

# Wärmepumpen in teilsanierten Bestandsgebäuden – der richtige Weg zur Energiewende?

Guillaume Behem, Marc Großklos, Nikolaus Diefenbach, Stefan Swiderek  
Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
Rheinstraße 65, 64295 Darmstadt  
Tel.: +49 (0) 6151 2904-0; g.behem@iwu.de

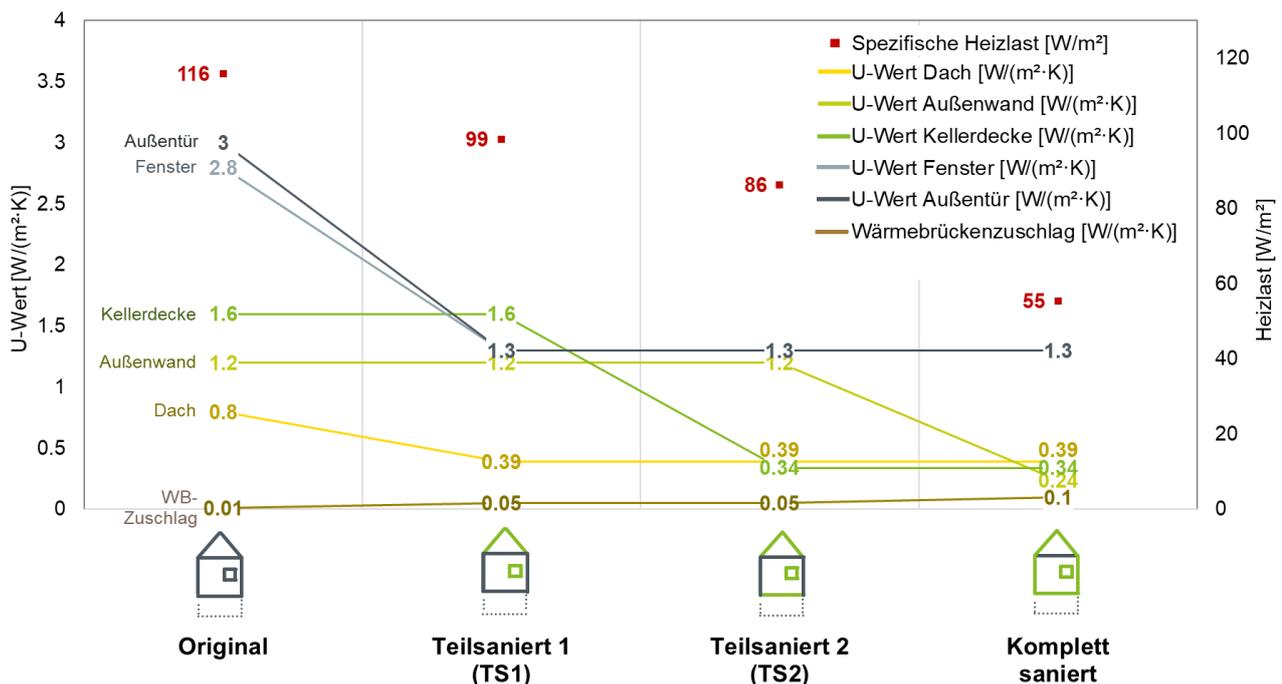
## Einleitung

Zahlreiche Studien der letzten Jahre kamen zu dem Ergebnis, dass der großflächige Einsatz von Wärmepumpen (WP) in Gebäuden eine wichtige Voraussetzung für die Dekarbonisierung des Gebäudebestandes darstellt. Ein wichtiger Grund liegt darin, dass sie im Winter die Nutzung von Windstrom zur Wärmeversorgung ermöglichen. Es besteht aber das Henne-Ei-Problem: müssen die Gebäude erst energetisch saniert sein, um die Wärmepumpen auf den zukünftigen Wärmebedarf dimensionieren zu können oder gibt es Wege in teilsanierte Gebäude bereits eine Wärmepumpe zukunftsfähig einzubauen und damit Lock-in-Effekte einer fossilen Übergangslösung auf die Treibhausgasemissionen des Gebäudes zu vermeiden?

