

Qualitätssicherungs- maßnahmen für effizienten Wärmepumpenbetrieb im Altbau

Die Informationssammlung stellt Ergebnisse zusammen, die vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in der angeführten Studie veröffentlicht wurden.



JAHRE WÄRMEPUMPEN-MONITORING
AM FRAUNHOFER ISE

Inhaltsverzeichnis

Zweck.....	3
Vorgehen bei der Erstellung der Unterlage.....	3
1. Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie.....	4
2. Qualitätssicherungsmaßnahmen für effizienten Wärmepumpenbetrieb	6
2.1. Prozessschritt beim Wärmepumpeneinbau.....	6
2.2. Maßnahmen der Qualitätssicherung - Ableitung aus den Messungen.....	8
2.2.1. Angebotsprüfung.....	8
2.2.2. Auslegung Heizkörper.....	8
2.2.3. Dimensionierung der Wärmepumpe.....	9
2.2.4. Einsatz der Zirkulation	9
2.2.5. Hydraulik.....	9
2.2.6. Heizstab	10
2.2.7. Heizkurveneinstellung	10
2.2.8. Schalthäufigkeit	10
2.2.9. Defekt an Wärmepumpe, Kältemittelverlust o.ä.	11
2.2.10. Raumheizung in den Sommermonaten.....	11
3. Einflussgrößen auf Effizienzkennwerte beim Betrieb einer Heizanlage mit Wärmepumpe.....	12
3.1. Definition der Effizienz	12
3.2. Effizienz und Einflussgrößen.....	12
3.2.1 Erzeugerarbeitszahl (Arbeitszahl 3).....	12
3.2.3 Effizienzanalyse über mehrere Jahre	16
3.2.3 Effizienz und Betriebsbedingungen vor dem Hintergrund von Baualter und Sanierungsgrad der Gebäude.....	18
4. Detailanalyse zu Effizienz und Betriebsverhalten	21
4.1. Auslegung der Wärmepumpe	21
4.2. Einsatz Elektroheizstab.....	22
4.3. Schalthäufigkeiten	22
5. Bewertung der Treibhausgasemissionen	26
Impressum.....	27

Zweck

Die Unterlage richtet sich an Bürgerinnen und Bürger, die sich einen Eindruck über die aktuelle Forschung über den Betrieb von Heizanlagen mit Wärmepumpen im Altbau verschaffen möchten.

Die Informationssammlung stellt Ergebnisse zusammen, die vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in der angeführten Studie veröffentlicht wurden.

Das BMW-geförderte Forschungsprojekt „WP-QS im“ zeigt Qualitätssicherungsmaßnahmen für den effizienten Wärmepumpenbetrieb auf. Hierfür haben sich für den Zeitraum Dezember 2019 bis Dezember 2024 neun Wärmepumpenhersteller, zwei Energieversorger und das Fraunhofer ISE zusammengeschlossen, um damit verbundene Forschungsfragen zu beantworten.

Über diesen Zeitraum wurden Heizanlagen mit Wärmepumpen mit Messsystemen ausgestattet und die Messwerte kontinuierlich erfasst. Die Messwerte wurden analysiert und aus der Analyse Maßnahmen zur Qualitätssicherung des effizienten Wärmepumpenbetriebs abgeleitet.

Grundlage dieser Informationssammlung ist ausschließlich der Abschlussbericht der Studie.

Quelle: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/wp-qs-im-bestand.html>

WP-QS IM BESTAND

Entwicklung optimierter Versorgungskonzepte und nachhaltiger Qualitätssicherungsmaßnahmen für Wärmepumpen im EFH-Bestand

Danny Günther, Jeannette Wapler, Sebastian Herkel, Sebastian Helmling, Konstantin Geimer, Dr.-Ing. Marek Miara, Björn Nienborg, Annette Uhl, Janis Kähler, Robert Langner

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
in Freiburg

Datum des Berichts: 25.11.2025 (2. Fassung)

Projektpartner: Bosch Thermotechnik GmbH, Glen Dimplex Deutschland GmbH, Lechwerke AG, Max Weishaupt GmbH, NIBE Systemtechnik GmbH, Panasonic Heating & Ventilation Air-Conditioning Europe, DAIKIN Airconditioning Germany, Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Stadtwerke Stuttgart GmbH, Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Vaillant GmbH

Förderkennzeichen: 03EN2029A

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Vorgehen bei der Erstellung der Unterlage

Die Informationssammlung fußt vollständig auf der vorliegenden Studie.

Der Autor hat einzelne Textblöcke und Abbildungen in der in der Studie vorliegenden Form in die Informationssammlung übernommen. Abweichende Textteile sind gekennzeichnet.

Der Aufbau und die Kapitelnummerierung der Informationssammlung weichen vom Aufbau der Studie ab. Die Stellen aus denen die Textblöcke und Abbildungen in der Studie zu finden sind, sind in der Informationssammlung durch Seitenzahlen am Beginn jedes Kapitels und bei den Abbildungen gekennzeichnet.

1. Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie

Studie: Seite 6ff

Für die **Außenluft/Wasser-Wärmepumpen** ergibt sich eine **Jahresarbeitszahl** im Mittel von 3,4, wobei die Bandbreite von 2,6 bis 4,9 reicht.

Etwa 81 % der **abgegebenen Wärme** entfallen auf Raumheizung (RH), 19 % auf Trinkwassererwärmung (TWE), dieses Verhältnis gilt ebenso für die Erdreich-Wärmepumpen.

Die **Elektroheizstäbe** haben im Mittel einen geringen Anteil (~1,3 % der elektrischen Arbeit; ohne bivalente Systeme ~1,6 %). Einzelne Ausreißer mit hohem Heizstabeinsatz waren auf Gerätestörungen oder Fehlern in der Parametrierung zurückzuführen.

Für die **Erdreich-Wärmepumpen** ergibt sich eine **Jahresarbeitszahl** im Mittel von 4,3, wobei die Bandbreite von 3,6 bis 5,4 reicht. Bei diesen Anlagen liegt der Anteil der Heizstäbe im Mittel nahe 0%. Korrelationen zwischen Effizienz zu unterschiedlichen Effizienzeinflüssen zeigten sich lediglich zu den Heizkreistemperaturen.

Da in allen Baualtersperioden sehr ähnliche Temperaturen zur Raumheizung gemessen wurden, konnte auch kein Zusammenhang zwischen Effizienz und **Baualter** festgestellt werden.

Die Untersuchung zeigt auch, dass ausreichend dimensionierte **Heizkörper** mit ähnlich niedrigen Temperaturen betrieben werden können wie Flächenheizungen.

PV-optimierte und bivalente Anlagen zeigten bei der Auswertung keinen signifikanten Effekt auf Mittelwerte der Jahresarbeitszahlen. ...

Bei Zugrundelegung der klassischen Jahresbilanzmethode ergeben sich auf Basis der ermittelten Effizienzwerte für Außenluft/Wasser-Wärmepumpen (Erdreich-Wärmepumpen) im Jahr 2024 zwischen 37 % und 64 % (54 % bis 70 %) weniger **Treibhausgasemissionen** verglichen mit einem Gaskessel.

Nur auf Basis der Entwicklungen im Stromsektor könnten bei gleichen Effizienzwerten die Einsparungen bis 2030 zwischen 61 % und 90 % liegen. ...

Die **Analyse der Jahresarbeitszahlen vor dem Hintergrund des energetischen Zustands der Gebäude** zeigt keinen Zusammenhang zwischen Baualter der Gebäude und Jahresarbeitszahlen. Ausschlaggebend sind vielmehr die erforderlichen Betriebstemperaturen für die Wärmepumpe, maßgeblich bestimmt durch die Sanierungstiefe und die Art und Auslegung des Wärmeübergabesystems. ...

Die **Analyse von acht Anlagen mit Kombispeichern** ergab, dass eine klare, baulich wirksame Zonentrennung (Anschluss- und Sensorposition, ggf. Trennblech) Raumheizung und Trinkwassererwärmung auf getrennten Temperaturniveaus ermöglicht. Somit können Misch- und damit Energieverluste minimiert werden. Ungünstig platzierte Heizkreis- oder Zirkulationsanschlüsse begünstigen hingegen eine Wärmeentnahme für die Raumheizung auf Trinkwarmwasser-Niveau und verschlechtern damit die Effizienz der Anlage. ...

Die **Auswertung der Schalthäufigkeiten** der Außenluft/Wasser-Wärmepumpen zeigt eine große Streuung von 550 bis 15.800 Verdichterstarts pro Jahr. 90 % der Anlagen weisen weniger als 5.500 Starts je Jahr auf, etwa ein Drittel liegt bei maximal 2.000. Es zeigt sich, dass die Auslegung der Wärmepumpe nicht allein ausschlaggebend für die Anzahl der Schalthäufigkeiten ist. So können auch Wärmepumpen, deren maximale Heizleistung bei -7 °C mehr als das Zweifache der faktischen Heizlast betragen, mit weniger als 4.000 Starts im Jahr betrieben werden. Gleichwohl werden sehr geringe Betriebsstarts von unter 2.000 nur von knapp dimensionierten Wärmepumpen erreicht. ...

Da der Startvorgang eines Verdichters mit einer Belastung der Bauteile verbunden ist, hat die Anzahl der Starts Einfluss auf die Lebensdauer des Verdichters. Sehr kurze Betriebsphasen von nur wenigen Minuten können mitunter direkte Schäden verursachen. Um hohe Schalthäufigkeiten zu vermeiden und einen energieeffizienten Betrieb zu unterstützen, sind längere Betriebszeiten anzustreben. ...

Die Analyse der **Auslegung der Anlagen** zeigt, dass die meisten untersuchten Wärmepumpen großzügig dimensioniert sind. ... Das Ergebnis zeigt, dass die Mehrheit der Anlagen bei -7 °C über eine deutliche Leistungsreserve verfügt. ...

Die **Langzeit-Schallmessungen** an fünf Außenluft/Wasser-Wärmepumpen zeigen: Tagsüber werden die Geräusche der Wärmepumpen häufig vollständig vom Hintergrundlärm überdeckt. An zwei Standorten korrelieren nachts Unterschiede im Beurteilungspegel am Nachbargebäude mit dem Betrieb der Wärmepumpe. Die Unterschiede liegen durchgängig unter 15 dB(A), meist sogar unter 10 dB(A) und sind stark durch die Standortbedingungen (Abstände, Aufstellort) sowie saisonalen Hintergrundgeräuschen (Verkehr, Vogelgesang, Außenaktivitäten) geprägt. ...

Basierend auf den Rückmeldungen der Akteure und der Analyse der Messdaten wurde eine Prozessmatrix erstellt, bei der für die einzelnen Phasen Planung, Installation und Inbetriebnahme mögliche Qualitätsdefizite beschrieben wurden.

Darauf basierend wurden **Maßnahmenpakete** entwickelt. Die Messungen an 77 Anlagen zeigen typische Schwachstellen im Prozess.

- Die angebotenen Wärmepumpen sollten anhand von COP bzw. SCOP EN 14825-Werten verglichen werden, um neben den Kosten auch die Effizienz des Gerätes in den Blick zu nehmen.
- Wichtig ist, die Auslegung der Heizkörper raumweise zu überprüfen, um ggf. gezielt klein dimensionierte Heizkörper auszutauschen und so die erforderliche Heizkreistemperatur abzusenken.
- Der Zirkulationsbetrieb kann den Energiebedarf erhöhen; daher ist hier eine Beratung zu deren Notwendigkeit sinnvoll.
- Kombispeicher sollten anhand von dessen Qualitätskriterien ausgewählt werden.
- Fehler in der Hydraulik (z. B. falsche Anschlussreihenfolge) müssen vermieden werden;
- Neben der Wahl des Hydraulikkonzeptes ist auch die Dimensionierung der Komponenten für einen stabilen Anlagenbetrieb entscheidend.
- Heizstab- und Kesselbetrieb sollten überwacht und optimiert werden, um einen unnötigen Betrieb dieser Zusatzheizungen zu vermeiden.
- Häufiges Takten verkürzt die Lebensdauer der Wärmepumpe. ...
- Anlagenbetreibende sollten in die Bedienung und Fehlererkennung ihrer Anlage eingewiesen werden. Unterstützend ist es wichtig, die Betriebsdaten zentraler Kennwerte im Kontext von Grenz- bzw. Erwartungsbereichen in Effizienzanzeigen darzustellen.
- Fernüberwachungen mit (teil-)automatisierter Prüfung zentraler Parameter sind eine weitere Möglichkeit, einen (deutlich) ungünstigen Anlagenbetrieb frühzeitig zu bemerken.

