

Wärmepumpen für bestehende Mehrfamilienhäuser

Multikriterielle Bewertung unterschiedlicher Optionen

Björn Nienborg*, Bruno Bavia, Annette Uhl, Marek Miara, Peter Engelmann

Fraunhofer ISE, Heidenhofstraße 2, 79110, Freiburg, Deutschland
bjoern.nienborg@ise.fraunhofer.de

* Korrespondenzautor

Kurzfassung

Die Umstellung auf Wärmepumpen stellt den zentralen Lösungsansatz zur schnellen Dekarbonisierung der Gebäudewärme dar. Im Einfamilienhausbereich haben die Anlagen ihre Eignung bereits unter Beweis gestellt und sind dort im Neubau die meistgenutzte Heizungstechnologie. Nun gilt es, auch für den Mehrfamilienhausbestand, der immerhin 40% der Wohnfläche in Deutschland ausmacht, tragfähige und skalierbare Wärmepumpen-Lösungen zu identifizieren. Herausfordernd ist dabei neben den Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit auch die Vielzahl an bestehenden Systemkonfigurationen und Gebäudearten (Zentral- oder Gasetagenheizung, Art der Brauchwarmwassererwärmung, Baualter, Sanierungszustand, ...).

Anhand von realen Beispielgebäuden, welche in Zusammenarbeit mit 5 Unternehmen der Wohnungswirtschaft aus deren Bestand als relevant definiert wurden und die Variantenvielzahl aufgreifen, werden im vorliegenden Beitrag unterschiedliche wärmepumpenbasierte Versorgungskonzepte gegeneinander bewertet. Dabei werden unterschiedliche Kriterien berücksichtigt, wie:

- Effizienz
- Elektrische Anschlussleistung
- Platzbedarf (innen/außen)
- Investitionskosten
- Außenwirkung (optisch, akustisch)

Angesichts des beschleunigten Phase-Outs von konventionellen Kältemitteln wie R410A oder R407c sowie des abzusehenden weitgehenden Verbots neuerer Kältemittel mit persistenten Abbauprodukten (PFAS) fokussieren sich die Arbeiten auf Wärmepumpen mit dem natürlichen Kältemittel Propan, welches diesen Einschränkungen nicht unterliegt.

Stichwörter:

Wärmepumpen, Mehrfamilienhäuser, Bestandsgebäude, R290, Effizienz, Platzbedarf

1. Einleitung

Es wird erwartet, dass Wärmepumpen einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung der Raumheizung in Wohngebäuden leisten werden. Während Wärmepumpen in neuen Einfamilienhäusern in den letzten Jahren zur bevorzugten Heiztechnologie geworden sind und in bestehenden Häusern immer häufiger eingesetzt werden, stellt der Bestand an Mehrfamilienhäusern (MFH) bisher eine Herausforderung für diese Technologie dar. Hohe Vorlauftemperaturen, begrenzter Einbauraum, limitierte elektrische Anschlussleistung sowie die eingeschränkte Verfügbarkeit von Umgebungswärmequellen in dicht besiedelten Gebieten sind nur einige der Randbedingungen, die zu berücksichtigen sind. Technische Lösungen für diese Anforderungen zu entwickeln und für eine beschleunigte Installation in standardisierte Systemlösungen zu überführen ist Ziel des Vorhabens LCR290.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist daher die Bewertung möglicher Konfigurationen an Wärmepumpensystem unter allen relevanten Aspekten.

Diese erfolgt anhand zweier konkreter Beispielgebäude, welche dem Wohnungsbestand des projektbegleitenden Beirats entstammen. Es werden zwei Entwicklungsstränge verfolgt: zum einen Wärmepumpenlösungen zum Ersatz von zentralen gebäudeweisen fossilen Erzeugern, zum anderen wohnungsweise Konzepte für den Austausch dezentraler (wandhängender) Gasthermen.

2. Methodik

2.1. Anwendungen

Nachfolgend sind beide Beispielgebäude kurz beschrieben. Für beide Anwendungen werden jeweils passende Wärmepumpensysteme ausgelegt und bewertet. Dabei fließt die Gebäudegeometrie bspw. auch in die Auslegung des Quellnetzes für dezentrale Wärmepumpen ein.

2.1.1. Zentrale Wärmeversorgung

Das Wohngebäude in Potsdam ist ein Bau aus der Gründerzeit, errichtet im Jahr 1915. Es befindet sich in einem dicht besiedelten urbanen Gebiet mit drei bis viergeschossigen Blockrandbauten. Die Eckbebauung umfasst insgesamt 18 Wohneinheiten mit einer Gesamtwohnfläche von 1074 m². Im Erdgeschoss befinden sich zwei kleine Gewerbeflächen, die hier als Wohnungen gedacht werden. Das Mansarddach ist vollständig ausgebaut und bewohnt. Aktuell wird das Gebäude mit einer Gaszentralheizung beheizt, die in einem Heizungsraum im Kellergeschoss untergebracht ist [1].

Das Grundstück ist mit 376 m² klein und stellt darum eine Herausforderung für die Erschließung von Erdreich als Quelle sowie die Aufstellung einer Wärmepumpe im Außenraum dar. Nennenswerte energetische Sanierungen wurden am Gebäude bislang nicht durchgeführt. Der simulierte Wärmebedarf liegt bei ~136 MWh bei einer maximalen Heizlast von rund 60 kW. Es wird von einer Belegung mit 27 Personen mit einem täglichen (Norm-)Warmwasserbedarf von 1,45kWh ausgegangen [2]. Die Zirkulationsverluste werden mit 12,9kWh/m²a angesetzt [3], gleichmäßig auf das Jahr aufgeteilt und während der Heizperiode auf den Heizwärmebedarf angerechnet.

