

CLIMATE CHANGE

59/2025

Wissenschaftliche Analysen zu ausgewählten Aspekten der Statistik erneuerbarer Ener- gien und zur Unterstützung der Arbeits-gruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

Fachbericht Wärmepumpen

CLIMATE CHANGE 59/2025

EVUPLAN des Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit und des
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Forschungskennzahl 37EV 18 102 0

FB001807

Wissenschaftliche Analysen zu ausgewählten Aspekten der Statistik erneuerbarer Ener- gien und zur Unterstützung der Arbeits- gruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

Fachbericht Wärmepumpen

von

Jeannette Wapler, Benjamin Köhler, Jörg Dengler, Danny
Günther, Lotta Koch, Anita Göhl
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

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:

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg

Abschlussdatum:

Januar 2025

Redaktion:

Fachgebiet V 1.8 Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
(AGEE-Stat)
Michael Memmler, Roman Engelhardt

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7936>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Oktober 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor*innen.

Kurzbeschreibung: Wissenschaftliche Analysen zu ausgewählten Aspekten der Statistik erneuerbarer Ener-gien und zur Unterstützung der Arbeits-gruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

Der vorliegende Fachbericht stellt die Fortführung des Berichts „Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes – Bestandsaufnahme und Trends“ (Born et al. 2017) dar. Ziel des Berichts ist, insbesondere die Untersuchung und Plausibilisierung von in den Vorgängerstudien verwendeten Datenquellen, entwickelten Methoden und abgeleiteten Annahmen zur Erstellung der Erneuerbare Energien Statistik im Bereich Umweltwärme und oberflächennahe Geothermie. Es werden insbesondere für die Themenfelder der thermischen Leistung und damit verknüpften Betriebsstundenäquivalente sowie für die Effizienz die Ansätze der Vorgängerstudie diskutiert und neue Literaturquellen sowie eigene Analysen zur Bewertung und Entwicklung der Datenbasis herangezogen.

Abstract: Heat pump technical report

This technical report is a follow up to the report "Analysis of the German Heat Pump Market - Stocktaking and Trends" (Born et al. 2017). The aim of the report is, in particular, the investigation and plausibility check of data sources used in the previous studies, developed methods and derived assumptions for the elaboration of renewable energy statistics in the field of environmental heat and near-surface geothermal energy. The approaches of the previous study are discussed, particularly for the topics of thermal capacity and associated operating hour equivalents as well as for efficiency, and new literature sources as well as own analyses are used to evaluate and develop the data basis.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	11
Tabellenverzeichnis	13
Abkürzungsverzeichnis	15
Zusammenfassung.....	17
Summary	20
1 Einleitung.....	23
2 Quellenlage	24
2.1 Branchenstatistik	24
2.2 Bautätigkeitsstatistik.....	25
2.3 Förderprogramme.....	25
2.3.1 Marktanreizprogramm.....	25
2.3.2 BEG.....	28
2.3.3 Weitere Förderprogramme	28
2.4 Geräte-Datenbanken	29
2.4.1 Wärmepumpen-Testzentrum WPZ Buchs	29
2.4.2 BAFA-Liste der Wärmepumpen mit Prüfnachweis	30
2.4.3 Wärmepumpen KEYMARK	31
2.4.4 Hersteller	31
2.5 Monitoringprojekte.....	31
2.6 Analyse der Monitoringdaten der Bundesnetzagentur	32
2.7 Normen, Richtlinien, Gesetzesvorschriften	33
3 Rechtliche Rahmenbedingungen	34
3.1 Geltende Richtlinie.....	34
3.2 Methodik zur Bestimmung der durch Wärmepumpen gewonnenen Energie aus erneuerbaren Quellen.....	35
3.3 Neufassung der Erneuerbaren-Energie-Richtlinie der EU (RED III) 2023.....	36
3.4 Begleitende Studien	37
3.5 Einordnung der Wärmequellen Abluft und Raumluft als erneuerbare Energie in der RED III und dem Beschluss 2013/114/EU	38
4 Entwicklung des Anlagenbestands	40
4.1 Differenzierung von Wärmepumpengeräten und -anlagen	40
4.1.1 Übersicht.....	40
4.1.2 Sektorale Zuordnung.....	41

4.1.2.1	Sektorale Verteilung in der BAFA-Förderung	41
4.1.2.2	EU-Forschungsprojekt zur Beheizungsstruktur	41
4.1.2.3	Beheizungsstruktur im Gebäudebestand	42
4.1.3	Wärmequellen	45
4.1.4	Wärmepumpentechnologien mit geringer Marktdurchdringung	47
4.1.4.1	Gasbetriebene Wärmepumpen	47
4.1.4.2	Außenluft/Raumluf-Wärmepumpen	48
4.1.4.3	Großwärmepumpen	49
4.1.5	Einordnung.....	53
4.2	Absatzzahlen Wärmepumpen in Deutschland.....	54
4.2.1	Elektrische Heizungswärmepumpen	54
4.2.1.1	Datenbasis	54
4.2.1.2	Plausibilisierung der AGEE-Stat Eingangsdaten	55
4.2.1.3	Entwicklung der Absatzzahlen	56
4.2.2	Elektrische Brauchwasserwärmepumpen	57
4.2.3	Gasbetriebene Wärmepumpen	57
4.2.4	Empfehlungen.....	59
4.3	Mittlere Lebensdauer und Altersstruktur	60
4.3.1	Mittlere Lebensdauer und rechnerische Nutzungsdauer nach VDI 2067.....	60
4.3.2	Auswirkung der Lebensdauer auf den Gesamtbestand.....	62
4.3.1	Empfehlungen.....	65
5	Entwicklung der thermischen Leistung	67
5.1	Definition der thermischen Leistung	67
5.1.1	Relevanz einer Definition.....	67
5.1.2	Definition im Beschluss 2013/114/EU	67
5.1.3	Definitionen nach DIN EN 14511	67
5.1.4	Definition nach Ökodesign-Richtlinie	68
5.1.5	Übersicht der unterschiedlichen Definitionen und deren Verwendung	69
5.1.6	Verwendung der unterschiedlichen Definitionen	70
5.2	Mittlere thermische Leistung je Anlage.....	70
5.2.1	Elektrische Heizungswärmepumpen	70
5.2.1.1	Datenbasis	70
5.2.1.2	Entwicklung der Anteile des Wärmepumpenabsatzes nach Leistungsklassen (primäre Datenquelle)	71

5.2.1.3	Plausibilitätsprüfung bisheriger AGEE-Stat Eingangsdaten	74
5.2.1.4	Entwicklung der mittleren thermischen Leistung.....	78
5.2.2	Elektrische Brauchwasserwärmepumpen	78
5.2.3	Gasbetriebene Wärmepumpen	79
5.2.4	Empfehlungen.....	79
5.3	Thermische Leistung der installierten Wärmepumpen in Deutschland	80
6	Entwicklung der Effizienz.....	83
6.1	Bilanzgrenze	83
6.1.1	Definition im Beschluss 2013/114/EU	83
6.1.2	Elektrische Wärmepumpen	84
6.1.2.1	Definition in Gerätekennwerte und Feldmessungen	84
6.1.2.2	Unterschiede der Definitionen	86
6.2	Mittlerer COP je Anlage	87
6.2.1	Elektrische Heizungswärmepumpe.....	87
6.2.1.1	Einfluss der Änderungen der Prüfbedingungen nach EN 255 und EN 14511	87
6.2.1.2	Luft/Wasser-Wärmepumpe.....	88
6.2.1.3	Sole/Wasser-Wärmepumpe	90
6.2.1.4	Wasser/Wasser-Wärmepumpe	92
6.2.2	Brauchwasserwärmepumpe	93
6.2.3	Gasbetriebene Wärmepumpe	94
6.2.4	Empfehlungen.....	94
6.3	Einflussfaktoren auf die JAZ	95
6.4	Mindestjahresarbeitszahl zur Berücksichtigung der Wärmepumpen	96
6.4.1	Vorgaben RED	96
6.4.2	Auswertung Feldtest.....	96
6.4.3	Einschätzung der Autor*innen.....	97
6.4.4	Auswirkung auf Eingangsparameter in die AGEE-Stat Statistik	98
6.5	Mittlere JAZ je Anlage	98
6.5.1	Heizungswärmepumpe	98
6.5.1.1	Methode zur Ermittlung der JAZ.....	98
6.5.1.2	Luft/Wasser-Wärmepumpe.....	99
6.5.1.3	Sole/Wasser-Wärmepumpe	102
6.5.1.4	Wasser/Wasser-Wärmepumpe	104
6.5.2	Brauchwasserwärmepumpe	104

6.5.3	Gasbetriebene Wärmepumpe	106
6.5.4	Empfehlungen	106
6.6	Hilfsenergiebedarf	107
7	Entwicklung der Betriebsstundenäquivalente	111
7.1	Definition	111
7.2	Elektrische Heizungswärmepumpen.....	111
7.3	Elektrische Brauchwasserwärmepumpen.....	115
7.4	Gasbetriebene Wärmepumpen	117
7.5	Empfehlungen	117
8	Witterungsabhängigkeit	119
8.1	Einführung	119
8.2	Einfluss Witterung auf die bereitgestellte Nutzwärme	119
8.2.1	Methoden zur Witterungsbereinigung des Wärmeverbrauches.....	119
8.2.2	Feldtestdaten	120
8.3	Einfluss Witterung auf die Effizienz	124
8.3.1	Einführung.....	124
8.3.2	Einfluss auf die Leistungszahl im Betrieb.....	124
8.3.3	Einfluss auf die aus erneuerbaren Energien gewonnene Wärme	125
8.3.4	Qualitativer Einfluss auf die JAZ.....	126
8.3.5	Quantitative Einordnung auf die Einflüsse auf Jahresebene	127
8.4	Gesamteinfluss der Witterung	128
8.5	Analyse der Monitoringdaten der Bundesnetzagentur	129
8.6	Empfehlung	133
9	Prognose der Marktentwicklung	136
9.1	Marktentwicklung	136
9.2	Technologietrends	137
9.2.1	Energiewende	137
9.2.2	Digitalisierung	138
9.2.3	Technologieentwicklung	139
10	Quellenverzeichnis	141
A	Anhang	150
A.1	Analyse unterschiedlicher Definitionen der thermischen Leistung.....	150
A.1.1	Wärmenennleistung P_{rated}	150
A.1.2	Nennheizleistung nach DIN EN 14511	152

A.1.3	Vergleich der Wärmenennleistung P_{rated} und Heizleistung nach DIN EN 14511.....	153
A.2	Ergänzungen zum Kapitel 5.2.1.3 Plausibilitätsprüfung bisheriger AGEE-Stat Eingangsdaten.....	156
A.3	Systemsimulation.....	157
A.4	Witterungseinfluss auf die Jahresarbeitszahl: Weitergehende Ausführungen	161
A.5	Beispiele für den Einsatz von Großwärmepumpen	163
A.5.1	Große Flusswärmepumpe für Mannheimer Energieversorger.....	163
A.5.2	Klimafreundliche Wärmeversorgung für Berlin Potsdamer Platz.....	163
A.5.3	Fernwärmesysteme Bergheim	163

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konzept der Berechnung der mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnen Energie	18
Abbildung 2:	Approach to the calculation of energy obtained by means of heat pumps from renewable sources.....	21
Abbildung 3:	Entwicklung der Baufertigstellungen in Deutschland für Mehrfamilienhäuser (MFH >= 3 Wohnungen) und Ein-/Zweifamilienhäuser (EZFH) (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2021).	42
Abbildung 4:	Beheizungsstruktur EZFH und MFH in Deutschland	43
Abbildung 5:	Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes ¹ in Deutschland	44
Abbildung 6:	Bestandsaufnahme Wärmeerzeuger in Nichtwohngebäuden (Hörner, 2021).	45
Abbildung 7:	Übersicht über COP und Leistung von förderfähigen Wärmepumpen > 100 kW (lwwpmod steht für modulierende Luft/Wasser-Wärmepumpen, swwpmod für modulierende Sole/Wasser-Wärmepumpen). Die Daten stammen von Wärmepumpen, die im Jahr 2020 in die Liste der förderfähigen Anlagen des MAP aufgenommen wurden (Bafa, 2020).	52
Abbildung 8:	Luft/Wasser-Wärmepumpen sowie Summe Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen: Absatzzahlen	55
Abbildung 9:	Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen: Absatzzahlen.....	56
Abbildung 10:	Gasbetriebene Wärmepumpen: Geschätzte Absatzzahlen sowie Anzahl der geförderten Wärmepumpengeräte	58
Abbildung 11:	Vergleich des Bestands an Luft/Wasser-Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterberaten.	63
Abbildung 12:	Vergleich des Bestands an Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterberaten.	64
Abbildung 13:	Vergleich des gesamten Bestands an Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterberaten und Anteile Luft/Wasser-Wärmepumpen am Gesamtbestand.	65
Abbildung 14:	Anteile der Verkaufszahlen von Luft/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen in Deutschland (basierend auf der Nennheizleistung A-7/W35)	72
Abbildung 15:	Anteile der Verkaufszahlen von Sole/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen in Deutschland (basierend auf der Nennheizleistung B0/W35)	73
Abbildung 16:	Anteile der Verkaufszahlen von Wasser/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen in Deutschland (basierend auf der Nennheizleistung W10/W35)	74

Abbildung 17:	Mittlere Nennheizleistung von Luft/Wasser-Wärmepumpen (A-7/W35 in Deutschland).....	76
Abbildung 18:	Mittlere Nennheizleistung von Sole/Wasser-Wärmepumpen (B0/W35) in Deutschland	77
Abbildung 19:	Mittlere Nennheizleistung (W10/W35) von Wasser/Wasser-Wärmepumpen in Deutschland	78
Abbildung 20:	Thermische Gesamtleistung der Wärmepumpe – Strom – Luft/Wasser, Sole/Wasser, Wasser/Wasser.....	81
Abbildung 21:	Thermische Gesamtleistung der elektrischen Brauchwasserwärmepumpe.....	82
Abbildung 22:	Thermische Gesamtleistung der Wärmepumpe – Gas – gasmotorisch, Sorption.....	82
Abbildung 23:	Bilanzgrenzen zur Bewertung von Wärmepumpensystemen nach 2013/114/EU.....	83
Abbildung 24:	Bilanzgrenzen zur Bewertung von Wärmepumpensystemen im Feldtest (Beispiel)	86
Abbildung 25:	Entwicklung des COP (A2/W35 nach EN 14511) von Luft/Wasser-Wärmepumpen	90
Abbildung 26:	Entwicklung des COP (B0/W35), nach EN 14511 von Sole/Wasser-Wärmepumpen	92
Abbildung 27:	Entwicklung des COP (W10/W35) von Wasser/Wasser-Wärmepumpen	93
Abbildung 28:	Verhältnis JAZ_WP zu COP (A2/W35 nach EN 14511) von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen im realen Betrieb sowie Simulationsrechnungen.....	101
Abbildung 29:	Verhältnis JAZ_WP zu COP (B0/W35 nach EN 14511) von Sole/Wasser-Wärmepumpen im realen Betrieb sowie Simulationsrechnungen.....	103
Abbildung 30:	Messergebnisse für 35 Außenluft-Wärmepumpen mit Fokus auf die quantifizierbaren Effizienzeinflüsse auf die Jahresarbeitszahl	109
Abbildung 31:	Außenluft/Wasser-Wärmepumpen: witterungsbereinigte Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (A-7/W35).....	114
Abbildung 32:	Sole/Wasser-Wärmepumpen: witterungsbereinigte Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (B0/W35)	115
Abbildung 33:	Außenluft/Wasser-Wärmepumpen: Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (A-7/W35) [obere Grafik]; relative Änderung der Betriebsstundenäquivalente [untere Grafik]	122
Abbildung 34:	Sole/Wasser-Wärmepumpen: Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (B0/W35) [obere	

	Grafik]; relative Änderung der Betriebsstundenäquivalente [untere Grafik]123
Abbildung 35:	Änderungen der mittlere Abnahmemenge je Zählerpunkt Wärmepumpe im Zeitraum 2012 bis 2021 bezogen auf das Jahr 2017131
Abbildung 36:	Änderungen der mittlere Abnahmemenge je Zählerpunkt Wärmepumpe im Zeitraum 2012 bis 2021 bezogen auf das Jahr 2017 sowie Änderung des elektrischen Energiebezuges berechnet mit dem AGEE-Stat Modell für den genannten Zeitraum133
Abbildung 37:	Beispiel der außenlufttemperaturabhängigen Heizleistung einer fixed-speed Außenluft/Wasser-Wärmepumpe und des Teillastverhältnisses der (Gebäude-)Heizlast*151
Abbildung 38:	Heizleistung von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen nach DIN EN 14511: Verhältnis der Heizleistung im Betriebspunkt A- 7/W35 zum Betriebspunkt A2/W35.153
Abbildung 39:	Heizleistung von Erdreich/Wasser-Wärmepumpen: Verhältnis der Wärmenennleistung P_{rated} zu der Heizleistung (B0/W35) nach DIN EN 14511154
Abbildung 40:	Heizleistung von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen: Verhältnis der Wärmenennleistung P_{rated} zu der Heizleistung (A2/W35) nach DIN EN 14511155

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Parameter der Weibull-Verteilung für S/W-Wärmepumpen und L/W-Wärmepumpen (Hubbuch & Vecsei, 2019).....62
Tabelle 2:	Standardwerte für H_{HP} für elektrisch angetriebene Wärmepumpen (EU/2013/14)112
Tabelle 3:	Einflüsse der Witterung auf des COP, den el. Energiebezug und die gewonnene Erneuerbare Energie auf Basis der Effizienzänderung für eine Außenluft/Wasser- Wärmepumpe in Einsatz mit Radiator bzw. mit Fußbodenheizung für Änderung der Außenlufttemperatur im 1K von 6°C auf 7°C126
Tabelle 4:	Einflüsse der Witterung auf die JAZ, den el. Energiebezug und die gewonnene Erneuerbare Energie für drei Szenerien von Jahren mit überdurchschnittlich hoher Gradtagszahl128
Tabelle 5:	Auswirkung der Wahl vom Bivalenzpunkt auf die deklarierte Wärmenennleistung, berechnete Geräteeffizienz SCOP, den Bedarf an elektrischer Energie für eine Zusatzheizung für eine Beispielwärmepumpe150

Tabelle 6:	Gebäudekennwert.....	157
Tabelle 7:	Systemauslegung.....	158
Tabelle 8:	Ergebnisse Außenluft-Wärmepumpe.....	160
Tabelle 9:	Ergebnisse Erdreich-Wärmepumpe.....	161

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
AZ	Arbeitszahl
BAFA	Bundesamts für Wirtschafts- und Ausfuhrkontrolle
BDH	Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e.V.
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
COP	Coefficient of Performance
d	Tag
EHPA	European Heat Pump Association
E_{RES}	Energie aus erneuerbaren Quellen
η	Wirkungsgrad
EU	Europäische Union
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GW	Gigawatt
h	Stunde
ID	Identifikationsnummer
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
l	Liter
MAP	Marktanreizprogramm
min	Minute
MW	Megawatt
NWG	Nichtwohngebäude
OEM	Original Equipment Manufacturer
Pers	Person(en)
PS	Pufferspeicher
PVT	Photovoltaisch-Thermischer Kollektor
Q	Wärmemenge
Sorp.	Sorption
SPF	Jahreszeitbedingter Leistungsfaktor (Seasonal Performance Factor)

a	Jahr
th./ therm.	Thermisch
TWS	Trinkwasserspeicher
UBA	Umweltbundesamt
WP	Wärmepumpe
ZIV	Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband

Zusammenfassung

Der vorliegende Fachbericht ist Teil der wissenschaftlichen Begleitung der am Umweltbundesamt ansässigen Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und unterstützt diese bei der jährlichen Berichtspflicht gegenüber der Europäischen Union sowie bei der nationalen Berichterstattung. Der Fachbericht adressiert den Bereich der oberflächennahen Geothermie und Umweltwärme und unterstützt die Erstellung der Erneuerbare Energien Statistik. Die der Statistik zu Grunde liegenden Annahmen werden beschrieben, bewertet und ggf. weiterentwickelt. Hierbei knüpft der Bericht an die vom Internationalen Geothermiezentrum Bochum (GZB¹) erstellte Vorgängerstudie an (Born et al., 2017).

Am Anfang des Berichtes steht eine Vorstellung und Einordnung relevanter Datenquellen (Kapitel 2), gefolgt von der Erläuterung der rechtlichen Rahmenbedingungen und des Berechnungsansatzes (Kapitel 3). In den anschließenden Kapiteln wird zunächst eine Differenzierung von Wärmepumpen vorgenommen (Kapitel 4.1) und anschließend werden die in der AGEE-Stat Berechnungsmatrix verwendeten Kenngrößen untersucht (Kapitel 4.2 bis Kapitel 7). Hierbei stehen zu Beginn jeweils die Vorstellung und Bewertung unterschiedlicher Definitionen, bevor eine Plausibilisierung und Aktualisierung der bisherigen Eingangsdaten - im Vergleich unterschiedlicher Datenquellen und eigener Analysen - erfolgt. Die Kapitel schließen jeweils mit einer Einordnung bzw. Empfehlung.

Die Rechtsgrundlage für die Berechnung des Anteils von Energie aus erneuerbaren Quellen in den EU-Mitgliedstaaten basiert auf der Renewable Energy Directive RED III (RED III, 2023), die am 20. November 2023 Inkrafttreten ist und bis zum 31. Mai 2025, in einigen Abschnitten schon am 1. Juli 2024 in nationales Recht umgesetzt werden muss. Die hier wesentlichen Bestimmungen sind bereits in der RED II (EU) 2018/2001 (RED II, 2018) formuliert. Maßgeblich ist zudem die Verordnung (EG) 1099/2008 und der Beschluss 2013/114/EU.

In der AGEE-Stat Berechnungsmatrix werden sechs Kategorien verwendet: drei Gruppen von elektrischen Heizungswärmepumpen unterteilt nach Wärmequellemedium (Außenluft, Sole, Wasser), elektrische Brauchwasserwärmepumpen sowie gasbetriebene Sorptionswärmepumpen und Gasmotor-Wärmepumpen. Der Anteil der elektrischen Heizungswärmepumpen an der gesamten installierten Heizleistung beträgt über 90 %. Die anderen Wärmepumpenklassen sind damit von geringem Einfluss auf die Statistik.

Von Bedeutung für den Betrieb einer Wärmepumpenanlage - und damit für den Umfang der mittels Wärmepumpe aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie – ist neben der Wärmequelle insbesondere der Anwendungsbereich. Heutzutage liegt der Einsatz von Wärmepumpen weiterhin überwiegend bei der gebäudeweisen Wärmebereitstellung für Wohngebäude. Hier ist noch die Verwendung in Kombination mit einer Flächenheizung von höherer Bedeutung als in Kombination mit Radiatorheizungen. Vor diesem Hintergrund fokussiert der Fachbericht die Ermittlung und Bewertung von Kenndaten für diesen Anwendungsbereich. Die Autor*innen empfehlen, die Eingangsdaten in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix derzeit an diesem Einsatzbereich zu orientieren und in mehreren Jahren zu überprüfen, inwieweit eine Berücksichtigung unterschiedlicher Anwendungsbereiche notwendig ist. Es wird ein zunehmender Einsatz von Wärmepumpen im Altbau, im

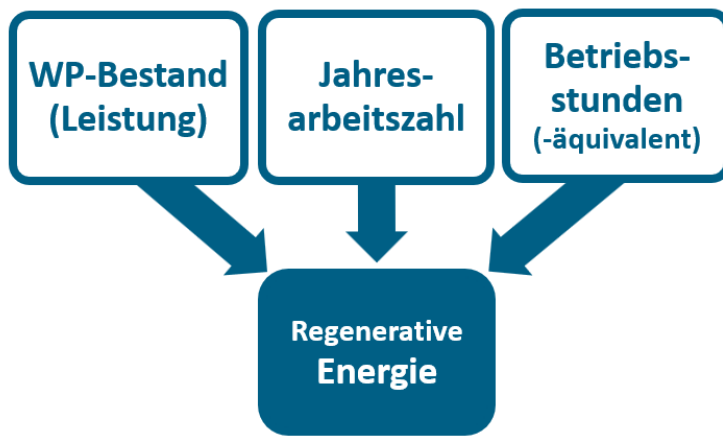
¹ Die wissenschaftlichen Aktivitäten des GZB werden seit dem 01.01.2020 am Fraunhofer IEG fortgeführt.
<https://www.ieg.fraunhofer.de/de/ueber-uns/leitung/bracke.html>.

Mehrfamilienhaus-Bereich und außerhalb der Wohngebäudebeheizung sowie in der Umsetzung von Quartierslösungen gesehen.

Bei der Fortschreibung der AGEE-Stat Berechnungsmatrix empfehlen die Autor*innen den Absatz von Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen im Blick zu behalten und - falls relevant - deren Einsatzbereiche zu untersuchen.

Die Menge der mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie wird gemäß RED II auf Basis der installierten nominalen Gesamtheizleistung aller Wärmepumpen, dem durchschnittlichen jahreszeitbedingten Leistungsfaktor ($SCOP_{net}$ bzw. $SPER_{net}$) sowie dem durchschnittlichen Betriebsstundenäquivalent ermittelt.

Abbildung 1: Konzept der Berechnung der mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnen Energie



Quelle: eigene Darstellung, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Der **Wärmepumpenbestand** ermittelt sich aus dem Wärmepumpenabsatz in den einzelnen Jahren, der jeweils mittleren nominalen Heizleistung sowie der Lebensdauer der installierten Wärmepumpen. Als Datenquelle für die Absatzzahlen elektrischer Wärmepumpen wird die jährlich veröffentlichte BDH/BWP-Absatzstatistik als geeignete Datenbasis für die AGEE-Stat Berechnungsmatrix eingeordnet (vgl. Kapitel 2.1, 4.2 und 5.2). Diese erfasst Heizungswärmepumpen getrennt nach Wärmequelle und Leistungsklasse (<10 kW, 10 - 20 kW und > 20 kW, bzw. 20 kW - 50 kW und > 50kW bei Sole/Wasser-Wärmepumpen) sowie Brauchwasserwärmepumpen. Die mittlere nominale Heizleistung je Leistungsklasse wird in diesem Fachbericht auf Basis der BAFA-geförderten Wärmepumpen hergeleitet. Die Lebensdauer von Heizungswärmepumpen ist in Kapitel 4.3 adressiert. Es bietet sich an, zukünftig unterschiedliche mittlere Lebensdauern für Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen anzusetzen sowie auf neueren empirischen Erhebungen basierte Lebensdauerverteilmfunktionen zu verwenden.

Großwärmepumpen (vgl. Kapitel 4.1.4.3) spielen sowohl hinsichtlich der installierten Stückzahlen als auch der installierten Gesamtleistung bislang nur eine geringe Rolle. Es werden sowohl in der Serienfertigung als auch im Bereich einzelgefertigter Großanlagen starke und quantitativ zunehmend relevante Zuwächse und Verschiebungen hin zu größeren Leistungsklassen erwartet, wenn zum einen auch Mehrfamilienhäuser regelmäßig von Wärmepumpen versorgt werden (ab 50 kW bis mehrere hundert kW) und „richtige“ Großwärmepumpen für die Versorgung von Wärmenetzen und industrielle Prozesse weit im Megawattbereich die Regel werden. Vor diesem Hintergrund empfehlen die Autor*innen in nachfolgenden Studien die Leistungsklasse > 50 kW differenzierter zu betrachten.

