigneten Platz zu finden.
- ▶ In eng bebauten Innenstadtlagen erfordert auch der Einsatz von Luftwärmepumpen u.U. spezielle Lösungen, um den akustischen Anforderungen gerecht zu werden.

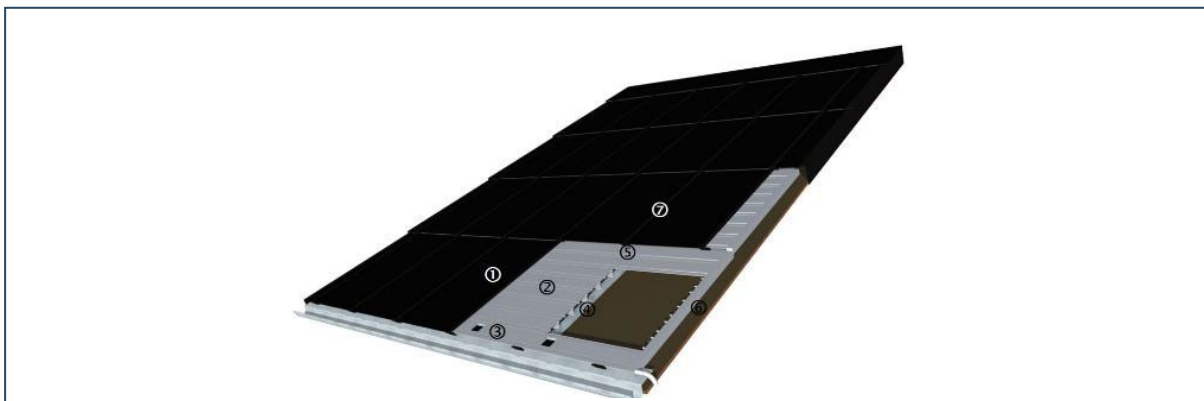
Diese Spezifika von Mehrfamilienhäusern machen den Einsatz von Wärmepumpen daher schwierig und fordern Planende und Gebäudetechnik heraus. Neben den in Einfamilienhäusern in Deutschland verbreiteten Sole- und Luft-Wasser-Wärmepumpen kommen so auch Wärmepumpen in den Blick, die als Wärmequelle das Abwasser, das Grundwasser oder Dachflächen nutzen.

Die Nutzung von Abwasser als Wärmequelle ist dann möglich, wenn ein Abwasserkanal mit mindestens 400 mm und besser 800 mm Nenndurchmesser in der Nähe verläuft und ein Trockenwetterabfluss (l/s) ab 10 l/s verfügbar ist, aus dem sich überschlägig gut 100 kW thermische Energie entziehen lassen (Drachenfels, 2023).

Die Nutzung von Grundwasser erfordert genau wie die Erdsonde eine Bohrung mit dem Unterschied, dass bei Nutzung eines Grundwasserstroms als Wärmequelle pro Bohrung eine wesentlich größere Wärmemenge gewonnen werden kann und damit weniger Bohrungen erforderlich sind. Weiter ist die Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle nur dort möglich, wo eine wasserführende Grundwasserschicht vorhanden ist und ihre Nutzung genehmigt wird. Dabei ist es auch notwendig, mit einem aufgrund des Klimawandels in den nächsten Jahren u.U. deutlich sinkenden Grundwasserspiegel zu rechnen.

Eine dritte Möglichkeit sind gebäudeintegrierte Photovoltaisch-Thermische (PVT) Anlagen (Grobe, 2023).

Abbildung 6: Aufbau eines dachintegrierten PVT-Kollektors des Herstellers nd-System



Quelle: nd-System (2023). 1. PV-Modul (Glas-Glas-Laminat), 2. Wärmetauscher (Aluminium), 3. Wärmetauscher mit Ausschnitt für Anschlussdose, 4. Tragschiene mit Höhenjustierung, 5. Modul-Haltewinkel, 6. Rohrsammler, 7. Klemmleiste

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Ein solcher Kollektor kann jährlich einen Wärmeertrag von ca. 600 kWh/m² und zusätzlich einen Stromertrag von ca. 200 kWh/m² zur Verfügung stellen.

Während schon die Planung von Luft- und Erdwärmepumpen viele Gebäudetechniker und Planende heute noch herausfordert, werden die zusätzlich aufgeführten Wärmequellen bisher in Deutschland nur sehr selten genutzt. Erfahrung mit ihrer Nutzung und Projektierung haben daher nur wenige auf diese Wärmequellen spezialisierte Unternehmen.

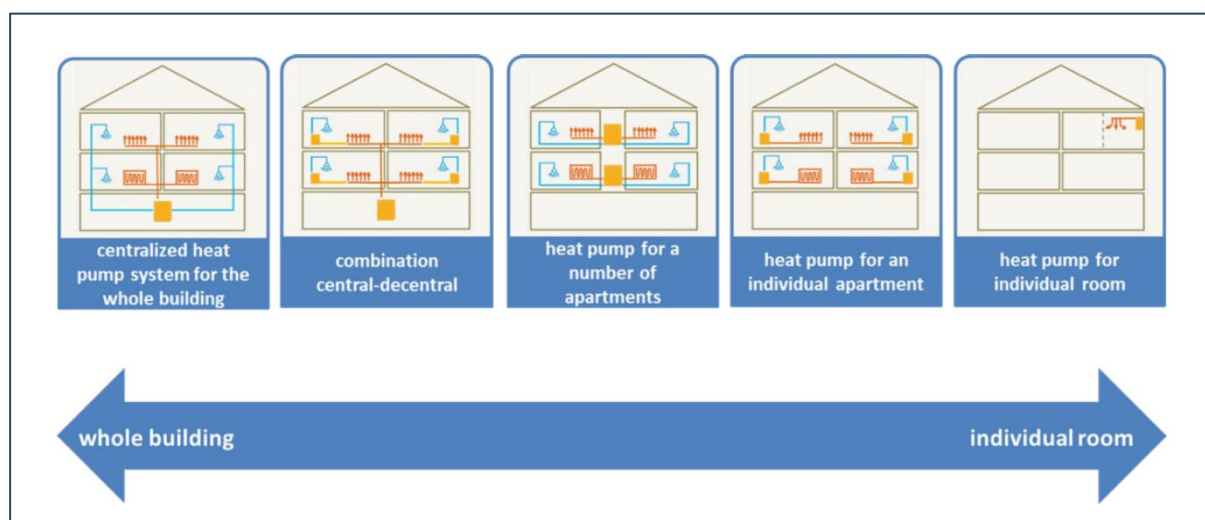
Noch andere Lösungen sind mit Luft-Luft Wärmepumpen, also Klimaanlage, möglich. Der Umgang mit ihnen ist eher den Unternehmen der Kälte- und Klimatechnik vertraut als den Heizungs-Installationsbetrieben. Auch kommen die meisten dieser Geräte nicht aus heimischer Produktion vertrauter Hersteller der Heizungsbranche, sondern werden aus Asien oder den USA importiert. Der Absatz von Klimageräten in Deutschland lag im Jahr 2020 bei ca. 225.000 Stück bei einem Marktwachstum von 15,6 % gegenüber dem Jahr 2019 (Wessel, 2021) und die abgesetzte Stückzahl war damit erheblich höher als die von Erdwärmepumpen und Luft-Wasser Wärmepumpen sowie Abluft- und Wasser-Wasser Wärmepumpen.

3.2 Wärmepumpenplatzierung in Mehrfamilienhäusern

Die Möglichkeiten der Platzierung einer Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern sind vielfältig und zudem vom gewählten Wärmepumpensystem abhängig.

Bei der Wahl einer **Sole-Wasser-Wärmepumpe** oder einer Wärmepumpe, die als Wärmequelle das **Abwasser, das Grundwasser oder Dachflächen** nutzt, besteht eine wesentliche Herausforderung darin, die Quelle der Umgebungswärme zu erschließen. Die gewonnene Wärme kann dann entweder mit der Sole zu einer zentralen Wärmepumpe im Keller geleitet werden, die das Wasser für ein Zentralheizungssystem erwärmt. Es ist aber auch möglich, die Sole bis in die einzelnen Wohnungen zu leiten und dort jede Wohnung mit einer dezentralen Wärmepumpe kleiner Leistung zu beheizen.

Abbildung 7: Mögliche Platzierung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern



Quelle: Miara (2021) und Fraunhofer ISE et al. (2023)

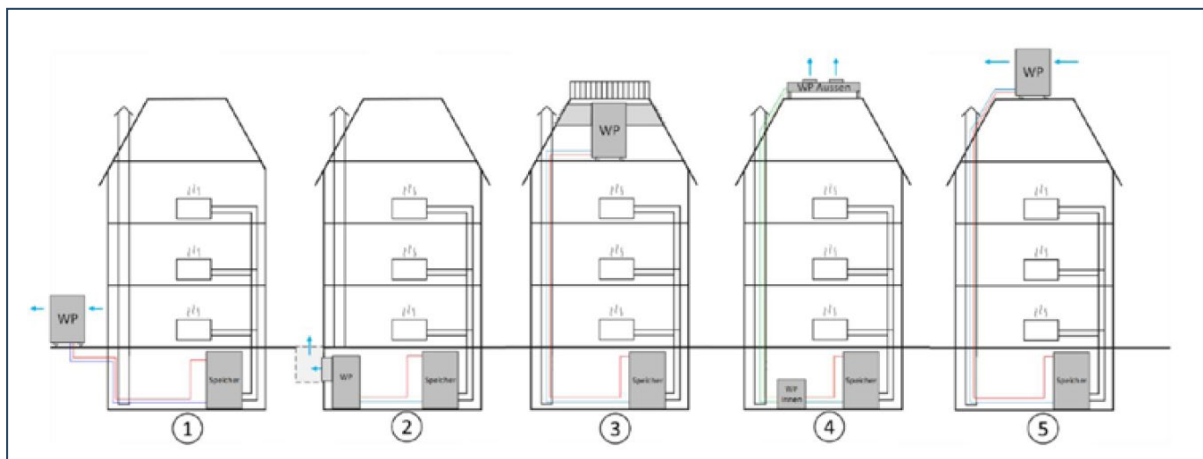
WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Der Einbau separater Wärmepumpen in jede Wohnung hat drei wichtige Vorteile:

- (1) Der Vermietende braucht die Wärmekosten nicht abzurechnen, da diese direkt über den Stromzähler vom Stromversorger an die Mietenden bzw. Wohnungseigentümer berechnet werden.
- (2) Für eine dezentraler Warmwasserversorgung mit Warmwasserspeicher, der bereits in die kompakten Wärmepumpen integriert ist, gilt die Trinkwasserverordnung nicht und die Anlage unterliegt nicht der regelmäßigen Kontrollpflicht, wie diese für eine zentrale Trinkwasserversorgung ab drei Wohneinheiten gilt.
- (3) Durch die dezentrale Trinkwarmwasserbereitung sind die Leitungen zu den Zapfstellen kürzer, was wiederum sowohl Wasser als auch Energie spart.

