

CLIMATE CHANGE

11/2024

Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden

von:

Dr. Kjell Bettgenhäuser, Bernhard von Manteuffel, Markus Offermann
Guidehouse Germany GmbH, Berlin

Benjamin Köhler, Dr. Veit Bürger, Dr. Sibylle Braungardt
Öko-Institut e.V., Freiburg

Stefan Klinski,
Prof. Dr. jur. Stefan Klinski, Berlin

Herausgeber:
Umweltbundesamt

CLIMATE CHANGE 11/2024

KLIFOPLAN des Bundesministeriums für Wirtschaft und
Klimaschutz

Forschungskennzahl 3720 41 510 0

FB001350

Abschlussbericht

Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden

von

Dr. Kjell Bettgenhäuser, Bernhard von Manteuffel,
Markus Offermann
Guidehouse Germany GmbH, Berlin

Benjamin Köhler, Dr. Veit Bürger, Dr. Sibylle Braungardt
Öko-Institut e.V., Freiburg

Stefan Klinski,
Prof. Dr. jur. Stefan Klinski, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

Guidehouse Germany GmbH
Albrechtstrasse 10c
10117 Berlin
in Zusammenarbeit mit
Prof. Dr. jur. Stefan Klinski
Öko-Institut e.V.

Abschlussdatum:

Oktober 2023

Redaktion:

Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz
Jens Schuberth

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, März 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen*Autoren.

Kurzbeschreibung: Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden

Die Untersuchung beschreibt die technischen und wirtschaftlichen Vorteile, Folgen und Grenzen des breiten Wärmepumpeneinsatzes aus einzelwirtschaftlicher wie aus Energiesystem-Perspektive – ohne jeden Einzelfall abzubilden. Hierzu werden zunächst Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden detailliert und zeitlich hoch aufgelöst simuliert, bevor Ableitungen und Politikempfehlungen formuliert werden.

Zudem werden die Ergebnisse einer Online-Umfrage zu Wärmepumpen dargestellt und Finanzierungs- und Förderinstrumente für Investitionen in Wärmepumpen beschrieben.

Darüber hinaus wurden in diesem Projekt folgende Fragestellungen untersucht und in separaten Papieren veröffentlicht (verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>):

- ▶ Der Umgang mit dem Wirtschaftlichkeitsgrundsatz in der Novelle zum GEG 2023
- ▶ Realitätsnahe Berechnung des Energiebedarfs
- ▶ Lösungsoptionen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden
- ▶ Superabschreibungen für Investitionen in die Wärmepumpenproduktion (nur Recherche)
- ▶ Abwasserwärme
- ▶ Trinkwarmwasserkonzepte für Gebäude mit einer Wärmepumpenheizung

Abstract: Heat pump systems in existing buildings

The study describes the technical and economic advantages, consequences and limitations of the widespread use of heat pumps from a microeconomic and energy system perspective - without depicting every individual case. For this purpose, heat pump systems in existing buildings are first simulated in detail and with a high temporal resolution before derivations and policy recommendations are formulated.

In addition, the results of an online survey on heat pumps are presented and financing and funding instruments for investments in heat pumps are described.

Also, the following questions were examined in this project and published in separate papers (available at <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>):

- ▶ Dealing with the principle of economic efficiency in the amendment to the GEG 2023
- ▶ Realistic calculation of energy requirements
- ▶ Solution options for heat pumps in existing buildings
- ▶ Super depreciation for investments in heat pump production (initial examination only)
- ▶ Wastewater heat
- ▶ Drinking hot water concepts for buildings with heat pump heating

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	12
Abkürzungsverzeichnis.....	13
Zusammenfassung.....	15
Summary.....	24
1 Hintergrund und Ziel.....	32
2 Simulationsbasierte Analyse.....	33
2.1 Gebäudemodell.....	33
2.2 Wärmepumpenmodell.....	34
2.3 Einzelgebäudebetrachtung.....	36
2.3.1 Referenzgebäude.....	36
2.3.2 Wärmepumpenvarianten.....	37
2.3.3 Ergebnisse.....	39
2.4 Flexibilitäten.....	49
2.4.1 Stromsystemmodell.....	49
2.4.2 Potenziale durch Effizienzverbesserung.....	59
2.4.3 Netzdienliche Wärmespeicher.....	60
2.4.4 Analyse zu Hybrid-Wärmepumpen.....	62
2.4.5 Fazit.....	68
3 Ableitung von (Politik-) Empfehlungen in Bezug auf WP-Anforderungen.....	70
3.1 Wahl der Wärmequelle.....	71
3.2 Effizienzsichernde Einbausituation.....	72
3.3 Effizientes Marktangebot und Sicherstellung geeigneter Gerätewahl.....	73
3.4 Installation, Einbindung und Einstellung.....	74
3.5 Warmwassererzeugung.....	74
3.6 Effizienter Betrieb.....	75
3.7 Flexibilitäten.....	76
4 Ergebnisse der Umfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden.....	79
4.1 Ergebnisse der Umfrage.....	79
4.1.1 Gesamtüberblick Teilnehmende.....	79

4.1.2	Gebäude und installierte Heizungen	84
4.1.3	Bewertung der Chancen und Risiken von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden.....	92
4.1.4	Informationsquellen	94
4.1.5	Faktoren bei Investitionsentscheidungen.....	96
4.1.6	Querauswertungen relevanter Aspekte	100
4.2	Interpretation und Rückschlüsse	107
5	Quellenverzeichnis	108
A	Zusatzbetrachtung von Hybrid-Wärmepumpen mit Residual-Strommix	111
B	Fragebogen Umfrage Wärmepumpen in Bestandsgebäuden.....	113
C	Finanzierungs- und Förderinstrumente für Investitionen in Wärmepumpen	120
C.1	Hintergrund und Zielsetzung	120
C.2	Zielgruppen mit besonderen Herausforderungen.....	120
C.3	Bezahlbarkeitsschwelle unter verschiedenen Kreditbedingungen.....	121
C.4	Bewertung der Berechnungen zur Bezahlbarkeitsschwelle	129
C.4.1	Finanzbedarf für Ausfallgarantien	130
C.5	Schlussfolgerungen	131

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Histogramm der Stundenhäufigkeiten der Temperaturbereiche im Referenzklima Potsdam im Jahr 2020	33
Abbildung 2:	Leistungszahlen (COP) von Luft-Wasser Wärmepumpen führender Hersteller gruppiert nach guter, üblicher (Standard) und minimaler Effizienz (Ökodesign).....	34
Abbildung 3:	Empirische Verbrauchswerte (witterungsbereinigt) für Raumheizung und Trinkwarmwassererwärmung in Deutschland (2002-2021)	35
Abbildung 4:	Nutzenergiebedarfe Heizen und Trinkwarmwasser und Gesamt-Systemverluste (Verteilung, Speicherung)	38
Abbildung 5:	Ergebnisse der Jahresarbeitszahlen (JAZ) für Heizung und Trinkwarmwasser für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) sowie der Gesamtendenergiebedarf	39
Abbildung 6:	Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl Heizen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe von den Auslegungssystemtemperaturen im Einfamilienhaus	41
Abbildung 7:	Jahresarbeitszahlen von 41 vermessenen Luft-WP in Abhängigkeit von der Nenn-Vorlauftemperatur und der Art des Wärmeübergabesystems.....	42
Abbildung 8:	Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl von den Auslegungssystemtemperaturen (VL/RL).....	43
Abbildung 9:	Absatzentwicklung Wärmepumpen in Deutschland 2003-2022	45
Abbildung 10:	Modellergebnisse Deutsches Stromsystem für die Jahre 2021, 2030 und 2040: Last und Erzeugung [Primärachse in GW] während der kältesten Winterwoche [Sekundärachse: Außentemperatur in °C]	52
Abbildung 11:	Modellergebnisse Deutsches Stromsystem für die Jahre 2021, 2030 und 2040: Last und Erzeugung [Primärachse in GW] während einer sonnigen Sommerwoche [Sekundärachse: Außentemperatur in °C]	55
Abbildung 12:	Einsparpotenziale durch Effizienzverbesserung von Wärmepumpen	58
Abbildung 13:	Veränderungen der jährlichen CO ₂ -Emissionen von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen ggü. monovalenten Wärmepumpen.....	65
Abbildung 14:	Einsparungen kumulierter CO ₂ -Emissionen über 20 Jahre von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen (Auslegung: 20 Prozent den Nennheizlast) ggü. monovalenten Wärmepumpen nach Installationsjahr (x-Achse).....	66

Abbildung 15:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Aktueller Wohnort (Bundesland) der Teilnehmer*innen.	79
Abbildung 16:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Geschlecht der Teilnehmer*innen.	80
Abbildung 17:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Alter der Teilnehmer*innen unterteilt in 5 Altersgruppen.	81
Abbildung 18:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Höchster Bildungsabschluss der Teilnehmer*innen.	82
Abbildung 19:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 1: Um was für ein Gebäude handelt es sich?	83
Abbildung 20:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 2: Nutzen Sie das Gebäude zur Miete oder sind Sie Eigentümer*in?	84
Abbildung 21:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 3: Wann wurde ihr Gebäude errichtet? Wenn das Baujahr nicht genau bekannt ist, schätzen Sie bitte. Einteilung in Baualtersklassen.....	85
Abbildung 22:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 4: Wurde ihr Gebäude in den letzten 10 Jahren vollständig oder teilweise energetisch modernisiert?	86
Abbildung 23:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 5: Was für eine Heizung ist derzeit in ihrem Gebäude installiert?	87
Abbildung 24:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 6: Womit heizen Sie derzeit primär?	88
Abbildung 25:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 7: Wie alt ist die Heizung ungefähr?	89
Abbildung 26:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 8: Wie kommt die Wärme in die Räume?	90
Abbildung 27:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 9: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?	91
Abbildung 28:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 10: Welche Chancen, Risiken und	

	Hemmnisse sehen Sie in Bezug auf den Einsatz von Wärmepumpen in Ihrem Gebäude?.....	92
Abbildung 29:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 11: Informationen zu Wärmepumpen werden von vielen verschiedenen Akteuren zur Verfügung gestellt. Bitte beurteilen Sie, für welchen Aspekt sich die folgenden Akteure / Informationsquellen aus Ihrer Sicht am besten eignen.	93
Abbildung 30:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 12: Zu welchen Themen wünschen Sie sich mehr, bzw. leichter zugängliche Informationen? Bitte maximal drei Themen auswählen.	94
Abbildung 31:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 13: Was sind die entscheidenden Faktoren bei der Entscheidung für oder gegen eine Heiztechnik?	95
Abbildung 32:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 15: Vor der Anschaffung einer neuen Heizung habe ich in der Vergangenheit einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den gesamten Lebenszyklus (20 Jahre) der Heizung durchgeführt.	96
Abbildung 33:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 16: Vor der Anschaffung einer neuen Heizung werde ich in Zukunft einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den gesamten Lebenszyklus (20 Jahre) der Heizung durchführen.....	97
Abbildung 34:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 17: Bei der Finanzierung einer Wärmepumpe sehe ich für mich folgende Hemmnisse. Bitte maximal drei Aspekte auswählen.....	98
Abbildung 35:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 18 zum Kenntnisstand der Teilnehmer*innen: Ich habe mich in der Vergangenheit schon intensiv mit Wärmepumpen befasst und kenne mich gut mit der Technik aus.....	99
Abbildung 36:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 9: Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu? Wärmepumpen können auch in Gebäuden, die nicht komplett saniert sind, effizient betrieben werden. Bezogen auf den Sanierungszustand des Gebäudes (Frage 4: Wurde ihr Gebäude in den letzten 10 Jahren vollständig oder teilweise energetisch modernisiert?). Oben:	

	bezogen auf alle Teilnehmer*innen. Unten: bezogen auf Teilnehmer*innen mit installierter Wärmepumpe.100
Abbildung 37:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 9: Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu? Auch an sehr kalten Wintertagen werden alte Gebäude mit einer Wärmepumpe warm genug. Bezogen auf das Alter des Gebäudes (Frage 3: Wann wurde ihr Gebäude errichtet? Wenn das Baujahr nicht genau bekannt ist, schätzen Sie bitte.)101
Abbildung 38:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 9: Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu? Wärmepumpen sind die wichtigste Technik, um die Klimaziele im Gebäudebereich zu erreichen. Bezogen auf die angegebene Beheizungsart (Frage 6: Womit heizen Sie derzeit primär?).....102
Abbildung 39:	Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage zum Kenntnisstand der Teilnehmer*innen: Ich habe mich in der Vergangenheit schon intensiv mit Wärmepumpen befasst und kenne mich gut mit der Technik aus. Bezogen auf das angegebene Alter der Heizung (Frage 7: Wie alt ist die Heizung ungefähr?).103
Abbildung 40:	Kreuzauswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 11: Informationen zu Wärmepumpen werden von vielen verschiedenen Akteuren zur Verfügung gestellt. Bitte beurteilen Sie, für welchen Aspekt sich die folgenden Akteure / Informationsquellen aus Ihrer Sicht am besten eignen. Dargestellt ist die prozentuale Verteilung der 5 am häufigsten genannten Informationsquellen je Bildungsniveau unter Berücksichtigung der Gesamtanzahl der Antworten.104
Abbildung 41:	Kreuzauswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 12: Zu welchen Themen wünschen Sie sich mehr, bzw. leichter zugängliche Informationen? Bitte maximal drei Themen auswählen. Dargestellt ist die prozentuale Verteilung der 5 am häufigsten genannten Informationsquellen je Bildungsniveau unter Berücksichtigung der Gesamtanzahl der Antworten.105
Abbildung 42:	Veränderungen der CO ₂ -Emissionen von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen gegenüber monovalenten Wärmepumpen (alternative Gaskesselsteuerung i.V.m. CO ₂ -Faktor des Residualstrommixes)110
Abbildung 43:	Einsparungen kumulierter CO ₂ -Emissionen über 20 Jahre von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen

	(Auslegung: 20 Prozent) ggü. monovalenten Wärmepumpen (alternative Gaskesselsteuerung i.V.m. CO ₂ -Faktor des Residualstrommixes) nach Installationsjahr (x-Achse).....	111
Abbildung 44:	Entwicklung der Energiepreise über den Betrachtungszeitraum	121

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gebäudekennwerte der Untersuchungsgebäude	35
Tabelle 2:	Untersuchungsvarianten Einzelgebäudebetrachtung.....	37
Tabelle 3:	Matrix zur Ermittlung der mittleren Jahresarbeitszahlen neuer Wärmepumpen in Bestandsgebäuden.....	44
Tabelle 4:	Untersuchungsvarianten der Hybridwärmepumpen	63
Tabelle 5:	Empfehlungen für den THG-Emissionsmindernden Einsatz von Hybrid-Wärmepumpen	76
Tabelle 6:	Anzahl an Haushalten in den drei Zielgruppen	120
Tabelle 7:	Annahmen für die Berechnungen zu Fallbeispiel 1.....	121
Tabelle 8:	Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Ohne Förderung)	122
Tabelle 9:	Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 30 Prozent)	123
Tabelle 10:	Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 10 Prozent)	124
Tabelle 11:	Annahmen für die Berechnungen zu Fallbeispiel 2.....	125
Tabelle 12:	Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Ohne Förderung)	125
Tabelle 13:	Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 30 Prozent)	126
Tabelle 14:	Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 10 Prozent)	127

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEG-EM	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEP	Building Energy Performance
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e. V.
COP	Coefficient of Performance, Leistungszahl
DENEFF	Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V.
EE	Erneuerbare Energien
EFH	Einfamilienhaus/-häuser
ETAs	jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz
FDZ	Forschungsdatenzentrum
GEG	Gebäudeenergiegesetz
$H'_T, H'_{T,Ref}$	Spezifischer Transmissionswärmeverlust (des Referenzgebäudes)
H ₂	Wasserstoff
HZ	Heizung
HWP	Hybrid-Wärmepumpe
ISE	Institut für Solare Energiesysteme
JAZ	Jahresarbeitszahlen
MFH	Mehrfamilienhaus/-häuser
NWG	Nichtwohngebäude
PCM	Phase Change Material, Phasenwechselmaterial
PV	Photovoltaik
RAP	Regulatory Assistance Project
RL	Rücklauf
SCOP	Seasonal Coefficient Of Performance, saisonale Leistungszahl
SG	Smart Grid
SHK	Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik
THG	Treibhausgas(e)
TWW	Trinkwarmwasser
UBA	Umweltbundesamt
VL	Vorlauf

Abkürzung	Erläuterung
WEG	Wohnungseigentümergeinschaft
WKA	Windkraftanlage
WP	Wärmepumpe

Zusammenfassung

Im Rahmen ihrer Wärmepumpen-Offensive strebt die Bundesregierung an, dass jährlich über 500.000 Wärmepumpen installiert werden. Insgesamt sollen bis 2030 über sechs Millionen Wärmepumpen neu installiert werden.¹ Damit hätten Wärmepumpen in 2030 einen Anteil von etwa 25 Prozent aller Wärmeerzeuger. Dieser Hochlauf betrifft somit insbesondere den Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Für diese „Wärmepumpen-Offensive“ werden aktuell viele begleitende Studien durchgeführt, wobei u.a. die „Begleitung von BMWK-Maßnahmen zur Umsetzung einer Wärmepumpen-Offensive“² bereits viele wichtige Erkenntnisse sammeln konnte. Ein wichtiges Signal geht dahingehend auch vom überarbeiteten Gebäudeenergiegesetz³ aus, welches vorsieht, dass neue Heizungsanlagen künftig möglichst auf Grundlage von mindestens 65 Prozent erneuerbaren Energien betrieben werden sollen.

Die vorliegende Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) beschreibt die technischen und wirtschaftlichen Vorteile, Folgen und Grenzen des breiten Wärmepumpeneinsatzes aus einzelwirtschaftlicher wie aus Energiesystem-Perspektive – ohne jeden Einzelfall abzubilden. Hierzu werden zunächst Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden detailliert und zeitlich hoch aufgelöst simuliert, bevor Ableitungen und Politikempfehlungen formuliert werden.

Inhalt

Das Fundament der Untersuchung bildet eine detaillierte, simulationsbasierte *Einzelgebäudebetrachtung* (Kapitel 2.3) auf Basis der DIN EN ISO 52016⁴ mit dem Building Energy Performance Modell (BEP). Die simulationsbasierte Analyse bildet die Grundlage zur Ableitung von Politikempfehlungen (Kapitel 3) für einen ökonomisch und klimatechnisch optimierten Wärmepumpenhochlauf, der im Einklang mit den mittel- und langfristigen Klimaschutzzielen der Bundesrepublik steht. Hiermit werden für die wichtigsten Wärmepumpen-Konfigurationen in typischen repräsentativen Bestandsgebäuden, die sich ergebenden Jahresarbeitszahlen bestimmt. Zusammen mit den Erkenntnissen zur Häufigkeit der Vorlauftemperaturen in Bestandsgebäuden⁵ können die zu erwartenden mittleren Jahresarbeitszahlen der künftig installierten Wärmepumpen abgeschätzt und mit den Annahmen und Ergebnissen anderer Szenarien abgeglichen werden. Darauf aufbauend werden die Effizienzpotenziale beim Wärmepumpen-Einsatz aufgezeigt. Im Fokus steht hierbei insbesondere die mögliche Effizienzsteigerung durch Absenkung der Vorlauftemperaturen im Rahmen eines Heizkörperaustausches und/oder einer energetischen Sanierung.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung zu *Flexibilitäten* (Kapitel 2.4) wird unter Berücksichtigung eines vereinfachten Stromsystemmodells eine ganzheitliche Wirkungseinschätzung inklusive der über die Lebensdauer kumulierten CO₂-Emissionen der unterschiedlichen Wärmepumpenlösungsoptionen vorgenommen. Der Fokus der Untersuchung liegt hierbei auf den Potenzialen der Effizienzverbesserung (2.4.2), netzdienlicher Wärmespeicher (2.4.3) und Hybridwärmepumpen (2.4.4).

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Simulationen werden Empfehlungen für Politik und weitere relevante Akteure abgeleitet, um einen effizienten Wärmepumpenbetrieb zu gewährleisten. Adressierte Themen sind hierbei die Wahl der Wärmequelle, effizienzsichernde

¹ BMWK, 2023

² Hermelink et al., 2023

³ GEG 2024: Aktueller Stand: Bundesrat hat am 29.09.2023 die Novelle des Gebäudeenergiegesetzes gebilligt. Die Verkündung im Bundesgesetzblatt steht aktuell noch aus.

⁴ DIN EN ISO 52016-1:2018-04

⁵ Offermann et al., 2023

Einbausituation, effizientes Marktangebot und Sicherstellung der Wahl einer geeigneten Wärmepumpe, die Installation, Einbindung und Einstellung, Warmwassererzeugung, effizienter Betrieb sowie Flexibilitäten zur Reduktion von THG-Emissionen. (Diese Empfehlungen decken nicht sämtliche Hemmnisse ab, die den Ausbau von Wärmepumpen behindern.)

Im Rahmen der Untersuchung wurde zudem eine öffentlich zugängliche Umfrage durchgeführt, um Unterstützungsbedarfe hinsichtlich Information und Finanzierung von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden zu ermitteln (Kapitel 4). Ziel der Befragung war es, den aktuellen Wissensstand, genutzte Informationsquellen und deren Vertrauenswürdigkeit sowie die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, einschließlich Finanzierungshemmnissen zu identifizieren.

Wärmepumpen sind mit deutlich höheren Investitionskosten verbunden als fossile Kessel und können aktuell nur über Fördermittel und geringere Betriebskosten wirtschaftlich attraktiver werden. Mit Einführung der 65 Prozent-EE-Regel sind Heizkessel für fossile Brennstoffe allerdings zukünftig in vielen Fällen keine Option mehr. Die Finanzierung der Investitionskosten ist für einen Teil der Gebäudeeigentümer*innen auch nach Abzug von Fördermitteln finanziell nicht oder nur eingeschränkt leistbar. Ergänzend zu Arbeiten in dem Projekt „Finanzinnovationen für die Wärmewende“⁶ der Deutschen Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (DENEFF), in dem gemeinsam mit Akteuren aus der Finanzbranche Optionen für innovative Finanzierungsmodelle für energetische Sanierungen und den Austausch von Heizungen erarbeitet wurden, erfolgten vertiefende Analysen im Rahmen einer Ad-hoc-Analyse, die im Anhang des Berichts zu finden ist. Die Analyse hat zum Ziel, die im Rahmen des Projektes des DENEFF erarbeiteten Ergebnisse, um folgende Aspekte zu ergänzen:

1. Ergänzende Informationen zu den betrachteten Zielgruppen, insbesondere zur Anzahl der Haushalte in den jeweiligen Gruppen.
2. Beispielhafte Betrachtung der Bezahlbarkeitsschwelle: Bei welchen Zinssätzen und Kreditlaufzeiten können energetische Sanierungsmaßnahmen bzw. der Einbau einer Wärmepumpe finanziert werden, ohne dass die Wohnkostenbelastung der Haushalte ansteigt?
3. Grobe Abschätzung des Finanzbedarfs für Ausfallgarantien.

Ergebnisse der Einzelgebäudebetrachtungen

Die wesentlichen Ergebnisse der *Einzelgebäudebetrachtungen* sind einerseits Jahresarbeitszahlen (2.3.3.1) für die neun untersuchten Varianten und deren Diskussion (2.3.3.2) sowie andererseits die Ermittlung einer mittleren Jahresarbeitszahl neuer Wärmepumpen in Bestandsgebäuden (2.3.3.3).

Die Ergebnisse in Kapitel 2.3.3.1 zeigen, dass auch bei einer stundenfeinen Simulation eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von etwa 3,0 mit einer Standard-Wärmepumpe unter Standardbedingungen im Bestand (Vorlauf-/Rücklauftemperatur: 55/45 °C) erreicht werden kann. Die weiteren Varianten zeigen den Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz, wenn das Wärmeübergabesystem (Heizkörper) bei sonst identischem Gebäude unterschiedlich dimensioniert wird. Werden die Heizkörper kleiner dimensioniert (geringere Wärmeabgabe), muss die Nenn-Vorlauftemperatur auf 70 °C angehoben werden und die JAZ sinkt auf 2,4 ab (25 Prozent höherer Gesamt-Endenergiebedarf). Im Fall von Heizkörpern mit einer größeren Wärmeabgabe kann die Nenn-Vorlauftemperatur auf 45° C abgesenkt werden, was die JAZ auf 3,45 erhöht und den Endenergiebedarf um 12 Prozent reduziert. Die Auswahl einer

⁶ DENEFF, 2023

Wärmepumpe mit besserer Leistungszahl (COP) führt zu einer Endenergiereduktion von ca. 9 Prozent, während eine Wärmepumpe mit Minimaleffizienz nach Ökodesign-Richtlinie einen Mehrverbrauch von 24 Prozent aufweist. Die Verwendung einer Sole-Wärmepumpe erreicht Einsparungen gegenüber der Referenzvariante von 24 Prozent. Für Sole-Wärmepumpen wurden keine Variationen der Vorlauftemperaturen und WP-Qualitäten untersucht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die dabei zu erwartenden prozentualen Abweichungen in etwa vergleichbaren Größenordnungen wie die dargestellten Abweichungen der übrigen Varianten gegenüber der Referenzvariante liegen würden. In der Variante, in der das Trinkwarmwasser dauerhaft auf 60 °C (gegenüber 48 °C) erwärmt und über ein Zirkulationssystem im Einfamilienhaus (EFH) bereitgestellt wird, wird 15 Prozent mehr WP-Strom verbraucht als notwendig. Betriebsdauer und Temperatur eines Zirkulationssystems sollten spätestens bei der Installation einer Wärmepumpe nochmals daraufhin überprüft werden, ob sie auf das notwendige Minimum begrenzt sind. In der letzten EFH-Variante wird eine umfassende Sanierung von Außenwand und Fenstern des Gebäudes (auf $U_{AW} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{FE} = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$) bei gleichzeitiger Optimierung der Heiz-Systemtemperaturen auf 44/36 °C angenommen. Dadurch können insgesamt 58 Prozent der Gesamt-Endenergie eingespart werden. Ohne Optimierung der Systemtemperaturen lägen die Einsparungen bei 53 Prozent. Abschließend wird eine Variante mit einem kleinen Mehrfamilienhaus betrachtet, das bei ähnlichen Randbedingungen wie die EFH-Referenzvariante nur eine Gesamt-JAZ von 2,7 (gegenüber 3,0) erreicht. Die wesentlichen Unterschiede liegen im Trinkwarmwassersystem (TWW-System): wie in der TWW-Variante des Einfamilienhauses wird von einer konstanten Trinkwarmwassertemperatur von 60° C und einem Zirkulationssystem ausgegangen. Zusätzlich dazu wird aber auch, wie für Mehrfamilienhäuser üblich, keine Nachtabschaltung des Trinkwarmwasser eingestellt. Dementsprechend liegt die JAZ für die Trinkwassererwärmung in der MFH-Variante deutlich unterhalb der EFH-Referenzvariante (2,15 ggü. 3,22; - 33 Prozent). Bei einer Kombination der betrachteten Luft-WP-Einzelvarianten kann deren Gesamtwirkung gegenüber der Referenzvariante V1_Ref durch Multiplikation unter Berücksichtigung der Einzelwirkungen abgeschätzt werden (z.B. bei Kombination von V3_VL45 und V4_WPgut: $1 - (1 - 11 \text{ Prozent}) * (1 - 9 \text{ Prozent}) = 19 \text{ Prozent}$).

Die Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 2.3.3.2 zeigt, dass die Simulationsergebnisse der vorliegenden Untersuchung im Wesentlichen im Einklang mit den aktuellen Forschungsergebnissen aus den Vorhaben „WPSmart im Bestand“⁷, „Durchbruch für die Wärmepumpe“⁸ und „LowEx-Bestand Analyse“⁹ stehen. Das Ergebnis der Untersuchung zur mittleren Jahresarbeitszahlen neuer Wärmepumpen in Bestandsgebäuden führt zu einer JAZ von 3,1 und damit zu einer sehr guten Übereinstimmung mit den Annahmen in den Langfristszenarien¹⁰ (Teil „Energienachfrage Gebäudesektor“). Die Ermittlung der mittleren Jahresarbeitszahlen neuer Wärmepumpen in Bestandsgebäuden basiert dabei auf den obigen Simulationsergebnissen, den Anteilen der Nenn-Vorlauftemperaturen im deutschen Gebäudebestand¹¹, der Berücksichtigung unterschiedlicher JAZ für Luft- und Sole-WP, sowie unterschiedlicher JAZ im Bereich Heizen und Trinkwarmwasser (mit/ohne Zirkulationssystem). Allerdings kann auch festgestellt werden, dass eine umfangreichere Analyse, die weitere Simulationsvarianten umfassen würde (bspw. zu MFH, NWG, Neubau, weitere WP-Typen), die Belastbarkeit der Hochrechnung auf den Gebäudebestand erhöhen könnte. Um diese mittlere

⁷ Günther et al., 2020

⁸ Bürger et al., 2022

⁹ Bongs et al., 2022

¹⁰ Sensfuß et al., 2022

¹¹ Offermann et al., 2023

Jahresarbeitszahl von 3,1 im Bestand tatsächlich zu erreichen oder idealerweise noch zu überschreiten, sollten folgende Aspekte sichergestellt werden:

- ▶ Systemoptimierung: Einstellung der möglichst niedrigen Heizungs- und Warmwasser-Systemtemperaturen (idealerweise inkl. hydraulischem Abgleich)
- ▶ Sicherstellung einer fachgerechten Installation und eines (möglichst) fehlerfreien Betriebs
- ▶ Vermehrter Einsatz von Sole-Wasser- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen, die systembedingt eine erheblich höhere Effizienz als Luft-Wasser-Wärmepumpen aufweisen. Werden diese in Kombination mit Flächenheizsystemen eingesetzt, besteht die Möglichkeit einer passiven Kühlung (ohne Wärmepumpeneinsatz). Im Falle der passiven Kühlung bei Erdsonden können diese durch die Regenerierung des Erdreichs i. d. R. kleiner dimensioniert werden, wodurch Investitionskosten eingespart werden.
- ▶ Verbesserung der Qualität von neu installierten Wärmepumpen, z.B. von hocheffizienten Kompakluftwärmepumpen mit dem klima- und umweltfreundlichen Kältemittel Propan (Dafür müsste eine Durchdringung des Marktes mit preisgünstigeren Wärmepumpen mit geringerer Effizienz und konventionellen Kältemitteln vermieden werden.)
- ▶ Verbesserung der gebäudebezogenen Rahmenbedingungen, z. B. (vorgezogene) energetische Sanierung oder die Nachrüstung von Niedertemperaturheizkörpern oder Flächenheizsystemen.

Ergebnisse der Flexibilitätsbetrachtungen

Durch die *Flexibilitätsbetrachtungen* konnten mithilfe des entwickelten Stromsystemmodells (2.4.1) Potenziale der Effizienzverbesserung (2.4.2), netzdienlicher Wärmespeicher (2.4.3) und Hybridwärmepumpen (2.4.4) evaluiert werden.

Das vereinfachte Stromsystemmodell (2.4.1) bildet den für die Interaktion mit Wärmepumpen wesentlichen Aspekt des witterungsabhängigen Zusammenhangs zwischen dem Angebot erneuerbaren Stroms (Windkraft, PV, andere Erneuerbare, Kurzzeitspeicher) und der Nachfrage durch Wärmepumpen ab. Dabei wurde für das Lastprofil der ab 2022 zusätzlich installierten Wärmepumpen das Lastprofil der Standard-Luft-Wärmepumpen der Referenzvariante der Einzelgebäudebetrachtung ohne systemdienliche Steuerung oder Speicherung angenommen (typisches, teilsaniertes Einfamilienhaus mit Heizkörpern VL/RL: 55/45 °C ; JAZ_HZ+TWW: 3,0). Es zeigt sich, dass die zusätzlich installierten Wärmepumpen im Winter einen relevanten Anteil am Energiebedarf und an der Last haben. Während einer Extremstunde am 12. Januar (24 Uhr) beträgt im Jahr 2040 der Anteil der Wärmepumpen an der Gesamtlast über 40 Prozent. Während des Sommers sind Last und Energiebedarf der Wärmepumpen hingegen vernachlässigbar. Liegt die mittlere jährliche JAZ für die berücksichtigte Luft/Wasser-Wärmepumpe noch bei ca. 3,0, so sinkt die JAZ in der Winter-Extremstunde auf ca. 1,4 ab, da der COP der Wärmepumpe bei -14 °C bei etwa 1,5 liegt und zusätzlich der Heizstab etwa 18 Prozent der benötigten Heizleistung übernimmt.

Für die Evaluation der Einsparpotenziale durch Effizienzverbesserung (2.4.2) wird anstelle der bisher gewählten Standard-Luft-Wärmepumpen gemäß Referenzvariante eine Wärmepumpe von verbesserter Qualität angenommen. Diese verbesserte Wärmepumpe führt bereits in der Einzelgebäudebetrachtung zu einem um 9 Prozent reduzierten Gesamtstrombedarf. Bezogen auf das Stromsystemmodell ergeben sich durch den Einsatz der verbesserten Wärmepumpen überproportional hohe Einsparungen beim Residualstrombedarf (2030: -2,0 Terawattstunden (TWh); 2040: -4,9 TWh). Dies begründet sich dadurch, dass 2030 der Residualstrom nur noch 35 Prozent des Gesamtstroms ausmacht, die Einsparungen der Effizienzverbesserung der

Wärmepumpen aber vor allem auf den Residualstrom wirken. Im Jahr 2040 würden gemäß der Modellberechnungen 4,9 TWh erneuerbarer Residualstrom eingespart (1,3 Prozent des Residualstrombedarfs). Unter der Annahme, dass der erneuerbare Residualstrom aus grünem Wasserstoff erzeugt wird (H₂-Rückverstromungseffizienz von 34 Prozent), resultiert eine Einsparung in Höhe von 14,3 TWh erneuerbaren Stroms, was der Stromproduktion von umgerechnet 1.500 Windkraftanlagen entspricht. Die jährlichen CO₂-Einsparungen erreichen 2032 ihren Höchstwert mit rund 1 Megatonne (Mt) pro Jahr. Die bis 2040 möglichen kumulierten CO₂-Einsparungen betragen 12,9 Mt. Zur Einordnung: Die CO₂-Einsparungen von 1 Mt/a entsprechen den Emissionen von ca. 250.000 mit Gas- oder Ölkesseln beheizten Einfamilienhäusern. Neben den Einsparungen beim Strombedarf könnte durch die allgemeine Qualitätsverbesserung der Wärmepumpen auch eine Reduktion der Spitzenlast der zusätzlich installierten Wärmepumpen erreicht werden. Im Jahr 2030 kann diese WP-Spitzenlast von 34 Gigawatt (GW) um 2 GW auf 32 GW und im Jahr 2040 von 94 GW um 6 GW auf 88 GW gesenkt werden. Weitere Einsparungen in ähnlicher Größenordnung lassen sich durch Effizienzverbesserungen über eine Absenkung der Systemtemperaturen erreichen. Diese können, wie zuvor beschrieben, teilweise über eine einfache Optimierung der Systemeinstellungen, einen hydraulischen Abgleich oder den Austausch einzelner kritischer Heizkörper erreicht werden. Zusätzliche, noch deutlich höhere Einsparpotenziale könnten durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes über energetische Sanierungen erreicht werden.

Netzdienliche Wärmespeicher (2.4.3) sind ebenfalls in der Lage, den Deckungsanteil erneuerbarer Energien zu erhöhen und die Stromnetze zu entlasten. Die sich bei der Modellierung ergebenden Einsparpotenziale des Residualstromes (ohne Berücksichtigung von Wärmeverlusten), wenn alle Wärmepumpen mit entsprechenden Speichern ausgestattet würden, beliefen sich 2030 lediglich auf 0,29 TWh bzw. 2040 auf 0,76 TWh. Durch die Residualstromeinsparung könnten 2030 CO₂-Einsparungen von 145 kt erreicht werden, was den Emissionen von ca. 35.000 mit Gaskesseln beheizten Einfamilienhäusern entsprechen würde. Die Residualstromeinsparung von 0,76 TWh 2040 entspräche einer Einsparung von 2,2 TWh erneuerbaren Stroms (bei einer Rückverstromungseffizienz von 34 Prozent) d. h. umgerechnet der Strommenge, die ca. 250 Windkraftanlagen erzeugen. Die Einsparungen fallen gering aus, da ein Überschuss an erneuerbaren Energien im Stromnetz nicht regelmäßig, z.B. täglich auftritt, sondern eher phasenweise. Zudem haben die Erzeugungsverluste einen erheblichen Einfluss auf die o. g. Einsparungen. Bedingt durch die erforderlichen hohen Temperaturniveaus für die Einspeicherung sinkt die Jahresarbeitszahl. Infolgedessen kommt es zu einem erheblichen Mehrverbrauch an Strom, sodass die Speichereffizienz (ohne Berücksichtigung von Wärmeverlusten) lediglich bei ca. 67 Prozent liegt. Die Speichereffizienz von Kombi-Wärmespeichern liegt somit deutlich unter denen von anderen Kurzzeitspeichern, wie z.B. Batteriespeichern. Alternativ wäre es theoretisch auch denkbar, flächendeckend separate Heizungspufferspeicher vorzusehen, die aufgrund des niedrigeren möglichen Temperaturniveaus effizienter betrieben werden könnten. Abgesehen von Platzrestriktionen ist aufgrund der mutmaßlich geringen Wirkung (Lastverschiebungspotenzial laut Modellierung für ein EFH lediglich ca. 0,29 TWh/a / 4,74 Millionen Wärmepumpen im Jahr 2030 = ca. 60 kWh/a) das Kosten-Nutzen-Verhältnis solch zusätzlicher Heizungs-Pufferspeicher jedoch extrem gering. Aufgrund der ermittelten geringen Effizienz und der geringen Potenziale wird empfohlen, die maßgeblichen Energiesystemmodelle bzgl. der Sensibilität ihrer Ergebnisse hinsichtlich der Speichereffizienz und der Flexibilitäten von Gebäuden mit Wärmepumpen zu überprüfen und, falls notwendig, die Modellierung der Wärmepumpenspeicher entsprechend zu verbessern.

Um zu prüfen, ob und ggf. unter welchen Bedingungen Hybridwärmepumpen (2.4.4) einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können, wurden aufbauend auf dem Stromsystemmodell

Berechnungen für unterschiedliche Hybrid-Wärmepumpenkonfigurationen vorgenommen. CO₂-emissionsminimiert geregelte Hybridwärmepumpen sind selbst bei investitionskostenorientierter minimaler Auslegung auf 20 Prozent der erforderlichen Spitzenheizlast eine empfehlenswerte Lösung in Gebäuden mit (unabdingbar) hohen Auslegungsvorlauftemperaturen (> 55 °C) und hohem Wärmebedarf, wenn diese anstelle von monoenergetischen Wärmepumpen mit zu erwartenden geringen Jahresarbeitszahlen installiert werden. Die Grenz-Auslegungs-Systemtemperatur, ab der eine Gas- Hybridwärmepumpe mit einer geeigneten netzdienlichen Regelung zu signifikanten CO₂-Einsparungen gegenüber einer Luft-Wasser-Wärmepumpe führen kann, ist im Wesentlichen abhängig vom Installationsjahr und der Qualität der Wärmepumpe. Dabei gilt: Je besser die Effizienz der Wärmepumpe ist und je später sie installiert wird, desto höher ist die Grenz-Auslegungs-Systemtemperatur. In allen Fällen sollte bei Hybridwärmepumpen jedoch möglichst frühzeitig eine energetische Sanierung durchgeführt werden, um den notwendigen Spitzenlastanteil des Gaskessels auf Null zu reduzieren. CO₂-emissionsminimiert geregelte Hybridwärmepumpen stellen somit neben den Effizienzverbesserungsmaßnahmen bis ca. 2030 eine geeignete Lösung dar, um die CO₂-Emissionen von Gebäuden mit (unabdingbar) hohen Auslegungsvorlauftemperaturen (> 55 °C) und hohem Wärmebedarf signifikant zu verringern. Eine Abschätzung des Gesamteinsparpotenzials CO₂-minimiert betriebener Hybridwärmepumpen führt zu 35 kT bis 70 kT CO₂ für 2030, also etwa CO₂-Emissionen von ca. 10.000 mit Gaskesseln beheizten Einfamilienhäusern.

Trotz der zahlreichen Vereinfachungen bei den zuvor beschriebenen indikativen Modellierungen zu den Flexibilitäten lassen sich daraus grundlegende Erkenntnisse ableiten, die entscheidende Qualitätsverbesserungen für künftige Energiesystem-Modellierungen herbeiführen können. Aus diesen können wiederum geeignete Spezifikationen an künftig zu installierende Wärmepumpen abgeleitet werden, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- ▶ Da sowohl die Qualität der Wärmepumpen als auch die Systemtemperaturen der Heizungs- und Warmwassersysteme einen signifikanten Einfluss auf den Gesamtstrombedarf und den wärmepumpenbedingten Anteil an der Reservekapazität haben, wird empfohlen, diese beiden Parameter bei künftigen Energiesystemmodellierungen detaillierter zu berücksichtigen. Auch steht eine weitergehende Untersuchung und Modellintegration positiver Effekte bei größerer Verbreitung von Sole-/Wasser-Wasser-Systemen noch aus.
- ▶ Die Annahmen des Lastverschiebungspotenzials von Wärmepumpen durch Wärmespeicher sollten überprüft werden. Diesbezüglich wird eine realistischere Abbildung der Speicher und deren Steuerung empfohlen, die den erhöhten Stromverbrauch berücksichtigt, den die notwendige Speicher-Übertemperatur für die Aufladung bedingt. Obwohl in dieser Studie nicht näher untersucht, sollten dabei außerdem die Wärmeverluste und die begrenzte Überschussleistung zur Speicherbeladung von Luft-Wasser-Wärmepumpen bei niedrigen Außentemperaturen berücksichtigt werden.
- ▶ CO₂-minimiert gesteuerte Hybridwärmepumpen sollten als Brückentechnik für kritische Gebäude mit hohen Systemtemperaturen berücksichtigt werden, für die keine alternative erneuerbare Wärmeversorgungsoption zur Verfügung steht. Diese Gebäude sollten mittelfristig energetisch saniert werden, um perspektivisch einen Verzicht auf einen Gaskesseleinsatz zu erreichen. Der Einsatz von Hybridwärmepumpen hätte zudem den Vorteil, flexibel auf den tatsächlichen Ausbaufortschritt der erneuerbaren Energien reagieren zu können und dabei immer die geringstmöglichen CO₂-Emissionen sicherzustellen.

Politikempfehlungen

Aus den Ergebnissen der simulationsbasierten Analysen werden in Kapitel 3 (Politik-) Empfehlungen abgeleitet. Diese zielen insbesondere darauf ab, den Einbau effizienter Wärmepumpen zu gewährleisten und diese effizient zu betreiben. Die Empfehlungen adressieren unterschiedliche Akteure: Die Wärmepumpen-Hersteller, das Handwerk aber auch die Besitzer*innen und Betreibenden von Gebäuden durch Information und Förderung. Zentral ist dabei, die richtigen Anreize zu setzen, damit effiziente Wärmepumpen angeboten und auch installiert werden. Gleichzeitig sollten ineffiziente Wärmepumpen sukzessive aus dem Markt gedrängt werden (ordnungsrechtliche Vorgaben).

Ein wichtiger Faktor für einen effizienten Betrieb ist die Wahl einer Wärmequelle mit möglichst hohem Temperaturniveau insbesondere während der Heizperiode. Hierzu zählen u.a. das Erdreich und Grundwasser. Die Erschließung dieser Wärmequellen ist oftmals mit höheren Investitionskosten verbunden als die Nutzung von Außenluft als Wärmequelle. Die Mehrkosten sollten durch gezielte Förderung im Rahmen der BEG zumindest teilweise ausgeglichen werden. Neben den Kosten ist der Planungsaufwand für diese Wärmequellen höher. Die gezielte Information von Gebäudeeigentümer*innen kann Bedenken entgegenwirken.

Für den effizienten Betrieb sind eine effizienz sichernde Einbausituation und insgesamt eine gute Planung, Einbindung und Installation essenziell. Für einen effizienten Betrieb sind möglichst niedrige Systemtemperaturen des Heizsystems wichtig. Diese können durch unterschiedliche Maßnahmen erreicht werden: guter baulicher Wärmeschutz sowie, wo möglich, der Einbau von Flächenheizungen. Beides kann durch eine gezieltere Förderung unterstützt werden. Auch die Warmwasserbereitung kann einen wesentlichen Einfluss auf die Systemtemperaturen bzw. die von der Wärmepumpe bereitzustellenden Temperaturen haben. Lösungen, die auch niedrige Systemtemperaturen erlauben, sollten gezielt gefördert (z. B. Frischwasserstationen) und sowohl Planende als auch Gebäudeeigentümer*innen informiert und sensibilisiert werden. Darüber hinaus können z. B. Standard-Hydraulik-Schemata helfen, Planung und Installation zu vereinfachen und Fehler zu vermeiden. Letzteres ist insbesondere für Mehrfamilien- und Nicht-Wohngebäude relevant, bei denen eine entsprechende Standardisierung durch die geringe Marktdurchdringung bislang noch nicht erfolgt ist. Um die Qualität der Installation zu verbessern und in den relevanten Berufsgruppen Kapazitäten und Know-how aufzubauen, sind zielgerichtete Weiterbildungsangebote sowie eine Anpassung der Ausbildungspläne in Verbindung mit einer Attraktivitätssteigerung der relevanten Berufsbilder wichtig. Dies kann zum eine durch politische Akteure unterstützt werden, ebenso sind aber auch die Innungen gefragt.

Um zu gewährleisten, dass am Markt angebotene Wärmepumpen zunehmend effizienter werden, können zum einen die Ökodesign-Anforderungen sukzessive verschärft werden (ordnungsrechtliche Vorgaben), zum anderen kann die Förderkulisse dazu beitragen, dass möglichst nur noch die effizientesten Wärmepumpen nachgefragt werden. Hierfür können die Mindesteffizienzanforderungen im Rahmen der BEG weiter erhöht werden sowie differenzierte Fördersätze abhängig von der Effizienz etabliert werden.

Ist eine grundsätzlich effiziente Wärmepumpe nach guter Planung installiert, gilt es einen effizienten Betrieb möglichst über die gesamte Lebensdauer aufrechtzuerhalten. Ein wichtiger Faktor hierbei ist es, Fehler zu erkennen und auszubessern. Dabei können selbstlernende Algorithmen und Fernüberwachung einen wichtigen Beitrag leisten. Die Verbreitung beider Ansätze kann entweder durch Anreize oder auch durch eine Verpflichtung befördert werden. Da bei jeder Heizungsanlage das Verhalten der Nutzenden einen großen Einfluss hat, können diese durch integrierte Effizienzanzeigen sensibilisiert werden. Sie bekommen dadurch auch die Möglichkeit, selbst aktiv zu werden, um die Effizienz zu erhöhen.

Um die Flexibilitätspotenziale der Wärmepumpen als eine wichtige Technik für die Kopplung der Bereiche Strom und Wärme zu heben, sind entsprechende Steuersignale seitens der Stromnetzbetreiber eine Grundvoraussetzung. Im Rahmen der Simulationen wurden v.a. Potenziale hinsichtlich der CO₂-Emissionsminderung von Wärmepumpen-Hybridheizungen betrachtet. Für eine entsprechende Steuerung sind hierfür Steuersignale und -algorithmen notwendig, die sowohl den aktuellen und prognostizierten (zumindest für einige Stunden) Emissionsfaktor der Stromerzeugung als auch die aktuelle Effizienz einer Wärmepumpen-Hybridheizung berücksichtigen. Damit eine emissionsmindernde Steuerung möglich ist, müssten auch die Anforderungen an Wärmepumpen-Hybridheizungen im GEG angepasst werden. Zu beachten ist, dass Wärmepumpen-Hybridheizungen nur Emissionen mindern können, solange die Stromerzeugung noch nicht vollständig defossilisiert wurde. Sie sind daher nur eine Brückentechnik und der fossile Kessel einer solchen Heizungsanlage sollte mittelfristig durch Sanierungsmaßnahmen am Gebäude überflüssig werden.

Umfrage

An der zwischen dem 19. Juli und dem 20. August 2023 durchgeführten Online-Umfrage nahmen insgesamt 682 Personen teil. Die Teilnahme war dabei vergleichsweise gleichmäßig über die Bundesländer verteilt. Von den Befragten gaben etwa 72 Prozent an, sich bereits mit der Technik von Wärmepumpen auseinandergesetzt zu haben. Bei den Befragten handelte es sich mehrheitlich um Eigentümer*innen (85 Prozent) von Ein- und Zweifamilienhäusern (78 Prozent). In etwa 75 Prozent der Gebäude waren Erdgas- und Erdöl-Heizungen verbaut, während bereits 13,6 Prozent eine Wärmepumpe installiert hatten. Die Einstellung der Befragten gegenüber Wärmepumpen war grundsätzlich positiv, wobei die Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Finanzierungsmöglichkeiten etwas kritischer bewertet wurden. Die wichtigsten Informationsquellen waren Energieberater, Wärmepumpenhersteller, Handwerksbetriebe und Verbraucherzentralen. Zusätzliche Informationen wurden vor allem in Bezug auf die technische Eignung der Gebäude und die erforderlichen Bau- und Anpassungsmaßnahmen am Gebäude gewünscht. Es ist jedoch zu beachten, dass die Umfrageergebnisse nicht als repräsentativ angesehen werden können, da unter anderem hinsichtlich des Geschlechts, des Bildungsniveaus sowie beim angegebenen Wissensstand zu Wärmepumpen ein deutliches Bias zu erkennen ist.

Finanzierungs- und Förderinstrumente

In Bezug auf Finanzierungs- und Förderinstrumente für Investitionen in Wärmepumpen lassen sich folgende Punkte festhalten. Die Bereitstellung von Ausfallgarantien, mit denen günstige Finanzierungsinstrumente erreicht werden können, kann dazu beitragen, energetische Sanierungen zu ermöglichen. Ausfallgarantien können die Hemmschwelle senken, Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen, weil sie den nach Förderung verbleibenden Finanzbedarf abdecken.

Die Berechnungen zeigen am Beispiel einer Heizungserneuerung mit Wärmepumpe, dass unter den betrachteten Kostenannahmen eine Finanzierbarkeit, d. h. gleichbleibende Wohnkosten, unter der Prämisse gleichbleibender Wohnkosten ohne Berücksichtigung der bestehenden Förderung nur bei sehr geringen Zinssätzen sowie langen Laufzeiten erreicht werden kann. Schon eine geringe Förderquote von 10 Prozent kann nennenswerte Spielräume schaffen. Dieser Effekt verstärkt sich bei einer Förderquote von 30 Prozent.

Grundsätzlich bieten die betrachteten innovativen Finanzierungsmodelle im Vergleich zur BEG den Vorteil, dass die Ansätze sich voraussichtlich nicht preissteigernd auswirken. Bei der derzeitigen Förderung im Rahmen der BEG ist davon auszugehen, dass sich durch die

attraktiven Förderbedingungen die Preise im Markt für Wärmeerzeuger erhöhen, sofern die Marktakteure einen Teil der Förderung einpreisen.

Summary

As part of its heat pump campaign, the German government aims to install more than 500,000 heat pumps annually. In total, more than six million new heat pumps are to be installed by 2030.¹² Many accompanying studies are currently being carried out for this "heat pump campaign", whereby, among other things, the "Monitoring of BMWK measures for the implementation of a heat pump campaign"¹³ under the leadership of Guidehouse has already been able to gather many important findings. An important signal in this regard also comes from the revised Building Energy Act (GEG)¹⁴, which stipulates that new heating systems should in future use at least 65 percent renewable energies wherever possible. This would give heat pumps a share of about 25 percent of all heat generators by 2030. This ramp-up thus particularly affects the use of heat pumps in existing buildings.

This study, commissioned by the Federal Environment Agency (UBA), describes the technical and economic advantages, consequences and limits of the widespread use of heat pumps from a microeconomic as well as from an energy system perspective - without depicting each individual case. For this purpose, heat pump systems in existing buildings are first simulated in detail and with a high temporal resolution before derivations and policy recommendations are formulated.