Die Zeitreihe der **Jahresarbeitszahl** (vgl. Kapitel 6) wird auf Basis einer Zeitreihe des nominalen COP-Wertes der einzelnen Wärmepumpenklassen und eines jeweiligen Umrechnungsfaktors ermittelt. In dem vorliegenden Fachbericht wird die bisher verwendete Zeitreihe des COP-Wertes anhand einer Auswertung aller - in den letzten Jahren - BAFA-geförderten Wärmepumpen plausibilisiert. Die bisher angesetzte Erhöhung des COP-Kennwertes erscheint noch stimmig und ist in wenigen Jahren erneut zu überprüfen. Zur Plausibilisierung des bisher verwendeten Faktors JAZ zu COP erfolgt eine Auswertung von Monitoringergebnissen aus zwei Forschungsvorhaben im Wohngebäudebereich und eine unterstützende simulationsbasierte Bewertung. Diese bestätigen die Eignung der bisherigen Annahmen. Da das JAZ zu COP-Verhältnis von den Einsatzbedingungen (Temperatur im Betrieb) bestimmt wird, wird empfohlen diesen Wert vor dem Hintergrund sich erweiternder Anwendungsbereiche in einigen Jahren zu prüfen, und ggf. einen gewichteten Mittelwert aus Kennwerten für unterschiedliche Anwendungsbereiche zu herzuleiten.

Die **Betriebsstundenäquivalente** (vgl. Kapitel 7) sind ein fiktiver Rechenwert ermittelt aus der bereitgestellten Wärme dividiert durch die nominale Heizleistung. Die Betriebsstundenäquivalente sind insbesondere abhängig von der Charakteristik des Anwendungsbereiches, der Auslegung der Wärmepumpenanlage, möglichen Abweichungen vom Planungswert und realem Betrieb sowie des zugrunde gelegten Teillastfaktors bei der angegebenen nominalen Heizleistung bei leistungsgeregelten Wärmepumpen. Die in einschlägigen Normen und Richtlinien aufgeführte Angaben zu „Betriebszeiten“, „Volllaststunden“ etc. sind nicht geeignet, da diese auf anderen Definitionen basieren. Da auch aus Veröffentlichungen zu Monitoringprojekten keine Auswertungen der Betriebsstundenäquivalente bekannt sind, wurde im Rahmen der vorliegenden Studien eine Analyse von Monitoringdaten aus Wohngebäuden von je rund 35 Außenluft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen durchgeführt. Der bisherige Eingangswert des Betriebsstundenäquivalents innerhalb der AGEE-Stat Berechnungsmatrix von 2.050 h/a (identisch für alle Heizungs-Wärmepumpentypen) liegt im Bereich der mittleren 50 % der untersuchten Feldanlagen (1.450 h/a bis zu 2.300 h/a bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen und 1.480 h/a bis 2.150 h/a bei Sole/Wasser-Wärmepumpen). Aufgrund der hohen Bandbreite der Betriebsstundenäquivalente, die sich in den untersuchten Feldtests zeigen und der damit einhergehenden Unschärfe der Festsetzung eines Eingangswertes für die Berechnungsmatrix, wird keine Notwendigkeit gesehen die bisherigen Eingangswerte anzupassen. Für Brauchwasserwärmepumpen wird bisher ein Eingangswert des Betriebsstundenäquivalents von 600 h/a verwendet. Zusammen mit der angesetzten mittleren Heizleistung von 2 kW ergibt sich eine Wärmebereitstellung zur Trinkwassererwärmung, die halb so hoch ist wie der Rechenwert nach ((Deutsches Institut für Normung e.V [DIN], 2003)) für ein Einfamilienhaus mit 3 Personen.

Für die Berichterstattung der AGEE-Stat sind fortschreibbare Zeitreihen erforderlich. Einige Datenquellen liegen als jährlich aktualisierte Angaben vor (bspw. BDH/BWP-Absatzstatistik, Neubaustatistik), andere Datenquellen bilden Ergebnisse von Forschungsvorhaben (bspw. Bestanderhebungen, Monitoringprojekte, Simulationsstudien, Umfragen, ...) oder im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung durchgeführte Analysen. Diese nicht persistenten Datenquellen können als Stützpunkte für einzelne Jahre herangezogen und mit Experten*Expertinneneinschätzungen fortgeschrieben werden. Vor dem Hintergrund der Unschärfe der Festsetzungen der Eingangsdaten und der (bisher) geringen Dynamik im Anwendungsbereich, erscheint es hinreichend genau, die Eingangsdaten der mittleren Heizleistung je Leistungsklasse, der Effizienz und der Betriebsstundenäquivalente im Abstand mehrerer Jahre im Rahmen von Fachstudien neu zu bewerten und ggf. anzupassen.

Summary

This technical report is part of the scientific support of the AGEE-Stat office located at the Federal Environment Agency and supports the office in its annual reporting obligations to the European Union as well as in national reporting. The technical report addresses the field of near-surface geothermal energy and environmental heat and supports the compilation of the Renewable Energies Statistics. The data on which the statistics are based are described, evaluated and, if necessary, further developed. The report follows on from the previous study prepared by the International Geothermal Centre Bochum (GZB) (Born et al., 2017).

The report begins with a presentation and classification of relevant data sources (chapter 2), followed by an introduction to the legal framework and the calculation approach (chapter 3). In the following chapters, heat pumps are first differentiated (chapter 4.1) and then the parameters used in the AGEE-Stat calculation matrix are examined (chapter 4.2 to chapter 7). At the beginning of each chapter, different definitions are presented and evaluated, before the plausibility check and updating of the previous input data - by comparing different data sources and own analyses - is carried out. Each chapter concludes with a classification or recommendation.

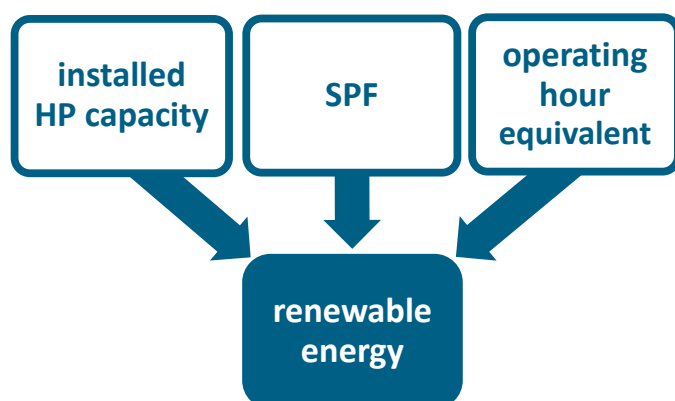
The legal basis for calculating the share of energy from renewable sources in the EU member states is based on the Renewable Energy Directive RED II (EU) 2018/2001, which was replaced by RED III when it came into force on 20 November 2023 and must be transposed into national law by 31 May 2025, in some sections by 1 July 2024, as well as on Regulation (EC) 1099/2008 and Decision 2013/114/EU.

Six categories are used in the AGEE-Stat calculation matrix: three groups of electric heating heat pumps split by heat source medium (outdoor air, brine, water), electric domestic hot water heat pumps, and gas-fired sorption heat pumps and gas engine heat pumps. Electric heating heat pumps account for more than 90 % of the total installed heating capacity. The other heat pump classes are thus of little influence on the statistics.

In addition to the heat source, the area of application is of particular importance for the operation of a heat pump system - and thus for the amount of energy generated from renewable sources by means of a heat pump. Today, heat pumps are still mainly applied in residential buildings. Here, the use in combination with floor heating is still of higher importance than in combination with radiator heating. With this background, the technical report focuses on the determination and evaluation of characteristic data for this field of application. The authors recommend orienting the input data for the AGEE-Stat calculation matrix to this application area at the moment and to check in a few years to what extent a consideration of different application areas is necessary. An increasing use of heat pumps in existing buildings, in the multi-family houses and in TCS sector as well as in the implementation of district solutions is expected.

The amount of energy from renewable sources generated by means of heat pumps is determined in accordance with RED II on the basis of the total installed nominal heating capacity of all heat pumps, the average seasonal performance factor ($SCOP_{net}$ or $SPER_{net}$) and the average operating hours equivalent.

Abbildung 2: Approach to the calculation of energy obtained by means of heat pumps from renewable sources



Source: own illustration, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

The heat pump stock is determined from the heat pump sales in the individual years, the respective average nominal heating capacity and the lifetime of the installed heat pumps. As a data source for the sales figures of electric heat pumps, the annually published BDH/BWP sales statistics is considered a suitable database for the AGEE-Stat calculation matrix (cf. chapters 2.1, 4.2 and 5.2). This statistic comprises heating heat pumps separately according to heat source and capacity class (<10 kW, 10 – 20 kW and > 20 kW, or 20 kW – 50 kW and > 50 kW for brine/water heat pumps) as well as domestic hot water heat pumps. The average nominal heating capacity per capacity class is derived in this technical report on the basis of BAFA²-subsidized heat pumps. The lifetime of heating heat pumps is addressed in chapter 4.3. In the future, it is recommended to apply different mean lifetimes for brine-to-water and air-to-water heat pumps and to use lifetime distribution functions based on recent empirical surveys.

Large-scale heat pumps (cf. chapter 4.1.4.3) have so far been of minor importance, both in terms of installed unit numbers and total installed capacity. Strong and quantitatively increasingly relevant growth and shifts towards larger capacity classes are expected, both in series production and in the area of individually manufactured large-scale systems, once, on the one hand, multi-family houses are also regularly supplied by heat pumps (from 50 kW to several hundred kW) and "real" large-scale heat pumps for supplying heat networks and industrial processes well into the megawatt range become the standard. Against this background, the authors recommend to consider the performance class > 50 kW in a more differentiated way in subsequent studies.

The time series of the annual performance factor (cf. chapter 6) is determined on the basis of a time series of the nominal COP value of the individual heat pump classes and a respective conversion factor. In the present technical report, the time series of the COP value used so far is plausibilized on the basis of an evaluation of all - in the last years - BAFA-subsidized heat pumps. The so far applied increase of the COP-value still seems to be coherent and has to be checked again in a few years. In order to check the plausibility of the previously used factor (SPF to COP ratio), an evaluation of monitoring results from two research projects in the residential building sector and a supporting simulation-based evaluation are carried out. The outcomes confirm the suitability of the previous assumptions. Since the SPF to COP ratio is determined by the conditions of use (temperature in operation), it is recommended that this value be reviewed in a

² BAFA: federal office for economic affairs and export control

few years against the background of expanding areas of application and, if necessary, that a weighted average value be derived from characteristic values for different areas of application.

The operating hour equivalent (see chapter 7) is a notional calculated value determined from the heat supplied divided by the nominal heating capacity. The operating hour equivalent depends in particular on the characteristics of the application, the dimensioning of the heat pump, possible deviations from the planned value and actual operation as well as the partial load factor used as a basis for the specified nominal heat capacity in the case of power-controlled heat pumps. The data on "operating times", "full load hours" etc. listed in standards and guidelines are not suitable, as these are based on other definitions. Since no evaluations of operating hour equivalents are known from publications on monitoring projects either, an analysis of monitoring data from residential buildings of about 35 outdoor air/water and brine/water heat pumps each was carried out as part of the present study. The previous input value of operating hour equivalents into the AGEE-Stat calculation matrix of 2,050 h/a (identical for all heat pump types) is in the range of the middle 50 % of the investigated field installations (1,450 h/a up to 2,300 h/a for outdoor air/water heat pumps and 1,480 h/a to 2,150 h/a for brine/water heat pumps). Due to the high range of operating hour equivalents shown in the field tests investigated and the associated uncertainty of setting an input value for the calculation matrix, no need is seen to adjust the input values used so far. For domestic hot water heat pumps, an input value of the operating hours equivalent of 600 h/a has been used to the present. Together with the assumed average heating output of 2 kW, this results in a heat supply for domestic hot water heating that is half as high as the calculated value according to (DIN V 4701-10) for a detached house with 3 people.

For the reporting of the AGEE-Stat, continuous time series are required. Some data sources are available as annually updated data (e.g. BDH/BWP sales statistics, new building statistics), other data sources are results of research projects (e.g. surveys, monitoring projects, simulation studies, ...) or analyses carried out within the framework of scientific studies supporting AGEE-stat. These non-persistent data sources can be used as reference points for individual years and updated with expert assessments. Against the background of the uncertainty of the input data and the (so far) low dynamics in the field of application, it seems sufficiently accurate to re-evaluate and, if necessary, adjust the input data of the average heat capacity, the efficiency and the operating hour equivalent at intervals of some years within the framework of technical studies.

1 Einleitung

Der vorliegende Fachbericht wurde im Auftrag des Leipziger Institutes für Energie GmbH für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien Statistik (AGEE-Stat) erstellt. Er ist Teil der wissenschaftlichen Begleitung der am Umweltbundesamt ansässigen Geschäftsstelle der AGEE-Stat und unterstützt diese bei der Berichtspflicht gegenüber der Europäischen Union sowie bei der nationalen Berichterstattung im Bereich der oberflächennahen Geothermie und Umweltwärme. Eine erste Vorgängerstudie im Auftrag der AGEE-Stat wurde im Jahr 2010 vom Internationalen Geothermiezentrum Bochum (GZB³) veröffentlicht, diese wurde zuletzt im Jahr 2017 vom GZB in zweiter Aktualisierung publiziert. Damit stellt der vorliegende Bericht die Fortführung des 2017 veröffentlichten Berichts „2. Aktualisierung der Studie Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes – Bestandsaufnahme und Trends“ (Born et al., 2017) dar.

Dieser Bericht begleitet wie die Vorgängerstudien die Erstellung der Erneuerbare Energien Statistik im Bereich Umweltwärme und oberflächennahe Geothermie und beschreibt und bewertet die zugrundeliegenden Annahmen und technischen Daten. Vergleichbar der Vorgängerstudie wurden u.a. folgende Themengebiete näher betrachtet, im Gesamten einer Neubewertung unterzogen und zum Teil weiterentwickelt:

- ▶ Typische Lebensdauer von Wärmepumpen (Sterbekurve des Anlagenbestands)
- ▶ Mittlere thermische Leistung
- ▶ Betriebsstundenäquivalent im realen Betrieb
- ▶ Mittlere Effizienz im realen Betrieb
- ▶ Großwärmepumpen
- ▶ Gaswärmepumpen

³ Die wissenschaftlichen Aktivitäten des GZB werden seit dem 01.01.2020 am Fraunhofer IEG fortgeführt.
<https://www.ieg.fraunhofer.de/de/ueber-uns/leitung/bracke.html>.

2 Quellenlage

Für statistische Betrachtungen zu dem Umfang und dem Betrieb des Anlagenbestands an Wärmepumpen stehen in Deutschland derzeit bzw. in den letzten Jahren im Wesentlichen folgende Quellen zur Verfügung:

- ▶ die gemeinsame Absatzstatistik der Branchenverbände Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie (BDH) und des Bundesverbandes Wärmepumpe (BWP)
- ▶ die Bautätigkeitsstatistik, in der bundesweit über die statistischen Landesämter für Neubauten u.a. Wärmepumpen als primäre und gegebenenfalls sekundäre Wärmeerzeuger erfasst werden
- ▶ das Förderprogramm „Marktanreizprogramm (MAP)“ des Bundes steht für den Zeitraum 2000 bis 2020 als Referenz zur Verfügung und seit 2021 das Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG)
- ▶ Herstellerangaben, Studien.
- ▶ Normen, Richtlinien, Gesetzesvorschriften.

2.1 Branchenstatistik

Die beiden Branchenverbänden Bundesverband Wärmepumpe e.V. (BWP) und Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH) führen stetig eine Erhebung der in Deutschland verkauften Wärmepumpen durch. Bislang umfasst dies elektrische Heizungswärmepumpen sowie Brauchwasserwärmepumpen. Gasbetriebene Wärmepumpen werden nicht erfasst. „Zur Erfassung der Absatzzahlen melden die in den Verbänden organisierten Firmen ihre monatlichen Absatzzahlen an einen treuhänderisch eingesetzten Notar, der die gemeldeten Zahlen anonymisiert an den BWP und den BDH weiterleitet“ (Born et al., 2017). Die Erfassung erfolgt getrennt nach Wärmepumpentyp (Luft/Wasser, Sole/Wasser-, Wasser/Wasser- und sonstigen elektrischen Heizungswärmepumpen (bspw. Direktverdampfung, Abluft-Wärmepumpen und Lüftung/Heizungs-Kompaktgeräte) sowie Brauchwasserwärmepumpen und nach Leistungsklasse, vgl. Kapitel 5.2.1 (Bundesverband Wärmepumpe e. V [BWP], 2021, 2022a).

Da sehr viele Herstellerfirmen innerhalb der beiden Verbände organisiert sind und regelmäßig ihre Absatzzahlen an die Verbände melden, spiegeln die erhobenen Zahlen einen Großteil des deutschen Wärmepumpenmarktes wider. BDH und BWP nehmen eine Einschätzung des nicht erfassten Marktanteils vor und schlagen diese den erhobenen Zahlen zu. Für den Zeitraum ab 2012 wird eine Marktabdeckung von 95 % für Heizungswärmepumpen (in gleichem Maße für alle Wärmepumpentypen) und 80 % für Brauchwasserwärmepumpen angenommen (BWP, 2022a). In den Zeiten zuvor wird ein einheitlicher Wert der Marktabdeckung bei Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen von 90 % (2001 bis 2010), 85 % (1991 und 2000) bzw. 80 % (vor 1991) angenommen (Born et al., 2017).

In den jährlich in Pressemitteilungen veröffentlichten Zahlen wird die Gruppe der sonstigen elektrischen Heizungswärmepumpen der als Wasser/Wasser-Wärmepumpen ausgewiesenen Gruppe zugeschlagen (BWP, 2022b).

Bewertung

Die von den Branchenverbänden BWP und BDH durchgeführte Erhebung der monatlichen Absatzzahlen von elektrischen Wärmepumpen stellt durch die hohe Marktabdeckung die derzeit belastbarste Datenquelle dar, den jährlichen Verlauf der Absatzzahlen von elektrischen Wärmepumpen in Deutschland abzuschätzen. Die BDH/BWP-Absatzstatistik wird als valide und aktuell beste verfügbare Quelle eingeschätzt. Es wird empfohlen, dass die AGEE-Stat auch weiterhin diese Datenbasis verwendet.

2.2 Bautätigkeitsstatistik

Erhoben werden die Baugenehmigungen, die Baufertigstellungen, der Bauüberhang sowie die Bauabgänge durch die Landesämter für Statistik (Mehnert, 2013). Seit einer Erweiterung des Genehmigungsbogens zu Beginn des Jahres 2010 wird neben der genutzten Energiequelle zum Heizen der Wohngebäude auch nach einer eventuell zusätzlich genutzten Energiequelle gefragt und dabei auch differenziert nach der Beheizung mittels Wärmepumpe gefragt. Eine Erweiterung des Erhebungsbogens erfolgte Anfang des Jahres 2012, seither wird auch nach der Art der Trinkwassererwärmung gefragt. Die Erhebung dient auch zum Nachweis der Erfüllung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG), (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2022). Insofern wird erfasst, wie hoch der Anteil erneuerbarer Energien (definiert in §2 EEWärmeG) bei der Wärme- und Kälteversorgung der erfassten Neubauten ist.

Bewertung

Die Bautätigkeitsstatistiken sollten den zum Zeitpunkt der jeweiligen Genehmigungsplanung vorgesehenen Zubau von Wärmepumpen seit 2010 wiedergeben. Die Erfassung von Bauabgängen enthält keine Daten zu Wärmeerzeugern, es ist allerdings nicht zu erwarten, dass Wärmepumpenanlagen in nennenswertem Umfang auf diese Weise vor Ablauf ihrer mittleren Lebensdauer abgängig sind. Die Daten aus den Bautätigkeitsstatistiken der Länder können somit zur Validierung der Daten aus anderen Quellen herangezogen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Qualität der Anlagen (JAZen) und Umfang des Versorgungsanteils nur mit dem groben Detaillierungsgrad erfasst wird, wie er für den Nachweis der Erfüllung des EEWärmeG erforderlich ist. Außerdem ist durch den Zeitpunkt der Erfassung (Genehmigungsplanung) nicht gewährleistet, dass die Umsetzung der angegebenen Versorgungslösung gegeben ist. Es liegen allerdings keine Angaben über das Maß möglicher Abweichungen vor.

2.3 Förderprogramme

2.3.1 Marktanreizprogramm

Über das „Marktanreizprogramm zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ (MAP) förderte das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Wärmepumpen in den Jahren 2000 bis 2020 gefördert. Das MAP umfasste zwei Förderteile: eine Förderung über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) sowie die Förderung der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Das BAFA vergab Investitionszuschüsse, während die KfW zinsgünstige Darlehen mit Tilgungszuschüssen gewährte. Im MAP-Fördersegment der Wärmepumpen war ausschließlich die BAFA-Förderung von Bedeutung. Die MAP-Förderung der KfW, die sich nur an Wärmepumpenanlagen mit einer

Heizleistung über 100 kW richtete, wurde bei maximal 10 Anlagen je Jahr in Anspruch genommen⁴. Daher beziehen sich die folgenden Ausführungen zum MAP ausschließlich auf den BAFA-Teil, der sich (in den meisten Jahren) an Wärmepumpen mit einer Heizleistung bis 100 kW richtete. Im Jahr 2020 wurde diese Begrenzung aufgehoben.

Die Fördertatbestände und Antragsverfahren der BAFA-Förderung haben sich über den Zeitraum von 20 Jahren immer wieder geändert (bspw. ob Wärmepumpen nur im Gebäudebestand oder auch im Neubau gefördert werden und die technischen Fördervoraussetzungen, wie Mindestwert der Geräte- und Anlagen-Effizienz). Die folgende Auflistung benennt die Hauptkriterien in den Jahren 2011 bis 2019.

Laut BAFA wurde die Errichtung von effizienten Wärmepumpen bis einschließlich zu einer Nennwärmeleistung von 100 kW für folgende Einsatzbereiche gefördert:

- ▶ Kombinierte Warmwasserbereitung und Raumheizung von Gebäuden
- ▶ Ausschließlich Raumheizung von Gebäuden, wenn die Warmwasserbereitung des Gebäudes zu einem wesentlichen Teil durch andere erneuerbare Energien erfolgt
- ▶ Ausschließlich Raumheizung von Nichtwohngebäuden
- ▶ Bereitstellung von Wärme für Wärmenetze
- ▶ Nicht förderfähig waren: Luft/Luft-Wärmepumpen sowie sonstige Wärmepumpen, die die erzeugte Wärme direkt an die Luft übertragen, ebenso wie Brauchwasserwärmepumpen.

Förderfähig waren jeweils Wärmepumpenfabrikate, die jeweils gültigen COP-Grenzwerte einhalten und in der „Liste der Wärmepumpen mit Prüf- / Effizienznachweis“ aufgeführt waren (vgl. 2.4.2)

Wesentliche Fördervoraussetzung für Wärmepumpenanlagen war der Nachweis einer (nach VDI 4650-1 bzw. VDI 4650-2) berechneten Mindest-Jahresarbeitszahl bzw. einer Mindest-Heizzahl. Die Grenzwerte unterscheiden sich nach Bauart der Wärmepumpe und nach dem zu beheizenden Gebäudetyp. Im Gebäudebestand galten folgende Grenzwerte⁵:

- ▶ Elektrische Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen: 3,8 (in Nichtwohngebäuden 4,0)
- ▶ Elektrische Luft/Wasser-Wärmepumpen: 3,5
- ▶ Sorptions- und gasmotorische Wärmepumpen 1,25 (in Nichtwohngebäuden: 1,3)

⁴ Diese Aussage stützt sich auf den Zeitraum 2012 bis 2020. Für den Zeitraum bis 2012 sind den Autoren keine Angaben zu Förderzahlen bekannt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auch in dem Zeitraum zuvor der MAP-Förderung der KfW keine hohe Bedeutung zu kam.

⁵ Es bestand – sowohl im Gebäudebestand wie auch im Neubau – zusätzlich die Möglichkeit der Förderung „verbesserter Systemeffizienz“ für Wärmepumpenanlagen mit zusätzlichen Anlagenteilen bzw. Sonderbauformen, die mit zusätzlichem Investitionsaufwand eine verbesserte Systemeffizienz erreichen. Diese wurden nur in minimalem Umfang nachgefragt.

Im Neubau, sowie für einen um 50% erhöhten Fördersatz gegenüber der Basisförderung im Gebäudebestand, galten folgende Grenzwerte:

- ▶ Elektrische Wärmepumpe: 4,5.
- ▶ Sorptions- und gasmotorische Wärmepumpen: 1,5

Der Nachweis einer berechneten Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5 zur Förderung im Neubau bzw. für erhöhte Fördergelder im Gebäudebestand konnte von Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen bei Einsatz von Flächenheizungen, sowie meist auch bei Einsatz von Radiatoren erbracht werden. Hingegen wird dieser Grenzwert bei Luft/Wasser-Wärmepumpen nur unter günstigen Betriebsbedingungen (z.B. Einsatz einer Flächenheizung) und einem hohen COP-Wert erreicht werden. Nach Einschätzung der Autor*innen spiegelt die Verteilung der geförderten Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpengeräte die Verteilung am Markt gut wider. Im Bereich der im Gebäudebestand in der Basisförderung geförderten Luft/Wasser-Wärmepumpen könnte dies auch zutreffen. Im Bereich der Förderung im Neubau bzw. der Innovationsförderung im Gebäudebestand liegt die Vermutung nahe, dass in dem Fördersegment die Verteilung der geförderten Luft/Wasser-Wärmepumpen hin zu Geräten mit einem hohen COP verschoben ist.

Im Rahmen der regelmäßig von unabhängigen Instituten durchgeführten Evaluationsprojekte zum MAP werden Berichte veröffentlicht, die u.a. folgende Angaben enthalten:

- ▶ Anzahl der geförderten Wärmepumpen nach Wärmepumpentyp
- ▶ Mittlere Leistung der geförderten Wärmepumpen
- ▶ Regionale Verteilung
- ▶ Wirtschaftszweig
- ▶ Gebäudetyp
- ▶ berechnete Jahresarbeitszahl, nominaler COP (in einer Stichprobenauswertung)

Bewertung

Für die Bewertung der Absatzzahlen der Wärmepumpen ist die Auswertung der BAFA-Förderung (sei es im Rahmen des MAP oder des BEG) nicht geeignet. Die Daten der BAFA-Förderung bilden jedoch Details zum Wärmepumpenmarkt ab, die von der Branchenverbänden nicht erfasst werden. So bieten die BAFA-Daten beispielsweise einen Aufschluss über die Leistung der Wärmepumpen und den Anwendungsbereich. Bei der Verwendung ist jeweils einzuschätzen, wie sich die Förderbedingungen darauf auswirken, inwiefern die jeweiligen Kennwerte repräsentativ für den Gesamtabsatzmarkt sind bzw. in welchem Maße die geförderten Wärmepumpen von dem Marktmittel abweichen. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Fördertatbestände und Antragsverfahren über den Zeitraum immer wieder geändert, was sich auf die Eingrenzung des Marktsegmentes auswirken kann. Die Angaben in der Förderdatenbank können über weiterführende Auswertungen, z.B. durch die Verschneidung mit technischen Angaben aus Datenblättern und Gerätedatenbanken, für weiterführende

Charakterisierungen der Wärmepumpen eingesetzt werden. Beispielsweise können folgende Parameter untersucht werden:

- ▶ Kältemitteltyp
- ▶ COP für den gesamten Förderbestand

Desweiteren geben die Daten des Marktanreizprogramms Auskunft darüber, in welchem Sektor (Haushalte / GHD / Landwirtschaft) die Anlage gefördert/beantragt wurde und damit Hinweise auf die sektorale Verteilung von Wärmepumpen in den Endenergieverbrauchssektoren, welche von der AGEE-Stat genutzt werden.