Wenn in ein Mehrfamilienhaus eine **Luft-Wasser-Wärmepumpe** eingebaut werden soll, sieht Calame (2021) die Möglichkeit (1), eine Luft-Wasser Wärmepumpe vor oder hinter dem Haus zu platzieren, sie (2) hinter einem Lufteinlass in den Keller einzubauen, wodurch der Schallschutz besser werden sollte, sie (3) in das Dach einzubauen, die Split-Wärmepumpe im Keller (4) mit einem Wärmetauscher auf dem Dach zu verbinden oder sie (5) gleich ganz auf das Dach zu stellen.

Abbildung 8: Platzierungsoptionen von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern



Quelle: Calame (2021)

Eine Aufstellung auf dem Dach kann wie im folgenden Bild gezeigt im Rahmen des seriellen Sanierens in die Dachschräge integriert oder direkt auf dem Flachdach erfolgen.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Abbildung 9: Dachplatzierung einer Wärmepumpe

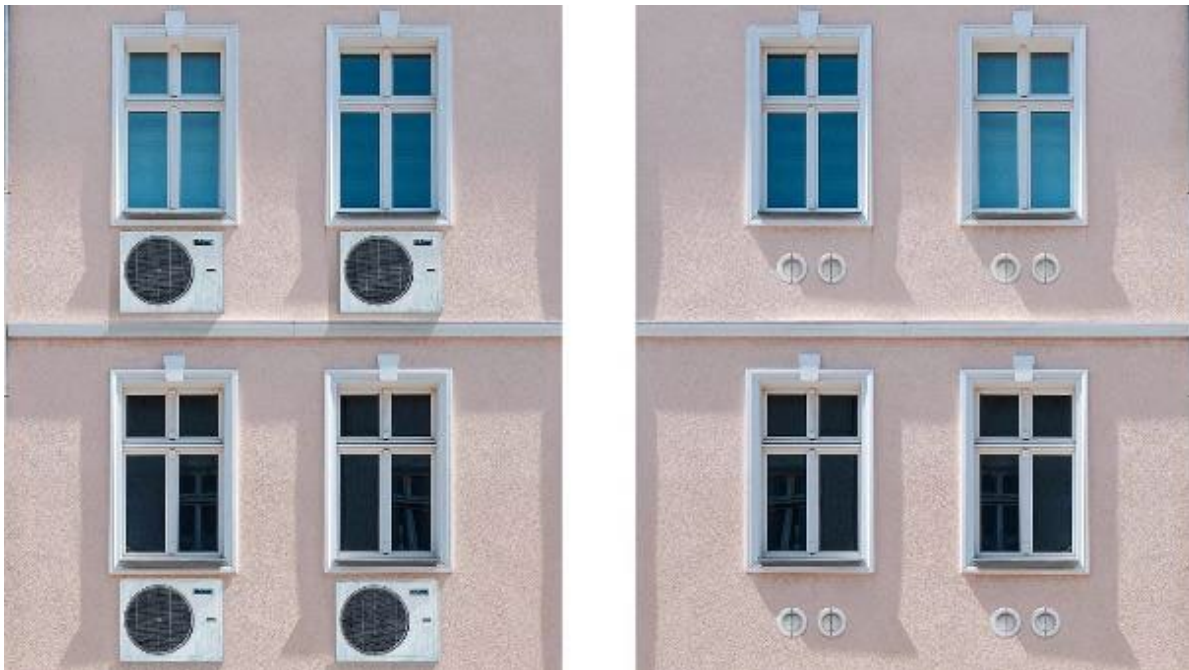


Quelle: dena (links), Stiebel Eltron (rechts)

Noch anders wären Luft-Luft Wärmepumpen zu platzieren. Hier ist Nähe zwischen der Wärmepumpe und der Wärmenutzung von Bedeutung, da entweder, wie im Fall einer Split-Klimaanlage, zwischen Wärmepumpe und Innengerät eine Leitung für das Kältemittel verlegt werden muss, wodurch die verwendete Kältemittelmenge und auch die Emissionsrisiken steigen, oder lange Luftleitungen erforderlich sind, durch die vergleichsweise verlustreich die erwärmte Luft verteilt werden muss.

Oft werden Luft-Luft-Wärmepumpen bzw. Klimaanlage daher an der Außenwand des Gebäudes montiert, was der Optik des Gebäudes meistens eher abträglich ist. Eine andere Option ist es, die Luft-Luft-Wärmepumpe im Innenraum zu platzieren, so dass von außen nur die Luftein- bzw. Luftauslassöffnung zu sehen ist. Beide Varianten werden in der folgenden Abbildung gezeigt.

Abbildung 10: Optionen der Montage einer Luft-Luft-Wärmepumpe



Quelle: ETHERMA

Eine weitere optische Alternative ist die Aufstellung auf dem Balkon, so dass die Wahrnehmbarkeit bzw. die optische Störung reduziert ist.

3.3 Luft-Luft Wärmepumpen in Etagenwohnungen

Lässt sich die Gasheizung in einer Etagenwohnung durch eine Luft-Luft Wärmepumpe alias Klimaanlage ersetzen? Diese Frage bewegt viele Bewohnerinnen und Bewohner solcher Wohnungen. Eine auf der Plattform Twitter gestellte Frage führte binnen weniger Tage dazu, dass der Tweet über 47.000 Mal aufgerufen wurde und hunderte von Kommentaren eingingen (Clausen, 2023).

Neben der Senkung des Gasverbrauchs zielt die Nutzung von Klimaanlage zum Heizen auch auf die Reduktion der Heizkosten. Die offenbar häufig geübte Praxis wirft aber drei zentrale Fragen auf:

- ▶ Wird durch die Umstellung der Heizung von Erdgas auf Klimaanlage wirklich Energie gespart und das Klima entlastet?
- ▶ Wie stark stört die Geräuschentwicklung sowohl bei der Außen- wie bei der Inneneinheit?
- ▶ Sind bereits Klimageräte mit umweltfreundlichem Kältemittel wie Propan (R 290) verfügbar?

In den Antworten auf den oben erwähnten Tweet (Clausen, 2023) weisen zahlreiche Personen auf eine deutliche Absenkung des Gasverbrauchs und einen überraschend geringen Stromverbrauch der zum Heizen eingesetzten Klimageräte hin. Als Begründung für diesen niedrigen Verbrauch wird auch auf Verhaltensänderungen verwiesen, die mit dem Wechsel der Technologie einhergehen. So würde z.B. das Klimagerät einen Raum sehr schnell erwärmen und daher nur eingeschaltet, wenn der Raum konkret genutzt werden soll. Werden durch offen Türen aus dem Wohnzimmer heraus andere Räume mitgeheizt, scheint es wahrscheinlich, dass diese Räume nicht ganz so warm werden wie das Wohnzimmer. Ein Nutzer wies darauf hin, dass er versucht, das Klimagerät gezielt dann zu betreiben, wenn die PV-Anlage Strom liefert. Auch dies kann letztlich zu reduzierten Heizzeiten führen.

In zwei Fällen haben Nutzende konkret gemessene Verbrauchszahlen dokumentiert, die darauf schließen lassen, dass der Gasverbrauch viermal stärker sinkt als der Stromverbrauch steigt. Dies lässt aber nicht direkt auf eine Arbeitszahl des Klimageräts von vier schließen (vgl. Kapitel 2.3.1). Vielmehr bedeutet die Zahl, dass der gemeinsame Effekt der Mitnutzung von Umweltwärme und der Änderung des Heizverhaltens dazu führt, dass zumindest in diesen beiden Fällen nur ein Viertel des Stroms benötigt wurde, um eine bestimmte Erdgasmenge zu ersetzen (Athenstaedt, 2023; Hundhausen, 2023). Mit Blick auf eine durchaus wahrscheinliche Bedeutung der Technologie für die Beschleunigung der Wärmewende scheint es nötig, Klimaanlage mit Heizfunktion sowie die von ihnen induzierten Verhaltensänderungen systematisch zu untersuchen.

Weiter ist festzuhalten, dass Klimaanlage meist als Hybridheizung zusammen mit Gas oder Ölheizung betrieben werden (Daikin, 2022). Die Warmwasserbereitung wird z.B. weiter durch die fossile Heizung übernommen. Langfristig könnte diese Funktion ein Durchlauferhitzer bzw. 5-Liter Gerät oder eine Warmwasserwärmepumpe übernehmen.

Die Bedeutung von Klimaanlage in der Wärmewende ist noch zu untersuchen, könnte aber erstaunlich groß sein. Nach Einschätzung von Daikin (2022) können die in Wohn- und Nichtwohngebäuden bereits installierten Raumklimageräte eine Heizleistung von rund 18 GW zur Verfügung stellen und könnten beim Gebrauch als Heizung ca. 26 TWh Wärme bereitstellen.

Ähnlich wie bei Luft-Wasser Wärmepumpen werden auch bei Klimaanlage Lärmemissionen befürchtet. Viele Nutzende bewerten die Schallemissionen sowohl innerhalb wie außerhalb der Wohnung zwar als unbedeutend, aber es wurde auch von gestörten Nachbarn berichtet, die unter Verweis auf den Lärmschutz auf den Rückbau solcher Anlagen gerichtlich hinwirken (Clausen, 2023).