Content

The study is based on a detailed simulation-based analysis of individual buildings (chapter 2.3) on the basis of DIN EN ISO 52016¹⁵ with the Building Energy Performance model (BEP) developed by Guidehouse. The simulation-based analysis forms the basis for deriving policy recommendations (Chapter 3) for an economically and climate-optimized heat pump ramp-up that is in line with the medium and long-term climate protection goals of the Federal Republic. With this model, the resulting annual performance factors are determined for the most important heat pump configurations in typical representative existing buildings. Together with the findings on the frequency of flow temperatures in existing buildings¹⁶, an estimate of the expected average annual performance factors of the heat pumps installed in the future can be made and compared with the assumptions and results of other scenarios. Based on this, the efficiency potentials for the use of heat pumps are shown. The focus here is in particular on the possible increase in efficiency by lowering the flow temperatures in the context of a radiator replacement and/or an energy refurbishment.

In the further course of the investigation on flexibilities (chapter 2.4), a holistic impact assessment including the cumulative CO₂ emissions over the lifetime of the different heat pump solution options is made, considering a simplified electricity system model. The focus of the study is on the potentials of efficiency improvement (2.4.2), grid-serving heat storage (2.4.3) and hybrid heat pumps (2.4.4).

Based on the findings of the simulations, recommendations for policy makers and other relevant actors are derived to ensure efficient heat pump operation. Addressed topics are the choice of heat source, efficiency-ensuring installation situation, efficient market supply and ensuring the choice of a suitable heat pump, installation, integration and adjustment, hot water production, efficient operation as well as flexibilities to reduce GHG emissions.

¹² BMWK, 2023

¹³ Hermelink et al., 2023

¹⁴ GEG:2024

¹⁵ DIN EN ISO 52016-1:2018-04

¹⁶ Offermann et al., 2023

As part of the research, a publicly accessible survey was also conducted to identify support needs regarding information and financing of heat pumps in existing buildings (chapter 4). The aim of the survey was to identify the current state of knowledge, sources of information used and their trustworthiness, as well as the economic viability of heat pumps, including financing barriers.

Heat pumps involve significantly higher investment costs than fossil boilers and can currently only become more economically attractive through subsidies and lower operating costs. However, with the introduction of the 65 percent RE rule, fossil boilers will no longer be an option in many cases. For some building owners, financing the investment costs is not affordable or only affordable to a limited extent, even after deducting subsidies. In addition to the work in the project "Finanzinnovationen für die Wärmewende"¹⁷ of the German Business Initiative for Energy Efficiency (DENEFF), in which options for innovative financing models for energy refurbishments and the replacement of heating systems were developed together with actors from the financial sector, in-depth analyses were carried out within the framework of an ad hoc analysis, which can be found in the appendix of the report. The paper aims to supplement the results developed in the DENEFF project with the following aspects:

1. Supplementary information on the target groups considered, especially on the number of households in each group.
2. Exemplary consideration of the affordability threshold: At what interest rates and loan terms can energy-efficient refurbishment measures or the installation of a heat pump be financed without increasing the households' housing cost burden?
3. Rough estimate of the financial requirements for default guarantees.

Results

The main results of the individual building considerations are, on the one hand, annual performance factors (2.3.3.1) for the nine variants investigated and their discussion (2.3.3.2) and, on the other hand, the determination of an average annual performance factor for new heat pumps in existing buildings (2.3.3.3).

The results in chapter 2.3.3.1 show that even with an hourly simulation an annual performance factor of about 3.0 is achieved with a standard heat pump under standard conditions in existing buildings (flow/return temperature: 55/45 °C). The other variants show the influence of the flow temperature on the efficiency when the heat transfer system (radiators) is dimensioned differently for an otherwise identical building. In the following variants, the radiators are dimensioned smaller (lower heat output), which leads to the fact that the nominal flow temperature must be raised to 70 °C and the annual performance factor (APC) drops to 2.4 (25 percent higher total final energy demand). In the case of radiators with a larger heat output, the nominal flow temperature can be lowered to 45 °C, which increases the seasonal performance factor to 3.45 and reduces the final energy demand by 12 percent. The selection of a heat pump with better coefficients of performance (COP) leads to a final energy reduction of approx. 9 percent, while a heat pump with minimum efficiency according to the Ecodesign Directive has an additional consumption of 24 percent. The use of a brine heat pump achieves savings of 24 percent compared to the reference variant. For brine heat pumps, no variations in flow temperatures and HP qualities were investigated. However, it can be assumed that the expected percentage deviations would be of a similar order of magnitude to the deviations of the

¹⁷ DENEFF, 2023

other variants compared to the reference variant. In the variant in which the domestic hot water is permanently heated to 60 °C (compared to 48 °C) and provided via a circulation system in the single-family house (EFH), 15 percent more HP electricity is consumed than necessary. The operating time and temperature of a circulation system should be checked again at the latest when installing a heat pump to see if they are limited to the necessary minimum. In the last EFH variant, a comprehensive refurbishment of the building's exterior wall and windows ($U_{AW} = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{FE} = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$) is assumed with simultaneous optimisation of the heating system temperatures to 44/36 °C. The heat pump is then installed in the building. In this way, a total of 58 percent of the total final energy can be saved. Without optimising the system temperatures, the savings would be 53 percent. Finally, a variant with a small multi-family house is considered, which, with similar boundary conditions as the single-family house reference variant, only achieves an overall energy performance factor of 2.7 (compared to 3.0). The main differences lie in the domestic hot water system (DHW system): as in the DHW variant of the detached house, a constant DHW temperature of 60° C and a circulation system are assumed. In addition to this, however, as is usual for multi-family houses, no night shut-off of the domestic hot water is set. Accordingly, the water heating efficiency in the MFH variant is significantly lower than in the EFH reference variant (2.15 vs. 3.22: - 33 percent). In the case of a combination of the individual air HP variants considered, their total effect compared to the reference variant V1_Ref can be estimated by multiplication, considering the individual effects (e.g. in the case of a combination of V3_VL45 and V4_WPgut: $1 - (1 - 11 \text{ percent}) \cdot (1 - 9 \text{ percent}) = 19 \text{ percent}$).

The discussion of the results in chapter 2.3.3.2 shows that the simulation results of the present study are essentially in line with the current research results from the projects "WPSmart im Bestand"¹⁸ (Fraunhofer ISE), "Durchbruch für die Wärmepumpe"¹⁹ (Öko-Institut, Fraunhofer ISE) and "LowEx-Bestand Analyse"²⁰ (Fraunhofer ISE). The result of the study on the average annual performance factors of new heat pumps in existing buildings leads to an AER of 3.1 and thus to a very good agreement with the assumptions in the long-term scenarios ²¹ (part "Energy demand building sector"). The determination of the average annual performance factors of new heat pumps in existing buildings is based on the above simulation results, the proportions of nominal flow temperatures in the German building stock (see UBA ad-hoc paper "Solution options for heat pumps in existing buildings")²², the consideration of different annual performance factors for air and brine HP, as well as different annual performance factors for heating and domestic hot water (with/without circulation system). However, it can also be stated that a more comprehensive analysis, which would include further simulation variants (e.g. for MFH, NWG, new construction, further HP types), could increase the resilience of the extrapolation to the building stock. In order to actually achieve or ideally exceed this average annual performance factor of 3.1 in the existing building stock, the following aspects should be ensured:

- ▶ System optimisation: Setting the optimum possible heating and hot water system temperatures (ideally including hydraulic balancing).
- ▶ Ensuring professional installation and (as far as possible) fault-free operation.

¹⁸ Günther et al., 2020

¹⁹ Bürger et al., 2022

²⁰ Bongs et al., 2022

²¹ Sensfuß et al., 2022

²² Offermann et al., 2023

- ▶ Increased use of brine or water heat pumps, which have a considerably higher efficiency than air-water heat pumps due to the system. If these are used in combination with surface heating systems, there is the possibility of passive cooling (without using heat pumps). In the case of passive cooling with geothermal probes, these can usually be dimensioned smaller, which saves investment costs.
- ▶ Improve the quality of newly installed heat pumps, e.g. high-efficiency compact air-source heat pumps with the climate- and environmentally-friendly refrigerant propane (this would require avoiding the penetration of the market with cheaper heat pumps with lower efficiency and conventional refrigerants).
- ▶ Improvement of the building-related framework conditions, e.g. (early) energy refurbishment or retrofitting of low-temperature radiators or panel heating systems.

Through the flexibility considerations, it was possible to evaluate potentials for improving efficiency (2.4.1), grid-serving heat storage (2.4.2) and hybrid heat pumps (2.4.3) with the help of the developed electricity system model 2.4.4).

The electricity system model (2.4.1) represents the aspect of the weather-dependent connection between the supply of renewable electricity (wind power, PV, other renewables, short-term storage) and the demand from heat pumps, which is essential for the interaction with heat pumps. For the load profile of the additional heat pumps installed from 2022 onwards, the load profile of the standard air-source heat pumps of the reference variant of the single-building analysis without system-serving control or storage was assumed (typical, partially renovated single-family house with radiators VL/RL: 55/45 °C ; JAZ_HZ+TWW: 3.0). It can be seen that the additionally installed heat pumps have a relevant share in the energy demand and load in winter. During an extreme hour on 12 January (24h), the share of heat pumps in the total load is over 40 percent in 2040. During the summer, however, the load and energy demand of the heat pumps are negligible. If the average annual COP for the air-to-water heat pump considered is still approx. 3.0, the COP drops to approx. 1.4 during the extreme winter hour since the COP of the heat pump at -14 °C is approx. 1.5 and the heating rod also takes over approx. 18 percent of the required heating power.

For the evaluation of the savings potential through efficiency improvement (2.4.2), a heat pump of improved quality is assumed instead of the previously selected standard air heat pumps according to the reference variant. This improved heat pump already leads to a 9 percent reduction in total electricity demand in the individual building analysis. In relation to the electricity system model, the use of the improved heat pumps results in disproportionately high savings in the residual electricity demand (2030: -2.0 terawatt hours (TWh); 2040: -4.9 TWh). This is due to the fact that in 2030 the residual electricity only accounts for 35 percent of the total electricity, but the savings from the efficiency improvement of the heat pumps mainly affect the residual electricity. In 2040, according to the model calculations, 4.9 TWh of renewable residual electricity would be saved (1.3 percent of the residual electricity demand). Assuming that the renewable residual electricity is generated from green hydrogen (H₂ re-conversion efficiency of 34 percent), this results in a saving of 14.3 TWh of renewable electricity, which is equivalent to the electricity production of 1,500 wind power plants. Annual CO₂ savings peak in 2032 at around 1 megaton (Mt) per year. The cumulative CO₂ savings possible by 2040 amount to 12.9 Mt. For classification: The CO₂ savings of 1 Mt/a correspond to the emissions of approx. 250,000 single-family houses heated with gas boilers. In addition to the savings in electricity demand, a reduction in the peak load of the additionally installed heat pumps could also be achieved through the general quality improvement of heat pumps. In 2030, this WP peak load

can be reduced by 2 GW from 34 gigawatts (GW) to 32 GW and in 2040 by 6 MW from 94 GW to 88 GW. Further savings of a similar magnitude can be achieved through efficiency improvements by lowering system temperatures. As described above, these can be achieved in part by simply optimising the system settings, hydraulic balancing or replacing individual critical radiators. Additional, even significantly higher savings potentials could be achieved by improving the thermal insulation of the building through energy-efficient renovations.

Grid-serving heat storage systems (2.4.3) are also able to increase the share of renewable energies and relieve the electricity grids. The potential savings in residual electricity (without taking heat losses into account) resulting from the modelling, if all heat pumps were equipped with appropriate storage systems, would only amount to 0.29 TWh in 2030 and 0.76 TWh in 2040. CO₂ savings of 145 kT could be achieved through the residual electricity savings in 2030, which would correspond to the emissions of approx. 35,000 single-family homes heated with gas boilers. The residual electricity saving of 0.76 TWh in 2040 would correspond to a saving of 2.2 TWh of renewable electricity (at a reconversion efficiency of 34 percent), i.e. equivalent to the amount of electricity generated by approx. 250 wind turbines. The savings are small because a surplus of renewable energies in the electricity grid does not occur regularly, e.g. daily, but rather in phases. In addition, the generation losses have a considerable influence on the above-mentioned savings. Due to the high temperature levels required for storage, the annual performance factor decreases. As a result, there is a considerable increase in electricity consumption, so that the storage efficiency (without taking heat losses into account) is only approx. 67 percent. The storage efficiency of combi heat storage systems is thus significantly lower than that of other short-term storage systems, such as battery storage systems. Alternatively, it would theoretically also be conceivable to provide separate heating buffer storage tanks across the board, which could be operated more efficiently due to the lower possible temperature level. However, apart from space restrictions, due to the presumably low effect (load shifting potential according to modelling for an EFH only approx. 0.29 TWh/a / 4.74 million heat pumps in 2030 = approx. 60 kWh/a), the cost-benefit ratio of such additional heating buffer storage is extremely low. Due to the determined low efficiency and the low potentials, it is urgently recommended to review the relevant energy system models regarding the sensitivity of their results with regard to the storage efficiency and the flexibilities of buildings with heat pumps and, if necessary, to improve the modelling of the heat pump storage accordingly.

In order to examine whether and, if so, under which conditions hybrid heat pumps (2.4.4) can make a contribution to climate protection, calculations were also made for different hybrid heat pump configurations based on the electricity system model. CO₂-emission-minimised controlled hybrid heat pumps are a recommendable solution even with an investment-cost-oriented minimum design to 20 percent of the required peak heating load, if they are installed instead of mono-energetic heat pumps with expected low annual performance factors. The boundary design system temperature at which a gas hybrid heat pump with a suitable grid-adapted control can lead to significant CO₂ savings compared to an air-water heat pump essentially depends on the year of installation and the quality of the heat pump. The following applies: the better the efficiency of the heat pump and the later it is installed, the higher the possible design system temperature. In all cases, however, an energetic renovation of buildings equipped with hybrid heat pumps should be carried out as early as possible in order to reduce the necessary peak load share of the gas boiler to zero. CO₂-emission-minimised controlled hybrid heat pumps thus represent, in addition to the efficiency improvement measures, a suitable solution until about 2030 to significantly reduce the CO₂ emissions of buildings with (inevitably) high design flow temperatures (> 55 °C) and high heat demand. An estimate of the total savings potential of

CO₂-minimised hybrid heat pumps leads to 35 kt to 70 kt CO₂ for 2030, i.e. approximately CO₂ emissions of 10,000 single-family houses heated with gas boilers.

Despite the numerous simplifications in the previously described indicative modelling of flexibilities, fundamental insights can be derived from them that can bring about decisive quality improvements for future energy system modelling. From these, suitable specifications for heat pumps to be installed in the future can be derived, which can be summarized as follows:

- ▶ Since both the quality of the heat pumps and the system temperatures of the heating and hot water systems have a significant influence on the total electricity demand and the heat pump-related share of the reserve capacity, it is recommended that these two parameters be considered in future energy system modelling.
- ▶ The assumptions of the load shifting potential of heat pumps through storage should be reviewed. In this regard, a more realistic representation of the storage and its control is recommended, which considers the increased power consumption that the necessary storage overtemperature causes. Although not examined in detail in this study, the heat losses and the limited excess power for storage loading of air-water heat pumps at low outside temperatures should also be considered.
- ▶ CO₂-minimized hybrid heat pumps should be considered as a bridging technology for critical buildings with high system temperatures for which no alternative renewable heat supply option is available. However, this only applies to those buildings that are due to undergo comprehensive energy-related renovations in the medium term, which in the future will enable the use of gas boilers to be dispensed with. The use of hybrid heat pumps would also have the advantage of being able to react flexibly to the actual expansion progress of renewable energies while always ensuring the lowest possible CO₂ emissions.

The results of the simulation-based analyses are used to derive (policy) recommendations in Chapter 3. These are particularly aimed at ensuring the installation of efficient heat pumps and their efficient operation. The recommendations address different actors: the heat pump manufacturers, the trades but also the owners and operators of buildings through information and support. The key is to create the right incentives so that efficient heat pumps are offered and installed. At the same time, inefficient heat pumps are gradually being pushed out of the market (regulatory requirements).

An important factor for efficient operation is choosing a heat source with the highest possible temperature level, especially during the heating season. These include, among other things, the soil and groundwater. Developing these heat sources often involves higher investment costs than using outside air as a heat source. The additional costs should be at least partially offset by targeted funding within the BEG. In addition to the costs, the planning effort for these heat sources is higher. Targeted information from building owners can counteract concerns.

For efficient operation, an installation situation that ensures efficiency and overall good planning, integration and installation are essential. For efficient operation, the lowest possible system temperatures of the heating system are important. These can be achieved through various measures: good structural thermal insulation and, where possible, the installation of surface heating. Both can be supported through targeted funding and are already being supported, at least in part. Hot water preparation can also have a significant influence on the system temperatures or the temperatures to be provided by the heat pump. Solutions that also

allow low system temperatures should be specifically promoted (e.g. freshwater stations) and both planners and building owners should be informed and made aware. In addition, e.g. B. Standard hydraulic schemes in planning and installation help to simplify this and avoid errors. The latter is particularly relevant for multi-family and non-residential buildings, where appropriate standardization has not yet taken place due to low market penetration. In order to improve the quality of the installation and build capacities and know-how in the relevant professional groups, targeted further training offers and an adjustment of the training plans in conjunction with increasing the attractiveness of the relevant job profiles are important. On the one hand, this can be supported by political actors, but the guilds are also in demand.

In order to ensure that heat pumps offered on the market become increasingly more efficient, the eco-design requirements can be gradually tightened (regulatory requirements), and on the other hand, the funding framework can help ensure that only the most efficient heat pumps are in demand. For this purpose, the minimum efficiency requirements within the framework of the BEG can be further increased and differentiated funding rates can be established depending on efficiency.

If a generally efficient heat pump is installed after good planning, it is important to maintain efficient operation over its entire service life, if possible. An important factor here is recognizing and correcting errors. Self-learning algorithms and remote monitoring can make an important contribution. The spread of both approaches can be promoted either through incentives or through an obligation. Since the behaviour of the users has a major influence on any heating system, they can be made aware through integrated efficiency displays. This also gives you the opportunity to become active yourself in order to increase efficiency.

In order to leverage the flexibility potential of heat pumps as an important technology for coupling the areas of electricity and heat, appropriate control signals from the electricity network operators are a basic requirement. As part of the simulations, the potential for reducing CO₂ emissions from heat pump hybrid heating systems was considered. For appropriate control, control signals and algorithms are necessary that consider both the current and forecast (at least for a few hours) emission factor of electricity generation as well as the current efficiency of a heat pump hybrid heating system. In order for appropriate emission-reducing control to be possible, the requirements for heat pump hybrid heating systems in the GEG would also have to be adjusted. It should be noted that heat pump hybrid heating systems can only reduce emissions as long as electricity generation has not yet been completely de-fossilized. They are therefore only a bridging technology and the fossil boiler of such a heating system should become superfluous in the medium term through renovation work on the building.

A total of 682 participants took part in the online survey, which was conducted between July 19 and August 20, 2023. Participation was comparatively evenly distributed across the federal states. Of those surveyed, around 72 percent stated that they had already looked into the technology of heat pumps. The majority of those surveyed were owners (85 percent) of single- and two-family homes (78 percent). Natural gas and petroleum heating systems were installed in around 75 percent of the buildings, while 13.6 percent already had a heat pump installed. The attitude of those surveyed towards heat pumps was generally positive, although the aspects of economic efficiency and financing options were assessed somewhat more critically. The most important sources of information were energy consultants, heat pump manufacturers, craft businesses and consumer advice centres. Additional information was requested, particularly with regard to the technical suitability of the buildings and the necessary construction and adaptation measures to the building. However, it should be noted that the survey results cannot be viewed as representative, as there is a clear bias with regard to, among other things, gender, level of education and the stated level of knowledge about heat pumps.

With regard to Financing and funding instruments for investments in heat pumps the following can be summarized. Providing default guarantees that enable affordable financing instruments to be achieved can help make energy-efficient renovations possible. Default guarantees can lower the inhibition threshold for implementing climate protection measures because they cover the remaining financial needs after funding.

Using the example of a heating renovation with a heat pump, the calculations show that the cost assumptions considered are financially viable, i.e. H. constant housing costs, under the premise of constant housing costs without taking existing funding into account, can only be achieved with very low interest rates and long terms. Even a low funding rate of 10 percent can create significant scope. This effect increases at a funding rate of 30 percent.

In principle, the innovative financing models under consideration offer the advantage compared to the BEG that the approaches are unlikely to have a price-increasing effect. With the current funding under the BEG, it can be assumed that the attractive funding conditions will increase prices in the market for heat generators, provided that market players include part of the funding.

1 Hintergrund und Ziel

Vor dem Hintergrund der Dekarbonisierungsziele im Wärmebereich sowie der Notwendigkeit zur Reduktion von Energieimporten sind Wärmepumpen in vielen Fällen die beste Option. Dabei ist Effizienz ein wichtiges Kriterium, um die stark wachsende Anzahl von Wärmepumpen auch mit erneuerbaren Energien versorgen zu können und die Energiekosten zu begrenzen. Die Effizienz ist nicht nur stark abhängig vom jeweiligen Typ (Sole-, Wasser- bzw. Luft-Wärmepumpen (WP)), sondern auch von der konkreten Einbausituation und der damit einhergehenden Systemtemperatur (Vorlauf) des Heizungsverteilsystems und der Qualität der Wärmepumpen.^{23,24,25,26} Im Zuge der 65 percent Erneuerbaren-Energien-Regel für neu einzubauende Heizungssysteme soll die Anzahl der neu installierten Wärmepumpen auf über 500.000 pro Jahr ansteigen, so dass im Jahr 2030 über 5 Mio. Wärmepumpen gemäß der Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)-Langfristszenarien (5,4 Mio. Wärmepumpen und 0,34 Mio. Hybridwärmepumpen)²⁷ installiert sein sollen, was dann ca. 25 percent des gesamten Wärmeerzeugerbestandes ausmacht. Ein wachsender Anteil von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden hat erhebliche Auswirkungen auf den Stromsektor. Dieser wurde u.a. in den BMWK-Langfristszenarien,²⁸ berücksichtigt.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der Untersuchung, die technischen und wirtschaftlichen Vorteile, Folgen und Grenzen des breiten Wärmepumpeneinsatzes aus einzelwirtschaftlicher wie aus Energiesystem-Perspektive zu beschreiben – ohne jeden Einzelfall abzubilden. Hierzu werden zunächst Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden detailliert und zeitlich hoch aufgelöst simuliert, bevor Ableitungen und Politikempfehlungen formuliert werden.

²³ Bongs et al., 2022

²⁴ Günther et al., 2020

²⁵ Bürger et al., 2022

²⁶ Sensfuß et al., 2022

²⁷ Sensfuß et al., 2022 im Szenario T45-Strom in 2030:

²⁸ Sensfuß et al., 2022

2 Simulationsbasierte Analyse

Die simulationsbasierte Analyse bildet die Grundlage zur Ableitung von Politikempfehlungen (siehe Kapitel 3) für einen ökonomisch und klimatechnisch optimierten Wärmepumpenhochlauf, der im Einklang mit den mittel- und langfristigen Klimaschutzziele der Bundesrepublik steht.

Hierfür werden zunächst für die wichtigsten Wärmepumpen-Konfigurationen in typischen repräsentativen Bestandsgebäuden die sich ergebenden Jahresarbeitszahlen bestimmt (2.3). Zusammen mit den Erkenntnissen zur Häufigkeit der Vorlauftemperaturen in Bestandsgebäuden²⁹ kann eine Abschätzung der zu erwartenden mittleren Jahresarbeitszahlen der künftig eingebauten Wärmepumpen erfolgen und mit den Annahmen und Ergebnissen anderer Szenarien abgeglichen werden.

Darauf aufbauend werden die Effizienzpotenziale beim Einsatz monoenergetischer Wärmepumpen aufgezeigt. Im Fokus stehen hierbei insbesondere die mögliche Effizienzsteigerung durch Absenkung der Vorlauftemperaturen

- a) im Rahmen eines Heizkörperaustausches und/oder
- b) einer energetischen Sanierung der Außenwände und/oder Fenster.

Darüber hinaus werden Untersuchungen zur Bandbreite der marktverfügbaren Wärmepumpenqualitäten durchgeführt und die entsprechenden Potenziale und Risiken eingeschätzt.

In einem zweiten Teil (2.4) wird unter Berücksichtigung eines vereinfachten Stromsystemmodells eine ganzheitliche Wirkungseinschätzung inklusive der über die Lebensdauer kumulierten CO₂-Emissionen der unterschiedlichen Wärmepumpenlösungsoptionen durchgeführt. Der Fokus der Untersuchung liegt hierbei auf den Potenzialen der Effizienzverbesserung, Speichern und Hybridwärmepumpen.

2.1 Gebäudemodell

Die Energiebedarfsmodellierung erfolgte stundenfein durch das von Guidehouse entwickelte Building Energy Performance Tool (BEP-Tool)³⁰. Die Grundlage für die Energiebedarfsberechnung bildet die DIN EN ISO 52016.³¹ Die Norm definiert sehr detailliert u.a. das stundenbezogene Berechnungsverfahren für den Energiebedarf für Heizung und Kühlung und für Innentemperaturen. Es berücksichtigt dabei alle relevanten Einflussfaktoren auf den Energiebedarf, wie z.B. das stündliche Klima, die Bauteil-Flächen und deren Wärmedurchgangskoeffizienten (Transmission), die wirksamen Luftwechsel (Lüftung) und die solaren und internen Wärmegevinne.

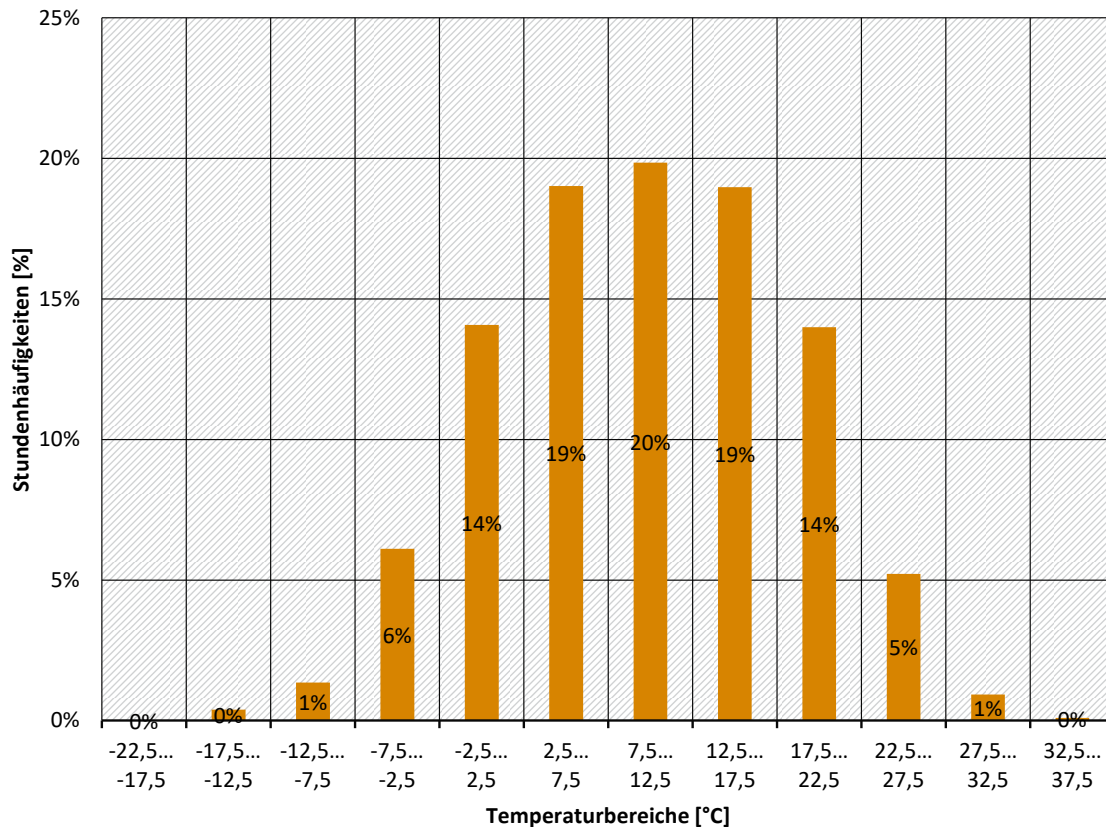
Als Klima wurde der deutsche Referenzklimaort Potsdam (2020) gewählt, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zu allen sonstigen Gebäudeenergiegesetz (GEG)-relevanten Untersuchungen herzustellen. Die stündlichen Klimadaten wurden aus der international anerkannten Meteotest-Software³² extrahiert. Abbildung 1 zeigt die für die Wärmepumpeneffizienz entscheidende Stundenhäufigkeit bestimmter Temperaturbereiche über das Jahr 2020.

²⁹ Offermann et al., 2023

³⁰ Guidehouse, 2022

³¹ DIN EN ISO 52016-1:2018-04

³² Meteotest, 2021

Abbildung 1: Histogramm der Stundenhäufigkeiten der Temperaturbereiche im Referenzklima Potsdam im Jahr 2020

Quelle: [Meteotest, 2021]

Die Stundenhäufigkeiten der Temperaturbereiche sind für Wärmepumpenuntersuchungen besonders relevant, da die Effizienz der Luft-/Wasser-Wärmepumpen mit sinkenden Außentemperaturen deutlich abnimmt. Beispielsweise erreicht eine heutige Standard-Wärmepumpe³³ bei 45 °C Vorlauftemperatur bei 10 °C Außentemperatur eine Leistungszahl (COP- Coefficient of performance) von etwa 4 und bei einer Außentemperatur von -7 °C nur noch einen COP von knapp 2,5 (siehe auch Abbildung 2 im nächsten Kapitel). Abbildung 1 zeigt jedoch, dass nur für etwa 1 Prozent aller Stunden im Jahr die Temperaturen weniger als -7 °C betragen.

2.2 Wärmepumpenmodell

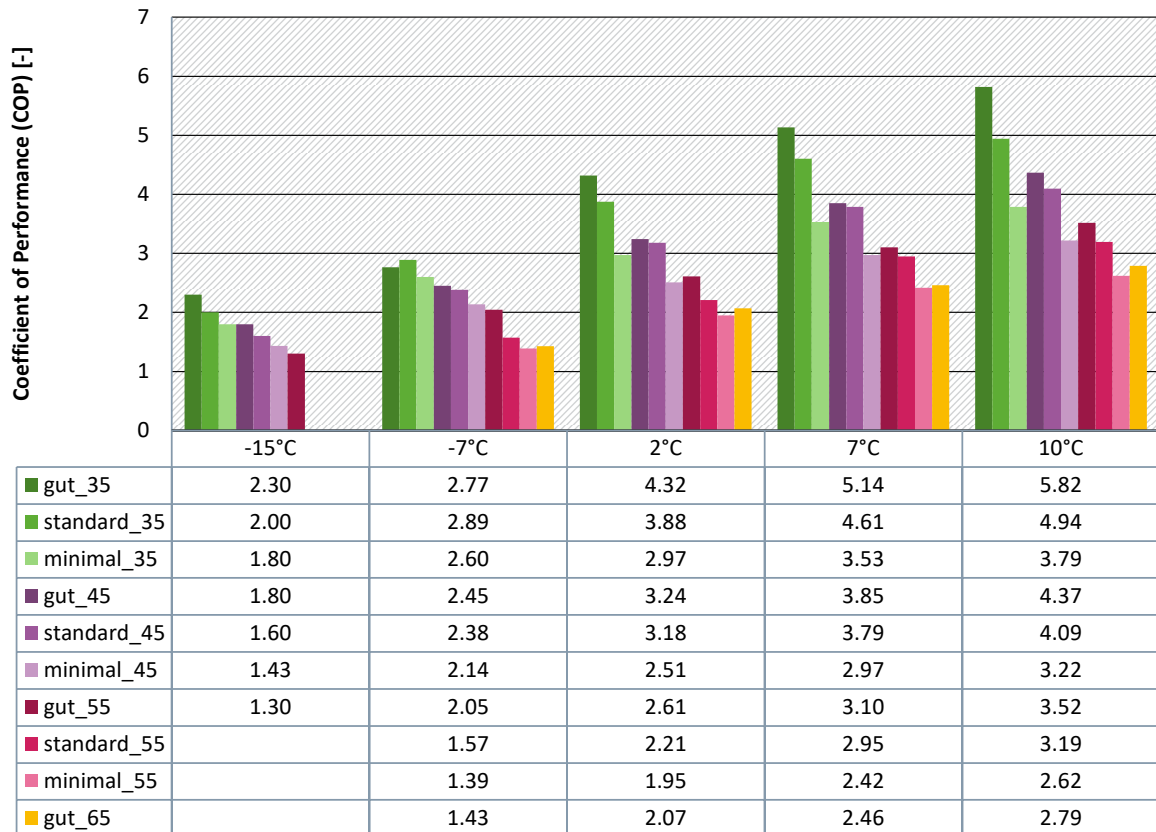
Im BEP-tool werden die Luft-Wasser-Wärmepumpen für diese Untersuchung nicht wie üblich über ein Carnot-Modell abgebildet, sondern anhand folgender Aspekte:

- Verwendung von Normkennzahlkennfeldern (=Matrizen für Wärmepumpen-Leistungszahlen für unterschiedliche Vorlauftemperaturen (20...80 °C) und Außentemperaturen (-25...+40 °C) unter Berücksichtigung (Teil-)Last) aktueller Luft-Wasser-Wärmepumpen führender Hersteller (siehe Abbildung 2 mit Einteilung in

³³ Hermelink et al., 2023; In Anlehnung an eine umfangreiche Wärmepumpendatenbank, die im Zuge der Wärmepumpen-Offensive basierend auf der get-Produktdatenbank (Amt der Salzburger Landesregierung, 2022) erstellt wurde.

Effizienzkategorien gut³⁴ / standard³⁵ / minimal^{36, 37}); lineare Interpolation zwischen den Leistungszahlen

Abbildung 2: Leistungszahlen (COP) von Luft-Wasser Wärmepumpen führender Hersteller gruppiert nach guter, üblicher (Standard) und minimaler Effizienz (Ökodesign)



Quelle: Wärmepumpendatenbank aus [Hermelink et al., 2023]

- ▶ Berücksichtigung der Taktungs-Verluste bei niedriger Lastanforderung: wenn der Bedarf unter 20 Prozent der Auslegungsleistung liegt, wurde in Anlehnung an VDI 4650 ein Effizienzverlust von 9 Prozent berücksichtigt
- ▶ Berücksichtigung der Leistungsgrenzen der Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Außen- und Systemtemperatur sowie deren Auslegung
- ▶ Berücksichtigung der außentemperaturabhängigen Heizkörper-Leistungskennlinien zur Ermittlung der notwendigen Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizsystems

³⁴ Wärmepumpe mit guter Effizienz: Durchschnittswerte von aktuellen Kompakt Luft-Wärmepumpen namhafter Hersteller mit Kältemittel Propan

³⁵ Standard-Wärmepumpe: Durchschnittswerte von Split-Wärmepumpen namhafter Hersteller mit konventionellem Kältemittel (R-449A bzw. R-410A); Hinweis: Die verwendete Wärmepumpendatenbank, die im Zuge des Wärmepumpen-Offensive Projekts erstellt wurde (siehe Hermelink et al., 2023), zeigt, dass die Wärmepumpeneffizienzen für die Kältemittel R410A und R32 im Mittel fast identisch sind.

³⁶ Wärmepumpe mit minimaler Effizienz: Für die minimal Effizienz wurden Minimalanforderungen an Wärmepumpen in Anlehnung an die Ökodesign-Verordnung (EU) Nr. 813/2013 herangezogen und vom Straßburger Klima auf das Potsdamer Klima umgerechnet.

³⁷ Hinweis: Wärmepumpen mit Standard- und Minimaler-Effizienz können bei -15°C keine Vorlauftemperatur von 55 °C oder 65 °C erreichen. Hier ist ein 100%iger Heizstabeinsatz erforderlich.

Als Modellprämisse wird vorausgesetzt, dass eine Außentemperaturabhängige Vorlauftemperaturregelung und kein Heizungspufferspeicher vorhanden sind.

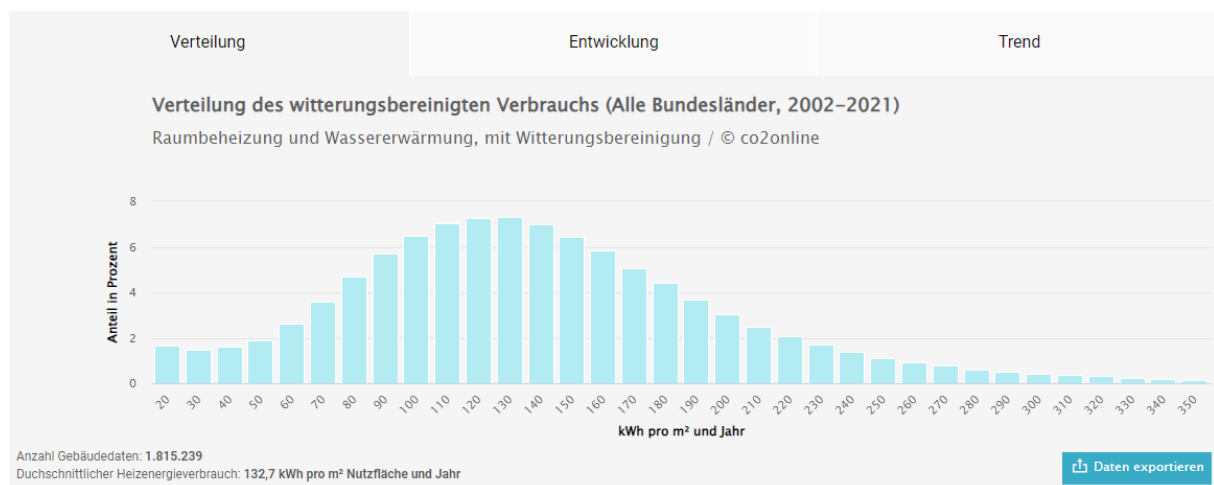
Wenn die Heizleistung der Wärmepumpe im monoenergetischen Betrieb nicht ausreicht, wird die verbleibende Heizleistung durch ein Elektroheizelement (Heizstab) erbracht. Im Auslegungsfall, also bei den üblichen Normauslegungstemperaturen (Potsdam: -14 °C), wird davon ausgegangen, dass (Luft-)Wärmepumpen unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten so ausgelegt werden, dass der Heizstab 1/3 der Heizleistung erbringt. Der sog. Bivalenzpunkt, d. h. die Grenz-Außentemperatur, ab der der Heizstab die (Luft-)Wärmepumpe teilweise unterstützen muss, liegt dabei im Bereich von -4 °C bis -7 °C). Dabei handelt es sich um eine ökonomische Entscheidung, um die Wärmepumpe nicht unnötig groß zu dimensionieren, da der Heizstab trotzdem nur in sehr wenigen sehr kalten Stunden des Jahres unterstützen muss. Falls beispielsweise die monoenergetische Wärmepumpe ab -5 °C Außentemperatur in den bivalent-parallel betrieb mit dem Heizstab geht, muss der Heizstab nur etwa 2 Prozent der gesamten Heizarbeit leisten (Wärmepumpe: 98 Prozent).³⁸

2.3 Einzelgebäudebetrachtung

2.3.1 Referenzgebäude

Die Untersuchungsgebäude wurden in Anlehnung an das Impact Assessment der Europäischen Gebäuderichtlinie entwickelt und im Hinblick auf den häufigsten mittleren witterungsbereinigten Verbrauch der co2online-Erhebung der Jahre 2002-2021 angepasst (Abbildung 3), um etwa einen Endenergiekennwert von 120 bis 130 kWh/m²a zu erreichen.

Abbildung 3: Empirische Verbrauchswerte (witterungsbereinigt) für Raumheizung und Trinkwarmwassererwärmung in Deutschland (2002-2021)



Quelle: [co2online]

Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Gebäudekennwerte der Untersuchungsgebäude.

Tabelle 1: Gebäudekennwerte der Untersuchungsgebäude

Parameter	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus	Einheit
Wohnfläche, A _{Wfl}	126	503	m ²

³⁸ Quelle: Herstellerdatenblatt der Bosch CS7400iAW Wärmepumpe

Parameter	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus	Einheit
Außenwandfläche, A_{AW}	120	383	m^2
Dachfläche, A_{DA}	79	205	m^2
Fensterfläche, A_{FE}	25	92	m^2
Bodenfläche, A_{BO}	73	191	m^2
Wärmedurchgangskoeffizient Außenwand, U_{AW}	0,67	0,68	W/m^2K
Wärmedurchgangskoeffizient Dach, U_{DA}	0,35	0,31	W/m^2K
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster, U_{FE}	2,20	2,20	W/m^2K
Wärmedurchgangskoeffizient Boden, U_{BO}	0,54	0,45	W/m^2K
Wärmebrücken	0,10	0,10	W/m^2K
Luftwechsel	0,35	0,35	1/h

2.3.2 Wärmepumpenvarianten

Basierend auf den oben beschriebenen Untersuchungsergebnissen werden folgende Varianten für die Wärmepumpenbetrachtung ausgewählt. Dabei liegt der Fokus auf Wärmepumpentyp und der jeweiligen Effizienz, sowie auf den Systemtemperaturen (Heizen und Trinkwarmwasser) und dem Trinkwarmwassersystem (Zirkulationssystem und Nachtabstaltung). Anhand der ausgewählten Varianten sollen die Einflüsse der o. g. wesentlichen Parameter auf die Jahresarbeitszahlen verdeutlicht werden.

Ziel ist es, die typischen Varianten mit den größten Häufigkeiten im Gebäudebestand abzudecken und die relevantesten Parameter zu variieren. Die möglichen Einsatzgebiete von Hybrid-Wärmepumpen in Bezug auf die Netzdienlichkeit werden in den späteren Kapiteln behandelt. Tabelle 2 zeigt die Charakteristika der Untersuchungsvarianten der Einzelgebäudebetrachtung.

Tabelle 2: Untersuchungsvarianten Einzelgebäudebetrachtung

Nr.	Gebäude- typ	Wärme- schutz	WP- Typ	WP-Effizienz η_s ³⁹ gemäß Öko-Design- Richtlinie ⁴⁰	System- tempe- raturen (Vorlauf/ Rücklauf)		Zirkulations- system	TWW- Nacht- abschal- tung
				35 °C / 55 °C	Heizung	Warm- wasser		
V1	EFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Standard: 178 % / 126 %	55/45	48	Nein	Ja
V2	EFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Standard: 178 % / 126 %	70/55*	48	Nein	Ja
V3	EFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Standard: 178 % / 126 %	45/37*	48	Nein	Ja
V4	EFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Gut: 188 % / 141 %	55/45	48	Nein	Ja
V5	EFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Minimal*** 125 % / 110 %	55/45	48	Nein	Ja
V6	EFH	Bestand_ mittel	Sole- WP	Standard: 191 % / 156 %	55/45	48	Nein	Ja
V7	EFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Standard: 178 % / 126 %	55/45	60	Ja	Ja
V8	EFH	Bestand_ verbesser t**	Luft- WP	Standard: 178 % / 126 %	44/36****	48	Nein	Ja
V9	SMFH	Bestand_ mittel	Luft- WP	Standard: 178 % / 126 %	55/45	60	Ja	Nein

Änderungen gegenüber V1 sind fett gedruckt.

*) Die unterschiedlichen Systemtemperaturen ergeben sich durch unterschiedlich dimensionierte Wärmeübergabesysteme (Heizkörper).

***) Umfassende Sanierung der Außenwand und der Fenster ($U_{AW} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{FE} = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$)

****) Minimalanforderung der Ökodesign-Richtlinie⁴¹ bzw. Klasse A+ der Energiekennzeichnungs-Richtlinie⁴²

³⁹ jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz η_s ; Anmerkung: Gemäß EU-Richtlinie 811/2013 entspricht für nicht Niedertemperatur WP eine Raumheizungseffizienz η_s von 125 bis 150 der zweit-effizientesten Klasse A++; Niedertemperaturwärmepumpen mit Raumheizungseffizienz η_s von > 175 werden entsprechend der effizientesten Klasse A+++ zugeordnet

⁴⁰ EU 813/2013

⁴¹ EU 813/2013

⁴² EU:2013

****) Die reduzierten Systemtemperaturen resultieren aus der Sanierung der Gebäudehülle und der dadurch reduzierten Heizlast (ca. 8,3 auf 4,8 kW).

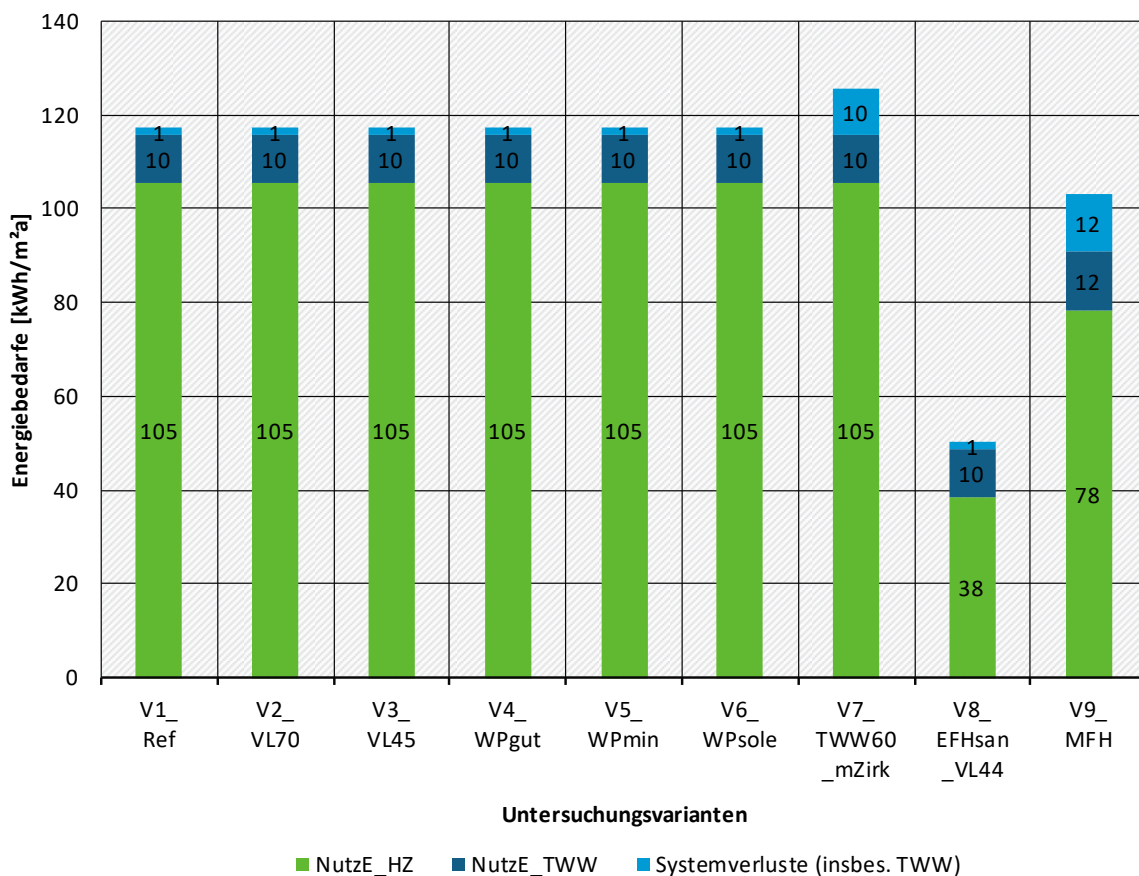
2.3.3 Ergebnisse

2.3.3.1 Energetische Berechnungen

Die energetischen Berechnungen wurden mit dem in 2.1 und 2.2 beschriebenen Guidehouse-Berechnungsmodell durchgeführt.

Abbildung 4 zeigt für die in 2.3.2 beschriebenen Wärmepumpenvarianten die Aufteilung der Anteile an der Erzeugernutzwärmeabgabe (Nutzenergie und Verluste), die von der jeweiligen Wärmepumpe erbracht wird.

Abbildung 4: Nutzenergiebedarfe Heizen und Trinkwarmwasser und Gesamt-Systemverluste (Verteilung, Speicherung)



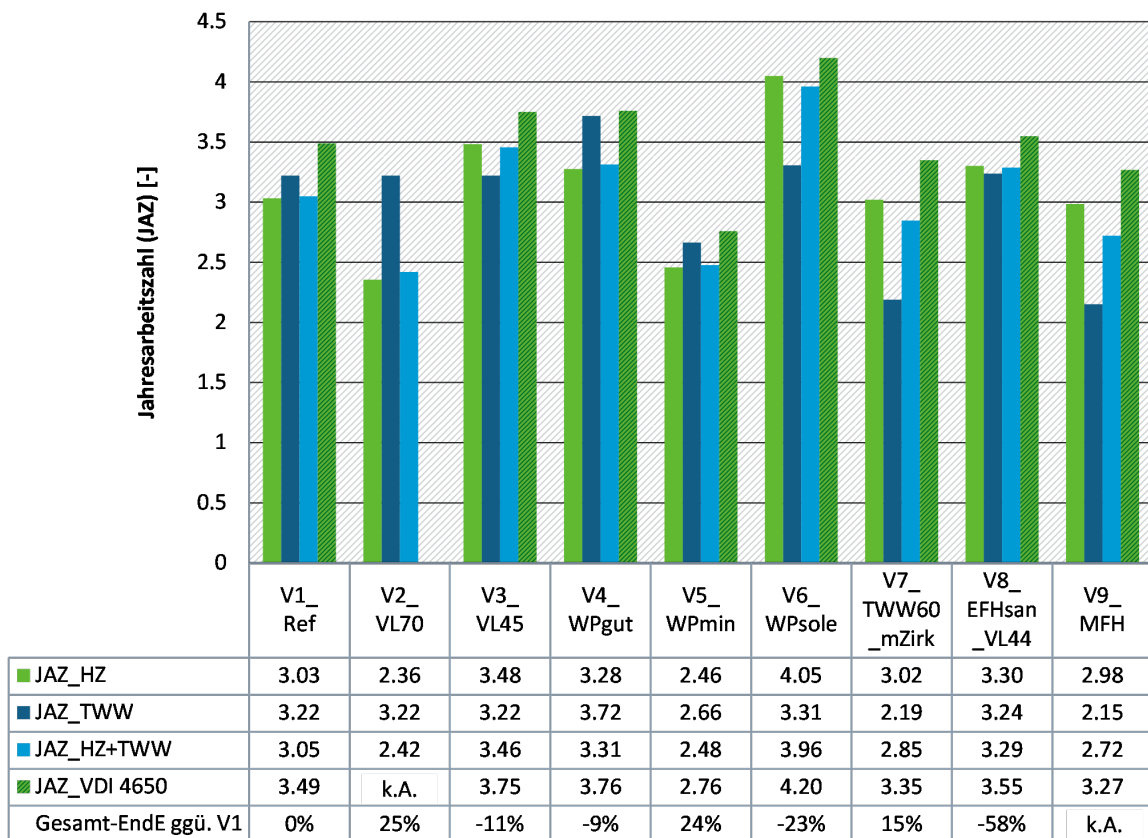
Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

Die Erzeugernutzwärmeabgabe beträgt in den EFH- Varianten V1 bis V6 knapp 120 kWh/m²a. Diese Größenordnung beschreibt in etwa den häufigsten mittleren Verbrauch im deutschen Gebäudebestand aus Abbildung 3 (Endenergiekennwert von 120 bis 130 kWh/m²a). Jedoch hat der Heizenergiebedarf (d. h. die Gebäudequalität) nur einen geringen direkten Einfluss auf die Effizienz von Heizungswärmepumpen. Von entscheidender Bedeutung sind die Systemtemperaturen des Heizungssystems. Diese können nach einer energetischen Sanierung oder Überprüfung der Heizkörperdimensionierung i. d. R. gesenkt werden. Die Varianten 7 und 9 weisen aufgrund des Zirkulationssystems deutlich höhere Systemverluste auf und die

Varianten 8 und 9 einen deutlich reduzierten Nutzenergiebedarf Heizen: Variante 8 aufgrund der Gebäudehüllsanierung auf ein ambitioniertes Niveau (Außenwand und Fenster), Variante 9 aufgrund des besseren A/V⁴³-Verhältnisses des Mehrfamilienhauses gegenüber dem Einfamilienhaus.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse in Form der Jahresarbeitszahlen für Heizung und Trinkwarmwasser (JAZ_HZ und JAZ_TWW) und die daraus ermittelte Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpe (JAZ_HZ+TWW). Die Jahresarbeitszahlen ergeben sich aus der Kombination der WP-Leistungszahlen (s. Abbildung 2) und den stündlichen Vorlauftemperaturen des Modells. Außerdem weist Abbildung 5 den Mehr-/Minderverbrauch bezogen auf den Gesamtenergiebedarf gegenüber der Referenzvariante (V1_Ref) aus. Ebenfalls dargestellt werden informativ die Jahresarbeitszahlen nach VDI 4650,⁴⁴ die strukturell über den Werten der stundengenauen Berechnung liegen.