2.3.2 BEG

Die „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) fasst bestehende Programme zur Förderung von Energieeffizienz und Erneuerbaren Energien im Gebäudebereich zusammen. Die BEG besteht aus drei Teilprogrammen (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [Bafa], 2022):

- ▶ Wohngebäude (BEG WG)
- ▶ Nichtwohngebäude (BEG NWG)
- ▶ Einzelmaßnahmen (BEG EM)

Die BEG EM ist im Januar 2021 in der Zuschussvariante beim BAFA gestartet. Die BEG WG und BEG NWG (Zuschuss- und Kreditvariante) sowie die BEG EM in der Kreditvariante sind zur Durchführung durch die KfW seit dem 1. Juli 2021 verfügbar. Die technischen Voraussetzungen zur Förderung von Wärmepumpen haben sich geändert. Nunmehr werden Wärmepumpen gefördert, die einen vorgegebenen Mindestwert der „jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz“ η_s bzw. der „Raumheizungs-Jahresnutzungsgrad“ $\eta_{s,h}$ gemäß Öko-Design-Richtlinie erreichen. Die Grenzwerte sind abhängig vom Wärmepumpentyp. Wie auch in der MAP-Förderung der BAFA sind alle förderfähigen Wärmepumpengeräte in der Übersicht „Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis“ aufgeführt (vgl. Kapitel 2.4.2).

Bewertung

Eine Einschätzung wurde im Kapitel 2.3.1 vorgenommen.

2.3.3 Weitere Förderprogramme

Das MAP ist nicht das einzige Förderprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kältebereitstellung. So können Wärmepumpen auch in bestimmten Kreditprogrammen der KfW für den Gebäudesektor mitgefördert werden. Auch einige Länder, kommunale Gebietskörperschaften und Energieversorger bieten Förderprogramme für Wärmepumpen in unterschiedlicher Form. Das MAP stellt dennoch das bedeutendste Instrument zur Förderung dar.

Bewertung

Die regionale Förderprogramme sind für die bundesweite AGEE-Stat Statistik ohne Bedeutung, da die Programme nur geringe Förderzahlen haben und häufig im Wandel sind.

2.4 Geräte-Datenbanken

2.4.1 Wärmepumpen-Testzentrum WPZ Buchs

„Das Wärmepumpen-Testzentrum Buchs ist ein nach EN 17025 akkreditiertes Prüfzentrum und bietet im Themenfeld Wärmepumpen unterschiedliche Prüfleistungen für Produktions- und Handelsunternehmen an. Die angebotene Leistungsprüfung umfasst die Ermittlung der Heizleistung und der wärmeseitigen Leistungszahlen (COP-Werte) nach EN 14511 bzw. EN 255 (elektrische Heizungswärmepumpen) und EN 16147 (Brauchwasserwärmepumpen). Zusätzlich bietet das WPZ Wärmepumpen-Prüfungen nach den erweiterten Anforderungen des Prüfreglements der European Heat Pump Association (EHPA), dem europäischen Wärmepumpen-Dachverband und des EcoLabel-Prüfreglements (nach Beschluss 2007/742/EG) an.

Bei der vom WPZ angebotenen Leistungsprüfung werden abhängig vom Wärmepumpentyp die Heizleistung, die elektrische Leistungsaufnahme und die heizungsseitige Leistungszahl (COP) bei den von EN 255 / EN 14511 definierten Prüfpunkten unter konstanten Prüfbedingungen ermittelt.

Die Prüfergebnisse werden in regelmäßigen Abständen mit Einverständnis der Auftraggeber in einem Bulletin des WPZ veröffentlicht. Zur Veröffentlichung kommen nur die nach den Normen bzw. EHPA-Reglement ermittelten Testergebnisse. Zusätzliche vom Auftraggeber gewünschte Messpunkte werden nicht veröffentlicht [WPZ Buchs 2009-2013].“ (Born et al., 2017)

Wie in der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) werden die Teststandmessungen des Wärmepumpen-Testzentrum WPZ Buchs herangezogen. Dies ist die einzige den Autor*innen bekannte Datenquelle, in der Prüfstandmessungen kontinuierlich veröffentlicht wurden und damit die Entwicklung der COP-Kennwerte aufgezeichnet wurden. Die an der akkreditierten Prüfstelle angebotenen Leistungsprüfungen umfassen u.a. die Ermittlung der Heizleistung und der Leistungszahl (COP) von elektrischen Heizungs-Wärmepumpen nach EN 14511 (seit 2005) sowie der normierten Jahresarbeitszahl (SPF; *seasonal performance factor*) nach EN 14825 (seit 2014), welche für das EU-Energielabel verwendet wird. Zudem werden Brauchwasserwärmepumpen nach EN 16147 (seit 2012) vermessen. Zuvor wurden Messungen der Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen nach der EN 255 durchgeführt. WPZ Buchs veröffentlichte bis 2017 Jahresberichte mit einer Auswertung der Prüfergebnisse (u.a. der COP-Werte) sowie der technischen Eigenschaften aller vermessenen Wärmepumpen (Eschmann, 2017). Zudem wird in regelmäßigen Abständen eine Liste der vermessenen Geräte und deren Prüfergebnisse veröffentlicht, sofern das Einverständnis der Auftraggeber vorliegt (Eschmann, 2024c), (Eschmann, 2024b), (Eschmann, 2024a). Rund die Hälfte der nach EN 14511 vermessenen Geräte werden in diesen Listen veröffentlicht.

Bewertung

Die Ergebnisse des WPZ Buchs geben einen Einblick in die Entwicklung des COP der neuen Wärmepumpen. Es spiegelt nicht direkt die Effizienzentwicklung des Wärmepumpenmarktes wider, da neue Fabrikate ebenso gekauft werden wie Fabrikate, die bereits länger marktverfügbar sind. Und durch die große Bandbreite der Effizienz marktverfügbarer Fabrikate ist Entwicklung der mittleren Effizienz der Neuinstallationen sehr stark von der Präferenz der Nachfrage - effizientere (höherpreisigen) vs. preisgünstigeren (weniger effizienten) Geräte - geprägt. Nichtsdestotrotz zeigt die Entwicklung der Teststandmessungen eine Grundtendenz auf. Die Veröffentlichung der Angaben im Bulletin des WPZ wird nicht mehr fortgeführt.

2.4.2 BAFA-Liste der Wärmepumpen mit Prüfnachweis

In der regelmäßig aktualisierten „Liste der Wärmepumpen mit Prüfnachweis“ des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa) sind alle Wärmepumpen aufgeführt, die zum jeweiligen Stand im Rahmen des Marktanreizprogrammes (MAP), bzw. seit 2021 im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) förderfähig sind. Die Anlagenliste enthält neben dem Fabrikatsnamen auch technische Angaben. Diese Angaben haben sich im Laufe der Zeit geändert. In den Anlagenlisten, die während der Gültigkeitszeit des MAP veröffentlicht wurden, sind die Heizleistung von elektrischen Wärmepumpen bei A2/W35 bzw. B0/W35 bzw. W10/W35 bzw. E4/W35 angegeben sowie der COP-Kennwert in den genannten Betriebspunkten. In mehreren Jahren wurden bei Luft/Wärmepumpen zusätzlich der COP-Wert und die Heizleistung bei ein oder zwei weiteren Betriebspunkten aufgeführt, die Art der Leistungsregelung und das Vorhandensein einer netzdienlichen Schnittstelle.

Seit Gültigkeit des BEG werden in der Anlagenliste andere technische Daten aufgeführt: die Wärmenennleistung gemäß Öko-Design-Richtlinie und die Art der Leistungsregelung sowie das Vorhandensein einer netzdienlichen Schnittstelle.

Möchte man die Übersicht der förderfähigen Wärmepumpen heranziehen, um eine Aussage über technische Daten der am Markt befindlichen Geräte zu ziehen, ist zu beachten, dass einige Geräte mehrfach aufgeführt werden, wenn diese von mehreren Anbietern vertrieben werden oder wenn Fabrikate sich z.B. nur bzgl. Regelungsfunktion unterscheiden. Nach einer groben Bereinigung von mehrfach aufgeführten Geräten⁶ umfasst die Liste vom Januar 2019 rund 820 unterschiedliche Luft/Wasser-Wärmepumpengeräte und rund 640 unterschiedliche Sole/Wasser-Wärmepumpengeräte (Bafa, 2019). „Zudem ist zu berücksichtigen, dass auch Geräte aufgeführt sind, die von den Anbietern in den letzten Jahren vom Markt genommen wurden. Um wie viele Geräte es sich hierbei handelt, ist den Autor*innen nicht bekannt.“ (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Amendt et al., 2021).

Bewertung

Die Anlagenliste eignet sich wie beschrieben nicht, direkt daraus Angaben zur Heizleistung oder Effizienz der verkauften Geräte abzuleiten. Vielmehr diente diese Liste zu Zeiten des MAP als eine gut erschließbare Zusammenstellung der COP-Angaben der Mehrheit aller marktrelevanten Wärmepumpengeräte. Zudem wurde in der MAP-Anlagenliste die Heizleistung von elektrischen Wärmepumpen bei Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpe in dem gleichen Betriebspunkt aufgeführt wie es den Angaben der Marktstatistik der BWP zu Grunde liegt. Durch einen Verschnitt aller geförderten Wärmepumpengeräte⁷ mit den Angaben der Anlagenliste lässt sich für - in diesem Marktsegment - die Verteilung der Heizleistung und der COP-Kennwerte ermitteln.

Mit Umstellung der in der Liste aufgeführten technischen Angaben im Zuge des BEG entfällt diese Möglichkeit. Die nun verwendeten Angaben einer Heizleistung nach Öko-Design-Richtlinie lassen sich nicht pauschal in die Angaben der BWP-Marktstatistik überführen. COP-Werte werden nicht mehr aufgeführt.

⁶ Geräte, die identische Leistungs- und COP-Angaben aufweisen, wurden als identisch angesehen. Hierbei sind einige fehlerhafte Ausweisungen nicht auszuschließen. Dieser Anteil wird jedoch als sehr gering erachtet.

⁷ Es liegt keine Veröffentlichung der Häufigkeitsverteilung aller geförderten Wärmepumpen vor. Die BAFA hat dem Fraunhofer ISE ermöglicht, die im Rahmen des Projektes „Evaluation des Marktanreizprogrammes“ zur Verfügung gestellte Zusammenstellung aller geförderten Wärmepumpen zu einer weiterführenden Untersuchung außerhalb des Projektes zu nutzen.

2.4.3 Wärmepumpen KEYMARK

Die Wärmepumpen Keymark⁸ ist ein freiwilliges, unabhängiges und europäisches Zertifizierungszeichen für Wärmepumpen, Kombiheizgeräte mit Wärmepumpe sowie Brauchwasserwärmepumpen, welche unter den Anwendungsbereich der Ökodesign-Verordnungen der Europäischen Kommission fallen (Verordnungen Nr. 813/2013 oder 814/2013). Kenndaten (Leistung, Effizienz, ...) aller zertifizierten Geräte sind in der Datenbank abrufbar. Diese Zertifizierung wird insbesondere von großen Wärmepumpenherstellern für ihre Geräte durchgeführt. Mittelständige Unternehmen lassen ihre Geräte hier bisher i.d.R nicht zertifizieren.

Bewertung

Diese Datenbank bietet eine gute Möglichkeit auf kompakte Weise Gerätekennwerte (bspw. nominale Effizienz- und Leistungskennzahlen) skriptbasiert abzurufen. Dies ist bspw. Hilfreich, um die Angaben aus der BAFA-Datenbank zu den in einem Jahr geförderten Wärmepumpengeräten mit technischen Angaben zu verschneiden (vgl. Bewertung in Kapitel 2.4.4). Da die Datenbank nur einen Teil der am Markt verfügbaren Wärmepumpenfabrikate enthält, ist diese nicht als einzige Datenquelle für technische Kenngrößen von Wärmepumpen ausreichend

2.4.4 Hersteller

Die technischen Kenngrößen werden von den Herstellern in Datenblättern veröffentlicht. Am Fraunhofer ISE ist eine Erhebung und Digitalisierung wichtiger Wärmepumpenkenngrößen (bspw. Leistungs- und Effizienzkennwerte, Kältemittel) aus Datenblättern ergänzend zu den zuvor erwähnten Datenbanken im Aufbau.

Bewertung

Mit Kenntnis der technischen Daten eines sehr hohen Anteils aller marktrelevanter Wärmepumpen lässt sich über die Verschneidung mit der BAFA-Datenbank zu den in einem Jahr geförderten Wärmepumpen eine gute Datenbasis für die technischen Parameter (bzw. COP, Leistung, Kältemittel) schaffen. Die Angaben der Leistung können ergänzende Information zu den „nur“ in Leistungsklassen ermittelten Daten der BDH/BWP-Absatzstatistik geben. Hinsichtlich der Einschätzung der COP-Kennwerte der im jeweiligen Jahr verkauften Wärmepumpen scheint dies derzeit die einzige Quelle der nächsten Jahre zu sein, sollten keine anderen Erhebungen erstellt werden. Hintergrund ist, dass sowohl die Veröffentlichungen des Testzentrums Buchs nicht fortgeführt wurden und zudem die BAFA-Wärmepumpenliste seit 2022 keine COP-Angaben mehr enthält.

2.5 Monitoringprojekte

Vom Fraunhofer ISE wurden in Rahmen verschiedener Monitoring-Projekte (u.a. WP Effizienz, WP Monitor, WPsmart im Bestand) in den letzten zehn Jahren über 300 Wärmepumpen in Einfamilienhäusern vermessen. Der Schwerpunkt liegt auf den üblicherweise eingesetzten Heizungs-Wärmepumpen, die sowohl die Trinkwassererwärmung als auch die Raumheizung übernehmen. Vereinzelt waren auch Brauchwasserwärmepumpen installiert. Im Rahmen dieser Feldtests werden die Betriebsbedingungen der Wärmepumpe (Wärmequellen- und Wärmesenktemperatur, u.a.) sowie die bereitgestellte Wärme und der benötigte elektrische Energieeinsatz von Verdichter, Heizstab, Ventilator / Pumpen, Steuerung mit einem Messintervall von einer Minute ermittelt. Somit werden neben der Jahresarbeitszahl (JAZ) u.a.

⁸ <https://keymark.eu/en/certificates/certificates-data-base>

der Hilfsenergiebedarf, die Betriebszeiten, die Heizleistungen und die Betriebstemperaturen analysiert. (Miara et al., 2011), (Günther et al., 2014), (Günther et al., 2020).

In der Schweiz wurden im Zeitraum 1994 bis 2002 Rahmen des Projektes „Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen – FAWA“ rund 200 Wärmepumpen in Wohngebäuden (überwiegend EFH) vermessen (Erb et al., 2004). Die Ermittlung der Jahresarbeitszahl basierte auf Ablesungen der installierten Elektro- und Wärmezähler durch die Anlagenbesitzer. Ebenfalls in der Schweiz werden seit dem Jahr 2017 – zunächst 8, heute 23 - Wärmepumpen überwiegend in Einfamilienhäusern im Projekt „WP Feldmessung“ vermessen (Prinzing et al., 2019, 2021). Die Vermessung erfolgt ähnlich wie die Feldmessungen des Fraunhofer ISE mit einer automatisierten, zeitlich hochauflösenden Erfassung.

In einer Studie der Interstaatlichen Hochschule für Technik Buchs (NTB) wird für acht Heizungs-Wärmepumpen der Betriebsmodus Trinkwassererwärmung analysiert (Arpagaus et al., 2019). Die Analyse von fünf bzw. acht Brauchwasserwärmepumpen ist Gegenstand der Studien von (Helmling & Wapler, 2018) und (Hubacher 2015). Letztgenannter weist jedoch keine JAZ aus, sondern untersucht die Effizienz bei unterschiedlichem Trinkwasserbedarf.

Bewertung

Ergebnisse von Feldtests sind eine gute Möglichkeit einen Einblick in die Effizienz der Wärmepumpen im Betrieb und die jeweiligen Einsatzbedingungen zu erhalten. Bei der Verwendung dieser Daten ist der jeweilige Anwendungsbereich zu berücksichtigen (bspw. energetischer Bedarf der Gebäude).

2.6 Analyse der Monitoringdaten der Bundesnetzagentur

Im jährlichen Monitoring der Bundesnetzagentur (BNetzA) werden Daten zu unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen sowohl bei Lieferanten als auch bei Verteilernetzbetreibern erhoben. Zu den erhobenen Datenpunkten zählen die Abgabemengen und die belieferten Zählpunkte. Bei Befragung der Lieferanten wird nach Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen unterteilt. Es ist mit einer Unschärfe der Daten zu rechnen, da einige Lieferanten angeben, dass sie keine genaue Aufteilung der Mengen und Zählpunkte auf Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen vornehmen können und dementsprechend die Aufteilung schätzen oder den Gesamtwert nur in eine der beiden Kategorien eintragen⁹.

Bewertung

Die Bundesnetzagentur und das Bundeskartellamt bescheinigen sich selbst „hohe Datenqualität“ und begründen das mit der direkten Abfrage bei den Netzbetreibern und Stromlieferanten. (BNetzA 2024). Da nicht alle Lieferanten zwischen Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen unterscheiden und ihre Netzanschlüsse („Marktllokationen“) gesamthaft einer der beiden Kategorien zuordnen, ist schwer abschätzbar, wie diese Unschärfe die berichteten Daten verfälscht. Einen Hinweis gibt der Monitoringbericht 2023: Dort sind neben den Daten für das Jahr 2022 auch korrigierte Werte für das Jahr 2021 aufgelistet, denn „das Jahr 2021 wurde nachträglich im Vergleich zum letzten Monitoringbericht korrigiert. Hier gab es einen größeren

⁹ In den letzten Jahren beliefern fast alle Heizstromanbieter sowohl Nachtspeicherkunden als auch Wärmepumpenkunden. Einige Lieferanten geben an, dass sie keine genaue Aufteilung der Mengen und Zählpunkte auf Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen vornehmen können und dementsprechend die Aufteilung schätzen oder den Gesamtwert nur in eine der beiden Kategorien eintragen. Im Mittel* machen 89% der Heizstromlieferanten Mengen- bzw. Zählpunktangaben sowohl für Nachtspeicher als auch für Wärmepumpen. Aus den Angaben wird nicht ersichtlich, wie hoch der Anteil der Lieferanten ist, welche die Aufteilung schätzen. Zudem ist bei den Angaben der Lieferanten ohne getrennte Angabe nicht bekannt, welcher Anteil die Gesamtsumme den Wärmepumpen zuordnet. * In den Monitoringberichten für die Jahre 2013 bis 2018 wird jeweils notiert, wie viele Lieferanten eine getrennte Angabe vorgenommen haben. Die Anteile lagen in den einzelnen Jahren zwischen 93% und 79%; der Median der fünf Jahre liegt bei 89%.

Versorger, der bisher nicht zwischen Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen unterscheiden konnte und im Jahr 2022 jedoch aufgrund einer Systemumstellung eine rückwirkende Einschätzung abgeben konnte. Diese Einschätzung wurde berücksichtigt, dadurch hat sich die Anzahl der Marktlifikationen von Nachtspeicherheizungen leicht erhöht, die Gesamtanzahl ist gleichgeblieben“ (BNetzA 2024).

2.7 Normen, Richtlinien, Gesetzesvorschriften

VDI 2067

In dem VDI 2067 Blatt 1 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenermittlung“ sind insbesondere die Angaben zur Lebensdauer von gebäudetechnischen Anlagen für die Erhebung der Statistik des Wärmepumpenbestandes von Bedeutung. Aus ihnen werden über die daraus resultierenden Sterbekurven aus den Installationszahlen Bestandszahlen errechnet.

Die Richtlinie VDI 2067 Blatt 1 wird zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie durch eine Arbeitsgruppe des VDI überarbeitet. „Es besteht unter anderem das Ziel, Grundlagen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung, die Lebenszykluskostenrechnung sowie die Ökobilanzierung von gebäudetechnischen Anlagen zu verbessern“ (Verein Deutscher Ingenieure e.V [VDI], 2019b) . Vor allem im Bereich der Bereitstellung zuverlässiger Daten zur Lebens- und Verweildauer sowie zu Wartungs- und Instandhaltungszyklen und –kosten der technischen Gebäudeausrüstung wurden Lücken identifiziert, die mit Unterstützung durch die Industrie geschlossen werden sollen. Die u.a. im Rahmen einer Workshopveranstaltung (VDI, 2019b) gewonnenen Rückmeldungen haben die Lücken teilweise füllen können, jedoch gibt es nach Angaben aus der Arbeitsgruppe zwischen den einzelnen Gewerken Unterschiede, sodass ergänzende Daten erhoben werden. Im März 2021 veröffentlichte der VDI eine Umfrage, gerichtet an Vertretende aus „Industrie und Praxis“, über deren Beantwortung die identifizierten Lücken geschlossen werden sollen. Neben vielen weiteren Parametern wird in der Umfrage auch um eine Einschätzung der rechnerischen Nutzungsdauer und der technischen Lebensdauer gebeten. Stand Dezember 2024 ist diese Abfrage weiterhin online.

Laut Ankündigung des VDI ist im Jahr 2025 mit dem Erscheinen der überarbeiteten Richtlinie zu rechnen (VDI, 2024).

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Ausführungen in diesem Kapitel geben die rechtlichen Rahmenbedingungen der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED III, 2023) und deren nationaler Umsetzung in Deutschland mit dem Stand Dezember 2024 wieder.

3.1 Geltende Richtlinie

Um den Übergang zu erneuerbarer Energie in der EU zu beschleunigen, wurde die Richtlinie über erneuerbare Energien EU/2018/2001 im Jahr 2023 überarbeitet. Die Änderungsrichtlinie EU/2023/2413 vom 18.10.2023 wurde am 31.10.2023 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht und ist am 20. November 2023 in Kraft getreten (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit [BMUV], 2024), (RED III, 2023), (C/2025/2238, 2025).

Die meisten Bestimmungen der Richtlinie müssen innerhalb von 18 Monaten in nationales Recht umgesetzt werden. Für einige Bestimmungen im Zusammenhang mit Genehmigungen für erneuerbare Energien gilt eine kürzere Frist bis Juli 2024. In der Richtlinie wird ein Gesamtziel für erneuerbare Energien von mindestens 42,5 % auf EU-Ebene bis 2030 verbindlich festgelegt - angestrebt werden jedoch 45 %.

Die Rechtsgrundlage für die Berechnung des Anteils von Energie aus erneuerbaren Quellen in den EU-Mitgliedstaaten basiert auf der Richtlinie (EU) 2018/2001 sowie auf der Verordnung (EG) 1099/2008, auf die sich die Richtlinie bezieht.

Die Verordnung (EG) 1099/2008 über die Energiestatistik bildet die rechtliche Grundlage für die Erstellung, Übermittlung, Bewertung und Verbreitung vergleichbarer Energiestatistiken in der Europäischen Union (Verordnung (EG) Nr. 1099/2008, 2008). Seit ihrer Einführung im Jahr 2008 wurde die Richtlinie mehrfach geändert¹⁰.

In der Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen sind Regeln für die Anrechnung von Energie aus erneuerbaren Quellen festgelegt (RED II, 2018; RED III, 2023). Die Richtlinie enthält die grundlegende Definition, wie die von Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnene Energie zu berechnen ist. Weiter spezifiziert wird die Ermittlung der durch Wärmepumpen bereitgestellten erneuerbaren Energie im Beschluss der Kommission 2013/114/EU (2013/114/EU, 2013). Der Beschluss wurde auf Basis der ersten erneuerbaren Energierichtlinie (RED) gefasst. Diese Verordnungen sind auch die Grundlage für die Berichterstellung und alle EE-Statistiken in Europa.

Die Ausführungen in diesem Bericht beziehen sich auf die Definitionen der Renewable Energy Directive der EU in der aktuellen Fassung RED III und im Beschluss der Kommission 2013/114/EU. In Kapitel 3.3 sind die Änderungen zusammengefasst, die mit Inkrafttreten der

¹⁰Verordnung (EU) Nr. 844/2010 der Kommission vom 20. September 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Erstellung einer Reihe von jährlichen Atomenergie-Statistiken und der Anpassung der Verweise auf die Methodik an die NACE Rev. 2 (2010), Verordnung (EU) Nr. 147/2013 der Kommission vom 13. Februar 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von Aktualisierungen für die monatlichen und jährlichen Energiestatistiken (2013), Verordnung (EU) Nr. 431/2014 der Kommission vom 24. April 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von jährlichen Statistiken zum Energieverbrauch in Privathaushalten (2014), Verordnung (EU) 2017/2010 der Kommission vom 9. November 2017 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Aktualisierungen für die jährlichen und monatlichen Energiestatistiken (2017), Verordnung (EU) 2019/2146 der Kommission vom 26. November 2019 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von Aktualisierungen für die jährlichen, monatlichen und monatlich zu übermittelnden kurzfristigen Energiestatistiken (2019), Verordnung (EU) 2022/132 der Kommission vom 28. Januar 2022 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von Aktualisierungen für die jährlichen, monatlichen und monatlich zu übermittelnden kurzfristigen Energiestatistiken (2022)

am 20. November 2023 geänderten RED Gültigkeit finden. In den für diesen Fachbericht wesentlichen Punkten hat sich das Regelwerk gegenüber der RED II aus dem Jahr 2018 nicht geändert. In der Richtlinie (C/2025/2238, 2025) mit Datum 02.09.2024 werden die Anrechenbarkeit insbesondere von Abwärme als erneuerbare Energie genauer ausgeführt. Die bisweilen im Zusammenhang mit der Überarbeitung der RED II diskutierte Anrechenbarkeit von Abluftwärme (Kranzl, 2021) ist darin im Falle von Abluft aus Wohngebäuden ausgeschlossen.