2.1.2. Wohnungsweise (dezentrale) Wärmeversorgung

Die untersuchte Wohnbebauung umfasst 23 Wohnungen. Diese sind auf drei getrennt zugängliche, dreigeschossige Gebäudeteile verteilt. Der Großteil der Wohnungen besteht aus kleinen 2-Zimmer-Wohnungen mit einer durchschnittlichen Wohnfläche von 42 m², daneben gibt es wenige 4-Zimmer-Wohnungen mit etwa 80 m². Im nicht ausgebauten Walmdach sind Mieterverschläge untergebracht, und im Kellergeschoss finden sich Lager Räume sowie Waschküchen. Die Beheizung und Warmwasserbereitung erfolgt dezentral über Gasetagenheizungen, die in den Küchen installiert sind. Die Gebäudehülle ist nicht energetisch saniert. Der Energieverbrauch gemäß Energieausweis liegt bei 135 kWh/m²a (Effizienzklasse E), die Normheizlast des Gesamtgebäudes beträgt 77kW. Die Untersuchung konzentriert sich auf eine der kleineren Wohnungen mit einer Heizlast von 3,3 kW unter Normbedingungen, der Grundriss ist in Abbildung 1 dargestellt. Sowohl die Küche mit 8 m² Fläche als auch das Bad mit 4 m² sind kompakt, es gibt keinen Abstellraum. Dies deutet auf die Herausforderung bei der Unterbringung einer Wärmepumpe mit BWW-Speicher hin. Bezüglich Brauchwarmwasser-Bedarf (BWW) wird eine Belegung mit 2 Personen angesetzt.

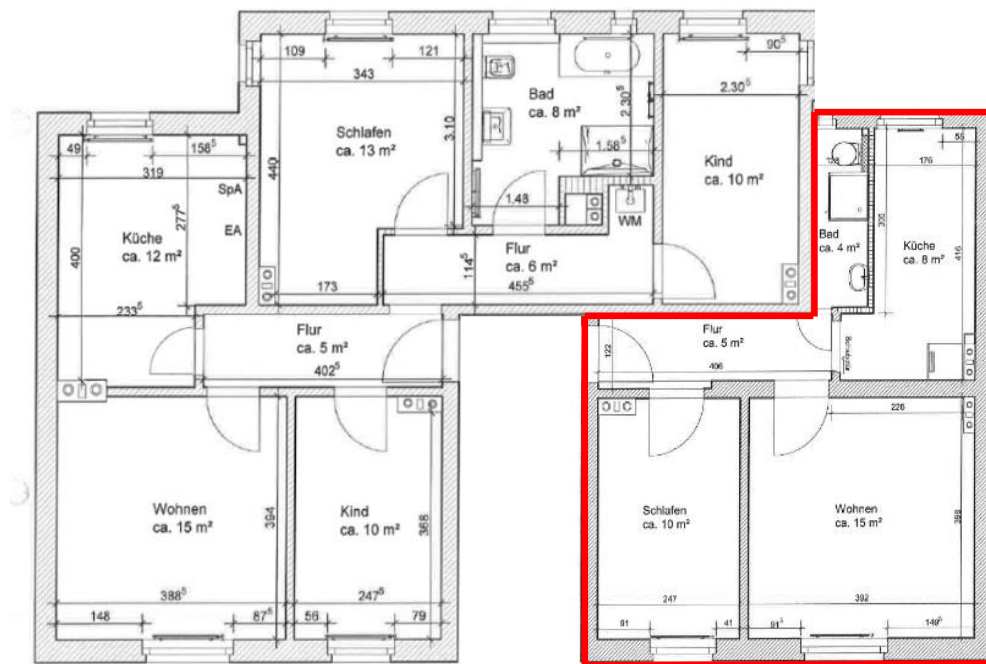


Abbildung 1: Grundriss der für dezentrale Wärmepumpensysteme bewerteten Wohnung

2.2. Definition Systemvarianten

Nachfolgend sind alle untersuchten Systemvarianten zusammengestellt. Es wurden ausschließlich monoenergetische Lösungen berücksichtigt.

2.2.1. Zentrale Wärmeversorgung

Tabelle 1 fasst die berücksichtigten Wärmepumpenlösungen für die zentrale Wärmeversorgung zusammen. Die Varianten mit elektrischen Durchlauferhitzern (DLE) in den Wohnungen kommen ohne Warmwasserzirkulation mit den entsprechenden Verlusten aus. Wohnungsübergabestationen erwärmen das Warmwasser dezentral, direkt in den Wohnungen. Demnach fallen diese Systeme unter die Kleinanlagenregelung nach DVGW Blatt 551 und ermöglichen eine reduzierte Temperatur von 50 bis 55°C im Gebäudenetz und Speicher [4].

In Variante 4 versorgt eine Luft-Sole-Außeneinheit die Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Niedertemperaturwärme. Da der Verdichter somit im Gebäude sitzt, ist von geringeren Geräuschemissionen der Außeneinheit auszugehen. Ebenso sind bei der Aufstellung der Außeneinheit keine R290-bedingten sicherheitstechnischen Anforderungen einzuhalten.

Tabelle 1: Untersuchte Systemvarianten für die zentrale Wärmeversorgung

Nr.	Beheizung durch	BWW-Bereitung durch
1	Sole-Wasser-WP (Erdreich)	el. Durchlauferhitzer
2	Sole-Wasser-WP (Erdreich)	WP
3	Sole-Wasser-WP (Erdreich)	WP + Wohnungsübergabestation
4	Sole-Wasser-WP (Luft)	WP
5	Luft-Wasser-WP (außen aufgestellt)	el. Durchlauferhitzer
6	Luft-Wasser-WP (außen aufgestellt)	WP
7	Luft-Wasser-WP (außen aufgestellt)	WP + Wohnungsübergabestation

2.2.2. Wohnungsweise (dezentrale) Wärmeversorgung

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die untersuchten Wärmepumpenlösungen zur dezentralen Wärmeversorgung. In den Varianten 1 bis 6 verteilt ein fassadenverlegtes Quellnetz die Niedertemperaturwärme an die Wärmepumpen in den Wohnungen.

In Varianten 7 und 8 verfügt jede Wohnung über ein Sole-Split-System. Damit unterliegt die Positionierung der Außeneinheit keinen externen sicherheitstechnischen Einschränkungen und die Wärmepumpe kann als eigensicheres Gerät mit einer R290-Füllmenge unter 152g ausgeführt werden.