Geräte mit natürlichen Kältemitteln sind grundsätzlich bereits am Markt verfügbar. Das Projekt „Solare Wärmepumpe“, in dessen Rahmen dieser Bericht entsteht, verfügt über eine Wärmepumpen-Demonstrationsanlage einer Luft-Luft Wärmepumpe mit Propan (R 290). Und die Energie Experten (2022) beschreiben eine R 290 Luft/Luft-Wärmepumpe ohne Außeneinheit in Form einer Wandtruhe, die 165 mm tief, 810 mm breit und 549 mm hoch ist. Der Clou dabei ist, dass eine solche Monoblock Klimaanlage eine günstige und praktikable Baumarkt-Lösung ist, um einzelne Räume effizient mit Wärmepumpen-Wärme zu unterstützen oder sogar eine kleine Wohnung komplett zu versorgen. Da die Anlage aus nur einem Bauteil besteht, Kältemittelleitungen nicht montiert werden müssen und der Stromanschluss über einen Schukostecker erfolgt, kann die Anlage Do-it-Yourself (DIY) von Laien montiert werden. Neben der Wandmontage sind nur Bohrungen in der Außenwand erforderlich, um die Verbindung zur Außenluft herzustellen (vgl. Abbildung 10).

Für die Wirkung der Geräte ist auch die Montagehöhe von Bedeutung. Damit sich die warme Luft verteilen kann, darf das Gerät z.B. nicht zu hoch aufgehängt werden (Clausen, 2023).

Die LEG Immobilien SE ist ein deutsches Wohnungsunternehmen mit Sitz in Düsseldorf, das über rund 167.000 Mietwohnungen verfügt (LEG, 2023). Etwa 40.000 dieser Wohnungen befinden sich in Nachkriegsgebäuden der Energieeffizienzklassen D und E (100 bis 160 kWh/m²) und sind mit Gasetagenheizungen ausgerüstet (Bange, 2023). Der russische Krieg gegen die Ukraine war für die LEG der Anlass, auch mit Blick auf diesen Bestand nach Dekarbonisierungsoptionen zu suchen. Der hohe Bestand an Luft-Luft Wärmepumpen in Skandinavien war hier Vorbild, in 12 Wohnungen einen Anwendungsversuch zu starten. Die teils von Singles, teils Familien bewohnten Wohnungen der Energieeffizienzklassen D und E wurden im Dezember 2022 mit Luft-Luft Wärmepumpen ausgestattet. Die Warmwasserversorgung wurde teils auf Durchlauferhitzer, teils auf Boiler umgestellt (Bange, 2023). Die Mietenden wurden im April 2023 nach ihren Erfahrungen mit Heizleistung, Luftzirkulation, Optik sowie der Geräusentwicklung durch Innen- und Außengeräte befragt und waren fast durchgängig mit der neuen Lösung zufrieden. Nur die Geräusentwicklung des Außengeräts wurde mehrfach kritisiert, so dass diese zukünftig in größerer Entfernung von den Fenstern, z.B. auf dem Dach, montiert werden sollen (Bange, 2023). Die Heizkosten werden nach einer Abschätzung der LEG nur in einer der 12 Wohnungen leicht steigen, in den meisten anderen wird eine leichte Reduktion der Heizkosten gegenüber der Gasheizung um 10 bis 25 % erwartet (Bange, 2023). In Zukunft wird die LEG havarierte Gasetagenheizungen immer öfter nicht mehr durch neue Gasheizungen ersetzen, sondern die Wohnungen auf Luft-Luft Wärmepumpe umrüsten. Gemeinsam mit Mitsubishi wird angestrebt, nach einer Hochlaufphase jährlich bis zu 9.000 Wohnungen jährlich umzurüsten (LEG, 2023).

3.4 Rechtliche Aspekte

Ein wichtiges Hemmnis für die Verbreitung von Wärmepumpen ergibt sich aus Bauvorschriften, die im deutschen föderalistischen System in der Zuständigkeit der Bundesländer liegen. So ist z. B. in der nordrhein-westfälischen Bauordnung (BauO NRW) von 2018 festgelegt sowie durch ein Urteil des Verwaltungsgerichtes Köln ((VG Köln, Urteil vom 13.03.2020 – 8 K 16093/17 –) bestätigt, dass Luftwärmepumpen einen Mindestabstand von 3 Metern zur Grundstücksgrenze zur Verhinderung von Belästigungen durch Schallemissionen einzuhalten haben. Diese erst 2018 erlassene Vorschrift wurde

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

am 16.12.2022 allerdings durch Runderlass aufgehoben (MHKBD, 2022). Der Erlass behebt das Problem eines Mindestabstandes von 3 Metern zur Grundstücksgrenze, welches sich besonders bei Häusern auf einem nur 6 Meter breiten oder gar schmaleren Grundstück stellt. Der Mindestabstand entfällt zwar in NRW, ist aber in anderen Bundesländern noch gültig. Zwar muss auch in NRW die Ausnahme von der Einhaltung des Mindestabstandes bei der Bauaufsichtsbehörde beantragt werden, einer Baugenehmigung für das Aufstellen der Wärmepumpe bedarf es aber nicht.

Ähnliche Mindestabstände gelten für Erdsondenbohrungen, in denen häufig 5 m Abstand zur Grundstücksgrenze nur mit Zustimmung des jeweiligen Nachbarn unterschritten werden dürfen.

Auch beim Einbau von Luft-Wasser oder Luft-Luft Wärmepumpen in Etagenwohnungen stellen sich rechtliche Fragen. So ist nach herrschender rechtlicher Meinung der Einbau einer Klimaanlage und die Anbringung der dafür erforderlichen Bohrungen in der Außenwand eine bauliche Veränderung und erfordert somit einen einfachen Mehrheitsbeschluss der Wohnungseigentümergeinschaft oder der Hausbesitzenden (Schönfeld, 2022): *„Eine bauliche Veränderung ist positiv jede Maßnahme eines Wohnungseigentümers, die über eine ordnungsmäßige Erhaltung des gemeinschaftlichen Eigentums hinausgeht, dieses durch Eingriff in die Substanz des gemeinschaftlichen Eigentums umgestaltet und auf Dauer angelegt ist.“* Zu solchen Maßnahmen gehört auch das Bohren von Löchern oder das Anbringen von Gegenständen an der Fassade.

Ein weiteres Problemfeld ist die Geräusentwicklung, aufgrund derer bereits einzelne Amtsgerichte die Montage eines Klimagerätes untersagt haben (Schönfeld, 2022). Dabei ist die Beurteilung, ob ein Klimagerät Nachbarn stören oder ihnen lästig fallen kann, von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig, so z.B. der Tageszeit der Nutzung, der Frage, ob eine Schallschutzeinrichtung vor der Klimaanlage errichtet wurde, der Frage, ob die Klimaanlage selbst mit Schallschutzelementen versehen wurde sowie der Entfernung zu dem nächsten Schlafzimmer (Kotz, 2021). Auch ein fester gesetzlicher Richtwert im Hinblick auf die maximal erlaubte Gesamtlautstärke einer Klimaanlage existiert in Deutschland ebenso wenig wie eine höchstrichterliche Klärung des Sachverhaltes. Insoweit besteht in diesem Feld Handlungsbedarf für den Gesetzgebenden (Festlegung von Regeln) bzw. die Herstellenden (lärmreduzierte Modelle). Denn mit Blick auf den fortschreitenden Klimawandel ist mit immer längeren sommerlichen Hitzeperioden und immer stärkeren Auswirkungen der Hitze auf die Gesundheit zu rechnen. Juristisch stellt sich damit mittelfristig die Herausforderung, den Anspruch der Menschen, die eine solche Anlage installieren wollen, auf körperliche Unversehrtheit aufgrund von Einwirkungen von Hitze abzuwägen gegen den Anspruch von Nachbarn auf körperliche Unversehrtheit aufgrund von Einwirkungen von Geräuschen.

4 Beispiele von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern

Der Bundesverband Wärmepumpe dokumentiert mit Stand April 2023 in seiner Referenzdatenbank 32 Beispiele von Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe (BWP e.V., 2023b). Davon sind 22 Gebäude Neubauten oder haben ein Baujahr ab dem Jahr 2000. Insgesamt dominieren 17 Sole-Wärmepumpen vor 12 Luftwärmepumpen und 3 Wasser-Wasser Wärmepumpen.

Im Folgenden sind einige der Beispiele des BWP, aber auch andere, dokumentiert. Dabei wurde auf die Website des BWP und ergänzende Quellen zurückgegriffen. In einigen Fällen wurden auch die Hausbesitzenden kontaktiert und um Auskünfte zu Energieverbrauch und Jahresarbeitszahl gebeten.

Die Zahlen zum **Energieverbrauch** beruhen auf Angaben des BWP oder der Hausbesitzenden. Der Energieverbrauch der Gasheizung in Kilowattstunden wurde als gleich hoch angesetzt, wie der Wärmeoutput der Wärmepumpe, also die Summe aus Strombedarf und gewonnener Umweltwärme.

Der **Treibhausgasfaktor** von Erdgas wurde incl. der Vorkettenemissionen aus Förderung und Transport auf ca. 400 g CO₂eq/ kWh veranschlagt (Brauers et al., 2021). Der Treibhausgasfaktor von Netzstrom wurde in Anlehnung an Daten des Umweltbundesamtes ebenfalls auf 400 g CO₂eq/ kWh veranschlagt (Umweltbundesamt, 2022). Der Treibhausgasfaktor von Strom aus der eigenen Photovoltaik wurde nach Gebäudeenergiegesetz zu 0 g CO₂eq/ kWh veranschlagt.

Zur Errechnung der laufenden **Energiekosten** wurde auf Basis eines Preisvergleichs im März 2023 für eine Kilowattstunde Erdgas 10 Cent und für eine Kilowattstunde Netzstrom zum Wärmepumpentarif 30 Cent angesetzt.