3.2 Methodik zur Bestimmung der durch Wärmepumpen gewonnenen Energie aus erneuerbaren Quellen

Die Menge der mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie E_{res} wird gemäß RED II Anhang VII (hier erfolgte keine Änderung durch die im November in Kraft getretene Novellierung (RED III, 2023) nach folgendem Ansatz berechnet:

$$E_{\text{RES}} = Q_{\text{usable}} * \left(1 - \frac{1}{\text{SPF}}\right) \quad (1)$$

Dabei sind:

- ▶ Q_{usable} : die geschätzte durch Wärmepumpen bereitgestellte Nutzwärme (vgl. Kapitel 5.1.1), wobei nur Wärmepumpen zu berücksichtigen sind, die bestimmte Kriterien erfüllen, vgl. nachfolgende Erläuterungen in diesem Kapitel
- ▶ SPF: der geschätzte durchschnittliche jahreszeitbedingte Leistungsfaktor, SCOP_{net} für elektrisch angetriebene bzw. SPER_{net} für gasbetriebene Wärmepumpen (vgl. Kapitel 6.1.1, Kapitel 6.3)

Im Beschluss 2013/114/EU der Kommission wird der Ansatz zur Berechnung der durch Wärmepumpen bereitgestellten Nutzwärme definiert:

$$Q_{\text{usable}} = H_{\text{HP}} * P_{\text{rated}} \quad (2)$$

Dabei sind:

- ▶ H_{HP} : die äquivalenten Jahresbetriebsstunden (vgl. Kapitel 5.1.1, Kapitel 7)
- ▶ P_{rated} : die Nennheizleistung der installierten Wärmepumpen (vgl. Kapitel 5.1.1 ff)

Bei der Ermittlung der gewonnenen erneuerbaren Energie sind im Sinne der RED II nur Wärmepumpen zu berücksichtigen, welche erneuerbare Quellen gemäß der Definition dieser Richtlinie nutzen. Im Sinne der RED II Artikel 2 werden geothermische Energie und Umgebungsenergie als erneuerbare Quellen bezeichnet. Umgebungsenergie meint hierbei „natürlich vorkommende thermische Energie und in der Umwelt innerhalb eines begrenzten Gebiets angesammelte Energie, die in der Umgebungsluft, mit Ausnahme von Abluft, oder in Oberflächengewässern oder Abwässern gespeichert sein kann“ (RED II, 2018). Hinsichtlich Abluft-Wärmepumpen wird in dem Beschluss 2013/114/EU der Kommission ergänzend ausgeführt, dass die von Wärmepumpen genutzte Abluft zu einem Teil auch aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird (vgl. Kapitel 3.5). Der Beschluss enthält jedoch keine Erläuterungen wie dieser Anteil zu ermitteln ist. Bei Hybridanlagen, die Brennstoffe sowohl aus erneuerbaren als auch aus nicht erneuerbaren Quellen nutzen, wird nur der aus erneuerbaren Energiequellen gewonnene Wärmeanteil angerechnet (RED II Artikel 7).

Zudem sollen nach RED II Artikel 7 nur diejenigen Systeme berücksichtigt werden, bei denen der Output die für die Bereitstellung eingesetzte Primärenergie deutlich übersteigt; es wird also eine Mindesteffizienz festgelegt, die mindestens erreicht werden muss, damit die aus der Umgebung gewonnene Energie als erneuerbare Wärme gewertet wird. Hierbei ist folgender Mindestwert des SPF definiert:

$$SPF = 1,15 * \frac{1}{\eta} \quad (3)$$

Dabei ist:

- η : das Verhältnis zwischen der gesamten Bruttoelektrizitätsproduktion und dem Primärenergieverbrauch für die Elektrizitätsproduktion als EU-Durchschnittswert, bzw. analoge Definition bei der Verwendung anderer Endenergieträger (bspw. Erdgas für thermisch angetriebene Wärmepumpen).

Entscheidend für den Mindestwert des SPF ist somit, welche mittlere Effizienz der Elektrizitätsproduktion in Europa anzusetzen ist. Dies wird im Beschluss der Kommission 2013/114/EU dargelegt¹¹. Es wird ein feststehender Wert für η von 0,455 festgelegt, um Unklarheiten in Bezug auf die SPF-Mindestanforderungen zu vermeiden. Dieser Wert basiert auf Daten für das Jahr 2010 und ist bis 2020 zu verwenden. Der Beschluss 2013/114/EU enthält keine Ausführungen, welcher Wert nach 2020 anzusetzen ist. Es liegt auch keine Änderungen der 2013/114/EU vor.

Bei einem festgelegten Wert für η von 0,455 bedeutet dies, dass elektrisch angetriebene Wärmepumpengeräte nur berücksichtigt werden, wenn diese mit einem SPF ($SCOP_{net}$) von mindestens 2,5 arbeiten. Bei thermisch angetriebenen Wärmepumpen ist $\eta = 1$ anzusetzen. Der SPF ($SPER_{net}$) für diesen Wärmepumpentyp muss demnach mindestens 1,15 betragen, damit die jeweiligen Wärmepumpengeräte Berücksichtigung finden.

3.3 Neufassung der Erneuerbaren-Energie-Richtlinie der EU (RED III) 2023

„Am 14. Juli 2021 verabschiedete die Europäische Kommission das "fit for 55"-Paket, mit dem die bestehenden Klima- und Energievorschriften angepasst werden, um das neue EU-Ziel einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen um mindestens 55 % bis 2030 zu erreichen.“ (EP, 2023)

Ein Element des Fit-for-55-Pakets ist die Überarbeitung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED II (RED II, 2018), die der EU helfen soll, das neue 55 %-THG-Ziel zu erreichen. Nach der RED II war die EU verpflichtet, bis 2030 mindestens 32 % ihres Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen (EE) zu decken. Die überarbeitete RED III (RED III, 2023), die am 20. November 2023 in Kraft trat, verschärft diese Bestimmungen und legt als neues EU-Ziel einen Anteil von mindestens 40 % erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch bis 2030 fest, zusammen mit neuen sektoralen Zielen.

Die wichtigsten Änderungen gegenüber der RED II werden im Folgenden berichtet, auch wenn mit Ausnahme der Möglichkeit, in Grenzen Abwärme und -kälte bei der Berechnung des Erneuerbaren Anteils einzubeziehen (siehe Kap 3.5), keine Änderungen enthalten sind, die sich auf die Erhebung der EE-Statistik für Wärmepumpen auswirken könnten:

¹¹ Im Beschluss 2013/114/EU der Kommission wird der Parameter η als Gütegrad bezeichnet. Der hier von der Kommission verwendete Begriff Gütegrad darf nicht verwechselt werden mit dem im Zusammenhang von Wärmepumpen verwendeten gleichen Begriff anderer Bedeutung. Im Kontext von Wärmepumpen meint Gütegrad meist das Verhältnis aus der Effizienz einer Wärmepumpe (bzw. allgemein eines Kältekreis) und der Effizienz des idealen Carnot-Prozesses.

- ▶ Artikel 1 (Begriffsbestimmungen) enthält mehrere neue Definitionen für EE-Technologien sowie einige Änderungen an bestehenden Definitionen, die ein breiteres Verständnis von EE-Technologien widerspiegeln.
- ▶ Artikel 3, Verbindliches Gesamtziel der Union für 2030: Mindestanteil von 40 % an Energie aus erneuerbaren Quellen am Endenergieverbrauch
- ▶ Artikel 7 (Berechnung des Anteils von Energie aus erneuerbaren Quellen) wird dahingehend geändert, dass erneuerbare Brennstoffe nicht-biologischen Ursprungs (RFNBO), hauptsächlich Wasserstoff, in dem Sektor angerechnet werden, in dem sie verbraucht werden und erneuerbarer Strom zu ihrer Herstellung nicht dem Energiesektor zugerechnet wird (sondern dem Anwendungssektor)
- ▶ Neuer Artikel 15a (Einbeziehung erneuerbarer Energien in Gebäuden): Es wird ein indikatives EU-Ziel für einen Anteil von 49 % erneuerbarer Energien bei der Heizung und Kühlung von Gebäuden bis 2030 festgelegt. Wird Abwärme bzw. -kälte bis zu einem maximalen Anteil von 20% eingerechnet (siehe Kapitel 3.5), so“ erhöht sich der Richtwert für den nationalen Anteil um die Hälfte des Prozentsatzes der verwendeten Abwärme und -kälte, der auf diesen Anteil angerechnet wird“, mithin auf bis zu 59%. (RED III, 2023)
- ▶ Artikel 24 (Fernwärme und -kälte) wird dahingehend geändert, dass der Richtwert für den Anteil erneuerbarer Energien aus Abwärme und kälte in Fernwärme- und Fernkältesystemen von +1 % auf 2,1 % pro Jahr angehoben wird. Der Zugang Dritter wird für die meisten DHC-Systeme (>25 MWth) ausgeweitet, und es wird eine neue Definition des Begriffs "effizientes DHC-System" in Übereinstimmung mit den entsprechenden Änderungen der Energieeffizienzrichtlinie eingeführt.
- ▶ Die Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht muss bis zum 21.05.2025 erfolgen, mit Ausnahme der Artikel 16, 16b und 16 e (Verfahrensbeschleunigungen) die bereits bis zum 1. Juli 2024 umgesetzt hätten werden müssen, wozu Stand September 2024 der Referentenentwurf eines Gesetzes vorliegt (BMUV, 2024).
- ▶ In weiten Teilen des Dokuments werden Aspekte der Sektorenkopplung angesprochen, zu denen Wärmepumpen - ebenso wie die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs - beitragen werden.
- ▶ Anforderungen an Wärmepumpen sind in dem Dokument nicht adressiert.

3.4 Begleitende Studien

Die Europäische Kommission hat mehrere Studien zur weiteren Präzisierung der Definitionen ausgeschrieben. Diese wurden Ende 2019/ Anfang 2020 vergeben. Ausgeschrieben waren folgende Studien zur Definition von erneuerbarer Wärme und Kälte:

- ▶ ENER/C1/2018-493: Renewable Cooling under the Revised Renewable Energy Directive
- ▶ ENER/C1/2018-494: Renewable Space Heating under the Revised Renewable Energy Directive

► ENER/C1/2018-496: Overview of District Heating and Cooling Markets and Regulatory Frameworks under the Revised Renewable Energy Directive

Lukas Kranzl, TU Wien, berichtet auf dem REHVA Brussels Summit 2021 aus dem Projekt zur Überarbeitung der “ENER/C1/2018-494: Renewable Space Heating under the Revised Renewable Energy Directive” (Kranzl, Fallahnejad et al., 2022) von einem Vorschlag zur Definition erneuerbarer Kälte, der den Arbeiten zu „ENER/C1/2018-493: Renewable Cooling under the Revised Renewable Energy Directive“ zuzuordnen sei (Kranzl, 2021). Dieser Vorschlag basiert auf einem Konzept der Erfassung der von der Umgebung (Wärmesenke) erneuerbar aufnehmbaren Wärmemengen. Der Abschlussbericht des Projektes ENER/C1/2018-493 (Kranzl, Mascherbauer et al., 2022) enthält keine Neudefinition oder Ausweitung der Definition erneuerbarer Kälte.

Die umfangreiche Studie „Technical support for RES policy development and implementation“ bildet die vorausgehenden „Problemformulierung“, die zur nun verabschiedeten Neufassung der RED III motiviert hat (Torres Vega et al., 2021). Diese Studie führt aus, dass die bestehende Definition von erneuerbarer Umweltwärme, die Abwärme ausschließt, ausdrücklich als Hemmnis für die Verbreitung der Abwärmenutzung als Wärmequelle und empfiehlt ihre Qualifizierung als erneuerbar. In Grenzen ist dies gemäß der Neufassung (RED III, 2023) (Kranzl, Fallahnejad et al., 2022) nun möglich, siehe Kapitel 3.5.

3.5 Einordnung der Wärmequellen Abluft und Raumlufte als erneuerbare Energie in der RED III und dem Beschluss 2013/114/EU

In diesem Kapitel werden die geltenden Bestimmungen der Bewertung der Wärmequelle Abluft und Raumlufte im Hinblick auf die Berücksichtigung als erneuerbare Energie sowie die in den vorherigen Kapiteln angesprochenen laufenden Diskussionen zusammengetragen, um ein zusammenfassendes Bild dieses – nicht eindeutig geklärten und für die EE-Berichterstattung wichtigen - Punktes zu ermöglichen.

Im Sinne der bis November 2024 gültigen Fassung der RED II Artikel 2 zählt Umgebungsenergie als erneuerbare Quelle. Umgebungsenergie meint hierbei „natürlich vorkommende thermische Energie und in der Umwelt innerhalb eines begrenzten Gebiets angesammelte Energie, die in der Umgebungsluft, mit Ausnahme von Abluft, [...] gespeichert sein kann“ (RED II, 2018). Hinsichtlich Abluft-Wärmepumpen wird in dem Beschluss 2013/114/EU der Kommission ergänzend ausgeführt: „Wärmepumpen, denen Abluft als Energiequelle dient, nutzen die Umgebungsenergie und liefern daher Energie aus erneuerbaren Quellen. Aber gleichzeitig gewinnen solche Wärmepumpen die in der Abluft enthaltene Energie, die gemäß der Richtlinie keine aerothermische Energie ist, zurück. Daher gilt nur die aerothermische Energie als Energie, die aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird.“ Dieser Beschluss enthält zunächst keine weiterführenden Definitionen oder Erläuterungen wie der als erneuerbare Energie zu wertende Anteil ermittelt werden sollte.

In Artikel 15a der (RED III, 2023) wird nun ermöglicht, dass Abwärme und -kälte bis zu einer Obergrenze von 20 % auf den Richtwert für den nationalen Anteil der Erneuerbaren am für den Wirtschaftszweig Gebäude bezogenen Endenergieverbrauch anrechnen können. Wird dies in der jeweiligen nationalen Umsetzung des RED III so beschlossen, so erhöht sich der Richtwert für den nationalen Anteil um die Hälfte des Prozentsatzes der verwendeten Abwärme und -kälte, der auf diesen Anteil angerechnet wird. In Zahlen würde sich der Richtwert für den der Erneuerbaren Anteil dann bei maximaler Anrechnung von Abwärme und -kälte von 49% auf 59% bis zum Jahr 2030 erhöhen.

In der “Guidance on heating and cooling aspects in Articles 15a, 22a, 23 and 24 of Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources as amended by Directive (EU) 2023/2413” vom 02. September 2024 ist dies näher geregelt (C/2025/2238, 2025). Danach müssen zur Anrechenbarkeit von Abwärme gemäß der RED III vier Kriterien kumulativ erfüllt werden: Die Abwärme muss *unvermeidbar* und als *Nebenprodukt* anfallen, entweder *bei der Energieerzeugung, industriellen Prozessen oder im tertiären Sektor* – was die Anrechenbarkeit von Abwärme aus Wohnräumen explizit ausschließt – und sie muss über *Wärme- bzw. Kältenetze verfügbar gemacht werden*.

4 Entwicklung des Anlagenbestands

4.1 Differenzierung von Wärmepumpengeräten und -anlagen

4.1.1 Übersicht

Im Bereich der Wärmepumpen wird in der Regel nach Wärmequelle (genutzte (Umwelt)Energie), Wärmeträger der Wärmenutzungsseite, Art des Kältekreis, Antriebsenergie und Betriebsweise differenziert. Für die Ermittlung der Eingangsdaten für die AGEE-Stat Berechnungsmatrix sind noch weitere Aspekte von Bedeutung.

► Wärmequelle und Wärmepumpentyp

- Luft (Außenluft, Abluft, ...), Sole (Erdreich, Solarthermie, ...), Wasser (Grundwasser, Abwasser, ...)
- Vgl. Kapitel 4.1.3 Wärmequellen
- Diese Kategorisierung wird in der AGEE-Stat Berechnungsmatrix berücksichtigt.

► Wärmeträger der Wärmenutzungsseite

- Heizungswasser, Trinkwasser (bei Direktkondensation), Luft
- In Deutschland ist Heizungswasser der dominante Wärmeträger. Die Erwärmung der Zuluft mit - in ein Lüftungssystem integrierte - Wärmepumpen oder die direkte Erwärmung der Raumluft spielt nur eine geringe Rolle am Markt.

► Antriebsenergie und Typ des Kältekreis

- Strom (mechanische Kompression), Gas (Sorptionsprozess, mechanische Kompression)
- Vgl. Kapitel 4.1.4.1 Gasbetriebene Wärmepumpen
- Diese Kategorisierung wird in der AGEE-Stat Berechnungsmatrix berücksichtigt.

► Anwendungszweck

- Raumwärme, Trinkwassererwärmung, Kühlung, Prozesswärme, ...
- Der Bereich Kühlung ist dominiert durch Prozesse mit nicht erneuerbarer Antriebsenergie und spielen deshalb für die EE-Statistik keine Rolle. Eine Neudefinition, die auf der Basis der Wärmeaufnahmefähigkeit von Wärmesenken Kühlenergie als erneuerbar klassifiziert, ist auf EU-Ebene zum Zeitpunkt der Berichtserstellung in der Diskussion. Reversible Wärmepumpen werden im Übrigen seit einigen Jahren nicht mehr separat in entsprechenden Statistiken ausgewiesen.

► Anwendungsbereich

- Wohngebäude, GHD (Büro, Handel, produzierendes Gewerbe, ...), Landwirtschaft, ...

- Mit Unterklassifikation der Wärmenutzung/Temperaturanforderungen (bspw. FBH, Radiator, ...)
- Vgl. Kapitel 4.1.2 Sektorale Zuordnung, Kapitel 4.1.2.3 Beheizungsstruktur im Gebäudebestand und Kapitel 4.1.4.3 Großwärmepumpen

Die weitere Differenzierung erfolgt anhand technischer Parameter (u.a. Effizienz (COP, JAZ, Leistung, ...). Auf diese technischen Parameter wird in den jeweiligen Kapiteln differenziert eingegangen. Die differenzierte Untersuchung dient der Plausibilitätsprüfung und ggf. Aktualisierung der relevanten Eingangsparameter des für die Berichterstattung verwendeten (Wärmepumpen-)Modells des Umweltbundesamtes.

4.1.2 Sektorale Zuordnung

4.1.2.1 Sektorale Verteilung in der BAFA-Förderung

Die sektorale Zuordnung des Anlagenbestands erfolgt entlang der Zuteilung zu Wirtschaftszweigen der BAFA-geförderten Wärmepumpen. Hierzu werden die Studien zur Evaluation des Marktanreizprogrammes herangezogen: (Stuible et al., 2016), (Stuible et al., 2017), (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck et al., 2018), (Stuible, Zech, Ullrich, Witt et al., 2018), (Stuible et al., 2019), (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Wapler et al., 2021)

- ▶ Im Gebäudebestand wurden die BAFA-geförderten Wärmepumpen fast ausschließlich in privaten Haushalten errichtet: 97 % (2019, 2018), 96 % (2017), 98 % (2014)
- ▶ Auch im Neubaubereich wurde die Förderung weiterhin überwiegend von privaten Haushalten in Anspruch genommen: 89 % (2019, 2017), 93 % (2016), 88 % (2018)
- ▶ Die übrigen geförderten Anlagen entfielen weitestgehend auf den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen: 2 % (2019, 2018) bzw. 3% (2017) im Gebäudebestand und 9 % (2019) bzw. 10 % (2017, 2018) im Neubau

Die Daten zu BAFA-geförderten Wärmepumpen schließen nur Anlagen bis 100 kW ein, also keine Wärmepumpen, die als Großwärmepumpen klassifiziert werden. Unsere Erhebung zu Großwärmepumpen ergab, dass diese in privaten Haushalten (Wärmenetze) noch keine Rolle spielen. Im gewerblichen Bereich werden diese in der Regel zur Effizienzsteigerung und Abwärmenutzung eingesetzt, bringen also in Deutschland (noch) nicht im nennenswerten Umfang erneuerbare Wärme ins System.

4.1.2.2 EU-Forschungsprojekt zur Beheizungsstruktur

Im Projekt „Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables), 2016“ wurde für das Basisjahr 2012 für Deutschland eine Endenergiebereitstellung aus Umweltwärme von 7,9 TWh angegeben, was ungefähr 0,6 Promille der ausgewiesenen Endenergie Wärme bzw. rund 7% der erneuerbaren Wärme entspricht. Der größte Teil (7,0 TWh) der Umweltwärme wird für Raumwärme und der Rest für die Trinkwarmwassererwärmung im Wohngebäudesektor verwendet. In den anderen Sektoren (GHD und Industrie) wird kein Beitrag der Umweltenergie an der Wärmeversorgung ausgewiesen. Die Analysen basieren weitestgehend auf öffentlichen Datenquellen (u.a. eurostat) und wurden ergänzt durch Modellrechnungen. (Fleiter, Steinbach, Ragwitz, Arens et al., 2016), (Fleiter, Steinbach, Ragwitz, Dengler et al., 2016).

Für Europa wird festgestellt, dass Umgebungswärme über Wärmepumpen nur sehr geringe Marktanteile in der Industrie besitzen und in den meisten Statistiken für den Industriesektor

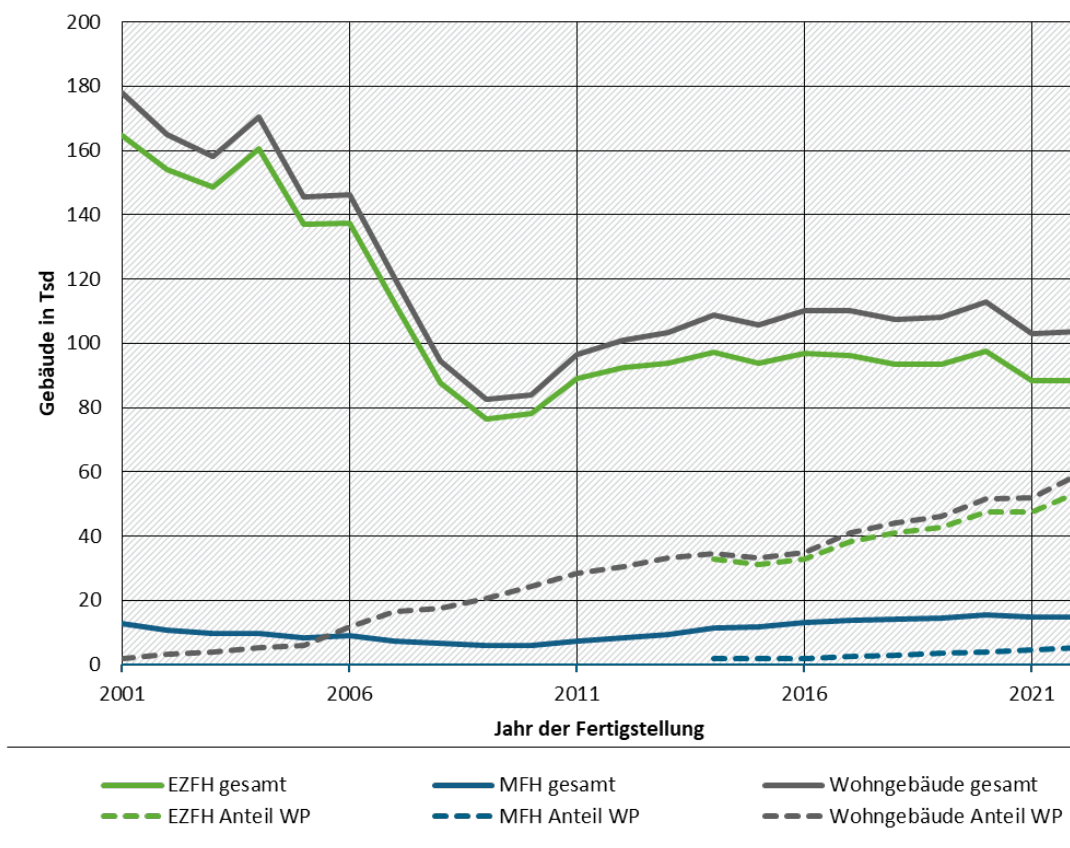
nicht enthalten sind. Auch wenn die Datenverfügbarkeit demzufolge als „nicht gut“ bezeichnet wurde, geben sich die Autoren*Autorinnen sicher, dass „der Anteil im Industriesektor in allen Ländern extrem niedrig ist.“ Wärmepumpen werden als Kühlaggregate eingesetzt, jedoch wird die Kühlenergie, die ja analog zum Heizfall als „Umweltkälte“ gesehen werden könnte, nicht als regenerative Energie angesehen. Im Report des Projektes heißt es dazu, es könne als gesichert gelten, dass erneuerbare Kälte sektorübergreifend kaum eine Rolle spielt. Eine Neudefinition, die auf der Basis der Wärmeaufnahmefähigkeit von Wärmesenken Kühlenergie als erneuerbar klassifiziert ist auf EU-Ebene derzeit in der Diskussion. (European Heat Pump Association [EHPA], 2022)

4.1.2.3 Beheizungsstruktur im Gebäudebestand

Wohngebäude

Das statistische Bundesamt gibt den Gebäudebestand an Wohngebäuden 2022 mit 16,2 Mio. EZFH und 3,3 Mio. MFH an. Die Entwicklung der Baufertigstellungen in Deutschland sowie dem Anteil der Gebäude, die als Hauptwärmeerzeuger zur Raumheizung eine Wärmepumpe einsetzen, ist in Abbildung 3 dargestellt. Während der Anteil der mit Wärmepumpen beheizten Wohngebäude im Jahr 2010 bei 29 % lag, beträgt dieser Anteil im Jahre 2022 61% (2020: 46 %). Hierbei ist die Beheizung von EZFH mit Wärmepumpen weiterhin verbreiteter (57 %) als der Einsatz in MFH (35 %), wobei der relative Zuwachs bei den Mehrfamilienhäusern zunahm.

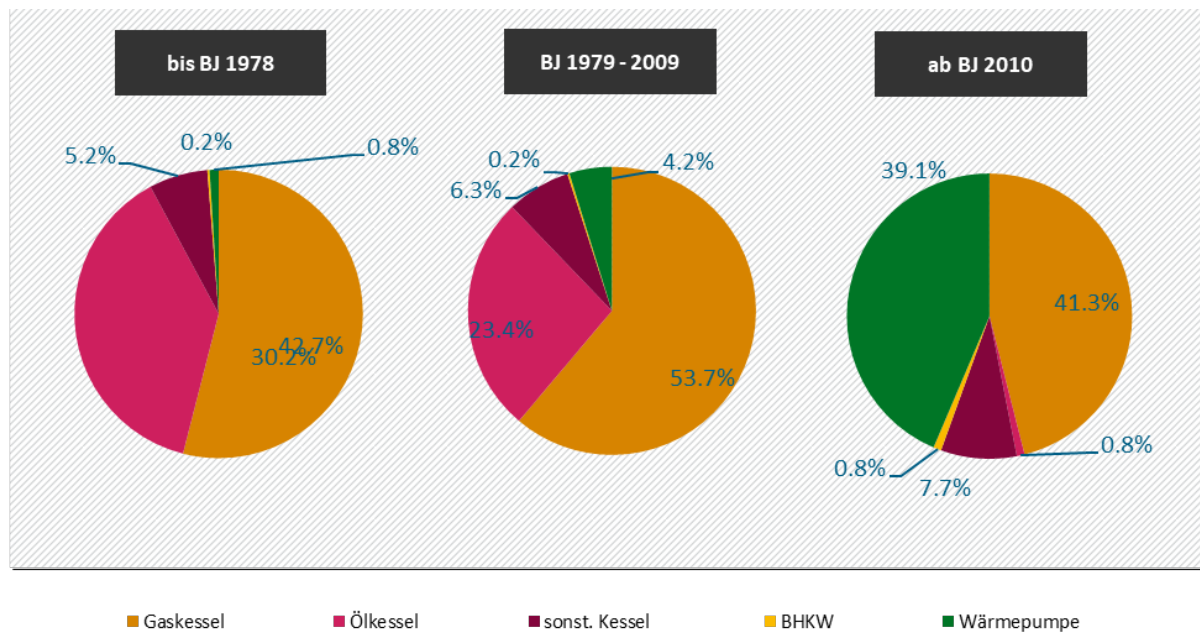
Abbildung 3: Entwicklung der Baufertigstellungen in Deutschland für Mehrfamilienhäuser (MFH >= 3 Wohnungen) und Ein-/Zweifamilienhäuser (EZFH) (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2021).



Quelle: Eigene Darstellung mit den Daten von destatis 2020-2023

Abbildung 4 zeigt die Beheizungsstruktur in Wohngebäuden nach Baujahr (Cischinsky & Diefenbach, 2018). Während der Anteil von Wärmepumpen in den vor 1978 (bzw. von 1979 bis 2009) errichteten Gebäude unter 1 % (bzw. bei 4 %) liegt, beträgt dessen Anteil in den nach 2010 errichteten Wohngebäuden 39 %.