Die unterschiedlichen Varianten der Brauchwarmwasser-Bereitung (BWW) sind dem knappen Platzangebot in den Wohnungen geschuldet (s. Abbildung 1 bzw. 2). DLE lassen sich i.d.R. problemlos unterbringen. Speicher bis 60l sind im Baumaß von Gasthermen realisierbar, 120l lassen sich in Weißgeräte-Dimensionen unterbringen.

Tabelle 2: Untersuchte Systemvarianten für die dezentrale (wohnungsweise) Wärmeversorgung

Nr.	Beheizung durch	BWW-Bereitung durch (Speichervolumen)
1	Sole-Wasser-WP (Quellnetz; Erdreich)	el. Durchlauferhitzer (-)
2	Sole-Wasser-WP (Quellnetz; Luft)	el. Durchlauferhitzer (-)
3	Sole-Wasser-WP (Quellnetz; Erdreich)	WP (60l)
4	Sole-Wasser-WP (Quellnetz; Luft)	WP (60l)
5	Sole-Wasser-WP (Quellnetz; Erdreich)	WP (120l)
6	Sole-Wasser-WP (Quellnetz; Luft)	WP (120l)
7	Sole-Wasser-WP (dezentraler Luft-Sole-WÜ)	WP (60l)
8	Sole-Wasser-WP (dezentraler Luft-Sole-WÜ)	WP (120l)
9	Luft-Wasser WP (Monoblock)	WP (60l)
10	Luft-Wasser WP (Monoblock)	WP (120l)
11	Luft-Luft-WP*	el. Durchlauferhitzer (-)

2.3. Datengrundlage für die Bewertung

Im Folgenden ist für unterschiedliche Kriterien, die bei der Bewertung von Wärmepumpenlösungen für bestehende Mehrfamiliengebäude relevant sind, die Datengrundlage erläutert. Zur vergleichenden Darstellung werden die Ergebnisse jeweils auf eine Skala von 1 (schlechtestes Ergebnis) bis 5 (bestes Ergebnis) normiert. Einzelne Kriterien sind nur für die dezentralen Lösungen relevant und werden dementsprechend nur für diese bewertet.

2.3.1. Effizienz

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) der wasserführenden Wärmepumpensysteme wird mithilfe des am Fraunhofer ISE entwickelten Simulationswerkzeugs HEBAP (Heating Energy Balancing Program) dynamisch über ein Jahr berechnet [5]. Dabei werden Lastprofile für Gebäudeheizlast und Brauchwarmwasserzapfung als Zeitreihen eingelesen. Die Wärmepumpen werden durch Kennfelder der drei im Projekt entwickelten Prototypen abgebildet, welche mit der Kältekreissimulationssoftware IMST-ART erstellt wurden [6]. Für die Wärmeübergabe wird im Auslegungspunkt eine Temperaturspreizung von 55/45°C angesetzt, die ggf. durch partiellen Heizkörpertausch erreicht wird.

Sofern für einzelne Systemlösungen nicht anders angegeben, erfolgt die Dimensionierung der Komponenten entsprechend VDI4645 und für einen Bivalenzpunkt von -5°C [2]. Für die direktelektrische Brauchwarmwassererwärmung wird ein Durchlauferhitzer mit 98% Wirkungsgrad angenommen.

Luft-Luft-Systeme können mit dem bestehenden Programm nicht berechnet werden. Daher wird deren Effizienz folgendermaßen abgeschätzt: Aus allen von der BAFA als förderfähig gelisteten Wärmepumpen wird jeweils für Luft-Wasser-Geräte mit dem Kältemittel R290 (bei 55°C) und Luft-Luft-Wärmepumpen mit Heizleistungen zwischen 3 und 12kW die mittlere jahreszeitbedingte Raumheizeffizienz ermittelt und in den SCOP umgerechnet [7]. Für die 511 gelisteten R290-Geräte in diesem Leistungsbereich ergibt sich dabei ein mittlerer SCOP von 3.54, für die 135 Luft-Luft-Geräte ist der Mittelwert 4.64. Die Differenz (1.09) wird auf die dynamisch simulierte JAZ der Luft-Wasserwärmepumpe aufgeschlagen und das Ergebnis als JAZ des Luft-Luft-Systems angesetzt. Da sich Luft-Luft-Systeme nicht zur Beheizung von Badezimmern eignen, wird für dieses flächenanteilig mit einer direkt-elektrischen Heizung gerechnet.

2.3.2. Platzbedarf (innen)

Bei den zentralen Systemen definiert sich Platzbedarf als Summe der Aufstellfläche für Speicher und Wärmepumpe. Grundlage ist die Komponentenauslegung für die dynamischen Simulationen (s. Kapitel 2.3.1). Da die einbringbare Größe von Komponenten im Bestand durch bestehende Durchgänge, Türmaße und Deckenhöhen limitiert ist, wird das maximale Volumen einzelner Speicher auf 800l begrenzt. Größere Volumina müssen auf mehrere Einheiten aufgeteilt werden. Um die Dämmung und hydraulische Anbindung zu berücksichtigen, wird vereinfachend für jeden Speicher eine Aufstellfläche von 1 m² angesetzt.

Die Aufstellfläche der Wärmepumpen wird von dem im Projekt entwickelten Prototypen abgeleitet. Diese benötigen rund 0,5m² bei 30kW Nennleistung. Um die Zugänglichkeit zu berücksichtigen, wird jedoch ebenfalls eine Fläche von 1m² angesetzt. Es können bis zu 2 Wärmepumpen übereinander angeordnet werden.