Eine aktuelle Studie zu LowEx-Konzepten für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden (Fraunhofer ISE et al., 2023) beklagt einen Mangel an Wissen als eines der Haupthindernisse für eine breitere Anwendung von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern. Sowohl die Gebäude- bzw. Wohnungsbesitzer als auch die der Investoren wären nur wenig über klimafreundliche Lösungen informiert, wodurch es letztlich auch Planern und Installationsunternehmen kaum gelingen kann, umfangreiche Erfahrungen zu sammeln. Da die Vielfalt der Mehrfamilienhäuser deutlich größer als die der Einfamilienhäuser ergeben sich zudem komplexere Lösungen, die zur Deckung des Wärmebedarfs und des Warmwasserbedarfs umgesetzt werden können. Die im Folgenden detailliert dargestellten Fallbeispiele sollen daher die Phantasie anregen, auch für Mehrfamilien-Bestandsgebäude gute Wärmepumpensysteme zu entwerfen.

4.1 Eigentümergeinschaft in Berlin Schöneberg

Die beheizte Fläche der 30 Wohnungen des 1890 errichteten Gebäudes beträgt ca. 2.300 m². Das Haus wurde vor der Umrüstung auf Hybridheizung über eine Brennwert-Gaszentralheizung mit Standard-Heizkörpern beheizt. Der Wärmeverbrauch lag bei 95 kWh/m² in der Energieeffizienzklasse C, womit das Haus zum effizientesten Drittel des Mehrfamilienhausbestandes gehört (Mellwig, 2021).

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

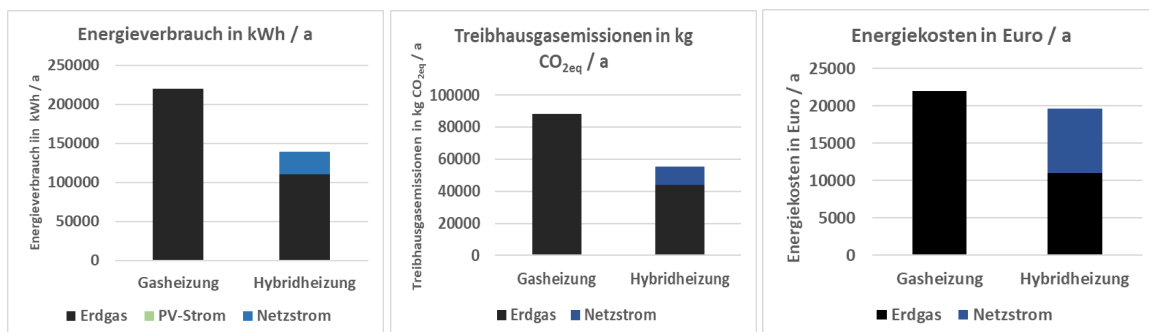
Abbildung 11: Mehrfamilienhaus in Berlin Schöneberg



Quelle: BWP

Zusätzlich zur vorhandenen Brennwert-Gasheizung wurde eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 35 kW Leistung eingebaut. Als Wärmequelle dienen sechs Doppel-U-Erdwärmesonden zu je 99 m. Die Gesamtkosten der Umrüstung (Bohrung, Wärmepumpe, Montage, Elektrik, Neugestaltung des Hofes) beliefen sich auf 97.400 €. Das Projekt erhielt vom BAFA außerdem eine Förderung in Höhe von 35 Prozent. Die Planung erfolgte in Eigenleistung. Das Ziel, den Gasverbrauch um die Hälfte zu senken wurde erreicht. Die Standard-Heizkörper wurden nicht verändert. Die Betriebsdaten werden online erfasst, sodass die Effizienz der Anlage mit einer Jahresarbeitszahl von 3,8 valide nachvollziehbar ist.

Abbildung 12: Vergleich Gasheizung zu Wärmepumpe für das Mehrfamilienhaus in Berlin Schöneberg



Quelle: Borderstep

Aufgrund des durch die Hybridheizung genutzten Erdgases sinkt die Menge der eingekauften Energie wie auch die Treibhausgasemissionen weniger deutlich als bei reinen Wärmepumpenheizungen.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Durch den im Vergleich zum Erdgas hohen Strompreis fällt die Einsparung bei den laufenden Energiekosten nur klein aus.

4.2 degewo Zukunftshaus in Berlin Lankwitz

Das im Jahr 1954 errichtete Hochhaus bietet auf acht Etagen 64 Wohnungen mit insgesamt 3.727 m² beheizter Fläche. Der durch Fernwärme gedeckte Energiebedarf für Heizung und Warmwasser lag vor der Sanierung bei 229 kWh/m² (Sick & Dietz, 2022). Durch eine aufwendige Sanierung konnte der Energiebedarf auf 64 kWh/m² reduziert werden, wobei der Wärmebedarf für das Warmwasser bei ca. 30 kWh/m² lag und sich kaum änderte. Die Energieeffizienzklasse war vor der Sanierung G, danach B (degewo, 2020). Der Wärmebedarf sank durch die Sanierung von 853 MWh/a auf 238 MWh/a.

Abbildung 13: degewo Zukunftshaus in Berlin Lankwitz



Quelle: BWP

Es wurden Deckenstrahlungsheizungen und Lüftungsanlagen eingebaut sowie eine Fassadendämmung und neue Fenster installiert. Zusätzlich zum vorhandenen Fernwärmeanschluss wurden zwei Sole-Wasser-Wärmepumpen mit 40 und 27 kW Leistung eingebaut, die ca. zwei Drittel der Wärme beisteuern. Als Wärmequelle dienen PVT-Module mit einem Jahresertrag von ca. 75 MWh (Sick & Dietz, 2022) und ein teilisolierter Niedertemperatur-Erdwärmekollektor / Speicher, in den jährlich ca. 45 MWh ein- und 75 MWh ausgespeichert werden. Eine 48 kW_{peak-el} PVT-Anlage dient der Eigenstromversorgung während eine Vanadium-Redox-Flow-Batterie, die als Speicher für den selbst erzeugten Strom dient, nur einen schlechten Jahresnutzungsgrad um die 40 % erreicht, so dass die Evaluation bei einer Abschaltung des Speichers keine signifikante Veränderung der energetischen Gesamtbilanz erwartet (Sick & Dietz, 2022).

Als Arbeitszahl der Wärmepumpen dokumentieren Sick & Dietz 2,9 für die Warmwasser-Wärmepumpe und 3,8 für die Heizungswärmepumpe.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Abbildung 14: Niedertemperatur-Erdwärmekollektor und Speicher und Deckenstrahlungsheizung

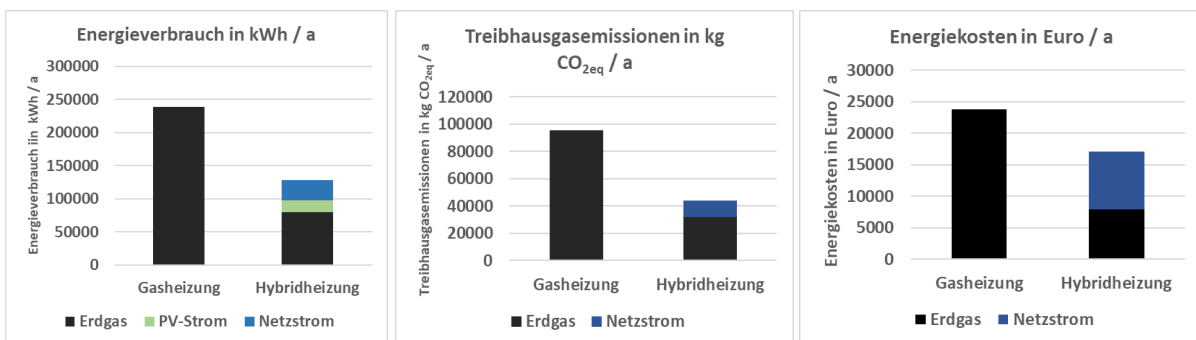


Quelle: Sick und Dietz (2022), Kollektor links

Die Photovoltaik steuert einen erheblichen Teil des Strombedarfs bei. Für das Gesamtgebäude beträgt der Grad der Selbstversorgung (Autarkie) ca. = 30 %, der Anteil am Wärmepumpenstrom liegt bei ca. 38 % und für den Haushaltsstrom der Wohnungen bei ca. 25 %. Die Eigenverbrauchsquote liegt bei ca. 60 % (Sick & Dietz, 2022).

Die folgende Grafik spiegelt den sanierten Zustand des Hauses wider und vergleicht die Bereitstellung des neuen, niedrigeren Wärmebedarfs durch eine fiktive Gasheizung und die realisierte Hybridheizung.

Abbildung 15: Vergleich Gasheizung zu Hybridheizung für das Mehrfamilienhaus in Berlin Lankwitz



Quelle: Borderstep

Aufgrund des durch die Hybridheizung genutzten Erdgases sinkt die Menge der eingekauften Energie wie auch die Treibhausgasemissionen weniger deutlich als bei reinen Wärmepumpenheizungen. Die Einsparungen bei den laufenden Energiekosten liegen aufgrund der anteiligen Eigenstromerzeugung trotz der hohen Netzstromkosten bei etwa 30 %.

4.3 Mehrfamilienhaus bei Stuttgart

In einem Mehrfamilienhaus bei Stuttgart aus dem Jahr 1960 waren drei Wohnungen, die zusammen eine beheizte Fläche von ca. 340 m² hatten. Vor der Sanierung betrug der jährliche Verbrauch ca. 8.000 Liter Heizöl, also ca. 80.000 kWh, was Energieeffizienzklasse G oder ca. 230 kWh/m² entspricht (Nick, 2023).