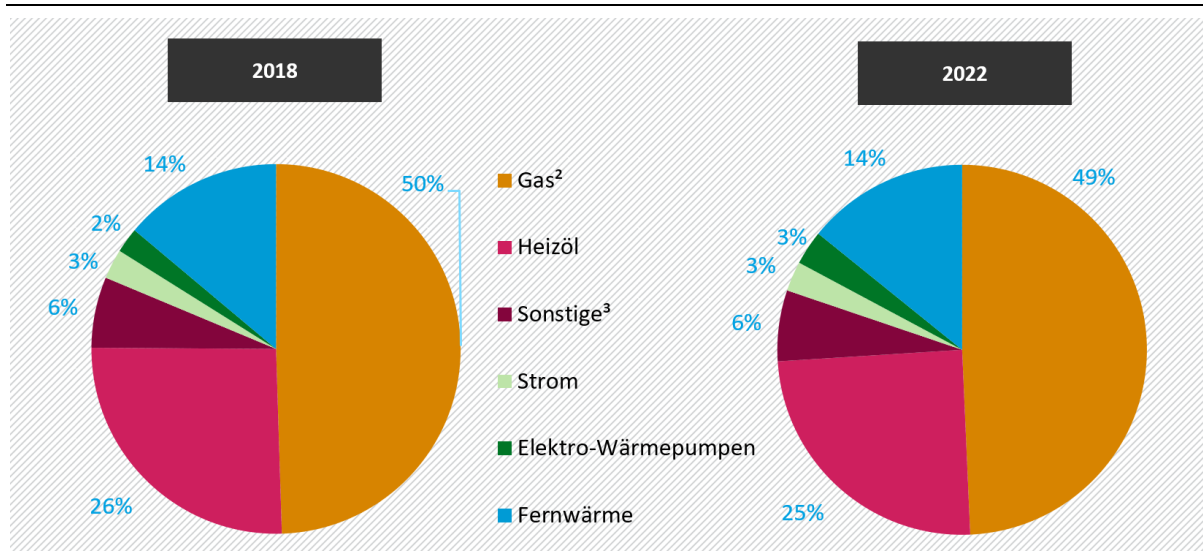
Abbildung 4: Beheizungsstruktur EZFH und MFH in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung nach Cischinsky und Diefenbach 2018

Abbildung 5 zeigt zum Vergleich die Beheizungsstruktur im gesamten Wohngebäudebestand für die Jahre 2018 und 2022, unter Einbeziehung der mit Fernwärme versorgten Gebäude. Es wird deutlich, dass der hohe Anteil der Wärmepumpe im Neubau erst beginnt, sich auf die Beheizungsstruktur des Gesamtbestandes an Wohngebäuden quantitativ auszuwirken.

Abbildung 5: Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes¹ in Deutschland



Anteile der Energieträger ¹ Anzahl der Wohnungen in Gebäuden mit Wohnraum; Heizung vorhanden; teilweise geschätzt ² einschließlich Bioerdmethan und Flüssiggas ³ Sonstige (u.a. Holzpellets, Solarthermie, Koks/Kohle) Stand 08/2023

Quelle: BDEW 2023

Nichtwohngebäude

Das statistische Bundesamt weist für das Jahr 2020 rund 11.000 Baufertigstellungen von Nichtwohngebäuden mit Raumheizwärmebedarf über Passivhaus-Niveau aus; sowie 13.000 Nichtwohngebäude ohne Raumheizung bzw. Wärmebedarf auf Passivhaus-Niveau. Die Gruppe der Nichtwohngebäude umfasst bspw. Bürogebäude, Fabrikat-/Werksgebäude, Handelsgebäude, Warenlager, Hotels. 23 % der im Jahr 2020 errichteten Nichtwohngebäude, die einen Raumwärmebedarf über Passivhaus-Niveau aufweisen, werden dieser Statistik zu folge überwiegend mit Wärmepumpen beheizt. Die Verbreitung von Wärmepumpen in diesem Gebäudesegment liegt somit in einer ähnlichen Größenordnung wie bei Mehrfamiliengebäuden (26 %, siehe oben). Im Jahr 2010 lag der Anteil der mit Wärmepumpen beheizten Nichtwohngebäuden bei knapp 10 %.

Im Rahmen des Projektes ENOB:dataNWG wurde eine Methodik entwickelt, den Bestand an Nichtwohngebäuden zu erfassen. Für Deutschland wurde eine Anzahl von rund 21 Mio. Nichtwohngebäude ermittelt. Davon sind rund 2 Mio. Nichtwohngebäude beheizt oder gekühlt (GEG-relevant) (Hörner, 2021). Abbildung 6 zeigt eine Übersicht über die Beheizungsstruktur in diesen Gebäuden. „Zentral elektrisch“ oder „dezentral elektrisch“ entspricht einer Beheizung mittels Wärmepumpe. Der Anteil von Wärmepumpen in den GEG-relevanten Nichtwohngebäuden ist im Vergleich zu den Wohngebäuden sehr gering. Während dessen Anteil in der Gruppe der ab 2010 errichteten Gebäude im Wohngebäudebereich bei 39 % liegt, beträgt dieser in Nichtwohngebäuden nur rund 5 %. Die Angabe zum Anteil der mit Wärmepumpen beheizten Nichtwohngebäude in dieser Studie unterscheidet sich somit zu den Angaben des statistischen Bundesamtes. In einer Folgestudie sind die jeweils verwendeten Datengrundlagen und Bilanzierungsräume näher zu betrachten.

Abbildung 6: Bestandsaufnahme Wärmeerzeuger in Nichtwohngebäuden

GEG-relevante NWG	Kategorie Hauptwärmeerzeuger ⁽¹⁾ , gebäudebezogen, Spaltenprozente			
Auswertung 3.1.6 (22.4.21)	Altbau vor 1. WSVO	Bestandsbau nach 1. WSVO bis 2009	Neubau ⁽³⁾ (ab 2010)	Gesamt
Zentral elektrisch	(1,5 ± 1,0%) ⁽²⁾	(5,6 ± 2,8%)	4,2 ± 1,3%	3,2 ± 1,2%
Dezentral elektrisch	2,0 ± 0,6%	(5,9 ± 3,6%)	(1,1 ± 0,7%)	3,5 ± 1,5%
Zentral Brennstoff	78,0 ± 3,0%	66,0 ± 5,3%	54,1 ± 10,9%	72,5 ± 2,8%
Dezentral Brennstoff	4,8 ± 2,2%	(4,1 ± 2,1%)	(21,7 ± 12,0%)	5,2 ± 1,6%
Nah- oder Fernwärme	13,7 ± 2,1%	18,4 ± 4,6%	18,9 ± 7,8%	15,7 ± 2,3%

Heizkessel überwiegen in allen Altersklassen. Nah- und Fernwärme hat im Vergleich zu den Wohngebäuden etwa den doppelten Anteil. Die Anzahl elektrischer Wärmepumpen im Neubau ist auffallend gering. Gasbetriebene Hell- und Dunkelstrahler überwiegen bei dezentralen Anlagen mit Brennstoff.

(1) Merkmal w_erb_kat aus überwiegender Beheizungsart und Energieträger.
(2) (###) relativer Standardfehler ≥ 50%
(3) Vergleichswert Wohngebäude Neubau (Tab. 52)
elektrische Wärmepumpen: 39,0%, Heizkessel: 49,8%, Fernwärme: 7,1%

Quelle: Hörner, 2021

4.1.3 Wärmequellen

Einordnung der Wärmequellen als erneuerbare Energie in der RED II und dem Beschluss 2013/114/EU

Als erneuerbare Energie im Sinne der RED II und dem Beschluss 2013/114/EU werden geothermische Energie und Umgebungsenergie definiert. Abluft wird hierbei nicht im vollen Umfang als erneuerbare Energie eingestuft. Der Beschluss 2013/114/EU gibt keine näheren Aufführungen wie der anzurechnende Anteil zu bestimmen ist (vgl. Kapitel 3.5). In Artikel 15a der (RED III, 2023) wird nun ermöglicht, dass Abwärme und -kälte bis zu einer Obergrenze von 20 % auf den Richtwert für den nationalen Anteil der Erneuerbaren am für den Wirtschaftszweig Gebäude bezogenen Endenergieverbrauch anrechnen können. Wird dies in der jeweiligen nationalen Umsetzung des RED III so beschlossen, so erhöht sich der Richtwert für den nationalen Anteil um die Hälfte des Prozentsatzes der verwendeten Abwärme und -kälte, der auf diesen Anteil angerechnet wird. In Zahlen würde sich der Richtwert für den der Erneuerbaren Anteil dann bei maximaler Anrechnung von Abwärme und -kälte von 49% auf 59% bis zum Jahr 2030 erhöhen (RED III, 2023).

In der "Guidance on heating and cooling aspects in Articles 15a, 22a, 23 and 24 of Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources as amended by Directive (EU) 2023/2413 vom 02. September 2024 ist dies näher geregelt (C/2025/2238, 2025). Danach müssen zur Anrechenbarkeit von Abwärme gemäß der RED III vier Kriterien kumulativ erfüllt werden: Die Abwärme muss *unvermeidbar* und als *Nebenprodukt* anfallen, entweder *bei der Energieerzeugung, industriellen Prozessen oder im tertiären Sektor* – was die Anrechenbarkeit von Abwärme aus Wohnräumen explizit ausschließt – und sie muss über *Wärme- bzw Kältenetze verfügbar gemacht werden*. Im GEG 2024 ist entsprechend formuliert,

dass die Nutzung unvermeidbarer Abwärme das Erfordernis der Nutzung erneuerbarer Energie bei der Gebäudeheizung ersetzen kann.

Bedeutung der Wärmequelle im Kontext der AGEE-Stat Statistik

Für die Ermittlung der gemäß RED III mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie ist neben der Definition in dieser Richtlinie von Bedeutung, die von den in Deutschland installierten Wärmepumpen genutzte Wärmequellen zu kennen. Mit dieser Information lässt sich ableiten, welcher Anteil des Wärmepumpenabsatzes aufgrund Nutzung von nicht als erneuerbarer Wärmequellen eingestufte Wärmequellen keinen Eingang in die AGEE-Stat Statistik nehmen dürfen. Wichtig für diese Fragestellung ist somit die Abgrenzung zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Wärmequellen. Ein weiterer Aspekt der Bedeutung der Wärmequelle ist dessen Einfluss auf die Effizienz des Wärmepumpenbetriebes und damit den SPF (vgl. Kapitel 6.3).

Wärmequellen der installierten Wärmepumpen

Heizungswärmepumpen nutzen in Deutschland fast ausschließlich Außenluft, Erdwärme oder Grundwasser als Wärmequelle (vgl. Kapitel 4.2.1 und Kapitel 9.1). Erdwärme wird über Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren oder andere Bauformen (bspw. Erdkörbe) i.d.R. mit einem Wasser-Frostschutzgemisch betriebenen Wärmequellenkreis erschlossen. Der Einsatz von Wärmepumpen mit Direktverdampfung, bei denen das Kältemittel den Wärmequellenkreis im Erdreich durchströmt, ist äußerst selten.

Die Nutzung weiterer erneuerbarer Wärmequellen für Heizungswärmepumpen (bspw. Solarwärme über die Einbindung von Solarthermiekollektoren u.a. über Eisspeicher oder die kombinierte Außenluft-/Solarwärmenutzung über PVT-Kollektoren) sind Nischenanwendungen. Ebenfalls von geringer Bedeutung ist die Nutzung von Abluft, die gemäß der Richtlinie zur RED III in aller Regel nicht zu den erneuerbaren Quellen gezählt wird (C/2025/2238, 2025), siehe weiter oben in 4.1.3. Bei Heizungswärmepumpen wird Abluft nur bei Luft/Luft-Wärmepumpen als Wärmequelle verwendet, die in Kombination mit einer Wärmerückgewinnung in Passivhäusern eingesetzt werden. Für Gebäude mit einem höheren Wärmebedarf ist das Potential dieser Wärmequelle nicht ausreichend. Die Kombination von Abluft und einer zweiten Wärmequelle (bspw. Abluft) spielt in Deutschland keine Rolle.

Bei Großwärmepumpen (vgl. Kapitel 4.1.4.3) wird neben den genannten Wärmequellen bspw. auch Abwasser und Prozessabwärme als Wärmequelle verwendet, die unter den in Voraussetzungen der o.g. Richtlinie in Wärme- und Kältenetzen als erneuerbare Energiequelle angerechnet werden kann (C/2025/2238, 2025).

Neben den zuvor aufgeführten Heizungswärmepumpen, die außer der Raumheizung i.d.R. auch die Trinkwassererwärmung übernehmen, gibt es reine Brauchwasserwärmepumpen. Zumeist nutzen diese Wärmepumpen Luft als Wärmequelle und erwärmen das Trinkwasser über den im Trinkwasserspeicher integrierten Kondensator (Direktkondensation). Hierbei kommt Raumluft des Aufstellraumes, Abluft einer Wohnungslüftungsanlage oder Außenluft als Wärmequelle zum Einsatz. Die Nutzung anderer Wärmequellen, bspw. des Rücklaufes des Heizungskreises sind Nischenanwendungen. Nach Einschätzung der Autor*innen wird die Nutzung der Raumluft als die verbreitete Anwendung gesehen, gefolgt von Abluftnutzung, siehe dazu auch Kapitel 4.2.2.

4.1.4 Wärmepumpentechnologien mit geringer Marktdurchdringung

4.1.4.1 Gasbetriebene Wärmepumpen

Es lassen sich zwei Gruppen von gasbetriebenen Wärmepumpen unterscheiden:

► **Sorptionswärmepumpen:**

Bei Sorptionswärmepumpen wird zwischen Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen unterschieden. Insbesondere in nicht oder nur gering sanierten Bestandsgebäuden mit der Notwendigkeit für hohe Heizungsvorlauftemperaturen bieten Absorptionswärmepumpen Möglichkeiten der Energieeinsparung, da hier nach wie vor sonst hauptsächlich Gas-Brennwertgeräte zum Einsatz kommen und die Effizienz von Kompressionswärmepumpen bei hohen Temperaturhüben schneller sinkt als die der thermisch angetriebenen Wärmepumpen.

► **Gasmotorisch angetriebene Kompressionswärmepumpen:**

Diese Wärmepumpen funktionieren wie elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen. Hierbei wird der Verdichter nicht mit elektrischer Energie, sondern mittels eines Gasmotors angetrieben. Gasmotorische Wärmepumpen werden derzeit vorrangig im Nichtwohngebäudebereich eingesetzt. Die Geräte werden zum Heizen ebenso wie zum Kühlen eingesetzt; mit wassergeführten ebenso wie mit luftgeführten Systemen.

Der Markt für thermische Sorptionswärmepumpen entwickelt sich weiterhin nur sehr verhalten. Aktuell werden in Deutschland keine Sorptionswärmepumpen als Seriengeräte mehr hergestellt. Die Produktionen der Adsorptionswärmepumpen von Vaillant und Viessmann wurde im Zeitraum 2016 / 2018 eingestellt und nur noch Restbestände verkauft.

Absorptionswärmepumpen der Firma Robur aus Italien sind in Deutschland z.B. über den Vertrieb durch Bosch Thermotechnik und Remeha erhältlich. Die Heizleistung der Sorptionswärmepumpen liegt bei 20 kW bzw. 40 kW (Robur). Bei einigen Unternehmen laufen seit einigen Jahren Entwicklungsarbeiten für Sorptionswärmepumpen. Die österreichische Firma E-SORP Innovation GmbH entwickelt ein Absorptionswärmepumpengerät, das sich derzeit in der Feldtest-Phase befindet. Auch die niederländische Firma Coolt befindet sich in der Feldtestphase einer Adsorptions-Gaswärmepumpe (Aktivkohle-Ammoniak).

Der italienische Hersteller Ariston ist in Italien mit einer Absorptions-Gaswärmepumpe am Markt und plant nach eigenem Bekunden den Markteintritt in Deutschland mit einer 15 kW Absorptions-Gaswärmepumpe über seine Tochterfirma Elco. Hindernis sind derzeit allerdings noch Unsicherheiten in der Anwendung der Regelungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) 2023 im Falle von Gaswärmepumpen. Konkret geht es um die Anrechenbarkeit der Umweltwärme (ca. 35% der bereitgestellten Wärme) als erneuerbaren Energieanteil, die im Falle von Gaswärmepumpen nicht ausdrücklich genannt ist. Je nach Interpretation des GEG wäre der Einbau einer Gaswärmepumpe entweder nur bis maximal 2029 (ohne Anrechnung der Umweltwärme) oder 2035 (bei zusätzlicher Anrechnung der Umweltwärme) zulässig. Bisher kann die Anrechnung der Umweltwärme nur im Einzelnachweis basierend auf rechnerischem Nachweis anhand DIN / TS 18599 erfolgen. Es gibt keine belastbare Aussage seitens des BMWK zur allgemeinen Anrechnung des Umweltwärmeanteils.

Sollte der Anteil der Umweltwärme entsprechend dem derzeitigen Wortlaut des GEG nicht anrechenbar sein, so stünde eine Vermarktungsphase von nicht mehr als 4 Jahren der Investition in die Produktionslinien sicherlich entgegen.

Die potenzielle Nutzung von grünem Wasserstoff ist (wie auch bei Brennwertgeräten) ein Entwicklungsziel der Hersteller. Im Hinblick auf einen Einsatz von Sorptionswärmepumpen auch im Einfamilienhausbereich wird auch die weitere Entwicklung von Geräten mit Heizleistung von 10 kW bis 15 kW in den Blick genommen.

Im Bereich von Großwärmepumpen (mehrere 100 kW bis in den MW-Bereich), z.B. zur Anwendung in Wärmenetzen, werden Absorptionswärmepumpen in Einzelanfertigung hergestellt.

Gasmotorisch angetriebene Wärmepumpen verschiedener Hersteller sind im Leistungsbereich zwischen 20 und 100 kW Heizleistung marktverfügbar. In Deutschland sind hier z.B. die Firmen Aisin, Yanmar und Panasonic aktiv. (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. [ASUE], 2020), (Bafa, 2020).

Derzeit dürfte das Marktvolumen Gasbetriebener Wärmepumpen nach Meinung von Expert*innen zufolge bei deutlich weniger als 100 Einheiten in Deutschland betragen. Zum Vergleich: Das Marktvolumen in Italien, wo wichtige Hersteller ihren Sitz haben (Robur, Ariston) liegt geschätzt bei einigen hundert Einheiten im Jahr.

4.1.4.2 Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen

Außenluft/Raumluft-Wärmepumpe bestehen aus einem Außengerät und mindestens einem Innengerät, die über den Kältemittelkreislauf verbunden sind. Die Anlagen können zum Heizen wie zum Kühlen verwendet werden. In Deutschland wird eine Außenluft/Raumluft-Wärmepumpe derzeit noch nicht häufig als Heizsystem eingesetzt. Ein wesentlicher Grund hierfür ist die traditionell wasserbasierte Wärmeverteilung in deutschen Wohngebäuden. Dieser Wärmepumpentyp wird in der Absatzstatistik des BWP/BDH bisher nicht erfasst. Die Antragszahlen zur Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) der letzten Jahre zeigen, dass Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen im deutschen Markt eine größere Rolle als bislang angenommen haben. Der Anteil von Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen an den Förderanträgen lag im Jahr 2024 bei 23 %¹².

Bei der Einordnung der Zahlen ist Folgendes zu beachten: Die Anzahl der geförderten Wärmepumpengeräte lässt keine Rückschlüsse auf deren Einsatz - und damit auf die Menge der aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie - zu. So ist der Einsatz zur alleinigen Beheizung von Wohngebäuden ebenso denkbar wie der additive Einsatz zu bestehenden Heizungsanlagen (als bivalentes System), insbesondere, da bei der Installation grundsätzlich kein Eingriff an das bestehende Heizsystem nötig ist. Weitere Beispiele sind die Nutzung zur Beheizung von bislang unbeheizten oder hinzugebauten Räumen. Neben der Raumheizung ist auch die Raumkühlung ein Anwendungsfeld für Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen.

¹² BEG Heizungsförderung - Anzahl Zusagen nach Wärmeerzeuger und Monaten 27.02.24 - 31.12.24: 33.941 Luft/Luft-Wärmepumpen von 147.891 elektrisch angetriebenen Wärmepumpen (<https://www.energiewechsel.de/KAENEf/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-antragszahlen-2024.pdf>)

4.1.4.3 Großwärmepumpen

Abgrenzung des Begriffs Großwärmepumpen

Für die Analyse des Bestands von Großwärmepumpen wird nach Auffassung der Autor*innen in Zukunft eine auf die zu erwartende Marktdurchdringung besser abgestimmte Definition für die Einordnung von Wärmepumpen in eine Kategorie Großwärmepumpe erforderlich sein.

In (Born et al., 2017) werden zwei mögliche Definitionen vorgestellt. Beide stellen heraus, dass Großwärmepumpen in der Regel keine Standard-/ Serienprodukte sind, wobei in der zweiten eine Unterscheidung auch anhand von Leistungsklassen erfolgt (Kleinwärmepumpen (serienmäßig hergestellt): bis 100 kW, mittlere Leistungsklasse (teilweise serienmäßig hergestellt, teilweise individuelle Planung aufgrund komplexer Ansprüche): 50 – 150 kW), Großwärmepumpen (insbesondere hinsichtlich Planungsaufwand und Komplexität unterschieden): ab ca. 150 kW; vgl. auch (BFE - Bundesamt für Energie, 2006)).

Der BWP gibt nach (Born et al., 2017) eine Grenze von ca. 125 kW an; Anlagen in dieser Leistungsklasse bedürfen in der Regel einer individuellen Planung und werden nicht serienmäßig hergestellt. Förderprogramme (bspw. MAP, KfW) nutzen oftmals eine Leistungsgrenze von 100 kW. Seit Januar 2020 werden auch Wärmepumpen >100 kW über das MAP gefördert. In der Statistik der verkauften Wärmepumpen nach (Nowak und Westring) ist die höchste Größenunterteilung bei 100 kW gegeben. Vor diesem Hintergrund wird zunächst weiterhin 100 kW als Grenze definiert.

Beide Definitionen spiegeln aus Sicht der Autor*innen die gegenwärtige Situation in einem Markthochlauf dar, der bislang lediglich den Einfamilienhausbereich signifikant erfasst hat. Es ist absehbar, dass sowohl das Kriterium der Serienfertigung als auch die Abgrenzung nach Leistung sich hin zu größeren Leistungsklassen verschieben wird, wenn zum einen auch Mehrfamilienhäuser regelmäßig von Wärmepumpen versorgt werden (ab 50 kW bis mehrere hundert kW) und „richtige“ Großwärmepumpen für die Versorgung von Wärmenetzen und industrielle Prozesse weit im Megawattbereich die Regel werden, sobald die Elektrifizierung von Mehrfamilienhäusern, Gebäudeensembles mit Nachbarschaftswärmenetzen, Quartiers-Nahwärme und Fernwärmenetzen in nennenswertem und dann absehbar rasch zunehmendem Umfang eingesetzt haben wird

Wichtig bei der Analyse des Anlagenbestands ist, dass Kaskadenanlagen nicht als Großwärmepumpen zählen. Diese Anlagen bestehen nach (Born et al., 2017) aus mehreren kleinen Wärmepumpen, die schon in den Anlagenstatistiken dieser Leistungsklasse berücksichtigt sind.

Marktdurchdringung von Großwärmepumpen

Bei der Fernwärmeversorgung spielten Wärmepumpen 2012 europaweite gemäß der Studie „Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables), 2016“. eine „minimale Rolle“. Für Deutschland wurde ein Beitrag von Wärmepumpen mit 0,0 % an der Wärmegestehung in der Fernwärme angegeben.

Von 2008 bis 2021 wurden in Deutschland nach eigenen Recherchen mindestens 24 Anlagen mit z.T. mehreren Großwärmepumpen mit Anlagenkapazitäten von 100 kW bis 10 MW in Betrieb genommen. Die installierte Gesamtleistung betrug Ende 2021 mindestens 28 MW. Der Zubau betrug 2021 rund 6 MW mit stark steigender Tendenz.

Laut Ahrendts et al. (2023) waren Anfang 2023 in Deutschland mindestens 30 Wärmepumpenanlagen mit jeweils einer thermischen Leistung von 500 kW oder mehr in

Betrieb, die zusammen eine Gesamtleistung von ca. 60 MW aufweisen. Diese Zahl wurde in einer Studie des Fraunhofer IEG 2023 durch Recherche von einzelnen Projekten ermittelt (Ahrendts et al., 2023). Ahrendts et al. (2023) führen weiter aus, dass Anfang 2023 nach Informationen des Fraunhofer IEG mindestens 30 weitere Großwärmepumpenprojekte mit einer Gesamtleistung von rund 600 MW im Bau oder in Planung seien.

Hinweis: Im Rahmen der AGEE-stat Berichterstattung wurde die Leistungsgrenze für Großwärmepumpen oft bei 100 kW gezogen. Die e.g. Studie (Ahrendts et al., 2023) definiert Wärmepumpen ab einer Heizleistung von 500 kW pro Einheit als Großwärmepumpen. Ahrendts et al. (2023) begründen dies damit, dass ab der Leistungsgröße 500 kW typischerweise andere Verdichtertechnologien als bei den kleineren Leistungsklassen zum Einsatz kämen. Die Studie betrachtet Großwärmepumpen unabhängig von der Art der Wärmequelle (Ahrendts et al., 2023), sodass die Zahlen auch Anlagen enthalten, die nicht (ausschließlich) erneuerbare Energie im Sinne der Renewable Energy Directive der EU (RED III) nutzen.

Technologische Entwicklung

„Für den Temperaturbereich von Wärmenetzen haben die Hersteller bereits ein breites Spektrum marktreifer Großwärmepumpenprodukte im Angebot. Viele davon sind bereits in verschiedenen Ländern Europas zuverlässig in Betrieb. In Deutschland sind dagegen bislang sowohl im Fernwärme- als auch im Industriesektor nur wenige Großwärmepumpen installiert.“ (Ahrendts et al., 2023), vgl. Kapitel 3.1. „Aktuell ist das Marktsegment ab 1 MW Leistung noch stark durch kundenspezifische Lösungen und sehr geringe Stückzahlen gekennzeichnet. Dabei gehen die Hersteller davon aus, dass im Leistungsbereich bis ca. 10 MW Wärmeleistung noch erhebliche Potenziale für mehr Standardisierung vorhanden sind“, beschreibt Ahrendts et al. (2023) den Angebotsmarkt für Großwärmepumpen. Ahrendts et al. (2023) listen rund 90 im Jahr 2023 marktverfügbare Großwärmepumpen im Leistungsbereich von 0,1 bis 100 MW auf unter Angabe der Verdichtertechnik, maximaler Vorlauftemperatur und Heizleistung.

Perspektive

Laut Ahrendts et al. (2023) ist die Situation in Deutschland von zwei Faktoren gekennzeichnet: Die Technologien sind vorhanden und bewährt, und können schnell skaliert werden. Der Markt für Großwärmepumpen in Deutschland stecke hingegen noch in den Kinderschuhen. „Anfang 2023 waren nach Informationen des Fraunhofer IEG mindestens 30 Großwärmepumpenprojekte mit einer Gesamtleistung von rund 600 MW bereits im Bau oder in Planung.“ (Ahrendts et al., 2023) „Des Weiteren gibt es derzeit einige Ankündigungen sowie noch nicht öffentlich bekannt gemachte große Wärmepumpenprojekte mit Einzelleistungen im ein- bis dreistelligen MW-Bereich, die mit dem Ziel einer baldigen Realisierung derzeit im Rahmen von Machbarkeitsstudien untersucht werden.“ (Ahrendts et al., 2023) .