Bei den dezentralen Systemen ist das Bauvolumen (Summe aus Wärmepumpe und Speicher) ausschlaggebend. Aufgrund des idR knappen Platzangebots werden die in Abbildung 2 dargestellten Varianten berücksichtigt. Ausgangspunkt ist das Bauvolumen der bestehenden Gastherme (typischerweise rund 450mm x 350mm x 750 mm, BxTxH). Wärmepumpenlösungen, die keinen zusätzlichen Bauraum erfordern (V0), erhalten die bestmögliche Bewertung von 5. Der Platzbedarf für elektrische Durchlauferhitzer wird dabei als vernachlässigbar angenommen. Bei V1 wird das Bauvolumen der Gastherme für einen Speicher mit 60l genutzt, die Wärmepumpe wird dabei in einem kleinen Beistellgerät umgesetzt. V2 beinhaltet einen 120l Speicher, der sich in Weißgeräte-Dimensionen umsetzen lässt, das Bauvolumen der Gastherme wird dabei frei. In V3 wird die Wärmepumpen anstelle der Gastherme positioniert und der Speicher wie in V2 ausgeführt.

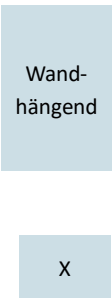
V0	V1	V2	V3
			
BxTxH (350x450x750)mm Bauvolumen: 118l max. Speichervolumen: 60l	BxTxH Bauvolumen: 118l + X max. Speichervolumen: 60l	BxTxH (600x600x850)mm Bauvolumen: 306l max. Speichervolumen: 120l	BxTxH (350x450x750)mm + (600x600x850)mm Bauvolumen: 424l max. Speichervolumen: 120l

Abbildung 2: Berücksichtigte Varianten für dezentrale Wärmepumpenlösungen

2.3.3. El. Anschlussleistung

Die elektrische Anschlussleistung wird als Maximalwert der elektrischen Bezugsleistung bei der dynamischen Simulation (Kapitel 2.3.1) definiert und beinhaltet den Bezug durch die Wärmepumpe(n) und direktelektrische Heizeinheiten.

2.3.4. Komfort innen (nur dezentrale Systeme)

Der thermische Komfort der Wärmeübergabesysteme (Radiator bzw. Heizkonvektor) wird durch Literaturquellen gegeneinander bewertet. Ergänzend werden Angaben zum Schallleistungspegel aus von marktverfügbaren Geräten aus der Eurovent Datenbank herangezogen.

2.3.5. Außenwirkung (akustisch/optisch)

Die Bewertung der Außenwirkung beinhaltet die Anzahl sichtbarer Komponenten (Außeneinheiten) sowie die zu erwartende Schallemissionen. Eine größere Zahl sichtbarer Komponenten beeinträchtigt das optische Erscheinungsbild des Gebäudes und erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Lärmbelastung, somit wirkt sie sich negativ auf die Bewertung aus. Gerade bei hohen Leistungen sind in aller Regel die Verdichter für den Gesamtschallleistungspegel von Luft-Wärmepumpen ausschlaggebend [8]. Daher erhalten Monoblock-Außeneinheiten, die ja sowohl Verdichter als auch Ventilator(en) enthalten, eine geringere Bewertung als reine Luft-Sole-Außeneinheiten.

2.3.6. Flexibilitätspotenzial

Voraussetzung für Flexibilitätspotenzial ist Speicherkapazität. Speicher für die BWW-Bereitung sind ganzjährig genutzt und bieten daher das höchste Potenzial. Heizungs-Pufferspeicher können nur während der Heizperiode zur Lastverschiebung genutzt werden. Daher wird die Kapazität der BWW-Speicher gegenüber den Heizungs-puffern doppelt gewichtet. Die Kapazität des Gebäudes ist in den betrachteten Varianten jeweils identisch und fließt daher nicht in die Bewertung ein.

2.3.7. Zeitlich gestaffelte Renovierung möglich (nur dezentrale Systeme)

Bei der wohnungsweisen Umrüstung auf Wärmepumpen kann es von Vorteil sein, wenn dies unabhängig voneinander erfolgen kann. So kann bspw. eine Wohnung bei defekter Therme bereits umgerüstet werden, während funktionierende Gasthermen in anderen Wohnungen weiterbetrieben werden können. Die Lösungen, bei denen auch die Umgebungswärmequelle (Luft) dezentral erschlossen wird, erhalten hier die höchste Bewertung (5). Im Fall von Quellnetzen werden zumindest diese einmal verlegt, wobei nicht alle Wohnungen gleichzeitig angeschossen werden müssen. Zentrale Luftaußeneinheiten können grundsätzlich kaskadiert und somit gestaffelt errichtet werden. Aufgrund des hohen Aufwands für die Errichtung von Erdsonden ist diese Variante hier nicht realistisch. Varianten mit elektrischem Durchlauferhitzer erfordern ggf. eine aufwändige(-re) Ertüchtigung der Elektrik, daher werden diese Varianten einen Punkt schlechter bewertet als solche mit BWW-Bereitung durch Wärmepumpen.

2.3.8. Investitionskosten

Grundlage für die Berechnung der Investitionskosten sind die Tabellen des Technikkatalogs zur Kommunalen Wärmeplanung der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH [9,10]. Die Kostenfunktionen für die Wärmepumpen, Erdsonden sowie Speicher wurden diesen entnommen und mittels Baukostenindex von 2022 auf das heutige Preisniveau hochgerechnet (Faktor 1,11). Für die nicht enthaltenen Komponenten Durchlauferhitzer und direktelektrischer Badheizkörper wurden durch Internetrecherchen typische Kosten ermittelt. Für Luft-Sole-Außeneinheiten wurde auf Basis von Produkten im Leistungsbereich zwischen 3 und 100 kW bei 3K Spreizung im Solekreis und 4K Differenz zur Umgebungstemperatur eine Kostenkurve generiert [11]. Die Baukosten für ein fassadenverlegtes Quellnetz wurde in Anlehnung an aktuelle Planungswerte ermittelt [12].

2.3.9. Aufwand Sicherheit

Der Aspekt Sicherheit bewertet, welcher Aufwand nach EN 308 bzw. IEC 60335 für einen sicheren Betrieb der Wärmepumpen erforderlich ist. Lösungen, die keine externen Maßnahmen benötigen, werden mit 5 bewertet. Hohe zusätzliche Anforderungen führen zur Bewertung 1 [13,14] .