Im Gebäude wurde im Jahr 2010 eine Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 30 kW installiert. Im Jahr 2012 wurde zusätzlich eine Solarthermieanlage installiert, die zur Warmwasserbereitung genutzt wird und die Heizung unterstützt. Zusätzlich speist die Solarthermie Wärme direkt in den Kältekreis ein, wenn die solare Wärme für die direkte Nutzung nicht mehr warm genug ist. Nach dieser Maßnahme lag die Jahresarbeitszahl (JAZ) schon bei 3,3.

Abbildung 16: Mehrfamilienhaus bei Stuttgart

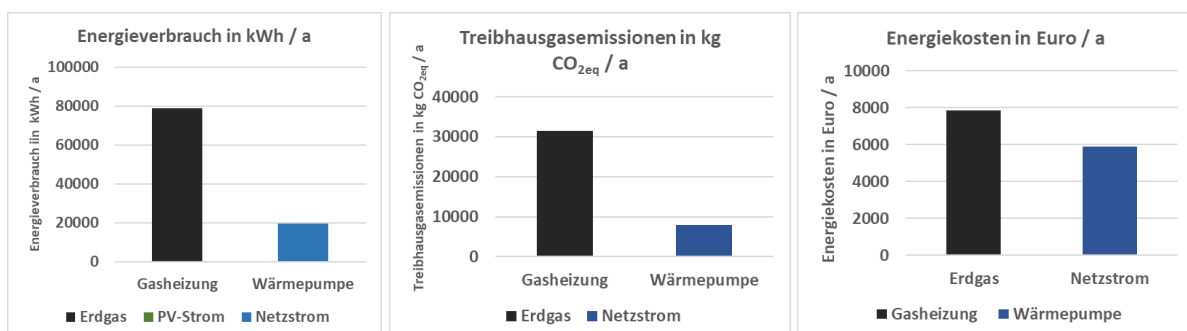


Quelle: BWP

In den folgenden Jahren ließ der Besitzer neue Fenster einsetzen, die Fassade dämmen (20 cm) sowie das Dach anheben und dämmen. Mit diesen Sanierungsmaßnahmen wurde das Drei- zu einem Vier-Parteien-Haus umgebaut und in den vergangenen Jahren auf den Stand eines KfW 85-Gebäudes entsprechend Energieeffizienzklasse B gebracht.

Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten beträgt die Heizlast für die jetzt 400 m² lediglich 18 kW und die Jahresarbeitszahl verbessert sich auf ca. 4.

Abbildung 17: Vergleich Gasheizung zu Wärmepumpe für das Mehrfamilienhaus bei Stuttgart



Quelle: Borderstep

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Aufgrund der guten Arbeitszahl der Wärmepumpe sinkt die Menge der eingekauften Energie genauso deutlich wie die Treibhausgasemissionen. Durch den im Vergleich zum Erdgas hohen Strompreis fällt die Einsparung bei den laufenden Energiekosten nur klein aus.

4.4 Plattenbau aus 1972 in Bad Hersfeld

Im ehemaligen Schwesternwohnheim des Klinikums Bad Hersfeld gibt es 89 sehr kleine Wohnungen, davon 77 Ein-Zimmer-Wohnungen mit Bad und 12 Wohnungen mit zwei Zimmern. Ursprünglich war das achtstöckige Hochhaus mit 5 cm Styropor gedämmt. Im Keller stand damals ein 400 kW Gaskessel und die Gasrechnung lag bei 41.000 € (Michael Schmitt B.E.N, 2020). Zu dieser Zeit dürfte das Gebäude mit seinen gut 2.000 m² Wohnfläche zur Energieeffizienzklasse H gehört haben.

Der neue Hauseigentümer wollte dieses Gebäude zu einem Passivhaus entwickeln und entschied sich für eine 16 cm dicke Mineralwollgedämmung, Fenster und Türen wurden 3-fach isoliert (Energie Experten, 2023a). An drei Seiten wurden an dem Wohnblock insgesamt 260 kW_{peak} Solarmodule als Vorhängefassade montiert. Die warme Luft aus der Hinterlüftung der Photovoltaik-Module wird in einen Dachraum geleitet und dort mit der Abwärme der Wohnungen zusammengeführt. Diese Abwärme wird dann von drei Abluftwärmepumpen mit je max. 20 kW Heizleistung auf eine Vorlauftemperatur von ca. 45 °C gebracht und in das Leitungsnetz der Heizung eingespeist. Ein Brennwertkessel mit 86 kW übernimmt die Spitzenlastabdeckung sowie die Anhebung der Temperatur des Trinkwassers auf die Mindesttemperatur von ca. 60 °C (Michael Schmitt B.E.N, 2020).

Abbildung 18: Plattenbau aus 1972 in Bad Hersfeld



Quelle: Energie Experten

Durch die deutliche Absenkung des Energiebedarfs im Haus kann die Wärmeverteilung immer noch mit den original installierten Heizkörpern erfolgen. Die Investitionskosten der neuen Heizungsanlage lagen bei ca. 100.000 €.

4.5 Mehrfamilienhäuser in der Wedemark

In kleinen Ortschaften gibt es häufig einen Bestand älterer und schlecht sanierter ehemaliger Hofstellen wie auch kleiner Mehrfamilienhäuser aus der Nachkriegszeit. Typischerweise haben diese Gebäude schlechte Energieeffizienzklassen zwischen G und H, also einen Verbrauch zwischen 160 kWh/m² bis über 250 kWh/m². Einige solche Objekte in verschiedenen Ortsteilen der Wedemark bei Hannover sind in den letzten Jahren saniert und auf Heizung mit Wärmepumpe umgestellt worden. Zwei dieser Objekte sollen hier vorgestellt werden.

Abbildung 19: Verschiedene ehemalige Hofstellen unsaniert (links) und saniert (rechts)



Quelle: Jens Clausen

Eine ehemalige Hofstelle wie auf dem linken Bild dargestellt wurde entkernt, mit einem neuen Dach versehen und es wurden fünf Wohnungen mit zusammen ca. 320 m² Wohnfläche im KfW 40 Standard errichtet (rechtes Bild), so dass der Bedarf an Wärme für Heizung und Warmwasser bei ca. 50 kWh/m²*a liegt. Jede Wohnung ist von außen separat zugänglich und jede Wohnung verfügt über eine separate Wärmepumpe vom Typ alpha innotec WSV 62 mit ca. 6 kW Heizleistung und integriertem Brauchwarmwasserspeicher, so dass der Stromverbrauch direkt durch den Stromversorger abgerechnet werden kann und nicht Bestandteil der Nebenkostenabrechnung wird.

Als Wärmequelle wurden vier Erdsonden zu je 100 m gebohrt und mit einem Sole-Pufferspeicher verbunden, aus dem die fünf Wärmepumpen in den Wohnungen die Wärme entnehmen.

In einem Nachbarort wurde ein Mehrfamilienhaus aus der Nachkriegszeit in ähnlicher Art auf KfW 40 Standard saniert. Auch hier wurden in jeder Wohneinheit einzelne 6 kW Wärmepumpen der Firma Nibe in einem Abstellraum aufgestellt. Eine Besonderheit dieses Gebäudes mit sieben Wohnungen und einer Gesamtwohnfläche von ca. 500 m² ist, dass es sich in einem Wasserschutzgebiet befindet. Daher ist ein Betrieb der Erdsondenanlage mit Sole nicht zulässig.

Abbildung 20: Saniertes Mehrfamilienhaus im Wasserschutzgebiet



Quelle: Jens Clausen

Dennoch wurde eine Erdsondenanlage errichtet. Als Wärmeträgermittel wird hier jedoch keine Sole, sondern Wasser eingesetzt. Das Wasser wird in der Erdsondenanlage auf ca. 8,5 °C erwärmt und in einem Pufferspeicher bevorratet. Es gibt seine Wärme in einem Wärmetauscher (mittleres Bild) an einen Solekreislauf ab, dem die Wärmepumpen in den Wohnungen (Bild rechts) Wärme entziehen.

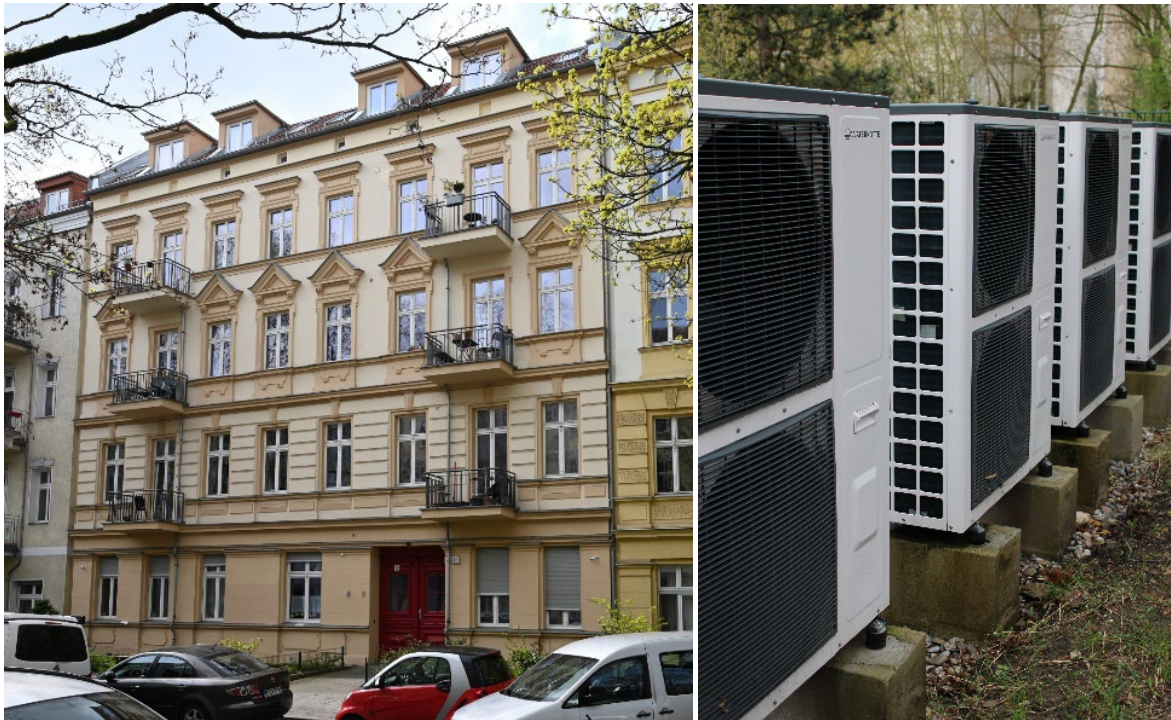
Da das Wasser, welches die Erdsonden durchströmt, nicht unter 3 °C abgekühlt werden darf, ist die Wärmeentzugsleistung einer solchen Erdsonde nur etwa halb so groß wie die einer solebetriebenen Erdsonde. Zur Versorgung des Gebäudes mussten daher 12 Erdsonden zu je 100 m errichtet werden.