Eine Lösung für Bestandsgebäude können bivalente Konzepte sein, die bei einer schrittweisen Sanierung der Gebäudehülle den sofortigen Heizungstausch bei un- oder teilsanierten Gebäuden erlauben können. Anschließend kann das Gebäude im Rahmen eines Sanierungsfahrplans über die Jahre schrittweise bis zum „erforderlichen“ Zielzustand energetisch modernisiert und bereits jetzt teilweise regenerativ mit Wärme versorgt werden, ohne z. B. eine Flächenheizung einbauen zu müssen. Im Idealfall ist die Modernisierung am Ende der Lebensdauer des alten fossilen Spitzenlast-Wärmeerzeugers abgeschlossen und die Anlage kann auf monovalenten Betrieb umgestellt werden.

## Modellierung eines Einfamilienhauses im Bestand

Für die Untersuchungen wurde ein beispielhaftes Einfamilienhaus der 1960er Jahre mit 138 m<sup>2</sup> Wohnfläche als Beispielgebäude betrachtet. Im unsanierten Originalzustand verfügt es über eine zentrale Öl-Heizung mit einem 20 kW Niedertemperaturkessel ( $\eta=85\%$ ), Holzfenster, einen ausgebauten Dachboden und einen unbeheizten Keller. Im Dach sind 5 cm Dämmschicht vorhanden. Auf dieser Basis wurden drei Sanierungsvarianten untersucht: ein erster Teilsanierungszustand (TS1) mit 12 cm Dachdämmung, sowie Tausch von Fenstern und Türen. Beim zweiten Teilsanierungszustand (TS2) wurde zusätzlich die Kellerdecke gedämmt, bei der Komplettsanierung zusätzlich die Außenwände. Für jede Variante wurde die Heizlast anhand des vereinfachten Verfahrens der DIN 12831 Beiblatt 2 berechnet (Abb. 1). Die angesetzten Dämmstandards orientieren sich an ehemals praxisüblichen Maßnahmen – bei einer schrittweisen Sanierung mit Passivhauskomponenten würden die U-Werte aus Abb. 1 noch deutlich unterschritten.



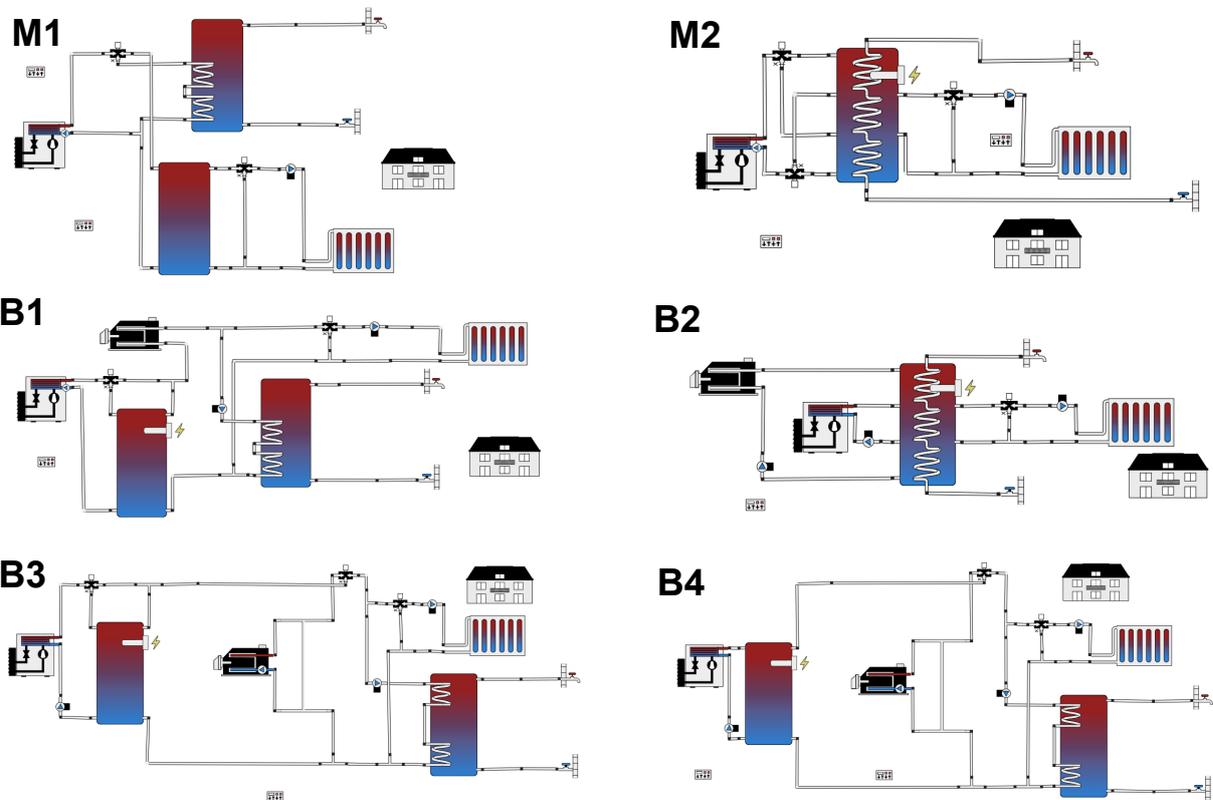
**Abbildung 1: Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmebrückenzuschlag und spezifische Heizlast für die vier Varianten des Beispielgebäudes**