Weiterhin ist es wichtig die Heizkurve und weitere Parameter, welche die Betriebstemperatur und die Schalthäufigkeit beeinflussen, sorgfältig einzustellen; automatisierte Hinweise sind hilfreich.

2. Qualitätssicherungsmaßnahmen für effizienten Wärmepumpenbetrieb

2.1. Prozessschritt beim Wärmepumpeneinbau

Studie: **Seite 199ff**

Die Qualitätssicherung von Wärmepumpen gewährleistet ihre dauerhafte Funktionsfähigkeit, Leistungsstabilität und Wirtschaftlichkeit. Unzureichend geprüfte oder fehlerhaft installierte Anlagen weisen geringere Effizienzwerte und verkürzte Lebensdauern auf, was Betriebskosten und THG-Emissionsbilanzen verschlechtert. Für ausführende Betriebe und Hersteller führt eine lückenhafte Qualitätssicherung zu mehr Reklamationen, höherem Serviceaufwand und einem Imageschaden. Nutzerinnen und Nutzer sehen sich neben steigenden Energiekosten auch mit vermindertem Komfort, möglicher Hygieneproblematik und erhöhtem Wartungsaufwand konfrontiert. Übergreifend schwächt eine Häufung von Qualitätsmängeln das Vertrauen in Wärmepumpen als zukunftsfähige Technologie und gefährdet damit die Erreichung klimapolitischer Ziele.

Der Planungs- und Einbauprozess von Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern gliedert sich in mehrere Arbeitsphasen, die wiederum unterschiedliche Prozessschritte umfassen. In Tabelle 12 findet sich ein vereinfachtes Schema des Ablaufs von der ersten Kundenberatung bis zum Betrieb der Wärmepumpe, welches die Phasen, Prozessschritte und Akteure darstellt.

- Die Phase A „Beratung, Planung & Angebot“ beinhaltet alle planerischen und administrativen Arbeiten der Auftragsanbahnung und Planungstätigkeiten.
- Phase B „Installation“ adressiert die Montagetätigkeiten vor Ort (und ggf. in der Werkstatt).
- Phase C „Inbetriebnahme & Einweisung“ umfasst die Tätigkeiten ab der Installation, bis die Anlage in Betrieb ist.
- Mit Phase D „Wartung & Betrieb“ werden alle nachgelagerten Prozessschritte zusammengefasst, nachdem die Anlage in Betrieb ging.

Die Abfolge innerhalb der Phasen kann je nach Bauvorhaben und beteiligter Betriebe variieren. Insbesondere die Mitarbeit externer Betriebe wie Elektro-Fachunternehmen oder Energieberatern ist optional und hängt häufig von der personellen Besetzung des SHK-Betriebs ab. Die Übergänge zwischen den Akteuren und den gezeigten übergeordneten Schritten sind fließend und durch einen kontinuierlichen Informationsaustausch geprägt.

Als Akteure sind nur die direkt involvierten Akteure dargestellt. Wärmepumpenhersteller und Großhändler sind in diesem Schema nicht explizit aufgeführt, da sie nur indirekt in den Installationsprozess eingreifen. Dennoch spielen sie insbesondere in der technischen Planung und in der Beratung der Planenden eine wichtige Rolle. So bieten viele Hersteller Standard-Hydraulikschemen für typische Anlagenkonfigurationen, auf welche die Planenden zurückgreifen können. Auch in der Phase C Inbetriebnahme stehen die Wärmepumpenhersteller den Handwerksbetrieben bei Bedarf dem Werkskundendienst unterstützend zur Seite. Je nach Hersteller sowie vereinbarten Wartungs- bzw. Servicevertrag sind Werkskundendienste bei der Inbetriebnahme auch verpflichtend vor Ort.

Anlagenmängel können ihren Ursprung in verschiedenen Arbeitsschritten der Planungs- und Installationsphase haben. In den folgenden Kapiteln sind verschiedenartige Einflüsse auf die Qualität von Wärmepumpenanlagen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung aufgeführt. Für die bessere Einordnung in den Gesamtprozess werden diese sofern möglich - mit der in Tabelle 12 aufgeführten Codierung der Phasen und Akteure versehen: bspw. B3 für Prozessschritte, die von Monteuren in der Installationsphase durchgeführt werden.

Tabelle 12: Vereinfachte Darstellung der wichtigsten Prozesse beim Wärmepumpeneinbau.
Prozessschritte nach Phasen (chronologisch) und direkt beteiligten Akteuren.

Phase / Akteure	1 Anlagenbetrei- bende	2 SHK: Planende	3 SHK: Montierende	4 Ggf. Energie- beratende	5 Ggf. Externe
A Beratung, Planung & Angebot	Anfrage, Zusammenstell- en Unterlagen, Angebots- prüfung inkl. Service- bzw. Wartungs- verträge, Auftrags- erteilung	Bestandsaufnah- me, Beratung, Heizlast- berechnung, Angebots- erstellung, Auslegung der Komponenten, Hydraulik- schema, Berechnung hydraulischer Abgleich, Administration		iSFP, Beratung, Heizlastbere- chnung, Berechnung hydrau- lischer Abgleich, Antrag Förderung	Quellerschlie- ßung
B Installation	Sichtkontrolle	Technische Beratung, Übergabe, Planung	Demontage, Aufstellung, Montage, Verrohrung, Anbindung Bestand, Elektroarbeiten, Umsetzung hydraulischer Abgleich		Quellerschlie- ßung, Erdarbeiten, Fundamente, Elektro- arbeiten, Kältetechnik, Isolierung
C Inbetrieb- nahme & Einweisung	Einweisung, Abnahme	Inbetriebnahm- e, Einstellung Regelung, Einweisung	Inbetrieb- nahme, Einstellung Regelung, Einweisung		Inbetrieb- nahme, Einstellung Regelung, Einweisung (Werkskunde- ndienst)
D Wartung & Betrieb	Umstellen Sommer-/ Winterbetrieb, Betriebs- kontrolle	Wartung, Einstellung der Anlage, Mängel- beseitigung	Wartung, Einstellung der Anlage, Mängel- beseitigung		

2.2. Maßnahmen der Qualitätssicherung - Ableitung aus den Messungen

Das Monitoring von 77 im Feld installierten Wärmepumpenanlagen ermöglicht wertvolle Einblicke in potenzielle Ursachen für Qualitätsminderungen.

Zwar ist die Stichprobe in Anzahl und Anlagenkonfigurationen zu heterogen, um belastbare, statistisch signifikante Aussagen zu treffen - hierfür bräuchte es jeweils deutlich mehr Einheiten bei weitgehend identischer Konfiguration und vergleichbaren Umgebungsbedingungen. Diese Heterogenität der Anlagen in „WP-QS im Bestand“ birgt jedoch zugleich ein Potenzial: Sie erlaubt die gleichzeitige Analyse zahlreicher System und Parameterkombinationen sowie ihrer gegenseitigen Wechselwirkungen.

Auf Basis der Analyse der Messdaten lässt sich nachvollziehen, welche Planungs- oder Installationsfehler in dem betrachteten Anlagenpool besonders häufig auftreten, wo sich ineffiziente Betriebszustände zeigen. Die im Folgenden beschriebenen Beobachtungen entstammen einem nicht statistisch auswertbaren Erfahrungsschatz, können dennoch aufgrund ihrer Häufung als typische Fehlerquellen gedeutet werden. Im nachfolgenden Kapitel werden diese häufigen Ursachen für Betriebsfehler und Ineffizienzen dargestellt und Empfehlungen gegeben, mit welchen Maßnahmen eine Qualitätssicherung dieser Aspekte umgesetzt werden kann.

2.2.1. Angebotsprüfung

Um ein möglichst effizientes Heizsystem zu erhalten, ist das Fabrikat der Wärmepumpe mitentscheidend. Die vorliegenden Angebote sollten darum sorgfältig geprüft und verglichen werden. Für fachunkundige Personen ist die Einordnung der angebotenen Anlagen schwer zu beurteilen. Ein Hinweis auf die Anlagengüte geben die COP-Werte der Wärmepumpen an vorgegebenen Betriebspunkten.

Maßnahme

A1 Der Vergleich der COP-Werte auf den technischen Datenblättern kann auch von Laien durchgeführt werden und als Hinweis für den Gütegrad der angebotenen Wärmepumpen dienen. Die COP-Werte für verschiedene Betriebspunkte sollten falls nicht im Angebot enthalten - beim anbietenden Betrieb erfragt werden.

Link zur Liste mit COP-Wert von Wärmepumpen https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee_waermepumpen_anlagenliste_bis_2020.html (Anmerkung der Arbeitsgruppe)

2.2.2. Auslegung Heizkörper

Die Wärmeübergabesysteme haben Einfluss auf die erforderliche Heizkreistemperatur. Der sogenannte „ungünstigste Heizkörper“ beeinflusst die erforderliche Heizkreistemperatur.

Die Messungen zeigen, dass Auslegungstemperaturen von 55 °C und deutlich weniger nicht nur mit Flächenheizungen, sondern auch mit Heizkörpern funktionieren können. Ein teurer und aufwändiger Umbau auf Flächenheizungen ist deshalb nicht nötig.

Maßnahme

A2/A4 Beratung über Wärmeübergabesysteme. Anlagenbetreibende sollten über die Möglichkeit des selektiven Heizkörperaustauschs informiert werden. Auch eine Erläuterung - zum Beispiel durch Energieberatende -, **dass die raumweise Heizlastberechnung nach DIN 12831 für sehr selten vorkommende, außergewöhnlich kalte Außentemperaturen erfolgt**, kann für die Entscheidungsfindung hilfreich sein.

Siehe Eignungstest für Wärmepumpe: Broschüre SparPfad ... (Anmerkung der Arbeitsgruppe).

2.2.3. Dimensionierung der Wärmepumpe

Die Messungen zeigen für viele Anlagen einen monovalenten Betrieb und bezogen auf die Verbrauchswerte eine großzügige Dimensionierung ... , die aber nicht hauptsächlich für ein extrem häufiges Schalten („Takten“) waren.

Maßnahme

Bei der Ermittlung der Heizlast gilt es größtmögliche Sorgfalt mit Blick auf die Eingangsdaten walten zu lassen, die Ergebnisse eines Rechenverfahren mit den Ergebnissen verbrauchabhängiger Verfahren zu plausibilisieren und keine „ausgedachten“ Sicherheitszuschläge zu berücksichtigen. Ferner sind vergangene und zukünftig geplante Nutzerverhalten bei der Ermittlung der Gebäudeheizlast mit in Betracht zu ziehen.

2.2.4. Einsatz der Zirkulation

Zirkulationsleitungen sind in Ein- und Zweifamilienhäusern zur Wahrung der Trinkwasserhygiene nicht vorgeschrieben. In vielen der Messobjekte ist aus diesem Grund keine Trinkwasserzirkulation verbaut. Dort, wo sie jedoch eingebaut ist und lange tägliche Laufzeiten vorweist, sind die Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen nicht zu vernachlässigen. So kann der durch Zirkulationsverluste verursachte Energiebedarf ähnliche Größenordnungen wie derjenige der Warmwasserzapfung erreichen.

Maßnahme

A2/A4 Eine Beratung über die Zusammenhänge der Zirkulationsverluste durch die Installationsbetriebe bzw. Planungsbüros, um für die Anlagenbetreibenden eine Entscheidungshilfe zu bieten.

Alternative: Stilllegung der Zirkulation bzw. Bedarfszirkulation (Anmerkung der Arbeitsgruppe).

2.2.5. Hydraulik

In der Planungsphase und bei der Installation von Wärmepumpenanlagen treten verschiedene Fehlerarten in der Hydraulik auf. So kann bereits der Hydraulikplan Fehler enthalten, die dann zwar plangerecht aber im Ergebnis falsch eingebaut werden. Oder die Planung ist korrekt, die Umsetzung entspricht dieser jedoch nicht und ist somit fehlerhaft. Insbesondere (jedoch nicht ausschließlich) bei komplexeren Anlagen, wie bspw. bivalenten Systemen, treten sowohl in der Planung als auch in der Installation gehäuft Wärmepumpenbetrieb Fehler auf. Beispiele für typische Hydraulikfehler sind:

- Fehlenden Rückschlagklappen
- Abzweige / Zuleitungen in einer falschen „falschen Reihenfolge“ an eine Leitung angeschlossen

Neben Fehlern, die bspw. zu Fehlströmungen führen, gibt es in Bezug auf die Effizienz und dem Betriebsverhalten (bspw. der Schaltheufigkeit) günstigere und ungünstigere Systemkonzepte und Komponentendimensionierungen.