Abbildung 5: Ergebnisse der Jahresarbeitszahlen (JAZ) für Heizung und Trinkwarmwasser für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) sowie der Gesamtenergiebedarf



Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

In der Referenzvariante (**Variante 1**) wird bei einer Norm-Vorlauftemperatur von 55 °C und mit einer Standard-WP eine JAZ von etwa 3,0 erreicht.

Die Varianten 2 und 3 zeigen den Einfluss der Vorlauftemperatur auf die Effizienz, wenn das Wärmeübergabesysteme (Heizkörper) bei sonst identischem Gebäude unterschiedlich

⁴³ Verhältnis Umfassungsfläche A zu Volumen V

⁴⁴ VDI 4650 Blatt 1

dimensioniert wird. In **Variante 2** werden die Heizkörper niedriger dimensioniert (geringere Wärmeabgabe), was dazu führt, dass die Nenn-Vorlauftemperatur auf 70 °C angehoben werden muss und die JAZ auf 2,4 absinkt (25 Prozent höherer Gesamt-Endenergiebedarf). **Variante 3** verfügt über Heizkörper mit einer höheren Wärmeabgabe, wodurch die Nenn-Vorlauftemperatur auf 45 °C abgesenkt werden kann. Das erhöht die JAZ auf 3,45 und verringert den Endenergiebedarf um 12 Prozent.

Die Auswahl einer Wärmepumpe mit besseren Leistungszahlen (COP) führt in **Variante 4** zu einer Endenergiereduktion von ca. 9 Prozent, während eine Wärmepumpe mit Minimaleffizienz nach Ökodesign-Richtlinie (**Variante 5**) einen Mehrverbrauch von 24 Prozent aufweist.

Die Verwendung einer Sole-WP in **Variante 6** erreicht Einsparungen ggü. der Referenzvariante von 24 Prozent. Für Sole-Wärmepumpen wurden keine Variationen der Vorlauftemperaturen und WP-Qualitäten untersucht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die dabei zu erwartenden relativen Abweichungen gegenüber der Variante 6 in etwa gleicher Größenordnung wie die dargestellten Abweichungen der übrigen Luft-WP-Varianten gegenüber Referenzvariante 1 liegen würden.

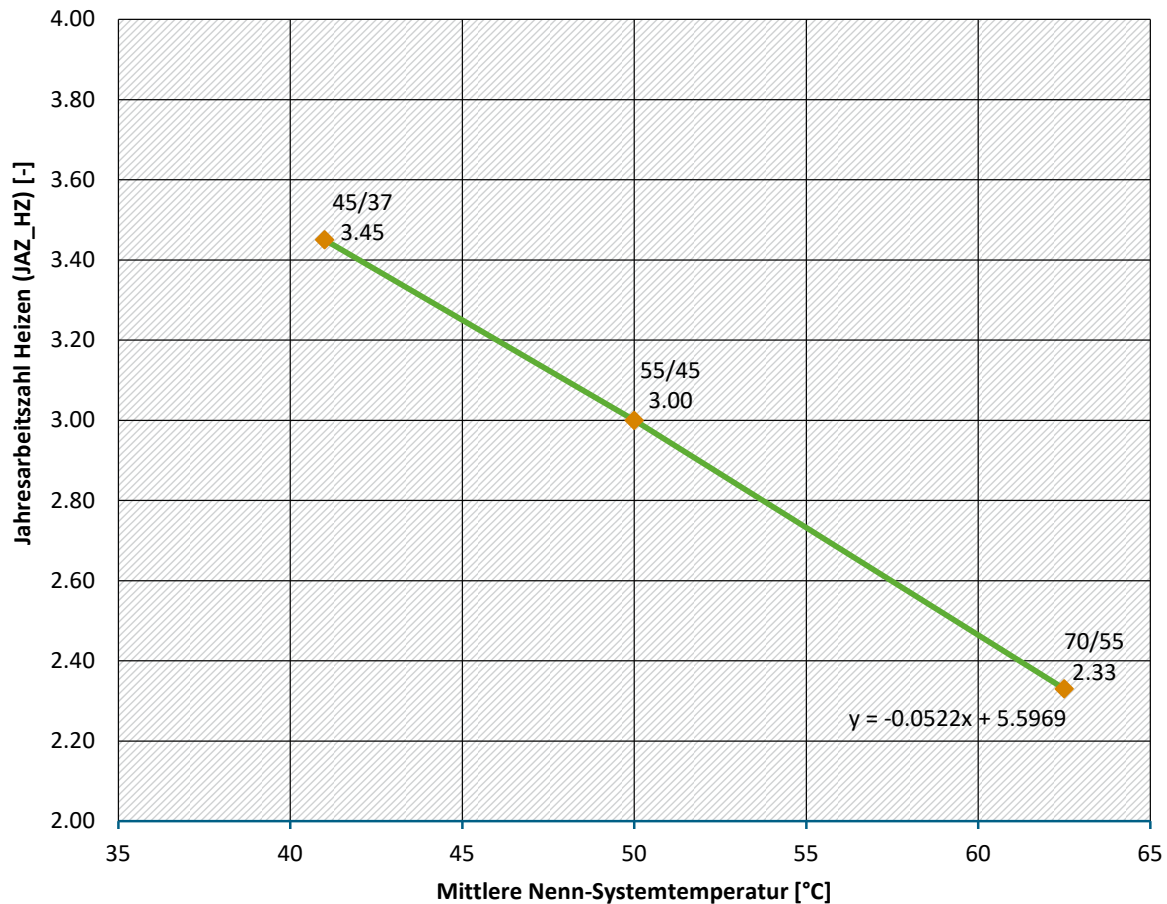
In **Variante 7** werden 15 Prozent mehr WP-Strom verbraucht als notwendig, indem das Trinkwarmwasser dauerhaft auf 60 °C (ggü. 48 °C) erwärmt und über ein Zirkulationssystem im EFH bereitgestellt wird. Die Betriebsdauer und die Temperatur eines Zirkulationssystems sollten spätestens bei der Installation einer Wärmepumpe nochmals überprüft werden, ob sie auf das notwendige Minimum begrenzt sind.

Variante 8 beschreibt eine umfassende Sanierung der Außenwand und der Fenster des Gebäudes ($U_{AW} = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{FE} = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$) bei gleichzeitiger Optimierung der Heiz-Systemtemperaturen auf 44/36 °C. Dadurch können insgesamt 58 Prozent der Gesamt-Endenergie eingespart werden. Ohne Optimierung der Systemtemperaturen lägen die Einsparungen bei 53 Prozent.

In der letzten **Variante 9** wird ein kleines Mehrfamilienhaus betrachtet, das bei ähnlichen Randbedingungen wie Variante 1 nur eine Gesamt-JAZ von 2,7 (ggü. 3,0) erreicht. Die wesentlichen Unterschiede liegen im Trinkwarmwassersystem: wie in Variante 7 des Einfamilienhauses, wird von einer konstanten Trinkwarmwassertemperatur von 60 °C und einem Zirkulationssystem ausgegangen. Zusätzlich dazu wird aber auch, wie für Mehrfamilienhäuser üblich, keine Nachtabschaltung des Trinkwarmwasser eingestellt. Dementsprechend liegt die JAZ für die Trinkwassererwärmung in der MFH-Variante 9 deutlich unterhalb der Referenzvariante 1 (2,15 ggü. 3,22: - 33 Prozent).

Bei einer **Kombination der** betrachteten Luft-WP-**Einzelvarianten** kann deren Gesamtwirkung gegenüber der Referenzvariante V1_Ref durch Multiplikation unter Berücksichtigung der Einzelwirkungen abgeschätzt werden (z.B. bei Kombination von V3_VL45 und V4_WPgut: $1 - (1 - 11 \text{ Prozent}) \cdot (1 - 9 \text{ Prozent}) = 19 \text{ Prozent}$).

Abbildung 6 zeigt basierend auf den Erkenntnissen der Varianten 1, 2 und 3 den Zusammenhang der Jahresarbeitszahl Heizen (JAZ_{HZ}) von der mittleren Nenn-Systemtemperatur.

Abbildung 6: Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl Heizen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe von den Auslegungssystemtemperaturen im Einfamilienhaus

Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse

Die obige Abbildung kann nun vereinfachend verwendet werden, um den Einfluss der Absenkung der Nenn-Systemtemperatur auf die Luft-WP-Jahresarbeitszahl für den Heizbetrieb abzuschätzen. Durch einen gezielten **Heizkörpertausch** von Plattenheizkörpern von Typ22 (2-reihig) auf Typ33 (3-reihig) kann beispielsweise die Nenn-Systemtemperaturen von 55/45 auf 47/40 abgesenkt werden. Dadurch steigt die Jahresarbeitszahl Heizen von vorher 3,0 auf etwa 3,3 an (10 Prozent Effizienzverbesserung).

2.3.3.2 Diskussion der Ergebnisse

Die in dieser Untersuchung ermittelten Jahresarbeitszahlen in Abhängigkeit von den Auslegungstemperaturen werden im Folgenden mit den Ergebnissen anderer einschlägiger Studien verglichen.

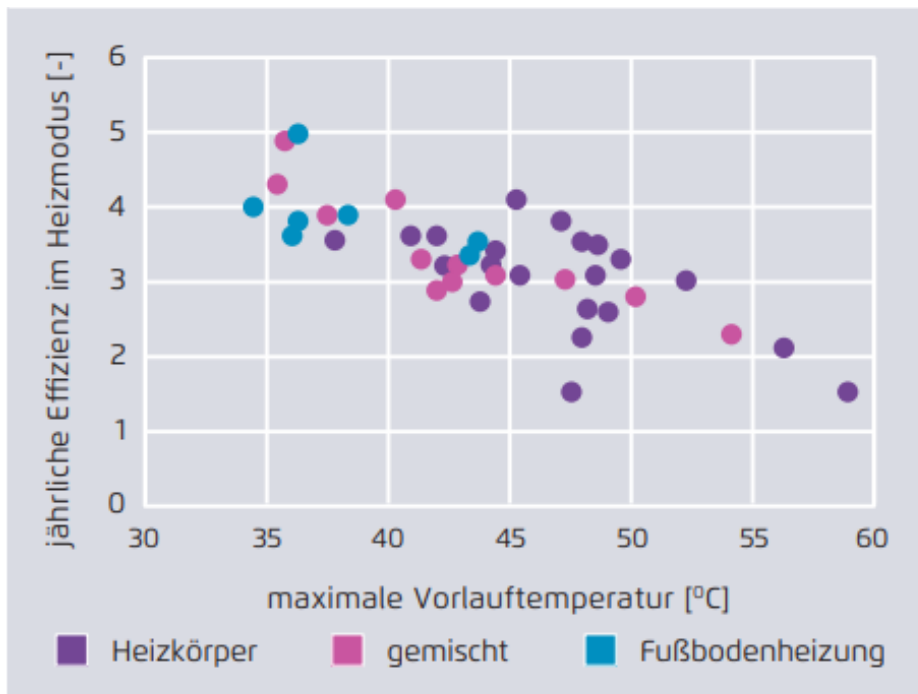
Auf Basis einer Auswertung der Messergebnisse des Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE)⁴⁵ im Rahmen der Studie „Durchbruch für die Wärmepumpe“⁴⁶ ergibt sich der in der folgenden Abbildung 7 dargestellte Zusammenhang zwischen der jährlichen Effizienz im Heizmodus und der maximalen Vorlauftemperatur. Demnach werden Jahresarbeitszahlen von über 3 lediglich bei maximalen Heizungs-Vorlauftemperaturen von unter 50 °C erreicht. Für Systeme mit maximalen Vorlauftemperaturen von über 50 °C, die wahrscheinlich den Großteil

⁴⁵ Günther et al., 2020

⁴⁶ Bürger et al., 2022

des Gebäudebestandes ausmachen, liegen im Rahmen des Feldtests nur sehr wenige Messdaten vor. Die wenigen Einzelfälle deuten jedoch darauf hin, dass die Jahresarbeitszahl bei einer maximalen Heizungsvorlauftemperaturen von über 50 °C bei unter 3 liegt. Bei den extrem niedrigen Arbeitszahlen im Bereich von 2 und darunter handelt es sich jedoch offenbar teilweise um ältere Anlagen mit niedrigen Normarbeitszahlen und Anlagen, bei denen der Heizstab aus unterschiedlichen Gründen (u.a. WP-Defekt, Fehlregelungen) sehr häufig zum Einsatz kam.

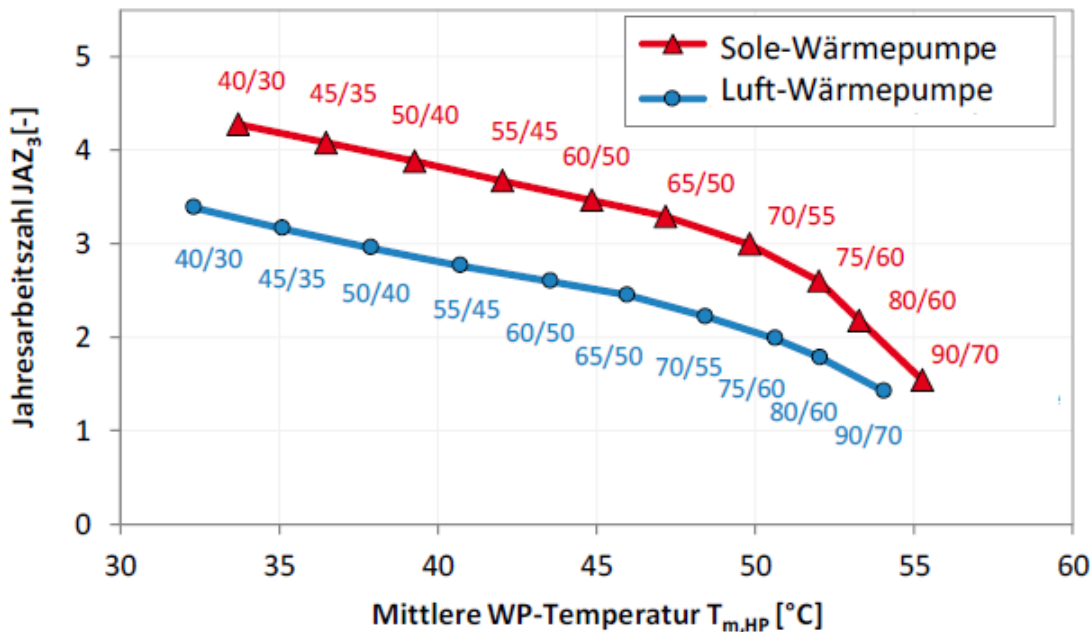
Abbildung 7: Jahresarbeitszahlen von 41 vermessenen Luft-WP in Abhängigkeit von der Nenn-Vorlauftemperatur und der Art des Wärmeübergabesystems



Quelle: [Bürger et al., 2022]

Demgegenüber beschreibt die Untersuchung „LowEx-Bestand Analyse“ des Fraunhofer ISE47 aus dem Jahr 2022 den in der Abbildung 8 dargestellten Zusammenhang, wonach für eine ein Luft-Wärmepumpe mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 55 °C eine Jahresarbeitszahl von 2,8 errechnet wurde.

⁴⁷ Bongs et al., 2022

Abbildung 8: Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl von den Auslegungssystemtemperaturen (VL/RL)

Quelle: [Bongs et al., 2022]

Im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung aus Kapitel 2.3.3.1 weisen die Simulationen von Fraunhofer ISE somit lediglich leicht niedrigere Jahresarbeitszahlen aus (2,8 ggü. 3,0 (für eine Standardwärmepumpe)). Dies könnte u.a. in den Annahmen zur Qualität der Wärmepumpe begründet sein.

Gemäß der obigen Simulationsergebnisse liegt der Mehrverbrauch bezogen auf die Gesamt-Endenergie eines mit einer Luftwärmepumpe versorgten Heizungssystems mit einer Auslegungsvorlauftemperatur von 70 °C gegenüber einem System mit 55 °C im Bereich von 25 Prozent (Variante 2 ggü. Variante 1). Das Forschungsvorhaben „LowEx-Bestand Analyse“ weist in seinem Abschlussbericht einen ähnlichen Mehrverbrauch bei 70 °C ggü. 55 °C Vorlauftemperatur aus (ca. 22 Prozent, JAZ 2,3 (70 °C) anstatt 2,8 (55 °C)).⁴⁸ Eine Verringerung der Vorlauftemperatur von 75 auf 50 °C führt bei diesem Forschungsvorhaben sogar zu einem 50 Prozent niedrigeren Verbrauch (JAZ 3,0 anstelle von vorher 2,0).

Die Simulationsergebnisse der vorliegenden Untersuchung stehen somit im Wesentlichen im Einklang mit den aktuellen Forschungsergebnissen des Projektes „LowEx- Bestand Analyse“ Fraunhofer ISE.

2.3.3.3 Mittlere Jahresarbeitszahlen für neue Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Auf Grundlage der obigen Simulationsergebnisse und der im Ad-hoc Papier „Lösungsoptionen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden“ ermittelten Anteile der Nenn-Vorlauftemperaturen im deutschen Gebäudebestand zeigt Tabelle 3 die Eckdaten für einen Ansatz zur Abschätzung der mittleren Jahresarbeitszahl für neue Wärmepumpen in Bestandsgebäuden.

⁴⁸ Bongs et al., 2022

Tabelle 3: Matrix zur Ermittlung der mittleren Jahresarbeitszahlen neuer Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Nenn-Vorlauf-temperaturen	Anteile am deutschen Gebäudebestand ⁴⁹ [%]	Anteil der installierten Luft-WP / Sole-WP ⁵⁰	Anteil Heizen/ Warmwasser am Endenergiebedarf ⁵¹	Mittlere JAZ_HZ für Luft-WP gem. Simulation ^{52, 53}	JAZ_WW mit / ohne Zirkulationssystem (Anteil am Gebäudebestand) ^{54, 55}	Mittlere JAZ in Bestandsgebäuden (Schätzung) ⁵⁶
> 65 °C	10 %	90 / 10 %	82 / 18 %	2,3	2,2 (60 %) / 3,2 (40 %)	3,1
55-65 °C	37 %			2,7		
45-55 °C	30 %			3,3		
35-45 °C	10 %			3,8		
< 35 °C	13 %			4,2		

Die obige Abschätzung der mittleren Jahresarbeitszahl für neue Wärmepumpen in Bestandsgebäuden berücksichtigt damit unterschiedliche JAZ von Luft- und Sole-WP, sowie unterschiedliche JAZ im Bereich Heizen und Trinkwarmwasser (mit/ohne Zirkulationssystem).

In der Studie zu den Langfristszenarien⁵⁷ wurde im Teil im der „Energienachfrage Gebäudesektor“ vom ifeu Institut konservativ mit einer mittleren JAZ⁵⁸ von 3,0 (Jahr 2030) bzw. 3,1 (Jahr 2045) gerechnet. Die in Tabelle 3 ermittelten mittleren JAZ aller neu installierten Wärmepumpen von 3,1 bestätigt damit die Einschätzung der Langfristszenarien im Jahresmittel.

Für die Einordnung dieser theoretischen mittleren JAZ in neuen Wärmepumpen in Bestandsgebäuden müssen die folgenden Punkte beachtet werden:

49 Experteneinschätzung Guidehouse basierend auf den Brennwertkesselanteilen nach [Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV), 2023] und der Modernisierungsrate der Heiz-Verteilssysteme nach [Cischinsky und Diefenbach, 2018]

50 Annahme: Sole-WP mit etwa 30 % höherer Gesamt-JAZ als Luft-WP (siehe JAZ_HZ+TWW von V6_WPsole / V1_Ref = 3,9 / 3,0 = 130 %)

51 Gewichtet aus EFH-Referenzvariante 1 (V1) und MFH-Variante (V9)

52 Gem. Gleichung aus Abbildung 6: $JAZ_{HZ} = -0,053 \cdot \text{Nenn-Systemtemperatur} + 5,65$ (Anwendung der mittleren Temperaturen der oben dargestellten Bereiche)

53 Bongs et al., 2022 bestätigt in etwa die ermittelten JAZ (siehe Abbildung 7)

54 Diefenbach et al., 2010: "Bei den in Tabelle 5.5-2 berücksichtigten Ein-/Zweifamilienhäusern liegt in knapp der Hälfte der Fälle (49 % +/- 2 %) eine Warmwasserzirkulation vor. Bei den betrachteten Altbau-Mehrfamilienhäusern liegt der Anteil der Fälle mit Zirkulation bei 79 % +/- 4 %."

55 Deutsche Energie-Agentur (dena), 2016: Verteilung Endenergiebedarf Wärme EFH / MFH am gesamten Endenergiebedarf Wärme in Wohngebäuden: ca. 62 / 38 %

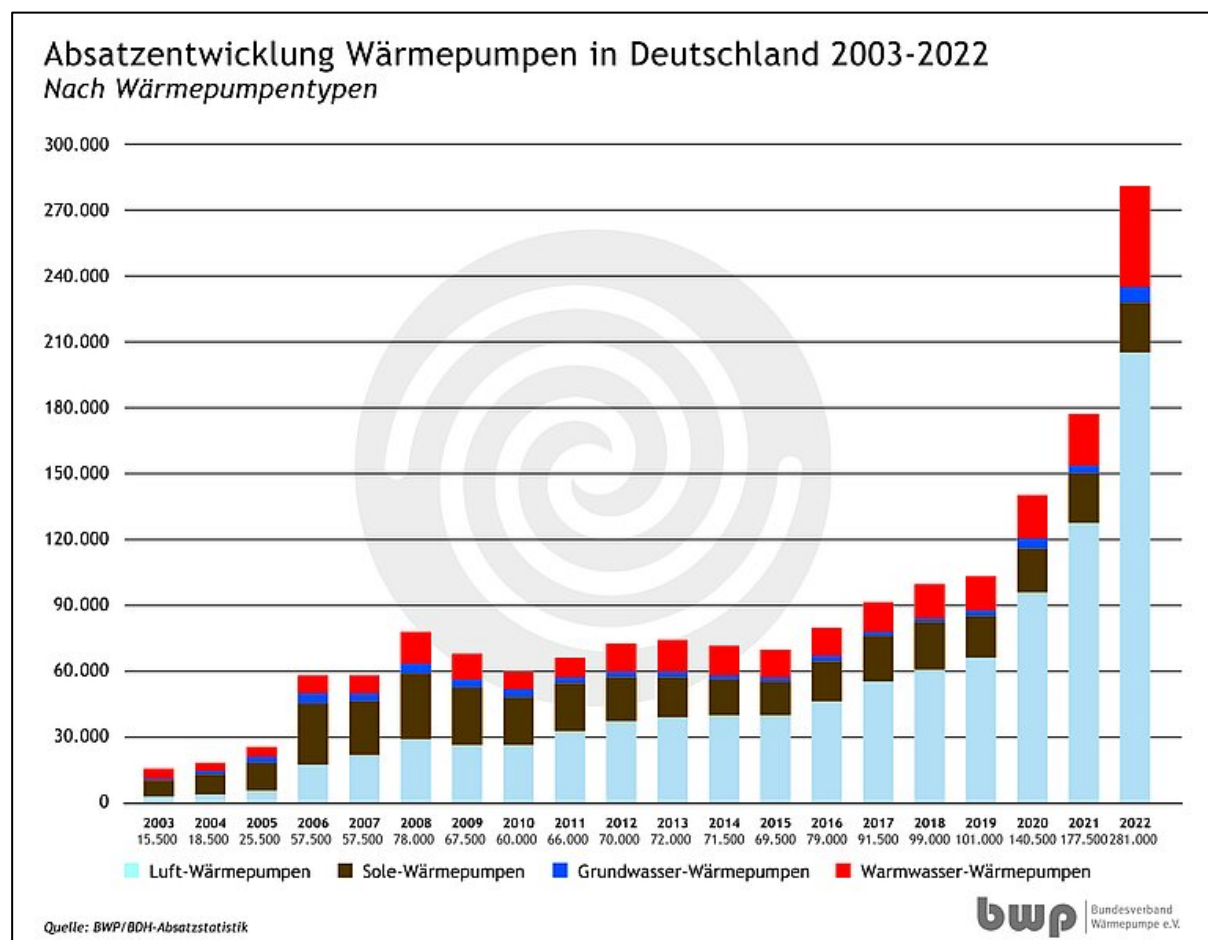
56 Die angegebene mittlere JAZ ergibt sich - gewichtet mit den Anteilen der Nenn-Vorlauftemperaturen am Gebäudebestand – aus den mittleren JAZ für Luft-WP (gem. Simulation und den um ca. 30% höheren Sole-WP-JAZ) und berücksichtigt zudem noch die Anteile für Heizen und Warmwasser am Endenergiebedarf und die Anteile der WW-Zirkulationssysteme.

57 Sensfuß et al., 2022

58 Mittelwert aller in dem Jahr installierten Wärmepumpen

- ▶ Bei den in Tabelle 3 aufgeführten Häufigkeiten der Auslegungs-Vorlauftemperaturen handelt es sich um Idealwerte. Es ist davon auszugehen, dass aktuell häufig höhere VL-Temperaturen eingestellt sind als notwendig. Dies lässt sich aus dem vergleichsweise geringen Einfluss der Systemtemperaturen auf den Heizenergiebedarf bei Heizkesseln und dem dadurch bedingten Fokus auf einen reibungsfreien Betrieb begründen. Anders ausgedrückt: Die in der Praxis eingestellten Vorlauftemperaturen können, u.a. wegen der Überdimensionierung von Heizkörpern häufig ohne Komfortverlust auf die Idealwerte gesenkt werden. Es ist davon auszugehen, dass sich die Realwerte den Idealwerten bis 2024 u. a. aufgrund der seit 2022 geltenden EnSimiMaV-Verordnung⁵⁹ annähern werden.
- ▶ Es wurde ein Anteil von lediglich 10 Prozent Erdwärmepumpen berücksichtigt. Abbildung 9 zeigt die Entwicklung des Absatzes nach Wärmepumpentyp. Laut der aktuellen Absatzentwicklung Wärmepumpen des Bundesverbands der Wärmepumpen (BWP) betrug der Absatz von Sole WP für das Jahr 2022 nur noch ca. 13 Prozent (31.000 von 256.000). Im Jahr 2021 waren es noch ca. 18 Prozent (27.000 von 154.000). Es ist davon auszugehen, dass sich der Anteil erdgekoppelter Anlagen bei weiter zunehmender Gesamtabsatzzahl ohne entsprechendes Gegensteuern weiter verringern wird, da Wärmepumpen zukünftig insbesondere in Bestandsgebäuden eingesetzt werden, in denen aus unterschiedlichen Gründen, wie Investitionskosten, Platzmangel oder Vermeidung umfassender Erdarbeiten eher Luft-Wärmepumpen eingesetzt werden.

Abbildung 9: Absatzentwicklung Wärmepumpen in Deutschland 2003-2022

⁵⁹ EnSimiMaV:2022

Quelle: [Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP), 2023]

- ▶ Abweichungen in den JAZ aufgrund anderer Gebäudetypen (z.B. NWG, MFH) wurden nicht berücksichtigt. Bei den MFH ist auf Basis der Variante 9 der obigen Simulationsergebnisse davon auszugehen, dass die JAZ etwas unterhalb der JAZ der EFH mit Zirkulationssystemen liegen, da die niedrigeren JAZ für Trinkwarmwasser, u.a. durch einen höheren Warmwasser-Anteil am Gesamtwärmebedarf, höhere Systemtemperaturen und fehlende Nachtabschaltung der Zirkulation, die Gesamt-JAZ reduzieren. Falls eine Wärmepumpe in einem MFH nicht auch die zentrale Trinkwarmwasserbereitung versorgen muss, sondern die Trinkwarmwasserbereitung über dezentrale Durchlauferhitzer erfolgt, so würde die JAZ der MFH-WP bei gleichen Heizungssystemtemperaturen ähnlich wie die EFH-WP ausfallen (vgl. Abbildung 6; JAZ_HZ von V1 und V9 nahezu identisch). Allerdings sinkt die Jahresarbeitszahl für die Trinkwassererwärmung auf 1,0. Die Anteile der Zirkulationssysteme im Wohngebäudebestand (EFH: 49 Prozent, MFH: 79 Prozent)⁶⁰ und deren Einfluss auf die JAZ für Trinkwarmwasser wurden in der obigen Abschätzung berücksichtigt.

Diese Auflistung zur Einordnung bzw. zu den Unsicherheiten bei der in Tabelle 3 vorgenommenen Abschätzung der mittleren Jahresarbeitszahl für neue Wärmepumpen in Bestandsgebäuden zeigt, dass weitere Simulations-Varianten (bspw. zu MFH, NWG, Neubau, weitere WP-Typen) die Belastbarkeit der Hochrechnung auf den Gebäudebestand erhöhen würden. Diese Erweiterung der Varianten würde jedoch den Rahmen der vorliegenden Untersuchung übersteigen.

2.3.3.4 Fazit /Zusammenfassung der Einzelgebäudebetrachtung

Die erwartbare mittlere Jahresarbeitszahl beim Einsatz von Wärmepumpen in Bestandgebäuden beträgt etwa 3,1 und liegt damit im Bereich der Annahmen der aktuellen BMWK-Studie zu Langfristszenarien.⁶¹

Um diese mittlere Jahresarbeitszahl tatsächlich zu erreichen oder idealerweise noch zu überschreiten, sollten folgende Aspekte sichergestellt werden:

- ▶ Systemoptimierung: Einstellung der optimal möglichen Heizungs- und Warmwasser-Systemtemperaturen (idealer Weise inkl. hydraulischem Abgleich)
- ▶ Sicherstellung einer fachgerechten Installation und eines (möglichst) fehlerfreien Betriebs
- ▶ Vermehrter Einsatz von Sole- oder Wasser-Wärmepumpen, die systembedingt eine erheblich höhere Effizienz als Luft-Wasser-Wärmepumpen aufweisen. Werden diese in Kombination mit Flächenheizsystemen eingesetzt, besteht die Möglichkeit einer passiven Kühlung (ohne Wärmepumpeneinsatz). Im Falle der passiven Kühlung bei Erdsonden, können diese i. d. R. kleiner dimensioniert werden, wodurch Investitionskosten eingespart werden.
- ▶ Verbesserung der Qualität von neu installierten Wärmepumpen z.B. von hocheffizienten Kompakluftwärmepumpen mit klima- und umweltfreundlichen Kältemittel Propan (Abwendung der Gefahr der Marktdurchdringung von niedrigpreisigen Wärmepumpen mit geringerer Effizienz)
- ▶ Verbesserung der gebäudebezogenen Rahmenbedingungen, z. B. (vorgezogene) energetische Sanierung oder die Nachrüstung von Niedertemperaturheizkörpern oder

⁶⁰ Diefenbach et al., 2010

⁶¹ Sensfuß et al., 2022

Flächenheizsystemen. Um die Klimawirkungen von Wärmepumpenanlagen mit potenziell niedrigen Jahresarbeitszahlen weiter zu begrenzen, besteht neben den dargestellten Maßnahmen (Vorsehung von Niedertemperaturheizkörpern, energetische Sanierung, effizientere Wärmepumpen) auch die Möglichkeit des Einsatzes von emissionsminimiert zu regelnden Hybridwärmepumpen und ggf. Speichern. Dies wird im folgenden Kapitel näher untersucht.

2.4 Flexibilitäten

Aktuelle Energiesystemstudien und -modellierungen^{62,63,64,65,66} zielen darauf ab, dass (künftige) Energie- und insbesondere Stromsystem möglichst exakt abzubilden. Die Modellierung der Wärmepumpen und der Heizungssystemspeicher ist dabei bislang lediglich ein Teilaspekt, der oftmals noch stark vereinfacht einfließt. Bestehende Möglichkeiten und Risiken unterschiedlicher möglicher Wärmepumpenausbauszenarien, zu einer Verbesserung der Effizienz der Wärmepumpen, zu unterschiedlichen Anforderungen an Speichersysteme und zum Einfluss von Hybridwärmepumpen wurden bislang nicht in ausreichender Tiefe untersucht.

Die vorliegende Energiesystembetrachtung zielt daher darauf ab, diese Informationslücke zu adressieren. Beurteilungsmaßstab hierbei sind die über den Wärmeerzeuger-Lebenszyklus kumulierten Gesamt-CO₂-Emissionseinsparungen der betroffenen Sektoren Gebäude und Energie.

Im Fokus der Betrachtung stehen dabei hocheffiziente Wärmepumpen, Speicher und Hybridwärmepumpen (Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Spitzenlast-Gaskessel).

Ziel der im Folgenden beschriebenen indikativen Modellierung ist es, Potenziale und Risiken unterschiedlicher Szenarien für den Ausbau der Wärmepumpen im Gebäudebereich aufzuzeigen und somit die Grundlage für politische Handlungsempfehlungen zu schaffen. Dafür wird ein stundenscharfer Erzeugermix des deutschen Stromerzeugersystems berücksichtigt.

2.4.1 Stromsystemmodell

Für die Systembetrachtung für Wärmepumpen wurde ein vereinfachtes Bilanz-Modell des deutschen Stromsystems entwickelt. Das nicht regionalisierte Modell wurde dabei mit den Grundlagen und Ergebnissen des Szenarios T45-Stom der BMWK „Langfristszenarien 3“⁶⁷ kalibriert. Ausgangspunkt für das Lastprofil und die Anteile erneuerbarer Energien ist das Jahr 2021 anhand der Real-Daten des Fraunhofer ISE.⁶⁸ Als Klimareferenzjahr wurden die Daten der Software Meteonorm für den Standort Potsdam verwendet, da dieser für Deutschland der repräsentative Standort gemäß DIN V 18599 bzw. GEG ist. Die stündlichen Energiemengen aus Photovoltaik (PV) und Windkraftanlagen (WKA) wurden über die Globalstrahlung bzw. Windgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung von Leistungscharakteristika von typischen Referenz-PV- bzw. -WKA-Anlagen berechnet.

Für das Jahr **2021** wurde die installierte Leistung von 59 GW PV und 64 GW WKA berücksichtigt. Die daraus auf Basis des Klimareferenzjahres generierten Erzeugungsprofile wurden anschließend, entsprechend den tatsächlichen Anteilen der PV und WKA gemäß der Real-Daten des Fraunhofer ISE⁶⁹ für das Jahr 2021 kalibriert. Weitere Berechnungen wurden für die Jahre 2030 und 2040 durchgeführt. Für das Jahr **2030** wurde entsprechend der Ausbauziele der Bundesregierung von einer installierten Leistung von PV von 215 GW und WKA 145 GW (30

⁶² Prognos AG et al., 2021

⁶³ Brandes et al., 2021

⁶⁴ BDI, 2021

⁶⁵ Dena, 2021

⁶⁶ Ariadne, 2021

⁶⁷ Sensfuß et al., 2022

⁶⁸ Fraunhofer ISE, 2022

⁶⁹ Fraunhofer ISE, 2022

GW Offshore plus 115 GW Onshore) ausgegangen, für das Jahr **2040** gemäß „Langfristszenarien 3“ (Szenario T45-Strom) für PV von 400 GW und für WKA von 230 GW.

Wie für 2021 wurde auch hierbei eine Kalibrierung durchgeführt, in diesem Fall auf die in den „Langfristszenarien 3“ (Szenario T45-Strom) errechneten Energiemengen. Neben den erzeugten Energiemengen aus PV und WKA wurden auch Energiemengen aus anderen erneuerbaren Energien berücksichtigt. Die Profile der anderen erneuerbaren Energien wurden aus den Real-Daten des Fraunhofer ISE⁷⁰ entnommen und entsprechend der „Langfristszenarien 3“ (Szenario T45-Strom) für das Jahr 2030 auf 57 TWh, bzw. für 2040 auf 40 TWh herunterskaliert.

Energiesystem-Kurzzeitspeicher (insbesondere Pumpspeicherkraftwerke oder Batteriespeicher jedoch zunächst keine Power-to-Gas-to-Power oder Wärmespeicher in Gebäuden) wurden ebenfalls berücksichtigt. Dabei wurde für 2021 gemäß Fraunhofer ISE⁷¹ von einer Kapazität von 650 GWh ausgegangen und für die Jahre 2030 und 2040 ein Anstieg um jeweils 20 Prozent berücksichtigt. Bei der Modellierung werden die Speicher bei einem Überschuss an erneuerbarem Strom befüllt. Die Entleerung erfolgt entsprechend, wenn keine 100 Prozent EE erreicht werden. Für die Ent- und Beladung der Speicher wurde jeweils ein Verlust von 10 Prozent angenommen. Die Be- und Entladeleistung wurde im Modell nicht beschränkt.

Die Lastprofile für 2030 und 2040 wurden über einen zweistufigen Ansatz generiert:

- ▶ Stufe 1: Kalibrierung anhand des Verbrauchs ohne Wärmepumpen entsprechend der „Langfristszenarien 3“ (Szenario T45-Strom) (2030: 713 TWh; 2040 1054 TWh) ohne Anpassung des WP-Lastprofils.
- ▶ Stufe 2: Addition des WP-Strombedarfs der ab 2021 zusätzlich installierten Wärmepumpen gem. „Langfristszenarien 3“ (Szenario T45-Strom; 2030: 29 TWh; 2040: 80 TWh), unter Berücksichtigung des stundenfein modellierten Strom-Lastprofils einer typischen Luft-Wasser-Wärmepumpe gemäß Variante V1-Ref (siehe Kapitel 2.3.2)

Das Wärmepumpenmodell bildet den Mehrbedarf durch Effizienzabfall und den partiellen Heizstabeinsatz von Luftwärmepumpen bei kalten Außentemperaturen ab. Im Gegensatz zur Modellierung der Langfristszenarien wird außerdem zunächst keine Lastverschiebung durch Heizungspufferspeicher angenommen.

Sicherlich stellt die Berücksichtigung von lediglich einem WP-Lastprofil und einem Referenzklimastandort eine extreme Vereinfachung dar, so dass die Ergebnisse lediglich als indikativ zu bewerten sind. Zum einen stellen Luft-Wasser Wärmepumpen sicherlich auch in Zukunft den weit überwiegenden Anteil der Wärmepumpen in Deutschland (2022: 87 Prozent)⁷², zum anderen besteht sowohl beim Wetter (Großwetterlagen, wie z.B. Kälteperioden sind überregional) als auch bei den eng damit verbundenen Wärmebedarfslastgängen deutschlandweit eine gute Korrelation. Daher ist davon auszugehen, dass eine höhere Detaillierung zu keiner grundsätzlichen Änderung der aus den Ergebnissen abgeleiteten Kernaussagen führen würde.

Aus der Differenz zwischen der Gesamtlast und dem aus erneuerbaren Energiequellen erzeugten Strom (inkl. dem in Kurzzeitspeichern gespeicherten Grünstrom) resultiert die Residuallast, die aus nicht-erneuerbaren Energieträgern gedeckt wird.

⁷⁰ Fraunhofer ISE, 2022

⁷¹ Fraunhofer ISE, 2022

⁷² Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP), 2023

Für die CO₂-Einsparpotenzial-Berechnungen in den folgenden Kapiteln wurde von den folgenden CO₂-Emissionsfaktoren des Residualstrommixes ausgegangen:

- ▶ 2021: 827 g/kWh⁷³
- ▶ 2030: 500 g/kWh⁷⁴
- ▶ 2040: 0 g/kWh

Außer Betracht gelassen wurde dabei, dass zusätzlicher Stromverbrauch, z.B. durch effiziente ebenso wie durch ineffiziente Wärmepumpen in Deutschland, auf EU-Ebene keine zusätzlichen CO₂-Emissionen verursachen kann, weil im Emissionshandelssystem keine zusätzlichen Emissionsberechtigungen gewährt werden und dadurch die zulässige Menge an CO₂-Emissionen („Cap“) nicht ansteigen kann. In Deutschland durch höhere Stromnachfrage zusätzlich entstehende CO₂-Emissionen werden demnach durch niedrigere CO₂-Emissionen an anderer Stelle ausgeglichen. Rechnerisch zugewiesene CO₂-Einsparungen können dennoch eine hilfreiche Kenngröße sein, weil sie ein Entscheidungskriterium für Investitionsentscheidungen sind und die (Sektor-)Ziele des Klimaschutzgesetzes die Ausgleichsmechanismen des Emissionshandels nicht kennen.

Da im Jahr 2040 der Strom (nahezu) vollständig aus erneuerbaren Energien stammen soll, muss die Residuallast dann über Langfristspeicher (z.B. über Speicherung von im In- oder Ausland erzeugtem grünem Wasserstoff) oder importierten erneuerbaren Strom erfolgen. Der wesentliche Parameter für das Jahr 2040 ist die notwendige Menge an erneuerbarem Residualstrom bzw. der notwendige Ausbaubedarf der entsprechenden Infrastruktur (EE-Anlagen, Elektrolyseure, Speicher, H₂-Kraftwerke, etc.). Bei einer Rückverstromungseffizienz von 34 Prozent⁷⁵ werden zur Bereitstellung von einer Kilowattstunde erneuerbaren Residualstroms ca. 3 Kilowattstunden erneuerbaren Stroms benötigt.

Aufgrund der beschriebenen Vereinfachungen des Modells können weder regionale Effekte noch Flexibilitätseinschränkungen bei der Residuallastbereitstellung (für das Hoch- oder Runterfahren unterschiedlicher Kraftwerke), noch Netzkapazitäten oder Regelaspekte unterhalb der 1-stündigen Auflösung bzw. strommarktwirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden, die für viele Fragestellungen natürlich einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis haben.

Das Modell bildet aber insbesondere den für die Interaktion mit Wärmepumpen wesentlichen Aspekt des witterungsabhängigen Zusammenhangs zwischen dem Angebot erneuerbaren Stroms und der Nachfrage durch Wärmepumpen hinreichend gut ab.

Die folgenden Grafiken zeigen die Modellergebnisse der stündlichen Last und Erzeugung für ausgewählte Wochen der Jahre 2021, 2030 und 2040. Dabei wurde für das Lastprofil der ab 2022 zusätzlich installierten Wärmepumpen das Lastprofil von Standard-Luft-Wärmepumpen gemäß Variante V1 (Kapitel 2.3.2) angenommen. Es handelt sich dabei also um eine zentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe mittlerer Effizienz in einem typischen, teilsanierten Einfamilienhaus mit Heizkörpern (Systemtemperaturen im Auslegungsfall 55/45; JAZ_HZ+TWW: 3,0), ohne systemdienliche Steuerung oder Speicherung. Dies entspricht somit dem überwiegend zu erwartenden Anwendungsfall, wenn keine zusätzlichen Anreize oder regulatorische Vorgaben geschaffen werden.

⁷³ Residualmixfaktor errechnet aus UBA Emissionsfaktor Strom für 2021 (420 g/kWh) / Anteil nicht erneuerbarer Strom gem. Energy Charts (2021: 50,8 %)

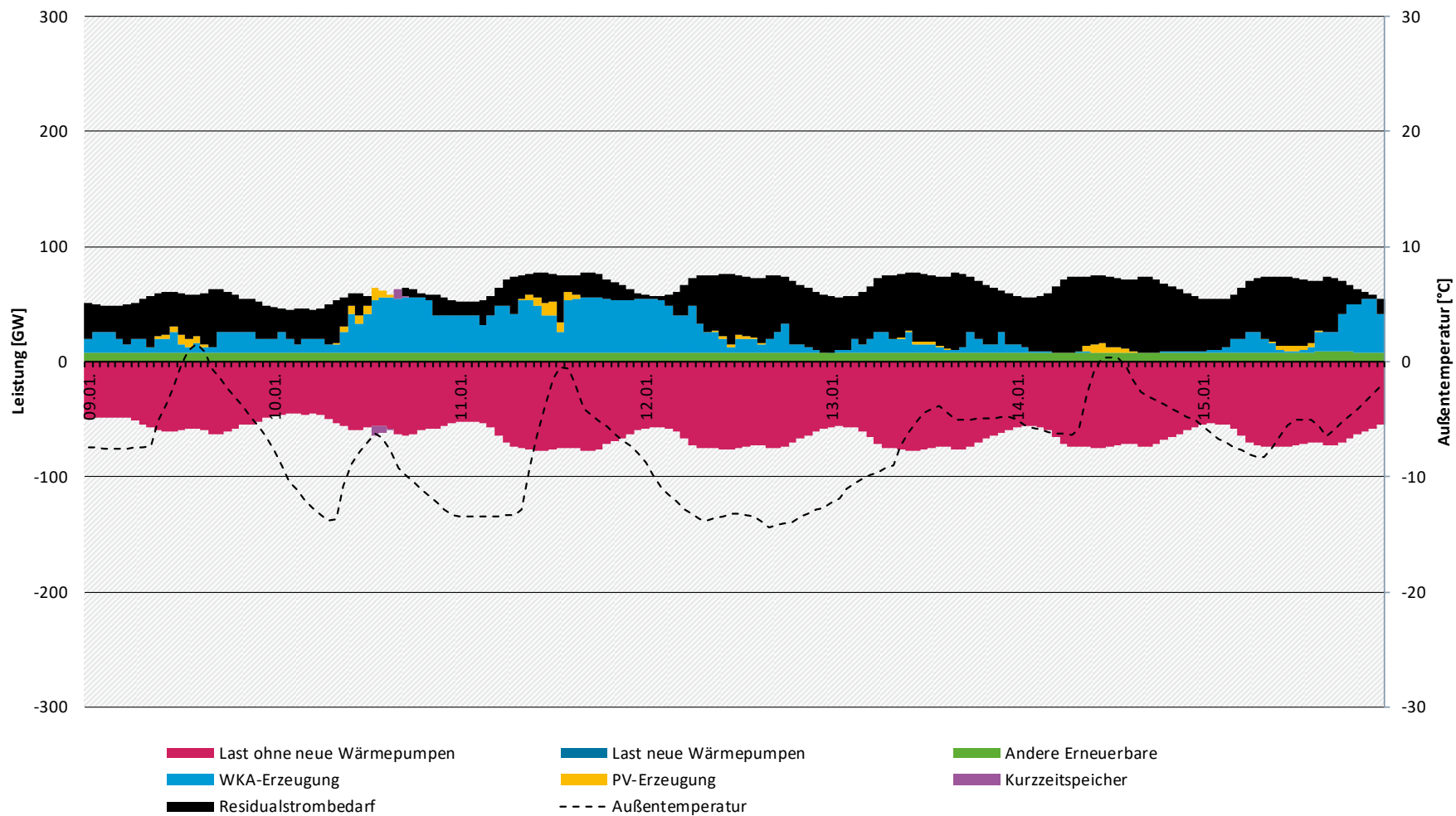
⁷⁴ Schätzung unter Berücksichtigung des Atomausstiegs und des sukzessiven Kohleausstiegs und der Verbesserung des Erzeugerparcs

⁷⁵ Annahmen: Effizienz Elektrolyse 85 %; Effizienz H₂-Kraftwerk 40 %; Vernachlässigung von Transport- und Speicherverlusten

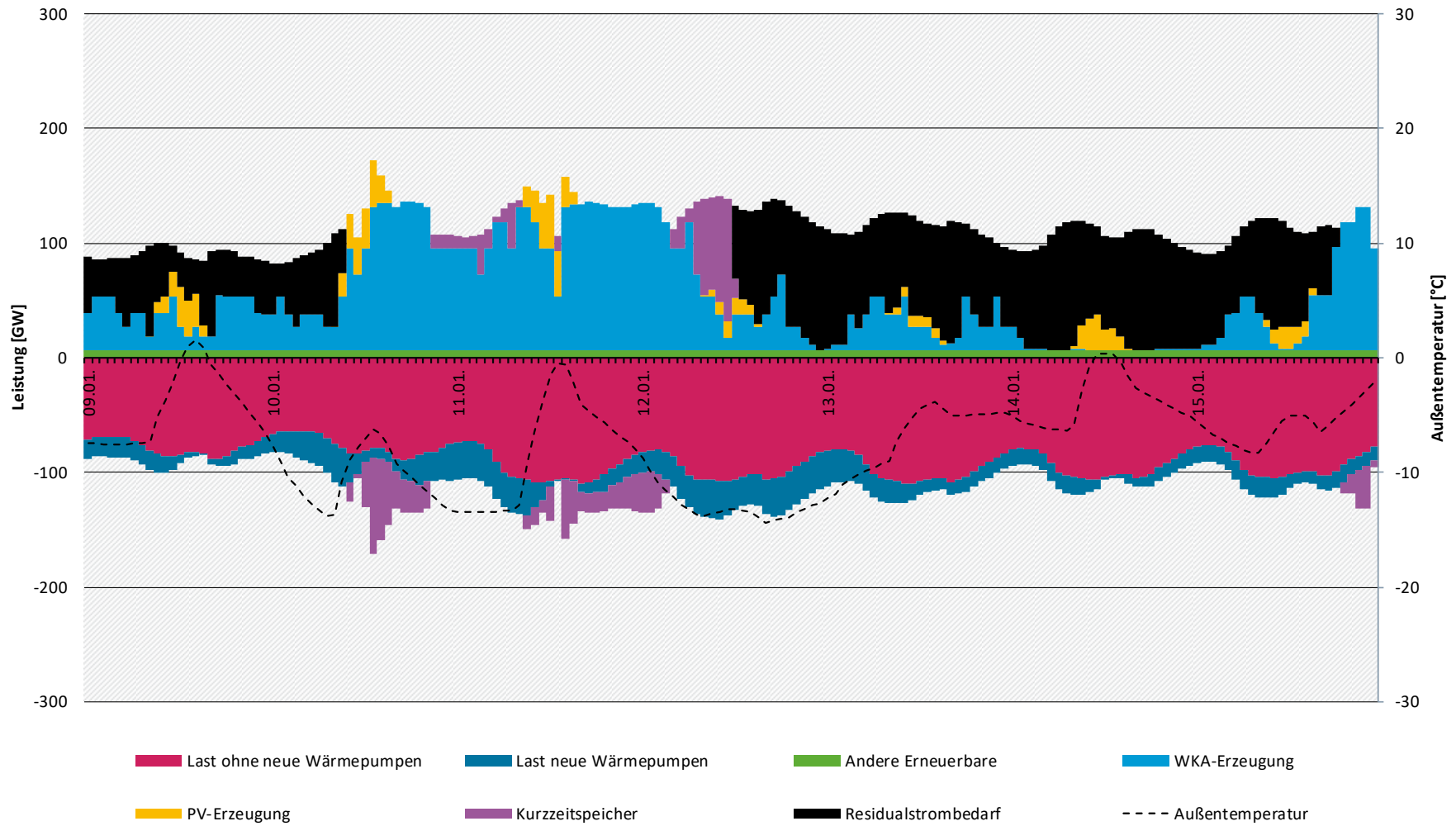
Es zeigt sich, dass die ab 2021 zusätzlich installierten **Wärmepumpen** im Winter einen relevanten **Anteil am Energiebedarf** und an der Last haben. Während einer **Extremstunde** am 12. Januar (24 Uhr) beträgt im Jahr 2040 der **Anteil der Wärmepumpen an der Gesamtlast über 40 Prozent** (Residuallast = 208 GW; Last neue Wärmepumpen = 90 GW; Anteil neue Wärmepumpen an Residuallast: $90 / 208 > 40$ Prozent). Während des Sommers sind die Last und der Energiebedarf der Wärmepumpen hingegen vernachlässigbar. Liegt die mittlere jährliche JAZ für die berücksichtigte Luft/Wasser-Wärmepumpe noch bei ca. 3,0 so sinkt die JAZ in der Winter-Extremstunde auf ca. 1,4 ab, da der COP der Wärmepumpe bei -14 °C bei etwa 1,5 liegt und zusätzlich der Heizstab etwa 18 Prozent der benötigten Heizleistung übernimmt.