2.3.10. Zukunftssicherheit Kältemittel

Bei den dezentralen Lösungen werden neben wasserführenden R290-Wärmepumpen auch Luft-Luft-Geräte mit R32 als Variante zur Dekarbonisierung einbezogen. Die Zukunftssicherheit beider Kältemittel wird unter Berücksichtigung der F-Gase-Verordnung sowie der aktuell überarbeiteten REACH-Verordnung bewertet [15].

3. Ergebnisse

Im Folgenden sind zentrale Ergebnisse graphisch ausgewertet und erläutert. Dabei bezieht sich die Skalierung jeweils auf alle untersuchten Varianten (s. Kapitel 2.2). Eine tabellarische Zusammenfassung aller Ergebnisse ist im Anhang zu finden.

3.1. Zentrale Wärmeversorgung

Abbildung 3 vergleicht drei zentrale Wärmeversorgungsvarianten jeweils mit zentraler BWB-Bereitung über Frischwasserstation: Sole-WP mit Erdsonden, Sole-WP mit Luft-Außeneinheit als Quelle („Sole-Split“) sowie eine außen aufgestellte Luft-WP (Monoblock). In Puncto Effizienz liegt die Erd-WP aufgrund der höheren Quelltemperaturen vor den Luftvarianten, wobei das Sole-Split-System aufgrund eines zusätzlichen Wärmeübertragers am schlechtesten abschneidet. Der Platzbedarf im Keller ist bei allen Varianten gleich, da das Monoblockgerät zwar außen aufgestellt ist, aufgrund der höheren Nennleistung aber einen zusätzlichen Pufferspeicher erfordert.

Da der Verdichter beim Sole-Split-System im Gebäude liegt, fällt die Außenwirkung hier etwas besser als bei Monoblock-System aus. Aufgrund der hohen Erschließungskosten liegen die Investitionskosten für Erdsonden-Systeme deutlich über denen von Varianten mit Luft als Quelle, daher erhält dieses die geringste Bewertung. Das Sole-Split-System ist aufgrund der zusätzlichen Komponente etwas teurer als ein reiner Monoblock und liegt daher in der Bewertung einen Punkt tiefer. Die Sicherheitsanforderungen lassen sich dagegen beim außen aufgestellten Monoblock mit vergleichsweise geringem Aufwand erfüllen.

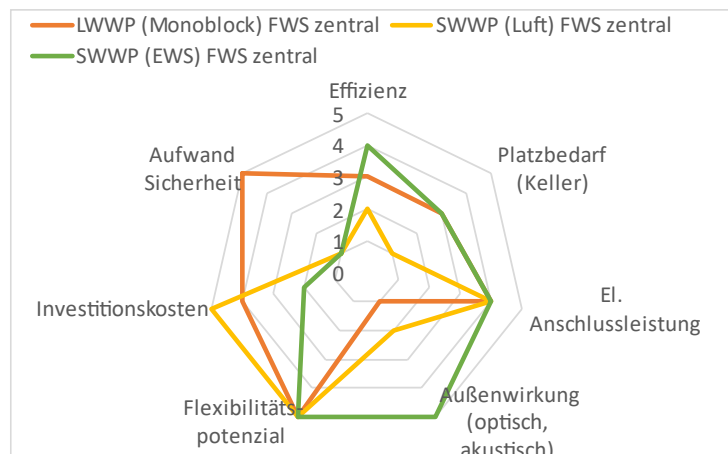


Abbildung 3: Einfluss des Wärmepumpensystems bei zentraler Wärmeversorgung auf die Kriterien; LWWP: Luft-Wasser-WP, SWWP: Sole-Wasser-WP, EWS: Erdwärmesonde, FWS: Frischwasserstation; 5: höchste Bewertung, 1: geringste Bewertung

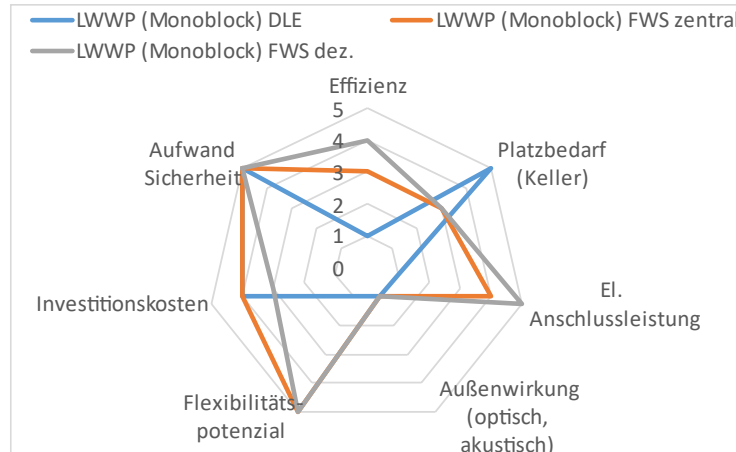


Abbildung 4: Einfluss der Art der Brauchwarmwassererwärmung bei zentraler Wärmeversorgung auf die Kriterien; LWWP: Luft-Wasser-WP, DLE: Durchlauferhitzer; 5: höchste Bewertung, 1: geringste Bewertung

In Abbildung 4 sind die unterschiedlichen Varianten der Brauchwarmwasserbereitung in Kombination mit einer Luft-WP einander gegenübergestellt. Die Lösung mit dezentralen Durchlauferhitzern (DLE) stellt sich hinsichtlich Platzbedarf im Keller positiv dar. Trotz der wegfallenden Zirkulationsverluste, die in gleicher Höhe wie der eigentliche Warmwasserverbrauch liegen, ist diese Variante die ineffizienteste. Zudem erfordert sie die höchste elektrische Anschlussleistung. Dem gegenüber lassen sich mit dezentralen Frischwasserstationen aufgrund der reduzierten Zirkulationstemperatur die höchste Effizienz bei niedrigster Anschlussleistung erzielen. Jedoch fallen dadurch höhere Investitionskosten an. Die Investitionskosten für eine zentrale Frischwasserstation mit Pufferspeicher liegen in gleicher Größenordnung wie für die dezentralen Durchlauferhitzer.