Die Jahresarbeitszahl einiger der so installierten Wärmepumpen wurde vom Installateur auf Basis der durch Fernwartung sichtbaren Daten in einem Bereich zwischen 3,8 und 4,4 ermittelt, wobei die meisten Anlagen eine JAZ zwischen 4,1 und 4,2 aufwiesen.

4.6 Gründerzeithaus in Berlin Pankow

Das im Jahr 1900 errichtete Mehrfamilienhaus im Berliner Stadtteil Pankow bietet in 14 Wohnungen eine Wohnfläche von insgesamt 900 m². In den letzten Jahrzehnten wurde es durch Gasetagenheizungen beheizt. Das bis dahin fast unsanierte Gebäude bekam 2010 eine neue Besitzerin. Ab 2012 wurde im Rahmen einer energetischen Sanierung die hintere Fassade gedämmt und die Holzfenster auf der Straßenseite ausgetauscht. Ab 2020 wurde der Ausbau des Dachgeschosses begonnen und in diesem Rahmen erfolgte auch eine Dämmung der Kellerdecke sowie der Austausch eines Teils der Fenster auf der Hinterseite.

Abbildung 21: Gründerzeithaus in Berlin Pankow



Quelle: BWP

Der Energieberater schlug auch die Umrüstung des Gebäudes auf die Heizung mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe vor, die 2021 in Betrieb ging. Es wurde eine Eco Touch Air Kaskade 5060.5 mit vier Außeneinheiten des Herstellers Waterkotte mit einer Leistung von 38 kW eingebaut. Neben der Beheizung der Wohnungen wird durch die Wärmepumpe ganzjährig auch 40 °C warmes Wasser erzeugt, mit welchem der Stromverbrauch der separaten elektrischen Frischwasserstationen in den Wohnungen effizienter und kostengünstiger wird. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein 2-Leiter-System in den alten Heizungsschächten.

Rund die Hälfte der alten Heizkörper konnte bestehen bleiben, um den Wärmebedarf des Gebäudes von 32 kW zu decken.

4.7 Alte Dorfschule am Niederrhein

Die Alte Dorfschule wurde 1881 gebaut. Nachdem das Gebäude im Jahr 1910 aufgestockt wurde, zog die Schule 1966 in ein neues Schulzentrum um. Zwischenzeitlich diente die ehemalige Dorfschule dann als Kirche, Gemeindeverwaltung und Jugendheim. Das Schulgebäude wurde 2008 in ein Mehrfamilienhaus mit fünf Wohnungen mit einer Wohnfläche von zusammen 470 m² verwandelt.

Berechnungen des Heizungsbauers zeigten, dass die Gebäudeheizlast mit einem Niedertemperaturheizsystem nur mit Innendämmung einiger Bauteile erreicht werden konnte. Diese Dämmung wurde ausgeführt und die Wärmeverteilung im Haus übernimmt eine Fußbodenheizung mit besonders niedriger Aufbauhöhe und daher geringem Gewicht. So können die originalen Holzbalkendecken des denkmalgeschützten Gebäudes die Fußbodenheizung problemlos tragen. Gleichzeitig wird eine höhere Wärmestrahlungsleistung erreicht. Auch nach der Sanierung erreicht das Gebäude aber nur die Energieeffizienzklasse D bei einem Wärmebedarf von ca. 115 kWh/m².

Abbildung 22: Alte Dorfschule am Niederrhein



Quelle: BWP

Zur Wärmeversorgung wurde eine alpha innotec Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistung von 33 kW sowie ein Warmwasserspeicher eingebaut. Die Fußbodenheizung inkl. der notwendigen Dämmung wurde auf Wunsch des Bauherrn in Eigenarbeit verlegt und dann durch den Heizungsbauer angeschlossen und in Betrieb genommen. Die Luftwärmepumpe läuft mit einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von ca. 3,2.

4.8 Mehrfamilienhaus in Schwaben

Das Vierfamilienhaus in dörflicher Lage in Schwaben bietet vier Wohnungen, davon je eine im Souterrain und eine unterm Dach, mit zusammen 330 m² Wohnfläche. Vor dem Haus befand sich ein unterirdischer Öltank, von dem aus das Öl über Leitungen zu Ölöfen in den Wohnungen verteilt wurde. Die Warmwasserbereitung erfolgte durch Boiler in den Wohnungen. In diesem Zustand hatte das Gebäude einen Wärmebedarf von ca. 200 kWh/m² und fiel in die Effizienzklasse F. Der Besitzer will dieses Haus in zwei Schritten sanieren. Im ersten Schritt wird die alte Heizungsanlage gegen eine Hybridheizung ausgetauscht, im zweiten Schritt soll die Energetische Sanierung erfolgen und die Heizung auf eine reine Wärmepumpenheizung umgestellt werden.

Abbildung 23: Vierfamilienhaus in Schwaben



Quelle: Wohnwerke GmbH, Luftwärmetauscher (Mitte), deckenhoher Heizkörper (rechts)

Eingebaut wurde eine 23 kW Luft-Wasser Wärmepumpe, die mit der Grundlast etwa 65 % der Wärmemenge beisteuert, sowie eine 38 kW Gastherme, die die verbleibenden 35 % der Wärme und besonders die winterliche Spitzenlast erzeugt. Um beim Betrieb der Wärmepumpe mit einer niedrigen Vorlauftemperatur von 40 °C auszukommen, wurde das Gebäude mit besonders groß dimensionierten Heizkörpern ausgerüstet.

Die zwischen Haus und Nachbarhaus angeordneten Lüfter der Wärmepumpe stoßen die Luft vertikal nach oben aus, was die Schallimmissionen in der Nachbarschaft reduziert. Zudem wurden besonders leise Lüfter gewählt, die in einem Meter Entfernung einen Schalldruckpegel (LPA) von 34 dBA erzeugen.

Da das Haus über keine Zentralheizung verfügte, mussten sämtliche Leitungen und Heizkörper neu verlegt bzw. montiert werden. Auch der Gasanschluss wurde neu gelegt. Zusammen mit den Elektroarbeiten wurden hierfür fast 45.000 € aufgewendet, fast die Hälfte der gesamten Projektkosten von ca. 100.000 €. Die Kosten wurden im Jahr 2021 zu 40 % gefördert. Die Heizkosten für die Mieter sind in den ersten Betriebsjahren der neuen Anlage niedriger als mit den alten Ölfen.

4.9 Mehrfamilienhaus in Viersen

Ein Mehrfamilienhaus in Viersen mit sieben Wohnungen und ca. 500 m² Wohnfläche wurde durch den Eigentümer saniert und mit Wärmepumpen ausgestattet (erneuerbare.tv, 2023). Das 1907 errichtete Gebäude dürfte unsaniert einen Wärmebedarf entsprechend der Energieeffizienzklassen E oder F gehabt haben. Durch die Sanierung wurde Energieeffizienzklasse A erreicht.

Im Innenhof des Gebäudes wurden sieben Erdsonden von je 100 m gebohrt. Der Solekreislauf versorgt die sieben Wärmepumpen in den sieben Wohnungen mit Umweltwärme. Die Wohnungen wurden mit einer Fußbodenheizung ausgestattet, die nur etwa 4 cm Höhe benötigt und etwa 60 kg/m² Last auf die Holzbalkendecken aufbringt. Damit ist sie in solchen Altbauten ohne statische Veränderungen an den Decken einbaubar. Die Fußbodenheizung wird auch als Pufferspeicher genutzt, so dass auf einen Heizungs-Pufferspeicher verzichtet wurde.

Durch den separaten Einbau einer Wärmepumpe in jede Wohnung wird erreicht, dass der Vermieter die Wärmekosten nicht abrechnen muss, da diese ja indirekt als Stromkosten beim Mieter anfallen.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Weiter entfällt die regelmäßige Kontrolle einer zentralen Trinkwasserversorgung und durch die dezentrale Trinkwarmwasserbereitung wird auch durch kürzere Leitungen Energie gespart.

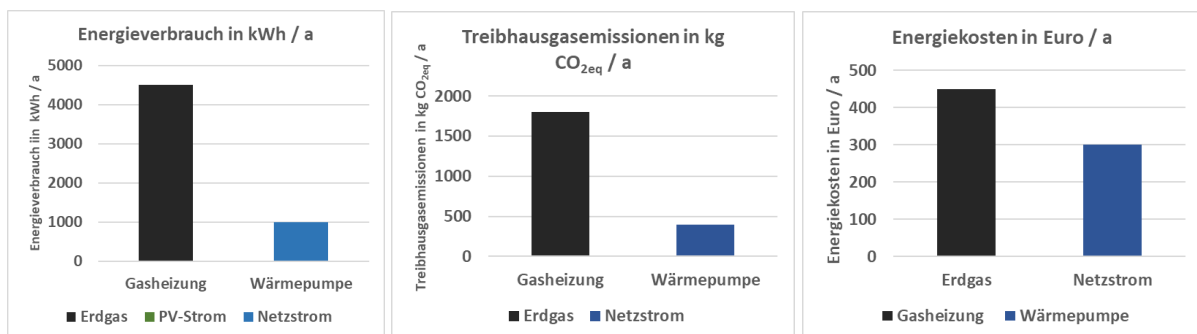
Abbildung 24: Mehrfamilienhaus in Viersen



Quelle: erneuerbare.tv (2023)

Um die Effizienz der Heizanlage zu steigern, wurde auf eine Einzelraumregelung verzichtet. Die Temperatur der einzelnen Räume wird nicht ständig dezentral geregelt, sondern einmalig an den Ventilen der Heizkreisläufe eingestellt. Dies spart Energie, denn jedes zusätzliche Ventil im Heizkreislauf stellt einen Widerstand dar. Dadurch, dass z.B. im Bad mehr, im Schlafzimmer weniger des auf ca. 35 °C erhitzten Heizwasser durch die Rohre fließt, werden die Räume unterschiedlich warm. Insgesamt erreicht das System in Viersen eine Jahresarbeitszahl von 4,5. Pro Wohnung mit 100 m² Fläche werden so ca. 4.500 kWh Wärme für Heizung und Warmwasser gebraucht, wofür ca. 1.000 kWh Strom eingesetzt werden. Bei einem Wärmepumpen-Strompreis von 30 Cent/kWh ergeben sich Nebenkosten für das Heizen von ca. 25 € pro Monat (erneuerbare.tv, 2023).