Abbildung 10: Modellergebnisse Deutsches Stromsystem für die Jahre 2021, 2030 und 2040: Last und Erzeugung [Primärachse in GW] während der kältesten Winterwoche [Sekundärachse: Außentemperatur in °C]

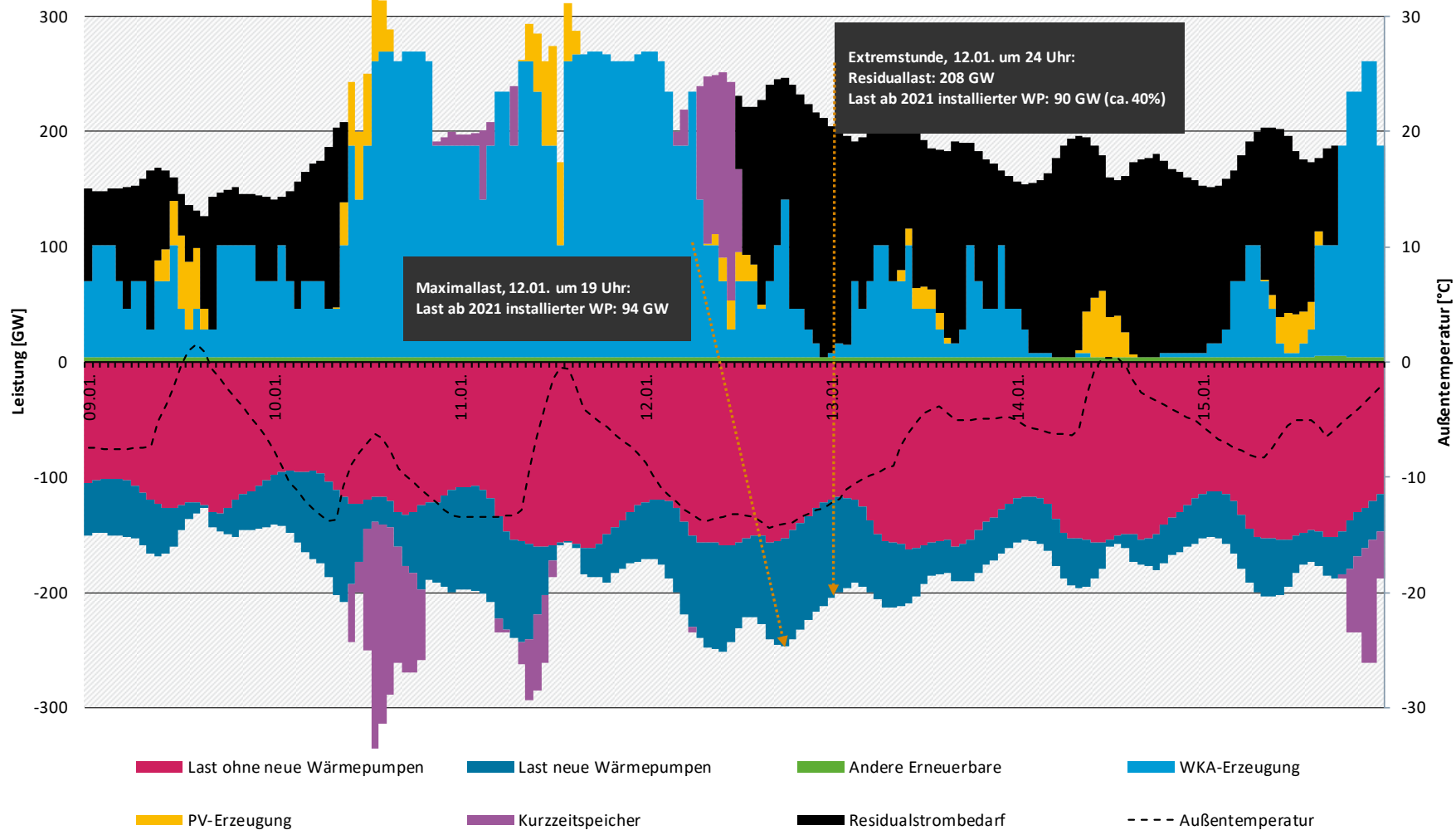
Stromsystem 2021, kälteste Winterwoche



Stromsystem 2030, kälteste Winterwoche



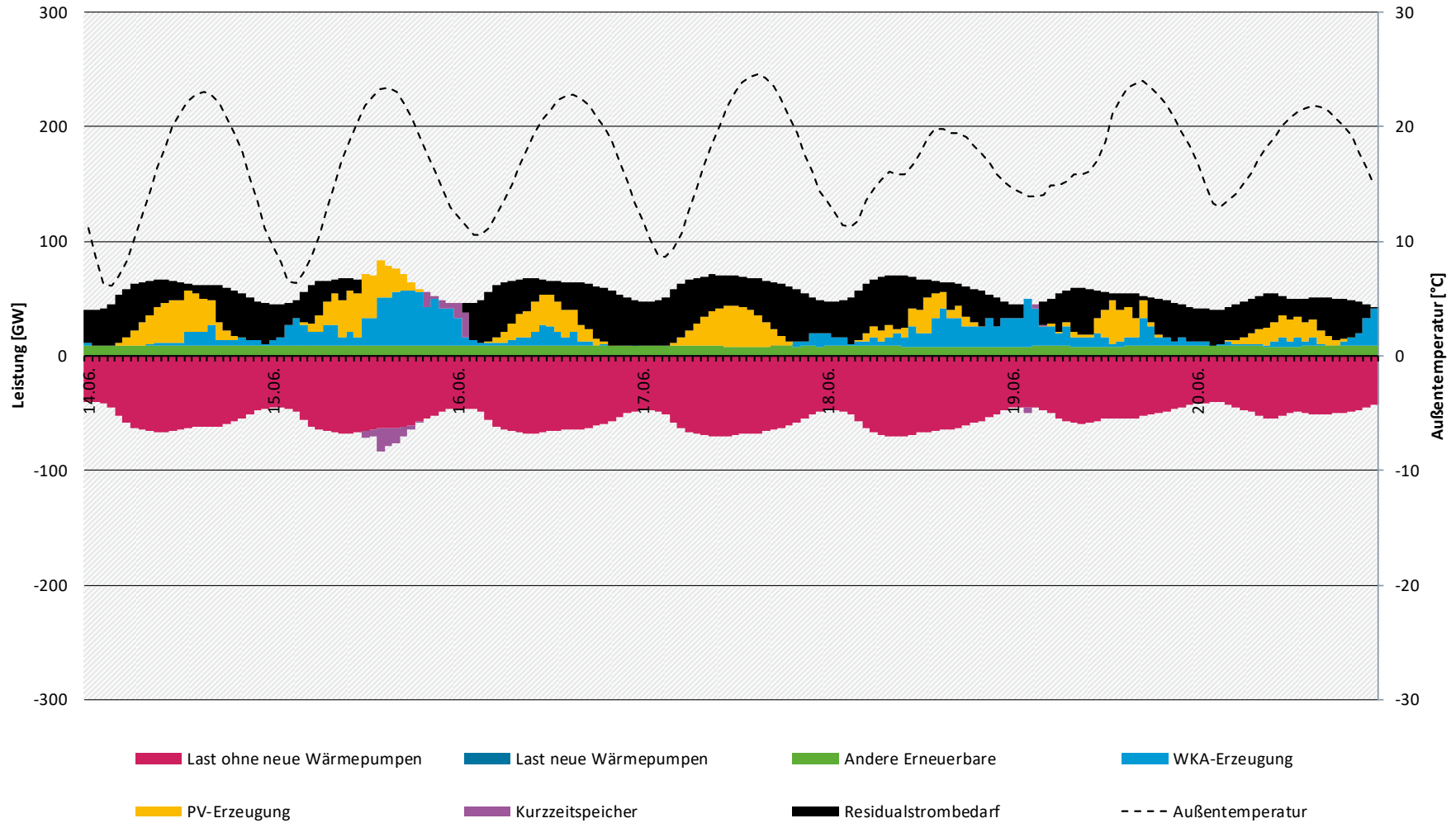
Stromsystem 2040, kälteste Winterwoche



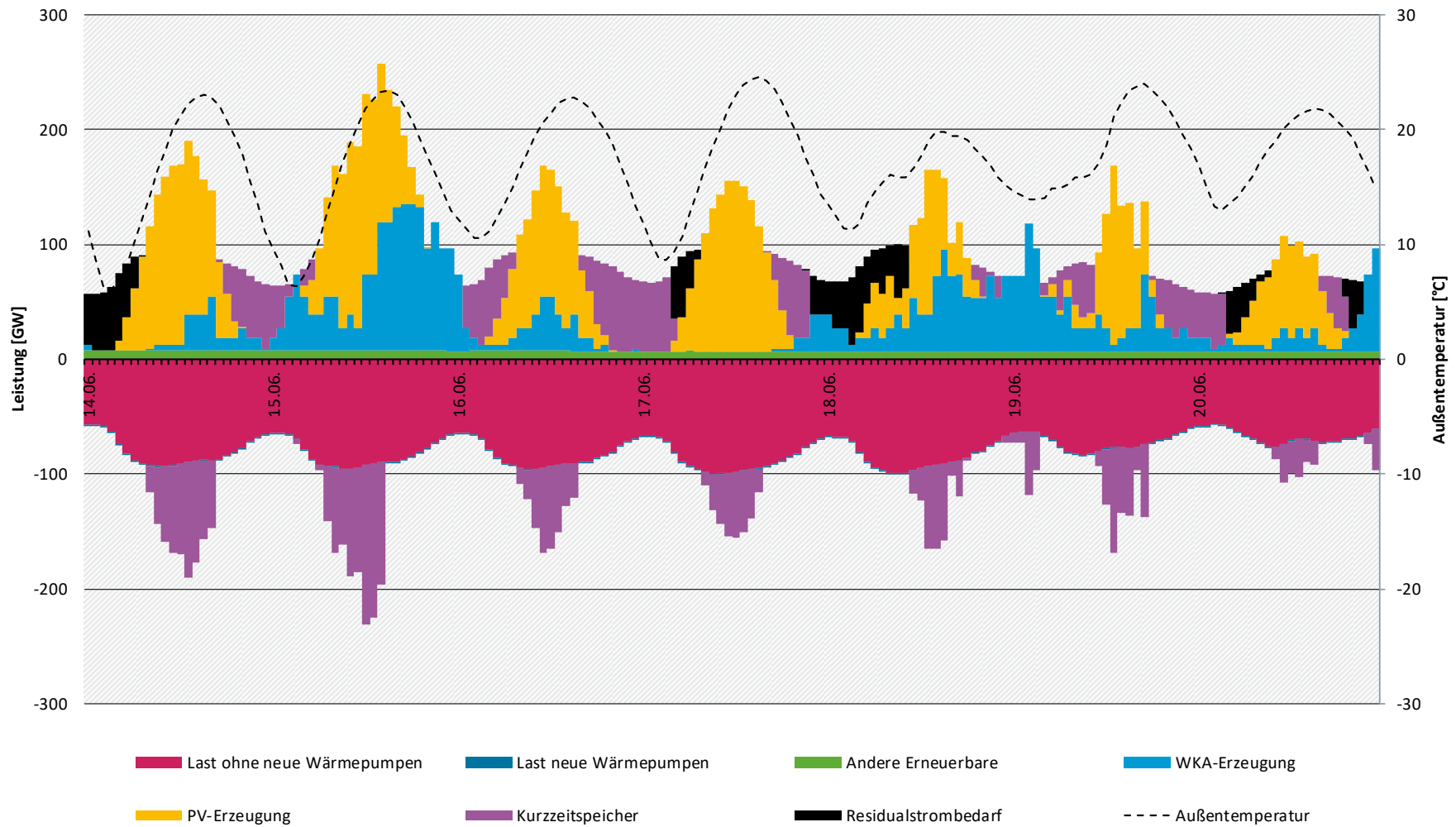
Quelle: eigene Darstellungen, Guidehouse 2023

Abbildung 11: Modellergebnisse Deutsches Stromsystem für die Jahre 2021, 2030 und 2040: Last und Erzeugung [Primärachse in GW] während einer sonnigen Sommerwoche [Sekundärachse: Außentemperatur in °C]

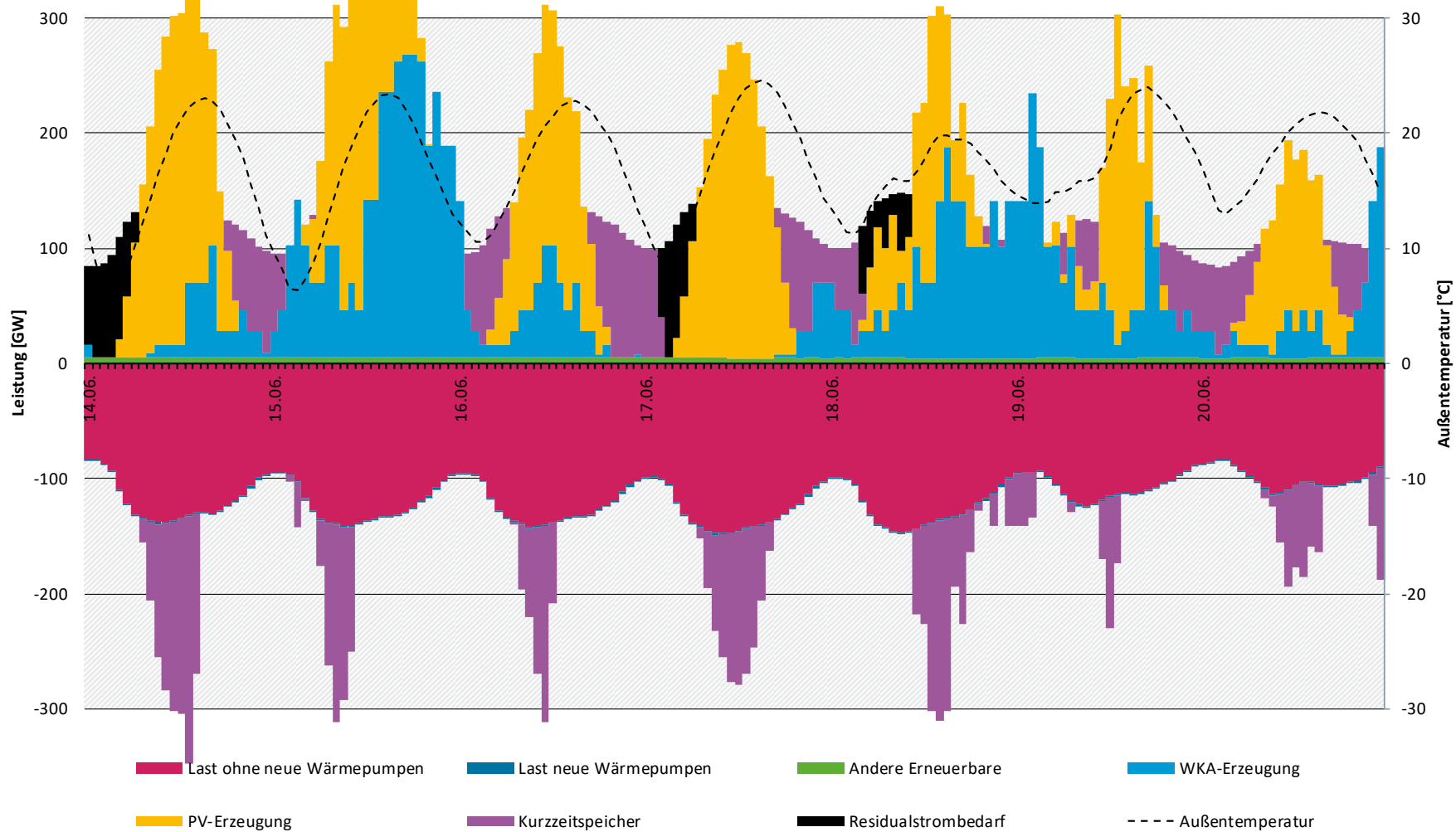
Stromsystem 2021, sonnige Sommerwoche



Stromsystem 2030, sonnige Sommerwoche



Stromsystem 2040, sonnige Sommerwoche



Quelle: eigene Darstellungen, Guidehouse 2023

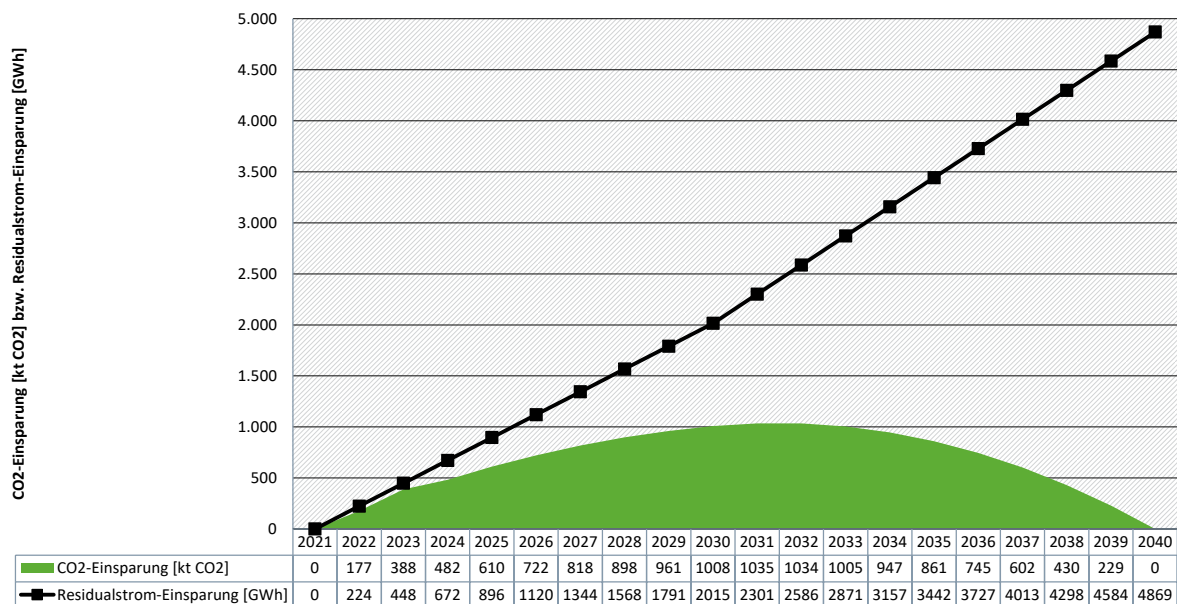
2.4.2 Potenziale durch Effizienzverbesserung

Die Ergebnisse der Einzelgebäudebetrachtung aus Kapitel 2.3 haben gezeigt, dass allein durch eine verbesserte Qualität der Wärmepumpen Stromeinsparungen von 9 Prozent erreicht werden können.

Welchen Auswirkungen derartige Verbesserungen auf die Stromerzeugung und die damit verbundenen CO₂-Gesamtemissionen haben könnte, wenn diese flächendeckend umgesetzt würden, wurde mittels des weiter oben beschriebenen vereinfachten Stromsystemmodells untersucht. Dabei wurde anstelle der Standard-Luft-Wärmepumpen gemäß Variante V1 eine Wärmepumpe mit verbesserter Qualität gemäß Variante V2 (Kapitel 2.3.2) angenommen.

Durch den um 9 Prozent reduzierten Gesamtstrombedarf der Wärmepumpen mit verbesserter Qualität ergeben sich überproportional hohe Einsparungen beim Residualstrombedarf. Während 2030 der Anteil der bis dahin neu installierten Wärmepumpen am Gesamtstrombedarf lediglich 4 Prozent beträgt und eine 9 Prozent-ige Verbesserung demnach eigentlich nur eine Reduzierung um 0,36 Prozent erwarten ließe, ist die Residualstromeinsparung mit 0,78 Prozent (2,0 TWh) mehr als doppelt so hoch. Dies begründet sich dadurch, dass 2030 der Residualstrom nur noch 35 Prozent des Gesamtstromes ausmacht, die Einsparungen der Effizienzverbesserung der Wärmepumpen aber vor allem auf den Residualstrom wirken. Im Jahr 2040 würden gemäß der Modellberechnungen 4,9 TWh erneuerbarer Residualstrom eingespart (1,3 Prozent des Residualstrombedarfs). Unter der Annahme, dass der erneuerbare Residualstrom aus grünem Wasserstoff erzeugt wird (H₂-Rückverstromungseffizienz von 34 Prozent), resultiert eine Einsparung von 14,3 TWh erneuerbaren Stroms, d. h. umgerechnet der Strommenge, von mehr als 1.500 Windkraftanlagen.⁷⁶

Abbildung 12: Einsparpotenziale durch Effizienzverbesserung von Wärmepumpen



Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

Die jährlichen CO₂-Einsparungen erreichen 2032 ihren Höchstwert mit rund 1 Mt/a. Die bis 2040 möglichen kumulierten CO₂-Einsparungen⁷⁷ betragen 12,9 Mt. Zur Einordnung: Die CO₂-

⁷⁶ Annahmen: 2000 Vollaststunden pro Jahr und 4,5 MW Leistung der WKA

⁷⁷ Errechnet durch Interpolation zwischen den Werten für 2021, 2030 und 2040

Einsparungen von 1 Mt/a entsprechen den Emissionen von ca. 250.000 mit Gaskesseln beheizten Einfamilienhäusern⁷⁸.

Neben den Einsparungen beim Strombedarf könnte durch die allgemeine Qualitätsverbesserung der Wärmepumpen auch eine Reduktion der Spitzenlast der zusätzlich installierten Wärmepumpen erreicht werden. Im Jahr 2030 kann diese WP-Spitzenlast von 34 GW um 2 GW auf 32 GW und im Jahr 2040 von 94 GW um 6 GW auf 88 GW gesenkt werden.

Weitere Einsparungen in ähnlicher Größenordnung lassen sich durch Effizienzverbesserungen über eine Absenkung der Systemtemperaturen erreichen. Diese können, wie zuvor beschrieben, teilweise über eine einfache Optimierung der Systemeinstellungen, einen hydraulischen Abgleich oder den Austausch einzelner kritischer Heizkörper erreicht werden.

Zusätzliche, noch deutlich höhere Einsparpotenziale könnten durch eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes über energetische Sanierungen erreicht werden. Für eine Minimierung der THG-Emissionen sollte dabei auf die Wahl der (Dämm-)Materialien geachtet werden.

2.4.3 Netzdienliche Wärmespeicher

Eine weitere Möglichkeit, den Deckungsanteil erneuerbarer Energien zu erhöhen und die Stromnetze zu entlasten, besteht darin, Wärmepumpen mit Wärmespeichern netzdienlich zu betreiben. Entsprechende Flexibilitätspotenziale, d. h. Abschalten oder Herunterfahren der Wärmepumpenanforderung zu Spitzenlastzeiten, werden bei den meisten Systemmodellierungen ohne detailliertere Modellierung der dazu notwendigen Speicher vorausgesetzt. Beispielsweise wird in [Sensfuß et al., 2022] ein regelmäßiges zweistündiges Abschalten von Wärmepumpen vorausgesetzt, die einige Stunden zuvor durch überschüssigen erneuerbaren Strom aufgeladen wurden. Als thermische Speicher kommen hierbei vor allem die Gebäudemasse (insb. im Falle einer Fußbodenheizung) oder Wasser-Pufferspeicher in Frage. Theoretisch denkbar wäre auch der Einsatz von sogenannten PCM-Speichern (Latentwärmespeicher), die durch niedrige Systemtemperaturen eine erheblich bessere Effizienz aufweisen als Wasserspeicher. Aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionskosten, der aktuell extrem geringen Marktdurchdringung und der noch nicht abschließend geklärten Ökoeffizienz wurde diese allenfalls langfristperspektivische Lösung im Folgenden nicht näher betrachtet.

Im Falle einer Fußbodenheizung ist eine ein- bis zweistündige Abschaltung i. d. R. ohne allzu große Komforteinbußen und ohne (signifikanten) Mehrverbrauch und Mehrkosten möglich. Durch die große Trägheit kommt es nur zu einer geringen Raumtemperaturabsenkung⁷⁹, allerdings über einen längeren Zeitraum. Da jedoch aktuell weniger als 15 Prozent der Gebäude über eine Fußbodenheizung verfügen und zudem davon auszugehen ist, dass diese einen unterdurchschnittlichen Wärmebedarf aufweisen, ist das entsprechende Lastverschiebungspotenzial im Stundenbereich, ohne Komforteinbußen in Kauf zu nehmen, insgesamt als eher gering einzustufen.

Um bei Bestandgebäuden ohne Fußbodenheizungen bei längeren Abschaltzeiten von über 30 Minuten Komforteinschränkungen durch zu niedrige Raumtemperaturen zu vermeiden, müssen

⁷⁸ Heizwärmebedarf 15.000 kWh/a

⁷⁹ Beispielrechnung zur Verdeutlichung: Die Speicherkapazität von 6 cm Estrich beträgt 36 Wh/m²K. Bei einem durchschnittlichen Wärmebedarf von 19 W/m² (→ Heizwärmebedarf: 100 kWh/m²a und 220 Heiztagen/a) dauert es fast 2 Stunden, bis allein der Estrich sich um 1 K abgekühlt hat. Die Abkühlung des Raumes erfolgt entsprechend noch deutlich langsamer.

i. d. R. zusätzlich notwendige Wärmespeicher im Vorfeld beladen werden, um die notwendige kontinuierliche Wärmeversorgung zeitweise auch ohne Wärmepumpenbetrieb sicherzustellen.

Viele Wärmepumpensysteme enthalten größere Wasserspeicher für die Trinkwassererwärmung, bei denen es sich teilweise bereits um einen Heizungs-Kombispeicher handelt, deren Beladung mittels externer Signale z. B. von Netzbetreibern gesteuert werden könnten. Derartige Systeme sind mit dem weitverbreiteten freiwilligen Smart Grid (SG)-Ready Siegel der Wärmepumpenhersteller gekennzeichnet.

Um die Einsparpotenziale des Residualstrombedarfs durch netzdienliche Speicher-Be- und -Entladungsregelung zu bestimmen, wurde von dem Referenz-Einfamilienhaus gem. Variante V1 ausgegangen, welches über einen Kombi-Pufferspeicher mit einem Speichervolumen von 500 l verfügt. Bei der Modellierung wurde der Speicher bei einem Überschuss an erneuerbaren Energien im Stromnetz statt nur auf 48 °C durch die Wärmepumpe auf 60 °C beladen. Die zusätzliche thermische Speicherkapazität für den netzdienlichen Betrieb beträgt somit 7,2 kWh, was bei einer mittleren JAZ von 3 umgerechnet einer mittleren Speicherkapazität für Netzstrom von 2,4 kWh entspricht ($7,2/3=2,4$). Die Entladung erfolgt zum nächstmöglichen Zeitpunkt, wenn durch das Abschalten der Wärmepumpe der Residualstrombedarf reduziert werden kann.

Die sich bei der Modellierung ergebenden Einsparpotenziale des Residualstromes (ohne Berücksichtigung von Wärmeverlusten), wenn alle Wärmepumpen mit entsprechenden Speichern ausgestattet würden, beliefen sich lediglich auf 0,29 TWh in 2030 bzw. 0,76 TWh in 2040. Durch die Residualstrom einsparung in 2030 könnten CO₂-Einsparungen von 145 kT erreicht werden, was den Emissionen von ca. 35.000 mit Gaskesseln beheizten Einfamilienhäusern entsprechen würde. Die Residualstrom einsparung von 0,76 TWh 2040 entspräche einer Einsparung von 2,2 TWh erneuerbaren Stroms (bei einer Rückverstromungseffizienz von 34 Prozent) d. h. umgerechnet der Strommenge, die ca. 250 Windkraftanlagen erzeugen.

Die Einsparungen fallen gering aus, da ein Überschuss an erneuerbaren Energien im Stromnetz nicht regelmäßig, z.B. täglich auftritt, sondern eher phasenweise (siehe auch Abbildung 10 und Abbildung 11 in Kapitel 2.4.1). Zudem haben die Erzeugungsverluste einen erheblichen Einfluss auf die o. g. Einsparungen. Bedingt durch die erforderlichen hohen Temperaturniveaus für die Einspeicherung sinkt die Jahresarbeitszahl. Infolgedessen kommt es zu einem erheblichen Mehrverbrauch an Strom, so dass die Speichereffizienz (ohne Berücksichtigung von Wärmeverlusten) lediglich bei ca. 67 Prozent liegt. Die Speichereffizienz von Kombi-Wärmespeichern liegt somit deutlich unter denen von anderen Kurzzeitspeichern, wie z.B. Batteriespeichern.

Da die Modellierung des Stromsystems jedoch, wie beschrieben, nur mit stündlicher Auflösung erfolgt und weder Flexibilitätseinschränkungen der Kraftwerke bei der Residuallastbereitstellung noch regionale Effekte berücksichtigt, ist davon auszugehen, dass die tatsächlich erreichbaren Einsparungen deutlich über den oben angegebenen Werten liegen. Für eine genauere Bestimmung wäre jedoch eine weitere Verfeinerung des Modells nötig, die den Rahmen des vorliegenden Projektes überschritten hätte.

Alternativ wäre es theoretisch auch denkbar, flächendeckend separate Heizungspufferspeicher vorzusehen, die aufgrund des niedrigeren möglichen Temperaturniveaus effizienter betrieben werden könnten. Abgesehen von Platzrestriktionen, ist aufgrund der mutmaßlich geringen Wirkung (Lastverschiebungspotenzial laut Modellierung für ein EFH lediglich ca. 0,29 TWh/a / 4,74 Mio. Wärmepumpen im Jahr 2030 = ca. 60 kWh/a) das Kosten-Nutzen-Verhältnis solcher zusätzlicher Heizungs-Pufferspeicher jedoch extrem gering.

Alternativ oder zusätzlich zu thermischen Speichern könnten auch stationäre Stromspeicher netzdienlich geregelt werden. Die bei der Modellierung berücksichtigten 500 l thermischen Speicher entsprechen dabei einer für den netzdienlichen Betrieb nutzbaren Stromspeicherkapazität von 2,4 kWh_{el}.

Anmerkung: Da man bei der Auslegung der Stromnetz-Reservekapazitäten von einer langanhaltenden Extremsituation ausgehen muss, sind Wärmespeicher hierfür unerheblich, da die Wärmepumpen während dieser langanhaltenden Extremsituation im Vollastbetrieb laufen müssen. Wenn die Wärmepumpen nicht dementsprechend erheblich überdimensioniert werden, was wirtschaftlich sicher nicht sinnvoll ist, stehen keine freien Kapazitäten für eine Speicherbeladung zur Verfügung.

Aufgrund der ermittelten geringen Effizienz und der geringen Potenziale wird dringend empfohlen, die maßgeblichen Energiesystemmodelle bzgl. der Sensibilität ihrer Ergebnisse hinsichtlich der Speichereffizienz und der Flexibilitäten von Gebäuden mit Wärmepumpen zu überprüfen und, falls notwendig, die Modellierung der Wärmepumpenspeicher entsprechend zu verbessern.

2.4.4 Analyse zu Hybrid-Wärmepumpen

Der Einsatz von Hybrid-Wärmepumpen mit fossilen Wärmeerzeugern ist vor dem Hintergrund der spätestens bis 2045 notwendigen klimaneutralen der Wärmeversorgung nicht eindeutig geklärt. Während beispielweise die Studie „Durchbruch der Wärmepumpe“⁸⁰ zu dem Schluss kommt, dass Hybridwärmepumpen in Einfamilienhäusern keinen ökologischen oder ökonomischen Vorteil gegenüber monoenergetischen Wärmepumpen haben, werden diese bei der Modellierung zu den Langfristszenarien⁸¹ bis 2030 zumindest teilweise als sinnvolle Brückentechnik aufgeführt.

Um zu prüfen, ob und ggf. unter welchen Bedingungen Hybridwärmepumpen einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können, wurden aufbauend auf dem zuvor beschriebenen vereinfachten Stromsystemmodell Berechnungen für unterschiedliche Hybrid-Wärmepumpenkonfigurationen vorgenommen.

Hybridwärmepumpen können durch die Nutzung von Kessel- und Wärmepumpenbetrieb höhere Vorlauftemperaturen als klassische Wärmepumpen bereitstellen, wenn das in einem Gebäude aufgrund seines energetischen Standards oder der verfügbaren Heizflächen notwendig ist, und durch Netzbetreibersignale flexibel CO₂-optimiert betrieben werden. Obwohl ein derartiger Betrieb von Hybridwärmepumpen, die über eine SG Ready-Schnittstelle verfügen, technisch möglich ist, sind hierfür in der Praxis noch Sonderlösungen notwendig.

Hybridwärmepumpen sollten für eine maximale Klimaschutzwirkung so gesteuert werden, dass der Spitzenlastkessel nur aktiviert wird, wenn die (stündlich) zu erwartenden CO₂-Emissionen der Wärmepumpen höher sind als die CO₂-Emissionen, die durch den alternativen Betrieb des Spitzenlastkessels entstehen.

Bei den folgenden Berechnungen zu Hybridwärmepumpen stehen Hybridsysteme mit Erdgasspitzenlastkessel und Luft-Wasser Wärmepumpe im Fokus, da diese die relevanteste Bauart von Hybridwärmepumpen sind und hinsichtlich der Investitionskosten vergleichbar sind zu monoenergetischen Luft-Wasser Wärmepumpen. Die Minderkosten der kleineren Wärmepumpe entsprechen dabei in etwa den Mehrkosten des Spitzenlastkessels.

⁸⁰ Bürger et al., 2022

⁸¹ Sensfuß et al., 2022

Für die Regelung der Hybridwärmepumpen wurden dabei die folgenden Annahmen getroffen:
2021 und 2030:

- ▶ WP-Betrieb, immer wenn Strom direkt (unter Berücksichtigung von Energiesystem-Kurzzeitspeicher) zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden kann.
- ▶ Alternativbetrieb (Gaskessel), wenn gilt:
 (CO₂-Faktor **Gesamt-Strommix** / stundenaktueller COP-Wärmepumpe)
 < (CO₂-Faktor Erdgas⁸² * Effizienz Gasbrennwertkessel)
 Sonst: WP-Betrieb
- ▶ Ausnahme, falls WP-Kapazität nicht ausreicht: Notwendiger Parallelbetrieb mit Gas-Kessel

Im Jahr 2040 können Wärmepumpen mit klimaneutralem Strom betrieben werden und sind demzufolge Wärmeerzeugern mit fossilen Brennstoffen vorzuziehen. Die Residuallast im Stromsystem 2040 muss entweder über Langfristspeicher (z.B. über Speicherung von im In- oder Ausland erzeugten grünen Wasserstoff) oder importierten erneuerbaren Strom bereitgestellt werden. Auch für Gaskessel bestünde 2040 zumindest theoretisch die Möglichkeit, das Gas zu 100 Prozent aus erneuerbaren Quellen zu erzeugen. Dies könnte entweder über im In- oder Ausland erzeugten grünen Wasserstoff oder durch grünes Methan aus umgewandeltem grünem Wasserstoff oder Biogas erfolgen. Für eine Versorgung aus grünem Wasserstoff müssten zum einen die Gaskessel technisch für die Verbrennung von reinem Wasserstoff geeignet sein und ggf. eine entsprechende H₂-Infrastruktur geschaffen werden. Als „H₂-Ready“ gelabelte Gaskessel sind hierfür i. d. R. nicht ausreichend, da dieses Label lediglich eine Betriebsmöglichkeit bis 20 Vol. Prozent H₂ bescheinigt. In Bezug auf die H₂-Infrastruktur sind die Langzeiteffekte bei der Nutzung bestehender Erdgasleitungen für Wasserstoff, insbesondere bezüglich Versprödung und Korrosion, noch nicht bekannt⁸³. Bei der Verwendung von grünem Methan könnten die bestehenden Strukturen beibehalten werden, jedoch ist mehr EE-Strom notwendig als für H₂. Als Vergleichsmaßstab der beiden o. g. Lösungsoptionen (Grün-Methan-Kessel vs. mit 100 Prozent Grünstrom betriebene Wärmepumpe) kann der Bereitstellungsbedarf an primären erneuerbaren Strom herangezogen werden. Selbst wenn man dabei davon ausgehen würde, dass der Grün-Strom zu 100 Prozent aus erneuerbarem Wasserstoff bereitgestellt werden müsste⁸⁴, müsste unter Berücksichtigung einer Effizienz von 40 Prozent zur H₂-Rückverstromung und einem Energieverlust für die Methanisierung von 25 Prozent und einer Effizienz des Brennwertkessels von 99 Prozent die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe unter 1,86⁸⁵ fallen, um einen geringeren Bereitstellungsbedarf an grünem Wasserstoff als ein Gaskessel zu haben. Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass Grüngaskessel in einem klimaneutralen Energiesystem der Zukunft, wenn überhaupt wahrscheinlich allenfalls eine untergeordnete Rolle spielen werden.

Bei sinkendem Gas-Bedarf steigt der anteilige Einfluss von unvermeidbaren Methan-Leckagen, die zu einem erheblichen zusätzlichen Beitrag der Treibhausgasemissionen führen, gleichzeitig sinkt die wirtschaftliche Attraktivität zum Erhalt der Gasnetze. Es ist daher wahrscheinlich, dass bis 2040 ein Großteil der Gasnetze außer Betrieb genommen wird.

82 CO₂-Faktor Erdgas: 201 g/kWh (bezogen auf den Heizwert) Umweltbundesamt (UBA), 2022;

⁸³ Devinder Mahajan, 2022

⁸⁴ Laut Modellierung liegt der Anteil der Stunden mit Residualstrombedarf im Jahr 2040 bei 44 %

⁸⁵ $(1 - 0,25) * 0,99 / 0,4 = 1,86$

Hybridsysteme sollten daher so ausgelegt werden, dass die Wärmepumpen durch energetische Sanierungen bis spätestens 2040 die zu erwartende Last decken können.

Auf der Grundlage der o. g. Annahmen wurden Berechnungen für unterschiedliche Varianten durchgeführt. Ein wichtiger Parameter stellt dabei die Auslegung der Hybridwärmepumpen dar. Der Anteil der WP-Leistung im Auslegungsfall wurde dabei zwischen 20 Prozent und 50 Prozent variiert. Die ökonomische Standardauslegung einer monoenergetischen Luft-Wasserwärmepumpe erfolgt auf 66 Prozent im Auslegungsfall (hier: Potsdam mit -14 °C). Die verbleibenden 33 Prozent im extrem seltenen Auslegungsfall werden über einen elektrischen Heizstab bereitgestellt. Eine Auslegung der WP auf 20 Prozent der Gebäudeheizlast entspricht einem Leistungsanteil der Wärmepumpe beim Teillastpunkt „A“ nach DIN EN 14825 (-7°) von ca. 30 Prozent. Aufgrund des systembedingten Leistungsanstiegs mit zunehmender Außentemperatur und des gleichzeitig abnehmenden Wärmebedarfs reicht die Leistung einer auf lediglich 20 Prozent ausgelegten Wärmepumpe oberhalb von ca. 0 °C für eine 100-prozentige Lastabdeckung aus.

Darüber hinaus wurden zwei Varianten der Auslegungsvorlauftemperatur berücksichtigt: 55/45 und 70/55 °C.

Tabelle 4 zeigt die Charakteristika der Untersuchungsvarianten für die Energiesystembetrachtung zusätzlich zu den aus der Einzelgebäudebetrachtung bekannten Referenz-Varianten, die in Kapitel 2.3.2 bereits vorgestellt wurden.

Tabelle 4: Untersuchungsvarianten der Hybridwärmepumpen

Nr.	Gebäude-typ	Wärme-schutz	WP-Typ	WP-Effizienz	Systemtemperaturen (VL/RL)		Zirkulations-system	TWW-Nacht-abschal-tung
					HZ	TWW		
V1	EFH	Bestand_mittel	Luft-WP	Standard	55/45	TWW48	Nein	Ja
V2	EFH	Bestand_mittel	Luft-WP	Standard	70/55*	TWW48	Nein	Ja
V10	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_50%	Standard	70/55	TWW48	Nein	Ja
V11	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_40%	Standard	70/55	TWW48	Nein	Ja
V12	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_30%	Standard	70/55	TWW48	Nein	Ja
V13	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_20%	Standard	70/55	TWW48	Nein	Ja
V14	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_50%	Standard	55/45	TWW48	Nein	Ja
V15	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_40%	Standard	55/45	TWW48	Nein	Ja
V16	EFH	Bestand_mittel	Hybrid-WP_30%	Standard	55/45	TWW48	Nein	Ja

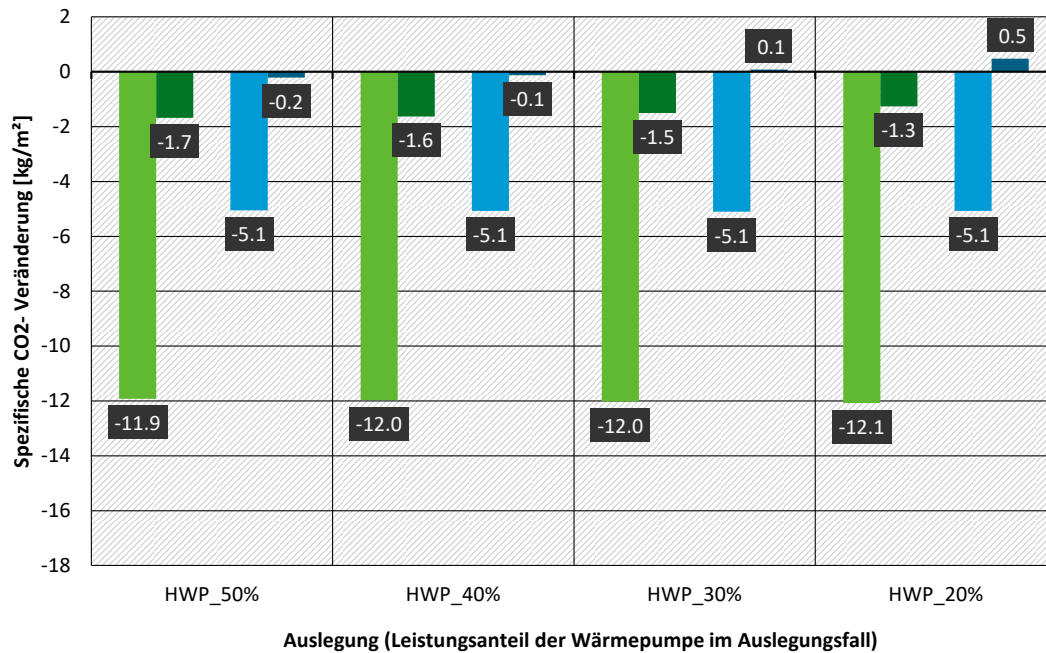
Nr.	Gebäude- typ	Wärme- schutz	WP-Typ	WP- Effizienz	Systemtemperaturen (VL/RL)		Zirkulations- system	TWW- Nacht- abschal- tung
					HZ	TWW		
V17	EFH	Bestand_ mittel	Hybrid- WP_20%	Standard	55/45	TWW48	Nein	Ja

Als Beurteilungsmaßstab des Vergleichs mit den Wärmepumpen-Referenzvarianten dienen die möglichen CO₂-Einsparungen der CO₂-optimiert betriebenen Hybridwärmepumpen. Die erzielbaren CO₂-Einsparungen sind neben den Systemtemperaturen des Heizungssystems und der Auslegung der Wärmepumpe auch von dem Installationszeitpunkt (d. h. vom Anteil erneuerbarer Energien am Netz-Strom) abhängig.

Durch die steigenden Anteile erneuerbarer Energien im Stromnetz und die Verbesserung der Residualstrombereitstellung verringern sich der klimatechnisch sinnvolle Gaskesselteilbetrieb der Hybridwärmepumpe nach und nach (z.B. bei V13_HWP70_20% von einem Wärmebedarfsdeckungsanteil⁸⁶ von 49 Prozent in 2021 zu 21 Prozent im Jahr 2030; bzw. bei V17_HWP55_20% von einem Wärmebedarfsdeckungsanteil von 36 Prozent in 2021 zu 13 Prozent im Jahr 2030). Dies führt dazu, dass die Einsparungen der Hybridwärmepumpen gegenüber den monoenergetischen Wärmepumpen sinken.

Wie auf Abbildung 13 zu erkennen ist, können in fast allen untersuchten Fällen Einsparungen durch emissionsminimierend betriebene Hybridwärmepumpen erreicht werden. Die Einsparungen bei den Hybridwärmepumpen mit hohen Auslegungsvorlauftemperaturen von 70 °C (grüne Balken in der Grafik) liegen dabei deutlich über denen mit der niedrigeren Auslegungsvorlauftemperaturen von 55 °C (blaue Balken in der Grafik). Während im Jahr 2021 die Auslegung noch keine wesentliche Rolle spielte, führt der für 2030 zu erwartende steigende Anteil erneuerbarer Energien im Stromnetz dazu, dass die Einsparungen mit sinkender Wärmepumpen-Auslegung sinken. Bei Auslegungsvorlauftemperaturen von 55 °C muss die Wärmepumpe auf mindestens 30 Prozent der Gesamtlast ausgelegt sein, um noch eine Einsparung gegenüber der monoenergetischen Wärmepumpe erzielen zu können. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei einer ursprünglichen Auslegung der Wärmepumpe auf 20 Prozent (V17_HWP55 20%) spätestens im Jahr 2030 eine energetische Sanierung erfolgen sollte, die zu einer Absenkung der Gebäudeheizlast um mindestens 33 Prozent führen sollte.

⁸⁶ Inklusive notwendigem Teilparallelbetriebsbeitrag des Gaskessels zur Spitzenlastdeckung bei unzureichender Leistung der lediglich auf 20 % Nennheizlast ausgelegten Luft-Wasser-Wärmepumpe (13 % bei V17_HWP55 20 % und 11 % V13_HP70 20%)

Abbildung 13: Veränderungen der jährlichen CO₂-Emissionen von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen ggü. monovalenten Wärmepumpen

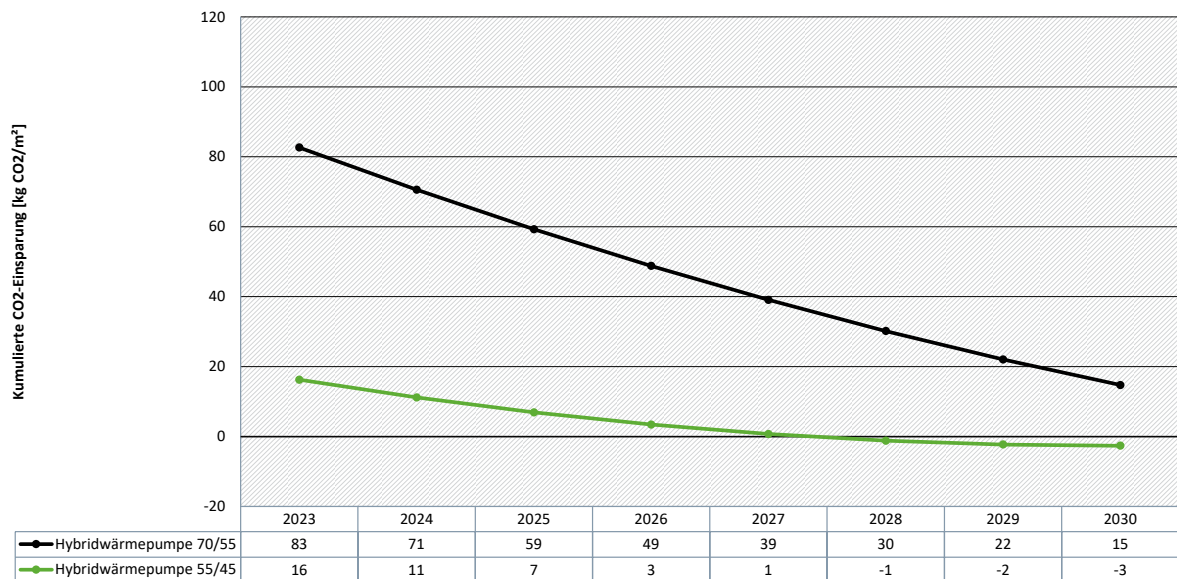
■ 2021, 70/55 °C ■ 2030, 70/55 °C ■ 2021, 55/45 °C ■ 2030, 55/45 °C

Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

In einer zweiten Betrachtung wurden die Einsparungen der über die Lebensdauer (Annahme: 20 Jahre) der Wärmeerzeuger kumulierten Emissionen betrachtet.

In der folgenden Grafik ist die Höhe der kumulierten Einsparung der CO₂-emissionsminimiert geregelten Gas-Hybridwärmepumpen gegenüber den entsprechenden monoenergetischen Luft-WP ausgewiesen. Bis 2027 liegen diese bei einer Auslegungsvorlauftemperatur von 70°C (JAZ der monoenergetischen WP: 2,4) bei über 35 kg_{CO2}/m² (d. h. > 5 tCO₂ für ein EFH). Bei einer Auslegungs-Vorlauftemperatur von 55°C (JAZ monoenergetische WP: 3,0) beträgt die mögliche Einsparung im Installationsjahr 2027 nur noch ca. 1 kg_{CO2}/m², bevor sie ab 2028 in einen Mehrverbrauch umschlagen.

Abbildung 14: Einsparungen kumulierter CO₂-Emissionen über 20 Jahre von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen (Auslegung: 20 Prozent den Nennheizlast) ggü. monovalenten Wärmepumpen nach Installationsjahr (x-Achse)



Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

CO₂-emissionsminimiert geregelte Hybridwärmepumpen sind somit selbst bei investitionskostenorientierter minimaler Auslegung auf 20 Prozent der erforderlichen Spitzenheizlast eine empfehlenswerte Lösung, wenn diese anstelle von monoenergetischen Wärmepumpen mit zu erwartenden geringen Jahresarbeitszahlen installiert werden. Die Grenz-Auslegungs-Systemtemperatur, ab der eine Gas- Hybridwärmepumpe mit einer geeigneten netzdienlichen Regelung zu signifikanten CO₂-Einsparungen gegenüber einer Luft-Wasser-Wärmepumpe führen kann, ist im Wesentlichen abhängig vom Installationsjahr und der Qualität der Wärmepumpe⁸⁷. Dabei gilt: Je besser die Effizienz der Wärmepumpe ist und je später sie installiert wird, desto höher ist die Grenz-Auslegungs-Systemtemperatur. In allen Fällen sollte bei Hybridwärmepumpen jedoch früher oder später eine energetische Sanierung berücksichtigt werden, die zu einer Anhebung der WP-Auslegung führt. Der notwendige Zeitpunkt und die notwendige Sanierungstiefe sind dabei abhängig von der zu erwartenden Vorlauftemperatur bzw. der Effizienz (JAZ) der alternativen Lösung mit monoenergetischer Wärmepumpe. Zielwert für die Auslegung der Hybridwärmepumpe sollte dabei das Erreichen einer Standardauslegung (WP-Anteil: mind. 66 Prozent im Auslegungsfall) nach erfolgter Sanierung sein, um auf lange Sicht (d. h. bis spätestens 2040 besser bereits bis 2035) weitestgehend unabhängig von der Entwicklung des künftigen Stromsystems einen emissionsoptimierten Betrieb sicherstellen zu können.

Die o. g. erzielbaren Einsparungen durch CO₂-emissionsminimiert geregelte Hybridwärmepumpen sind abhängig von der Ausbaugeschwindigkeit der erneuerbaren Energien im Stromsystem, insbesondere der Windenergie. Bei einer sich bereits andeutenden Verlangsamung der Ausbaugeschwindigkeit würden die erzielbaren Einsparpotenziale weiter ansteigen und sich die notwendigen Sanierungszeitpunkte weiter in die Zukunft verschieben.

CO₂-emissionsminimiert geregelte Hybridwärmepumpen stellen somit, neben den Effizienzverbesserungsmaßnahmen (siehe Kapitel 2.4.2), bis ca. 2030 eine geeignete Lösung dar,

⁸⁷ Schlussfolgerung auf Basis Ergebnisse, ohne gesonderten rechnerischen Nachweis

die CO₂-Emissionen von Gebäuden mit (unabdingbar) hohen Auslegungsvorlauftemperaturen (> 55 °C) und hohem Wärmebedarf signifikant zu vermindern.