Um den Einsatz von Wärmepumpen zur Deckung des Bedarfs an Heizwärme und Trinkwarmwasser (TWW) für die unterschiedlichen Sanierungszustände zu prüfen, wurde eine Luft-Wasser Wärmepumpe ausgewählt, die einen monovalenten Betrieb bei Komplettsanierung ermöglicht. Die Auslegung basierte auf der Gebäude-Heizlast, inkl. einem Leistungszuschlag für die Warmwasserbereitung von 1 kW (typischer Ansatz bei einem vier-Personen-Haushalt [Bonin 2017]). Die ausgewählte Wärmepumpe hat einen COP<sub>A2/W35</sub>-Wert von 4,0.

Die Software Polysun (Vela Solaris AG) wurde verwendet, um dynamische, zeitlich hochaufgelöste Simulationen der Systeme durchzuführen. Um die unterschiedlichen Betriebsweisen monovalent, monoenergetisch mit Heizstab (HS) und bivalent mit Kessel abzubilden, wurden sechs Hydraulik-Systeme definiert. Die untersuchten Systeme sind in Abb. 2 dargestellt. Die Wärmepumpe wird bei der Komplettsanierung monovalent betrieben, bivalent-parallel (B1 bis B4) bzw. monoenergetisch (M1 und M2) in den Original- und Teilsanierungszuständen. Im bivalenten Parallelbetrieb werden sowohl Wärmepumpe als auch Kessel für die Wärmeerzeugung verwendet. Die Wärmepumpe liefert während des größten Teils des Jahres die Wärme. Wenn die Außentemperatur jedoch unter den sogenannten Bivalenzpunkt (BP) sinkt, schaltet der Kessel ein und unterstützt die Wärmepumpe. In dieser Untersuchung wurde der BP anhand die Leistungskennlinie der WP und der Heizlast des Gebäudes ausgewählt. In manchen Fällen musste bei bivalenten Systemen nach der Simulation der BP erhöht werden, damit keine Energiedefizite (Solltemperatur nicht erreicht) auftreten. Untersucht wurden Konfigurationen mit getrenntem Puffer- und Trinkwarmwasser-Speicher sowie mit Kombispeicher (Abb. 2).