Ahrendts et al. (2023) sehen das Potenzial gegeben, dass Großwärmepumpen im Jahr 2045 über 70 Prozent der Fernwärme bereitstellen. Dazu sei ein durchschnittlicher jährlicher Zubau von mindestens 4 Gigawatt neuer thermischer Großwärmepumpenleistung bis 2045 erforderlich. Auch laut Jentsch (2023) muss sich in den kommenden Jahren der Zubau an Großwärmepumpen weiter beschleunigen, wenn das in der BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“ (2018) ausgegebene Ziel von 3.500 MW installierten Wärmepumpen für die Fernwärmeversorgung bis 2030 erreicht werden soll.

Prinzipiell sind Großwärmepumpen mit Leistungen von mehreren MW seit mehreren Jahren am Markt erhältlich (Born et al., 2017). Da die Anzahl der Anlagen im Feld allerdings immer noch als

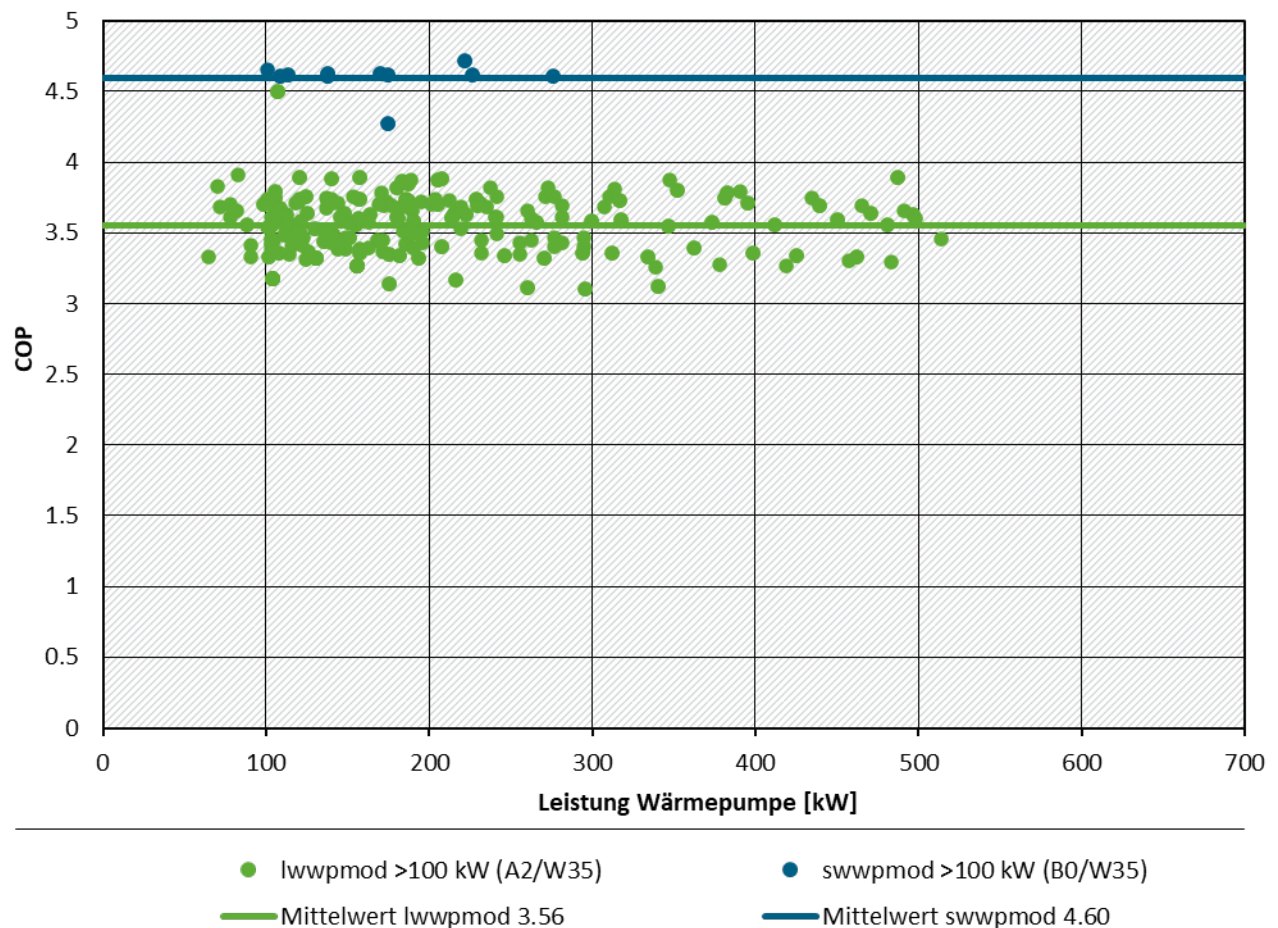
gering eingeschätzt wird und nur wenige Hersteller entsprechende Anlagen anbieten, ist die Datenverfügbarkeit gering und sollte in Folgestudien durch Experteninterviews und das Kontaktieren von Herstellern verbessert werden.

Die European Heat Pump Association (EHPA) veröffentlicht in ihrem Bericht zum Europäischen Wärmepumpenmarkt (Nowak & Westring) die Anteile verschiedener Leistungsklassen an den gesamten Verkaufszahlen für Deutschland. Demnach liegt der Anteil der Wärmepumpen in der Leistungsklasse 100 bis 500 kW bei ungefähr 1%, wobei die Ableseungenauigkeit auf Basis der veröffentlichten grafischen Darstellung ebenso hoch ist.

Zu den durchschnittlichen COP-Werten großer Wärmepumpen kann auf Grund der geringen Anzahl keine Aussage getroffen werden. Eine Effizienzsteigerung mit der Größe ist nicht offensichtlich. In einem beispielhaften Datenblatt der Fa. Engie Refrigeration GmbH mit Wärmepumpen im Bereich von 51 bis 1460 kW verläuft der COP nicht linear zur Größe, sondern variiert unabhängig von der Leistung (ENGIE Refrigeration GmbH, 2018).

Abbildung 7 zeigt eine Übersicht über die förderfähigen Wärmepumpen >100 kW des MAP aus dem Jahr 2020. In diesem Jahr wurde der COP noch in der Liste geführt. Ab 2021 werden die COP-Kennwerte der Geräte nicht mehr aufgeführt. Da Wärmepumpen mit einer Heizleistung > 100 kW erst seit 2020 über das MAP förderfähig sind, bilden die aufgeführten Geräte wahrscheinlich ausschließlich am Markt verfügbare Geräte. Die Liste gibt jedoch keine direkte Aussage zu der Effizienz der verkauften Geräte. Die durchschnittlichen COP in dieser Leistungsklasse liegen in der gleichen Größenordnung von Wärmepumpen kleinerer Leistung (vgl. Abbildung 25 und Abbildung 26).

Abbildung 7: Übersicht über COP und Leistung von förderfähigen Wärmepumpen > 100 kW (lwwpmod steht für modulierende Luft/Wasser-Wärmepumpen, swwpmod für modulierende Sole/Wasser-Wärmepumpen). Die Daten stammen von Wärmepumpen, die im Jahr 2020 in die Liste der förderfähigen Anlagen des MAP aufgenommen wurden (Bafa, 2020).



Quelle: Eigene Darstellung der Bafa-Liste 2020

Einsatzgebiete großer Wärmepumpen/Hochtemperaturwärmepumpen

Große Wärmepumpen sind in der Industrie, in Wärmenetzen, großen Gebäuden oder z. B. auch in Schwimmbädern einsetzbar. In der Industrie wird zumeist Abwärme als Wärmequelle verwendet (S. Henninger, persönliche Kommunikation, 2021). Auch die sogenannten Hochtemperatur-Wärmepumpen (HTWP) sind hauptsächlich in der Industrie anzutreffen. Da diese für hohe Senkentemperaturen möglichst auch hohe Quellentemperaturen benötigen, kommt hauptsächlich Abwärme als Wärmequelle in Frage. Es sind auch Niedertemperatur-Netze denkbar, die mit unterschiedlichen Wärmequellen, z. B. Solarthermie, gespeist werden. Eine gute, wenn auch nicht mehr ganz aktuelle Übersicht über die Klassifikation von Wärmepumpen nach Verdichtertechnologie, Temperaturniveau, über kommerziell verfügbare HTWP und die Abhängigkeit des COP für verschiedene HTWP bietet Arpagaus (2019).

Großwärmepumpen für die Versorgung von Fernwärmenetzen werden für die nahe Zukunft für Neubauquartiere konzipiert, so als mögliche Variante im 2021 beschlossenen Energieversorgungskonzept für den Freiburger Stadtteil Dietenbach mit geplant 6.900 Wohnungen, die in den Jahren 2025 bis ca. 2040 errichtet werden sollen.

4.1.5 Einordnung

Sektorale Zuordnung

Das statistische Bundesamt weist für das Jahr 2020 im Bereich der Wohngebäude und Nichtwohngebäude zusammen 54.300 neu errichtete Gebäude aus, die Wärmepumpen als primären Wärmeerzeuger zur Raumheizung einsetzen. Rund 88% der in Neubauten eingesetzten Wärmepumpenanlagen werden in Ein-/Zweifamiliengebäuden installiert, 8% in Mehrfamilienhäusern und 5% in Nichtwohngebäuden. (Destatis, 2021).

Diese Angaben beziehen sich auf die Anzahl der beheizten Gebäude. Für die sektorale Verteilung der mit Wärmepumpen genutzten Erneuerbaren Energie, ist die im jeweiligen Sektor installierte Gesamtleistung (sowie die sich ggf. unterscheidenden Betriebsdaten (Effizienz und Betriebsstundenäquivalent) von Bedeutung. In Ein-/Zweifamiliengebäuden werden üblicherweise Anlagen bestehend aus einem Wärmepumpengerät der Nennheizleistungsklassen < 10 kW (eher Neubau) sowie 10 kW bis 20 kW (eher Gebäudebestand) installiert. In Mehrfamiliengebäuden, werden – je nach Wärmelast – oftmals kaskadierte Anlagen verwendet, die bspw. aus zwei oder drei Wärmepumpengeräten gestehen. Die Nennheizleistung der Anlagen in Mehrfamiliengebäuden weist eine große Bandbreite auf. Hier werden sowohl Wärmepumpengeräte der Leistungsklasse 10 kW bis 20 kW als auch über 20 kW eingesetzt. Auch im GHD-Sektor wird der Einsatz von Wärmepumpen der e.g. Leistungsklassen vorkommen. Die Autor*innen regen an, in einer Folgestudie auf Basis der Neubaustatistik (Heizenergie, Gebäudegröße, Gebäudenutzung), der BDH/BWP-Absatzstatistik nach Leistungsklassen und weiteren Quellen eine Einschätzung der sektoralen Zuordnung vorzunehmen.

Die Angaben zeigen – auch ohne „Umrechnung“ auf die Leistung -, dass die verkauften Wärmepumpen in der Vergangenheit und heute überwiegend im Wohngebäudebereich eingesetzt werden. Für die Ermittlung der betriebsbasierten Eingangsdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix, JAZ und Betriebsstundenäquivalent, wird in dieser Studie daher der Anwendungsbereich Wohngebäude herangezogen.

Beheizungsstruktur

Während der Anteil von Wärmepumpen vor 1978 (bzw. von 1979 bis 2009) errichteten Wohngebäuden unter 1 % (bzw. bei 4 %) liegt, beträgt dessen Anteil in den im Jahr 2020 errichteten Wohngebäuden 46 %. Hierbei ist die Beheizung von Ein-/Zweifamilienhäusern mit Wärmepumpen verbreiteter (49 %) verbreiteter als der Einsatz in Mehrfamilienhäusern (26 %). In Nichtwohngebäuden ist der Anteil der Nutzung von Wärmepumpen zur Raumheizung geringer als im MFH-Bereich.

Wärmequelle

Heizungswärmepumpen nutzen in Deutschland fast ausschließlich Außenluft, Erdwärme oder Grundwasser als Wärmequellen und Heizungswasser als Wärmeträger (vgl. Kapitel 4.1.1, Kapitel 4.1.3, Kapitel 4.1.4.2). Somit wird die Klassifikation der elektrischen Heizungswärmepumpen in der AGEE-Stat Berechnungsmatrix in diese drei Wärmequellen derzeit als hinreichend eingeordnet. Im Zuge der zu erwartenden steigenden Bedeutung von Großwärmepumpen ist zukünftig auch die Verteilung der Wärmequellennutzung in diesem Anwendungsbereich zu berücksichtigen. Zudem ist die Entwicklung im Marktsegment Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen in den Blick zu nehmen.

Brauchwasserwärmepumpen nutzen zumeist Raumluft aus unbeheizten Kellerräumen oder Abluft als Wärmequelle. Wie in Kapitel 3.5 beschrieben ist die (anteilige) Berücksichtigung der Wärmequellen Abluft und Raumluft als erneuerbare Wärmequelle derzeit nicht geklärt.

Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen

In Deutschland sind Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen derzeit nur vereinzelt als (additives oder alleiniges) Heizsystem eingesetzt. Die BEG-Förderzahlen von Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen sowie Ankündigungen aus der Wohnungswirtschaft¹³ zum Ersatz bestehender dezentraler Gasheizgeräte gegen Außenluft/Raumluft-Wärmepumpen deuten darauf hin, dass mit einer Ausweitung des Einsatzes zu rechnen ist. Die Autor*innen empfehlen deren Marktanteile im Blick zu behalten. Sollte diese Wärmepumpentechnologie langfristig einen relevanten Marktanteil einnehmen, so sind die Einsatzbedingungen zu untersuchen, um Einschätzungen über die Effizienz und die Betriebsstundenäquivalente vornehmen zu können.

Gasbetriebene Wärmepumpen

Für Gas-Wärmepumpen wurde eine Bestandsaufnahme der bislang wenigen Installationen im Bereich der Wärmeversorgung vorgenommen. Sie spielen quantitativ keine Rolle und die Autor*innen erwarten hierbei keine relevanten Änderungen.

Großwärmepumpen

Ein prüfender Blick wurde auf der Bereitstellung von Daten zu Großwärmepumpen gelegt. Sie spielen bislang noch keine quantitativ ins Gewicht fallende Rolle in Deutschland. Im Zuge der anstehenden Dekarbonisierung der Gebäudeenergieversorgung und eines möglicherweise vorgezogenen Gasausstiegs aufgrund des Angriffskrieges Russlands auf die Ukraine könnte der Einsatz von Großwärmepumpen in den nächsten Jahren Fahrt aufnehmen. Quantitativ zunehmend relevante Zuwächse und Verschiebungen hin zu größeren Leistungsklassen werden für Mehrfamilienhäuser (ab 50 kW bis mehrere hundert kW) und bei „richtigen“ Großwärmepumpen für die Versorgung von Wärmenetzen und industriellen Prozesse weit im Megawattbereich erwartet.

4.2 Absatzzahlen Wärmepumpen in Deutschland

4.2.1 Elektrische Heizungswärmepumpen

4.2.1.1 Datenbasis

In Abbildung 8 und Abbildung 9 ist der zeitliche Verlauf der Absatzzahlen von elektrischen Heizungswärmepumpen dargestellt. Es werden drei unterschiedliche Datenquellen verglichen:

- ▶ Inputdaten der AGE-Stat Berechnungsmatrix (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik [AGE-Stat], 2023)
- ▶ BDH/BWP Absatzstatistik: Abfrage für die Jahre 2009 bis 2023 (BWP, 2021), vgl. Kapitel 2.1
- ▶ BDH/BWP Absatzzahlen der jährlich in Pressemitteilungen des BWP veröffentlichten Absatzzahlen¹⁴, vgl. Kapitel 2.1

¹³ <https://www.leg-wohnen.de/unternehmen/leg-gruppe/innovationen/luft-luft-waermepumpen>

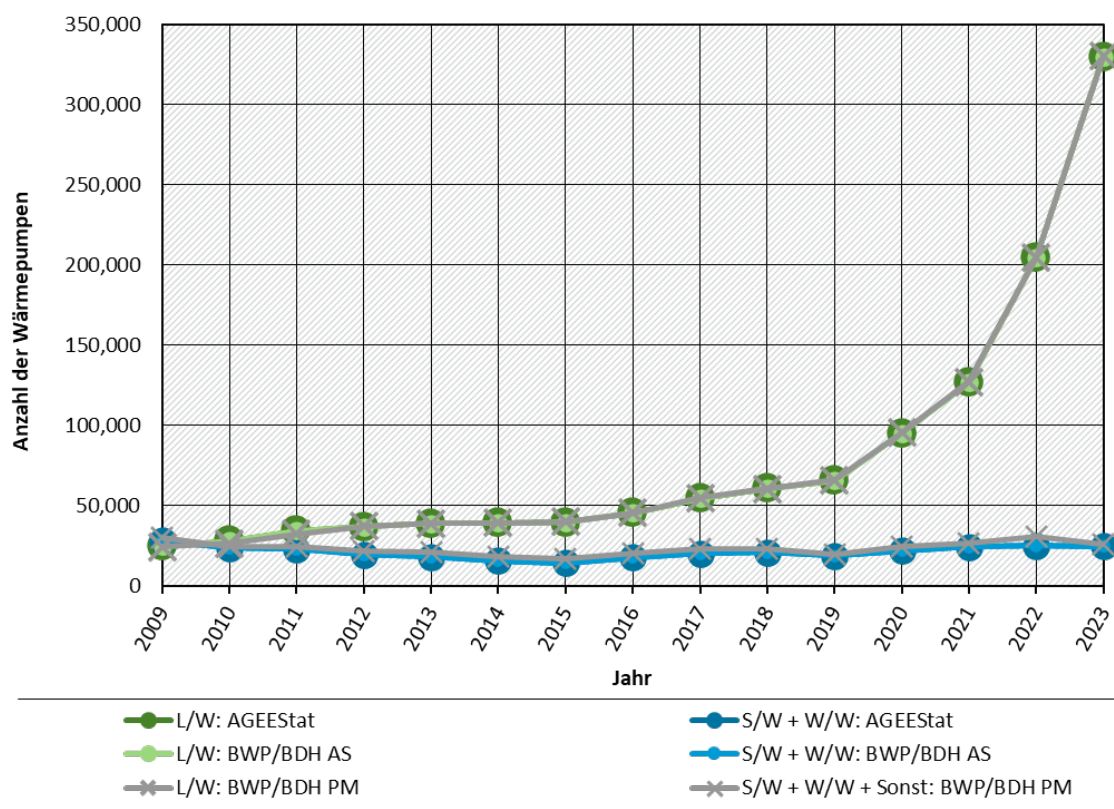
¹⁴ Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2020), BWP (2019), BWP (2018), BWP (2017), BWP (2016), BWP (2015), BWP (2014), BWP (2013), BWP (2012), BWP (2011), BWP (2010), BWP (2009)

4.2.1.2 Plausibilisierung der AGEE-Stat Eingangsdaten

Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen (Abbildung 8) zeigt sich die Übereinstimmung der drei Quellen:

- Inputdaten der AGEE-Stat stimmen mit den jährlich vom BWP/BDH den Autor*innen mitgeteilten Daten überein. Zu beachten ist, dass BWP/BDH in den Pressemitteilungen (PM) gerundete Daten veröffentlichen.

Abbildung 8: Luft/Wasser-Wärmepumpen sowie Summe Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen: Absatzzahlen



Sonstige WP = Direktverdampfung, Direktkondensation, Abluft/Wasser, Kombi-Geräte für Heizen und Lüftung

AS: Absatzstatistik

PM: Pressemitteilungen

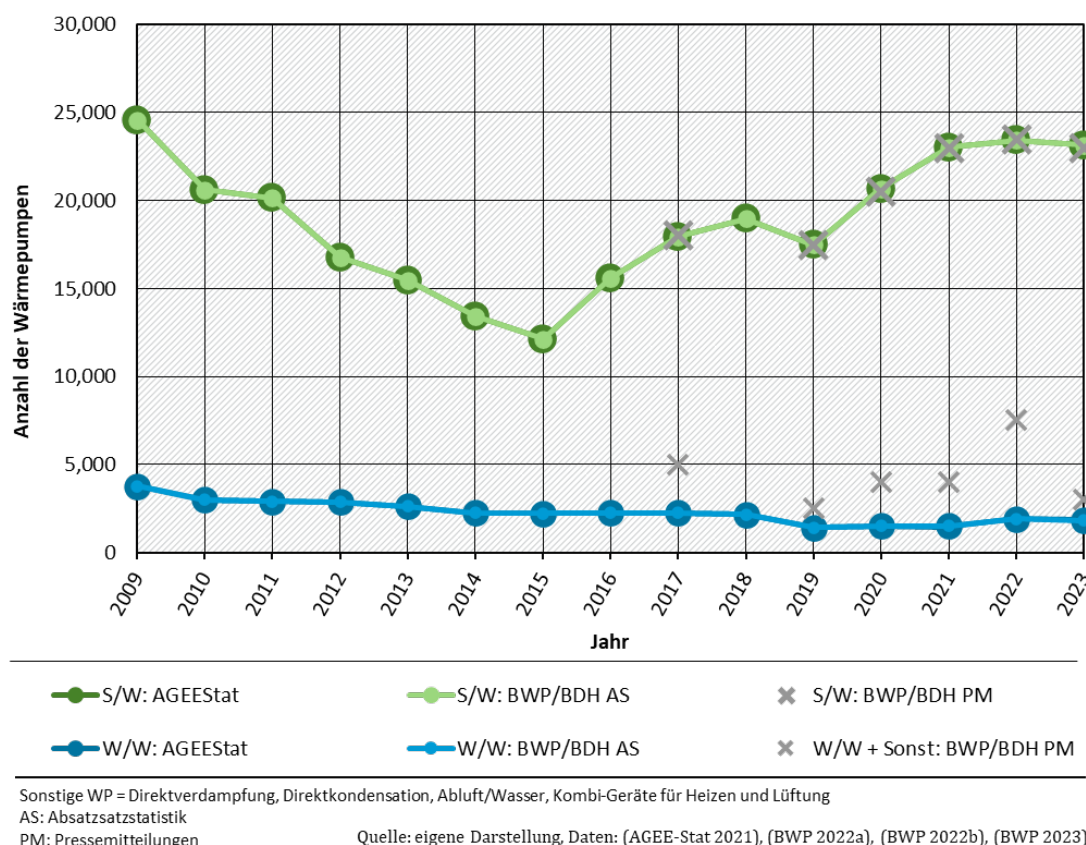
Quelle: eigene Darstellung, Daten: (AGEE-Stat 2023), (BWP 2022a), (BWP 2022b), (BWP 2023), (BWP 2024)

In Abbildung 8 ist zusätzlich zu den Luft/Wasser-Wärmepumpen die in BWP-Pressemitteilungen als Erdreich-Wärmepumpen benannte Gruppe dargestellt. In einigen der untersuchten Datenquellen liegt die Gesamtzahl dieser Gruppe vor, in anderen Datenquellen werden Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpe getrennt ausgewiesen. Im letztgenannten Fall sind diese beiden Untergruppen für diese Darstellung addiert. In Abbildung 9 sind Sole/Wasser-Wärmepumpen und Wasser/Wasser-Wärmepumpen getrennt dargestellt. Es zeigen sich folgende Ergebnisse:

- Inputdaten der AGEE-Stat stimmen mit den jährlich vom BWP/BDH den Autor*innen mitgeteilten Daten überein. Zu beachten ist, dass BWP/BDH in den Pressemitteilungen teilweise gerundete Daten veröffentlichten.
- Hinzu kommt, dass in den jährlich in Pressemitteilungen (PM) veröffentlichten Absatzzahlen den Erdreich-Wärmepumpen die sogenannten sonstigen Wärmepumpen zugerechnet

werden. Bei separater Veröffentlichung der Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen werden die sonstigen Wärmepumpen den Wasser/Wasser-Wärmepumpen zugeschlagen. Zu den sonstigen Wärmepumpen zählen neben Wärmepumpen mit Direktverdampfung, bei denen das Kältemittel den Wärmequellenkreis im Erdreich durchströmt, auch Abluft/Wasser-Wärmepumpen sowie Heizung-/Lüftung-Kombigeräte. Die Datenbankabfrage im Jahr 2023 bezieht sich nur auf die Sole/Wasser- und Wasser-Wärmepumpen. (BWP, 2022a).

Abbildung 9: Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen: Absatzzahlen



4.2.1.3 Entwicklung der Absatzzahlen

Wie Abbildung 8 zeigt, ist der Absatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen seit dem Jahr 2009 stetig gestiegen; abgesehen von einer Stagnation der Absatzzahlen im Zeitraum 2013 bis 2015. Im Jahr 2023 wurde erneut ein sprunghaftes Wachstum mit einer Steigerung von 57 % auf 330.000 verzeichnet. Damit machen Luft/Wasser-Wärmepumpen den Großteil des Wärmepumpen-Absatzes aus mit einem Marktanteil von 93 % im Jahr 2023. Seit dem Jahr 2010 liegt der Absatz von erdgekoppelten Systemen (Sole/Wasser-Wärmepumpen und Wasser/Wasser-Wärmepumpen) unter dem Absatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen. Im Zeitraum von 2009 bis 2015 sind die Absatzzahlen der erdgekoppelten Wärmepumpen stetig gesunken (von 23.600 auf 14.300). Seit dem Jahr 2015 sind die Absatzzahlen – abgesehen von einem leichten Rückgang im Jahr 2019 – wieder moderat gestiegen. Im Jahr 2023 lag der Absatz bei 26.000 und erreicht damit fast das Vorjahresniveau (BWP, 2024a)

4.2.2 Elektrische Brauchwasserwärmepumpen

Bei den elektrischen Brauchwasserwärmepumpen wurden die Inputdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix (AGEE-Stat, 2023) mit den jährlich veröffentlichten BDH/BWP Absatzzahlen verglichen¹⁴. Die Zahlen stimmen bis 2021 weitgehend überein: BDW/BWP wiesen für 2021 23.500 Warmwasser-Wärmepumpen aus, in den AGEE-Stat-Eingangsdaten sind 23.000 „Abluft-Wärmepumpen“ ausgewiesen. Wie oben beschrieben wird hier angenommen, dass damit dieselbe Kategorie bezeichnet wird. Für das Jahr 2022 allerdings weist die BDW/BWP-Presserveröffentlichung 45.000 Warmwasser-Wärmepumpen aus, in den AGEE-Stat-Eingangsdaten stehen dieser Zahl 36.357 „Abluft-Wärmepumpen“ gegenüber.

Die BDH/BWP-Absatzstatistik lässt keinen Rückschluss auf die verwendete Wärmequelle (Raumluft, Abluft o.a.) zu. Nach Einschätzung der Autor*innen wird die Nutzung der Raumluft als die verbreitete Anwendung gesehen, gefolgt von der Nutzung der Abluft. Die Aufstellung von Brauchwasser-Wärmepumpen ist derzeit in der Regel in unbeheizten Kellerräumen zu verorten, dessen Temperatur anteilig durch die umliegende geothermische Wärme gehoben wird. In dem Beschluss 2013/114/EU der Kommission wird ergänzend ausgeführt, dass für Abluft anteilig auch Energie aus erneuerbaren Quellen anrechenbar ist, ohne hierzu Vorgaben für deren Bestimmung zu liefern. Die Quelle Raumluft wird in dem Beschluss nicht erwähnt (vgl. Kapitel 3.5). In der Richtlinie (C/2025/2238, 2025) zur RED III sind Raumluft und Abluft in der Regel – und ausdrücklich aus Wohngebäuden – nicht als erneuerbare Wärmequelle einzuordnen. Allerdings regelt dieses sogenannte Guidance-Dokument inhaltlich ausschließlich die Anrechenbarkeit von Abwärme für die Nutzung in Fernwärmesystemen, sodass die weitgehende Formulierung für (Brauchwasser-)Wärmepumpen zur Wohngebäudebeheizung als nicht anwendbar und der Beschluss 2013/114/EU (2013/114/EU, 2013) weiterhin als einschlägig angesehen wird.