Abbildung 25: Vergleich Gasheizung zu Wärmepumpe für eine 100 m² Wohnung in Viersen



Quelle: Borderstep

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Günstige Verbräuche und Heizkosten würden sich aufgrund der Sanierung in dieser Wohnung auch mit Gaskessel ergeben. Aufgrund der hohen Jahresarbeitszahl fallen diese Kosten aber mit Wärmepumpe nochmals niedriger aus. Nach diesem System wurden am Niederrhein bereits 220 Wohnungen mit Wärmepumpenausgerüstet (SHK-Report, 2022).

4.10 Etagenwohnung in Dresden

Eine kleine Dachgeschoss-Mietwohnung mit einer Wohnfläche von 72 m² wurde bisher mit Fernwärme beheizt, die in Dresden bisher nur zu 0,6 % auf der Nutzung erneuerbarer Brennstoffe beruht (TU Dresden, 2020). Der Bewohner entschied sich daher im Laufe des Jahres 2022 zusätzlich zu seinem Fernwärmeanschluss eine Luft-Luft Wärmepumpe (Klimaanlage) zu installieren (Athenstaedt, 2023). Der Wärmeverbrauch im Jahr 2021 mit reiner Fernwärmeversorgung lag bei ca. 3.300 kWh, auf die Fläche bezogen sind das 45 kWh/m² und die Energieeffizienzklasse A.

Abbildung 26: Luft-Luft Wärmepumpe in einer Etagenwohnung



Quelle: Athenstaedt

Im November 2022 erfolgte die Installation einer Luft-Luft Wärmepumpe mit dem Ziel, die Nutzung der Fernwärme zu reduzieren. Durch den Einsatz intelligenter Steckdosen konnte seither der Stromverbrauch steckdosenscharf für die Wärmepumpe gemessen werden und wurde monatlich erfasst. Auch der Fernwärmeverbrauch wurde monatlich notiert.

In den Monaten Dezember bis April ist in Dresden ein Anteil am Heizbedarf von 69 % zu erwarten, gemessen an den Vorjahren wäre also mit einem Wärmeverbrauch von 2.280 kWh zu rechnen. Insgesamt wurden in der Zeit von Anfang Dezember 2022 bis Ende April 2023 ein Fernwärmeverbrauch von 224 kWh und ein Stromverbrauch der Wärmepumpe von 276 kWh gemessen (Athenstaedt, 2023). Hochgerechnet auf das ganze Jahr ergäbe sich ein Heizenergieverbrauch (Fernwärme + Strom) von ca. 720 kWh, was auf die Fläche bezogen 10 kWh/m² und die Energieeffizienzklasse A+ entsprechen würde.

Die hohe Einsparung an zugeführter Wärme lässt sich sowohl durch den COP-Wert der Luft-Luft Wärmepumpe wie auch durch das im Winter 2022 / 2023 hohe Bewusstsein für die Notwendigkeit von Einsparungen erklären. Durch das Ziel des Bewohners, möglichst viel Wärme aus der PV zu nutzen, wurde die Luftwärmepumpe gezielt tagsüber betrieben. Am Morgen war es in der Wohnung daher manchmal kälter als früher (Athenstaedt, 2023). Ein grundsätzlich geändertes Heizverhalten hat der Bewohner dagegen bei sich selbst nicht wahrgenommen. 20 bis 21 °C wurden eigentlich immer überall erreicht.

In zahlreichen anderen Rückmeldungen auf den Tweet vom 23.4.2023 (Clausen, 2023) wurden ähnliche Erfahrungen berichtet. Dabei wurden die Luft-Luft Wärmepumpen grundsätzlich als

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Hybridheizung zusammen mit Gas- oder Ölheizung bzw. Fernwärme eingesetzt. Die Einsparungen ließen sich in keinem der Fälle, in denen auch Zahlen genannt wurden, durch die Arbeitszahl der Wärmepumpe allein erklären. Das Einsparziel für Erdgas vor Augen ist aber auch nicht entscheidend, das Erreichen von Einsparungen eindeutig der Effizienz (der Wärmepumpe) oder der Suffizienz (also dem Bewohnerverhalten) zuzuordnen. Als eindeutiges Ergebnis kann insoweit auch nur festgehalten werden, dass diese Nutzung einer Luft-Luft Wärmepumpe offenbar eine neue und aussichtsreiche Option der Wärmewende darstellt und weiterer Untersuchungen bedarf.

QUELLEN

- Altermatt, P. P., Clausen, J., Brendel, H., Breyer, C., Gerhards, C., Kemfert, C., ... Wright, M. (2023). Replacing gas boilers with heat pumps is the fastest way to cut German gas consumption. *Communications Earth & Environment*, 4, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00715-7>
- Athenstaedt, F. (2023). *E-Mail: LWP statt Fernwärme*.
- Bange, M. (2023). *Interview*. Düsseldorf.
- Baunetz-Wissen. (2022). Jahresarbeitszahl. Abgerufen 22. Januar 2022, von Baunetz-Wissen website: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/j/jahresarbeitszahl-46869>
- BMWK, & BMWSB. (2022). *65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024 Konzeption zur Umsetzung*. Berlin. Abgerufen von https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/konzeptpapier-65-prozent-ee.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Brauers, H., Braunger, I., Hoffart, F., Kemfert, C., Oei, P.-Y., Präger, F., ... Troschke, M. (2021). *Ausbau der Erdgas-Infrastruktur: Brückentechnologie oder Risiko für die Energiewende?* <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4536573>
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2021). Wie funktioniert die Wärmepumpe? Abgerufen 6. Dezember 2021, von www.waermepumpe.de website: <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2023). Absatzzahlen und Marktanteile. Abgerufen 3. März 2023, von www.waermepumpe.de website: <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>
- BWP. (2022). *BWP zum 2. Wärmepumpengipfel in Berlin*. Berlin: Bundesverband Wärmepumpe e.V.
- BWP. (2023). *Branchenstudie 2023: Marktentwicklung – Prognose – Handlungsempfehlungen*. Berlin. Abgerufen von <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/branchenstudie-2023/#content>
- BWP e.V. (2023a). Kältemittel in Wärmepumpen. Abgerufen 21. April 2023, von <https://www.waermepumpe.de/politik/foerder-und-ordnungspolitik/kaeltemittel-in-waermepumpen/>
- BWP e.V. (2023b). Referenzobjekte. Abgerufen 13. April 2023, von www.waermepumpe.de website: <https://www.waermepumpe.de/presse/referenzobjekte/bwp-datenbank/>
- Cadmus Group. (2022). *Residential ccASHP Building Electrification Study*. Waltham, MA. Abgerufen von https://cadmusgroup.com/wp-content/uploads/2022/06/Residential-ccASHP-Building-Electrification-Study_Cadmus_Final_060322_Public.pdf
- Calame, N. (2021). Heat pump retrofit projects for multi-family buildings – An obstacle run. *HPT Magazine*, 39(1), 18–21.
- Carroll, P., Chesser, M., & Lyons, P. (2020). Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, 110275. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110275>
- Clausen, J. (2023, April 23). Thread: Kann man eine Gasheizung in einer Etagenwohnung durch eine Luft-Luft #Wärmepumpe alias Klimaanlage ersetzen? Abgerufen 26. April 2023, von Twitter website: <https://twitter.com/borderclausen/status/1650053380927115265>
- Clausen, J., Conde-Schucht, S., Niedzwiedz, A., & Seckmeyer, G. (2023). *Woche der Wärmepumpe 2022. Erfahrungsbericht*. Berlin: Bordstep Institut.