In Anlehnung an [Mellwig 2021] wurde die Heizkurve auf maximal 55°C geregelt, um einen möglichst effizienten Betrieb der Wärmepumpe zu ermöglichen. Wird das Ziel mit den vorhandenen Heizkörpern nicht erreicht, müssen diese (teilweise) ausgetauscht werden, was

jedoch nicht in die Berechnungen eingeflossen ist. Der Trinkwarmwasserspeicher soll eine Temperatur von 50°C erreichen. Sowohl für die Heizung als auch für TWW-Bereitung wurde eine Hysterese von +5 K implementiert, um zu vermeiden, dass die Wärmepumpe sich zu oft einschaltet, was mit höherem Verschleiß verbunden wäre.



**Abbildung 2: Untersuchte Hydraulikvarianten für monovalenten und bivalenten Betrieb, Systemdarstellungen aus Polysun<sup>1,2</sup>**

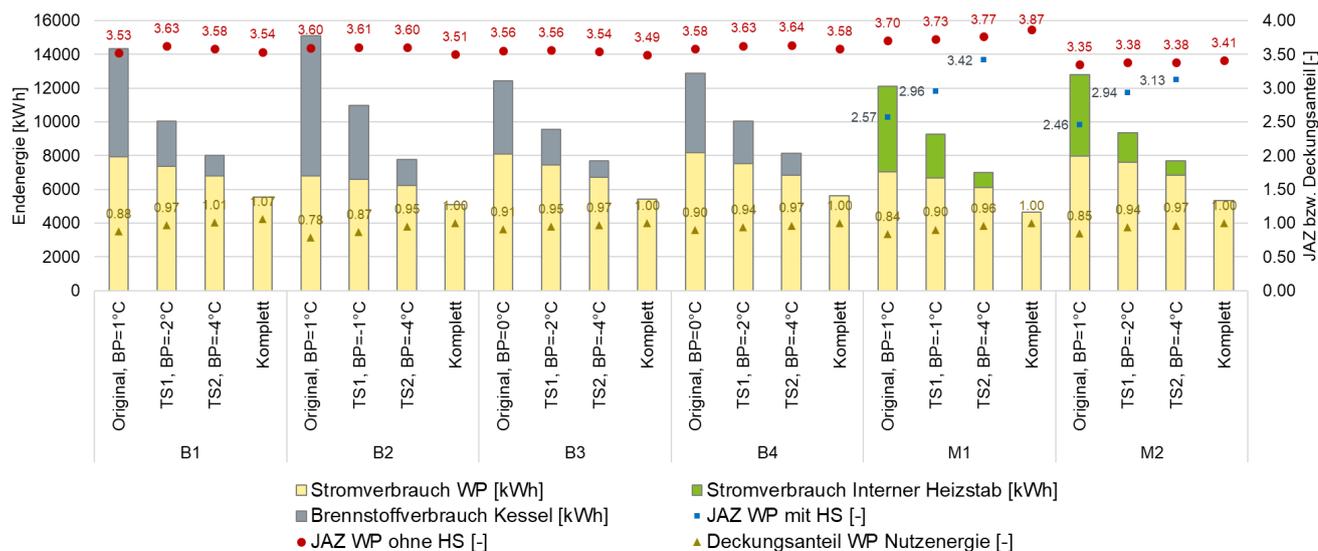
Bei den Simulationen wurden 21 °C Raumtemperatur und 45 °C Zapftemperatur für Warmwasser als Sollwerte verwendet.

## Ergebnisse

Als Effizienzindikatoren für die Bewertung der Ergebnisse wurden die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe  $JAZ_{WP}$ , die JAZ der Wärmepumpe mit Heizstab  $JAZ_{WP+HS}$  und der Deckungsanteil  $d$  verwendet. In Abb. 3 werden die jährlichen Endenergieverbräuche, JAZ und Deckungsanteile der WP für die verschiedenen Hydrauliken und Sanierungszustände dargestellt. Die Bivalenzpunkte bei bivalentem und monoenergetischem Betrieb sind ebenfalls dargestellt.

<sup>1</sup> Das I-förmigen Element, das in B3 und B4 mit dem Kessel verbunden ist, ist eine Hydraulische Weiche mit 20 L Inhalt.