Eine Abschätzung des Gesamteinsparpotenzials CO₂-minimiert betriebener Hybridwärmepumpen ist schwierig. Für eine grobe Einordnung wird davon ausgegangen, dass jährlich ca. 100.000-200.000 Heizungsanlagen grundsätzlich für eine Hybridwärmepumpe in Frage kommen. Berücksichtigt werden dabei Heizungsanlagen, bei denen der alte Wärmeerzeuger nicht mehr funktionstüchtig ist und ersetzt werden muss, die Systemauslegungstemperaturen ohne unverhältnismäßig große Aufwendungen nicht unter 55 °C gesenkt werden können und neben einer (Hybrid-)Wärmepumpe keine bessere Alternative zur Verfügung steht, um einen Anteil von mindestens 65 Prozent erneuerbaren Energien an der Wärmebereitstellung zu erreichen. Unter weiterer Berücksichtigung eines mittleren Sanierungszyklus von Gebäudehüllen von 40 Jahren stünde, ohne Anforderungen an vorzuziehende Sanierungen (z.B. Sanierungsverpflichtung für ineffizienteste Gebäude), in den kommenden 10 Jahren bei 25 Prozent der Gebäude eine energetische Sanierung an. Insgesamt ergäben sich somit 25.000 bis 50.000 Heizungsanlagen, die für eine Hybridwärmepumpe in Frage kommen. Bei einer mittleren Einsparung pro Wärmepumpe im Jahre 2030 von 200 kg_{CO2}/a⁸⁸, ergäbe sich für 2030 ein Gesamteinsparpotenzial von 35 kT bis 70 kT CO₂. Dies entspricht den CO₂-Emissionen von ca. 10.000 mit Gaskesseln beheizten Einfamilienhäusern.

Neben gezeigten CO₂-Einsparpotenzialen könnten Gas-Hybrid-Wärmepumpen, solange eine entsprechende Gasnetz-Infrastruktur vorhanden ist, auch zur Netzstabilisierung beitragen bzw. strompreisoptimiert betrieben werden. Dabei ist davon auszugehen, dass bei Berücksichtigung von zeitvariablen Börsenstrompreisen die strompreisoptimierte Betriebsweise weitestgehend auch CO₂-emissionsoptimiert ist.

Durch die notwendigen Vereinfachungen und den begrenzten Umfang der Berechnungen sind die genannten Einsparungen mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die grundsätzlich daraus ableitbaren Kernaussagen durch umfassendere Modellierungen bestätigbar sind. Zur Bestätigung und ggf. Spezifizierung konkreter Kennwertvorgaben für Wärmepumpen und Hybridwärmepumpen, wird empfohlen, im Rahmen der nächsten Aktualisierung einen rückgekoppelten Abgleich mit den maßgeblichen Energiesystemmodellierungen vorzunehmen.

2.4.5 Fazit

Erkenntnisse für künftige Energiesystem-Modellierungen

Trotz der zahlreichen Vereinfachungen bei den zuvor beschriebenen indikativen Modellierungen zu den Flexibilitäten lassen sich daraus grundlegende Erkenntnisse ableiten, die entscheidende Qualitätsverbesserungen für künftige Energiesystem-Modellierungen herbeiführen können, um hieraus geeignete Spezifikationen an künftig zu installierende Wärmepumpen abzuleiten. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- Da sowohl die Qualität der Wärmepumpen als auch die Systemtemperaturen der Heizungs- und Warmwassersysteme einen signifikanten Einfluss auf den Gesamtstrombedarf und den wärmepumpenbedingten Anteil an der Reservekapazität haben, wird empfohlen, diese beiden Parameter bei künftigen Energiesystemmodellierungen zu berücksichtigen. Auch die eingehendere Untersuchung und Berücksichtigung der positiven Einflüsse von Wärmequellen mit höherer Ausgangstemperatur (z.B. Erdreich) wird empfohlen.

⁸⁸ Grob geschätzter Wert auf Basis der Berechnungen. Grundlage: EFH mit 150 m², CO₂-Einsparung 1,3 kg/m²a (Auslegungsvorlauftemperatur zwischen 55°C und 70 °C)

- ▶ Die Annahmen des Lastverschiebungspotenzials von Wärmepumpen durch Speicher sollten überprüft werden. Diesbezüglich ist eine realistischere Abbildung der Speicher und deren Steuerung empfohlen, die den erhöhten Stromverbrauch, den die notwendige Speicher-Übertemperatur bedingt, berücksichtigt. Obwohl in dieser Studie nicht näher untersucht, sollten dabei außerdem die Wärmeverluste und die begrenzte Überschussleistung zur Speicherbeladung von Luft-Wasser-Wärmepumpen bei geringen Außentemperaturen berücksichtigt werden.
- ▶ CO₂-minimiert gesteuerte Hybridwärmepumpen sollten als Brückentechnik für kritische Gebäude mit hohen Systemtemperaturen berücksichtigt werden, für die keine alternative erneuerbare Wärmeversorgungsoption zur Verfügung steht. Allerdings nur für diejenigen Gebäude, bei denen mittelfristig eine umfassende energetische Sanierung ansteht, die perspektivisch einen Verzicht auf einen Gaskesseleinsatz ermöglicht. Der Einsatz von Hybridwärmepumpen hätte zudem den Vorteil, flexibel auf den tatsächlichen Ausbaufortschritt der erneuerbaren Energien reagieren zu können und dabei immer die geringstmöglichen CO₂-Emissionen sicherzustellen.

Anmerkung: Es wurden keine Varianten einer isolierten Betrachtung von Wärmepumpen in Kombination mit lokaler PV untersucht, da aus Energiesystemperspektive ein voneinander unabhängiger massiver Ausbau beider Techniken nötig ist, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Eine eigenverbrauchsoptimierte Betriebsweise von Wärmepumpen ist nicht energiesystemoptimiert und daher ebenso kritisch zu beurteilen wie eine Verrechnung von PV zur Abschwächung von Effizienzanforderungen von Gebäuden. Bei den energiesystemischen Betrachtungen in diesem Kapitel wurde der durch PV-Anlagen erzeugte Strom als Teil des erneuerbaren Stroms berücksichtigt, wobei jedoch dessen Deckungsanteil am Strombedarf der Wärmepumpen sehr gering ist, was u.a. auch der Abbildung 10 und Abbildung 11 in Kapitel 2.4.1 zu entnehmen ist.

3 Ableitung von (Politik-) Empfehlungen in Bezug auf WP-Anforderungen

Elektrische Wärmepumpen arbeiten unter Einsatz von Strom. Auch wenn politisch das Ziel verfolgt wird, die Stromerzeugung in Deutschland zügig komplett auf erneuerbare Energien umzustellen, ist es angesichts begrenzter EE-Potenziale sowie zahlreicher Hemmnisse, die dem zügigen EE-Ausbau entgegenstehen, notwendig, den Strombedarf und die Stromkosten von Wärmepumpen zu begrenzen. Hierfür müssen Wärmepumpenheizsysteme ein hohes Effizienzniveau gewährleisten.

Die Analyse in den voranstehenden Abschnitten arbeitet Faktoren heraus, die die Effizienz eines Wärmepumpensystems maßgeblich beeinflussen. Aus der **technischen Perspektive** ist die Effizienz – wie in Kapitel 2.3.3.1 dargestellt – im Hinblick auf die äußeren Rahmen- und Einsatzbedingungen insbesondere abhängig von dem zu leistenden Temperaturhub, also der Differenz zwischen der Quelltemperatur sowie der Temperatur des Heizsystems. Diese Temperaturdifferenz hängt wiederum von zahlreichen Faktoren ab. Aus den in Kapitel 2.3.3.1 dargestellten Ergebnissen lassen dafür sich eine Reihe von Schlussfolgerungen ziehen:

- ▶ **Wahl der Wärmequelle:** Wärmequellen wie das Erdreich, das Grundwasser, Oberflächengewässer, Abwasser oder Abwärme weisen während der Heizperiode i.d.R. ein höheres Temperaturniveau auf als die Außenluft. Aus diesem Grund erreichen erdgekoppelte Wärmepumpen systematisch höhere Jahresarbeitszahlen als Außenluft-Wärmepumpen.
- ▶ **Effizienzsichernde Einbausituation:** Bei gegebener Wärmequelle wird die Heizsystemtemperatur (VL-Temperatur), die mindestens notwendig ist, um ein Gebäude auf die gewünschte Innenraumtemperatur zu beheizen, insbesondere durch den vorliegenden Wärmeschutzstandard des Gebäudes sowie die Art und Dimensionierung der Wärmeübertrager bestimmt. Ein guter Wärmeschutz sowie große Übertragungsflächen wirken sich dabei positiv auf die Effizienz von Wärmepumpen aus.
- ▶ **Marktangebot an effizienten Wärmepumpen und Sicherstellung geeigneter Gerätewahl:** Wärmepumpen unterliegen beim Eintritt auf den europäischen Heizungsmarkt den Ökodesign-Mindestanforderungen. Der Markt bietet allerdings ein breites Spektrum an Effizienzen (in Form unterschiedlicher COP-Werte⁸⁹), die sich im realen Betrieb bei vergleichbaren Einbausituationen in unterschiedlichen Jahresarbeitszahlen niederschlagen. Das Marktangebot sowie die Investitionsentscheidungen der Hauseigentümer*innen haben damit maßgeblichen Einfluss auf die Effizienz des gesamten Wärmepumpenbestands.
- ▶ **Installation, Einbindung und Einstellung:** Wie in Kapitel 2.3.3.3 dargestellt, weisen Wärmepumpen in der Realität strukturell höhere VL-Temperaturen als notwendig auf. Es besteht also oftmals eine Diskrepanz zwischen der notwendigen Mindesttemperatur und der real eingestellten VL-Temperatur. Dies spricht dafür, der richtigen Installation und Einstellung einer Wärmepumpe (inkl. hydraulischem Abgleich) ausreichend Aufmerksamkeit zu schenken.

⁸⁹ Konkret: Der Markt liefert Anlagen mit sehr großer Spannbreite an Teststandeffizienzen für identische Betriebspunkte, s. z.B. BAFA-Liste förderfähiger Wärmepumpen (https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_waermepumpen_anlagenliste.pdf;jsessionid=C1C654F347F5B25E4C27AA48E68EE345.intranet662?__blob=publicationFile&v=2) oder vergleichbare Produktportale wie z.B. www.eprel.ec.europa.eu/screen/product/spaceheaters oder www.produktdatenbank-get.at.

- ▶ **Trinkwassererwärmung:** Ein weiterer Einflussfaktor besteht in der Art der Warmwassererzeugung (durch die Wärmepumpe⁹⁰ oder separat), das Temperaturniveau der Warmwassererzeugung und deren Anteil am gesamten Wärmeenergieverbrauch des betroffenen Gebäudes. Mit der Wahl einer auf den Nutzungsfall zugeschnittenen Anlagenkonfiguration verbinden sich ebenfalls deutliche Effizienzpotenziale.
- ▶ **Effizienter Betrieb:** Hinzu kommt – nicht Gegenstand obiger Analysen – der eigentliche Anlagenbetrieb. Zahlreiche Faktoren können dazu führen, dass eine eigentlich effiziente Wärmepumpe im laufenden Betrieb ineffizient arbeitet, was in einen höheren Stromverbrauch und höhere Stromkosten über die gesamte Lebensdauer mündet. Mögliche Ursachen umfassen beispielsweise Einstellungsfehler, Defekte oder Änderungen an der Einbausituation. Schlüssel zur Vermeidung dieser Effizienzverluste ist die kontinuierliche Betriebsüberwachung.

Aus der **organisatorischen Perspektive** wird die Effizienz einer Wärmepumpe durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren entlang der gesamten Prozesskette, also Herstellung, Beratung, Planung, Installation, Inbetriebnahme, Übergabe und Überwachung bestimmt. Die Markteintrittsbedingungen müssen so sein, dass Wärmepumpenhersteller Anreize haben, möglichst effiziente Geräte anzubieten. Auf Seiten der Nachfrage ist eine Anreizstruktur notwendig, die sicherstellt, dass HauseigentümerInnen sich für möglichst effiziente Wärmepumpen entscheiden. Bei der Planung und Auslegung müssen eine geeignete Wärmequelle gefunden, deren Erschließung richtig dimensioniert sowie eine geeignete Wärmepumpe ausgewählt und dimensioniert werden. Gleiches gilt für das Heizverteilsystem (Art und Größe der Übertragungsflächen). Ferner muss entschieden werden, wie das Trinkwarmwasser erzeugt wird (zentral oder dezentral, mittels der Wärmepumpe oder separat, mit oder ohne Zirkulation). Bei der Installation ist darauf zu achten, die Wärmepumpe qualitativ hochwertig in das Heizsystem einzubinden. Dies umfasst insbesondere die Einstellung der Heizkurve und die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs. Bei der Überwachung geht es um die kontinuierliche Kontrolle der Betriebseffizienz.

Aus den oben dargestellten Faktoren lassen sich eine Reihe von Politikempfehlungen ableiten, die darauf abzielen, auf den verschiedenen Ebenen der gesamten Prozesskette (Herstellung, Gerätewahl, Installation usw.) sicherzustellen, dass Marktakteure Entscheidungen treffen, die im Zuge der Umsetzung konkreter Wärmepumpenprojekte zu einem hohen Maß an Effizienz führen. Die Empfehlungen orientieren sich anbei u.a. an vergleichbaren Überlegungen, die im Rahmen des Projektes „Begleitung von BMWK-Maßnahmen zur Umsetzung einer Wärmepumpen-Offensive“⁹¹ detailliert ausgearbeitet wurden. Die nachfolgende Darstellung der Politikempfehlungen findet dabei entlang der oben abgeleiteten Schlussfolgerungen statt.

3.1 Wahl der Wärmequelle

Ziel:

Anreizsetzung für Wärmequelle, die für den konkreten Einsatzfall Höchstmaß an Effizienz gewährleistet

Förderung der Erschließung effizienter Wärmequellen

Stärkere Spreizung der BEG-Fördersätze zwischen erdgekoppelten oder Abwasser-Systemen und Luft-Wärmepumpen; die Fördersätze sollten so gewählt werden, dass es ökonomisch attraktiv ist, erdgekoppelte oder

⁹⁰ Wird das Warmwasser über die Wärmepumpe erhitzt, erfolgt die letzte Temperaturstufe i.d.R. über einen Heizstab, was zu Lasten der Gesamteffizienz der Wärmepumpe geht.

⁹¹ Hermelink et al., 2023

Ziel:**Anreizsetzung für Wärmequelle, die für den konkreten Einsatzfall Höchstmaß an Effizienz gewährleistet**

	Abwasser-Systeme zu wählen, wenn die räumliche/bauliche Situation vor Ort diese Systeme generell zulassen.
Förderung der Informationsverbreitung	Ähnlich wie bereits bspw. unter Energiewechsel.de zum Gebäudeenergiegesetz (GEG), zum Thema Energieeffizienz und zu erneuerbaren Energien Informationen übersichtlich und verständlich verbreitet werden, können gezielt Leitfäden, Checklisten und Informationsbroschüren für die Auswahl der Wärmequelle bei Wärmepumpensystemen erstellt und verbreitet werden. Dadurch kann die Auswahl der Quelle und die Effizienz in der Breite positiv beeinflusst werden.
Wärmequellenspezifischer Hemmnisabbau	Erdgekoppelten Systemen aber auch der Erschließung von Abwasser als Wärmequelle stehen eine Reihe teils rechtlicher Hemmnisse (z.B. im Hinblick auf die wasserrechtliche Genehmigung, eine teils unzureichende Informationslage, teils unklare Zugangsberechtigungen) entgegen ⁹² . Somit zahlen Politikinstrumente, die darauf abzielen, die entsprechenden Hemmnisse abzubauen ⁹³ , auf das Ziel ein, die Effizienz des Wärmepumpenbestandes zu erhöhen.

3.2 Effizienzsichernde Einbausituation

Ziel:**Reduktion der notwendigen Heizsystemtemperatur**

Förderung Wärmeschutz	Wärmeschutzmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle (z.B. Austausch der Fenster, Dämmung der Außenwand) senken den Wärmeenergiebedarf eines Gebäudes und führen dazu, dass die zur Beheizung notwendige Vorlauftemperatur in der Regel abgesenkt werden kann. Somit sind Politikinstrumente zur Förderung von Hüllflächensanierungen (z.B. Förderprogramme wie die Bundesförderung Effiziente Gebäude, ordnungsrechtliche Sanierungsvorgaben oder der gebäudeindividuelle Sanierungsfahrplan iSFP) vorteilhaft für die Wärmepumpeneffizienz.
Anreize für Flächenheizsysteme	Wird ein Gebäude kern- bzw. vollsaniert, bietet es sich an, das Heizverteilsystem auf eine Flächenheizung umzustellen. Die Umstellung auf Flächenheizungen wird durch das BEG gefördert; es wäre aber zu prüfen, ob die zugehörigen Förderbedingungen ausreichend hohe ökonomische Anreize setzen. ⁹⁴
Planung 1: Heizlastberechnungstools	Bei Bestandsgebäuden liegt oftmals keine raumweise Heizlastberechnung vor. Auf dieser fußt allerdings die Einschätzung, ob insbesondere ein unsaniertes Gebäude wärmepumpeneeignet ist bzw. ob/welche Maßnahmen (z.B. Austausch einzelner Heizkörper) geeignet wären, um die Eignung herzustellen. Benötigt werden Tools, die eine einfache Heizlastberechnung ermöglichen, eine niedrige Hemmschwelle zum Einsatz haben sowie die Verbreitung dieser Tools unter Energieberatern, InstallateurInnen und Planenden. Gleiches gilt für einfache Tools zur Unterstützung des hydraulischen Abgleichs.

⁹² Hermelink et al., 2023⁹³ Ansätze, die darauf abzielen, die Informationslage im Bereich der Abwasserwärme zu verbessern, werden beispielsweise in einem UBA Adhoc-Papier zur Abwasserwärme (2023) beschrieben, das im Zuge dieses Projekts miterstellt wurde.⁹⁴ Im Falle von Teilsanierungen sollte immer erst geprüft werden, ob das bestehende Heizverteilsystem, das i.d.R. auf Heizkörpern beruht, nicht ausreichend dimensioniert ist, um auch mit den für einen effizienten WP-Betrieb notwendigeren niedrigeren VL-Temperaturen zu arbeiten.

Ziel:**Reduktion der notwendigen Heizsystemtemperatur**

Planung 2: Standard-Hydraulikkonzepte

Die Verbreitung und Anwendung von Standard-Hydraulikkonzepten (im Idealfall inkl. Beschränkung auf eine begrenzte Zahl an Standardkonzepten) wäre ein wichtiges Element im Rahmen der notwendigen Standardisierung des Planungs- und Installationsprozesses.⁹⁵ Vorbild wäre dabei das in der Schweiz verbreitete Wärmepumpen-Systemmodul (WPSM).⁹⁶ Die Verwendung von Standard-Hydraulikkonzepten ließe sich mit dem Förderregime verknüpfen, indem ein Förderbonus eingeräumt wird, wenn HauseigentümerInnen einen Nachweis erbringen, dass bei der WP-Installation auf eines der Standardkonzepte zurückgegriffen wurde.

Planung 3: Standardlösungen für MFH + NWG

Im Bereich von Mehrfamilienhäusern sowie Nichtwohngebäuden werden Wärmepumpen bislang sehr selten eingesetzt. Dies liegt insbesondere an der oftmals komplexeren Quellerschließung sowie Anlagenkonfiguration. In beiden Bereichen wird eine Standardisierung der Lösungsoptionen (auch hier inkl. Standard-Hydraulikkonzepten) als Schlüsselement für den Marktdurchbruch gesehen (Bürger et al. 2022).

3.3 Effizientes Marktangebot und Sicherstellung geeigneter Gerätewahl**Ziele:****Markttransformation in Richtung effizienterer Geräte, Identifizierung von und Entscheidung für Wärmepumpe, die für den konkreten Einsatzfall hohe Effizienz aufweisen**

Markttransformation 1: Verschärfung der Öko-Design-Anforderungen

Für Wärmepumpen gelten für den Verkauf auf dem europäischen Markt die Mindestanforderungen aus dem Ökodesign-Prozess. Diese Anforderungen an den Mindest-SCOP bzw. an η_s (ETAs) könnten sukzessive verschärft werden, um dem Markt ein klares Signal zu senden, bei den Bemühungen, um weitere Effizienzsteigerungen nicht nachzulassen.

Markttransformation 2: Verschärfung der Mindesteffizienzanforderung in der BEG-

Die BEG stellt Mindestanforderungen an die Effizienz von Wärmepumpen. Neben Mindestanforderungen an η_s (ETAs) sind nach der aktuell gültigen BEG-Förderrichtlinie Wärmepumpen so auszulegen, dass mindestens eine Jahresarbeitszahl von 2,7 erreicht wird. Ab 01.01.2024 beträgt die Jahresarbeitszahl mindestens 3,0.⁹⁷ Diese Anforderungen könnten weiter verschärft werden.

BEG: Differenzierte Fördersätze

Die im Rahmen der BEG förderfähigen Wärmepumpen erfüllen zwar die seitens der BEG festgelegten Schwellenwerte, weisen oberhalb dieser Schwellenwerte allerdings deutliche Effizienzunterschiede auf.⁹⁸ Um Anreize zu setzen, dass sich HauseigentümerInnen vorzugsweise für Geräte am oberen Effizienzrand entscheiden, könnten die Fördersätze im Sinne eines „Toprunner“-Ansatzes in der Form ausdifferenziert werden, dass z.B. die effizientesten 10 Prozent Gerätetypen einen zusätzlichen Förderbonus

⁹⁵ Ein Beispiel wäre der vom Bundesverband Wärmepumpe bereitgestellte Hydraulik-Leitfaden, im Rahmen dessen elf hydraulische Standardschemata dargestellt werden (https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/BWP_LF_HYD_2019_DRUCK_final.pdf). Auch viele der Wärmepumpen-Hersteller bieten eigene Standardschemata an.

⁹⁶ <https://www.wp-systemmodul.ch/de/>

⁹⁷

<https://www.bundesanzeiger.de/pub/publication/xSizk6DUlWm93L4XrkY/content/xSizk6DUlWm93L4XrkY/BAnz%20AT%2030.12.2022%20B1.pdf?inline>

⁹⁸ s. z.B. BAFA-Liste förderfähiger Wärmepumpen

(https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_waermepumpen_anlagenliste.pdf;jsessionid=C1C654F347F5B25E4C27AA48E68EE345.intranet662?_blob=publicationFile&v=2)

Ziele:

Markttransformation in Richtung effizienterer Geräte, Identifizierung von und Entscheidung für Wärmepumpe, die für den konkreten Einsatzfall hohe Effizienz aufweisen

	erhalten. Eine Alternative dazu wären gestaffelte Fördersätze in Abhängigkeit von der Geräteeffizienz.
Berater-Schulung	Ausweitung + Finanzielle Förderung der Schulung von Beratenden: Initiierung der Entwicklung eines Standard-Beratermoduls; das Konzept sollte auch Schulungen für Installateure beinhalten. Die Schulungen sollten sich nicht nur auf technische Aspekte konzentrieren, sondern auch Fragen einer guten Kundenansprache einbeziehen (HauseigentümerInnen orientieren sich oft an den Ratschlägen der Installateure).

3.4 Installation, Einbindung und Einstellung

Ziele:

Sicherstellung qualitativ guter Installation, Intensivierung von Ausbildungs- und Schulungsaktivitäten, Verbesserung der Qualifikationszuschnitte, Bereitstellung und Förderung installationsoptimierter Geräte

Planung 1-3, vgl. Kapitel 3.2	Heizlastberechnungstools, Standard-Hydraulikkonzepte, Standardlösungen für MFH + NWG
Ausweitung der Fortbildungsinfrastruktur	Die großen Wärmepumpen-Hersteller bieten in regional verteilten Weiterbildungszentren Schulungsprogramme für Planende und Installateure an. Hinzu kommen weitere Aktivitäten wie Roadshows, Betriebsbesuche oder Online-Seminare. Aufgrund der begrenzten Kapazitäten ist eine deutliche Ausweitung notwendig ⁹⁹ . Dabei geht es auch um eine Ausweitung der Ausbildungsinfrastruktur, z.B. durch den Aufbau herstellerübergreifender regionaler Aus- und Fortbildungszentren.
Modernisierung der Ausbildungs- und Prüfungsordnungen	Eine stärkere Ausrichtung der SHK-Ausbildung auf die Heizungstechnik mit einer besonderen Schwerpunktsetzung auf Wärmepumpen könnte den Qualifizierungsgrad im Bereich der Heizungsbetriebe deutlich verbessern. Hierzu müssten die entsprechenden Ausbildungs- und Prüfungsordnungen angepasst werden.
Steigerung der Berufsattraktivität	Um den aktuellen Fachkräftemangel wirksam anzugehen, sollten gezielte Anreize zur Steigerung und Förderung der Attraktivität des Berufs als SHK-Handwerker*in geschaffen und aktiv beworben werden.

3.5 Warmwassererzeugung

Ziel:

Identifizierung einer passenden Konfiguration für die WW-Versorgung

Alternativer Legionellenschutz	Finanzielle Anreize und mehr Informationen für ausreichenden Legionellenschutz bei Aufrechterhaltung der Energieeffizienz. Eine ausführliche Darstellung alternativer Schutzkonzepte findet sich im UBA Ad-hoc Papier „Trinkwarmwasserkonzepte für Gebäude mit einer Wärmepumpenheizung“
WW-Frischwasserstationen	Frischwasserstationen eröffnen die Möglichkeit, die Systemtemperaturen zu senken. Wärmepumpen können dadurch effizienter betrieben werden sowie Trinkwarmwasser effizient unter Einhaltung von Hygieneanforderungen bereitstellen. Frischwasserstationen sind bislang nicht explizit in der BEG-EM

⁹⁹ Bürger et al. 2022

Ziel:**Identifizierung einer passenden Konfiguration für die WW-Versorgung**

	genannt. Eine Aufnahme von Frischwasserstationen als förderfähige Maßnahme kann für Klarheit sorgen und deren Verbreitung fördern.
Zirkulation	Die Installation einer TWW-Zirkulation erfordert in der Regel ein Vorlauftemperaturniveau von 60 °C (Legionellenschutz), geht damit zu Lasten der WP-Effizienz (wenn das TWW auch über die Wärmepumpe erzeugt wird) und führt gleichzeitig zu verhältnismäßig hohen Leitungsverlusten. Insbesondere bei Ein- und Zweifamilienhäusern sollte ernsthaft abgewogen werden (z.B. durch aktive Ansprache seitens Planender und InstallateurInnen), ob eine TWW-Zirkulation wirklich notwendig ist.

3.6 Effizienter Betrieb

Ziele:**Sicherstellung kontinuierlicher Betriebskontrolle, verlässliche Effizienzüberwachung, Maximierung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von Ineffizienzen**

Selbstlernende Regelalgorithmen	Selbstlernende Regelalgorithmen unterstützen sowohl die Installation als auch den Betrieb einer Wärmepumpe. Durch Anreize, Wärmepumpen verstärkt mit selbstlernenden Regelalgorithmen auszustatten, verringert sich das Risiko von Ineffizienzen im laufenden Betrieb.
Integrierte Effizienzanzeige	Gemäß der aktuellen Förderrichtlinie des BEG müssen förderfähige Wärmerzeuger mit einer Energieverbrauchs- und Effizienzanzeige ausgestattet sein sowie alle Energieverbräuche und erzeugten Wärmemengen messtechnisch erfasst werden. Im Idealfall wird die Effizienzanzeige direkt in die Heizanlagen integriert (Teil der Fertigung) ¹⁰⁰ . Bei Wärmepumpen würde es sich anbieten, die Effizienzanzeige um eine Ampelanzeige zu ergänzen (grün = effizienter Betrieb; rot: WP läuft ineffizient), um es HauseigentümerInnen zu erleichtern, Ineffizienzen schnell zu entdecken. Für die Effizienzanzeige bedarf es auch einer Festlegung, über welche Parameter die Effizienz der Wärmepumpe ermittelt werden muss (Mess- und Berechnungskonzept).
Erstinspektion	Die vom Bundestag am 08.09.2023 beschlossene GEG-Novelle ¹⁰¹ sieht laut § 60a nach der Inbetriebnahme einer Wärmepumpe nach Ablauf einer vollständigen Heizperiode, spätestens jedoch zwei Jahre nach Inbetriebnahme, in Häusern mit mehr als 6 Wohn-/Nutzungseinheiten eine Betriebsprüfung vor. Diese umfasst eine Reihe gesetzlich festgelegter Regelparameter. Die Betriebsprüfung muss für Wärmepumpen, die nicht einer Fernkontrolle unterliegen, spätestens alle fünf Jahre wiederholt werden. In Form einer Ausführungsbestimmung sollte festgelegt werden, woher der Prüfer die notwendigen Daten erhält, die für die Prüfung der Regelparameter notwendig sind. U.a. muss sichergestellt werden, dass der Prüfer Einsicht in das Inbetriebnahmeprotokoll erhält. Ferner wäre zu regeln, wie sich überhaupt prüfen lässt, ob die zu prüfenden Parameter (z.B. Heizkurve, Vor- und Rücklauftemperatur) richtig eingestellt sind. Sollten der Prüfer Optimierungsbedarf identifizieren, sollte im Zuge einer Nachprüfung

¹⁰⁰ S. hierzu auch den aktuellen Vorschlag der Europäischen Kommission für die Novelle der Ökodesign-VO 813/2013 für Raumheiz- und Kombiheizgeräte (<https://circabc.europa.eu/ui/group/418195ae-4919-45fa-a959-3b695c9aab28/library/afcc9b1a-8dea-4e36-b0b4-fd540cb75832/details>)

¹⁰¹ <https://dserver.bundestag.de/brd/2023/0415-23.pdf>

Ziele:

Sicherstellung kontinuierlicher Betriebskontrolle, verlässliche Effizienzüberwachung, Maximierung der Entdeckungswahrscheinlichkeit von Ineffizienzen

	sichergestellt werden, dass die entsprechenden Optimierungsmaßnahmen auch durchgeführt wurden.
Verpflichtenden Fernüberwachung	Die Einführung einer verpflichtenden Fernüberwachung hätte den Vorteil, dass Ineffizienzen i.d.R. schneller entdeckt werden als durch die (un)regelmäßigen Eigeninspektionen durch die HauseigentümerInnen oder im Rahmen der jährlichen Wartung. Mit Einführung einer verpflichtenden Fernüberwachung würde auch automatisch die Anforderung an eine regelmäßige Betriebsprüfung (s.o.) erfüllt. Ferner entlastet die Fernüberwachung seitens der Hersteller oder herstellerunabhängiger Dienstleister das SHK-Handwerk. Um die Fernüberwachung auch herstellerunabhängigen Dienstleistern zu ermöglichen, sollten die relevanten Schnittstellen vereinheitlicht werden.
Nachweis eines effizienten Betriebs	Um den Anreiz zu erhöhen, sowohl einen effizienten Wärmepumpenbetrieb zu gewährleisten als auch regelmäßig die Anlagenperformance zu prüfen, könnte ein Förderbonus eingeführt werden (für den Anlagenbetreiber oder den Installateur), der ausbezahlt wird, wenn nach der Installation nach einer festgelegten Zeitspanne (z.B. der ersten oder der ersten beiden Heizperioden) der effiziente Betrieb nachgewiesen wird. In Ein- und Zweifamilienhäusern erweisen sich die Kosten für die Implementierung eines Monitoringsystems allerdings oft als prohibitiv. Hier wäre das oben beschriebene Konzept einer integrierten Effizienzanzeige hilfreich.
EDL/Contracting	Energiedienstleister und/oder Contractingunternehmen, die Wärmepumpen betreiben, haben ein intrinsisches Interesse an deren effizienten Betrieb. Somit dienen alle politischen Maßnahmen, die auf eine Stärkung des EDL/Contracting-Marktes abzielen, indirekt auch der Effizienz von Wärmepumpen.

3.7 Flexibilitäten

Die Schlussfolgerungen in Bezug auf künftige Energie-Systemmodellierungen sind in Kapitel 2.4.5 hinreichend beschrieben. Dies beinhaltet auch die Überprüfung bislang verwendeter Annahmen zu thermischen Speichern in Kombination mit Wärmepumpen. In Kapitel 2.4 wird darüber hinaus thematisiert, welche Relevanz die Effizienz der eingebauten Wärmepumpen für die Höhe des Residualstrombedarfs hat. Effizienzaspekte sind in den vorangegangenen Kapiteln adressiert und werden dementsprechend im Kontext der Flexibilitäten nicht erneut aufgegriffen. Folgende Ausführungen fokussieren sich auf den Themenbereich Hybrid-Wärmepumpen. Deren Einsatz und Rolle ist in den Ausführungen in Kapitel 2.4 klar umrissen und eingeschränkt

- ▶ als Brückentechnik für kritische Gebäude mit hohen Systemtemperaturen, für die keine andere erneuerbare Wärmeversorgungsoption verfügbar ist und monoenergetische Wärmepumpe zu höheren kumulierten CO₂-Emissionen führen würden;
- ▶ auf Gebäude, die mittelfristig auf ein Niveau saniert werden, welches es zulässt, nach der Sanierung den zusätzlichen Heizkessel außer Betrieb zu nehmen.

Entsprechende Einschränkungen der Einsatzmöglichkeiten müssten im GEG verankert werden. Allerdings wurden im Rahmen der GEG-Novelle im September 2023 ganz bewusst keine Einschränkungen für einzelne Techniken verankert.

In der folgenden Tabelle sind Empfehlungen/ Anpassungen aufgeführt, die darauf abzielen, dass Hybrid-Wärmepumpen vorzugsweise nur in den oben aufgeführten Fallkonstellationen zum Einsatz kommen sowie bei ihrem Betrieb eine CO₂-optimierte Fahrweise gewährleistet wird.

Tabelle 5: Empfehlungen für den THG-Emissionsmindernden Einsatz von Hybrid-Wärmepumpen

Ziele: THG-Emissionsmindernde Steuerung Hybrid-Wärmepumpen	
Steuerungssignale	Um eine CO ₂ -optimierte Steuerung zu ermöglichen, müssen entsprechende Steuerungssignale verfügbar sein. Dabei sollte zumindest in die nahe Zukunft geschaut werden (wenige Stunden, um die erwartete Residuallast auch in einigen Stunden mit zu berücksichtigen). Um tatsächlich die CO ₂ -Emissionen der Stromerzeugung zu minimieren, muss der Begriff „Netzdienlichkeit“ genauer definiert werden. Im Endeffekt muss die Regelung der Wärmepumpen-Hybridheizung Informationen zu den spezifischen Emissionen des Spitzenlastkessels und des aktuellen Strommixes sowie die aktuelle Effizienz der Wärmepumpe miteinander verarbeiten und auf dieser Basis autark entscheiden, ab wann ein Umschalten auf den Spitzenlastkessel sinnvoll ist. Dies wiederum reduziert die Planbarkeit für die Netzbetreiber ¹⁰² .
Gebäudeeinsatz	Damit Hybrid-Wärmepumpen nur in Gebäuden eingebaut werden, in denen ihr Einsatz zumindest in den nächsten 10 bis 15 Jahren aus Gesamtenergiesystemensicht einen ökologischen Vorteil bietet, müssten die Anforderungen an Wärmepumpen-Hybridheizungen im GEG streng formuliert werden (s. Einschränkungen oben). Bei der Überprüfung, ob alternative Wärmeversorgungsoptionen vor Ort möglich sind, kann auf die Ergebnisse der Wärmeplanung zurückgegriffen werden, die spätestens Mitte 2028 flächendeckend in Deutschland verfügbar sein soll.
Übergangszeit	Die Berechnungen in Kapitel 2.4.4 zeigen, dass Emissionsminderungen nur bis 2030/35 zu erwarten sind. Danach sind die durch eine Wärmepumpe verursachten THG-Emissionen deutlich niedriger als die Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas (Gründe: hoher EE-Anteil an der Stromerzeugung, Effizienz der Wärmepumpe). Dementsprechend sollte beim Einbau einer Hybrid-Wärmepumpe die Betriebszeit des Kessels auf maximal 2035 begrenzt werden.
Regelung/ Steuerung	Anpassung SG-Ready-Label: Schnittstellen für externe Steuerungssignale orientieren sich in Deutschland aktuell an den Anforderungen des SG Ready Labels. Das Label adressiert zwei Bereiche: Ansteuerung der Wärmepumpe durch Netzbetreiber für einen netzdienlichen Betrieb und Ansteuerung für einen hohen Eigenverbrauch einer PV-Anlage. Das Regularium für das Label geht bislang auf die Emissionsminderung und Hybrid-Wärmepumpen nicht ein. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die netzdienliche Steuerung (zeitweises Abschalten der Wärmepumpe) insbesondere in Zeiten zum Tragen kommt, in denen das erneuerbare Stromangebot niedrig ist und sie dementsprechend dazu beiträgt, Emissionen in der Stromerzeugung zu minimieren. Eine Klarstellung in Form

¹⁰² In einzelnen Fällen kann es Zielkonflikte zwischen den beiden Zielen „THG-Emissionsminderung“ und „Netzdienlichkeit“ geben, insbesondere so lange als Regelgröße der EE-Stromanteil in ganz Deutschland herangezogen wird. Eine solche Konstellation ist z.B. dann gegeben, wenn im Norden viel Strom aus Windkraft erzeugt wird, dieser aber mangels Übertragungskapazitäten nicht in den Süden transportiert werden kann. Aus Netzdienlichkeitssicht kann es in dem Fall sinnvoll sein, Wärmepumpen im Süden nicht zu nutzen, um fossile Stromerzeugung zu minimieren. Wird der EE-Anteil in Gesamtdeutschland als Regelgröße herangezogen, kann wiederum das Signal sein „Wärmepumpen nutzen“. Regelgrößen müssen dementsprechend auch regionale Unterschiede im Erzeugungsmix berücksichtigen, um diesen Zielkonflikt zu vermeiden.

Ziele:

THG-Emissionsmindernde Steuerung Hybrid-Wärmepumpen

einer expliziten Aufnahme des Kriteriums „CO₂-optimierten Steuerung“ wäre allerdings wünschenswert.

Anpassung GEG: Das novellierte GEG sieht für Wärmepumpen-Hybridheizungen mit bivalent-alternativem Betrieb vor, dass die Wärmepumpe immer Vorrang im Betrieb hat und der Spitzenlastkessel nur zum Einsatz kommt, wenn der Wärmebedarf nicht mehr durch die Wärmepumpe gedeckt werden kann.

Angesichts der in Kapitel 2.4.4 abgeleiteten Modellierungsergebnisse sollte erwogen werden, im GEG alternativ die Zielgröße der CO₂-Optimierung einzuführen. Grundvoraussetzung dafür ist das Vorhandensein der notwendigen Steuerungssignale (s.o.).

4 Ergebnisse der Umfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Zwischen dem 19.07.2023 und 20.08.2023 erfolgte im Rahmen des Projektes eine Umfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Der Fragebogen ist dem Bericht angehängt (s. Anhang B).

Mit der Umfrage sollten Unterstützungsbedarfe hinsichtlich Information und Finanzierung von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden ermittelt werden. Sie zielte darauf ab den Stand des Wissens und bestehende Hemmnisse zu ermitteln, um daraus abzuleiten an welchen Stellen (zusätzliche) Informationen und Unterstützungen benötigt werden. Darüber hinaus sollte ermittelt werden, auf welche Informationsquellen die Verbraucher*innen in der Regel zurückgreifen, welche dieser Quellen ein besonders hohes Vertrauen genießen und eine hohe Bekanntheit aufweisen. Hieraus können Rückschlüsse gezogen werden, über welche Kanäle und mit welchen Formaten Verbraucher*innen erreicht werden können.

Die Beantwortung der Fragen war anonym und die Teilnehmenden benötigten ca. 10 Minuten um den Fragebogen auszufüllen. Die Umfrage bestand hauptsächlich aus Multiple-Choice-Fragen (s. Anhang). Die Teilnahme an der Umfrage war freiwillig.

4.1 Ergebnisse der Umfrage

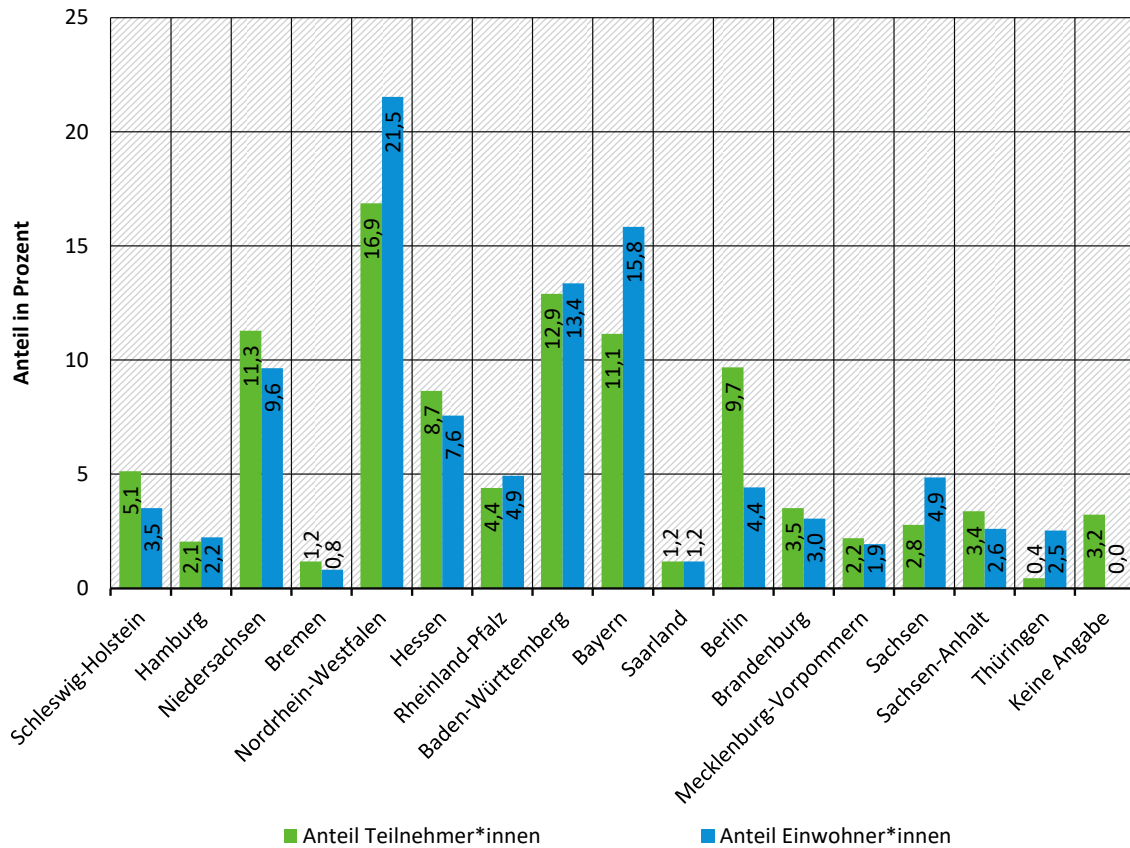
Im Folgenden sind die Ergebnisse der Umfrage dargestellt.

4.1.1 Gesamtüberblick Teilnehmende

Insgesamt enthielt der Datensatz mit den Umfrageergebnissen 755 Einträge, wovon 682 als eigenständige und auswertbare Einträge identifiziert wurden¹⁰³. Für die folgende Auswertung wurden jeweils die Anteile der Antworten an der Gesamtzahl auswertbarer Antworten berechnet (n = 682).

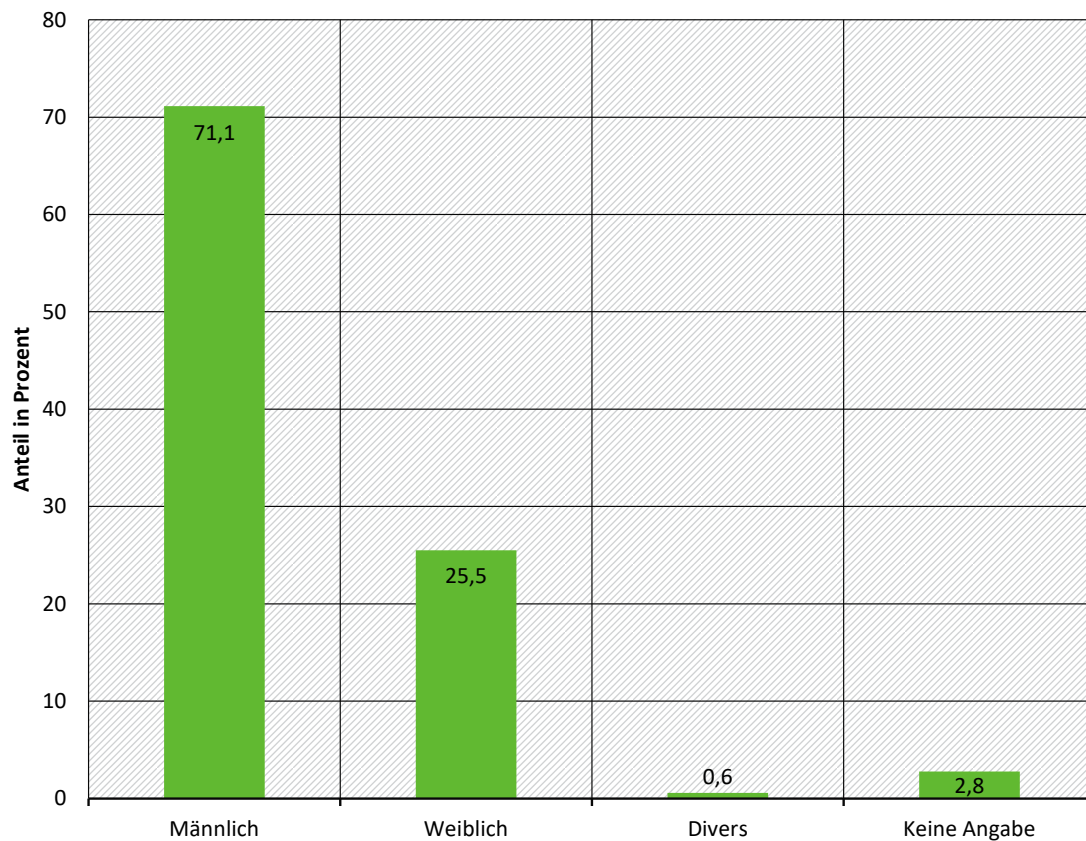
¹⁰³ In dem Ergebnisdatensatz gab es einige identische Eintragungen, die nur einfach in die Auswertung eingegangen sind.

Abbildung 15: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Aktueller Wohnort (Bundesland) der Teilnehmer*innen.



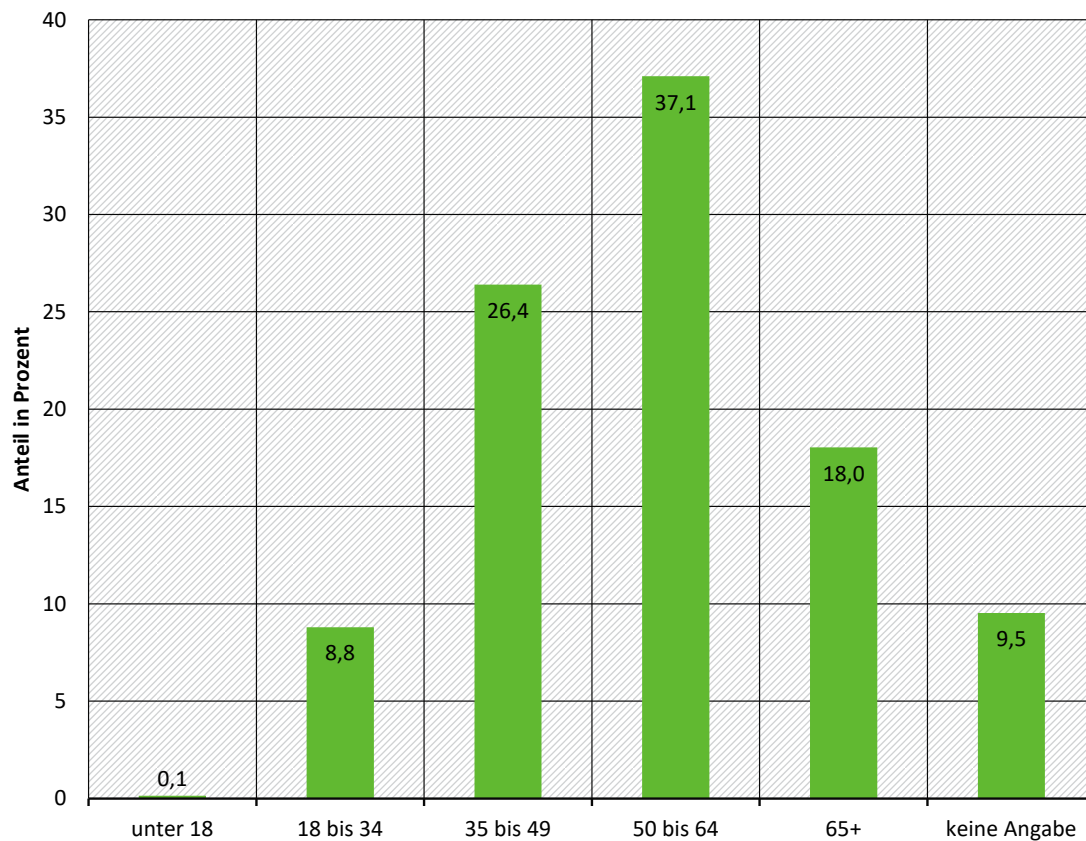
Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023; Destatis Gebietsstand 31.12.2021

Der Anteil der Teilnehmer*innen je Bundesland entspricht überwiegend den entsprechenden Einwohnerzahlen (Abbildung 15). Unterrepräsentiert sind mit ca. 17 bzw. 11 Prozent jedoch Teilnehmende aus Nordrhein-Westfalen und Bayern, sowie aus den neuen Bundesländern Sachsen (ca. 3 Prozent) und Thüringen (0,4 Prozent). Überrepräsentiert wird dagegen das Bundesland Berlin durch ca. 10 Prozent der Befragten. 3,2 Prozent der Befragten machten keine Angabe zum Wohnort.

Abbildung 16: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Geschlecht der Teilnehmer*innen.

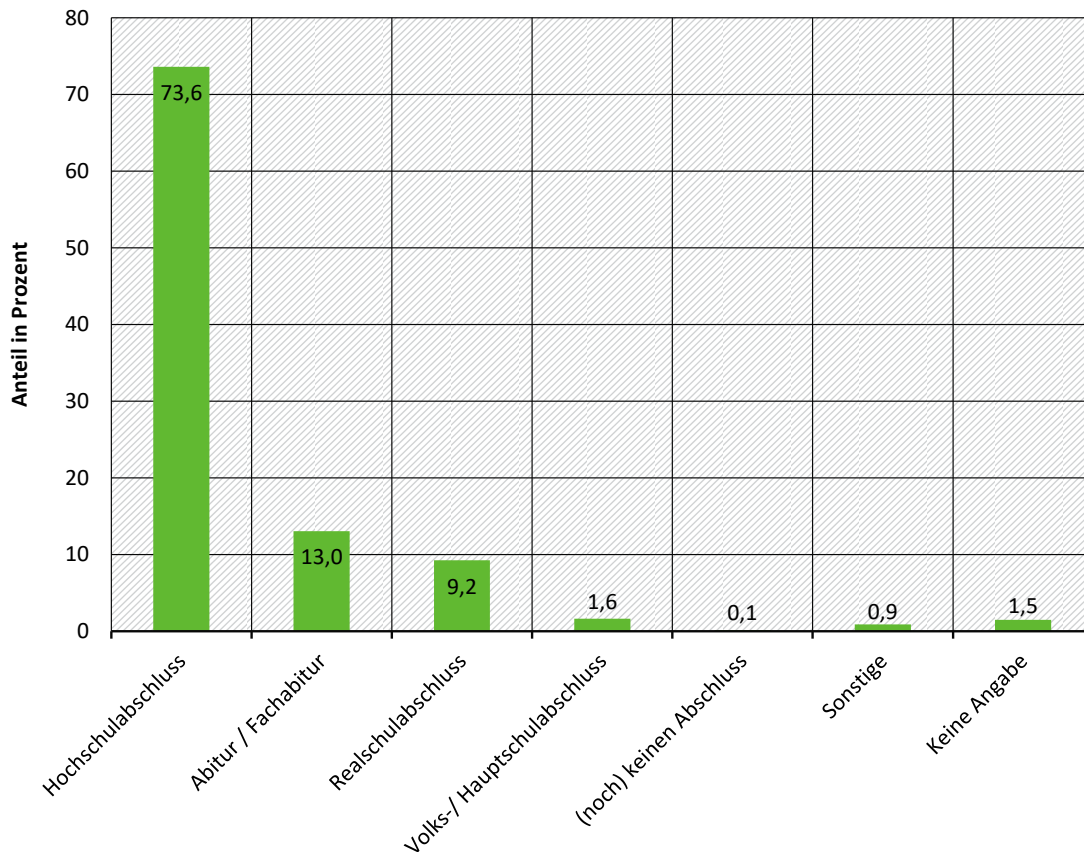
Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 16 zeigt die Verteilung der Teilnehmenden nach Geschlecht. Mit ca. 71 Prozent sind die männlichen Teilnehmer stark überrepräsentiert. Rund 26 Prozent der Befragten identifizieren sich mit dem weiblichen Geschlecht und 0,6 Prozent wählten die Antwort Divers. Ca. 3 Prozent der Teilnehmenden machten keine Angabe.