4.2.3 Gasbetriebene Wärmepumpen

Für gasbetriebene Sorptions-Wärmepumpen starteten 2009 erste Pilotprojekte in geringem Umfang (BWP, 2011). Der Markt für diese Wärmepumpen entwickelt sich weiterhin nur sehr verhalten. Auch der Absatz von gasmotorisch angetriebenen Wärmepumpen ist in Deutschland nach Einschätzungen von Fachleuten sehr gering. Eine Übersicht der in den letzten 15 Jahren marktverfügbaren Produkte sowie Entwicklungsaktivitäten sind in Kapitel 4.1.3 aufgeführt.

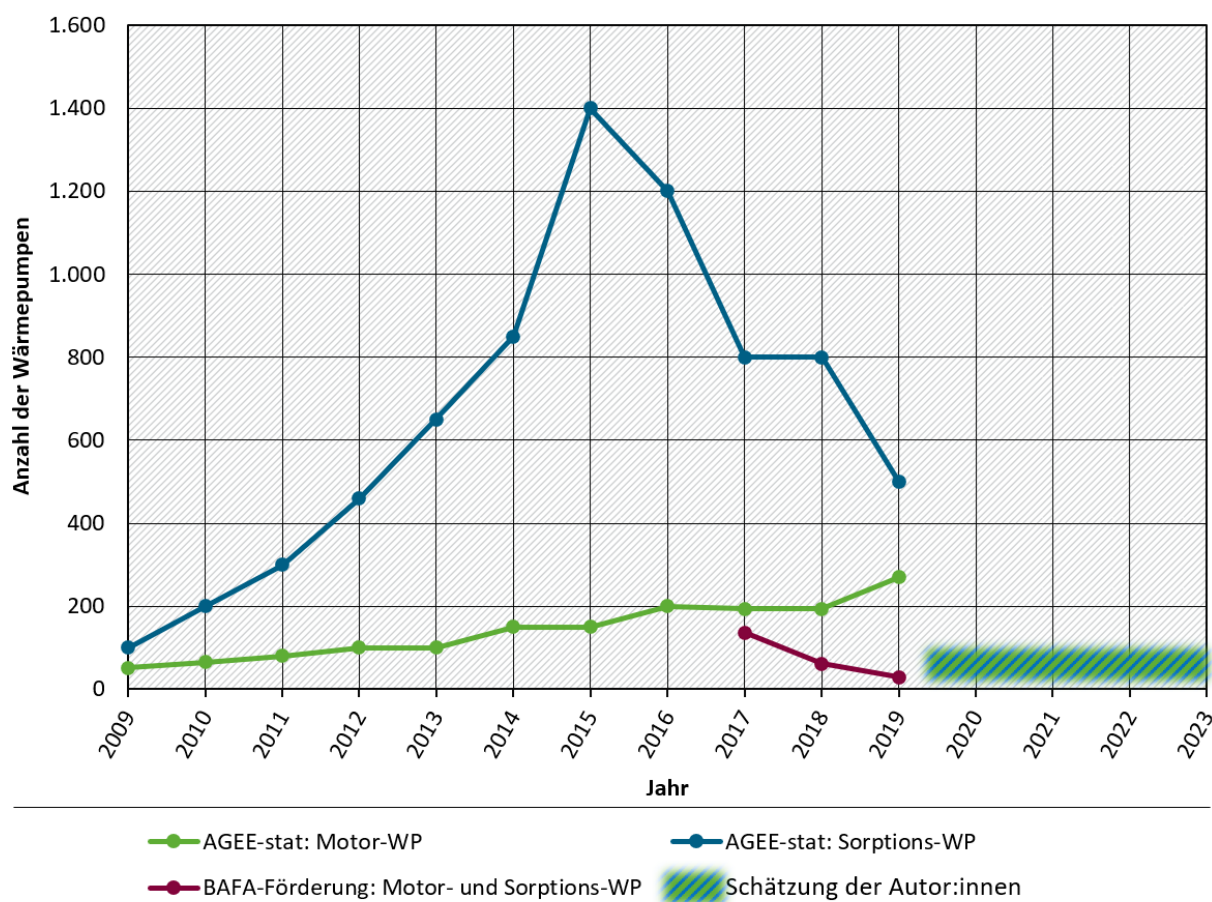
Statistiken zu Verkaufszahlen von gasbetriebenen Wärmepumpen werden aus Wettbewerbssicht aufgrund der geringen Anzahl an Herstellern nicht veröffentlicht. Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Absatzzahlen von Sorptionswärmepumpen und gasmotorischen Wärmepumpen, wie sie derzeit als Inputdaten für die Berechnungsmatrix der AGEE-Stat verwendet werden (AGEE-Stat, 2023). Als Datenbasis bis zum Jahr 2016 wurden Experteneinschätzungen des Branchenverbandes BWP, BWEW und ASUE herangezogen (Born et al., 2017). Für Sorptionswärmepumpen wird ein starker Anstieg der Absatzzahlen von 100 Geräten im Jahr 2015 auf 1.400 Geräte im Jahr 2015 angenommen und in den Folgejahren ein Rückgang auf 500 Geräte im Jahr 2020. Bei dem Absatz von gasmotorischen Wärmepumpen wird eine kontinuierliche Steigerung von 52 Geräten im Jahr 2009 auf 250 Geräte im Jahr 2020 angesetzt.

Zum Vergleich ist die Anzahl der BAFA-geförderten gasbetriebenen Wärmepumpen in den Jahren 2017 (136 Geräte), 2018 (61 Geräte) und 2019 (29 Geräte) dargestellt (Stuible et al., 2019), (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Wapler et al., 2021). Die Angaben beinhalten sowohl Absorptions- und Adsorptionswärmepumpen als auch gasmotorische Wärmepumpen. Es ergibt sich eine Unschärfe bei der Jahreszuteilung, da die Evaluationsberichte der BAFA-Förderung

nach Datum der Auszahlung erfolgt (vgl. Kapitel 2.3). Aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Inputdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix und den Förderzahlen ist diese zeitliche Unschärfe nicht von Bedeutung. Auch in den Jahren vor 2017 und im Jahr 2020 lag die Anzahl der geförderten gasbetriebenen Wärmepumpen in der gleichen Größenordnung¹⁵ (Stuible et al., 2017), (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck et al., 2018), (Stuible, Zech, Ullrich, Witt et al., 2018), (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Amendt et al., 2021). Der Rückgang der Förderzahlen von 2017 nach 2019 ist auf die Einstellung der Produktion der Adsorptionswärmepumpen zurückzuführen.

Der Vergleich der bisher in die Bewertungsmatrix der AGEE-Stat angesetzten Absatzzahlen von gasbetriebenen Wärmepumpen mit den geförderten Anlagen unterstützt die Einschätzung, dass der Umfang der Absatzzahlen eher eine Obergrenze der Schätzungen der Absatzzahlen widerspiegelt. Derzeit dürfte das Marktvolumen gasbetriebener Wärmepumpen nach der Einschätzung von Földner (2024) bei deutlich weniger als 100 Einheiten in Deutschland betragen. Aus Praktikabilitätsgründen wird vorgeschlagen, die Zahl der verkauften Systeme für die Jahre 2020 bis 2023 bei 15 Motor betriebenen und 30 Sorption-Wärmepumpen anzusetzen.

Abbildung 10: Gasbetriebene Wärmepumpen: Geschätzte Absatzzahlen sowie Anzahl der geförderten Wärmepumpengeräte



Quelle: eigene Darstellung, Daten: (AGEE-Stat 2021), (Stuible et al. 2019), (Stuible et al. 2021b), Földner (2024)

¹⁵ Da für andere Jahre nicht die konkreten Zahlen der geförderten gasbetriebenen Wärmepumpen veröffentlicht sind, wurde diese in der Grafik nicht dargestellt. Anhand der Angaben in den aufgeführten Berichten, ist jedoch erkenntlich, dass die Förderzahlen in der gleichen Größenordnung lagen.

4.2.4 Empfehlungen

Elektrische Heizungswärmepumpen

Die BDH/BWP-Absatzstatistik wird auch im Bereich der elektrischen Heizungswärmepumpen als geeignete Datenbasis für die AGEE-Stat Berechnungsmatrix eingeordnet. Es wird eine Direktabfrage der Daten beim BWP angeregt, da bei den veröffentlichten Daten oftmals die Kategorie „Wasser/Wasser-Wärmepumpen“ auch die Gruppe „sonstige elektrischen Wärmepumpen“ umfasst und dies nicht immer deutlich genug aus der Datenbezeichnung ersichtlich ist.

Die Gruppe „sonstige elektrische Wärmepumpen“ ist sehr heterogen und reicht von Wärmepumpen mit Direktverdampfung, welche vereinfacht den Sole/Wasser-Wärmepumpen zugeordnet werden könnten, bis zu Abluft-Wärmepumpen, welche, wie in Kapitel 3.5 und 4.1.3 ausgeführt, in den meisten Fällen nicht zur Nutzung erneuerbarer Wärmequellen hinzugerechnet werden dürfen. Dem Branchenverband BWP liegen keine Angaben für die unterschiedlichen Wärmepumpentypen vor, die in der Gruppe „sonstige“ inbegriffen sind. Da deren Anteil am Gesamtabatz elektrischer Heizungswärmepumpen maximal 5 % des Absatzes umfasst, fällt der Gruppe eine geringe Bedeutung zu. Um zu berücksichtigen, dass nicht all diese Wärmepumpen in die AGEE-Statistik einfließen dürften, wäre es ein vereinfachter Ansatz, diese nur zur Hälfte zu berücksichtigen. Entgegen den Gewohnheiten bei der Veröffentlichung der Zahlen wird empfohlen, diese wie zuvor den Sole/Wasser-Wärmepumpen und nicht den Wasser/Wasser-Wärmepumpen hinzuzurechnen. Aufgrund der Richtlinie (C/2025/2238, 2025) vom 02. September 2024 ist die Wärmequelle Abluft in den meisten Fällen, so auch ausdrücklich Abluft aus Wohngebäuden, meist nicht als erneuerbar anrechenbar. Konservativ angesetzt ist auch denkbar, die Gruppe „sonstige elektrische Wärmepumpen“ nicht in die EE-Statistik einfließen zu lassen, vgl. dazu auch 4.2.2.

In der BDH/BWP-Absatzstatistik werden Außenluft/Raumluft-Wärmepumpengeräte derzeit nicht berücksichtigt. Die Autor*innen empfehlen deren Marktanteile zukünftig in den Blick zu nehmen.

Elektrische Brauchwasserwärmepumpen

Die BDH/BWP-Absatzstatistik wird auch im Bereich der elektrischen Brauchwasserwärmepumpen als geeignete Datenbasis für die AGEE-Stat Berechnungsmatrix eingeordnet.

Brauchwasserwärmepumpen nutzen zumeist Raumluft aus in der Regel unbeheizten Kellerräumen oder Abluft als Wärmequelle. Wie in Kapitel 3.5 beschrieben, bestehen Unklarheiten bei der Berücksichtigung von Wärmepumpen, die Raumluft oder Abluft als Wärmequelle verwenden. Nach dem Beschluss 2013/114/EU (Europäische Kommission 2013) ist bei Abluft-Wärmepumpen nur die sogenannte aerothermische Energie als erneuerbar anzurechnen, über eine pauschale Angabe der anzunehmenden Betriebsstundenäquivalente von 660 h/a hinaus ist die Ermittlung dieses Anteils jedoch nicht spezifiziert, allerdings liegt eine Berücksichtigung der Brauchwasserwärmepumpen nach dieser Maßgabe nahe.

Gasbetriebene Wärmepumpen

Es liegen keine belastbaren Absatzzahlen für Sorptions- und gasmotorische Wärmepumpen vor. Da das Marktvolumen dieser Wärmepumpentypen gering ist, sind die Auswirkungen auf den gesamten Feldbestand marginal. Die Autor*innen empfehlen aus Praktikabilitätsgründen, die Zahl der verkauften Systeme für die Jahre 2020 bis 2023 bei 15 Motor betriebenen und 30 Sorption-Wärmepumpen anzusetzen.

4.3 Mittlere Lebensdauer und Altersstruktur

4.3.1 Mittlere Lebensdauer und rechnerische Nutzungsdauer nach VDI 2067

In (Born et al., 2017) wird davon ausgegangen, dass ~50 % der Wärmepumpen bis zu einer Nutzungsdauer von 22 Jahren ausgetauscht werden. Bis zu einem Alter von 25 Jahren werden ca. 80 % der Anlagen ausgetauscht (BWP, 2020). Alle Anlagen werden mit einem Alter zwischen 17 und 31 Jahren erneuert. Dabei wird für die Lebensdauer der Anlagen in (Born et al., 2017) eine Lebensdauerkurve verwendet, die in verschiedene Zeitintervalle unterteilt ist.

Ergebnisse von Langzeiterfahrungen mit Erdwärmesondensystemen in der Schweiz aus 2010 (Signorelli et al., 2010) unterstützen die Annahmen von Born et al.: Es wurden mittlere Lebensdauern von 23 Jahren festgestellt, wobei 55 % bei einer Gesamtzahl an ausgewerteten Fragebögen von n=33 bis zum Ende der Befragung bereits ausgetauscht wurden. Dies liegt nur etwas über den Annahmen von Born et al., umfasst jedoch auch keine Luftwärmepumpen. Eine statistische Sterbekurve wurde nicht ermittelt.

Neuere Erkenntnisse aus einer 2019 erschienenen Studie zu Lebenszykluskosten von Wärmepumpen der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften zeigen eine deutlich unterschiedliche Lebensdauer von Sole/Wasser (S/W) und Luft/Wasser (L/W) Wärmepumpen mit einem Erwartungswert von knapp 27 Jahren für S/W-Wärmepumpen und 20 für L/W-Wärmepumpen (Hubbuch & Vecsei, 2019).

Unterschiedliche Lebensdauern werden auch in der VDI-Richtlinie für Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen (VDI, 2012) angenommen. Die Richtlinie gibt rechnerische Nutzungsdauern an. Diese Rechenwerte zur Nutzungsdauer berücksichtigen neben dem wirtschaftlich optimalen Ersatzzeitpunkt die Fälle eines vorzeitigen Ersatzes infolge technischen Fortschritts, gesetzlicher Vorgaben sowie weitere mögliche Gründe für einen vorzeitigen Austausch vor Erreichen der technischen Lebensdauer und beruhen i.d.R. auf Erfahrungswerten (VDI, 2021). Die rechnerische Nutzungsdauer für Luftwärmepumpen wird mit 18 Jahren, für Sole- und Wasserwärmepumpen mit 20 Jahren sowie mit 15 Jahren für Gas-Wärmepumpen angegeben. Angaben zur statistischen Verteilung des Ersatzzeitpunktes enthält die VDI 2067 nicht. Die Richtlinie VDI 2067 Blatt 1 wird zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie überarbeitet. Eine neue Fassung der VDI 2067 Blatt 1, die Angaben zu den rechnerischen Nutzungsdauer von Heizungskomponenten angibt, ist für das Jahr 2025 angekündigt (VDI, 2024). Informationen über etwaige Änderungen gegenüber der gültigen Fassung von September 2012 liegen den Autor*innen dieses Fachberichtes nicht vor.

Die Unterschiede in der Lebensdauer scheinen insgesamt häufig zu beobachten zu sein. Sie können z. B. in der unterschiedlichen Aufstellung begründet sein: Während Luftwärmepumpen als Kombigerät komplett oder als Splitgerät teilweise außen aufgestellt und den Wetterbedingungen ausgesetzt sind, sind Sole- und Wasserwärmepumpen meist innen aufgestellt.

Da die Marktanteile sich im Zeitraum 1978-2020 stark von einer Dominanz der Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen hin zu einer Dominanz der Luft/Wasser-Wärmepumpen verschoben haben, erscheint es sinnvoll, die Lebensdauern nach Wärmepumpentyp einzeln zu erfassen und die Sterberate ebenfalls getrennt zu berechnen.

Als aktuell beste verfügbare Quelle für Sterberaten nach Wärmepumpentyp wird im Folgenden die Studie von Hubbuch und Vecsei (2019) genauer vorgestellt. Anschließend ein Vergleich der mittleren Sterberaten nach (Born et al., 2017) und der nach (Hubbuch & Vecsei, 2019) vorgestellt.

Kernstück dieser Untersuchung war eine Datenerhebung über Wärmepumpen in der Schweiz. Eine Umfrage unter Wärmepumpen-Eigentümer lieferte 223 Datenpunkte für S/W-Wärmepumpen. Für L/W-Wärmepumpen konnten nur 53 Datenpunkte erhoben werden, wovon 43 auf Kunden einer einzigen Firma entfielen. Somit sind die Daten für L/W-Wärmepumpen mit größeren Unsicherheiten behaftet. Die Leistungen der Wärmepumpen lagen mit 3 Ausnahmen unter 26 kW, bei einem Häufigkeitspeak von 10 kW. Die in der Datenerhebung betrachteten 170 Sole-Wasser-Wärmepumpen waren in den Jahren 1981 bis 2019 installiert worden, mit Häufungspunkten um das Jahr 1994, mit 19 installierten Anlagen und dem Jahr 2016 mit 33 Neuinstallationen. Über den Zeitraum der betrachteten Installationsjahre ermittelten Hubbuch und Vecsei (2019) durch Befragung der Eigentümer*innen einen Anstieg des COP. Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen ist der COP (B0/W35-30) von 3,5 bis 4,5 (bei den Anfang der Neunziger Jahre installierten Anlagen) auf 4,5 bis 5,5 (für die in der zweiten Hälfte der 2010er Jahre installierten Anlagen) gestiegen. Die allermeisten der betrachteten 53 Luft-Wasser-Wärmepumpen waren in der 2010er Jahre installiert worden. Auch über diesen Zeitraum war ein signifikanter Anstieg der COP (A2/W35) von 3,2 auf Werte zwischen 3,3 und 4,2 nach Angaben der Eigentümer:innen zu beobachten. Die Entwicklung der COP im untersuchten Sample verhält sich entsprechend den Grafiken zur allgemeinen COP-Entwicklung in Abbildung 25 und Abbildung 26.

Eine US-amerikanische Studie wertet Untersuchungen zu mittleren Lebensdauern von HLK-Anlagen in Massachusetts, USA, aus (Goldberg et al., 2018). Die Ermittlung der Lebensdauern unterschiedlicher HLK-Geräteklassen erfolgt anhand der Typenschilder und ergänzender statistischer Methoden zur Datenlückenfüllung. Sie ergab zum einen eine breite Streuung der medianen Lebensdauer, ermittelt als Parameter der an die Datenbefunden angefitzten Weibullverteilungen für die unterschiedenen Geräteklassen. Es konnte keine Erklärung für die über alle Geräteklassen ermittelte vergleichsweise kurze mittlere Lebensdauer von 5-8 Jahren angegeben werden. Nach Kritik von Fachverbänden an den ermittelten kurzen Lebensdauern und der Überprüfung möglicher Fehlerquellen, einigten sich die Autor*innen des Memorandums mit den beteiligten Stakeholdern auf eine Empfehlung, im Technical Reference Manuals (TRM) die mittlere Lebensdauer für HLK-Anlagen für gewerbliche und industrielle Zwecke aufgrund der Befunde im Feld von angenommenen 15 Jahren bis auf weiteres auf 12 Jahre zu senken. Dabei spielte auch eine Rolle, dass für die bis dato in den TRM angegebenen Lebensdauern von 15 Jahren keine plausiblen Begründungen vorlagen, sondern es sich möglicherweise um tradierte Angaben handelte.

Die Umsetzung der Empfehlung, die sich ausdrücklich auf eine breite Palette von HLK-Anlagen für gewerbliche und industrielle Zwecke bezog, konnte nicht überprüft werden. Für die im Zusammenhang mit diesem Report relevanten Angaben für Heizungswärmepumpen im Wohngebäudebereich gibt (Massachusetts Electric and Gas Energy Efficiency Program Administrators, 2021) die Nutzungsdauer von Wärmepumpen in Wohngebäuden, basierend auf Bewertungsergebnissen und einer Mischung aus Ersatz bei Ausfall und vorzeitiger Stilllegung, für neue Anlagen mit 18 Jahren an.

Hubbuch und Vecsei (2019) dokumentierten das Jahr des Ausfalls des untersuchten Samples und ermittelten daraus die Verteilung der Lebensdauern sowie die Zuverlässigkeit der Wärmepumpen in Abhängigkeit des Betriebsjahres, indem sie die Kaplan-Meier-Rate berechneten und mit einem Weibull-Fit sehr gut annähernten. Tabelle 1 gibt die Parameter der Weibull-Verteilung für S/W-Wärmepumpen und L/W-Wärmepumpen an.

Tabelle 1: Parameter der Weibull-Verteilung für S/W-Wärmepumpen und L/W-Wärmepumpen (Hubbuch & Vecsei, 2019)

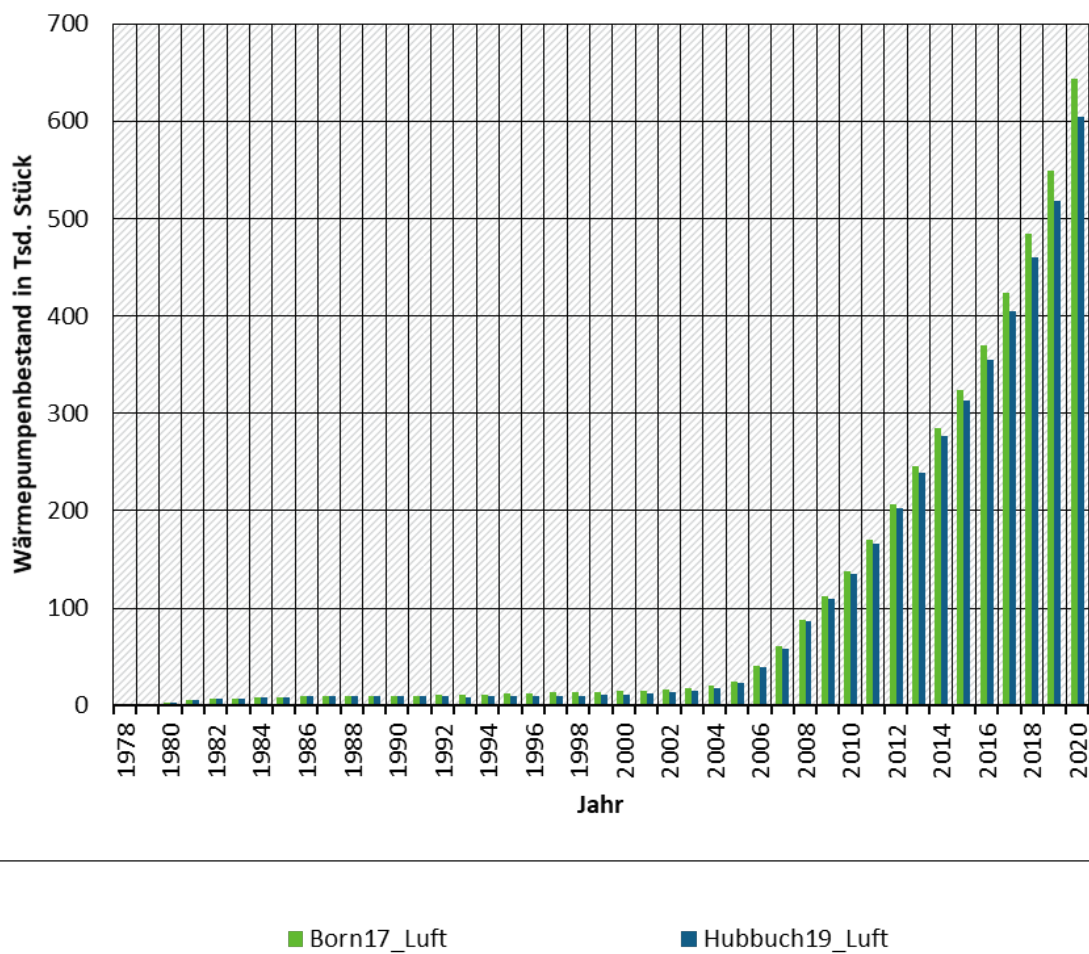
Art der WP Größe	S/W-Wärmepumpen	L/W-Wärmepumpen
Erwartungswert	26,7 ± 0,8 Jahre	20 ± 2 Jahre
Standardabweichung	4,7 ± 0,6 Jahre	7 ± 2 Jahre
λ	0.035 ± 0.001 ¹ /Jahre	0.046 ± 0.006 ¹ /Jahre
k	7 ± 1	3,0 ± 0,7

In der Studie von Hubbuch und Vecsei (2019) wurde zudem eine Expertenbefragung durchgeführt (N=33). Die befragten Personen waren hier Wärmepumpen-Fachleute wie z. B. aus der Installation, Planung, Lieferung, Beratung. Mit 20 +/- 4 Jahren für S/W-WP und 18 +/-3 Jahre für L/W-WP im Mittel liegt die Experteneinschätzung unter den von Eigentümer*innen angegebenen statistisch auftretenden tatsächlichen Lebensdauern.