3.2. Wohnungsweise (dezentrale) Wärmeversorgung

Einen Überblick über die Eigenschaften unterschiedlicher WP-Lösungen zum dezentralen Ersatz von Gasetagenheizungen gibt Abbildung 5. Hinsichtlich Effizienz liegen Multi-Split-Systeme in Kombination mit Durchlauferhitzern für die BWB-Bereitung gleichauf mit Sole-WP, die über ein Quellnetz Energie aus dem Erdreich beziehen. Auch auf den Platzbedarf in der Wohnung wirken sich Durchlauferhitzer positiv aus – auf Kosten der elektrischen Anschlussleistung.

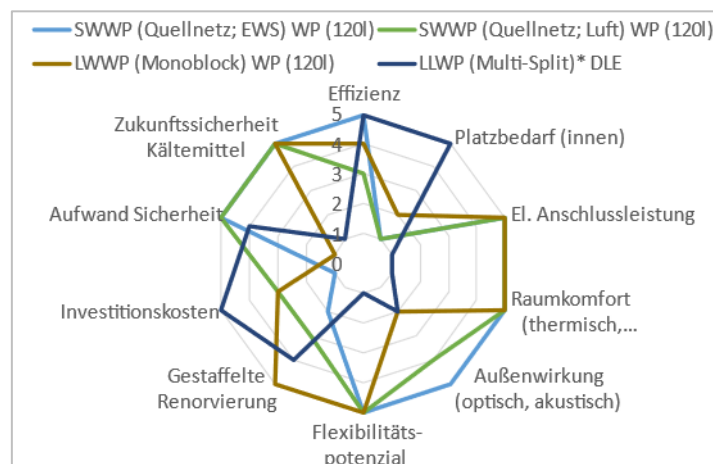


Abbildung 5: Einfluss des Wärmepumpensystems bei dezentraler Wärmeversorgung auf die Kriterien; LWWP: Luft-Wasser-WP, SWWP: Sole-Wasser-WP, LLWP: Luft-Luft-Wärmepumpe, EWS: Erdwärmesonde, FWS: Frischwasserstation; 5: höchste Bewertung, 1: geringste Bewertung

In experimentellen und theoretischen Studien wurde nachgewiesen, dass passive Radiatorheizungen aufgrund der geringeren Strömungsgeschwindigkeiten und des höheren Strahlungsanteils in der Regel höheren thermischen Komfort gegenüber Konvektoren ermöglichen [16,17]. Auch wenn neue Inneneinheiten auf kleiner Stufe sehr leise arbeiten können (z.B. [18]), ist davon auszugehen, dass an kalten Tagen bei höheren Schallleistungspegeln arbeiten. Unter den 606 von Eurovent getesteten reversiblen Multi-Split-Geräte mit Nennleistung <12kW

liegen die Norm-Schalleistungspegel der Inneneinheiten zwischen 48 und 65 dB(A) [19,20]. Daher erhält die Luft-Luft-WP in der Kategorie Raumkomfort die niedrigste Bewertung, während die übrigen Systeme wasserführendem Radiatorheizungssystem die Maximalbewertung erzielen.

Die Außenwirkung ist bei den Lösungen mit wohnungsweiser Erschließung aufgrund der Vielzahl von Außeneinheiten und dem damit einhergehenden Risiko von Lärmbelastung am negativsten. Dafür bieten diese Systeme mehr Freiheit bzgl. zeitlich versetzter (gestaffelter) Renovierung der einzelnen Wohneinheiten.

Die Anfangskosten sind bei den Luft-Luft-Systemen am geringsten, da diese in großen Stückzahlen in Fernost hergestellt werden. Die Luftsysteme erfordern unabhängig von der Position der Quelle eine ähnliche Investition. Hermetische geschlossene Kältekreisläufe mit einer R290-Füllmenge unter 152g erfordern gemäß geltender Normen keine externen Sicherheitsvorkehrungen und erhalten die Bewertung 5. Die Sicherheitsanforderungen von Multi-Split-Systemen mit R32 lassen sich trotz Brennbarkeit idR ebenfalls gut erfüllen, daher wird diesen die Bewertung 4 erteilt. Luft-Wasser-WP haben üblicherweise Füllmengen >500g und erfordern mit R290 Sicherheitsabstände (z.B. zu Balkonen und darunterliegenden Fenstern), die sich gerade im vorliegenden Gebäude schlecht einhalten lassen. Daher erhalten diese Varianten die Bewertung 1.

Wie anfangs dargestellt, unterliegt R290 aufgrund des geringen GWP und der Nicht-Toxizität keinerlei absehbaren Einschränkungen und wird somit hinsichtlich Zukunftssicherheit mit 5 Punkten bewertet. R32 dagegen hat ein GWP >150 und darf gemäß der überarbeiteten F-Gas-Verordnung ab dem 1.1.2027 nicht mehr in Split-Anlagen bis 12kW vertrieben werden. Somit erhält es in diesem Punkt die geringste Bewertung.

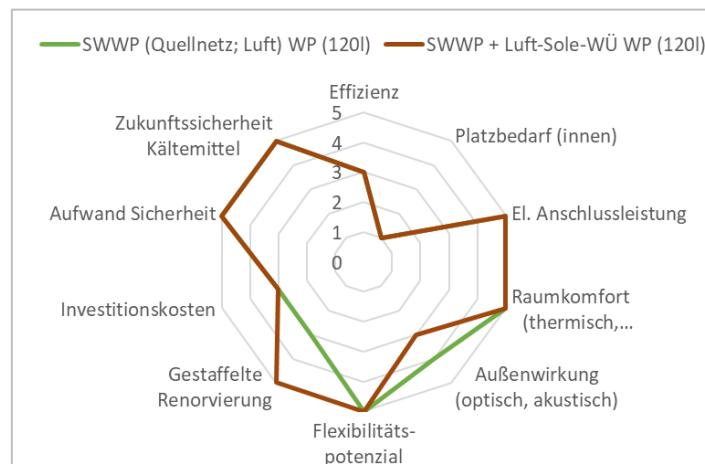


Abbildung 6: Einfluss der Position der Außeneinheit von Sole-Split-Geräten bei dezentraler Wärmeversorgung auf die Kriterien; SWWP: Sole-Wasser-WP, WÜ: Wärmeübertrager; 5: höchste Bewertung, 1: geringste Bewertung

Abbildung 6 stellt zwei Sole-Split-Varianten einander gegenüber: eine zentrale Außeneinheit und Verteilung über ein Quellnetz an der Fassade sowie eine wohnungsweise Außeneinheit (Luft-Sole-Wärmeübertrager). Das grundsätzliche Verhalten beider Systeme ist identisch. Sie unterscheiden sich aufgrund der Anzahl der erforderlichen Außeneinheiten in der Außenwirkung, sowie in der Möglichkeit der gestaffelten Renovierung. Die Investitionskosten liegen in vergleichbarer Höhe: bei der zentralen Variante werden die geringeren spezifischen Kosten für eine größere Quelle Außeneinheit gegenüber mehreren kleinen durch das erforderliche Quellnetz kompensiert.