Maßnahmen

Aufgrund der Vielfalt der Fehlerquellen und Auswirkungen der Hydraulik auf den Anlagenbetrieb gibt es Empfehlungen zur Qualitätssicherung, die verschiedene Akteure und Handlungsfelder adressieren:

- **B3** Einfache Konzepte sind für alle Beteiligten leichter zu verstehen und zu installieren. Sie bestehen oft aus weniger Bauteilen und reduzieren so das Risiko einer falschen Verrohrung.

- *Keine Hybridanlagen (Anmerkung der Arbeitsgruppe).*
- **A2** Die Verwendung von Herstellerschemen anstatt individuell erstellter Schemen verringert die Wahrscheinlichkeit von Planungsfehlern
- **A2 / B3** Das Spezialisieren auf wenige Typenschemen, die für alle Bauvorhaben weitgehend identisch ausgeführt werden, steigert die Installationsroutine
- **A2 / B3** Zurückgreifen auf vorgefertigte Hydraulikbauteile/-module
- **A2 / B3** Steigern der Qualifikation durch gezielte Schulungen
 - **A2 / A4 / B3** Durchführen des hydraulischen Abgleichs unterstützt die gleichmäßige Wärmeverteilung in den einzelnen Räumen

2.2.6. Heizstab

Der unerwünschte (Dauer-)Betrieb von Heizstäben tritt in der Praxis selten auf, ist aber möglich. Der häufige Betrieb geht mit starken Effizienzeinbußen und daraus resultierend hohen Betriebskosten für die Anlagenbetreibenden einher. Als Grund kann eine ungünstige Parametrierung beobachtet oder die Nutzung als Backup bei temporärem Ausfall der Wärmepumpe sein.

Maßnahmen

- **A2 / C2** Eine gesonderte Ausweisung der Betriebsstunden und/oder des Strombezuges des Heizstabes und der Wärmepumpe in der Effizienzanzeige lässt (hohen) Heizstabbetrieb schnell erkennen
- **D1** Automatisierte Benachrichtigungen an die Anlagenbetreibenden, wenn es zu einem unplanmäßigem Heizstabeinsatz kommt
 - Eine Betriebssperre für den Heizstab oberhalb des Bivalenzpunktes

2.2.7. Heizkurveinstellung

Die Messungen zeigen, dass die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe mit steigender Außenlufttemperatur höher ausfallen als man dies nach typischen Heizkurven erwartet. Flache Heizkurven auf einem „hohen“ Temperaturniveau sollten vermieden werden.

Maßnahmen

- **C2 / C5 / D2 / D5** Überprüfen der Parametrierung der Heizkurve
- **C5 / D5** Hilfreich wären automatisierte Hinweise vom Regler der Wärmepumpe an die Person, die Parametrierungen vornimmt, wenn eine Parametrierung sich möglicherweise ungünstig auf die Anlageneffizienz oder das Taktverhalten auswirkt.
- *Richtwert: Vorlauftemperatur < 55°C bei -10°C Außentemperatur (Anmerkung der Arbeitsgruppe).*

2.2.8. Schalthäufigkeit

Der Startvorgang eines Verdichters ist mit einer Belastung der Bauteile verbunden; die Anzahl der Starts wirkt sich auf die Lebensdauer des Verdichters aus. Sehr kurze Betriebsphasen von wenigen Minuten können mitunter direkte Schäden verursachen. Hohe Schalthäufigkeiten sind vorzubeugen und auch hinsichtlich der Effizienz sind längere Betriebsphasen anzustreben. ...

Maßnahmen zur Vermeidung von häufigem Takten

- *Maßnahmen für Hersteller nicht aufgelistet (Anmerkung der Arbeitsgruppe).*

- Falls möglich, Begrenzung der elektrischen Leistung (Anmerkung der Arbeitsgruppe).

2.2.9. Defekt an Wärmepumpe, Kältemittelverlust o.ä.

Zwei der untersuchten Anlagen wiesen über die Dauer von über einem Jahr eine sehr geringe Effizienz auf, bevor die Ursache behoben.

Maßnahmen

- **C** Als Maßnahme zur Qualitätssicherung ist die Einweisung der Anlagenbetreibenden zum Wärmepumpensystem und eine Erläuterung zum Erkennen möglicher Alarmzeichen zweckdienlich. Technisch unterstützend kann eine Effizienzanzeige, z.B. als Effizienzcontroller, über eine App oder am Display der Wärmepumpe fungieren.
- **C1** Ein klassischer Wartungsvertrag hat jährliche Intervallzeiten; es kann je nach Hersteller jedoch auch eine kontinuierliche Fernüberwachung in Auftrag gegeben werden.

2.2.10. Raumheizung in den Sommermonaten

Eine Freigabe der Wärmepumpe zur Raumheizung in den Sommermonaten bewirkt, dass die Wärmepumpe den Heizungsspeicher immer „warm hält“. Auch in Systemen ohne Heizungsspeicher wird die Wärmepumpe ohne Umschaltung vom „Wintermodus“ in „Sommermodus“ oftmals kurzzeitig in Betrieb genommen, wenn die Außenlufttemperatur (weit) über der Heizgrenze des Gebäudes liegt. Hiermit wird zum einen nicht notwendige Wärme bereitgestellt und somit unnötig elektrische Energie aufgewendet. Zum anderen könnten diese Verdichterstarts, die aufgrund der fehlenden Wärmeabnahme oftmals mit kritisch kurzen Betriebsphasen verbunden sind, vermieden werden.

Maßnahmen zur Vermeidung des Betriebes der Wärmepumpe im Raumheizungsmodus außerhalb der Heizperiode

C Einweisung der Anlagenbetreibenden im Rahmen der Inbetriebnahme in die Einstellungsmöglichkeiten zum Sommerbetrieb und deren Auswirkungen. Einstellung der zugehörigen Parameter durch das Fachunternehmen in Abstimmung mit den Anlagenbetreibenden im Rahmen der Inbetriebnahme.

Achtung: Die Initiative „Hochdorf 2035 klimaneutral“ stellt als Handlungsanleitung zum Heizungstausch die **Broschüre „SparPfad: Tausende Euro beim Heizungstausch mit Wärmepumpe sparen!“** mit einer Vielzahl von Arbeitsunterlagen zur Verfügung (<https://hochdorf2035klimaneutral.de/angebote-2/>).

3. Einflussgrößen auf Effizienzkennwerte beim Betrieb einer Heizanlage mit Wärmepumpe

3.1. Definition der Effizienz

Studie: Seite 66ff

Die **Effizienz der Wärmepumpe im realen Betrieb** wird durch die **Arbeitszahl**, dem Quotienten aus gemessener bereitgestellter thermischer und gemessener aufgewendeter elektrischer Energie beschrieben.

Es existieren verschiedene Definitionen der Arbeitszahl (Anmerkung der Arbeitsgruppe).

...

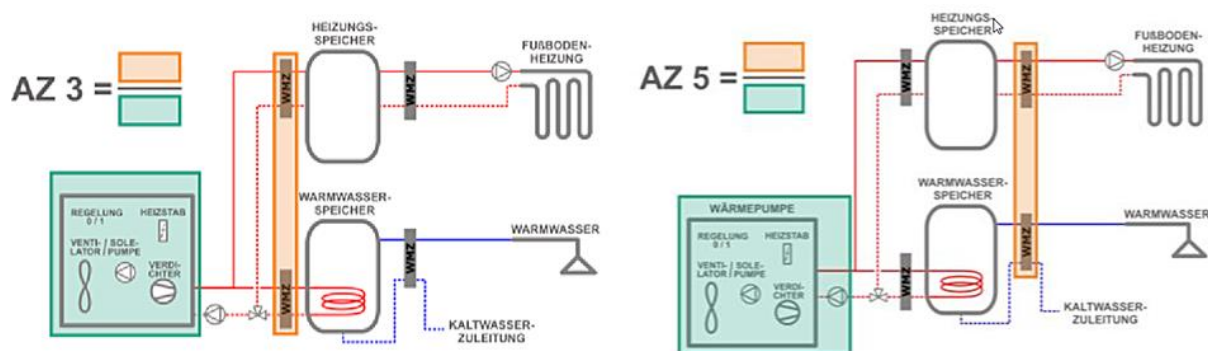


Abbildung 45: Darstellung der Bilanzgrenzen zur Ermittlung der JAZ 3 und 5 am Beispiel eines vereinfachten Schemas einer Außenluft/Wasser-Wärmepumpenanlage

Der Unterschied zwischen Bilanzgrenze 2 und 3 betrifft den Elektroheizstab, der bei Bilanzgrenze 2 weder thermisch noch elektrisch berücksichtigt wird. Die Position der Heizstäbe, ob in der Wärmepumpe, in den Speichern oder an anderer Stelle, spielt bei der Betrachtung keine Rolle. Bei Bilanzgrenze 5 steht die Systemeffizienz im Fokus. Hierbei wird die thermische Energie nach etwaigen Speichern gemessen.

3.2. Effizienz und Einflussgrößen

3.2.1 Erzeugerarbeitszahl (Arbeitszahl 3)

Studie: Seite 66ff

Wärmequelle: Außenluft

Fokus: Kombiniertes Betrieb - Raumheizung und Trinkwassererwärmung

In Abbildung 46 werden für 52 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen die JAZ-Werte nach Bilanzgrenze 3 dargestellt. Bei der Anlagenauswahl wurde lediglich auf die Wärmequelle und die Einhaltung der Bilanzgrenze 3 für die JAZ geachtet. Für die drei fehlenden Außenluft/ Wasser-Wärmepumpen (insgesamt 55 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen in der Messung) kann lediglich die JAZ 3 im Raumheizmodus ermittelt werden. Die JAZ 3 ist auf der linken vertikalen Achse aufgetragen. Ebenso auf die linke vertikale Achse bezieht sich, zwischen 0 und 1, die vom Heizstab (schwarz) und die vom Verdichter aufgenommene elektrische Energie (gelb). Die von der Wärmepumpe bereitgestellten Energieanteile zur RH (rot) und TWE (blau) sind in der Säule rechts daneben dargestellt. Bei bivalenten Systemen ist der Deckungsbeitrag des Gas- oder Ölkessels in Grün, der der Wärmepumpe in Hellgrau dargestellt. Die Angabe über der Anlagen-ID am unteren Rand der Grafik gibt einen gegebenenfalls fehlenden Messzeitraum in Prozent an.

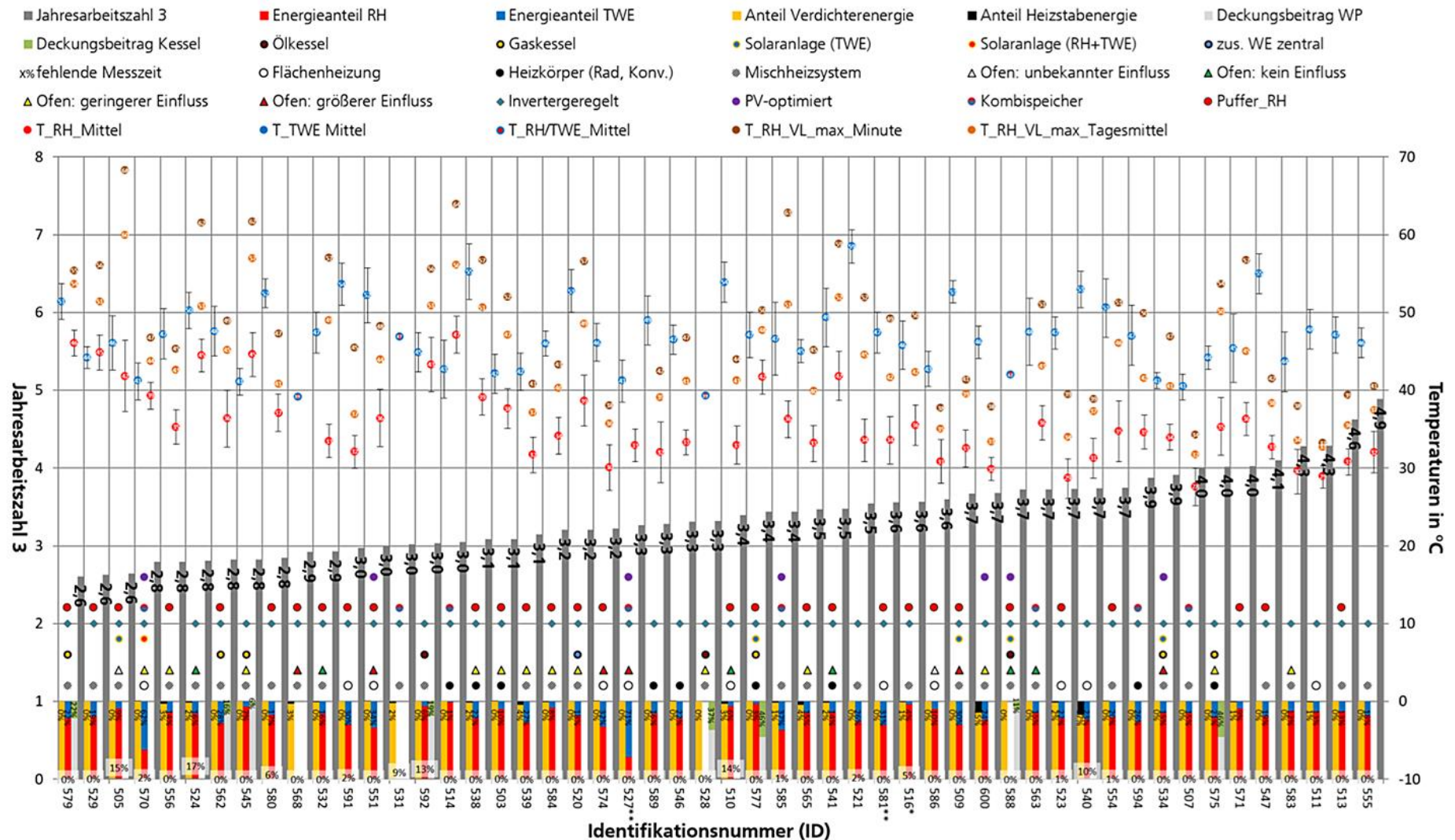


Abbildung 46 (Seite 70): Messergebnisse und Eigenschaften von 52 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen für die Auswertungsperiode 2024 (ID 516: Ergebnisse 2023, ID 581 (ID 527) Gebäude BJ. 2006 (2009))