<sup>2</sup> Die in den Speichern dargestellten Heizstäbe kommen hier nicht im Einsatz, nur der Wärmepumpen-interne Heizstab, mit 9 kW Leistung wird verwendet.



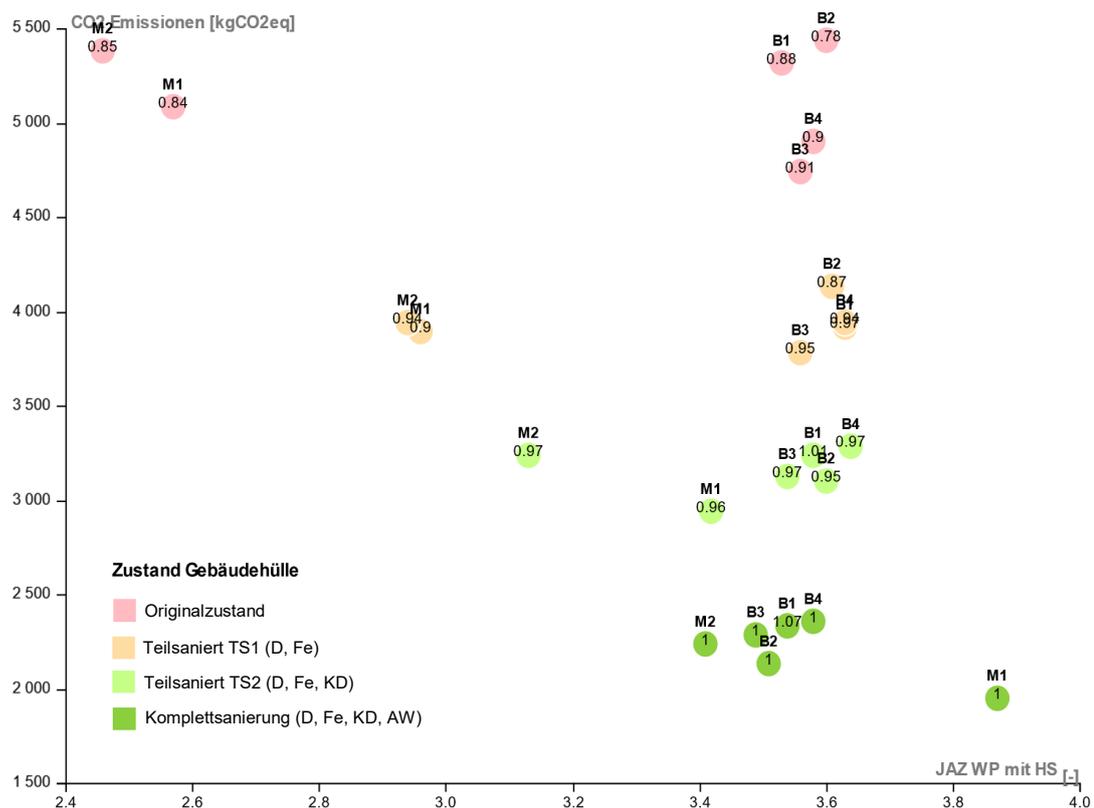
**Abbildung 3: Simulationsergebnisse in Bezug auf Endenergieverbrauch, JAZ mit und ohne Heizstab sowie Deckungsanteil der WP**

Bei den bivalenten Varianten bei Komplettmodernisierung geht man davon aus, dass der Kessel vollständig ausgeschaltet ist, da er zu keinem Zeitpunkt im Simulationsjahr benötigt wird. Das Vorhandensein eines Kessels, der nicht oder kaum eingesetzt wird, kann aber problematisch werden, wenn er in Reihe mit der Wärmepumpe geschaltet ist, wie im System B1. Dort zeigen die Ergebnisse bei TS2 und Komplettisanierung, dass der Kessel hohe Stillstandverluste verursacht, welche die Wärmepumpe kompensieren muss. Die Wärmabgabe des Kessels (Wärmeerzeugung minus Wärmeverluste) ist hier in der Jahressumme negativ, so dass der rechnerische Deckungsgrad der Wärmepumpe höher liegt als 1.