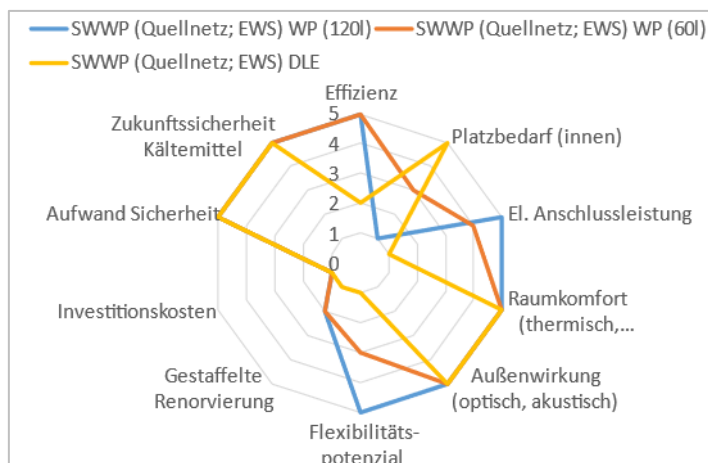


Abbildung 7: Einfluss der Art der Brauchwarmwassererwärmung bei dezentraler Wärmeversorgung auf die Kriterien; SWWP: Sole-Wasser-WP, EWS: Erdwärmesonde, DLE: Durchlauferhitzer; 5: höchste Bewertung, 1: geringste Bewertung

Unterschiedliche Varianten der BWW-Bereitung in Kombination mit einer Wohnungswärmepumpe werden in Abbildung 7 verglichen. Auf die Auswirkungen eines Durchlauferhitzers auf Effizienz, Platzbedarf, Anschlussleistung und Flexibilitätspotenzial wurde bereits bei den zentralen Systemen tiefer eingegangen. Somit konzentriert sich dieser Abschnitt auf die Unterschiede bei der Speicherdimensionierung. Auf die Effizienz hat diese für den untersuchten Fall (2 Personen pro Wohnung) keine Auswirkung. Die höheren thermischen Verluste des 120l-Speichers kompensieren den Strombedarf für direktelektrische Nachheizung. Jedoch fällt die erforderliche Anschlussleistung mit 60l-Speicher wegen der Nachheizung etwas höher aus, was die Bewertung reduziert. Weiter wirkt sich das größere Speichervolumen nachteilig auf den Platzbedarf aber vorteilhaft auf das Flexibilitätspotenzial aus.

4. Fazit

Diese Studie zeigt auf, dass es aufgrund der Anzahl teils widersprüchlicher Kriterien, die im Mehrfamilienhausbestand zu berücksichtigen gilt, nicht die eine, universelle Wärmepumpenlösung für die Sanierung gibt. Jedoch wird offensichtlich, dass es eine Reihe an Stellschrauben gibt, durch die Systemlösungen an unterschiedliche Anforderungen angepasst werden können.

Für zentrale Wärmepumpenlösungen sind R290-Anlagen mit höheren Leistungen sowohl für Innen- als auch Außenanwendungen zunehmend verfügbar. Somit kann auf unterschiedliche Randbedingungen wie Quellverfügbarkeit und Aufstellfläche flexibel eingegangen werden. Eine dezentrale BWW-Bereitung sollte in Betracht gezogen werden, um die Zirkulationsverluste zu reduzieren und die Gesamteffizienz zu steigern. Vorfertigte Wärmepumpenmodule für die Außenaufstellung könnten als „Game Changer“ fungieren und die Implementierung erheblich erleichtern.

Kompakte R290-Wärmepumpen mit weniger als 152 g Kältemittel eignen sich durchaus zum Ersatz von Gasetaugenheizungen. Herausfordernd – insbesondere hinsichtlich Aufstellplatz für den erforderlichen Speicher – stellt sich die Brauchwarmwasserbereitung dar. Kleine Speicher in Kombination mit einem Durchlauferhitzer als „Booster“ können dabei ein Kompromiss zwischen Platz, Effizienz und elektrischer Anschlussleistung darstellen.

Für den Einsatz von R290-Monoblocksystemen an Fassaden kann die Einhaltung des Sicherheitsabstand zu Fenstern und Balkon limitierend sein.

Aktuell scheinen Multi-Split-Systeme mit R32 attraktiv hinsichtlich Investitionskosten und Effizienz. Es bestehen jedoch Bedenken hinsichtlich des Komforts, der Anschlussleistung für die direktelektrische Brauchwarmwasserbereitung und des verwendeten Kältemittels.

5. Danksagung:

Das Projekt LCR290 wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EN4046 gefördert. Auch dem Industriebeirat danken wir für gute Zusammenarbeit und die Unterstützung.