Auf der rechten vertikalen Achse werden als Kreise die über den Messzeitraum ermittelten Temperaturen zur Raumheizung (rot) und Trinkwassererwärmung (blau) aufgetragen (jeweils der Mittelwert aus energetisch gewichteten Vor- und Rücklauftemperaturen). Die jeweils dargestellten Bandbreiten geben die dazugehörigen energetisch gewichteten mittleren Vor- und Rücklauftemperaturen an. Konnten die Betriebsmodi RH und TWE (wie u.a. bei ID 528) messtechnisch nicht unterschieden werden, steht der rote Kreis mit blauem Rand für die energetisch gewichtete mittlere Senktemperatur über beide Betriebsmodi hinweg. Als braune Kreise werden die im Messzeitraum maximal von der Wärmepumpe zur RH bereitgestellten Vorlauftemperaturen dargestellt. Der dunkelbraune Kreis steht dabei für einen teilautomatisiert ermittelten maximalen Minutenwert. Maximalwerte, die durch Kessel- oder Heizstabbetrieb beeinflusst sind, wurden herausgefiltert. Der hellbraune Kreis steht für die maximal gemessene Tagesmitteltemperatur zur Raumheizung bereitgestellt von der Wärmepumpe und/oder zweitem Wärmeerzeuger. Als Wärmequellentemperaturen werden die Mittelwerte aus energetisch gewichteten Solevor- und Solerücklauftemperaturen für die Erdreich-Wärmepumpen dargestellt. Bei einigen Anlagen sind die maximal gemessenen Vorlauftemperaturen im Heizkreis signifikant höher als das energetisch gewichtete Jahresmittel. Neben dem grundlegenden Einfluss der Heizkurvenregelung können Heizkurven während der Messperiode auch verstellt worden sein, was in Teilen die teils signifikanten Differenzen zwischen Maximal- und Mittelwerten erklärt.

Eine Auswahl charakteristischer Eigenschaften der Messobjekte wird durch verschiedene Symbole dargestellt. Anlagen mit zusätzlichem Wärmeerzeuger, wie einem fossil betriebenen Kessel (Gas: schwarzgelber Kreis; Heizöl: schwarzbrauner Kreis), Solarthermieanlage (RH und TWE: gelbroter Kreis, TWE; gelbblauer Kreis) sowie einem zusätzlichen Ofen (Dreiecke) sind entsprechend gekennzeichnet. Bei den Kamin- bzw. Schwedenöfen gibt die Färbung der Dreiecke deren Einfluss auf den Deckungsbeitrag zur Raumheizung wieder (wobei zwischen keinem (grün), geringem (gelb), größerem (rot) sowie unbekanntem (weiß) Beitrag unterschieden wird. Die Wärmeübergabesysteme (WÜS) werden als Kreise dargestellt. Sind ausschließlich Flächenheizungen installiert sind die Punkte weiß, bei Heizkörpersystemen schwarz. Kombiniert beheizte Gebäude sind in der Regel mit Fußbodenheizungen und Heizkörpern ausgestattet und in der Grafik entsprechend schraffiert dargestellt. Weitergehende Informationen zu den WÜS finden sich in Kapitel 4.4.1.

Leistungsgeregelte Wärmepumpen mit Inverter sind mit einer blauen Raute gekennzeichnet. Wenn die Anlage während des Messzeitraumes PV-optimiert betrieben wurde ist dies durch einen lila gefärbten Kreis gekennzeichnet. Sind die Anlagen mit einem Kombispeicher ausgestattet ist dies durch einen blau-roten Kreis dargestellt. Anlagen, die neben dem Trinkwasserspeicher auch über einen Pufferspeicher für die Raumheizung verfügen sind durch einen roten Kreis markiert. Verfügen die Anlagen weder über einen Kombi- noch über einen Pufferspeicher, kann auch eine hydraulische Weiche installiert sein.

Mit Blick auf die Wärmeübergabesysteme (WÜS) zeigt die Abbildung 46, dass die Wärmepumpen beim Einsatz von Fußbodenheizungen (FBH) tendenziell geringere Temperaturen zur Raumheizung bereitstellen. **Dies resultiert allerdings nicht zwangsläufig in höheren Jahresarbeitszahlen.**

Wärmepumpen, die ausschließlich FBH nutzen, sortieren sich über nahezu die gesamte Bandbreite an Jahresarbeitszahlen ein. ...

Bei ausschließlicher Nutzung von Heizkörpern wurden im Mittel höhere Temperaturen gemessen. Während bei diesen WÜS die mittleren Heizkreismitteltemperaturen bei 38,5 °C liegen, wurden maximale Vorlauftemperaturen von 63,9 °C gemessen. Bezüglich der maximalen Vorlauftemperatur bei Heizkörper-Systemen sind die Anlagen ID 594 mit 49,9 °C und ID 575 mit 53,7 °C hervorzuheben. Beide Anlagen erreichen überdurchschnittliche JAZ von jeweils 3,7 und 4,0. **Vor allem diese Beispiele, aber auch alle anderen in dieser Gruppe (minimale JAZ: 3,0), verdeutlichen, dass**

Wärmepumpen auch mit Heizkörpern, zumindest unter dem ökologischen Gesichtspunkt (vgl. Kapitel 77), zweckmäßig betrieben werden können. ...

Bei Anlagen mit kombinierten WÜS muss die Wärmepumpe im Mittel Temperaturen von 35,9 °C bereitstellen, die maximalen Vorlauftemperaturen liegen bei 68,3 °C. Zu dieser Gruppe gehört auch die Wärmepumpe ID 555 mit der höchsten JAZ von 4,9. Das Gebäude ist (fast ausschließlich) über Flächenheizung beheizt und nur im Bad ist zusätzlich ein Heizkörper installiert, der jedoch nur auf dem für die Fußbodenheizung erforderlichen Temperaturniveau betrieben wird. Bei dieser Anlage liegen die mittleren Heizkreistemperaturen bei sehr geringen 32,0 °C.

Bei allen Außenluft/Wasser-Wärmepumpenanlagen mit kombinierten WÜS stellt die Wärmepumpe die Wärme zur Raumheizung nur auf einem Temperaturniveau bereit. Sollte die für die FBH benötigte Heizkreistemperatur niedriger sein als für die Heizkörper erforderliche, wird diese durch Rücklaufbeimischung verringert. wie oben erwähnt es unter den untersuchten Anlagen mit kombinierten WÜS auch Beispiele gibt, bei denen die von der Wärmepumpe bereitgestellte Heizkreistemperatur bereits auf dem für FBH typischen Temperaturniveau liegt. **Die drei Wärmepumpen am unteren Ende der Skala mit einer JAZ von 2,6 arbeiten alle mit kombinierten WÜS und müssen im Mittel vergleichsweise hohe mittlere Temperaturen zur RH von 42 bis 46 °C bereitstellen.**

Ein direkt quantifizierbarer Effizienzeinfluss besteht durch den Einsatz von Elektroheizstäben.

Entsprechend der gewählten Betriebsstrategie und der Dimensionierung der einzelnen Wärmeerzeuger sollten die Heizstäbe erst unterhalb einer bestimmten Außenlufttemperatur zum Einsatz kommen. An dieser Stelle sei auf die im Mittel hohen Außenlufttemperaturen mit wenigen negativen Spitzen im Betrachtungszeitraum 2024 hingewiesen (vgl. Kapitel 4.6). Im Mittel über alle Anlagen liegen die Anteile der elektrischen Arbeit der Heizstäbe am gesamten Elektroenergieverbrauch (Bilanzgrenze 3) bei 1,3 % bzw. 1,6 %, wenn die bivalenten Systeme nicht mitbetrachtet werden. Bezogen auf einen Mittelwert von 3,40 hätten sich ohne den Einsatz der Heizstäbe JAZ-Werte (JAZ 2) von 3,44 bzw. 3,46 ergeben. Der Maximalwert in Höhe von 16,9 % wurde für die Anlage ID 540 ermittelt. Während die JAZ dieser Anlage bei 4,5 liegt, verringert sich die JAZ 3 infolge des Heizstabeinsatzes auf 3,7.

Da die mittlere Heizkreismitteltemperatur als Haupteinflussfaktor auf die Effizienz stark variiert, wird in der folgenden Abbildung 48 eine statistische Verteilung der JAZ der 49 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen (Anlagengruppe 1) dargestellt. Zusätzlich werden Fraunhofer ISE Abschlussbericht WP-QS im Bestand 76 | 241 zwei weitere Gruppen mit Heizkreismitteltemperaturen kleiner und größer als 35 °C gebildet und analysiert.

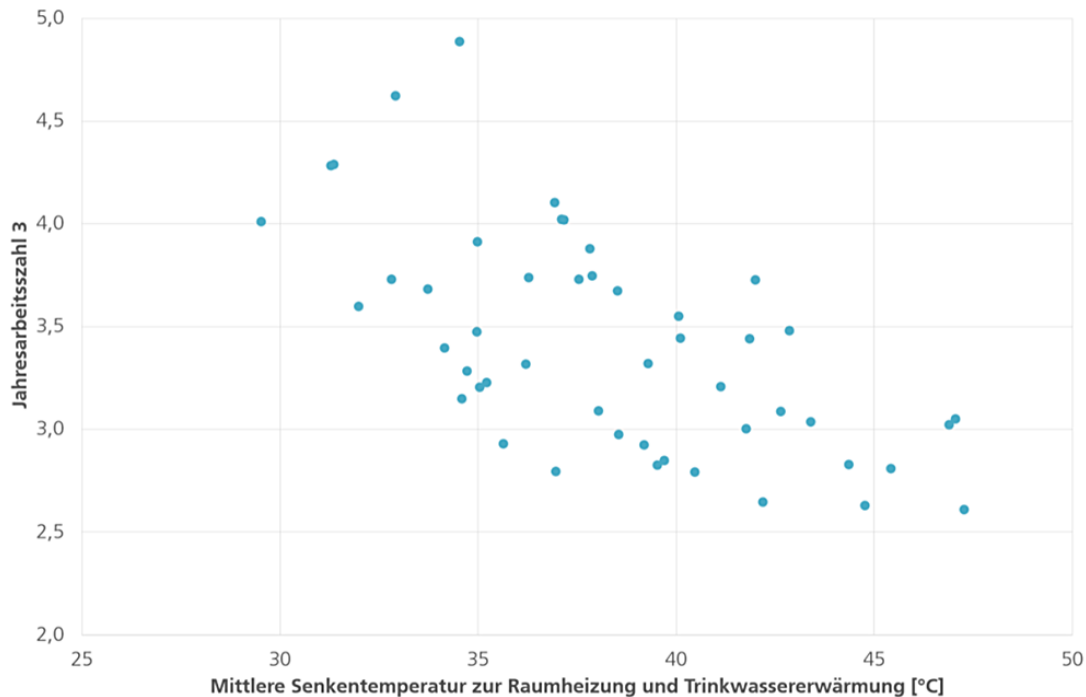


Abbildung 49 (Seite 77): JAZ 3 über die mittlere Temperatur zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung von 49 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen

3.2.3 Effizienzanalyse über mehrere Jahre

Bei Anlage ID 510 und ID 528 fällt die Arbeitszahl 3 in den Periode 21/22 und 22/23 um rund ein Drittel (ID 510) bzw. ein Viertel (ID 528) geringer aus als in 23/24, obwohl die Heizkreistemperaturen über den gesamten Zeitraum jeweils in der gleichen Größenordnung liegen. Die Hauptursache wird bei beiden Anlagen in einem Defekt der Wärmepumpe vermutet, der jeweils im Laufe des Jahres 2023 behoben wurde. ...