Um den Einfluss des COP auf die Ergebnisse nachzuvollziehen, wurde exemplarisch im TS1 mit Hydraulik B3 sechs verschiedene Wärmepumpenmodelle mit ähnlicher Leistung und unterschiedliche COPs simuliert. Es ergab sich  $JAZ_{WP}$ , zwischen 2,68 und 3,51 mit einem Mittelwert von 3,10. Ein Vergleich mit Feldtest-Messwerten in ähnlichem Sanierungszustand ergab eine ähnliche Spanne in Abhängigkeit vom COP der WP [Günther 2020]. Bei den Berechnungen in dieser Untersuchung wurde die WP mit der höchsten  $JAZ_{WP}$  von 3,51 verwendet ( $COP_{A2/W35} = 4,0$ ).

Unter den bivalenten Varianten ergeben sich für einen gegebenen Sanierungszustand unterschiedliche Deckungsgrade. Das liegt daran, dass unterschiedliche Bivalentenzpunkte verwendet werden, um einen störungsfreien Betrieb sicherzustellen.

Wenn der Öl-Kessel weiterhin monovalent betrieben würde, ergäben sich jährliche  $CO_2$ -Emissionen in Höhe von 10.005  $kg_{CO_2eq}$  im Originalzustand, 9.252  $kg_{CO_2eq}$  in TS1, 8.870  $kg_{CO_2eq}$  in TS2 und 7.175  $kg_{CO_2eq}$  im Vollsanierungszustand. In Abb. 4 sind die jährlichen  $CO_2$ -Emissionen und  $JAZ_{WP}$ , sowie die Deckungsgrade (Zahlen in den Blasen) für die verschiedenen Hydrauliken und Sanierungszustände dargestellt. Der Einsatz von Wärmepumpen führt bei allen Varianten und Sanierungszuständen zu signifikanten  $CO_2$ -Einsparungen im Vergleich zum Weiterbetrieb des Öl-Kessels.



**Abbildung 4: Simulationsergebnisse in Bezug auf CO<sub>2</sub>-Emissionen, JAZ der WP und Deckungsanteil (Zahlen in den Blasen) für verschiedene Hydrauliken, Betriebsweisen und Sanierungszustände**

Unabhängig von der Hydraulik und der Betriebsweise zeigen die Ergebnisse, dass energetische Sanierungsmaßnahmen eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und eine Erhöhung der Effizienz erlauben. Bei unterschiedlicher Betriebsweise weichen die Ergebnisse voneinander ab: je schlechter der Effizienzstandard, desto größer die Streuung zwischen monovalenten und bivalenten Systemen (siehe Abb. 4).

Im Originalzustand und TS1 werden die monoenergetischen Varianten M1 und M2 relativ ineffizient betrieben ( $JAZ_{WP+HS}$  unter 3) und verursachen höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen als die bivalenten Varianten B3 und B4. Ab TS2 ist die monoenergetische Variante M1 die CO<sub>2</sub>-ärmste. Bei Komplettsanierung liefert M1 die höchste Effizienz und niedrigste CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Rahmen eines Sanierungsfahrplans wäre es aus ökologischer Sicht daher sinnvoller, die WP im Originalzustand und TS1 bivalent zu betreiben, und ab TS2 monoenergetisch bzw. monoenergetisch. Der ergänzende Heizkessel könnte also ab Erreichung des Wärmeschutzniveaus TS2 in der Regel ausgeschaltet bzw. (insbesondere bei Reihenschaltung, s.o.) abgebaut werden. Die Variante M2 hat immer höhere Emissionen und eine schlechtere JAZ als M1. Grund dafür ist, dass M2 über einen Kombi-Speicher verfügt, der größere Warmwasservolumina im Vergleich zu M1 bereitstellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen primär der Wärmeschutzstandard und erst in zweiter Linie die konkrete Konfiguration des Wärmepumpen-Systems ausschlaggebend ist. Im Einzelnen ergeben sich aber auch hier Unterschiede. So zeigt sich, dass der Einsatz eines bivalenten Systems im untersuchten unsanierten Bestands-Einfamilienhaus aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Einsparungen sinnvoll ist. Weitergehende energetische