6. Anhang

Heizung	LWWP (Monoblock)	LWWP (Monoblock)	LWWP (Monoblock)	SWWP (Luft)	SWWP (EWS)	SWWP (EWS)	SWWP (EWS)
BWW-Bereitung	DLE	FWS zentral	FWS dez.	FWS zentral	DLE	FWS zentral	FWS dez.
Effizienz	1	3	4	2	2	4	5
Platzbedarf (Keller)	5	3	3	1	5	3	3
El. Anschlussleistung	1	4	5	4	1	4	5
Außenwirkung (optisch, akustisch)	1	1	1	2	5	5	5
Flexibilitäts-potenzial	1	5	5	5	1	5	5
Investitionskosten	4	4	3	5	2	2	1
Aufwand Sicherheit	5	5	5	1	1	1	1

Abbildung 8: Übersicht Bewertung für alle untersuchten zentralen Wärmepumpenlösungen

Heizung	SWWP (Quellnetz; EWS)	SWWP (Quellnetz; EWS)	SWWP (Quellnetz; EWS)	SWWP (Quellnetz; Luft)	SWWP (Quellnetz; Luft)	SWWP (Quellnetz; Luft)	SWWP + Luft-Sole- WÜ	SWWP + Luft-Sole- WÜ	LWWP (Monoblock)	LWWP (Monoblock)	LWWP (Monoblock)	LLWP (Multi- Split)*	LLWP (Single- Split)
BWW-Bereitung	DLE	WP (60l)	WP (120l)	DLE	WP (60l)	WP (120l)	WP (60l)	WP (120l)	DLE	WP (60l)	WP (120l)	DLE	DLE
Effizienz	2	5	5	1	3	3	3	3	1	4	4	5	5
Platzbedarf (innen)	5	3	1	5	3	1	3	1	2	4	2	5	5
El. Anschlussleistung	1	4	5	1	4	5	4	5	1	4	5	1	1
Raumkomfort (thermisch, akustisch)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1
Außenwirkung (optisch, akustisch)	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	2	1
Flexibilitäts-potenzial	1	3	5	1	3	5	3	5	5	3	5	1	1
Gestaffelte Renovierung	1	2	2	2	3	3	5	5	4	5	5	4	5
Investitionskosten	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5
Aufwand Sicherheit	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	4	1
Zukunftssicherheit Kältemittel	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1

Abbildung 9: Übersicht Bewertung für alle untersuchten dezentralen Wärmepumpenlösungen; *R32, alle übrigen Systeme mit R290

Referenzen

- Uhl, A. *Propan-Wärmepumpen in Bestands-Mehrfamilienhäusern: Eine interdisziplinäre Betrachtung: Masterarbeit*, 2024.
- Verein Deutscher Ingenieure. *VDI 4645, Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern - Planung, Errichtung, Betrieb: = Heating systems with heat pumps in single and multi-family houses - planning, construction, operation*, Ausg. deutsch/englisch; Beuth Verlag GmbH: Berlin, 2023.
- Loga, T.; Diefenbach, N.; Knissel, J.; Born, R. *Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden*, 2005 (accessed on 4 December 2024).
- DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. - Technisch-wissenschaftlicher Verein. *DVGW W 551: Drinking water heating and drinking water piping systems - Technical measures to reduce Legionella growth - Design, construction, operation and rehabilitation of drinking water installations*; DVGW, 2004.
- Bongs, C.; Wapler, J.; Dinkel, A.; Miara, M.; Auerswald, S.; Lämmle, M.; Hess, S.; Kropp, M.; Eberle, R.; Rodenbücher, B.; et al. *LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden („LowEx-Bestand Analyse). Abschlussbericht*, 2023.
- IMST-ART v4.10 Release @ IMST-ART. Available online: <http://www.imst-art.com/?p=612> (accessed on 4 November 2024).
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. *Liste der förderfähigen Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis*, Eschborn, 2024 (accessed on 1 March 2024).
- Braungardt, S.; Gindre, T.; Oltersdorf, T.; Troll, A. Testing campaign on the energetical and acoustical behaviour of a heat pump - part 2. Montreal, Quebec, August 24th-30st.
- Peters, M.; Bartenstein, B.; Hebisch, H.; Kaiser, C.; Anders, F. *Kommunale Wärmeplanung Einführung in den Technikkatalog*, Stuttgart, 2023 (accessed on 11 November 2024).
- KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH. Einführung in den Technikkatalog. Available online: <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog> (accessed on 11 November 2024).

11. myGüntner. Available online: <https://www.myguentner.com/#/login?redirectFrom=/gpc> (accessed on 11 November 2024).
12. BKI. BKI Positionen 12. Available online: <https://bki.de/bki-positionen> (accessed on 11 November 2024).
13. IEC. *IEC 60335-2-40 - Household and similar electrical appliances – Safety: Particular requirements for electrical heat pumps, air-conditioners and dehumidifiers*, 7th ed.; IEC: Geneva, 2022 (IEC 60335-2-40).
14. CEN. *prEN 378-1 rev - Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements: Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria*; CEN: Brussels (prEN 378-1 rev).
15. *Verordnung - EU - 2024/573 - EN - EUR-Lex*, 2024.
16. Maivel, M.; Ferrantelli, A.; Kurnitski, J. Experimental determination of radiator, underfloor and air heating emission losses due to stratification and operative temperature variations. *Energy and Buildings* **2018**, *166*, 220–228, doi:10.1016/j.enbuild.2018.01.061.
17. Olesen, B.W.; Mortensen, E.; Thorshauge, J.; Berg-Munch, B. Thermal comfort in a room heated by different methods. *ASHRAE Transactions* **1980**, *86*, 34–48.
18. DAIKIN System Multi+: Heizen, Kühlen & Warmwasserbereitung. Available online: https://www.dai-kin.de/de_de/privatkunden/produkte-und-beratung/produktkategorien/klimaanlagen/multi-plus-split.html (accessed on 8 November 2024).
19. DIN German Institute for Standardization. *Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps, process chillers and dehumidifiers with electrically driven compressors - Determination of the sound power level - Part 1: Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps for space heating and cooling, dehumidifiers and process chillers; German version EN 12102-1:2022*; Beuth Verlag GmbH: Berlin.
20. Suchergebnisse im Verzeichnis der zertifizierten Produkte | Eurovent Certita Certification: Air Conditioner - Air to Air - Multisplit - reversible (≤12kW). Available online: https://www.eurovent-certification.com/de/advancedsearch/result?program=AC&product_type=AC1/A/M/R&keyword=#access-results (accessed on 8 November 2024).