Bei der Anlage ID 555 fiel die Arbeitszahl im Jahr 2023 rund 15 % geringer aus als im Jahr 2022 und 2024 bei gleichbleibenden Heizkreistemperaturen. Ursache hierfür ist, dass im Jahr 2023 die Wärmepumpe für längere Zeit an der unteren Leistungsgrenze betrieben wird und hier die Effizienz hierbei geringer war als bei einem etwas höherem Teillastbetrieb.

In der folgenden Abbildung 58 soll anhand von Monatsmittelwerten der Einfluss, der sich im Jahresverlauf ändernden Betriebsbedingungen auf die Effizienz veranschaulicht werden. Auch hier werden die 22 Außenluft/Wasser-WP über einen Zeitraum von Juli 2021 bis Juni 2024 betrachtet. Die Monatsarbeitszahlen reichen von 2,7 im Dezember 2022 an dem eine mittlere Außenlufttemperatur von 2 °C vorlag bis 3,8 im Oktober 2022 und 2023 mit jeweils 13 °C Außenlufttemperatur.

Die höchsten Arbeitszahlen werden jeweils in der Übergangszeit erreicht. So liegt die durchschnittliche JAZ 3 der 22 Anlagen gemittelt über den Betrachtungszeitraum im Oktober bei 3,7 und im Mai bei 3,6. Zu dieser Zeit ist die Außenluft und somit die Wärmequellentemperatur mit 11,8 °C (Mai) und 15,5 °C noch relativ hoch. Gleichzeitig wird aber schon bzw. noch geheizt und dies bei moderaten Heizkreistemperaturen. Zum Winter hin geht die durchschnittliche JAZ 3 auf 2,9 im Januar zurück. Hier liegt die durchschnittliche Außentemperatur bei 3,1 °C und die durchschnittlichen Heizkreistemperaturen steigen von 35 °C auf 38 °C an. Im Sommer sind die Arbeitszahlen ebenfalls niedriger als in der Übergangszeit. Im Juli liegt sie ebenfalls bei 2,9. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass im Sommer nahezu ausschließlich die Trinkwassererwärmung mit der Wärmepumpe durchgeführt und keine Heizenergie bereitgestellt wird. Für die TWE muss die WP einen höheren Temperaturhub leisten, was in einer schlechteren Arbeitszahl resultiert, vgl. Abbildung 51.

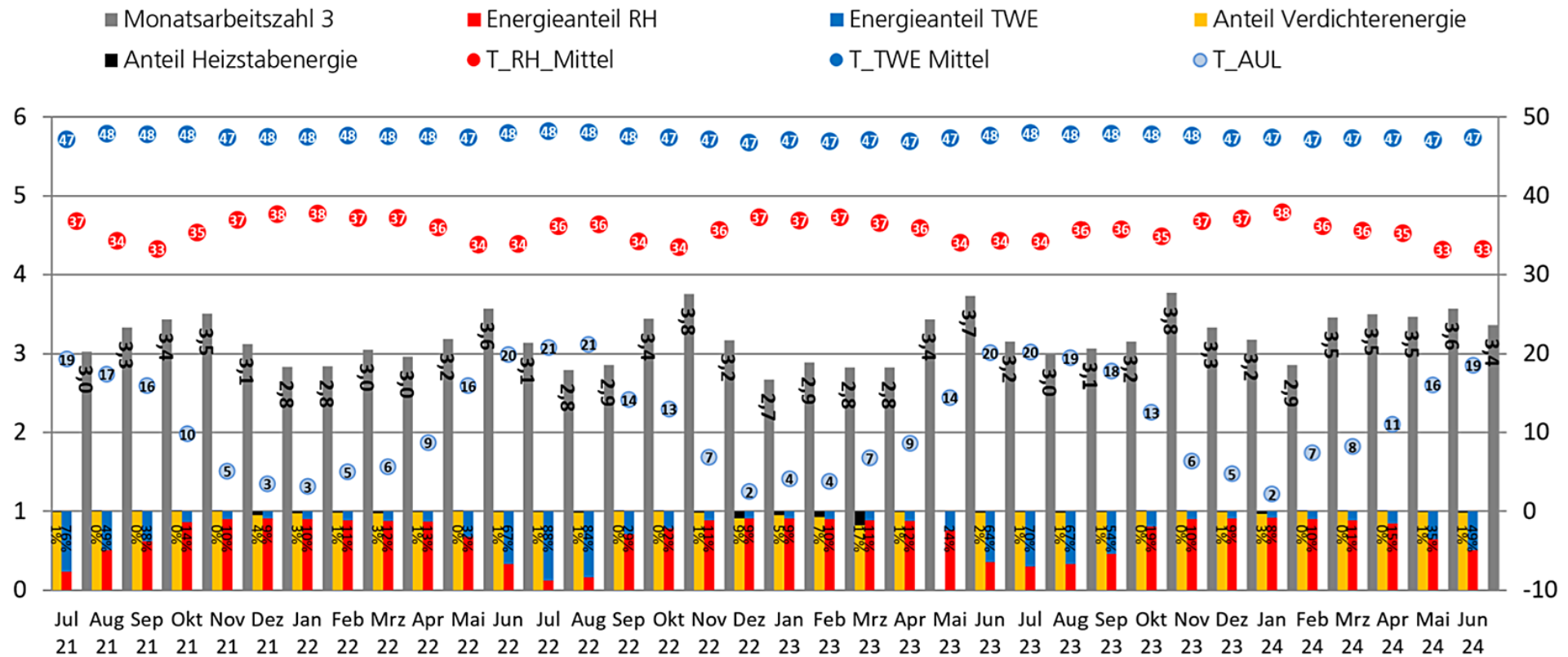


Abbildung 58 (Seite 88): Mittelwert Monatliche AZ 3 sowie weitere Betriebsgrößen von Juli 21 bis Juni 24

3.2.3 Effizienz und Betriebsbedingungen vor dem Hintergrund von Baualter und Sanierungsgrad der Gebäude

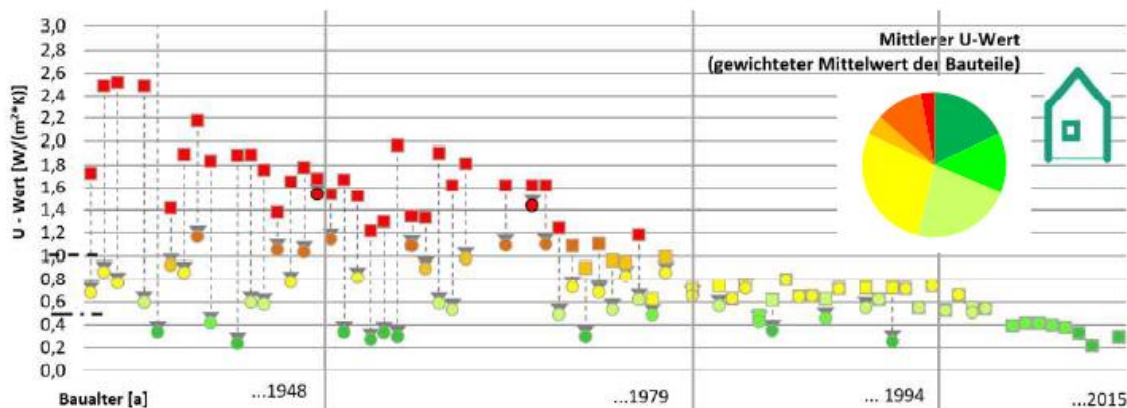
Studie: Seite 89ff

Wärmequelle: Außenluft

Fokus: Jahresarbeitszahl 3 nach Baualter und Sanierungsgrad des Gebäudes

Einschub: Baualter und Sanierungsgrad der Gebäude (Seite 39f)

In Abbildung 19 sind die Gebäudekennwerte dargestellt, welche die U-Werte der Außenbauteile flächengewichtet anhand der Bauteilgrößen eines Referenzgebäudes aufzeigen (siehe Kapitel 3.2). Charakterisierung der Jeweils 23 % der Gebäude mit einem Baualter vor 1979 fallen demnach in den Bereich Messobjekte schlechter als Wärmeschutzverordnung 1977 (rote Klassen) und besser als Wärmeschutzverordnung 1995 (grüne Klasse). Alle Objekte, die ab 1979 gebaut wurden, liegen über der WschV77, 41 % zudem über der WschV95.



In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse vor dem Hintergrund der Baujahre, der energetischen Qualität der Gebäude sowie der Wärmeübergabesysteme betrachtet.

Die Auswertung erfolgt für 49 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen, die sowohl zur RH als auch zur TWE eingesetzt wurden und für 2024 ausgewertet werden konnten. ...

Die Sortierung der Anlagen erfolgt zuerst gemäß Baualter in vier Gruppen, wobei sich die oberen Grenzen an den Wärmeschutzverordnungen 1977 und 1995, sowie an der Baualtersklasse bis 1948 gemäß (Loga et al. 2015) orientieren. Innerhalb der Baualtersperioden (*BAP Anmerkung der Arbeitsgruppe*) werden die Messobjekte nach der JAZ 3 sortiert.

Mit Blick auf die BAP wird deutlich, dass bei der untersuchten Stichprobe keine Abhängigkeiten zwischen der Effizienz der Wärmepumpen und dem Baualter der Gebäude bestehen. Die mittleren JAZ 3-Werte pro BAP liegen zwischen 3,3 und 3,5 und somit nahe beieinander. Auch die Bandbreiten der JAZ 3-Werte je BAP weisen eine vergleichbare Varianz in allen BAP auf. Zur Interpretation werden nachfolgend die Ergebnisse pro BAP betrachtet.

In der BAP bis 1949 (acht Anlagen) wurden alle Gebäude (sofern dahingehend ausgewertet) energetisch saniert und die Gebäudekennwerte im Istzustand reichen von den Grenzwerten der WSchV'77 bis zu einem Bereich der zwischen den Grenzwerten der WSchV'77 und '95 liegt. Die mittlere Temperatur zur RH liegt bei 38,4 °C und damit leicht oberhalb des Durchschnittswertes von 35,6°C. Lediglich die zwei Anlagen ID 579 und ID 592, beide mit kombinierten Wärmeübergabesystemen (WÜS), stellen mit 46 °C und 43 °C signifikant höhere Temperaturen zur Raumheizung bereit. Die beiden ausschließlich mit Heizkörpern betriebenen Wärmepumpen ID 503 und ID 575

werden im RH-Modus im Schnitt bei lediglich 38 °C bzw. 35 °C betrieben. Bei der Anlage ID 510 umfasste die Sanierung auch die komplette Umstellung auf FBH, was sich auch in den geringen Temperaturen zur RH von durchschnittlich 33 °C widerspiegelt. Vorteilhaft mit Blick auf die mittleren Temperaturen zur RH ist in dieser BAP die hohe Durchdringung von bivalenten Systemen: Vier von acht Anlagen sind zusätzlich mit einem Kessel ausgestattet.

Auch alle der 18 (von 21) dahingehend auswertbaren Gebäude der BAP 1949 bis 1978 wurden energetisch saniert, wobei die Bandbreite der aktuellen Gebäudekennwerte von WSchV'77 bis über den Grenzwert der WSchV'95 hinaus reichen. Die mittleren Temperaturen zur RH liegen bei 35,0 °C und damit geringfügig unter dem Mittelwert von 35,6 °C. Die Bandbreite reicht von 28 °C bis 45 °C. Die fünf Systeme mit FBH werden abgesehen von der ID 551 (36 °C) im Mittel mit sehr geringen Temperaturen von 29 °C bis 31 °C betrieben und verteilen sich mit Blick auf die JAZ 3-Werte nahezu über die gesamte Bandbreite. Demgegenüber sortieren sich die JAZ 3-Werte der Systeme mit ausschließlich Heizkörpern als Wärmeübertrager im mittleren Bereich ein, wobei die geringste JAZ 3 mit 3,3 von einer Anlage erzielt wird, die bei durchschnittlich lediglich 32 °C im RH-Modus betrieben wird. Die mit 45 °C höchsten mittleren Temperaturen zur RH wurden für Anlagen mit kombinierten WÜS ermittelt. Beide Wärmepumpen erreichen auch entsprechend unterdurchschnittliche JAZ 3-Werte von 2,6 (ID 529) und 2,8 (ID 545). Lediglich bei vier der 21 Systeme wurde zusätzlich ein Kessel genutzt.