Sanierungen bringen neben signifikanten CO<sub>2</sub>-Einsparungen auch höhere Wärmepumpen-Effizienzen mit sich. Eine Erhöhung der Wärmeschutzstandards, z. B. durch Einsatz von Passivhaus-Komponenten würde diese Effekte sicherlich noch verstärken. Gleichzeitig muss das Gebäude nicht unbedingt erst energetisch saniert werden, um die Wärmepumpen auf den zukünftigen Wärmebedarf dimensionieren zu können, sondern die Wärmepumpe kann schon im unsanierten Zustand bivalent als Teil eines langfristigen Sanierungsfahrplans betrieben werden und dennoch mehr als 80 % des gesamten Wärmebedarfs liefern.

Diese Erkenntnisse zeigen Möglichkeiten bei der Erstellung von Sanierungsfahrplänen auf, bei denen der vorübergehende Einsatz von bivalenten Systemen in Original- und teilsaniertem Zustand (TS1) auf dem Weg zum monovalenten Betrieb im Vollsanierungszustand unter aktuellen Bedingungen ökologisch sinnvoll erscheint. Die bivalente Einbindung von Wärmepumpen in bestehende fossile Heizungsanlagen mit Weiterbetrieb der Altanlage wird bisher aber nur selten umgesetzt, auch kann der erforderliche Platzbedarf eine Herausforderung darstellen. In geeigneten Fällen sollte sie aber zukünftig als Option erwogen werden. Dies gilt nicht zuletzt dann, wenn aufgrund von Hemmnissen eine monovalente Lösung im aktuellen Zustand gar nicht möglich ist (beispielsweise die monovalente Wärmepumpe im konkreten Fall sehr starke Effizienz Nachteile aufweist oder bei Erdwärmepumpen das geothermische Potential nicht ausreicht).

Auf längere Sicht kann der Einsatz von bivalenten Systemen aus Perspektive eines zukünftigen Energiesystems zusätzlich von Vorteil sein, da Lastspitzen im regenerativen Stromnetz durch die Wärmeerzeugung abgepuffert werden. Diese müssten andernfalls (bei monovalenten bzw. monoenergetischen Wärmepumpen) durch zusätzliche Spitzenlastkraftwerke abgedeckt werden, welche ebenfalls Brennstoffe benötigen [Diefenbach 2019]. Ein vollständiger Verzicht auf Brennstoffe wäre also weder bei monovalenten oder monoenergetischen noch bei bivalenten Systemen möglich. Langfristig besteht die Option einer Ablösung der fossilen durch synthetische, aus Solar- und Windkraft gewonnene Energieträger.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Projekts „Wärmepumpen-Praxis im hessischen Wohngebäudebestand“ durchgeführt, das vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen gefördert wird.

## Quellenverzeichnis

- [Bonin 2017] Bonin, J.: *Handbuch Wärmepumpen: Planung und Projektierung*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, 2017
- [Diefenbach 2019] Diefenbach, N.; Großklos, M.; Müller, A.; Grafe, M.; Swiderek, S.: *Analyse der Energieversorgungsstruktur für den Wohngebäudesektor zur Erreichung der Klimaschutzziele 2050*, IWU, 2019
- [Günther 2020] Günther, D.; Wapler J.; Langner R.; Helmling, S.; Miara, M.; Fischer, D.; Zimmermann, D.; Wolf, T.; Wille-Hausmann, B.: *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "WPsmart im Bestand"*. Fraunhofer ISE, 2020
- [Mellwig 2021] Mellwig, P.; Pehnt, M.; Lempik, J.: *Energieeffizienz als Türöffner für erneuerbare Energien im Gebäudebereich - Studie im Auftrag des Verbandes für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V.*, ifeu, 2021