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

- countryeconomy.com. (2023). Finland—Household electricity prices. Abgerufen 5. März 2023, von Countryeconomy.com/ website: <https://countryeconomy.com/energy-and-environment/electricity-price-household/finland>
- Daikin. (2022). *Schnelle und einfache Ergänzung zum Heizen mit Gas: Die Luft-Luft-Wärmepumpe alias Klimaanlage*. Unterhaching.
- Danielski, I., & Fröling, M. (2012). *Air source heat pumps and their role in the Swedish energy system*. Östersund. Abgerufen von <http://www.diva-portal.org/smash/reCORD.jsf?pid=diva2%3A587720&dsid=-6879>
- degewo. (2020). *Degewo Zukunftshaus Abschlussbericht*. Berlin. Abgerufen von https://www.degewo.de/fileadmin/user_upload/degewo/Presse/Pressematerial/degewo-Zukunftshaus_Abschlussbericht.pdf
- Dena. (2018). *Dena-Leitstudie Integrierte Energiewende*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH. Abgerufen von Deutsche Energie-Agentur GmbH website: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf
- Die Bundesregierung. (2023). *Gesetzentwurf der Bundesregierung Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Prüfungsordnung*. Berlin. Abgerufen von <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Gebäudeenergiegesetz-geg.html>
- Drachenfels, C. von. (2023). *E-Mail Wärmeversorgung Landshut*.
- DWD. (2018). *Klimareport Niedersachsen. Fakten bis zur Gegenwart—Erwartungen für die Zukunft*. Hannover: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, DWD.
- Energie Experten. (2022, Oktober 4). Klimaanlage als DIY-Heizung: Neue R290 Luft/Luft-Wärmepumpe jetzt ohne störende Außeneinheit. Abgerufen 26. April 2023, von Energie Experten website: <https://www.energie-experten.org/news/klimaanlage-als-diy-heizung-neue-r290-luft-luft-waermepumpe-jetzt-ohne-stoerende-ausseneinheit>
- Energie Experten. (2023a). Bad Hersfeld: Wärmepumpe nutzt Abwärme von Hochhaus-Fassade. Abgerufen 13. April 2023, von Energie Experten website: <https://www.energie-experten.org/projekte/bad-hersfeld-waermepumpe-nutzt-abwaerme-von-hochhaus-fassade>
- Energie Experten. (2023b, April 4). Wärmepumpe im Mehrfamilienhaus: System-Lösungen für Neubau und Bestand. Abgerufen 9. April 2023, von Energie Experten website: <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/einsatz/mehrfamilienhaus>
- energie Schweiz, & Bundesamt für Energie. (2021). *Bericht «Feldmessungen von Wärme-pumpen-Anlagen. Heizsaison 2020/21»*. Iffingen und Bern. Abgerufen von <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/suche?keywords=&q=Feldmessungen&from=&to=&nr>
- erneuerbare.tv. (2023). *Video: Wärmepumpe im alten Mehrfamilienhaus—Der Energiewende-Report*. Abgerufen von <https://www.youtube.com/watch?v=MP76q3emfdQ>
- Fraunhofer ISE. (2020). *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden*. Freiburg. Abgerufen von https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf
- Fraunhofer ISE, INATECH, & KIT. (2023). *LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden („LowEx-Bestand Analyse“)*. Freiburg. Abgerufen von <http://www.lowex-bestand.de/index.php/2022/10/25/abschlussbericht-jetzt-verfuegbar/?lang=de>

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

- Grobe, C. (2023). *Gebäudeintegrierte Photovoltaik und Photovoltaisch-Thermische Anlagen*. Hannover: Carsten Grobe Passivhaus.
- Hundhausen, M. (2023). *Telefonat vom 25.4.2023*.
- Johnson, R. K. (2013). *Measured Performance of a Low Temperature Air Source Heat Pump*. Oak Ridge. Abgerufen von <https://www.osti.gov/biblio/1220259>
- Kotz, H.-J. (2021, Juli 1). Klimaanlage im Nachbarrecht – Was ist erlaubt und was nicht? Abgerufen 27. April 2023, von <https://www.ra-kotz.de/klimaanlage-im-nachbarrecht-was-ist-erlaubt-und-was-nicht.htm>
- LEG. (2023). LEG-Wohnen. Das Unternehmen. Abgerufen 9. Mai 2023, von <https://www.leg-wohnen.de/unternehmen>
- Magnotherm. (2023). Solutions. Abgerufen 21. April 2023, von <https://www.magnotherm.com/solutions/>
- Medienwerkstatt. (2023). Wärme für die Wärmepumpe (Video). Abgerufen 26. April 2023, von http://www.medienwerkstatt-online.de/lws_wissen/vorlagen/showcard.php?id=19660
- Mellwig, P. (2021). *Gebäude mit der schlechtesten Leistung (Worst performing Buildings)—Klimaschutzpotenzial der unsanierten Gebäude in Deutschland*. Heidelberg: IFEU. Abgerufen von IFEU website: https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/bauen/PDF/210505-ifeu-kurzstudie-gebaeude-mit-schlechtester-leistung.pdf
- MHKBD. (2022). *Bauordnungsrecht – Ausbau von Erneuerbaren Energien*. Düsseldorf: Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Digitalisierung des Landes Nordrhein-Westfalen. Abgerufen von Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Digitalisierung des Landes Nordrhein-Westfalen website: https://www.hausundgrund-verband.de/fileadmin/root/media/downloads/2022/MHKBD_Runderlass_Abstandsflaechen_2022-12-16.pdf
- Miara, M. (2021). Categorization of heat pump systems in multi-family buildings. *HPT Magazine*, 39(1), 22–23.
- Miara, M. (2022, April). *Potenziale und Hindernisse von Wärmepumpen*. Gehalten auf der Klimastadt:bauen ! 14. Bremerhavener Bauforum Wärmepumpen. Abgerufen von https://gruene.berlin/fileadmin/BE/lv_berlin/01_Landesarbeitsgemeinschaften/LAG_Bauen/2022-04-27_Waermepumpen_Potenziale_und_Hindernisse_Miara.pdf
- Michael Schmitt B.E.N. (2020, April 4). Das Photovoltaik-Hochhaus: Innovative Sanierungskonzepte für einen Plattenbau aus den 70er Jahren. Abgerufen 13. April 2023, von Youtube website: <https://www.youtube.com/watch?v=BMieSfhDNNQ>
- Moench, S., Reiner, R., Waltereit, P., Molin, C., Gebhardt, S., Bach, D., ... Bartholome, K. (2022). Enhancing Electrocaloric Heat Pump Performance by Over 99% Efficient Power Converters and Offset Fields. *IEEE Access*, 10, 46571–46588. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3170451>
- nd-System. (2023). Aufbau des nD-Hybridsystems. Abgerufen 9. April 2023, von <https://www.nd-system.de/systemloesungen/#nd-hybridsystem>
- Nick, S. (2023). *E-Mail AW: Wärmepumpe im Mehrfamilienhaus*.
- Noel Leeming Commercial. (2020). *Regency Apartments*. Auckland NZ. Abgerufen von <https://www.nlgcommercial.nz/case-studies/regency-apartment-case-study/>
- Paetzold, M. (2023). Grundwissen für Klimaanlagen: Was bedeutet was? Abgerufen 26. April 2023, von Klimaanlagen Guru website: <https://www.klimaanlagen-guru.de/klimaanlage-was-bedeutet-was>

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

- Prognos AG. (2022). *Kurzgutachten zur aktuellen Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen. Kostenbetrachtungen in Mehrfamilienhäusern aus der Perspektive von Mieter*innen und Vermieter*innen*. Berlin. Abgerufen von <https://www.prognos.com/de/projekt/waermepumpen-unter-der-lupe>
- Prognos AG. (2023). *Kurzgutachten zur aktuellen Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen Aktualisierung vom 10.03.2023, basierend auf dem Gutachten vom 22.10.2022*. Berlin. Abgerufen von <https://www.prognos.com/de/projekt/waermepumpen-unter-der-lupe>
- Ruhnau, O., Hirth, L., & Praktijnjo, A. (2019). Time series of heat demand and heat pump efficiency for energy system modeling. *Scientific Data*, 6(1), 189. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0199-y>
- Schönfeld, R. (2022, April 27). Sehr knifflig: Beim Einbau einer Klimaanlage in der WEG gilt es eine Menge zu beachten. Abgerufen 27. April 2023, von https://www.hausundgrund-rlp.de/info-service-artikel/articles/04_22_klimaanlage
- Scientists for Future. (2022). *Wärmepumpen. Die klimaneutrale Wärmeversorgung im Neubau und für Bestandsgebäude*. Berlin. Abgerufen von <https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/>
- SHK-Report. (2022). Wärmeverteilungsverluste bei Wärmepumpenanlagen verringern. Schlummerndes Potenzial. *SHK-Report*, 2(2022), 28–30.
- Sick, F., & Dietz, S. (2022, Februar). *Degewo Zukunftshaus: Ausgewählte Monitoring-Ergebnisse*. Gehalten auf der Aktionskreis Energie Online. Abgerufen von <https://aktionskreis-energie.de/events/degewo-zukunftshaus-2/>
- Statistisches Bundesamt. (2018). *Gebäude und Wohnungen. Bestand an Wohnungen und Wohngebäuden Bauabgang von Wohnungen und Wohngebäuden Lange Reihen ab 1969—2018*. Wiesbaden. Abgerufen von https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Publicationen/Downloads-Wohnen/fortschreibung-wohnungsbestand-pdf-5312301.pdf?__blob=publicationFile
- SULPU. (2023). *Sales statistics and charts for 2022*. Turku. Abgerufen von <https://drive.google.com/file/d/1-BcNbYIY5nAGCnejc9t7uNWE6EaWC2m-/view>
- TU Dresden. (2020). *Zertifikat für den Primärenergiefaktor der Fernwärme Dresden*. Dresden. Abgerufen von <https://www.drewag.de/wps/wcm/connect/drewag/2f7ca75f-b691-4eff-96b6-f6978bf3306e/primaerenergiefaktor-zentrales-fernheiznetz-dresden.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nx5ytAN>
- Turton, A., Bergmann, L., Hardy, P., Myers, M., Sugden, L., & van der Byl, W. (2017). *The Contribution of Reversible Air-to-Air Heat Pumps to the UK's Obligation under the Renewable Energy Directive (2009/28/EC)*. Abgerufen von https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/680534/renewable-energy-reversible-air-to-air-heat-pumps.pdf
- Umweltbundesamt. (2019). *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie*. Dessau-Roßlau. Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf
- Umweltbundesamt. (2022). Energiebedingte Emissionen [Text]. Abgerufen 2. September 2022, von Umweltbundesamt website: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen>

WÄRMEPUMPEN IN MEHRFAMILIENHÄUSERN

Wärmepumpen-Gipfel. (2022). *Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs—Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel* -. Berlin. Abgerufen von https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/Eckpunktepapier_Waermepumpenhochlauf.pdf

Weinmann, V. (2023). *Telefonat zu Luft-Luft Wärmepumpen*.

Wessel, G. (2021, Juni 21). Das Klimateilnehmer-Dilemma. Kühle Wohnung, warmer Planet. Abgerufen 25. April 2023, von Deutschlandfunk Kultur website: <https://www.deutschlandfunkkultur.de/das-klimaanlagen-dilemma-kuehle-wohnung-warmer-planet-100.html>