Abbildung 17: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Alter der Teilnehmer*innen unterteilt in 5 Altersgruppen.

Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Die in Abbildung 17 dargestellten Altersgruppen entsprechen der Einteilung in Jugendliche, junge Erwachsene, Erwachsene, Menschen mittleren Alters und Senioren*Seniorinnen. Mit ca. 37 Prozent aller Befragten ist die Altersgruppe 50 bis 64 Jahre am stärksten vertreten. Darauf folgen mit ca. 26 Prozent die 35- bis 49-Jährigen und mit 18 Prozent die Senioren*Seniorinnen (65+). Rund 10 Prozent der Teilnehmer*innen machten keine Angabe zum Alter.

Abbildung 18: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Höchster Bildungsabschluss der Teilnehmer*innen.

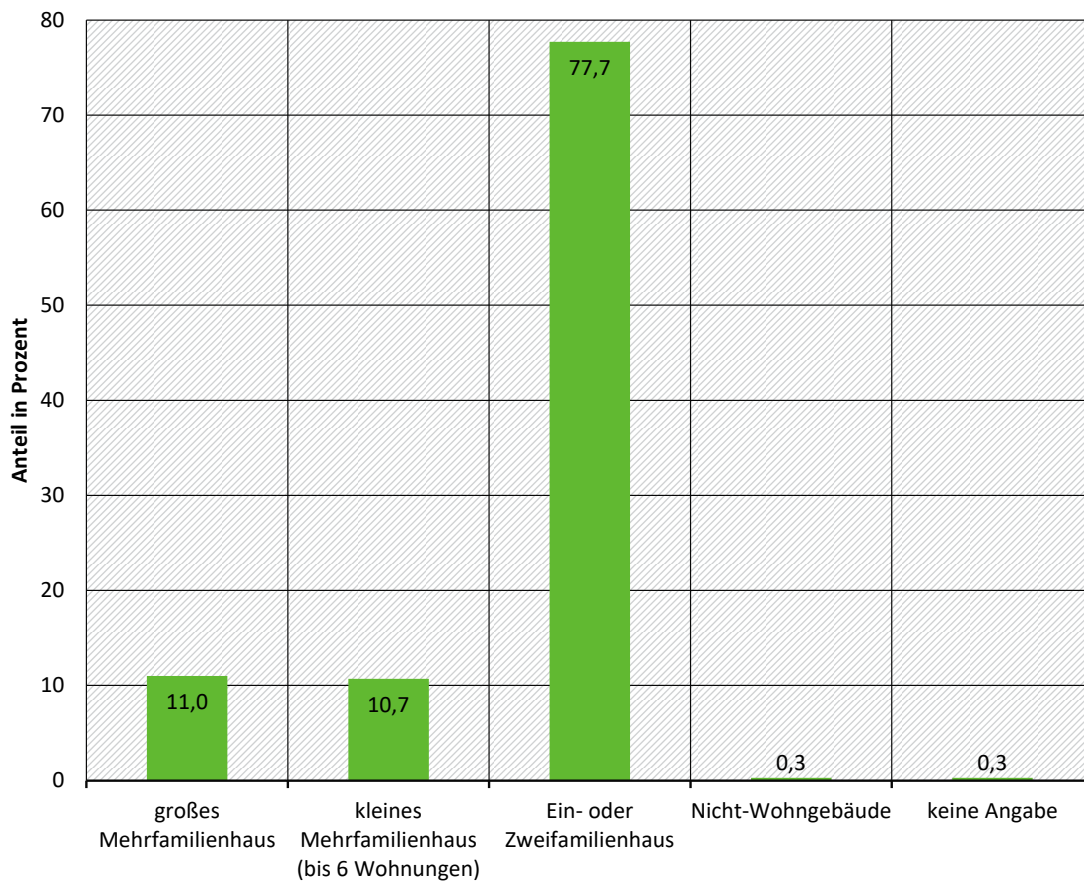
Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 18 zeigt, dass die Befragten überwiegend über ein hohes Bildungsniveau verfügen. Fast drei Viertel gaben „Hochschulabschluss“ als ihren höchsten Bildungsabschluss an. Weitere 13 bzw. 9 Prozent haben das (Fach-)Abitur bzw. einen Realschulabschluss. Weniger als 2 Prozent der Teilnehmenden machten keine Angabe.

Durch die vergleichsweise kleine Größe des Samples, sowie die starke Gewichtung bezüglich Geschlecht und Bildungsstand der Teilnehmenden können die Umfrage-Ergebnisse nicht als repräsentativ angesehen werden. Die folgenden Auswertungen spiegeln daher nicht notwendigerweise die allgemeine Meinung der Bevölkerung wider.

4.1.2 Gebäude und installierte Heizungen

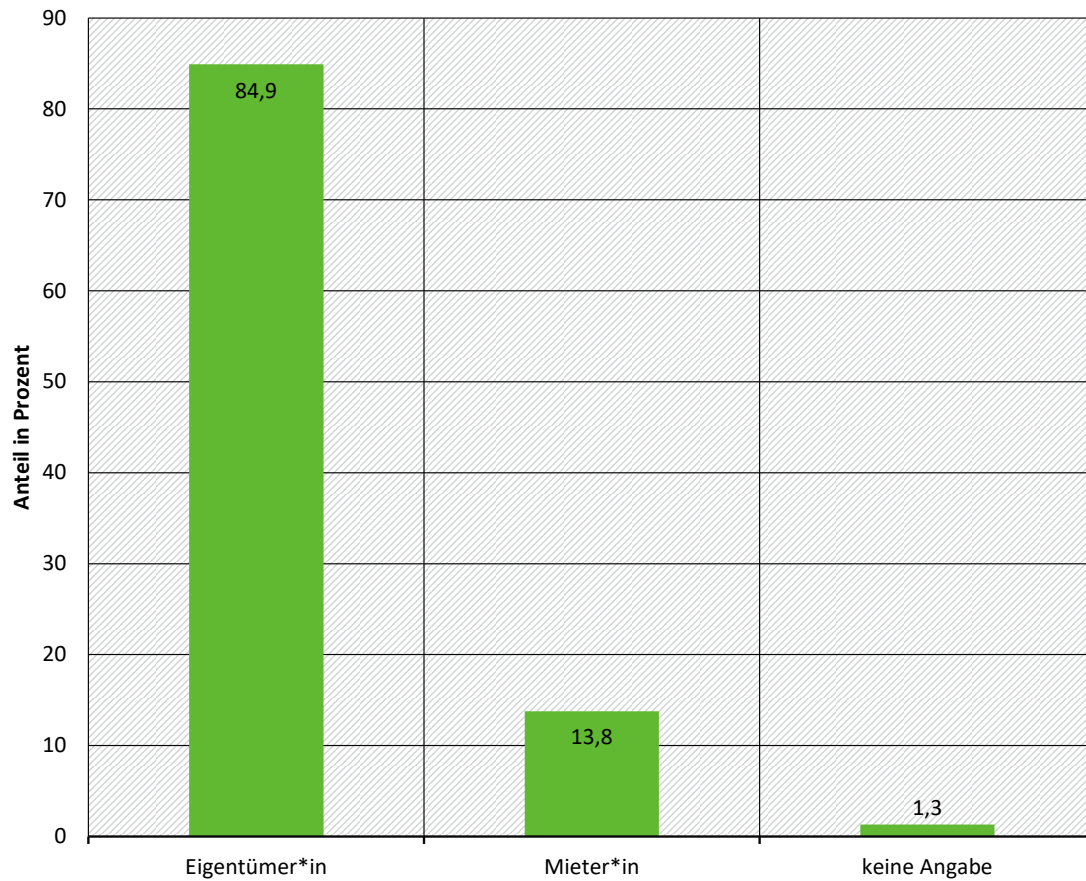
Abbildung 19: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 1: Um was für ein Gebäude handelt es sich?



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

In Abbildung 19 ist zu sehen, dass überwiegend Bewohnende von Ein- und Zweifamilienhäusern an der Umfrage teilgenommen haben. Knapp 78 Prozent der Befragten wählten diese Option. Große und kleine Mehrfamilienhäuser wurden zu jeweils etwa 11 Prozent genannt. Nicht-Wohngebäude gaben nur 0,3 Prozent der Befragten an, ebenso viele machten keine Angabe.

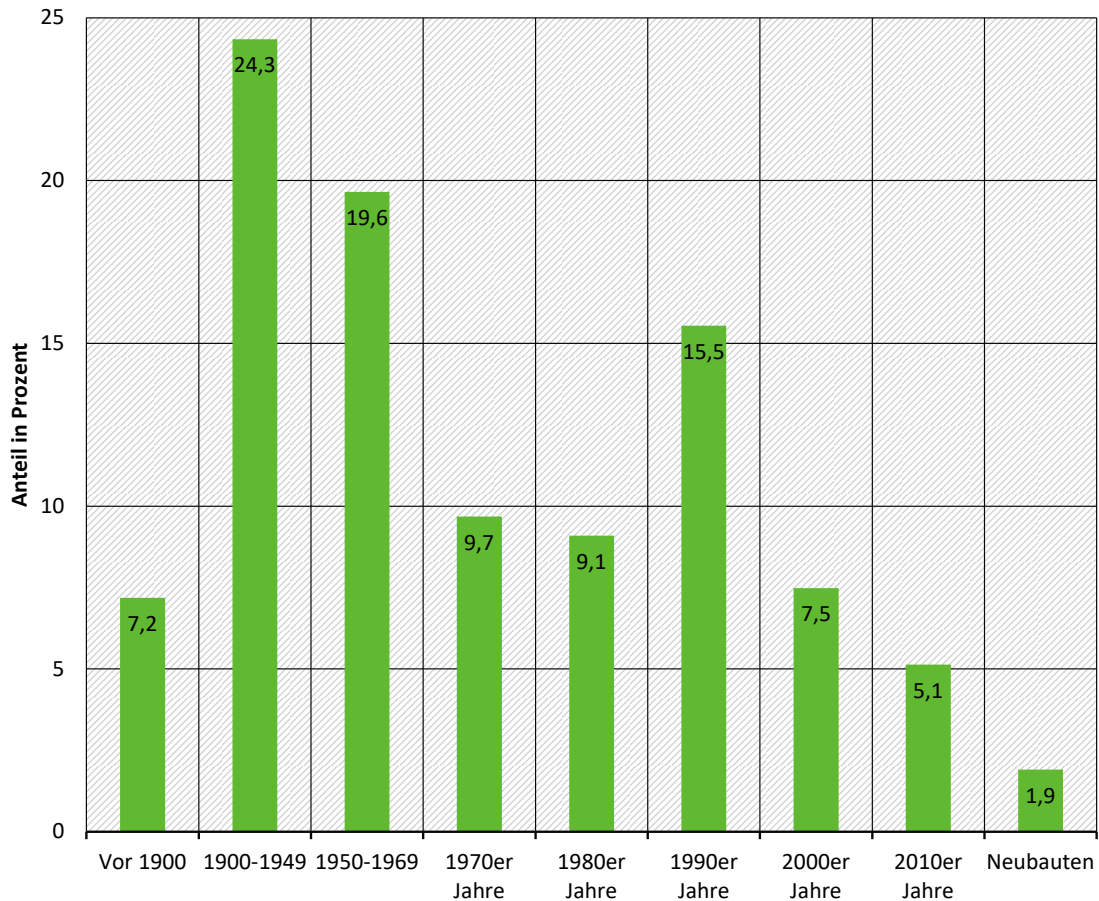
Abbildung 20: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 2: Nutzen Sie das Gebäude zur Miete oder sind Sie Eigentümer*in?



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Bei ca. 85 Prozent der Befragten handelte es sich um die Eigentümer*innen des genannten Gebäudes. Ca. 14 Prozent wohnen zur Miete und 1,3 Prozent machten keine Angabe (Abbildung 20).

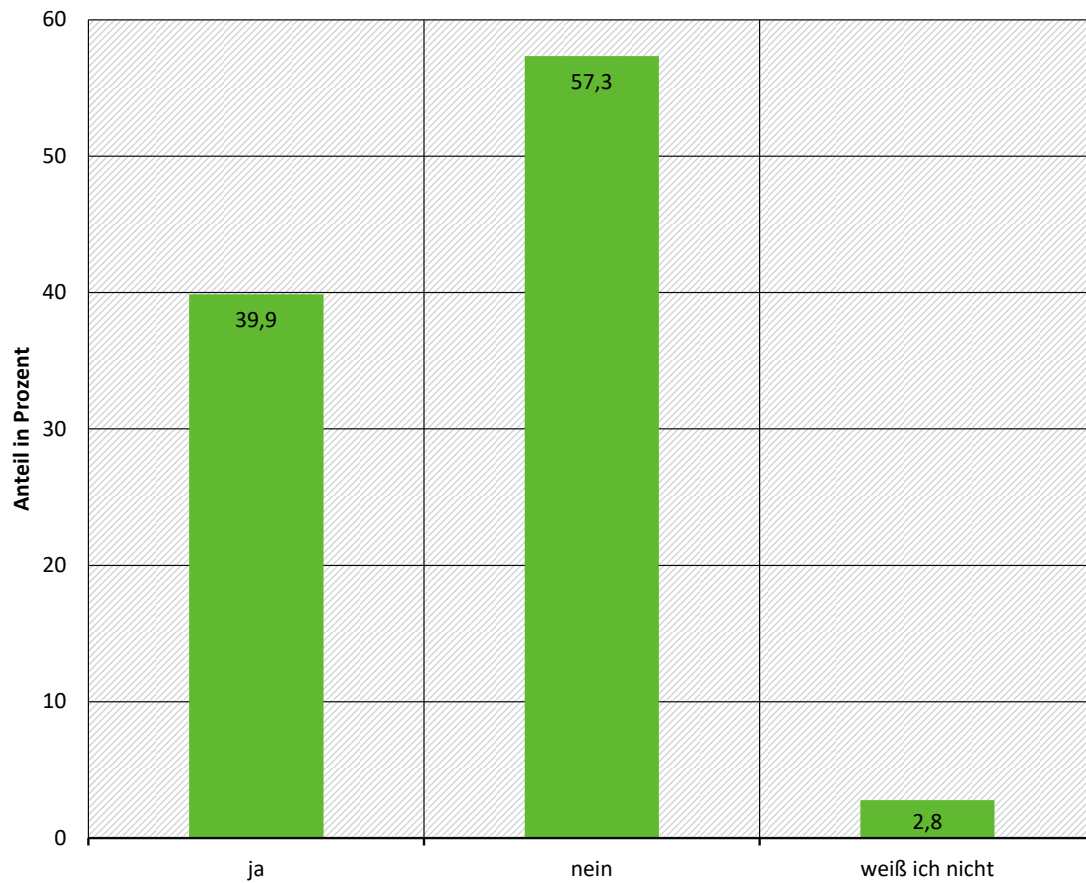
Abbildung 21: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 3: Wann wurde ihr Gebäude errichtet? Wenn das Baujahr nicht genau bekannt ist, schätzen Sie bitte. Einteilung in Baualtersklassen.



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

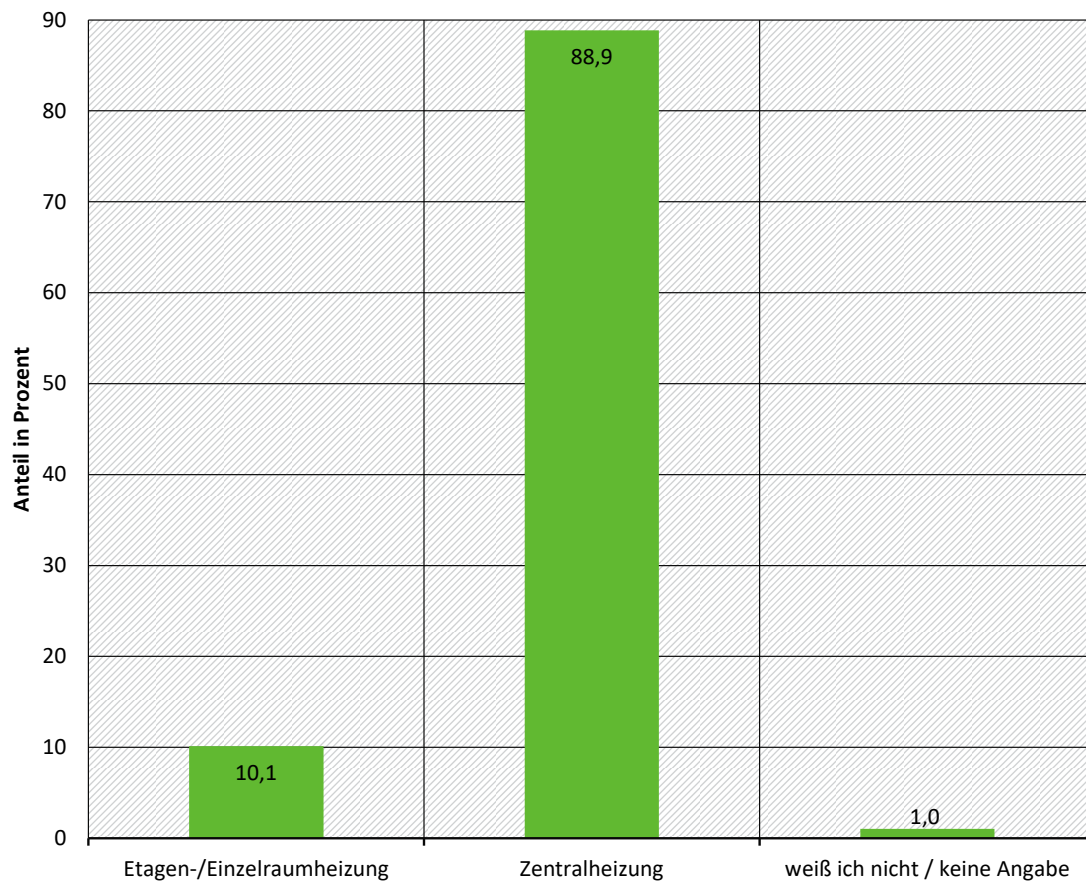
Abbildung 21 zeigt, dass es sich bei knapp 7 Prozent der Gebäude um historische Gebäude handelt, die vor 1900 erbaut wurden. Ca. 24 Prozent sind alte Gebäude aus den Jahren 1900 bis 1949. Knapp 20 Prozent der Gebäude stammen aus der Nachkriegszeit zwischen 1950 und 1969. 10 bzw. 9 Prozent stammen aus den 1970er bzw. 1980er Jahren. Weitere rund 16 Prozent der Gebäude wurden in den 1990er Jahren erbaut. Auf die 2000er Jahre entfallen noch ca. 8 Prozent und auf die 2010er Jahre knapp 5 Prozent. 2 Prozent der Befragten gaben an, dass es sich um einen Neubau handelt.

Abbildung 22: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 4: Wurde ihr Gebäude in den letzten 10 Jahren vollständig oder teilweise energetisch modernisiert?



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

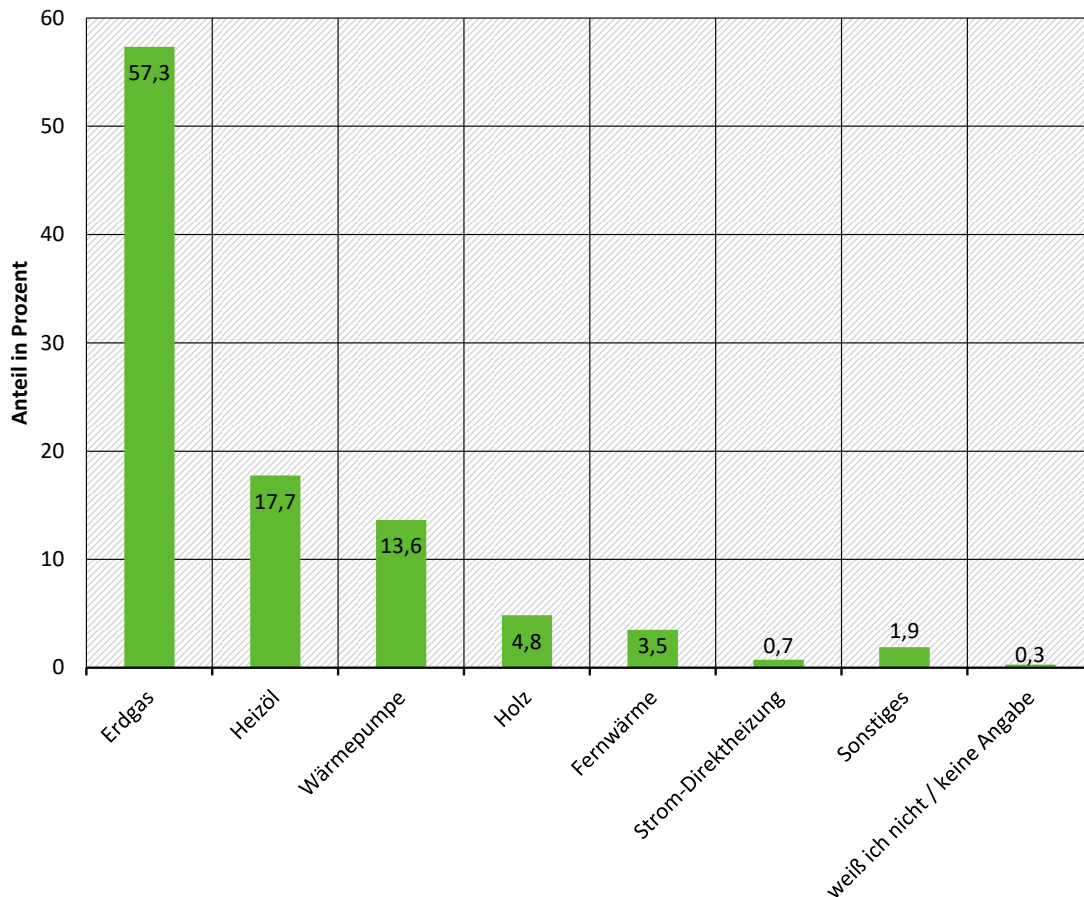
Über die Hälfte (ca. 57 Prozent) der Gebäude wurden nicht innerhalb der letzten 10 Jahre energetisch modernisiert. Bei ca. 40 Prozent war dies dagegen der Fall, rund 3 Prozent der Teilnehmenden konnten hierzu keine Angabe machen (Abbildung 22).

Abbildung 23: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 5: Was für eine Heizung ist derzeit in ihrem Gebäude installiert?

Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

In Abbildung 23 ist zu sehen, dass in fast 90 Prozent der Gebäude eine Zentralheizung installiert ist. Nur ca. 10 Prozent der Befragten gaben an, dass eine Etagen- bzw. Einzelraumheizung installiert sei.

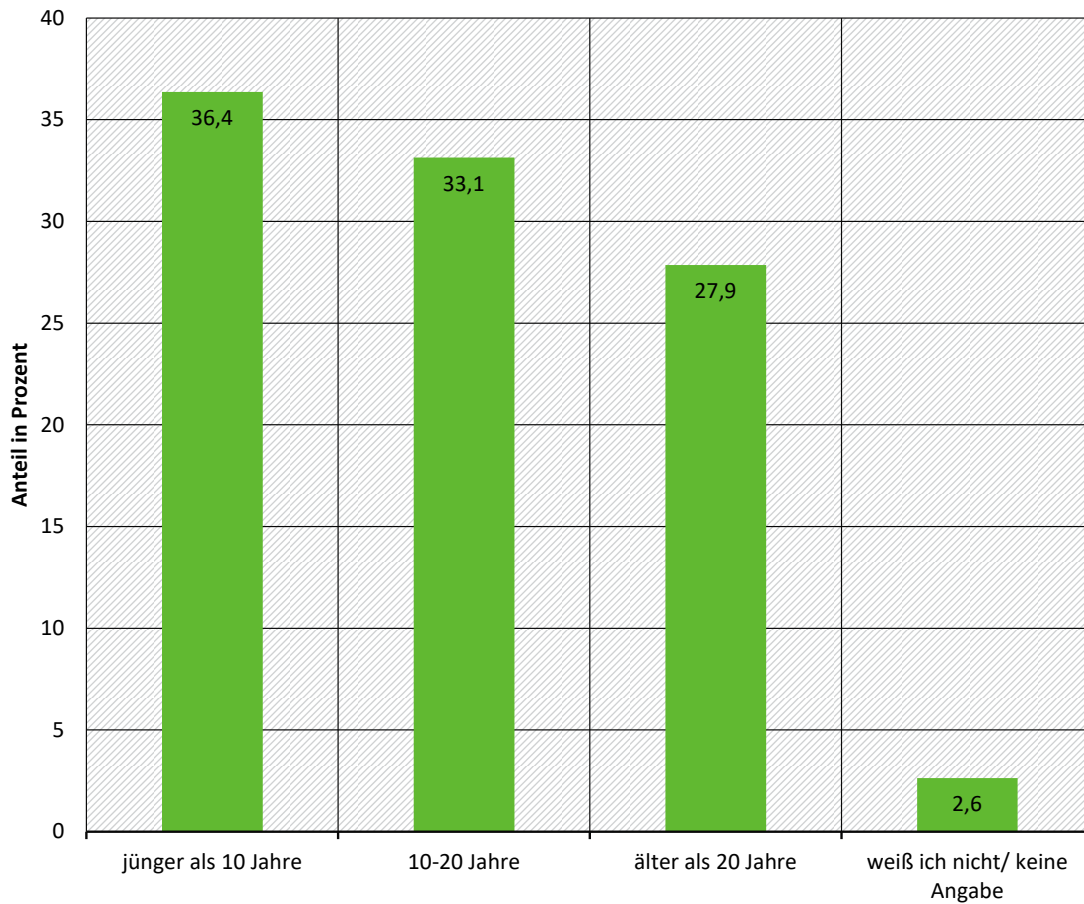
Abbildung 24: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 6: Womit heizen Sie derzeit primär?



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

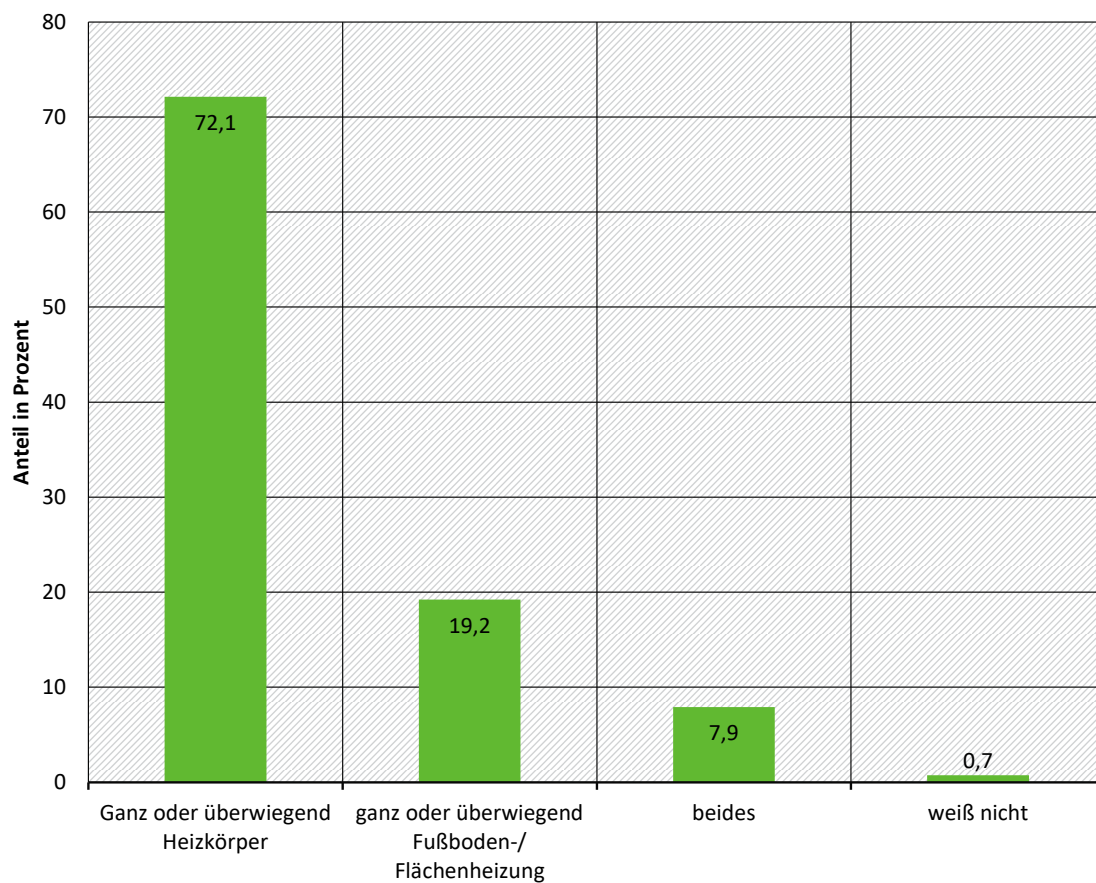
Mehr als die Hälfte (ca. 57 Prozent) der betreffenden Gebäude werden mit Erdgas beheizt. Heizöl nutzen ca. 18 Prozent der Befragten und 14 Prozent eine Wärmepumpe. Der Anteil der Gebäude mit einer Wärmepumpe ist in der Umfrage damit deutlich höher als ihr Anteil am gesamten Gebäudebestand (rund 5 Prozent aller Wärmeerzeuger in Deutschland sind derzeit Wärmepumpen¹⁰⁴). Mit Holz und Fernwärme heizen jeweils ca. 4 Prozent (Abbildung 24). In knapp 2 Prozent der Fälle gaben die Befragten „Sonstiges“ an.

¹⁰⁴ S. Dena, 2022, S. 35

Abbildung 25: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 7: Wie alt ist die Heizung ungefähr?

Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 25 zeigt, dass die eingebauten Heizungen der Befragten tendenziell eher jünger als 20 Jahre sind. In ca. 36 Prozent der Fälle ist die Heizung jünger als 10 Jahre, in ca. 33 Prozent der Fälle ist sie 10-20 Jahre alt. Knapp 28 Prozent der Heizungen sind älter als 20 Jahre und werden in naher Zukunft ausgetauscht. Rund 3 Prozent der Befragten machten keine Angabe.

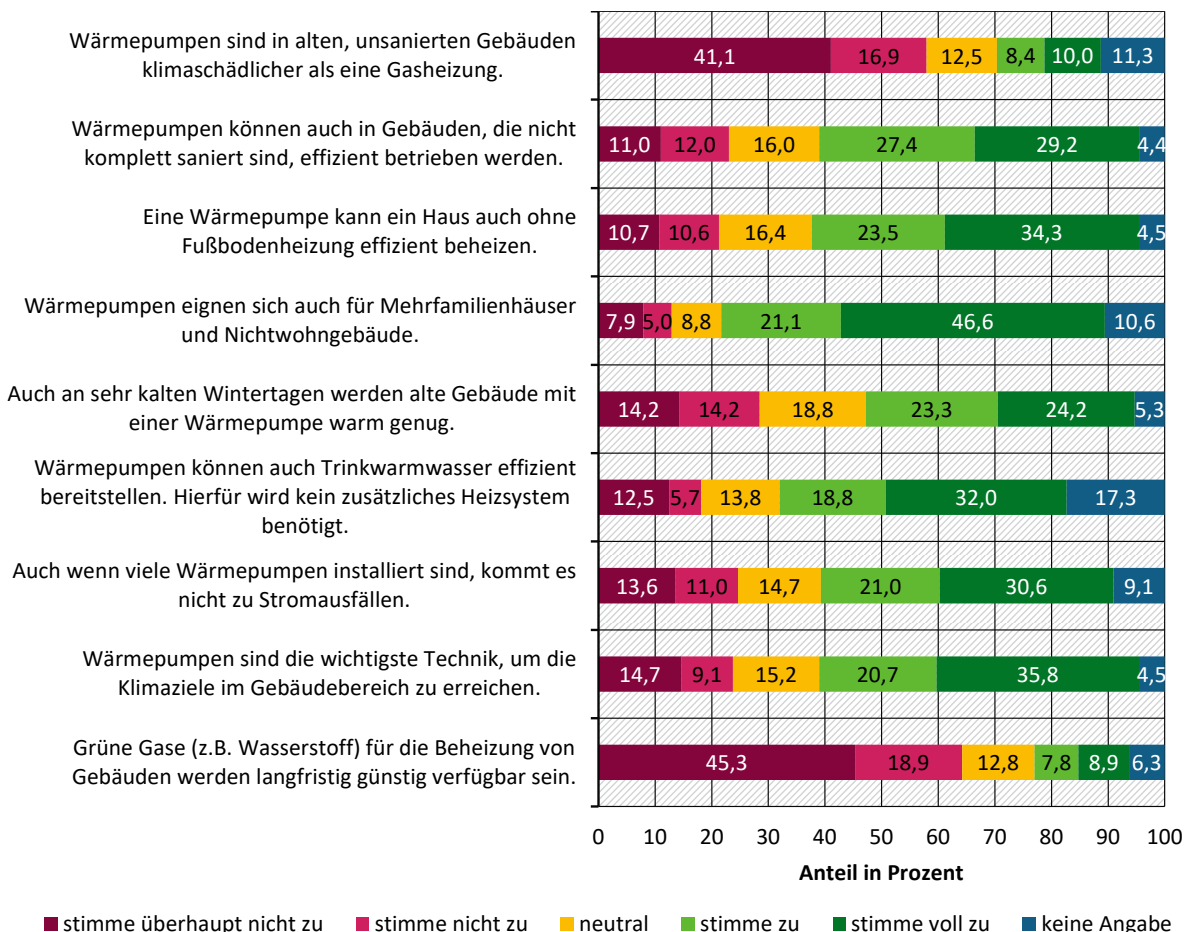
Abbildung 26: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 8: Wie kommt die Wärme in die Räume?

Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Bei ca. 72 Prozent der Befragten kommt die Wärme ganz oder überwiegend über Heizkörper in die Räume, bei ca. 29 Prozent über Fußboden- oder Flächenheizungen. Ca. 8 Prozent der Teilnehmer*innen wählten die Option „beides“, d. h. einige Räume verfügen über eine Fußboden- oder andere Flächenheizung, andere werden über Heizkörper beheizt (Abbildung 26).

4.1.3 Bewertung der Chancen und Risiken von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

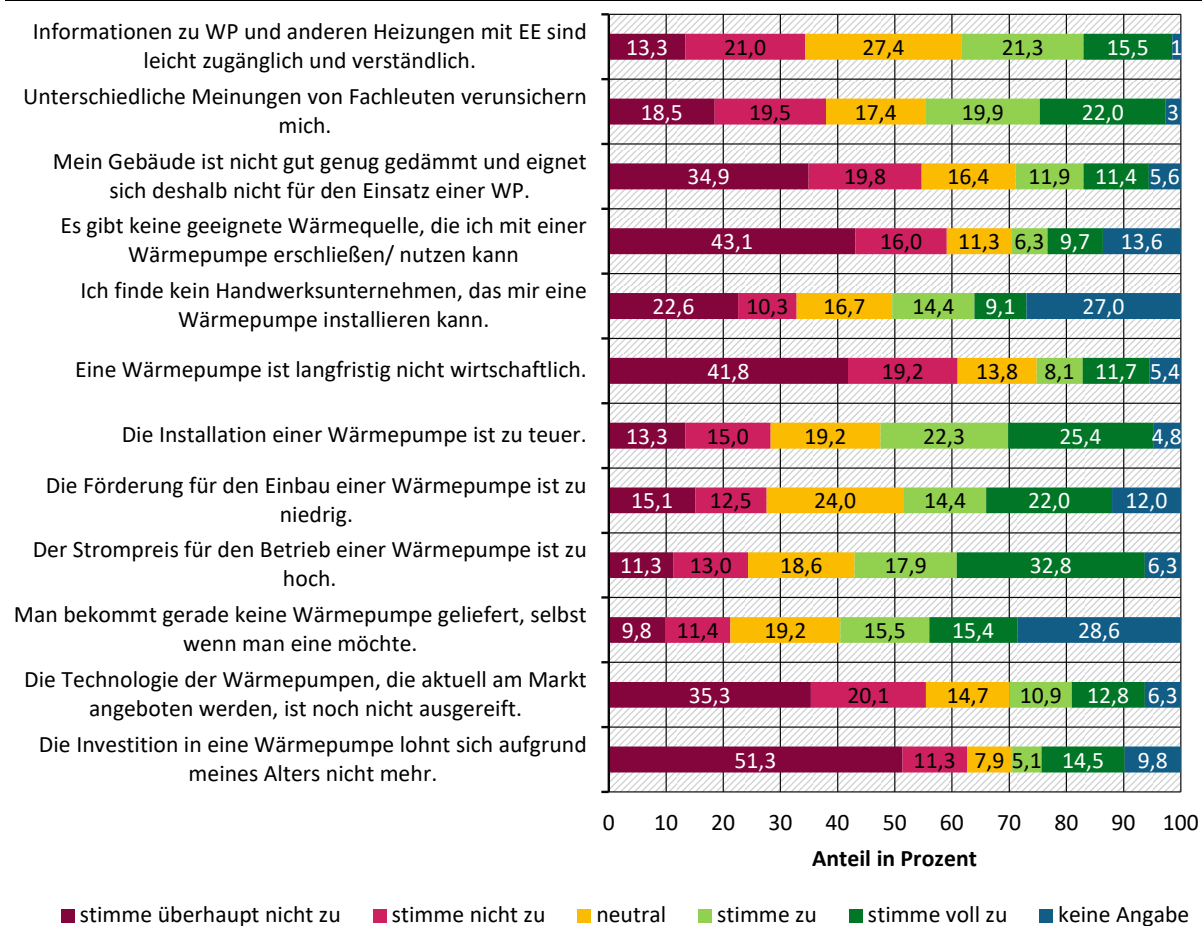
Abbildung 27: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 9: Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Die Befragten, häufig über 50 Prozent befürworteten die Technik und Installation von Wärmepumpen (Abbildung 27). Sie stimmten dabei insbesondere den Aussagen „Wärmepumpen sind die wichtigste Technik, um die Klimaziele im Gebäudebereich zu erreichen.“ (ca. 56 Prozent Zustimmung) und „Wärmepumpen eignen sich auch für Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude“ zu (ca. 68 Prozent Zustimmung). Außerdem wurde der Aussage „Wärmepumpen sind in alten, unsanierten Gebäuden klimaschädlicher als eine Gasheizung“ zu mehr als 50 Prozent nicht zugestimmt. Skepsis wurde insbesondere gegenüber der Beheizung mittels Grüner Gase geäußert (ca. 64 Prozent glauben nicht, dass grüne Gase langfristig günstig für die Beheizung von Gebäuden verfügbar sind). Keine Angabe wurde mit knapp 17 Prozent am häufigsten bei der Aussage „Wärmepumpen können auch Trinkwarmwasser effizient bereitstellen. Hierfür wird kein zusätzliches Heizsystem benötigt.“ gemacht. Dies deutet darauf hin, dass viele Teilnehmenden es (technisch) nicht einschätzen können, ob dies mit Wärmepumpen effizient möglich ist. Die negativste Bewertung erhielt die Aussage, dass alte Gebäude auch an kalten Wintertagen mit einer Wärmepumpe warm genug werden. Ca. 28 Prozent stimmen dieser Aussage nicht zu. Dies zeigt, dass die Eignung von Wärmepumpen für alte, nicht bzw. schlecht gedämmte Gebäude kritisch gesehen wird.

Abbildung 28: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 10: Welche Chancen, Risiken und Hemmnisse sehen Sie in Bezug auf den Einsatz von Wärmepumpen in Ihrem Gebäude?

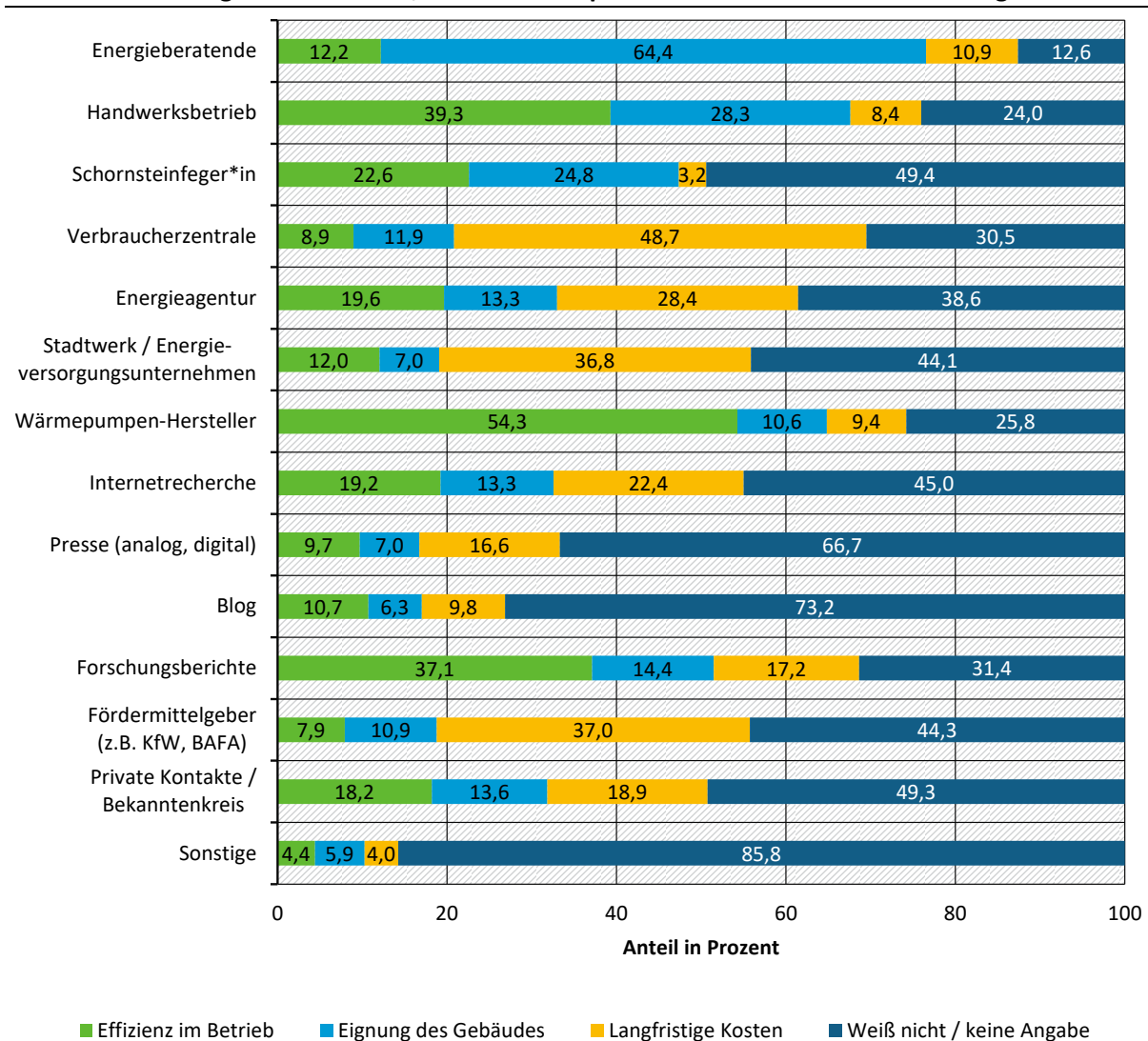


Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 28 zeigt welche Chancen, Risiken und Hemmnisse von den Befragten in Bezug auf das eigene Gebäude gesehen werden. Dabei wird eine eher positive Haltung gegenüber Wärmepumpen deutlich. So stimmen 61 Prozent der Teilnehmer*innen der Aussage „Eine Wärmepumpe ist langfristig nicht wirtschaftlich“ nicht zu. Auch die Aussage „Die Investition in eine Wärmepumpe lohnt sich aufgrund meines Alters nicht mehr.“ wird mit insgesamt 63 Prozent stark abgelehnt. Eine eher negative Einstellung zeichnet sich dagegen bzgl. der Installationskosten (ca. 48 Prozent), der Förderung (ca. 36 Prozent halten sie für zu niedrig) und der Strompreise (ca. 51 Prozent halten sie für zu hoch) ab.

4.1.4 Informationsquellen

Abbildung 29: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 11: Informationen zu Wärmepumpen werden von vielen verschiedenen Akteuren zur Verfügung gestellt. Bitte beurteilen Sie, für welchen Aspekt sich die folgenden Akteure / Informationsquellen aus Ihrer Sicht am besten eignen.

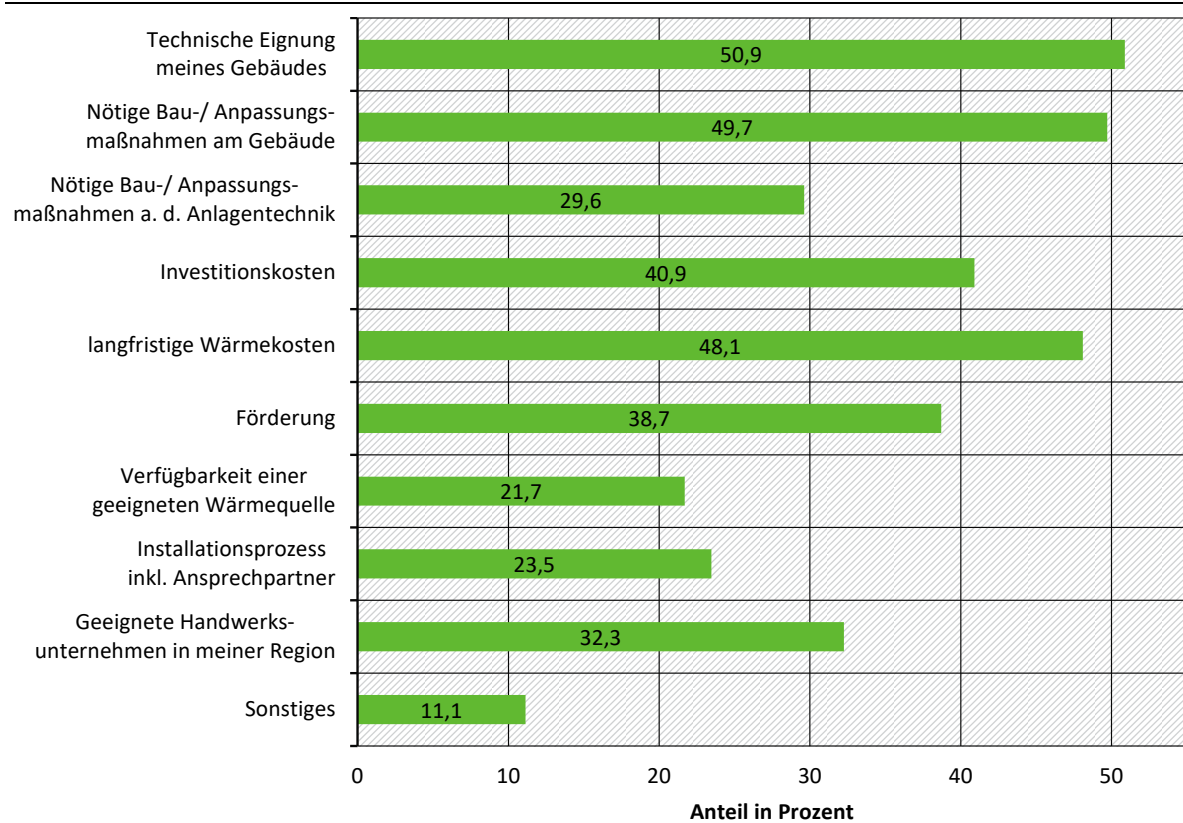


Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 29 zeigt für welche Fragestellung sich die verschiedenen Informationsquellen nach Einschätzung und Erfahrung der Befragten besonders eignen. Als insgesamt wichtigste Informationsquelle wählten die Befragten „Energieberatende“, insbesondere bezüglich der Eignung des Gebäudes. Auch Handwerksbetriebe und Verbraucherzentralen wurden häufig als geeignete Quellen betrachtet. Dabei werden Handwerksbetriebe insbesondere für die Effizienz im Betrieb herangezogen (ca. 39 Prozent) und Verbraucherzentralen für Informationen zu den langfristigen Kosten (ca. 49 Prozent). Mit nur ca. 27 Prozent wurde „Blog“ als die am wenigsten genutzte Informationsquelle angegeben. Da jeweils nur eine der vier Antwortmöglichkeiten je Informationsquelle ausgewählt werden konnte, ist die tatsächliche Relevanz einiger

Informationsquellen höher einzuschätzen¹⁰⁵. Unter „Sonstige“ wurden außerdem noch „eigene Berechnungen“ genannt.

Abbildung 30: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 12: Zu welchen Themen wünschen Sie sich mehr, bzw. leichter zugängliche Informationen? Bitte maximal drei Themen auswählen.



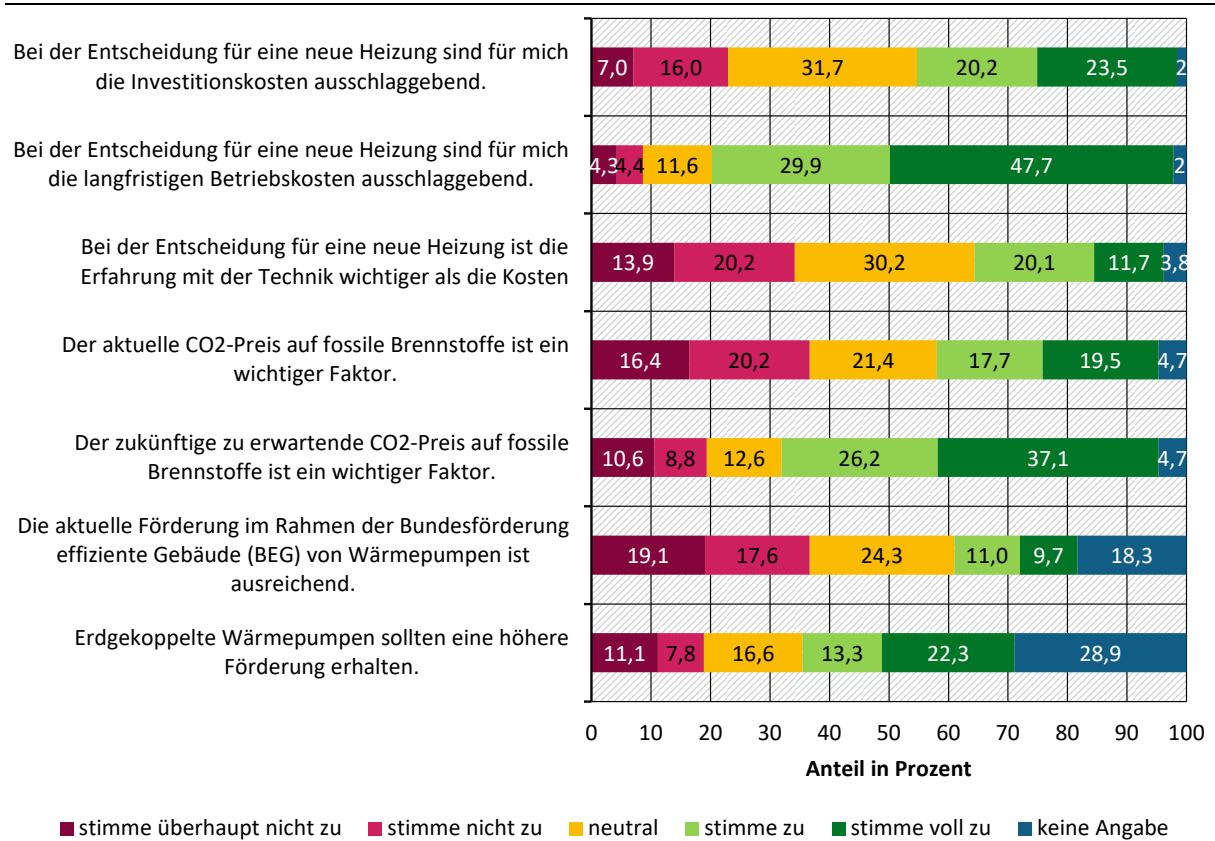
Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

In Abbildung 30 ist dargestellt, zu welchen Themen sich die Befragten mehr bzw. leichter zugängliche Informationen wünschen. Informationsbedarf besteht demnach insbesondere bezüglich der technischen Eignung des Gebäudes, sowie der nötigen Bau-/ Anpassungsmaßnahmen. Jeweils etwa 50 Prozent aller Befragten wählten diese Optionen. Des Weiteren wünschten sich ca. 48 Prozent weitere Informationen zu langfristigen Wärmekosten und ca. 41 Prozent zu den Investitionskosten.