Die Gebäude der Baualtersperioden 1979 bis 1994 sowie 1995 bis 2001 waren bereits mit den Vorgaben der jeweiligen Wärmeschutzverordnungen konfrontiert, was sich in den Gebäudekennwerten des Originalzustandes widerspiegelt. Eine nennenswerte energetische Sanierung erfolgte ausschließlich bei der ID 532. In der BAP bis 1994 lag die mittlere Temperatur zur RH bei 35,0 °C und damit geringfügig unter den bereits erwähnten 35,6 °C als Mittelwert über alle Anlagen. Die Bandbreite reicht von 30 °C bis 45 °C. Auch die Messobjekte dieser BAP werden von kombinierten WÜS dominiert, die bei mittleren Temperaturen zur RH von 30 °C bis 45 °C betrieben werden, während die drei Systeme mit Heizkörpern bei Temperaturen von lediglich 33 °C, 35 °C und 39 °C versorgt werden. Lediglich zwei der 14 Anlagen verfügen zusätzlich über einen Kessel. Die sechs Anlagen der BAP von 1995 bis 2001 werden bei durchschnittlichen Temperaturen zur RH von 35,7 °C betrieben und liegen damit auf dem Niveau des Mittelwertes über alle Anlagen. Die Bandbreiten haben ähnliche Ausmaße wie die in den übrigen BAP und reichen von 30 °C bis 47 °C. Damit ist der Höchstwert der Temperatur zur RH mit der Anlage ID 514 in der jüngsten BAP zu finden. Die 47 °C übersteigen auch die mittleren Temperaturen zur TWE, wobei der energetische Anteil zur TWE bei lediglich 1 % liegt. Der geringe Anteil des Betriebsmodus TWE ist auf die Einbindung eines Kombispeichers zurückzuführen. Da die Temperatur der Raumheizung in weiten Teilen des Jahres höher liegt als die erforderliche Temperatur zur TWE wird die obere Speicherzone aufgrund des thermischen Auftriebes von der unteren Speicherzone mit erwärmt. Trotz dieser Voraussetzungen erreicht die WP mit Heizkörpern eine JAZ 3 von 3,0. Die Bandbreite der JAZ 3-Werte würde sich ähnlich wie in den anderen BAP ergeben, wenn nicht die beiden Anlagen mit signifikantem Einsatz der E-Heizer (ID 600 und ID 540) in diese Kategorie fallen würden.

Mit Blick auf die untersuchte Stichprobe lässt sich ableiten, dass die Außenluft-Wärmepumpen in Gebäuden, die nach den Vorgaben der WSchV'77 oder späterer Verordnungen errichtet wurden, unter ökologischen Gesichtspunkten zweckmäßig betrieben werden können. Für ältere Gebäude trifft dies mindestens auch dann zu, wenn diese Gebäude auf das Niveau ähnlich der WSchV'77 saniert wurden.

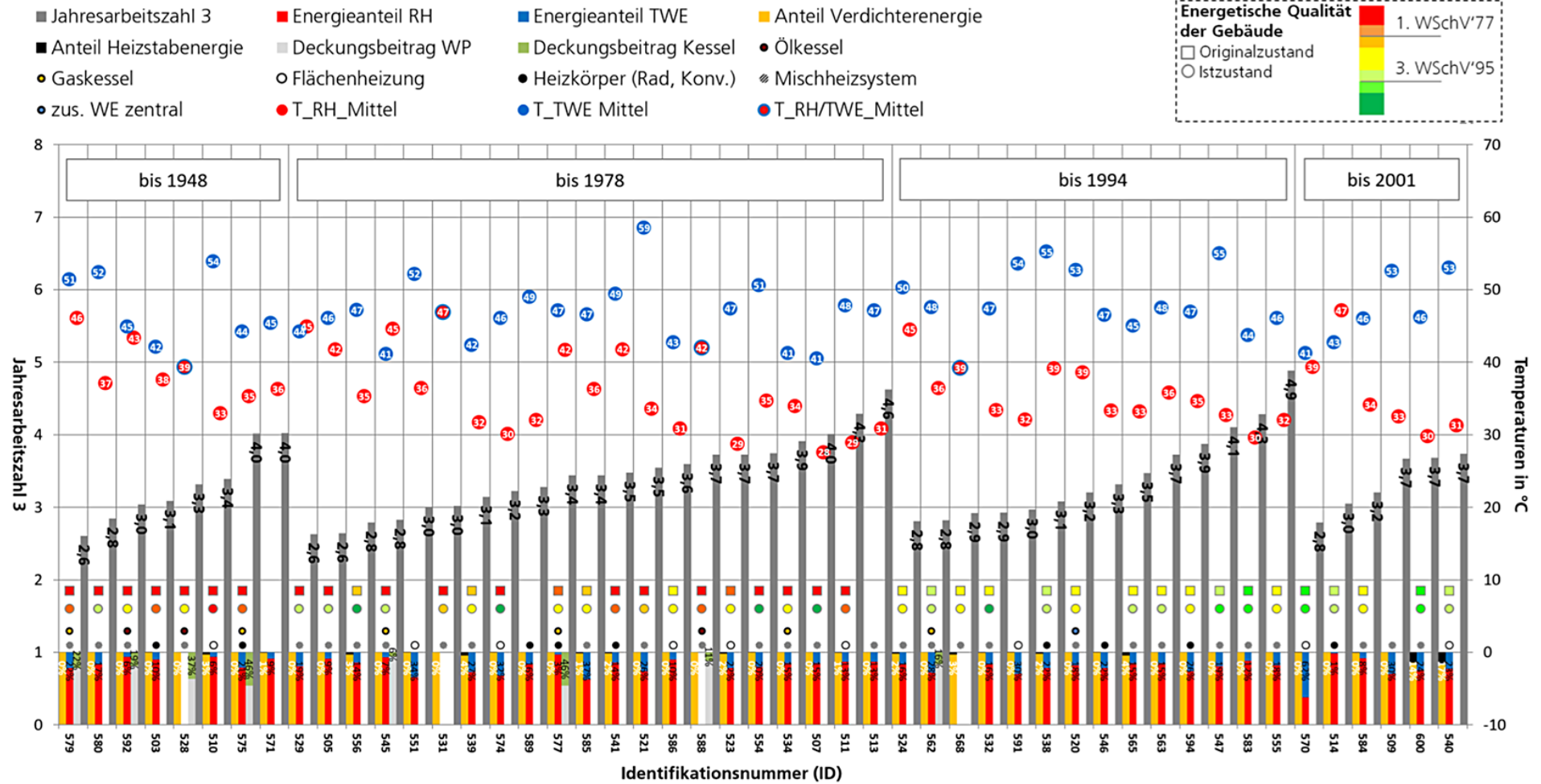


Abbildung 59 (Seite 90): JAZ3 vor dem Hintergrund der Gebäudeeigenschaften im Ur- und im Istzustand von 49 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen gruppiert nach Baualterperioden und sortiert nach Effizienzwerten

4. Detailanalyse zu Effizienz und Betriebsverhalten

4.1. Auslegung der Wärmepumpe

Studie: Seite 94f

Wärmequelle: Außenluft

Das folgende Kapitel zeigt auf, **dass die meisten Wärmepumpen tendenziell größer als benötigt ausgelegt sind**. Aus welchen Gründen dies so ist, lässt sich aus dem Projekt nicht ableiten. ...

Eine Heizlastberechnung liegt nur für wenige der Gebäude vor; auch sind die Planungsgrundlagen und das Vorgehen der Auslegungen der Wärmepumpe weitestgehend unbekannt. Auf Basis der Messdaten wird ein Vergleich der Heizleistung der eingesetzten Wärmepumpen und des realen Wärmeverbrauches der Gebäude (für Raumheizung und Trinkwassererwärmung) vorgenommen. Für Anlagen, die eine Brauchwasser-Wärmepumpe nutzen, wird nur die Heizungswärmepumpe und dementsprechend nur der Wärmebedarf für die Raumheizung betrachtet. Der Wärmeverbrauch für die Raumheizung und Trinkwassererwärmung (bzw. nur für die Raumheizung) wird basierend auf den Messdaten¹ des Jahres 2024 (ggf. zusätzlich gestützt durch Daten des Jahres 2023) nach dem EAV-Verfahren bestimmt (Wolff & Jagnow, o.D.). ...

Abbildung 62 zeigt das Verhältnis der nominalen Heizleistung von 42 monovalenten bzw. monoenergetischen Wärmepumpen im Betriebspunkt A-7/W35 (EN 14511) zu der aus dem Verbrauch ermittelten - Heizlast des Gebäudes (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) sowie von zwei Wärmepumpen nur für Raumheizung (RH). Es zeigt sich, dass die Mehrheit der Anlagen bei -7 °C eine hohe Leistungsreserve hat; nur bei wenigen Anlagen kann die Wärmepumpe die Last des Gebäudes bei dieser Außenlufttemperatur nicht allein decken. Da diese Auswertung auf den Verbrauchsdaten basiert, gibt sie einen guten Einblick in die reale Situation. Ein Rückschluss auf die Auslegung der Wärmepumpe in der Planungsphase ist nicht möglich. So kann bspw. ein hohes Wärmepumpenleistung/ Last-Verhältnis in einer großzügigen Dimensionierung oder einer Unterschätzung des Heizwärmeverbrauches begründet sein.

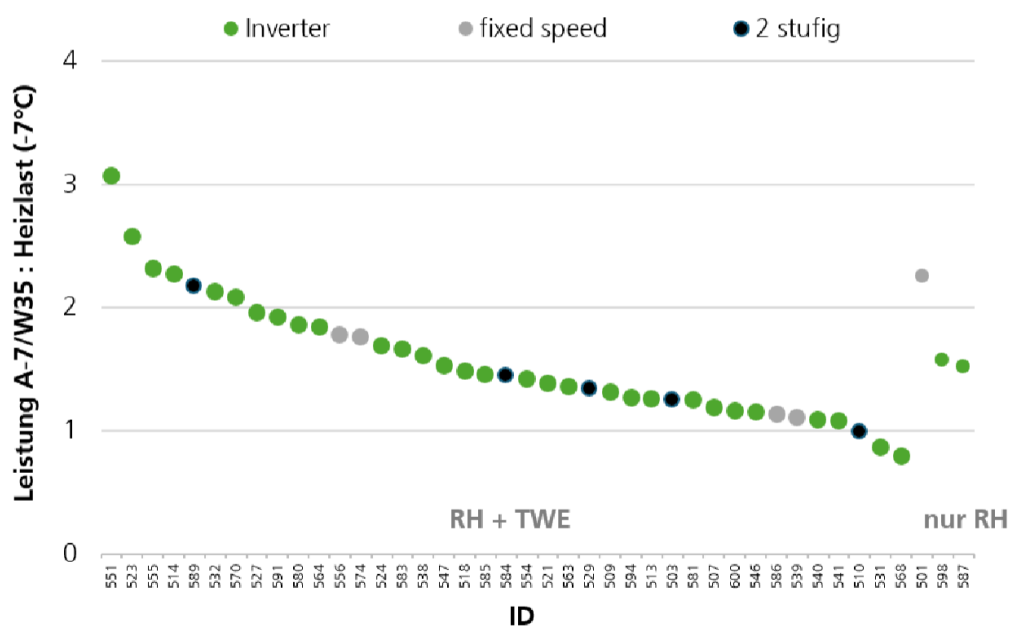


Abbildung 62 (Seite 96): Verhältnis der nominalen Heizleistung der Wärmepumpe im Betriebspunkt A-7/W35 (EN 14511) zu der aus dem Verbrauch ermittelten - Heizlast des Gebäudes (Raumheizung und Trinkwassererwärmung RH+TWE; bzw. nur Raumheizung)

4.2. Einsatz Elektroheizstab

Studie: Seite 96ff

Wärmequelle: Außenluft

Im Jahr 2024 zeigte sich bei 36 monoenergetischen Außenluft/Wasser-Wärmepumpen folgender elektrischer Energieanteil des Heizstabes:

- 18 Anlagen: ohne Heizstabbetrieb bzw. geringer als 0,2 %
- 10 Anlagen: 0,2 %
- 6 Anlagen: 2 % 4 %
- 2 Anlagen: 15 % bzw. 17 %

Bei den 10 bivalenten Anlagen war der Heizstab nicht in Betrieb. 3 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen sind monovalent also ohne Heizstab ausgeführt. ...

ID 600: (15 %): Die Wärmepumpenanlage (Inverter-Wärmepumpe) wird PV-orientiert betrieben. Hierbei kam der Heizstab im Trinkwasserspeicher in den Monaten Juli bis Oktober zum Einsatz. Zur Raumheizung wurde der Heizstab im Vorlauf der Wärmepumpen nur an wenigen Tagen kurzzeitig aktiviert. Der elektrische Anteil dieses Einsatzes zur Raumheizung beläuft sich auf lediglich 1 %.

ID 540 (17 %): Im Jahr 2024 ist die Wärmepumpe zweimal für mehrere Wochen ausgefallen (10 Tage im Januar und 21 Tage im September/Okttober). Hier übernahm der Heizstab die Raumheizung und Trinkwassererwärmung. Zusätzlich war der Heizstab an einigen Tagen für wenige Minuten während der Trinkwassererwärmung parallel zur Wärmepumpe aktiv. Und an drei Tagen im Mai für längere Zeit zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung. Der konkrete Anlass für diesen Einsätze lässt sich anhand der Messdaten nicht erkennen; eine Legionellenschaltung scheint nicht der Grund zu sein. In weiterer Einsatz des Heizstabes trat während der Heizperiode auf. Der Heizstab schaltete während einiger Abtauprozesse (Prozessumkehr) für eine Minute an. Mehr als Vierfünftel des Heizstabeinsatzes geht auf den mehrwöchigen Wärmepumpenausfall zurück.

4.3. Schalthäufigkeiten

Studie: Seite 96ff

Wärmequelle: Außenluft

Verdichterstarts sind mit mechanischen und thermischen Belastungen verbunden. **Eine hohe Schalthäufigkeit steigert den Verschleiß und verkürzt die Lebensdauer des Verdichters.** Bei dem Betrieb des Verdichters sollten zudem Mindestlaufzeiten eingehalten werden, damit das in das System abgegebene Öl wieder in die Verdichterwanne zurückgelangen kann. Diese Zeit kann je nach Verdichtergröße, Kältemittel, Rohrleitungslänge, Komplexität des Kältekreises und Drehzahl unterschiedlich sein. Kürzere Laufzeiten des Verdichters können durch die Ölverlagerung zu Schäden am Verdichter führen. Die VDI 4645 enthält keine Vorgaben zu Mindestlaufzeiten und Schalthäufigkeiten von Wärmepumpen. Verdichterhersteller empfehlen bspw. maximal 6 Starts je Stunde (RIES GmbH, 2025), 6 Starts bzw. 12 Starts je Stunde (BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, 2023) oder 10 Starts je Stunde (Copeland Europe GmbH, 2024), (Emerson Climate Technologies GmbH, 2019).

Auch in Bezug auf die Effizienz des Wärmepumpensystems sind kurze Betriebszeiten zu vermeiden. Die Betriebslängen beeinflussen die Effizienz u.a. auf folgende Weise:

- Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe muss bei kürzeren Laufzeiten höher sein als bei langen Laufzeiten, um die Raumheizlast zu decken.
- Bei sehr kurzen Betriebszeiten ergeben sich aufgrund von Mindestlaufzeiten ggf. höhere Vorlauftemperaturen

- Bei Systemen mit parallel eingebundenen Heizungsspeichern mit je einem Vorlaufanschluss für Wärmepumpe und Heizkreis sowie bei seriell im Vorlauf eingebundene Heizungs-
speichern: Temperaturabfall aufgrund von Mischungsverlusten in der Aufheizphase.
- Mit den kürzeren Betriebsphasen steigt der Einfluss der ineffizienten Performance in den
ersten Minuten nach dem Start der Wärmepumpe auf die Effizienz
- des Anlagenbetriebs

Bei den im Folgenden gezeigten Ergebnissen wurden Messlücken nicht kompensiert. Somit fallen bei einigen Anlagen die Schalthäufigkeiten etwas höher aus als ausgeführt. Die Gesamtaussagen werden hiervon nicht beeinflusst.

Abbildung 63 zeigt die Verdichterstarts im Jahr 2024 von 51 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen. In dieser Darstellung sind diejenigen Wärmepumpenanlagen dargestellt, welche Wärme für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung mit einem Wärmepumpengerät bereitstellen. Die Bandbreite reicht von 540 Starts bis 15.820 Starts im Jahr 2024. 90 % der Außenluft/Wasser-Wärmepumpen starten weniger als 5.500 mal im Jahr und rund ein Drittel der Anlagen kommt auf eine sehr moderate Anzahl von bis zu 2.000 Verdichterstarts.

In Abbildung 63 sind zudem die bivalenten Anlagen gekennzeichnet, bei denen der Kessel im Jahr 2024 in Betrieb war. Ohne Berücksichtigung dieser Anlagen verschiebt sich die Häufigkeitsverteilung der Verdichterstarts nur geringfügig. Die Unterscheidung nach Leistungsregelbarkeit (Inverter | einstufig (fixed speed) | zweistufig) zeigt keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Verdichterstarts und der Leistungsregelbarkeit. Es existieren zu viele weitere starke Einflussfaktoren auf die Schalthäufigkeit.

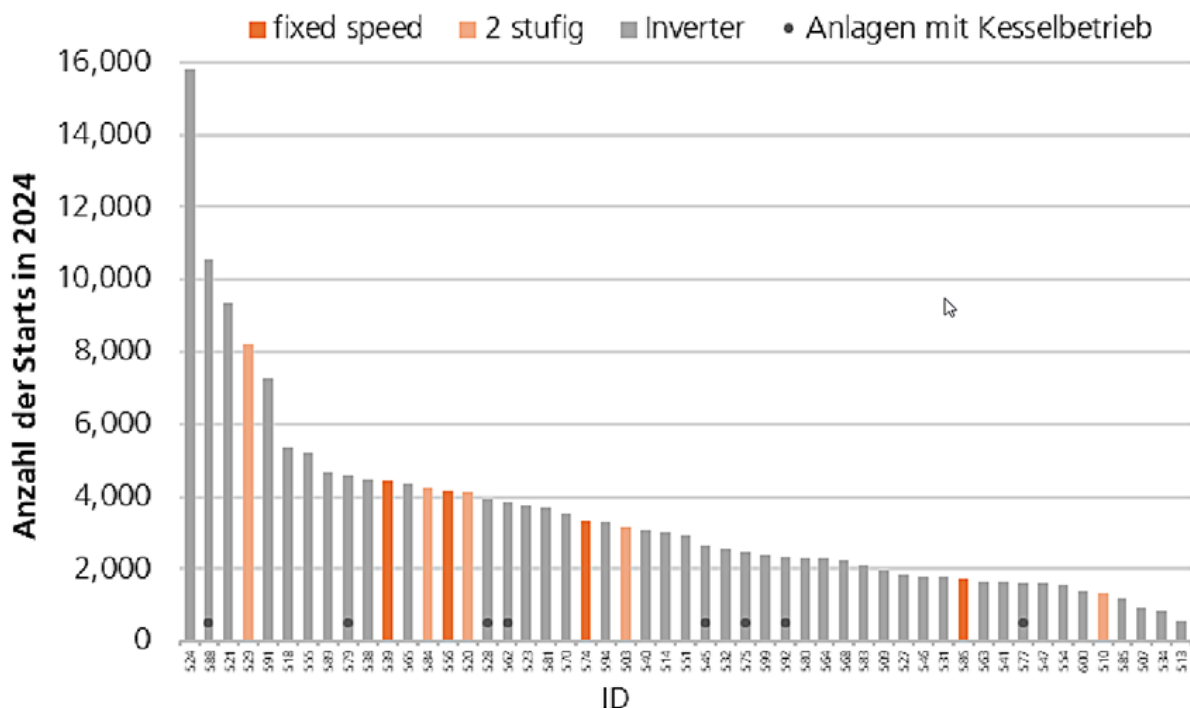


Abbildung 63 (Seite 99): Anzahl der Verdichterstarts von 51 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen im Jahr 2024

Eine vertiefende Analyse zeigt Abbildung 64. Die Verdichterstarts sind entsprechend der Betriebsverhalten Länge der Betriebsphasen in folgende Betriebslängen klassifiziert:

- 1 bis 5 min
- 6 bis 10 min
- 11 bis 15 min
- 16 bis 30 min
- > 30 min

Es zeigt sich, dass Betriebsphasen unter 10 min Dauer gehäuft bei den Anlagen mit den höchsten Schalzhäufigkeiten auftreten. Dennoch kommen Betriebsphasen unter 10 min auch bei Anlagen mit mittleren jährlichen Schalzhäufigkeiten vor. Unter den Wärmepumpen, die weniger als 5.500 Starts je Jahr aufweisen, traten bei 10 Wärmepumpen mehr als 500 Betriebsphasen unter 10 min auf; bei zwei Anlagen hiervon lag die Anzahl dieser kurze Betriebsphasen über 1.000.

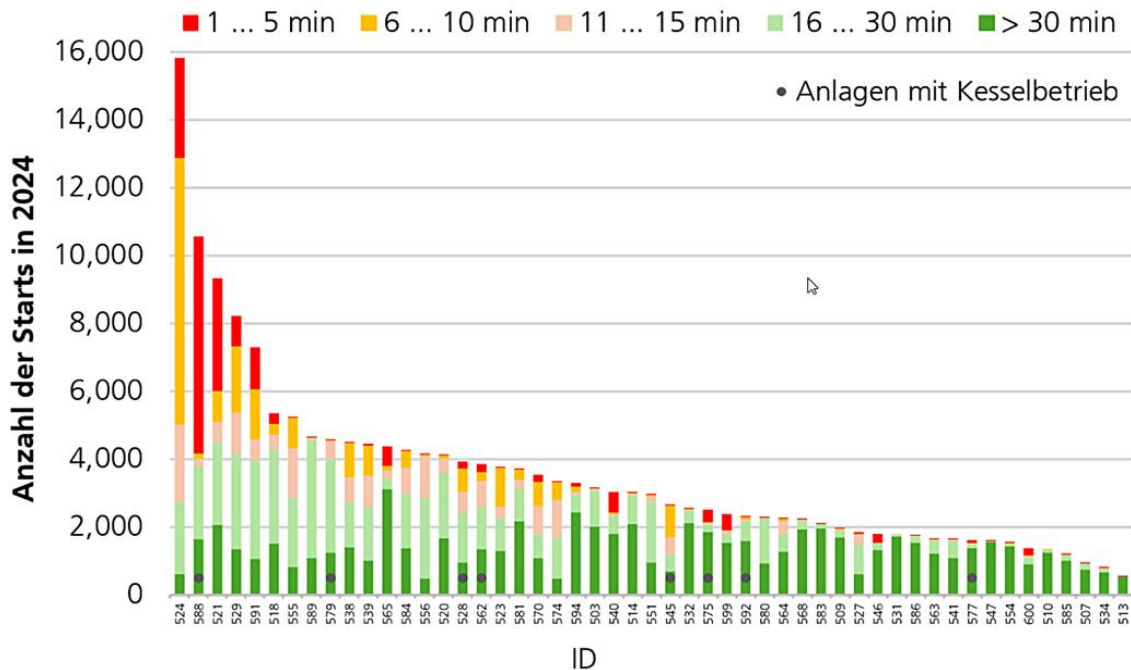


Abbildung 64 (Seite 100): Anzahl der Verdichterstarts von 51 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen im Jahr 2024

Abbildung 65 zeigt die Anzahl der Verdichterstarts von 43 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen über dem Verhältnis der Leistung der Wärmepumpe (Betriebspunkt A-7/W35) zur Heizlast des Gebäudes (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) im Jahr 2024. **Es zeigt sich, dass die Auslegung der Wärmepumpe nicht allein ausschlaggebend für die Anzahl der Schalzhäufigkeiten ist.** So können auch Wärmepumpen, die bei -7 °C mehr als die zweifache Heizleistung gegenüber der Heizlast haben, mit weniger als 4.000 Starts im Jahr betrieben werden. **Gleichwohl werden sehr geringe Betriebsstarts von unter 2.000 nur von den kleiner dimensionierten Wärmepumpen erreicht.**