¹⁰⁵ Insbesondere bei den Energieberatern wurde angemerkt, dass diese für alle abgefragten Aspekte/ Themen hinzugezogen werden.

4.1.5 Faktoren bei Investitionsentscheidungen

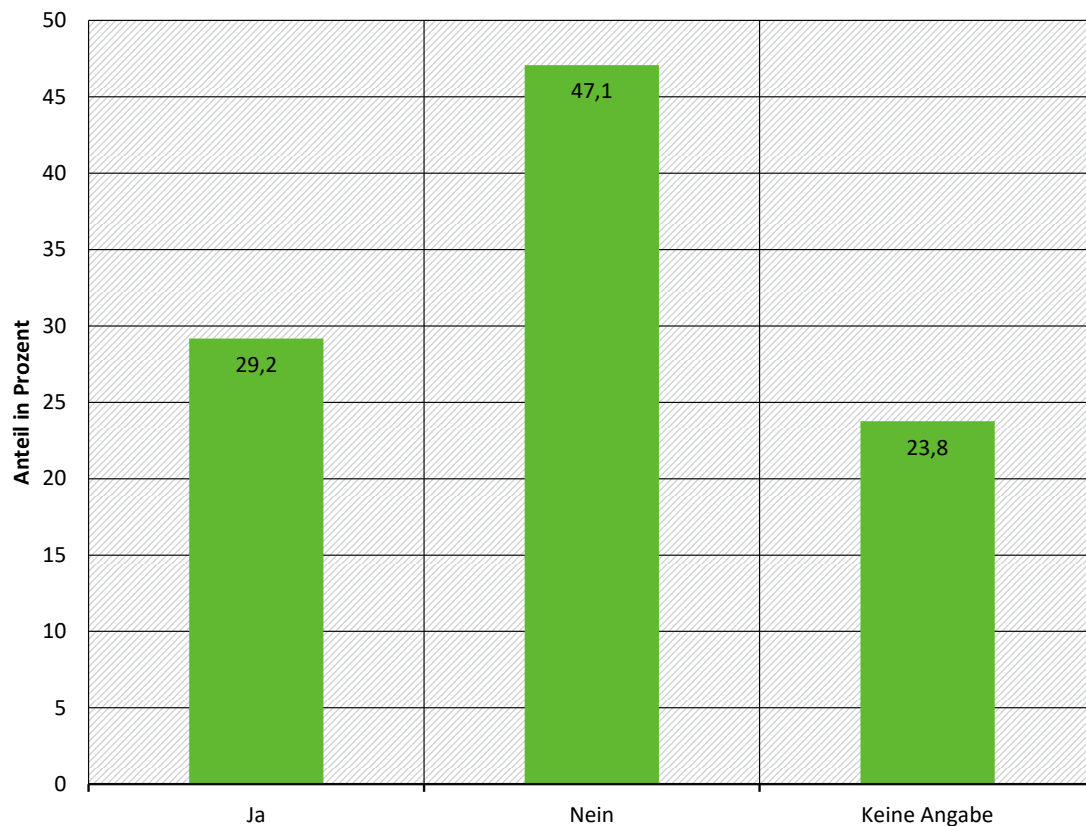
Abbildung 31: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 13: Was sind die entscheidenden Faktoren bei der Entscheidung für oder gegen eine Heiztechnik?



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 31 zeigt, dass für den Großteil der Befragten, die Kosten eine entscheidende Rolle bei der Wahl der Heiztechnik spielen. Mehr als 77 Prozent stimmten zu, dass die Betriebskosten bei der Entscheidung ausschlaggebend seien. Die Investitionskosten sind hingegen nur für rund 44 Prozent der Befragten ein zentraler Faktor. Der zukünftig zu erwartende CO₂-Preis ist für ca. 61 Prozent ein wichtiger Faktor. Dagegen wurde der Aussage „Der aktuelle CO₂-Preis auf fossile Brennstoffe ist ein wichtiger Faktor“ zu einerseits knapp 37 Prozent zugestimmt und zum gleichen Anteil wurde sie abgelehnt.

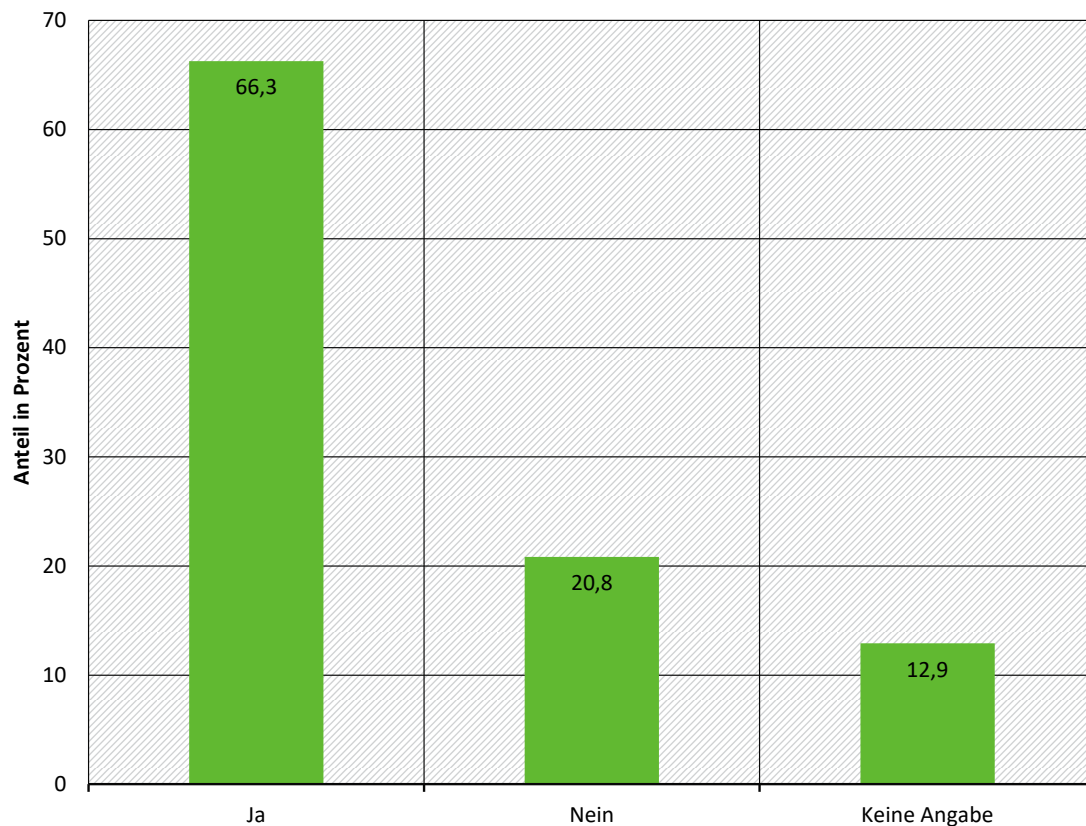
Abbildung 32: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 15: Vor der Anschaffung einer neuen Heizung habe ich in der Vergangenheit einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den gesamten Lebenszyklus (20 Jahre) der Heizung durchgeführt.



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Von den 682 Befragten gaben ca. 47 Prozent an, dass sie in der Vergangenheit keinen Wirtschaftlichkeitsvergleich durchgeführt haben, 29 Prozent haben einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den Lebenszyklus durchgeführt. Rund 24 Prozent der Teilnehmer*innen machten hierzu keine Angabe (Abbildung 32).

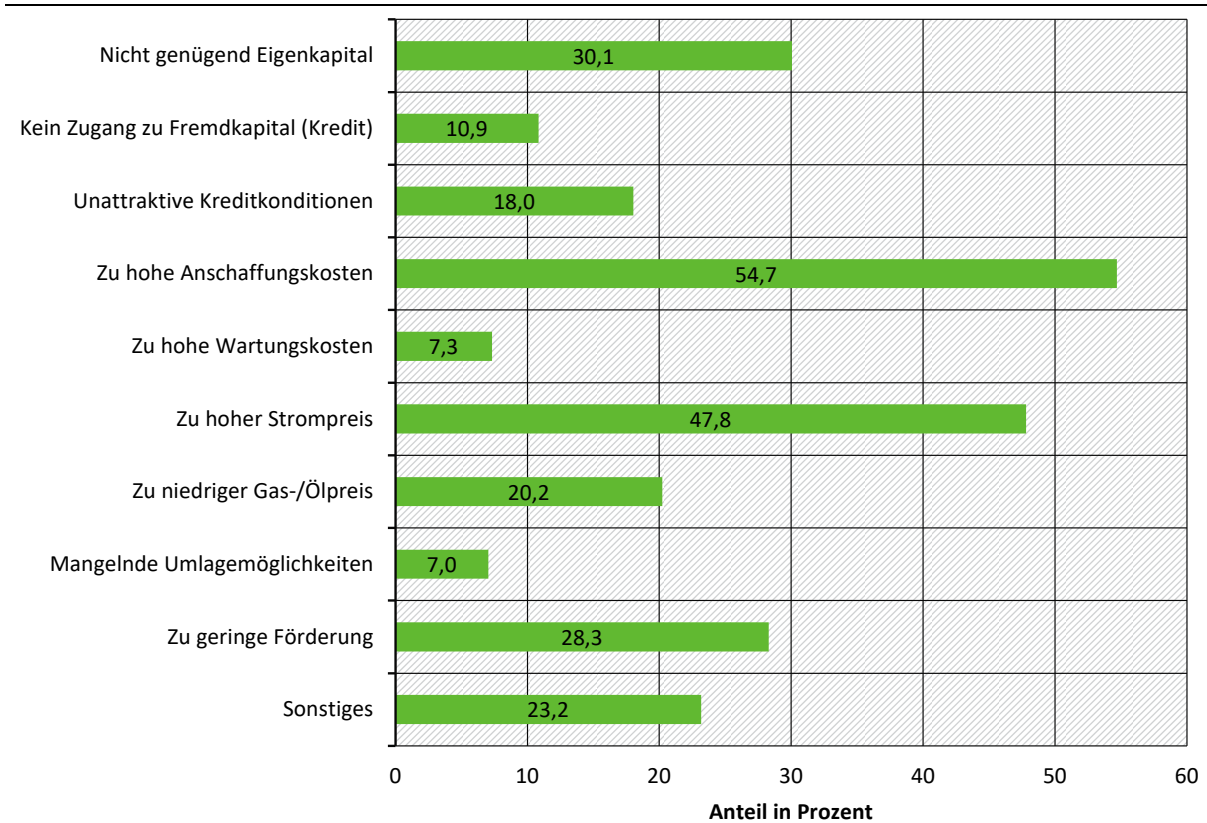
Abbildung 33: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 16: Vor der Anschaffung einer neuen Heizung werde ich in Zukunft einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den gesamten Lebenszyklus (20 Jahre) der Heizung durchführen.



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Auf die Frage, ob in Zukunft ein Wirtschaftlichkeitsvergleich durchgeführt werden soll, antworteten zwei Drittel der Befragten mit Ja. Ca. 21 Prozent planen keinen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den Lebenszyklus und ca. 13 Prozent (entspricht ungefähr dem Anteil der Mietenden) machten keine Angabe (Abbildung 33).

Abbildung 34: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden - Frage 17: Bei der Finanzierung einer Wärmepumpe sehe ich für mich folgende Hemmnisse. Bitte maximal drei Aspekte auswählen.

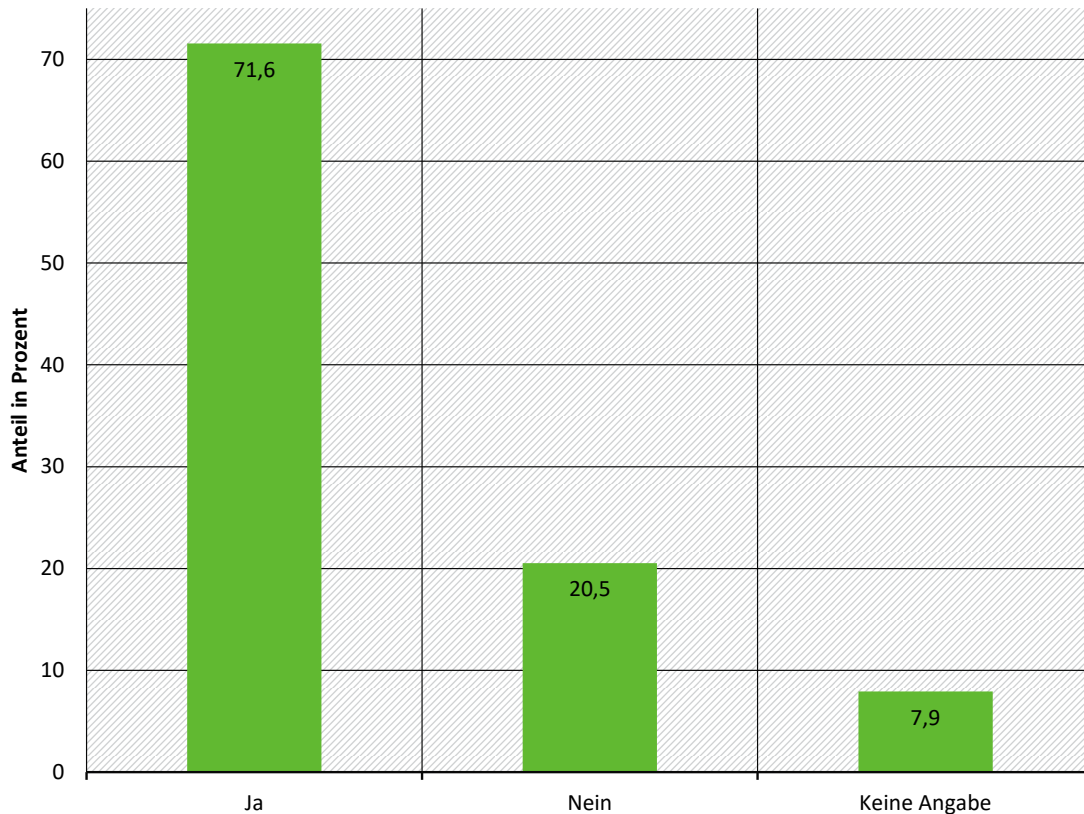


Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

In Abbildung 34 ist abgebildet, welche der aufgelisteten Hemmnisse die Befragten für sich selbst bei der Finanzierung einer Wärmepumpe sehen (Mehrfachauswahl). Häufig ausgewählt wurde dabei eine geringe Wirtschaftlichkeit. Zum Beispiel wählten ca. 55 Prozent der Teilnehmer*innen das Hemmnis „zu hohe Anschaffungskosten“ und ca. 48 Prozent „zu hoher Strompreis“ aus. Mangelnde Umlagemöglichkeiten wurden dagegen nur von 7 Prozent der Befragten als Hemmnis angegeben¹⁰⁶. Unter „Sonstiges“ wurden insbesondere Installations- und Folgekosten, komplizierte Beantragung der Förderung und Eignung des Gebäudes genannt.

¹⁰⁶ Eine Einordnung dieser Antwort ist nicht möglich, da nicht abgefragt wurde, ob der*die Teilnehmende selbst vermietet.

Abbildung 35: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 18 zum Kenntnisstand der Teilnehmer*innen: Ich habe mich in der Vergangenheit schon intensiv mit Wärmepumpen befasst und kenne mich gut mit der Technik aus.



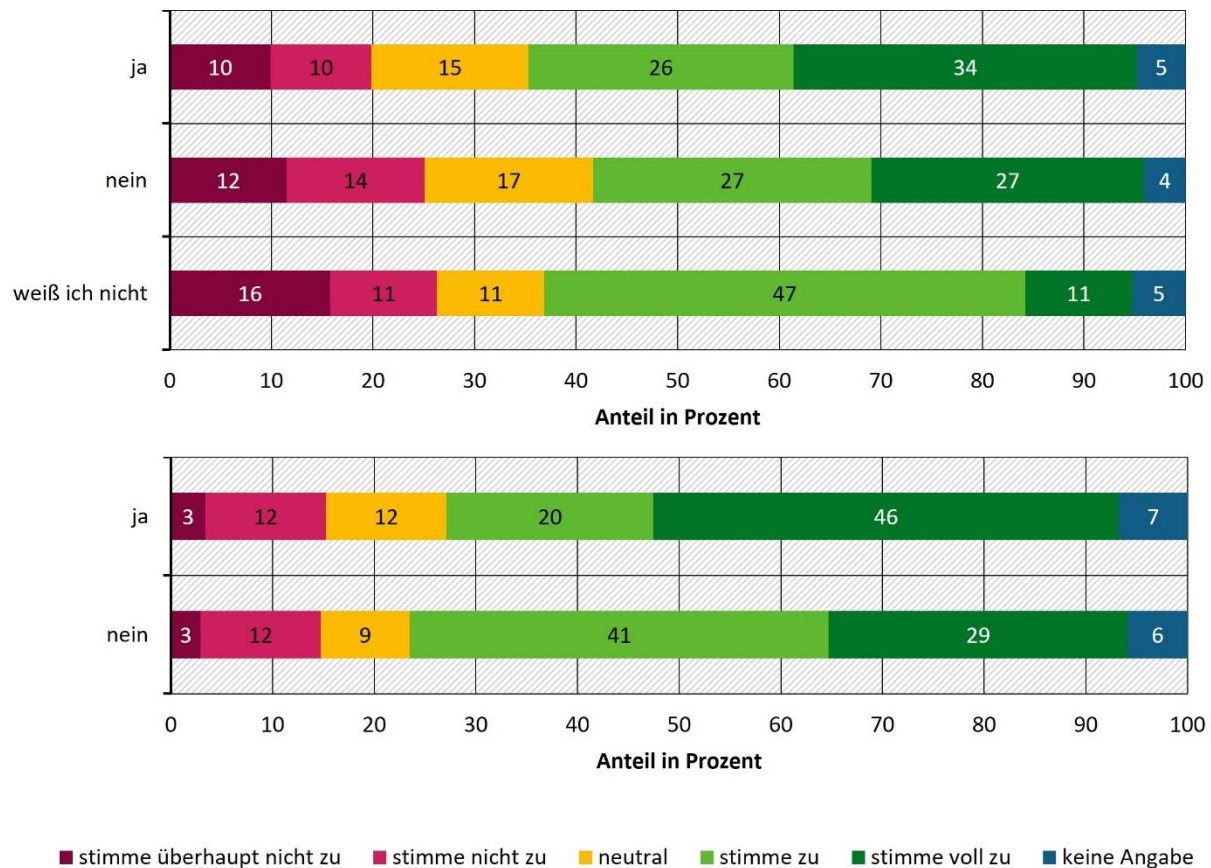
Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Mehr als 70 Prozent der Teilnehmenden gaben an, sich in der Vergangenheit bereits intensiv mit Wärmepumpen und deren Technik auseinander gesetzt zu haben. Rund 21 Prozent verneinten dies und ca. 8 Prozent machten keine Angabe (Abbildung 35).

4.1.6 Querauswertungen relevanter Aspekte

U. a. Einstellungen, Wissen und Informationsquellen können sich je nach Alter, Bildung und weitere Faktoren unterscheiden. Im Folgenden sind einige Querauswertungen dargestellt, die es erlauben vertiefte Erkenntnisse aus der Umfrage abzuleiten und spezifischere Schlüsse hinsichtlich (Informations-)Bedarfen einzelner Gruppen zu schließen.

Abbildung 36: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 9: Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu? Wärmepumpen können auch in Gebäuden, die nicht komplett saniert sind, effizient betrieben werden. Bezogen auf den Sanierungszustand des Gebäudes (Frage 4: Wurde ihr Gebäude in den letzten 10 Jahren vollständig oder teilweise energetisch modernisiert?). Oben: bezogen auf alle Teilnehmer*innen. Unten: bezogen auf Teilnehmer*innen mit installierter Wärmepumpe.



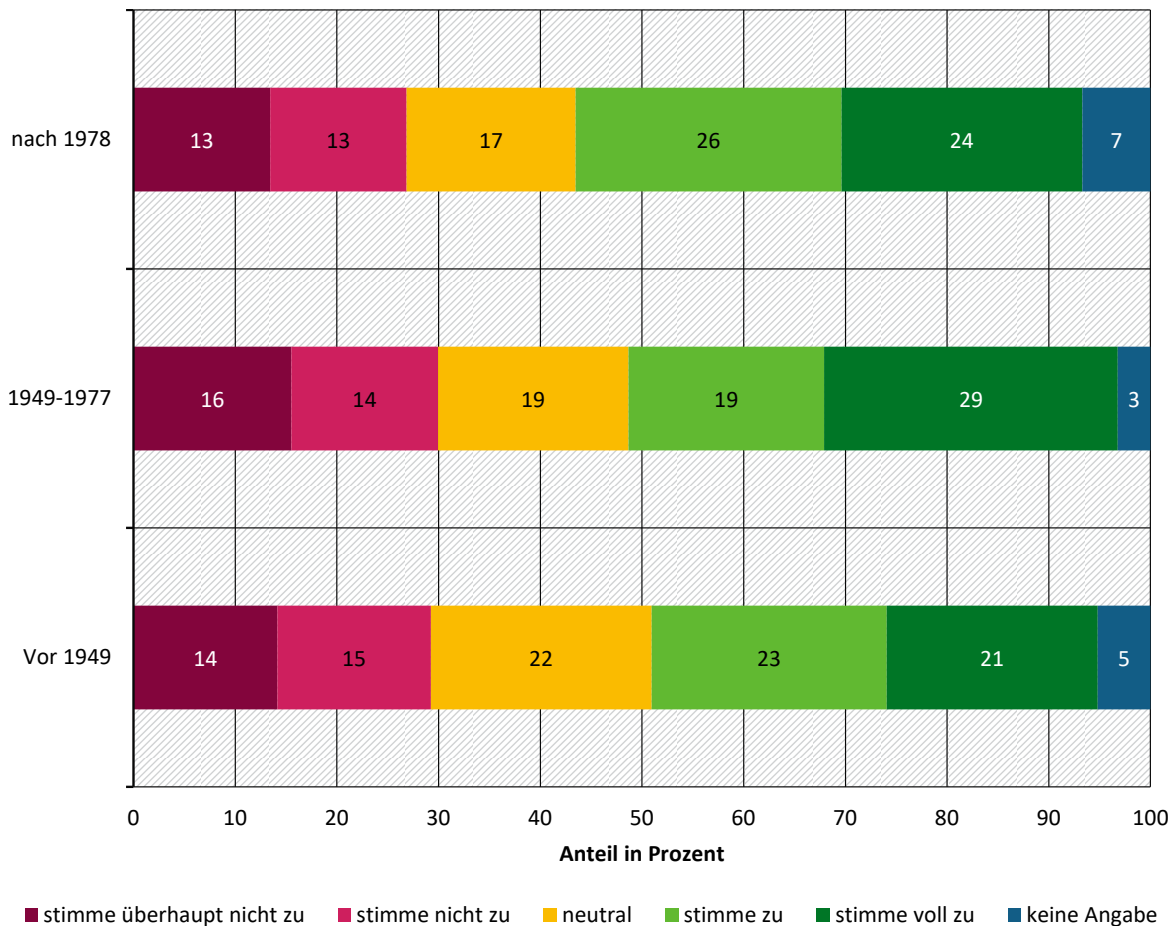
Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Die obere anteilige Verteilung in Abbildung 36 zeigt, dass die Teilnehmenden, deren Gebäude in den letzten 10 Jahren vollständig oder teilweise saniert wurde (Antwort Ja) der Aussage, ob Wärmepumpen auch in Gebäuden, die nicht komplett saniert sind, effizient betrieben werden können, geringfügig mehr voll zustimmten (zu 34 Prozent) als Teilnehmende, deren Gebäude nicht in den letzten 10 Jahren saniert wurde (volle Zustimmung zu 27 Prozent).

Teilnehmer*innen, die den Sanierungszustand des Gebäudes nicht kannten (Antwort weiß ich nicht), stimmten der Aussage sogar zu insgesamt 58 Prozent (voll) zu, lehnten sie aber auch zu insgesamt 27 Prozent ab.

Die untere Verteilung, die nur die Antworten der Teilnehmer*innen mit installierter Wärmepumpe berücksichtigt, zeigt, dass die volle Zustimmung zur Aussage zunimmt (46 Prozent vs. 29 Prozent), wenn das Gebäude vollständig oder teilweise in den letzten 10 Jahren saniert wurde. Allerdings ist der Anteil der Zustimmung zur Aussage bei Teilnehmer*innen ohne Sanierung mit 41 Prozent wesentlich größer als bei Teilnehmer*innen mit Sanierung (20 Prozent). Die Anteile der (vollen) Ablehnung sind in beiden Gruppen gleich groß.

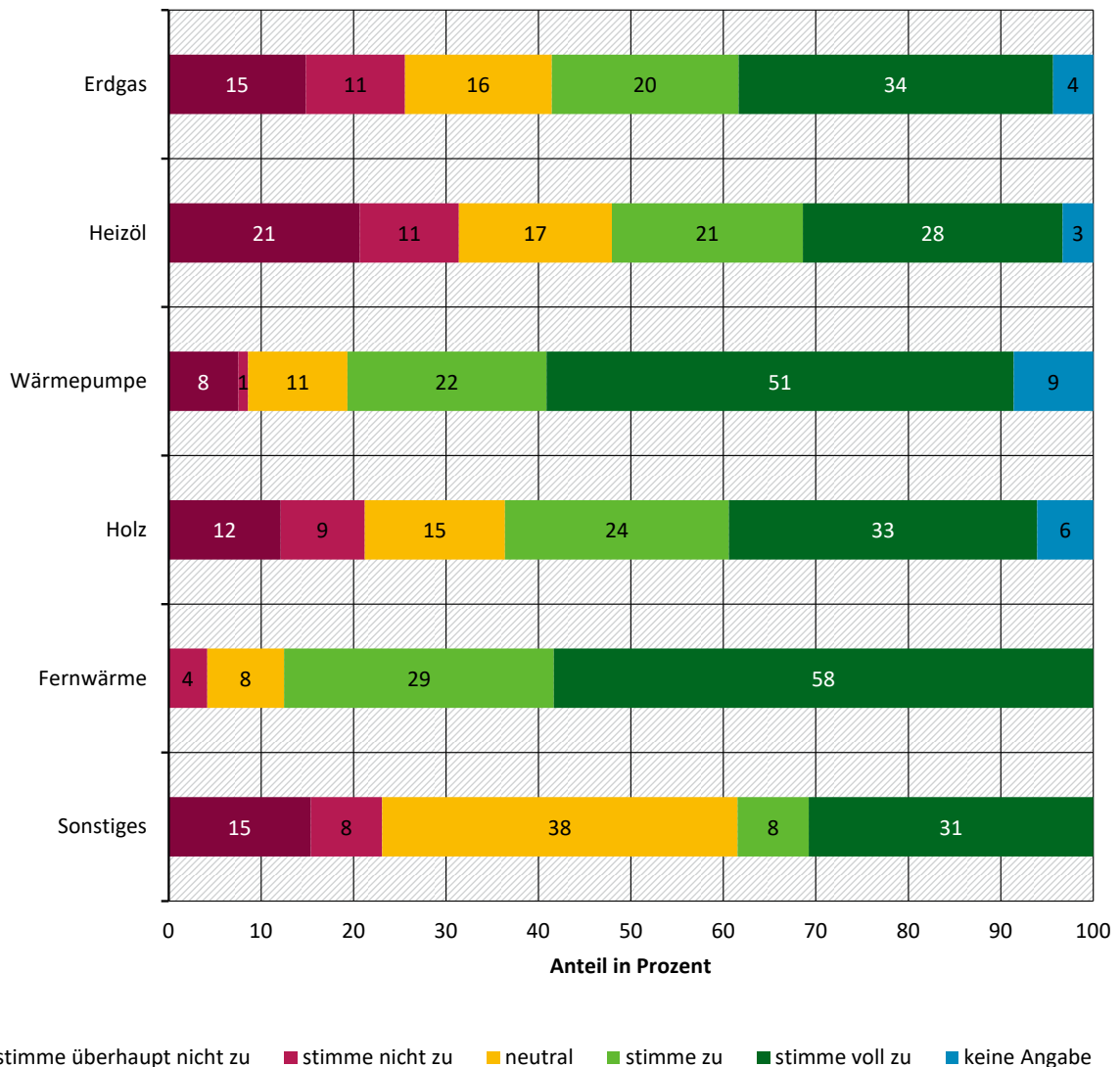
Abbildung 37: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 9: Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu? Auch an sehr kalten Wintertagen werden alte Gebäude mit einer Wärmepumpe warm genug. Bezogen auf das Alter des Gebäudes (Frage 3: Wann wurde ihr Gebäude errichtet? Wenn das Baujahr nicht genau bekannt ist, schätzen Sie bitte.)



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Die Verknüpfung des Gebäudealters (eingeteilt in die drei Baualtersklassen vor 1949, 1949 bis 1977 und nach 1978) mit dem Grad der Zustimmung bzw. der Ablehnung zur Aussage, dass alte Gebäude auch an sehr kalten Wintertagen mit einer Wärmepumpe warm genug werden zeigt, dass die Zustimmung von Teilnehmer*innen in Gebäuden vor 1949 minimal geringer ist, als von Teilnehmer*innen in jüngeren Gebäuden. Diese stimmen der Aussage zu 44 Prozent zu, während Teilnehmer*innen in der mittleren Baualtersklasse zu 48 Prozent und Teilnehmer*innen in Gebäuden nach 1978 sogar 50 Prozent zustimmen (Abbildung 37).

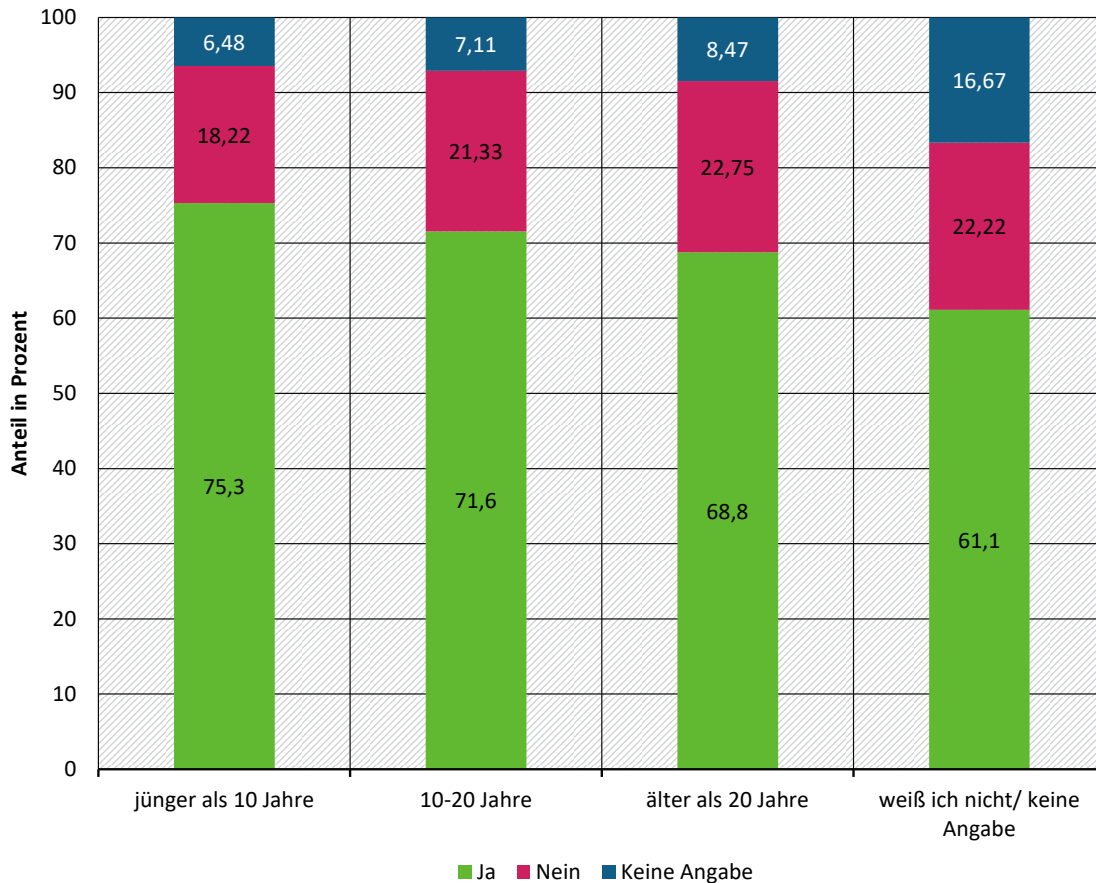
Abbildung 38: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 9: Inwiefern stimmen Sie der folgenden Aussage zu? Wärmepumpen sind die wichtigste Technik, um die Klimaziele im Gebäudebereich zu erreichen. Bezogen auf die angegebene Beheizungsart (Frage 6: Womit heizen Sie derzeit primär?).



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 38 zeigt, dass Nutzer*innen einer Wärmepumpe der Aussage, dass Wärmepumpen die wichtigste Technik zur Erreichung der Klimaziele im Gebäudebereich sind, zu 73 Prozent zustimmen. Nutzer*innen von Fernwärme stimmen der Aussage sogar zu 87 Prozent zu. Wiederum Nutzer*innen von Heizöl lehnen die Aussage stärker (32 Prozent) ab als Nutzer*innen von Erdgas (26 Prozent). Befragte mit sonstigen Heizarten wählten zu 38 Prozent die Antwortmöglichkeit neutral.

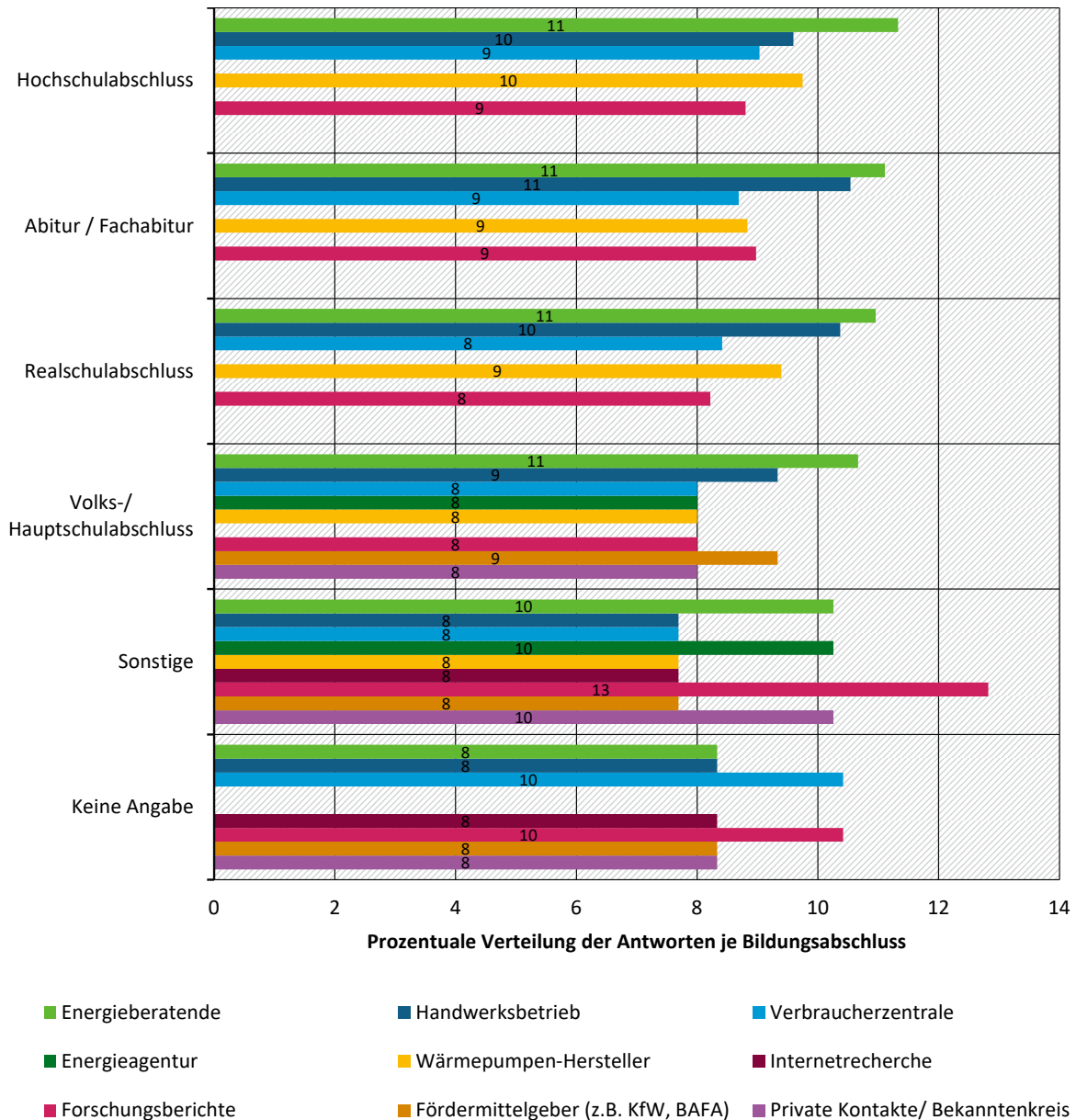
Abbildung 39: Auswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage zum Kenntnisstand der Teilnehmer*innen: Ich habe mich in der Vergangenheit schon intensiv mit Wärmepumpen befasst und kenne mich gut mit der Technik aus. Bezogen auf das angegebene Alter der Heizung (Frage 7: Wie alt ist die Heizung ungefähr?).



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

Abbildung 39 zeigt, dass das Alter der Heizung keinen signifikanten Einfluss auf den Kenntnisstand der Befragte bzgl. Wärmepumpen und deren Technik zu haben scheint. Allerdings haben eher Teilnehmer*innen mit jüngeren Heizungen sich bereits mit Wärmepumpen auseinandergesetzt (75 Prozent). Teilnehmende mit einer mehr als 20 Jahre alten Heizung haben zu etwas weniger als 70 Prozent angegeben, dass sie sich in der Vergangenheit schon mit Wärmepumpen auseinandergesetzt haben.

Abbildung 40: Kreuzauswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 11: Informationen zu Wärmepumpen werden von vielen verschiedenen Akteuren zur Verfügung gestellt. Bitte beurteilen Sie, für welchen Aspekt sich die folgenden Akteure / Informationsquellen aus Ihrer Sicht am besten eignen. Dargestellt ist die prozentuale Verteilung der 5 am häufigsten genannten Informationsquellen je Bildungsniveau unter Berücksichtigung der Gesamtanzahl der Antworten.

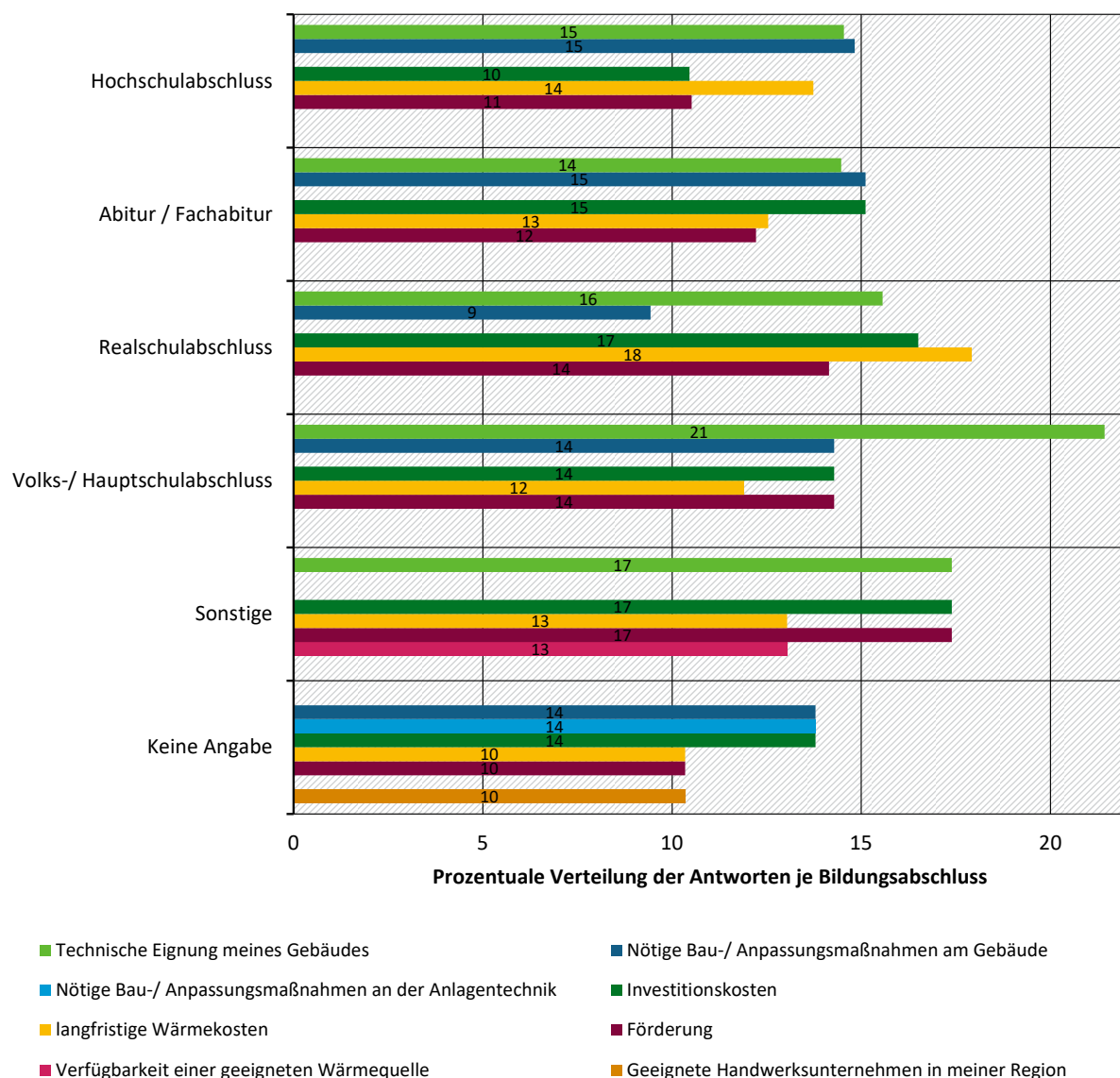


Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

In Abbildung 40 wurden die Antworten zur Nutzung verschiedener Informationsquellen in Bezug auf den angegebenen Bildungsabschluss gesetzt. Dafür wurden die ursprünglich vier Antwortmöglichkeiten der Frage 11 in „geeignet“ und „keine Angabe“ zusammengefasst. Anteilig an der Gesamtanzahl der Antworten je Bildungsniveau konnte so die Gewichtung der verschiedenen Quellen berechnet werden. Dargestellt sind die fünf am häufigsten genannten Informationsquellen je Bildungsabschluss. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Befragten mit Hochschulabschluss, Abitur und Realschulabschluss zu überwiegend ähnlichen Anteilen die

gleichen Quellen für geeignet halten. So wurde jeweils zu 11 Prozent „Energieberatende“, zu 10 bis 11 Prozent Handwerksbetriebe und zu 8 bis 9 Prozent Verbraucherzentralen als geeignete Informationsquelle angegeben. Weiterhin wurden auch Wärmepumpen-Hersteller und Forschungsberichte zu 8 bis 10 Prozent je Bildungsabschluss gewählt. Eine ähnliche Verteilung findet sich auch bei den Teilnehmer*innen mit Volks-/Hauptschulabschluss bzw. sonstigen Abschlüssen. Zusätzlich werden in diesen Gruppen aber auch die Informationsquelle Energieagentur (8-10 Prozent), Fördermittelgeber (8-9 Prozent) oder, beim Bildungsniveau Sonstiges auch Internetrecherche (8 Prozent) und private Kontakte (10 Prozent) als geeignet angesehen.

Abbildung 41: Kreuzauswertung der Verbraucherumfrage zu Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Frage 12: Zu welchen Themen wünschen Sie sich mehr, bzw. leichter zugängliche Informationen? Bitte maximal drei Themen auswählen. Dargestellt ist die prozentuale Verteilung der 5 am häufigsten genannten Informationsquellen je Bildungsniveau unter Berücksichtigung der Gesamtanzahl der Antworten.



Quelle: eigene Darstellung, Öko-Institut e.V. 2023

In Abbildung 41 wurde wiederum der Bildungsabschluss der Befragten in Bezug zur Frage, zu welchen Themen sich weitere bzw. leichter zugängliche Informationen gewünscht werden, gesetzt. Auch hier wurden die Anteile bezogen auf die Gesamtzahl der Antworten je Bildungsabschluss bezogen und die jeweils fünf am häufigsten genannten Antworten dargestellt. Zu erkennen ist, dass über alle Bildungsabschlüsse (außer Sonstiges) dieselben Themen angegeben wurden: dementsprechend wurden sich weitere Infos zur technischen Eignung des Gebäudes (14-21 Prozent), zu nötigen Bau-/Anpassungsmaßnahmen am Gebäude (9-15 Prozent), zu Investitionskosten (10-17 Prozent), zu langfristigen Wärmekosten (12-18 Prozent) und zu Förderung (11-14 Prozent) gewünscht. Auffällig ist dabei, dass sich die Befragten mit Hochschulabschluss in den Themen „Investitionskosten“ und „Förderung“ weniger häufig mehr Informationen wünschen als mit anderen Bildungsabschlüssen. Außerdem wünschen sich deutlich mehr Teilnehmer*innen mit Hauptschulabschluss mehr Informationen zur technischen Eignung des Gebäudes (21 Prozent), dafür etwas weniger zu langfristigen Wärmekosten. Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Bildungsabschluss, insbesondere zwischen den Niveaus Hochschulabschluss bis Realschulabschluss, keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl der Informationsquelle oder den thematischen Wunsch nach weiteren Informationen hat.

4.2 Interpretation und Rückschlüsse

Die Auswertung der Umfrage zeigt, dass sich die Befragten bereits mit der Thematik „Wärmepumpen“ auseinandergesetzt haben. Dazu wurden insbesondere Energieberatende, Wärmepumpenhersteller, Handwerksbetriebe und Verbraucherzentralen hinzugezogen. Die dabei für die Befragten hervorstechenden Hemmnisse sind die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe (Installationskosten und Strompreise). Auch die Fördermöglichkeiten (insbesondere die Beantragung) wurden als Hemmnis eingeschätzt. Insgesamt stehen die Teilnehmer*innen der Umfrage Wärmepumpen jedoch positiv gegenüber. Ist bereits eine Wärmepumpe installiert, verstärkt sich diese positive Haltung nochmals leicht. Hierbei ist zu beachten, dass die Stichprobe von 682 ausgewerteten Einsendungen, sowie die enthaltenen Bias nicht zu einer repräsentativen Aussage herangezogen werden kann. Um (Informations-)Bedarfe im Kontext Wärmepumpen in Bestandsgebäuden genauer einordnen zu können, wäre eine umfangreichere Befragung notwendig, die weitere Bevölkerungsgruppen abdeckt. Herausfordernd ist hierbei unterschiedlich Bevölkerungsgruppen über verschiedene Kanäle zu erreichen und zu einer Teilnahme zu motivieren.

5 Quellenverzeichnis

- Amt der Salzburger Landesregierung (2022): get-Produktdatenbank zu Haustechnik-Produkten. Wärmepumpen. Online verfügbar unter <https://www.produktdatenbank-get.at/#/>, abgerufen am Oktober 2022.
- Ariadne (2021): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Online verfügbar unter https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_corr0222.pdf.
- BDI (2021): Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft. Unter Mitarbeit von Boston Consulting Group.
- BMW (Hg.) (2023): Eckpunktepapier zur Diskussion der Beschleunigung des Wärmepumpenhochlaufs. Vorhaben und Maßnahmen zum 2. Wärmepumpen-Gipfel.
- Bongs, Constanze; Wapler, Jeannette; Dinkel, Arnulf; Miara, Marek; Auerswald, Sven; Lämmle, Manuel et al. (2022): LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden. LowEx-Bestand Analyse. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE); Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Online verfügbar unter http://www.lowex-bestand.de/wp-content/uploads/2023/03/Abschlussbericht_LiB.pdf.
- Brandes, Julian; Haun, Markus; Wrede, Daniel; Jürgens, Patrick; Kost, Christoph; Henning, Hans-Martin (2021): Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Update Klimaneutralität 2045. Fraunhofer ISE. online, Freiburg (Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem). Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Klimaneutralitaet-2045.pdf>, abgerufen am 05.07.2022.
- Bundesgesetzblatt (2024): Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden* (Gebäudeenergiegesetz - GEG). GEG.
- Bundesregierung Deutschland (2022): Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über mittelfristig wirksame Maßnahmen. EnSimiMaV.
- Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks - Zentralinnungsverband (ZIV) (2023): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks. Jährliche Erhebungen. online, Sankt Augustin (Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks).
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) (2023): Branchenstudie 2023: Marktentwicklung – Prognose – Handlungsempfehlungen. online, Berlin. Online verfügbar unter https://www.waermepumpe.de/verband/publikationen/fachpublikationen/?tx_bcpagflip_pi1%5Baction%5D=show&tx_bcpagflip_pi1%5Bbook%5D=148&tx_bcpagflip_pi1%5Bcontroller%5D=Book&type=1107386203&Hash=488c4efa10a2012713af421f98596977#29, abgerufen am 22.03.2023.
- Bürger, Veit; Braungardt, Sibylle; Miara, Marek (2022): Durchbruch für die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Agora Energiewende; Fraunhofer ISE; Öko-Institut; Regulatory Assistance Project (RAP). online.
- Cischinsky, Holger; Diefenbach, Nikolaus (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand (2018).
- co2online (2022): Energiedaten von Wohngebäuden in Deutschland. Wohngebäude - Statistiken 2002 bis heute. co2online. Online verfügbar unter <https://www.wohngebaeude.info/daten/#/heizen/bundesweit;main=allgemein>.

Dena (2021): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf.

Dena (2022): DENA-GEBÄUDEREPORT 2023. Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Unter Mitarbeit von Simon Becker, Jonas Hagen, Rico Krüger und Alexander Exner. Deutsche Energie-Agentur (dena).

DENEFF (2023): Finanzinnovationen für die Wärmewende. Finanzierung für alle privaten Eigentümerinnen und Eigentümer von Wohnimmobilien zugänglich und leistbar machen.

Deutsche Energie-Agentur (dena) (2016): dena-Gebäudereport. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand.

Devinder Mahajan, et. al. (2022): Hydrogen Blending in Gas Pipeline Networks—A Review.

Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, H.; Rodenfels, M.; Clausnitzer, K.-D. (2010): Datenbasis Gebäudebestand – Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand (Germany, 19.03.2012).

DIN EN ISO 52016-1:2018-04:04.2018: Energetische Bewertung von Gebäuden – Energiebedarf für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie fühlbare und latente Heizlasten, abgerufen am 04.05.2022.

European Commission: Commission Regulation (EU) No 813/2013 of 2 August 2013 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for space heaters and combination heaters. EU 813/2013. In: Official Journal of the European Union, L (239), S. 136–161.

Fraunhofer ISE (2022): Visualisierung der Transformationspfade [energy-charts.de]. online (Wege zu einem Klimaneutralen Energiesystem). Online verfügbar unter https://energy-charts.de/remod_power_inst_de.htm?main=inst&source=fEE&scenario=Referenz, abgerufen am 05.07.2022.