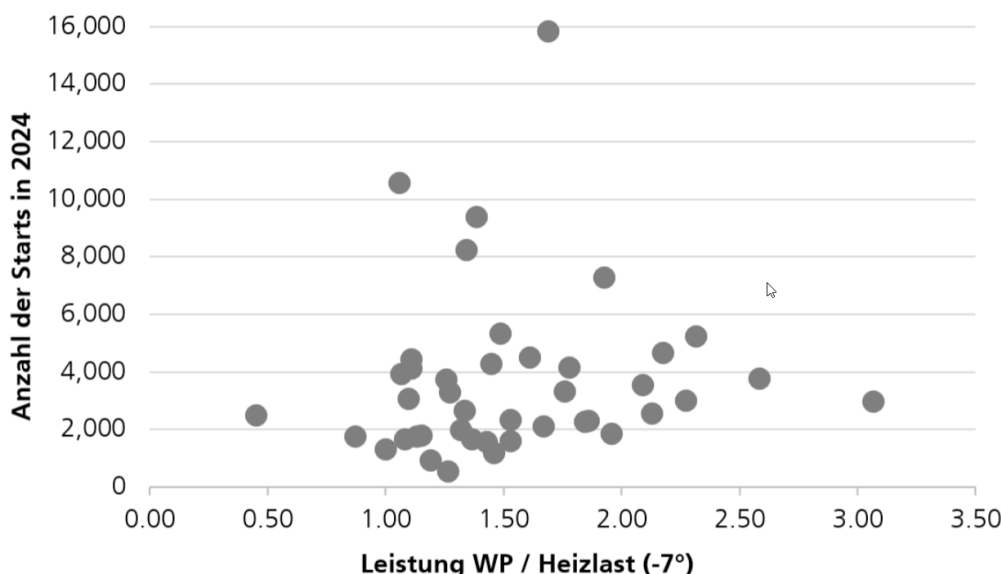


Abbildung 65 (Seite 102): Anzahl der Verdichterstarts von 42 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen über dem Verhältnis der Leistung der Wärmepumpe (Betriebspunkt A-7/W35) zur Heizlast des Gebäudes (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) im Jahr 2024

Die Auswertung der Schalthäufigkeiten in Bezug auf die Größe des eingesetzten Heizungsspeichers zeigt keinen Zusammenhang (Abbildung 66). Die Anlagen unterscheiden sich zu stark in Bezug auf die weiteren einflussreichen Rahmenbedingungen (bspw. Volumenströme, Hysterese, Leistungsregelung), als dass ein Einfluss der Speichergröße aufgezeigt werden könnte.

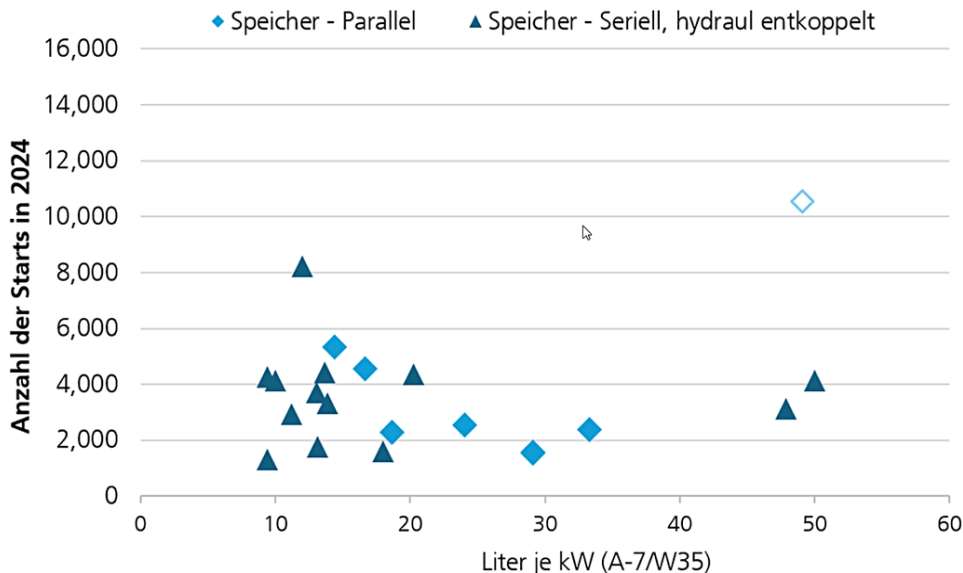


Abbildung 66 (Seite 102): Anzahl der Verdichterstarts von 20 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen über dem spezifischen Volumen des Heizungsspeichers im Jahr 2024. Bei der Anlage, die mit einer nicht ausgefüllten Markierung dargestellt ist, wird nur der obere Teil des Speichervolumens von dem Wärmepumpenkreis erschlossen; das real nutzbare spezifische Volumen dieser Wärmepumpe ist somit geringer als dargestellt.

Die Detailanalyse aller Anlagen zeigt auf, dass insbesondere folgende Faktoren hohe Betriebsverhalten Schalthäufigkeiten bzw. kurze Betriebsphasen begünstigen können.

- Hydraulische Weiche [Planung]
- In Systemen mit Speicher und hydraulischer Entkopplung: Hohe Differenz des Volumenstromes im Wärmepumpenkreis zum Volumenstrom im Heizkreis bei im Verhältnis dazu geringem Speichervolumen [Planung, IBN]
- Ganzjährige Freigabe der Raumheizung [IBN, Anlagenbetreibende]
- Leistungsregelbarkeit der Wärmepumpe (Wärmepumpe wird mit deutlich höherer Leistung betrieben, als es für die aktuelle Wärmeabnahme notwendig wäre): bspw. Modulationsbereich der Wärmepumpe wird nicht gut ausgenutzt [Hersteller, Planung]
- Regelung des Starts / Stopps der Wärmepumpe abhängig von der Vorlauftemperatur [Hersteller, Planung]
- Diverse Aspekte der Regelung
- Betriebscharakteristik Heizkreis und Wärmeübergabesystem [Planung, IBN]

Die Dimensionierung der Wärmepumpen hat einen Einfluss auf das Taktverhalten. Unter gleichen Rahmenbedingungen bringen größer dimensionierte Wärmepumpe kürze Betriebsphasen mit sich als geringer dimensionierte Wärmepumpen.

Gleichzeitig war bei keiner der Anlagen mit überdurchschnittlich hohen Schalthäufigkeiten die Auslegung der Wärmepumpe für das Betriebsverhalten entscheidend. Die anderen oben genannten Faktoren wirkten sich stärker auf das Schalthäufigkeiten der Wärmepumpe aus.

5. Bewertung der Treibhausgasemissionen

Studie: Seite 130

In Abbildung 79 werden die THG-Emissionseinsparungen beim Einsatz von Wärmepumpen verglichen mit einem Gaskessel dargestellt. Hierfür werden exemplarisch die Bandbreiten der JAZ3-Werte der Außenluft- sowie der Erdreich-Wärmepumpen angesetzt. Die Betrachtung erfolgt für das Jahr 2024 sowie 2030, wobei für 2030 ein konservatives und ein optimistisches Szenario für den Ausbau der Erneuerbaren Energien sowohl im Strom als auch im Gassektor mit entsprechenden Verringerungen der spezifischen THG-Emissionen des Strom-Mixes als auch der Emissionen des Energieträgers Erdgas angenommen wird. Die zugrundeliegenden Annahmen (GEMIS: Szenarien und Netzverluste, UBA (Icha et al.) Strommix und Jagnow et al. Kesselwirkungsgrade) werden in der Grafik rechts unten aufgeführt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird als Grundlage die gleichen Szenarien wie im Vorhaben WPsmart Bestand verwendet.

Die in der Messung untersuchten Außenluft / Wasser-Wärmepumpen würden bei dieser Betrachtung im Jahr 2024 zwischen 37 % und 64 % weniger Treibhausgase emittieren. Die Treibhausgasemissionen der Erdreichwärmepumpen verringern sich um 54 % bis 70 %. Legt man das in GEMIS hinterlegte konservative Szenario zu Grunde, reduzieren sich die THG-Emissionen um 61 % - 78 % (Außenluft/Wasser-Wärmepumpen) bzw. um 72 % - 81 % (Erdreichwärmepumpen). Erfolgt der Ausbau der Erneuerbaren Stromerzeugung schneller ebenso wie die Steigerung Erneuerbarer Anteile an der Versorgung mit Erdgas, sinken die Emissionen schneller auf 78 % - 88 % bei Außenluftanlagen bzw. 84 % - 90 % bei Erdreichwärmepumpen.

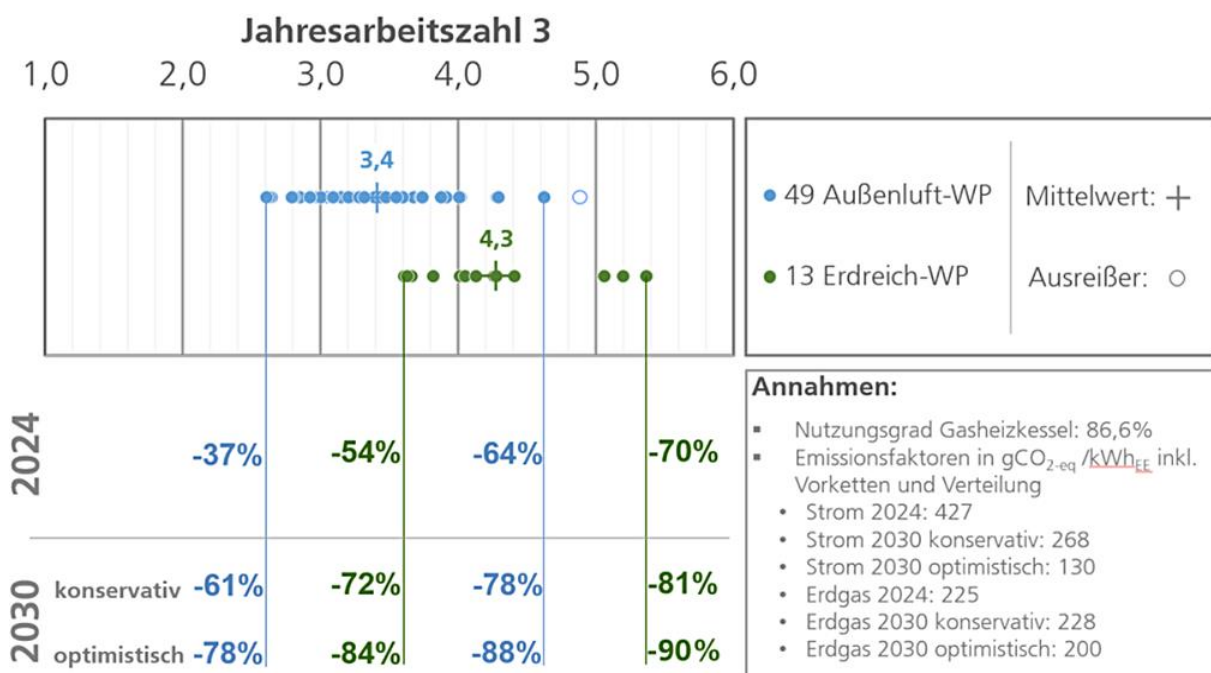


Abbildung 79 (Seite 130): Exemplarische Darstellung der THG-Emissionseinsparung bei Einsatz von Wärmepumpen anstelle eines Gaskessels. Quellen: (Icha & Lauf, 2024; Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien [IINAS], 2023; Jagnow & Wolff, 2004)

Welches Szenario realisiert wird hängt maßgeblich von den energiewirtschaftlichen Randbedingungen ab, je nachdem ob diese förderlich für einen Ausbau der erneuerbaren ist und ob die negativen Auswirkungen der fossilen Brennstoffe auf das Klima in ihrer Folgewirkung in den jeweiligen Preisen berücksichtigt wird.

Impressum

Die Initiative „Hochdorf 2035 klimaneutral“ ist eine Initiative des Ortschaftsrats Hochdorf.
Die Unterlage wurde von der Initiative Hochdorf 2035 klimaneutral erstellt.

Unterlagen und Bilder dürfen nur nach Rücksprache mit der Initiative Hochdorf 2035 klimaneutral genutzt oder weitergegeben werden.

Die in der Unterlage genutzten Illustrationen sind Eigentum des Urhebers.

Unterlage erstellt von:
Georg Häckh

Bei der Erstellung der vorliegenden Organisationsbeschreibung haben mitgewirkt:

Andreas Gerber
Günter Hammer
Alexander Krieg
Joachim Kubitza
Jochen Schach
Hubert Scherzinger

Kontakt:
Initiative Hochdorf 2035 klimaneutral
www.hochdorf2035klimaneutral.de
post.hochdorf2035klimaneutral.de

Stand: 29. Juni 2026

Informationen, Veranstaltungshinweise,
Auswertungen, Präsentationen und alle
Unterlagen aus diesem Dokument finden
Sie auf unserer Homepage



Initiative Hochdorf 2035 klimaneutral

<https://www.hochdorf2035klimaneutral.de>

post@hochdorf2035klimaneutral.de