Guidehouse (2022): Building energy performance (BEP) tool. Unter Mitarbeit von Marco Reiser, Bernhard von Manteuffel und Markus Offermann. Online verfügbar unter <https://globco.buildings-mena.com/#step-1>, abgerufen am 25.04.2022.

Günther, Danny; Wapler, Jeannette; Langner, Robert; Helmling, Sebastian; Miara, Marek; Fischer, David et al. (2020): Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "WPsmart im Bestand". Unter Mitarbeit von Danny Günther, Jeannette Wapler, Robert Langner, Sebastian Helmling, Marek Miara, David Fischer et al. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE).

Hermelink, Andreas; Bruhin, Arnold; Bürger, Veit; Schmitt, Martina; Küppers, Johanna; Oschatz, Bert et al. (2023): Begleitung von BMWK-Maßnahmen zur Umsetzung einer Wärmepumpen-Offensive. Ergebnisbericht. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Guidehouse; Dena; ITG Dresden; Öko-Institut; Prognos AG; EY Law; PWC; BBH; Ifeu. Berlin.

Meteotest (2021): Meteororm. Version 7.3. Bern, Switzerland: Meteotest.

Offermann, Markus; von Manteuffel, Bernhard; Bettgenhäuser, Kjell (2023): Lösungsoptionen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Ad-hoc-Papier im Rahmen des Forschungsprojektes FKZ 3720 41 510 0. Unter Mitarbeit von Guidehouse. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.

Prognos AG; Öko-Institut; Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Unter Mitarbeit von Hans Dambeck, Florian Ess, Hanno Falkenberg, Andreas Kemmler, Almut Kirchner, Sven Kriedelmeyer et al. Agora Energiewende; Agora Verkehrswende; Stiftung Klimaneutralität. Berlin.

Sensfuß, Frank; Kiefer, Christoph; Müller-Kirchenbauer, Joachim; Mellwig, Peter; Deac, Gerda; Brugger, Heike et al. (2022): LANGFRISTSZENARIEN FÜR DIE TRANSFORMATION DES ENERGIESYSTEMS IN DEUTSCHLAND. Treibhausgasneutrale Szenarien T45. Unter Mitarbeit von Fraunhofer ISI, Consentec, Ifeu und TU Berlin.

Umweltbundesamt (UBA) (2022): CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe. Aktualisierung 2022.

VDI 4650 Blatt 1:09/2019: VDI 4650 Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen
Elektrowärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung.

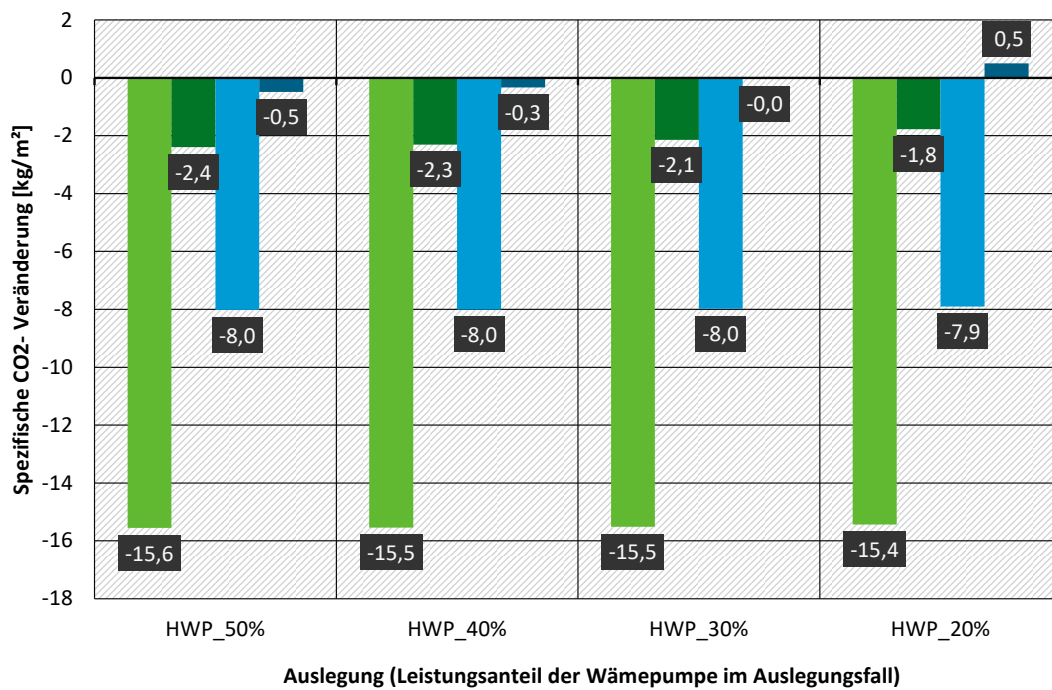
A Zusatzbetrachtung von Hybrid-Wärmepumpen mit Residual-Strommix

Die erzielbaren CO₂-Einsparpotenziale sind abhängig von der Regelung. Um diese Abhängigkeit zu überprüfen, wurde auch eine alternative Ansteuerung des Gaskessels untersucht:

- ▶ Alternativbetrieb (Gaskessel), wenn gilt:
 (CO₂-Faktor **Residualmix** / stundenaktueller COP-Wärmepumpe)
 < (CO₂-Faktor Erdgas¹⁰⁷ * Effizienz Gasbrennwertkessel)
 Sonst: WP-Betrieb

Die entsprechenden Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

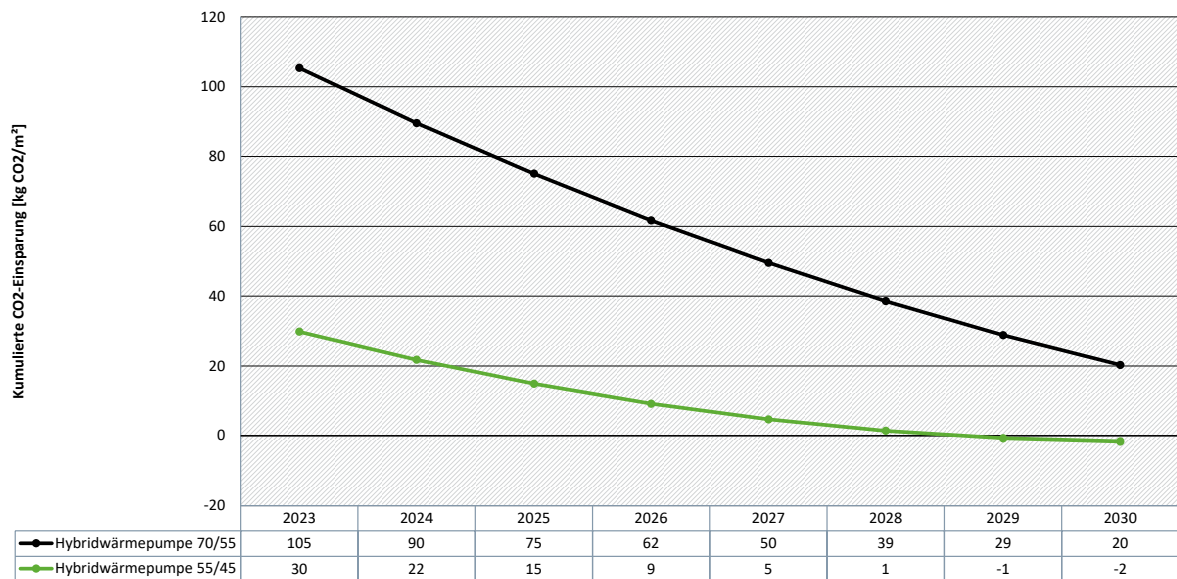
Abbildung 42: Veränderungen der CO₂-Emissionen von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen gegenüber monovalenten Wärmepumpen (alternative Gaskesselansteuerung i.V.m. CO₂-Faktor des Residualstrommixes)



Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

107 CO₂-Faktor Erdgas: 201 g/kWh (bezogen auf den Heizwert) Umweltbundesamt (UBA), 2022;

Abbildung 43: Einsparungen kumulierter CO₂-Emissionen über 20 Jahre von emissionsminimierend betriebenen Hybridwärmepumpen (Auslegung: 20 Prozent) ggü. monovalenten Wärmepumpen (alternative Gaskesselsteuerung i.V.m. CO₂-Faktor des Residualstrommixes) nach Installationsjahr (x-Achse)



Quelle: eigene Darstellung, Guidehouse 2023

Durch die alternative Gaskesselsteuerung unter Berücksichtigung des CO₂-Faktors des Residualstrommixes können im Ausgangsjahr 2023 27 Prozent bzw. 88 Prozent höhere CO₂ Einsparungen als bei der Ansteuerung über den Gesamtstrommix CO₂-Faktor erzielt werden. Dadurch verschiebt sich der Umschlagspunkt bei einer Auslegungs-Vorlauftemperatur von 55°C, bei der die CO₂-Emissionen einer Hybridwärmepumpe von einer möglichen Minderung zu einem einen Mehrverbrauch umschlagen von 2027 auf 2028.

B Fragebogen Umfrage Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Zunächst bitten wir Sie, ein paar allgemeine Fragen zu Ihrem Gebäude und Ihrer Heizung zu beantworten.

Gebäude:

1. Um was für ein Gebäude handelt es sich? [Single-Choice]
Ein- oder Zweifamilienhaus, kleines Mehrfamilienhaus (bis 6 Wohnungen), großes Mehrfamilienhaus, Nicht-Wohngebäude, keine Angabe
2. Nutzen Sie das Gebäude zur Miete oder sind Sie Eigentümer*in? [Single-Choice]
*Mieter*in, Eigentümer*in, keine Angabe*
3. Wann wurde ihr Gebäude errichtet? Wenn das Baujahr nicht genau bekannt ist, schätzen Sie bitte. [Textfeld für Eingabe]
4. Wurde ihr Gebäude in den letzten 10 Jahren vollständig oder teilweise energetisch modernisiert? [Single-Choice]
ja, nein, weiß ich nicht

Heizung:

5. Was für eine Heizung ist derzeit in ihrem Gebäude installiert? [Single-Choice]
Zentralheizung, Etagen-/ Einzelraumheizung, weiß ich nicht
6. Womit heizen Sie derzeit primär? [Single-Choice]
Erdgas, Heizöl, Holz, Fernwärme, Strom-Direktheizung, Wärmepumpe, Sonstiges, weiß ich nicht/ keine Angabe
7. Wie alt ist die Heizung ungefähr? [Single-Choice]
jünger als 10 Jahre, 10-20 Jahre, älter als 20 Jahre; weiß ich nicht/ keine Angabe
8. Wie kommt die Wärme in die Räume? [Single-Choice]
Ganz oder überwiegend Heizkörper, ganz oder überwiegend Fußboden-/ Flächenheizung, beides, weiß nicht

Mit den folgenden Fragen möchten wir erfahren, welche Chancen und Risiken Sie bei Wärmepumpen allgemein und konkret für Ihr Gebäude sehen.

9. Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu? [Likert-Skala von 1 bis 5 + keine Angabe]

Aussage	1 (stimme überhaupt nicht zu)	2	3	4	5 (stimme voll zu)	Keine Angabe
Wärmepumpen sind in alten, unsanierten Gebäuden klimaschädlicher als eine Gasheizung.						
Wärmepumpen können auch in Gebäuden, die nicht komplett saniert sind, effizient betrieben werden.						
Eine Wärmepumpe kann ein Haus auch ohne Fußbodenheizung effizient beheizen.						
Wärmepumpen eignen sich auch für Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude.						
Auch an sehr kalten Wintertagen werden alte Gebäude mit einer Wärmepumpe warm genug.						
Wärmepumpen können auch Trinkwarmwasser effizient bereitstellen. Hierfür wird kein zusätzliches Heizsystem benötigt.						
Auch wenn viele Wärmepumpen installiert sind, kommt es nicht zu Stromausfällen.						
Wärmepumpen sind die wichtigste Technik, um die Klimaziele im Gebäudebereich zu erreichen.						
Grüne Gase (z.B. Wasserstoff) für die Beheizung von Gebäuden werden langfristig günstig verfügbar sein.						

10. Welche Chancen, Risiken und Hemmnisse sehen Sie in Bezug auf den Einsatz von Wärmepumpen in Ihrem Gebäude?

Aussage	1 (stimme überhaupt nicht zu)	2	3	4	5 (stimme voll zu)	Keine Angabe
Informationen zu Wärmepumpen und anderen Heizungen mit erneuerbaren Energien sind leicht zugänglich und verständlich. Ich fühle mich gut informiert.						
Unterschiedliche Meinungen von Fachleuten verunsichern mich.						
Mein Gebäude ist nicht gut genug gedämmt und eignet sich deshalb nicht für den Einsatz einer Wärmepumpe.						
Es gibt keine geeignete Wärmequelle, die ich mit einer Wärmepumpe erschließen/ nutzen kann.						
Ich finde kein Handwerksunternehmen, das mir eine Wärmepumpe installieren kann.						
Eine Wärmepumpe ist langfristig nicht wirtschaftlich.						
Die Installation einer Wärmepumpe ist zu teuer.						
Die Förderung für den Einbau einer Wärmepumpe ist zu niedrig.						
Der Strompreis für den Betrieb einer Wärmepumpe ist zu hoch.						
Man bekommt gerade keine Wärmepumpe geliefert, selbst wenn man eine möchte.						
Die Technologie der Wärmepumpen, die aktuell am Markt angeboten werden, ist noch nicht ausgereift.						
Die Investition in eine Wärmepumpe lohnt sich aufgrund meines Alters nicht mehr.						

11. Informationen zu Wärmepumpen werden von vielen verschiedenen Akteuren zur Verfügung gestellt. Bitte beurteilen Sie die folgenden Akteure / Informationsquellen, inwiefern Sie sie als geeignet einschätzen, um sich über die Aspekte „Eignung des Gebäudes“, „Langfristige Kosten“ und „Effizienz im Betrieb“ zu informieren (anklicken = geeignet). [Multiple-Choice]

Akteur / Informationsquelle	Eignung des Gebäudes	Langfristige Kosten	Effizienz im Betrieb	Weiß nicht / keine Angabe
Energieberatende				
Handwerksbetrieb				
Schornsteinfeger*in				
Verbraucherzentrale				
Energieagentur				
Stadtwerk/ Energieversorgungsunternehmen				
Wärmepumpen-Hersteller				
Internetrecherche				
Presse (analog, digital)				
Blog				
Forschungsberichte				
Fördermittelgeber (z.B. KfW, BAFA)				
Private Kontakte/ Bekanntenkreis				
Sonstige				

Haben Sie „Sonstiges“ angegeben, beschreiben Sie hier bitte kurz: [300 Zeichen Textfeld für Eingabe]

12. Zu welchen Themen wünschen Sie sich mehr, bzw. leichter zugängliche Informationen? Bitte maximal drei Themen auswählen. [Multiple-Choice]

- ▶ Technische Eignung meines Gebäudes
- ▶ Nötige Bau-/ Anpassungsmaßnahmen am Gebäude
- ▶ Nötige Bau-/ Anpassungsmaßnahmen an der Anlagentechnik
- ▶ Investitionskosten
- ▶ langfristige Wärmekosten
- ▶ Förderung
- ▶ Verfügbarkeit einer geeigneten Wärmequelle
- ▶ Installationsprozess inkl. Ansprechpartner
- ▶ Geeignete Handwerksunternehmen in meiner Region
- ▶ Sonstiges

Haben Sie „Sonstiges“ angegeben, nennen Sie hier bitte das Thema/ die Themen: [300 Zeichen Textfeld für Eingabe]

Mit den folgenden Fragen möchten wir erfahren, welche Faktoren für Sie bei Investitionsentscheidungen wichtig sind. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf ökonomischen Faktoren.

13. Was sind die entscheidenden Faktoren bei der Entscheidung für oder gegen eine Heiztechnik?

Aussage	1 (stimme überhaupt nicht zu)	2	3	4	5 (stimme voll zu)	Keine Angabe
Bei der Entscheidung für eine neue Heizung sind für mich die Investitionskosten ausschlaggebend.						
Bei der Entscheidung für eine neue Heizung sind für mich die langfristigen Betriebskosten ausschlaggebend.						
Bei der Entscheidung für eine neue Heizung ist die Erfahrung mit der Technik wichtiger als die Kosten						
Der aktuelle CO ₂ -Preis auf fossile Brennstoffe ist ein wichtiger Faktor.						
Der zukünftige zu erwartende CO ₂ -Preis auf fossile Brennstoffe ist ein wichtiger Faktor.						
Die aktuelle Förderung im Rahmen der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) von Wärmepumpen ist ausreichend.						
Erdgekoppelte Wärmepumpen sollten eine höhere Förderung erhalten.						

14. Gibt es weitere Faktoren, die bei der Entscheidung eine Rolle spielen, in der Abfrage oben aber nicht aufgeführt sind? [Textfeld 400 Zeichen für Eingabe]

15. Vor der Anschaffung einer neuen Heizung habe ich in der Vergangenheit einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den gesamten Lebenszyklus (20 Jahre) der Heizung durchgeführt. [Single-Choice]

Ja, Nein, Keine Angabe

16. Vor der Anschaffung einer neuen Heizung werde ich in Zukunft einen Wirtschaftlichkeitsvergleich über den gesamten Lebenszyklus (20 Jahre) der Heizung durchführen. [Single-Choice]

Ja, Nein, Keine Angabe

17. Bei der Finanzierung einer Wärmepumpe sehe ich für mich folgende Hemmnisse. Bitte maximal drei Aspekte auswählen. [Multiple-Choice]

- ▶ Nicht genügend Eigenkapital
- ▶ Kein Zugang zu Fremdkapital (Kredit)
- ▶ Unattraktive Kreditkonditionen
- ▶ Zu hohe Anschaffungskosten
- ▶ Zu hohe Wartungskosten

- ▶ Zu hoher Strompreis
- ▶ Zu niedriger Gas-/Ölpreis
- ▶ Mangelnde Umlagemöglichkeiten
- ▶ Zu geringe Förderung
- ▶ Sonstiges

Haben Sie „Sonstiges“ angegeben, beschreiben Sie hier bitte kurz: [300 Zeichen Textfeld für Eingabe]

18. Abschließend möchten wir Sie noch um ein paar allgemeine Angaben bitten:

Ich habe mich in der Vergangenheit schon intensiv mit Wärmepumpen befasst und kenne mich gut mit der Technik aus: [Single-Choice]

- ▶ Ja
- ▶ Nein
- ▶ Keine Angabe

Ihr Alter: [Textfeld für Eingabe]

Ihr Geschlecht: [Single-Choice]

- ▶ Divers
- ▶ Weiblich
- ▶ Männlich
- ▶ Keine Angabe

Ihr höchster Bildungsabschluss: [Single-Choice]

- ▶ (noch) keinen Abschluss
- ▶ Grundschule
- ▶ Volks-/ Hauptschulabschluss
- ▶ Realschulabschluss
- ▶ Abitur/ Fachabitur
- ▶ Hochschulabschluss
- ▶ Sonstiges
- ▶ keine Angabe

Ihr aktueller Wohnort (Bundesland): [Single-Choice]

- ▶ Baden-Württemberg
- ▶ Bayern

- ▶ Berlin
- ▶ Brandenburg
- ▶ Bremen
- ▶ Hamburg
- ▶ Hessen
- ▶ Mecklenburg-Vorpommern
- ▶ Niedersachsen
- ▶ Nordrhein-Westfalen
- ▶ Rheinland-Pfalz
- ▶ Saarland
- ▶ Sachsen
- ▶ Sachsen-Anhalt
- ▶ Schleswig-Holstein
- ▶ Thüringen
- ▶ Keine Angabe

Ende/ Danksagung

Vielen Dank für die Teilnahme an der Umfrage! Weiterführende Informationen zu Wärmepumpen (in Bestandsgebäuden) finden Sie u.a. auf den folgenden Seiten:

Verbrauchertipps zu Wärmepumpen <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/waermepumpe>

Blog-Reihe „[Wärmepumpen im Bestand](#)“

Ad-hoc-Papier „[Lösungsoptionen für Wärmepumpen in Bestandsgebäuden](#)“

Forschungsvorhaben „[LowEx-Bestand](#)“

Teilbericht „[Heizen mit 65 % erneuerbaren Energien – Begleitende Analysen zur Ausgestaltung der Regelung aus dem Koalitionsvertrag 2021](#)“; Wirtschaftlichkeit S. 41 ff

Weitere Hintergründe und Informationen: www.energiewechsel.de

C Finanzierung- und Förderinstrumente für Investitionen in Wärmepumpen

C.1 Hintergrund und Zielsetzung

Wärmepumpen sind aktuell mit deutlich höheren Investitionskosten verbunden als fossile Kessel. Mit Einführung der 65 Prozent-EE-Regel sind fossile Kessel allerdings zukünftig in vielen Fällen keine Option mehr. Die Finanzierung der Investitionskosten ist für einen Teil der Gebäudeeigentümer*innen auch nach Abzug von Fördermitteln finanziell nicht oder nur eingeschränkt leistbar.

In dem Projekt „Finanzinnovationen für die Wärmewende“ erarbeitete die Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (DENEFF) gemeinsam mit Akteuren aus der Finanzbranche Optionen für innovative Finanzierungsmodelle für energetische Sanierungen und den Austausch von Heizungen¹⁰⁸. Dort stehen als Lösungen „Energiespardarlehen“ (ohne Grundpfandsicherung; hauptsächlich für Einzelmaßnahmen), „Energiehypothek“ (mit Grundpfandsicherung; eher für umfassendere Maßnahmen) und „Social Energy Services Fund“ (primär für Wohnungseigentümergeinschaft (WEG), über Energiedienstleistende) im Fokus.

Ziel der Modelle ist, eine niedrighschwellige Finanzierung von Klimaschutzmaßnahmen anzubieten und auf diese Weise Haushalten ohne ausreichende Finanzmittel oder Kreditwürdigkeit die Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen zu ermöglichen. Alle Modelle folgen der Prämisse, die Wohnkostenbelastung der Haushaltseinkommen nicht erheblich über das Leistbare zu erhöhen. Dies bedeutet, dass die durch die Haushalte monatlich zu entrichtenden Beiträge zur Refinanzierung der Investition (Tilgung + Zinsbelastung des Kredits) die eingesparten Energiekosten nicht erheblich übersteigen sollten. Die betrachteten Modelle werden als Ergänzung zur derzeitigen Förderung im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude betrachtet. Es wird zudem eine zielgenaue „Lücken-Förderung“ für Gruppen, deren Monatsbelastung trotz langer Laufzeiten und niedrigen Zinsen die Leistbarkeit überschreitet, vorgeschlagen.

Das vorliegende Ad-hoc Papier hat zum Ziel, die im Rahmen des Projektes des DENEFF erarbeiteten Ergebnisse, um folgende Aspekte zu ergänzen:

1. Ergänzende Informationen zu den betrachteten Zielgruppen, insbesondere zur Anzahl der Haushalte in den jeweiligen Gruppen.
2. Beispielhafte Betrachtung der Bezahlbarkeitsschwelle: Bei welchen Zinssätzen und Kreditlaufzeiten können energetische Sanierungsmaßnahmen bzw. der Einbau einer Wärmepumpe finanziert werden, ohne dass die Wohnkostenbelastung der Haushalte ansteigt?
3. Grobe Abschätzung des Finanzbedarfs für Ausfallgarantien.

C.2 Zielgruppen mit besonderen Herausforderungen

In der Studie „Finanzinnovationen für die Wärmewende“ werden die folgenden drei Zielgruppen betrachtet, bei denen die Leistbarkeit der Investition und der Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten als schwierig eingeschätzt wird:

¹⁰⁸ Die zentralen Ergebnisse sind unter folgendem Link verfügbar: https://deneff.org/wp-content/uploads/2023/09/20230922_DENEFF_Finanzinnovationen-Waermewende.pdf

1. Familien im Eigenheim, die noch einen signifikanten Immobilienkredit abbezahlen
2. Rentner und Rentnerinnen im meist abbezahlten Eigenheim mit geringem Einkommen und wenigen Rücklagen
3. Eigentümer und Eigentümerinnen in Wohneigentumsgemeinschaften, die zu geringe Rücklagen für energetische Maßnahmen gebildet haben

Für die drei Gruppen zeigt Tabelle 6, wie viele Haushalte in Deutschland in die jeweilige Kategorie fallen.

Tabelle 6: Anzahl an Haushalten in den drei Zielgruppen

Gruppe 1: Familien im Eigenheim mit laufendem Kredit 562.936 Haushalte	Gruppe 2: Rentner*innen im Eigenheim mit wenig Rücklagen 510.568 Haushalte	Gruppe 3: Eigentümer*innen in WEGs mit geringen Rücklagen 170.116 Haushalte
Insgesamt wohnen in Deutschland 2.317.196 Familien im selbstgenutzten Ein- oder Zweifamilienhaus. Davon zahlen 562.936 Haushalte derzeit noch einen signifikanten Immobilienkredit ab.	Insgesamt leben in Deutschland etwa 3,4 Mio. Rentner*innen-Haushalte in selbstgenutzten Ein- und Zweifamilienhäusern. Davon sind etwa 700.000 Haushalte in den unteren drei Einkommensdezilen. 510.568 dieser Haushalte verfügen über ein geringes Vermögen (>50.000 Euro).	Insgesamt leben in Deutschland etwa 926.989 Mio. Rentner*innen-Haushalte in selbstgenutzten Wohnungen in Mehrfamilienhäusern. Davon sind etwa 233.385 Haushalte in den unteren drei Einkommensdezilen. 170.116 dieser Haushalte verfügen über ein geringes Vermögen (>50.000 Euro).

Quelle: Forschungsdatenzentrum (FDZ) der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder, Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2018

C.3 Bezahlbarkeitsschwelle unter verschiedenen Kreditbedingungen

Ziel des vorliegenden Abschnittes ist es, die Bezahlbarkeitsschwelle für den Einbau einer Wärmepumpe abzuschätzen. Dabei werden zwei beispielhafte Fallkonstellationen betrachtet:

1. Unsaniertes neueres Einfamilienhaus im Bestand, Alter 20-25 Jahre, Ersatzinvestition für defekten Gaskessel. Verglichen wird der Fall des Einbaus eines neuen Gaskessels mit dem des Einbaus einer Wärmepumpe.
2. Saniertes Einfamilienhaus im Bestand, Ersatzinvestition für defekten Gaskessel ($H'_T = 100 \text{ Prozent } H'_{T, \text{Ref}}$). Verglichen wird der Fall des Einbaus eines neuen Gaskessels mit dem des Einbaus einer Wärmepumpe.

Beide Abschätzungen erfolgen unter der Prämisse, dass die Wohnkosten nicht steigen, d. h., dass der monatlich an die Bank zu entrichtende Betrag (Tilgung und Zins) die Energiekosteneinsparungen nicht übersteigt. Ziel der Berechnungen ist die Abschätzungen, bei welchen Zinssätzen und bei welchen Laufzeiten der Kredite die Prämisse erreicht wird.

Die Abschätzung erfolgt zunächst ohne Berücksichtigung der bestehenden Förderprogramme, um die Möglichkeit innovativer Finanzierungsmodelle als Alternative zur bestehenden Förderung zu untersuchen. Im Anschluss folgen Berechnungen mit Fördersätzen von 30 Prozent sowie mit 10 Prozent.

Fallbeispiel 1: Wärmepumpe im neueren Bestandsgebäude (unsaniert, Alter 20-25 Jahre)

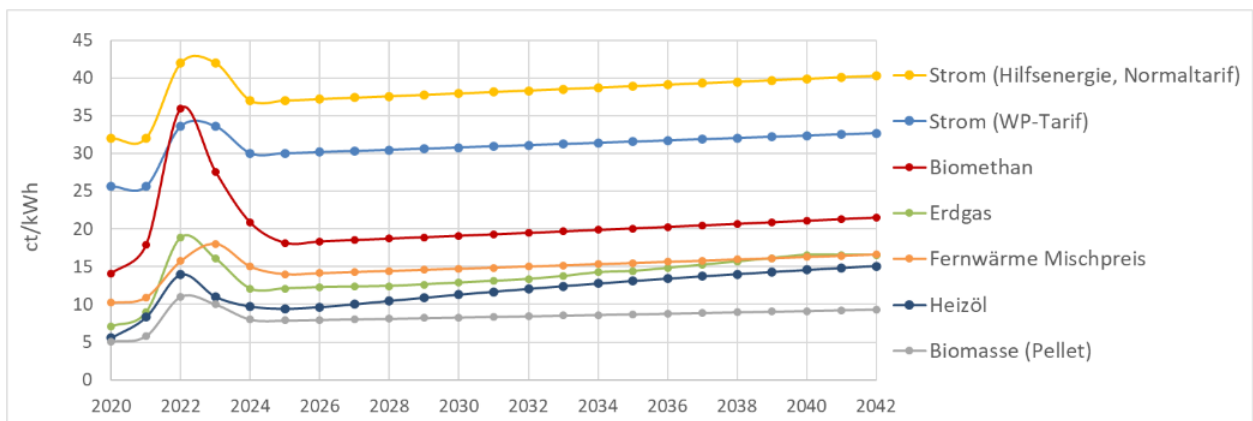
Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zu Grunde:

Tabelle 7: Annahmen für die Berechnungen zu Fallbeispiel 1

	Gaskessel	Luft-Wärmepumpe
Wohnfläche des Gebäudes	150 m ²	
Investition (Euro)	10.980	28.620
Jährliche verbrauchsgebundene Kosten (Euro)	4.458	3.194
Lebensdauer der Maßnahme	20 Jahre	

Quelle: Ifeu et. al. 2023¹⁰⁹

Für die Energiepreise liegen der Studie von Ifeu et. al. 2023 folgende Projektionen zu Grunde:

Abbildung 44: Entwicklung der Energiepreise über den Betrachtungszeitraum

Quelle: Ifeu et. al. 2023

Mit den in Tabelle 7 dargestellten Annahmen ergeben sich folgende für die weiteren Berechnungen relevanten Größen:

1. Der Einbau der Wärmepumpe führt gegenüber dem Gaskessel zu jährlichen Energiekosteneinsparungen in Höhe von 1.264 €.
2. Für die Investition ergibt sich eine Differenz zwischen Gaskessel und Wärmepumpe von 17.640 €.

Tabelle 8 stellt die jährlichen Zahlungen dar, die sich für die Finanzierung der Investitionskostendifferenz von 17.640 € bei verschiedenen Zinssätzen und Laufzeiten ergeben. Die dunkelblau hinterlegten Werte stellen den Bereich dar, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen von 1.264 € pro Jahr. Dies entspricht somit dem Bereich, in dem die Prämisse gleichbleibender Wohnkosten erfüllt ist.

¹⁰⁹ https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/heizen-mit-65-prozent-erneuerbaren-energien.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Tabelle 8: Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Ohne Förderung)

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
0,0 %	-882,00 €	-1.176,00 €	-1.764,00 €
0,3 %	-905,34 €	-1.199,66 €	-1.788,35 €
0,5 %	-929,04 €	-1.223,59 €	-1.812,87 €
0,8 %	-953,10 €	-1.247,79 €	-1.837,58 €
1,0 %	-977,53 €	-1.272,26 €	-1.862,47 €
1,3 %	-1.002,31 €	-1.297,01 €	-1.887,53 €
1,5 %	-1.027,45 €	-1.322,02 €	-1.912,78 €
1,8 %	-1.052,95 €	-1.347,30 €	-1.938,20 €
2,0 %	-1.078,80 €	-1.372,84 €	-1.963,80 €
2,3 %	-1.105,01 €	-1.398,65 €	-1.989,57 €
2,5 %	-1.131,56 €	-1.424,72 €	-2.015,52 €
2,8 %	-1.158,45 €	-1.451,05 €	-2.041,65 €
3,0 %	-1.185,69 €	-1.477,64 €	-2.067,95 €
3,3 %	-1.213,26 €	-1.504,49 €	-2.094,42 €
3,5 %	-1.241,17 €	-1.531,59 €	-2.121,06 €
3,8 %	-1.269,41 €	-1.558,95 €	-2.147,87 €
4,0 %	-1.297,98 €	-1.586,56 €	-2.174,85 €
4,3 %	-1.326,88 €	-1.614,42 €	-2.202,00 €
4,5 %	-1.356,10 €	-1.642,53 €	-2.229,32 €
4,8 %	-1.385,63 €	-1.670,88 €	-2.256,81 €
5,0 %	-1.415,48 €	-1.699,48 €	-2.284,46 €

Die dunkelblau hinterlegten Werte zeigen den Bereich, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen.

Quelle: eigene Berechnungen, Öko-Institut e.V. 2023

Tabelle 9 stellt die jährlichen Zahlungen dar, die sich für die Finanzierung der Investitionskostendifferenz bei verschiedenen Zinssätzen und Laufzeiten ergeben, wobei von einer Förderung von 30 Prozent der Investitionskosten ausgegangen wird. Die grün hinterlegten Werte stellen den Bereich dar, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen von 1.264 € pro Jahr. Dies entspricht somit dem Bereich, in dem die Prämisse gleichbleibender Wohnkosten erfüllt ist. Im Vergleich zum Fall ohne Förderung (Tabelle 8) zeigt sich, dass der Bereich, in dem die Prämisse erfüllt ist, sich deutlich vergrößert, d. h., dass in Kombination mit der bestehenden Förderung eine Finanzierbarkeit deutlich leichter erreicht wird.

Tabelle 9: Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 30 Prozent)

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
0,0 %	-452,70 €	-603,60 €	-905,40 €
0,3 %	-464,68 €	-615,74 €	-917,90 €
0,5 %	-476,84 €	-628,02 €	-930,48 €
0,8 %	-489,19 €	-640,45 €	-943,17 €
1,0 %	-501,73 €	-653,01 €	-955,94 €
1,3 %	-514,45 €	-665,71 €	-968,81 €
1,5 %	-527,36 €	-678,55 €	-981,76 €
1,8 %	-540,44 €	-691,52 €	-994,81 €
2,0 %	-553,71 €	-704,63 €	-1.007,95 €
2,3 %	-567,16 €	-717,88 €	-1.021,18 €
2,5 %	-580,79 €	-731,26 €	-1.034,50 €
2,8 %	-594,59 €	-744,77 €	-1.047,91 €
3,0 %	-608,57 €	-758,42 €	-1.061,41 €
3,3 %	-622,72 €	-772,20 €	-1.074,99 €
3,5 %	-637,05 €	-786,11 €	-1.088,67 €
3,8 %	-651,54 €	-800,16 €	-1.102,43 €
4,0 %	-666,21 €	-814,33 €	-1.116,28 €
4,3 %	-681,04 €	-828,63 €	-1.130,21 €
4,5 %	-696,04 €	-843,05 €	-1.144,23 €
4,8 %	-711,20 €	-857,61 €	-1.158,34 €
5,0 %	-726,52 €	-872,28 €	-1.172,53 €

Die dunkelblau hinterlegten Werte zeigen den Bereich, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen.

Quelle: eigene Berechnungen, Öko-Institut e.V. 2023

Tabelle 10 stellt die jährlichen Zahlungen dar, die sich für die Finanzierung der Investitionskostendifferenz bei verschiedenen Zinssätzen und Laufzeiten ergeben, wobei von einer (im Vergleich zur bestehenden Förderung deutlich reduzierten) Förderung von 10 Prozent der Investitionskosten ausgegangen wird. Die grün hinterlegten Werte stellen den Bereich dar, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen von 1.264 € pro Jahr. Dies entspricht somit dem Bereich, in dem die Prämisse gleichbleibender Wohnkosten erfüllt ist. Im Vergleich zum Fall ohne Förderung (Tabelle 8) zeigt sich, dass der Bereich, in dem die Prämisse erfüllt ist, sich deutlich vergrößert, d. h., dass in Kombination mit der bestehenden Förderung eine Finanzierbarkeit deutlich

leichter erreicht wird. Im Vergleich zum Fall mit Förderung von 30 Prozent zeigt sich allerdings ein deutlich reduzierter Bereich.

Tabelle 10: Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 10 Prozent)

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
0,0 %	-738,90 €	-985,20 €	-1.477,80 €
0,3 %	-758,45 €	-1.005,02 €	-1.498,20 €
0,5 %	-778,30 €	-1.025,07 €	-1.518,74 €
0,8 %	-798,46 €	-1.045,34 €	-1.539,44 €
1,0 %	-818,93 €	-1.065,85 €	-1.560,29 €
1,3 %	-839,69 €	-1.086,57 €	-1.581,29 €
1,5 %	-860,76 €	-1.107,53 €	-1.602,44 €
1,8 %	-882,12 €	-1.128,71 €	-1.623,74 €
2,0 %	-903,77 €	-1.150,10 €	-1.645,18 €
2,3 %	-925,72 €	-1.171,73 €	-1.666,78 €
2,5 %	-947,97 €	-1.193,57 €	-1.688,52 €
2,8 %	-970,50 €	-1.215,63 €	-1.710,40 €
3,0 %	-993,31 €	-1.237,90 €	-1.732,43 €
3,3 %	-1.016,41 €	-1.260,39 €	-1.754,61 €
3,5 %	-1.039,80 €	-1.283,10 €	-1.776,93 €
3,8 %	-1.063,46 €	-1.306,02 €	-1.799,39 €
4,0 %	-1.087,39 €	-1.329,15 €	-1.821,99 €
4,3 %	-1.111,60 €	-1.352,49 €	-1.844,74 €
4,5 %	-1.136,08 €	-1.376,04 €	-1.867,63 €
4,8 %	-1.160,82 €	-1.399,79 €	-1.890,65 €
5,0 %	-1.185,82 €	-1.423,75 €	-1.913,82 €

Die dunkelblau hinterlegten Werte zeigen den Bereich, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen.

Quelle: eigene Berechnungen, Öko-Institut e.V. 2023

Fallbeispiel 2: Wärmepumpe im sanierten Bestandsgebäude (H'T = 100 Prozent H'T,Ref)

Den Berechnungen liegen folgende Annahmen zu Grunde:

Tabelle 11: Annahmen für die Berechnungen zu Fallbeispiel 2

	Gaskessel	Luft-Wärmepumpe
Wohnfläche des Gebäudes	150 m ²	
Investition (Euro)	10.980	23.820
Jährliche verbrauchsgebundene Kosten (Euro)	3.448	2.673
Lebensdauer der Maßnahme	20 Jahre	

Quelle: Ifeu et. al. 2023¹¹⁰

Mit den in Tabelle 11 dargestellten Annahmen ergeben sich folgende für die weiteren Berechnungen relevanten Größen:

1. Der Einbau der Wärmepumpe führt gegenüber dem Gaskessel zu jährlichen Energiekosteneinsparungen in Höhe von rund 775 €.
2. Für die Investition ergibt sich eine Differenz zwischen Gaskessel und Wärmepumpe von 12.840 €.

Tabelle 12 stellt die jährlichen Zahlungen dar, die sich für die Finanzierung der Investitionskostendifferenz von 12.840 € bei verschiedenen Zinssätzen und Laufzeiten ergeben. Die grün hinterlegten Werte stellen den Bereich dar, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen von 775 € pro Jahr. Dies entspricht somit dem Bereich, in dem die Prämisse gleichbleibender Wohnkosten erfüllt ist.

Tabelle 12: Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Ohne Förderung)

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
0,0 %	-642,00 €	-856,00 €	-1.284,00 €
0,3 %	-658,99 €	-873,22 €	-1.301,72 €
0,5 %	-676,24 €	-890,64 €	-1.319,57 €
0,8 %	-693,75 €	-908,26 €	-1.337,56 €
1,0 %	-711,53 €	-926,07 €	-1.355,67 €
1,3 %	-729,57 €	-944,08 €	-1.373,92 €
1,5 %	-747,88 €	-962,29 €	-1.392,29 €
1,8 %	-766,44 €	-980,69 €	-1.410,80 €
2,0 %	-785,25 €	-999,28 €	-1.429,43 €
2,3 %	-804,32 €	-1.018,06 €	-1.448,19 €

¹¹⁰ https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/heizen-mit-65-prozent-erneuerbaren-energien.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
2,5 %	-823,65 €	-1.037,04 €	-1.467,08 €
2,8 %	-843,23 €	-1.056,21 €	-1.486,10 €
3,0 %	-863,05 €	-1.075,56 €	-1.505,24 €
3,3 %	-883,12 €	-1.095,11 €	-1.524,51 €
3,5 %	-903,44 €	-1.114,83 €	-1.543,90 €
3,8 %	-923,99 €	-1.134,75 €	-1.563,42 €
4,0 %	-944,79 €	-1.154,84 €	-1.583,06 €
4,3 %	-965,82 €	-1.175,12 €	-1.602,82 €
4,5 %	-987,09 €	-1.195,58 €	-1.622,70 €
4,8 %	-1.385,63 €	-1.670,88 €	-2.256,81 €
5,0 %	-1.415,48 €	-1.699,48 €	-2.284,46 €

Die dunkelblau hinterlegten Werte zeigen den Bereich, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen.

Quelle: eigene Berechnungen, Öko-Institut e.V. 2023

Tabelle 13 stellt die jährlichen Zahlungen dar, die sich für die Finanzierung der Investitionskostendifferenz bei verschiedenen Zinssätzen und Laufzeiten ergeben, wobei von einer Förderung von 30 % der Investitionskosten ausgegangen wird. Die grün hinterlegten Werte stellen den Bereich dar, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen von 1.264 € pro Jahr. Dies entspricht somit dem Bereich, in dem die Prämisse gleichbleibender Wohnkosten erfüllt ist. Im Vergleich zum Fall ohne Förderung (Tabelle 12) zeigt sich, dass der Bereich, in dem die Prämisse erfüllt ist, sich deutlich vergrößert, d. h., dass in Kombination mit der bestehenden Förderung eine Finanzierbarkeit deutlich leichter erreicht wird.

Tabelle 13: Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 30 Prozent)

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
0,0 %	-284,70 €	-379,60 €	-569,40 €
0,3 %	-292,23 €	-387,24 €	-577,26 €
0,5 %	-299,88 €	-394,96 €	-585,18 €
0,8 %	-307,65 €	-402,77 €	-593,15 €
1,0 %	-315,53 €	-410,67 €	-601,18 €
1,3 %	-323,54 €	-418,66 €	-609,28 €
1,5 %	-331,65 €	-426,73 €	-617,42 €
1,8 %	-339,88 €	-434,89 €	-625,63 €

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
2,0 %	-348,23 €	-443,14 €	-633,89 €
2,3 %	-356,68 €	-451,47 €	-642,21 €
2,5 %	-365,25 €	-459,88 €	-650,59 €
2,8 %	-373,93 €	-468,38 €	-659,02 €
3,0 %	-382,73 €	-476,97 €	-667,51 €
3,3 %	-391,63 €	-485,63 €	-676,05 €
3,5 %	-400,64 €	-494,38 €	-684,65 €
3,8 %	-409,75 €	-503,21 €	-693,31 €
4,0 %	-418,97 €	-512,12 €	-702,02 €
4,3 %	-428,30 €	-521,12 €	-710,78 €
4,5 %	-437,73 €	-530,19 €	-719,60 €
4,8 %	-447,27 €	-539,34 €	-728,47 €
5,0 %	-456,90 €	-548,57 €	-737,40 €

Die dunkelblau hinterlegten Werte zeigen den Bereich, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen.

Quelle: eigene Berechnungen, Öko-Institut e.V. 2023

Tabelle 14 stellt die jährlichen Zahlungen dar, die sich für die Finanzierung der Investitionskostendifferenz bei verschiedenen Zinssätzen und Laufzeiten ergeben, wobei von einer (im Vergleich zur bestehenden Förderung deutlich reduzierten) Förderung von 10 Prozent der Investitionskosten ausgegangen wird. Die grün hinterlegten Werte stellen den Bereich dar, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen von 1.264 € pro Jahr. Dies entspricht somit dem Bereich, in dem die Prämisse gleichbleibender Wohnkosten erfüllt ist. Im Vergleich zum Fall ohne Förderung (Tabelle 12) zeigt sich, dass der Bereich, in dem die Prämisse erfüllt ist, sich deutlich vergrößert, d. h., dass in Kombination mit der bestehenden Förderung eine Finanzierbarkeit deutlich leichter erreicht wird. Im Vergleich zum Fall mit Förderung von 30 Prozent zeigt sich allerdings ein deutlich reduzierter Bereich.

Tabelle 14: Jährliche Zahlungen bei unterschiedlichen Laufzeiten und Zinssätzen (Förderung: 10 Prozent)

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
0,0 %	-522,90 €	-697,20 €	-1.045,80 €
0,3 %	-536,73 €	-711,23 €	-1.060,23 €
0,5 %	-550,79 €	-725,41 €	-1.074,77 €
0,8 %	-565,05 €	-739,76 €	-1.089,42 €

Zinssatz	Laufzeit		
	20 Jahre	15 Jahre	10 Jahre
1,0 %	-579,53 €	-754,27 €	-1.104,18 €
1,3 %	-594,23 €	-768,94 €	-1.119,04 €
1,5 %	-609,13 €	-783,77 €	-1.134,00 €
1,8 %	-624,25 €	-798,75 €	-1.149,08 €
2,0 %	-639,58 €	-813,90 €	-1.164,25 €
2,3 %	-655,11 €	-829,20 €	-1.179,53 €
2,5 %	-670,85 €	-844,66 €	-1.194,92 €
2,8 %	-686,79 €	-860,27 €	-1.210,41 €
3,0 %	-702,94 €	-876,03 €	-1.226,00 €
3,3 %	-719,29 €	-891,95 €	-1.241,69 €
3,5 %	-735,84 €	-908,02 €	-1.257,48 €
3,8 %	-752,58 €	-924,24 €	-1.273,38 €
4,0 %	-769,52 €	-940,60 €	-1.289,38 €
4,3 %	-786,65 €	-957,12 €	-1.305,47 €
4,5 %	-803,97 €	-973,78 €	-1.321,67 €
4,8 %	-821,48 €	-990,59 €	-1.337,97 €
5,0 %	-839,18 €	-1.007,55 €	-1.354,36 €

Die dunkelblau hinterlegten Werte zeigen den Bereich, in dem die jährlichen Zahlungen kleiner oder vergleichbar sind mit den Energiekosteneinsparungen.

Quelle: eigene Berechnungen, Öko-Institut e.V. 2023

C.4 Bewertung der Berechnungen zur Bezahlbarkeitsschwelle

Die Berechnungen zur Bezahlbarkeitsschwelle für die beiden Fallbeispiele zeigen, dass ohne die Berücksichtigung von Förderung nur bei langen Laufzeiten sowie niedrigen Zinssätzen eine Kostenneutralität erreicht werden kann. Im Fall des unsanierten Bestandsgebäudes (Alter 20-25 Jahre) ist dies bei einer Laufzeit von 20 Jahren bis zu einem Zinssatz von 3,8 Prozent erreicht und bei einer Laufzeit von 15 Jahren bis zu einem Zinssatz von etwa 1 Prozent. Im Fall des sanierten Gebäudes ist die Kostenneutralität bei einer Laufzeit von 20 Jahren bis zu einem Zinssatz von 2 Prozent erreicht, bei einer Laufzeit von 15 Jahren stellt sich keine Kostenneutralität ein.

Die Berechnungen zeigen weiterhin, dass die Bezahlbarkeitsschwelle unter Berücksichtigung einer Förderung von 30 Prozent (vergleichbar mit den derzeitigen Förderbedingungen) für die Mehrzahl der betrachteten Varianten von Zinssätzen und Laufzeiten erfüllt ist und somit die Finanzierbarkeit deutlich erleichtert wird. Bei einer deutlich reduzierten Förderung von 10 Prozent der Investitionskosten reduziert sich der Bereich im Vergleich zur Förderung mit 30 Prozent.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Lebensdauer der eingebauten Wärmepumpen in einigen Fällen unter 20 Jahren liegen wird, ist die Laufzeit von 20 Jahren als sehr lang einzustufen. Daraus ergibt sich, dass die Prämisse der Kostenneutralität ohne Berücksichtigung von Förderung sowie bei niedrigen Fördersätzen (10 Prozent) nur bei sehr niedrigen Zinssätzen erreicht werden kann, die unter den derzeitigen Zinsbedingungen nicht realistisch erscheinen.

Als Fazit lässt sich somit festhalten, dass die betrachteten Finanzierungsmodelle in der Praxis eher als Ergänzung zum bestehenden Förderregime fungieren können, und dass dieses dadurch nicht ersetzt werden kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen, und somit die Einschätzung zu den Möglichkeiten von Finanzierungsinnovationen, hängen sehr stark von der Entwicklung der Preise für Erdgas und Wärmepumpenstrom ab. Zudem spielt die Entwicklung der Investitionskosten eine wichtige Rolle. Die Ergebnisse können somit nur eingeschränkt als Grundlage für Empfehlungen dienen, da die Entwicklung der Energiepreise und Investitionskosten mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

C.4.1 Finanzbedarf für Ausfallgarantien

Die beiden in dem Projekt der DENEFF betrachteten Finanzinnovationen „Energiespardarlehen“ (ohne Grundpfandsicherung; hauptsächlich für Einzelmaßnahmen), „Energiehypothek“ (mit Grundpfandsicherung; eher für umfassendere Maßnahmen) basieren auf staatlichen Ausfallgarantien.

In diesem Abschnitt wird der Finanzierungsbedarf für einen solchen Ansatz grob abgeschätzt. Dabei werden folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

- ▶ Für die Ausfallwahrscheinlichkeit wird eine Spannbreite von 3-5 Prozent angenommen. Die Annahme beruht auf Einschätzungen von Expert*innen im Workshop der DENEFF am 16.3.2023.
- ▶ Beim Eintritt eines Ausfalls wird vereinfachend angenommen, dass die Gesamtkosten der (Differenz-)Investition anfallen. Als Durchschnittswert für die Investition wird das unsanierte Bestandsgebäude (Alter 20-25 Jahre) angesetzt.
- ▶ Basierend auf den Abschätzungen zur Größe der Zielgruppen (siehe erster Abschnitt) wird angenommen, dass die Finanzinnovationen für eine Gesamtgruppe von etwa 1.200.000 Haushalten relevant sind. Zusätzlich wird angenommen, dass 4 Prozent dieser Haushalte jährlich ihre Heizung austauschen. Insgesamt ergibt sich somit eine jährliche Fallzahl von etwa 50.000.

Unter den getroffenen Annahmen ergibt sich ein jährlicher Finanzierungsbedarf von etwa 26-44 Mio. Euro. Dieser ist eher als Obergrenze anzusehen, da für die Fälle von Zahlungsausfall jeweils mit dem Gesamtbetrag der Differenzinvestition zwischen Wärmepumpe und Gaskessel gerechnet wurde.

Im Vergleich mit der Förderung in der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) ist dieser Betrag deutlich niedriger. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass allein durch die Bereitstellung von Ausfallgarantien voraussichtlich nicht die notwendigen berechneten Zinssätze erreicht werden können, so dass zusätzliche Fördermittel notwendig wären. Im Vergleich zum Fall ohne Ausfallgarantien könnten diese allerdings niedriger ausfallen.

C.5 Schlussfolgerungen

Die Bereitstellung von Ausfallgarantien, mit denen günstige Finanzierungsinstrumente erreicht werden können, kann dazu beitragen, energetische Sanierungen zu ermöglichen.

Ausfallgarantien können die Hemmschwelle senken, Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen, weil sie den nach Förderung verbleibenden Finanzbedarf abdecken.

Die Berechnungen zeigen am Beispiel einer Heizungserneuerung mit Wärmepumpe, dass unter den betrachteten Kostenannahmen eine Finanzierbarkeit, d. h. gleichbleibende Wohnkosten, unter der Prämisse gleichbleibender Wohnkosten ohne Berücksichtigung der bestehenden Förderung nur bei sehr geringen Zinssätzen sowie langen Laufzeiten erreicht werden kann. Schon eine geringe Förderquote von 10 Prozent kann nennenswerte Spielräume schaffen. Dieser Effekt verstärkt sich bei einer Förderquote von 30 Prozent.

Grundsätzlich bieten die betrachteten innovativen Finanzierungsmodelle im Vergleich zur BEG den Vorteil, dass die Ansätze sich voraussichtlich nicht preisstärkend auswirken. Bei der derzeitigen Förderung im Rahmen der BEG ist davon auszugehen, dass sich durch die attraktiven Förderbedingungen die Preise im Markt für Wärmeerzeuger erhöhen, sofern die Marktakteure einen Teil der Förderung einpreisen.