4.3.2 Auswirkung der Lebensdauer auf den Gesamtbestand

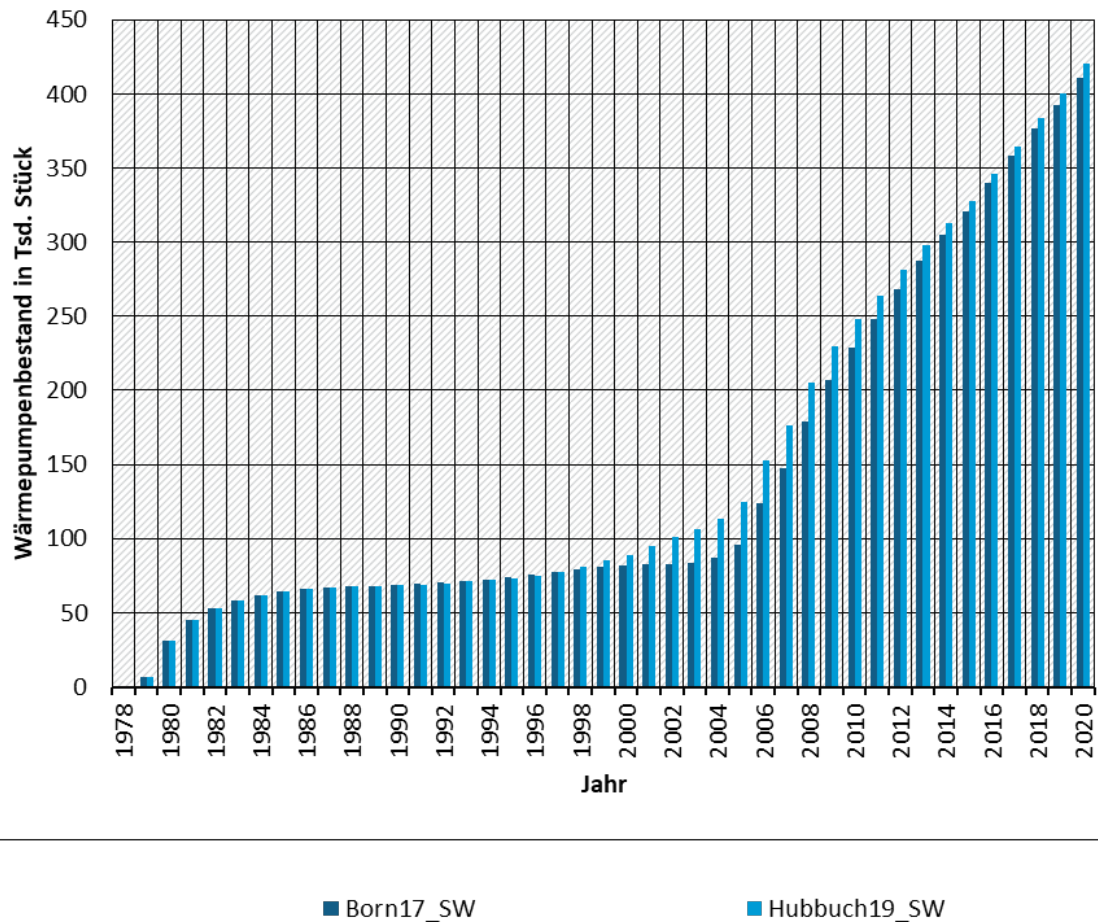
In Abbildung 11 und Abbildung 12 ist dargestellt, welche Auswirkungen eine Änderung der mittleren Sterbekurve in der AGE-Stat Methodik auf den ermittelten Anlagenbestand an Luftwärmepumpen und in und an Sole- und Wasserwärmepumpen hat. Verglichen werden die bisher verwendete Sterbekurve nach (Born et al., 2017) und eine Sterbekurve nach (Hubbuch & Vecsei, 2019). Der Bestand an Luftwärmepumpen nach (Hubbuch & Vecsei, 2019) liegt im Jahr 2020 6 % unter dem Bestand nach (Born et al., 2017). Der Bestand von Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen im Jahr 2020 läge hingegen gut 2 % über dem Bestand nach (Born et al., 2017).

Abbildung 11: Vergleich des Bestands an Luft/Wasser-Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterberaten.



Quelle: Eigene Darstellung nach Hubbuch 2019, Born 2017, BWP/BDH 2021

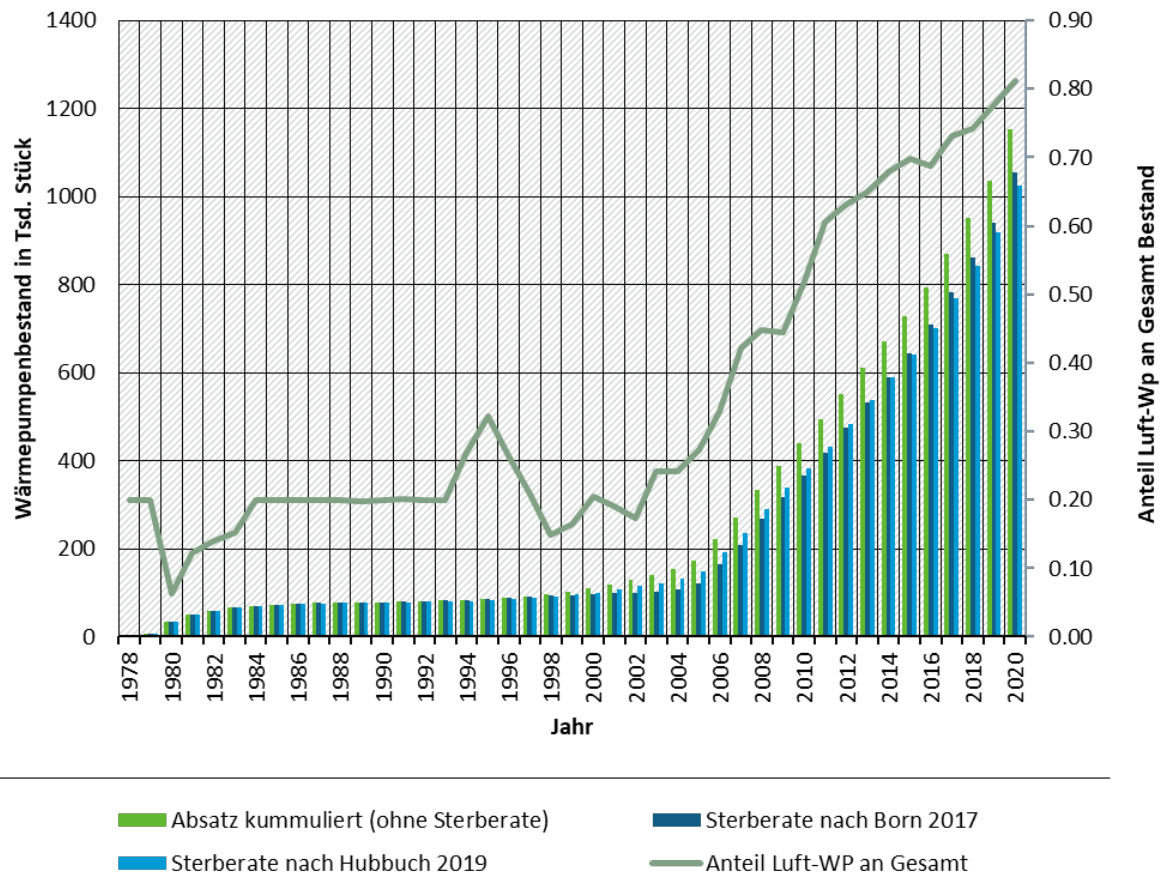
Abbildung 12: Vergleich des Bestands an Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterberaten.



Quelle: Eigene Darstellung nach Hubbuch 2019, Born 2017, BWP/BDH 2021

In Abbildung 13 wird nun der Gesamtbestand der Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterbekurven sowie der Gesamtbestand ohne Sterbekurve dargestellt. Auf der rechten Achse ist der Anteil der Luftwärmepumpen am Gesamtbestand gezeigt. Mit der nach Typ getrennt ermittelten Sterbekurve ergibt sich insgesamt ein knapp 3 % geringerer Bestand im Jahr 2020. Dies liegt zum einen an dem großen Anteil der Luftwärmepumpen in jüngeren Jahren und zum anderen in einer breiteren Ausfallsverteilung.

Abbildung 13: Vergleich des gesamten Bestands an Wärmepumpen mit unterschiedlichen Sterberaten und Anteile Luft/Wasser-Wärmepumpen am Gesamtbestand.



Quelle: Eigene Darstellung nach Hubbuch 2019, Born 2017, BWP/BDH 2021

4.3.1 Empfehlungen

Als Fazit der Lebensdauerbetrachtungen wird vorgeschlagen, für Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpen unterschiedliche Lebensdauerverteilfunktionen anzusetzen. Dies legen auch die in der VDI 2067 angegebenen unterschiedlichen Lebensdauern (S/W 20 Jahre, L/W 18 Jahre) sowie 15 Jahre für Gas-Wärmepumpen nahe.

Die beste Bestimmung für die Lebensdauerverteilfunktionen auf empirischer Grundlage bietet die Studie von Hubbuch und Vecsei (2019), die den Erwartungswert der Lebensdauern für Sole/Wasser empirisch zu 27 Jahren und Luft/Wasser-WP zu 20 Jahren bestimmt hat und aus den erhobenen Daten auch Sterbekurve ermittelt hat (Weibull-Verteilungen). Es kann durchaus empfohlen werden, diese Lebensdauerverteilfunktionen für die statistischen Erhebungen für die Bestandsmodellierung heranzuziehen. Damit ergibt sich insgesamt ein knapp 3 % geringerer Bestand im Jahr 2020 gegenüber den Berechnungen anhand der bislang verwendeten, deutlich steileren Sterbekurven um eine einheitliche mittlere Lebensdauer von 22 Jahren (Born et al., 2017). Dies liegt zum einen an dem großen Anteil der Luftwärmepumpen in jüngeren Jahren und zum anderen in einer breiteren Ausfallsverteilung.

Interessant ist, dass Hubbuch und Vecsei (2019) auch die Ergebnisse aus Befragungen von Expert*innen – sie schienen die in der VDI 2067 angegebenen Werte zu bestätigen – bewertend

einordneten: „Dies weist auf systematisch fehlerhafte Vorstellungen von Personen hin, die in der Branche arbeiten.“

Sobald in der VDI 2067, basierend auf neuen Daten, die zurzeit ermittelt werden, aktualisierte Lebensdauern, ggf. getrennt nach Bauarten von Wärmepumpen, niedergelegt sind, kann die Modellierung entsprechend angepasst werden. Voraussetzung wäre die Angabe von belastbar ermittelten Sterbekurven, die für die Bestandskalkulation ebenso erheblich sind wie die Werte der mittleren Lebensdauer. Ohne eine solche Sterbekurve sollte geprüft werden, ob eine stark vereinfachte Annahme zur Lebensdauer ohne Anwendung einer Verteilungsfunktion auf Basis der neuen durchschnittlichen Lebensdauern nach VDI für die Bestandskalkulation eine ausreichende Genauigkeit erlaubt.

Es kann aber auch vertreten werden, vor dem Hintergrund der Unsicherheiten, die insgesamt bestehen, den bisherigen Ansatz weiterzuführen, allerdings wissend, dass die dadurch errechnete Abweichung in der Bestandsrechnung um insgesamt 3% nach oben als systematisch anzusehen ist.

U.a. um genauere Statistiken führen zu können, wird seit einigen Jahren im Rahmen des Marktanreizprogrammes (MAP) bei der Antragsstellung auf BAFA auch die Lebensdauer z. B. bei Förderung eines Austauschgeräts erfasst, jedoch nicht in der BAFA-Datenbank veröffentlicht. Unter dem Gesichtspunkt der Entbürokratisierung und Beschleunigung der klimarettenden Wärmewende wird jedoch aus Sicht der Autor*innen von diesbezüglichen aufwändigeren Erfassungen bei Anwender*innen und Entscheider*innen über Sanierungsmaßnahmen im Heizungskeller eher abgeraten.

5 Entwicklung der thermischen Leistung

5.1 Definition der thermischen Leistung

5.1.1 Relevanz einer Definition

Im Gegensatz zu fossil betriebenen Heizungsanlagen sind aussagekräftige Angaben zur thermischen Leistung einer Wärmepumpe mit dem dazugehörigen Betriebspunkt zu verknüpfen. Entsprechend der zugrundeliegenden thermodynamischen Zusammenhänge steigt die thermische Leistung einer fixed-speed Wärmepumpe mit höheren Wärmequellen- (bspw. der Außenluft oder der Sole bei erdgekoppelten Systemen) sowie geringeren Wärmesenken-Temperaturen (bspw. des Heizwassers zur Raumheizung) an.

5.1.2 Definition im Beschluss 2013/114/EU

In Kapitel 3.2 ist die Methodik zur Ermittlung der - nach RED II sowie dem Beschluss 2013/114/EU - durch Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie beschrieben (RED II, 2018), (2013/114/EU, 2013). Die Nennheizleistung ist ein entscheidender Parameter zur Ermittlung der bereitgestellten Nutzwärme und damit der aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie.

Gemäß 2013/114/EU ist als Nennheizleistung die Heizleistung der installierten Wärmepumpen bei Norm-Nennbedingungen anzusetzen. Das Dokument enthält keine Spezifikation, welche Norm-Nennbedingungen hiermit gemeint sind.

5.1.3 Definitionen nach DIN EN 14511

Zur Charakterisierung von Wärmepumpen werden Labortests bei konstanten Betriebsbedingungen nach den Vorgaben der DIN EN 14511 (früher nach DIN EN 255) durchgeführt. Die Betriebsbedingungen werden nach Standard- und Anwendungsbetriebsbedingungen unterschieden. Für Niedertemperaturanwendungen umfassen die Standardbetriebsbedingungen bspw. folgende Betriebspunkte:

- ▶ Wärmequelle Wasser: W10/W35
- ▶ Wärmequelle Erdreich: B0/W35
- ▶ Wärmequelle Außenluft: A7/W35

Dabei stehen Buchstabe und Zahlenwert für das wärmeführende Medium (W: Water; B: Brine; A: Air) und dessen Temperatur bei Eintritt auf Seiten der Wärmequelle (links) sowie bei Austritt auf Seiten der Wärmesenke (rechts). Neben den genannten Niedertemperaturanwendungen (X/W35) umfasst die Norm auch Mitteltemperatur- (X/W45), erhöhte Mitteltemperatur- (X/W55) und Hochtemperaturanwendungen (X/W65), wobei die Wärmequellentemperaturen pro Wärmequellentyp jeweils den oben genannten Angaben entsprechen. Bei den Anwendungsbetriebsbedingungen werden quellenseitige Temperaturvariationen vorgenommen.

- ▶ Wärmequelle Wasser: W15/Y
- ▶ Wärmequelle Erdreich: B5/Y; B-5/Y
- ▶ Wärmequelle Außenluft: A-15/Y; A-7/Y; A2/Y; A12/Y

Zusätzlich zur Auswahl von Betriebspunkten aus den Anwendungsbetriebsbedingungen kann der jeweilige Wärmepumpen-Hersteller für die Messung die Verdichterfrequenz bei der Untersuchung von leistungsgeregelten Wärmepumpen frei wählen.

Die Norm-Leistungen nach DIN EN 14511 umfassen die Leistung der Wärmepumpe (Kompressor, Regelung und anteilige Leistung vom Wärmequellen- und Wärmesenkenantrieb zur Überwindung des geräteinternen Druckverlustes (Verdampfer und Kondensator)).

In Anhang A.1 werden die Leistungsangaben bei unterschiedlichen Betriebspunkten analysiert. Auf Basis der im Jahr 2020 BAFA-geförderten Außenluft/Wasser-Wärmepumpen wird das Verhältnis der Nennheizleistung bei A-7/W35 zu der Nennwärmeleistung bei A2/W35 aufgezeigt¹⁶. Für fixed-speed Wärmepumpen liegt das Verhältnis im Mittel bei 0,80, für leistungsgeregelte Wärmepumpen bei 1,44 mit einer viel größeren Streuung der Werte¹⁷ (vgl. Abbildung 38). Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Benennung des Betriebspunktes bei Angaben der Nennheizleistung sowie der Berücksichtigung bei Gegenüberstellungen oder Verschneidungen unterschiedlicher Datenquellen.

5.1.4 Definition nach Ökodesign-Richtlinie

Ein weiterer (neuer) Leistungskennwert von Wärmepumpen ist die Wärmenennleistung P_{rated} , welche in dem „Produktdatenblatt gemäß EU-Verordnung Nr. 811/2013“ (Delegierte Verordnung (EU) Nr. 811/2013, 2013) anzugeben ist. Die Wärmenennleistung bezeichnet hier die angegebene Wärmeleistung eines Heizgerätes mit Wärmepumpe bei den Bezugs-Auslegungsbedingungen von -10°C (für die mittlere Klimazone). Die hier getroffene Leistungsangabe umfasst ggf. neben der Leistung des Wärmepumpengerätes auch die erforderliche Leistung einer Zusatzheizung (Heizstab). Hintergrund hierfür ist die Tatsache, dass es dem Hersteller freigestellt ist, welchen Bivalenzpunkt er für die Angaben im EU-Datenblatt wählt. Wird bspw. ein Bivalenzpunkt von -10°C gewählt, so entspricht die Wärmenennleistung P_{rated} der Leistung der Wärmepumpe (monovalente Auslegung). Wird bspw. ein Bivalenzpunkt von -5°C gewählt, so kann die Wärmepumpe bei den Bezugs-Auslegungsbedingungen von -10°C nicht die gesamte deklarierte Heizleistung des Gerätes erbringen. P_{rated} setzt sich in dem Fall aus der Leistung der Wärmepumpe und der zusätzlich erforderlichen Leistung des Zusatzheizers zusammen (vgl. Anhang A.1). Auf dem Energielabel und dem „Produktdatenblatt gemäß EU-Verordnung Nr. 811/2013“ ist weder der Bivalenzpunkt, der der Angabe der Wärmenennleistung P_{rated} zugrunde liegt, noch der Leistungsanteil des Heizstabes an P_{rated} , angegeben. Diese Angaben sind lediglich in den „Produktinformationen gemäß EU-Verordnung Nr. 813/2013“ aufgeführt.

Bei den Angaben nach EU-Verordnung Nr. 811/2013 werden die Anwendungen (Heizkreistemperatur bei Norm-Außentemperatur) in Niedertemperaturbereich (35°C) und Mitteltemperaturbereich (55°C) unterschieden. Der Niedertemperaturbereich entspricht dem Einsatz einer Fußbodenheizung. Der Mitteltemperaturbereich kann als Richtwert für den Einsatz von Plattenheizkörpern in Gebäuden, die seit den 90er Jahren errichtet wurden, und in (teil)sanierten älteren Gebäuden herangezogen werden.

Die Ermittlung der Wärmenennleistung P_{rated} und der anderen gemäß EU-Verordnung Nr. 811/2013 zu deklarierenden energetischen Kennwerte (z.B. Effizienzklasse) erfolgt nach den Vorgaben der EN 14825.

¹⁶ Eigene Auswertung der geförderten Anlagen, die nicht im zugehörigen Evaluationsbericht (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Amendt et al. (2021)) veröffentlicht wurde. Datenumfang: 582 fixed-speed Wärmepumpen und 12.767 leistungsgeregelte Wärmepumpen

¹⁷ Die Bandbreite von jeweils der Hälfte der Wärmepumpen reicht bei den fixed-speed Wärmepumpen von 0,77 bis 0,82 und bei den leistungsgeregelten Wärmepumpen von 1,21 nach 1,60.

In Anhang A.1 wird der Einfluss des gewählten Bivalenzpunktes bei der Ermittlung der Wärmenennleistung P_{rated} aufgezeigt. Ziel der Betrachtung ist die „Unschärfe“ der Angabe von P_{rated} exemplarisch zu quantifizieren, die sich aufgrund des Freiheitsgrades bei der Ermittlung von P_{rated} ergibt. Für ein exemplarisch betrachtetes Wärmepumpengerät liegt die deklarierte Wärmenennleistung bei 5 kW bzw. 7 kW¹⁸ bei einem zugrundeliegenden Bivalenzpunkt von -10°C bzw. von -5°C. Zusätzlich erfolgt eine stichprobenartige Sichtung der Angaben unterschiedlicher Wärmepumpen, die einen ersten Eindruck über die Varianz der Angaben vermittelt¹⁹. Der angesprochene Freiheitsgrad bei der Deklaration der Wärmenennleistung eines Wärmepumpengerätes brächte bei einer Verwendung der deklarierten Wärmenennleistung P_{rated} der verkauften Wärmepumpengeräte als Eingangsparameter in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix eine Unschärfe der Angabe der Heizleistung mit sich.

Ergänzend wird in Anhang A.1 der Unterschied der Angabe für Mittel- und Niedertemperaturanwendung exemplarisch für einige Fabrikate aufgezeigt.

5.1.5 Übersicht der unterschiedlichen Definitionen und deren Verwendung

Die folgende Zusammenfassung gibt eine kurze Übersicht der in den Kapiteln 5.1.2 bis 5.1.4 beschriebenen normativen Heizleistungsangaben eines Wärmepumpengerätes.

- Die **Nenn-Heizleistung nach RED II** bezeichnet die Heizleistung der installierten Wärmepumpen (ohne etwaigen Heizstab) bei Norm-Nennbedingungen, benennt jedoch nicht, welche normativen Vorschriften zu Grunde gelegt werden sollen.
- Auch die Angabe einer **Heizleistung nach DIN EN 14511** bezieht sich nur auf die Heizleistung der Wärmepumpe, definiert dabei aber keine einzige Betriebsbedingung. Stattdessen ist die Angabe für unterschiedliche normierte Betriebsbedingungen möglich. Üblich ist B0/W35 für Erdreich/Wasser-Wärmepumpen und A-7/W35, A2/W35 oder A7/W35 bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen. (vgl. Ausführungen in Kapitel 5.1.6). Für leistungsgeregelte Wärmepumpen gibt es keine Vorgabe, bei welchem Teillastfaktor die Wärmepumpe zu vermessen ist.
- Hingegen kann die im **EU-Energielabel angegebene Wärmenennleistung P_{rated}** , je nach Wahl des Bivalenzpunktes des Herstellers, ggf. neben der Wärmepumpe auch die erforderliche Zusatzheizleistung eines Heizstabes umfassen. Die Angabe P_{rated} bezieht sich auf die Bezugs-Auslegungsbedingungen (mittlere Klimazone -10°C). Die Angabe kann für Niedertemperaturanwendung (35°C) oder Mitteltemperaturanwendung (55°C) erfolgen.

¹⁸ Da die Angabe der Heizleistung nur auf die Ganzzahl gerundet vorliegt, kann der Unterschied hier nicht – mit ausreichender Aussagekraft – prozentual angegeben werden.

¹⁹ Die geringe Anzahl der betrachteten Wärmepumpen lässt keine Abschätzung zu, wie groß im Mittel aller verkauften Wärmepumpen der Unterschied zwischen der deklarierten Wärmenennleistung P_{rated} und der Wärmepumpenleistung bei Bezugs-Auslegungsbedingungen von -10°C ist. Eine auf einem größeren Datensatz basierende Analyse erscheint derzeit nicht erforderlich, da die Leistungsangabe P_{rated} derzeit nicht für die AGEE-Stat Statistik verwendet wird und auch keine zur Plausibilitätsprüfung herangezogenen Datenquellen darauf beruhen. Es soll vielmehr aufzeigen, dass dieser Aspekt in Zukunft zu beachten und eingehender zu untersuchen ist, sollte die Leistungsangaben in Absatzstatistiken und andern Datenquellen nicht mehr auf der Nennheizleistung nach EN 15411 basieren, sondern die Wärmenennleistung P_{rated} wiedergeben.

5.1.6 Verwendung der unterschiedlichen Definitionen

Angaben in der Geräte-Übersicht der BAFA

In der laufend fortgeschriebenen BAFA-Liste der förderfähigen Wärmepumpen wurden während der Gültigkeitszeit des MAP (bis Ende 2020) die Nennheizleistungen von elektrischen Wärmepumpen bei A2/W35 bzw. B0/W35 bzw. W10/W35 angegeben. Seit Gültigkeit des BEG (ab 2021) erfolgt stattdessen die Angabe der Wärmenennleistung P_{rated} gemäß Öko-Design-Richtlinie. (vgl. Kapitel 2.4.2)

Angabe in Herstellerunterlagen

Die Übersicht technischer Daten auf der Webseite der Hersteller und in den Datenblättern enthalten i.d.R. die Angaben der Nennheizleistung in den Betriebspunkten A2/W35 bzw. B0/W35 bzw. W10/W35 und - je nach Hersteller - einigen weiteren Betriebspunkten. Zudem sind das EU-Energielabel und das „Produktdatenblatt gemäß EU-Verordnung Nr. 811/2013“ abrufbar; die „Produktinformationen gemäß EU-Verordnung Nr. 813/2013“ sind nur für einen Teil der Hersteller – leicht zugänglich – online verfügbar.

BDH/BWP-Absatzstatistik

In der BDH/BWP-Absatzstatistik wird zur Einteilung der verkauften elektrischen Wärmepumpen in Leistungsklassen die Angabe der Nennheizleistungen in den Betriebspunkten A-7/W35 bzw. B0/W35 bzw. W10/W35 verwendet.

Schlussfolgerung für AGEE-Stat

In der AGEE-Stat Statistik wird die BDH/BWP-Absatzstatistik als Hauptdatenquelle für die Ermittlung der mittleren thermischen Leistung herangezogen. Daher ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Definition nach EN 14511 bei den Betriebspunkten A-7/W35 bzw. B0/W35 bzw. W10/W35 hier von Bedeutung. Sollte in Zukunft in den der AGEE-Stat Statistik zur Verfügung stehenden Datenquellen die Heizleistung der verkauften Wärmepumpen als Wärmenennleistung P_{rated} ausgewiesen sein, ist eine tiefergehende Analyse dieser Angabe notwendig. Dies bezieht sich zum einen auf die Unschärfe der Angabe aufgrund des angesprochenen Freiheitsgrades bei der Deklaration der Wärmenennleistung als auch auf die Konsistenz der Fortschreibung mit den bisher verwendeten Angaben.

5.2 Mittlere thermische Leistung je Anlage

5.2.1 Elektrische Heizungswärmepumpen

5.2.1.1 Datenbasis

In diesem Kapitel werden die Angaben der mittleren nominalen Heizleistung aller im Jahr verkauften bzw. BAFA-geförderten Anlagen der folgenden Datenquellen gegenübergestellt:

- Inputdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix (AGEE-Stat, 2023)
Bis zum Jahr 2016 wurde die Angabe einer mittleren nominalen Heizleistung vom BWP zur Verfügung gestellt. (Born et al., 2017). Der BWP hat hierzu aus den in Leistungsklassen erhobenen Daten der BDH/BWP Absatzstatistik den Mittelwert abgeschätzt. Der verwendete Ansatz zur Ableitung der mittleren Leistung ist nicht bekannt. Nach 2016 wurde die Leistung konstant fortgeschrieben.
Die Daten liegen in den meisten Jahren gerundet auf eine ganze Zahl vor.

Die Ausführungen in (Born et al., 2017) legen nahe, dass sich die Leistungsangaben auf folgende Betriebspunkte beziehen²⁰:

- Luft/Wasser: A2/W35
- Sole/Wasser: B0/W35
- Wasser/Wasser: W0/W35

► BDH/BWP Absatzstatistik: Abfrage im Jahr 2021 (BWP, 2021), (BWP, 2022a), vgl. Kapitel 2.1 Die Daten werden aggregiert für folgende Leistungsklassen angegeben²¹:

- Bis 10 kW
- 10 bis 20 kW
- Größer 20 kW für Luft/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen bzw.
- 20 bis 50 kW und größer 50 kW für Sole/Wasser-Wärmepumpen

Die Angaben liegen für folgende Betriebspunkte vor:

- Luft/Wasser: A-7/W35
- Sole/Wasser: B0/W35
- Wasser/Wasser: W0/W35

► BAFA-Förderung, vgl. Kapitel 2.3: Der Auswertung liegt das Förderjahr 2020 zu Grunde^{22, 23}. Es wurden die gleichen Betriebspunkte wie in der BDH/BWP Absatzstatistik gewählt:

- Luft/Wasser: A-7/W35
- Sole/Wasser: B0/W35
- Wasser/Wasser: W0/W35

5.2.1.2 Entwicklung der Anteile des Wärmepumpenabsatzes nach Leistungsklassen (primäre Datenquelle)

Abbildung 14 zeigt die Verteilung der verkauften Luft/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen (eingeteilt basierend auf der Nennheizleistung im Betriebspunkt A-7/W35)

²⁰ (Born et al. 2017) Kapitel 6: „Die im Folgenden genannten Leistungsdaten von Wärmepumpen beziehen sich immer auf die Nennleistung der Wärmepumpe. ... Diese Betriebspunkte sind identisch mit den Prüfstandbedingungen zur Ermittlung des COPs (siehe Kapitel 7).“ Im Kapitel 7.1 COP-Messwerte wird als alleiniger Betriebspunkt des COP-Wertes von Luft/Wasser-Wärmepumpen der Betriebspunkt A2/W35 genannt. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass auch die Heizleistung für A2/W35 angegeben ist.

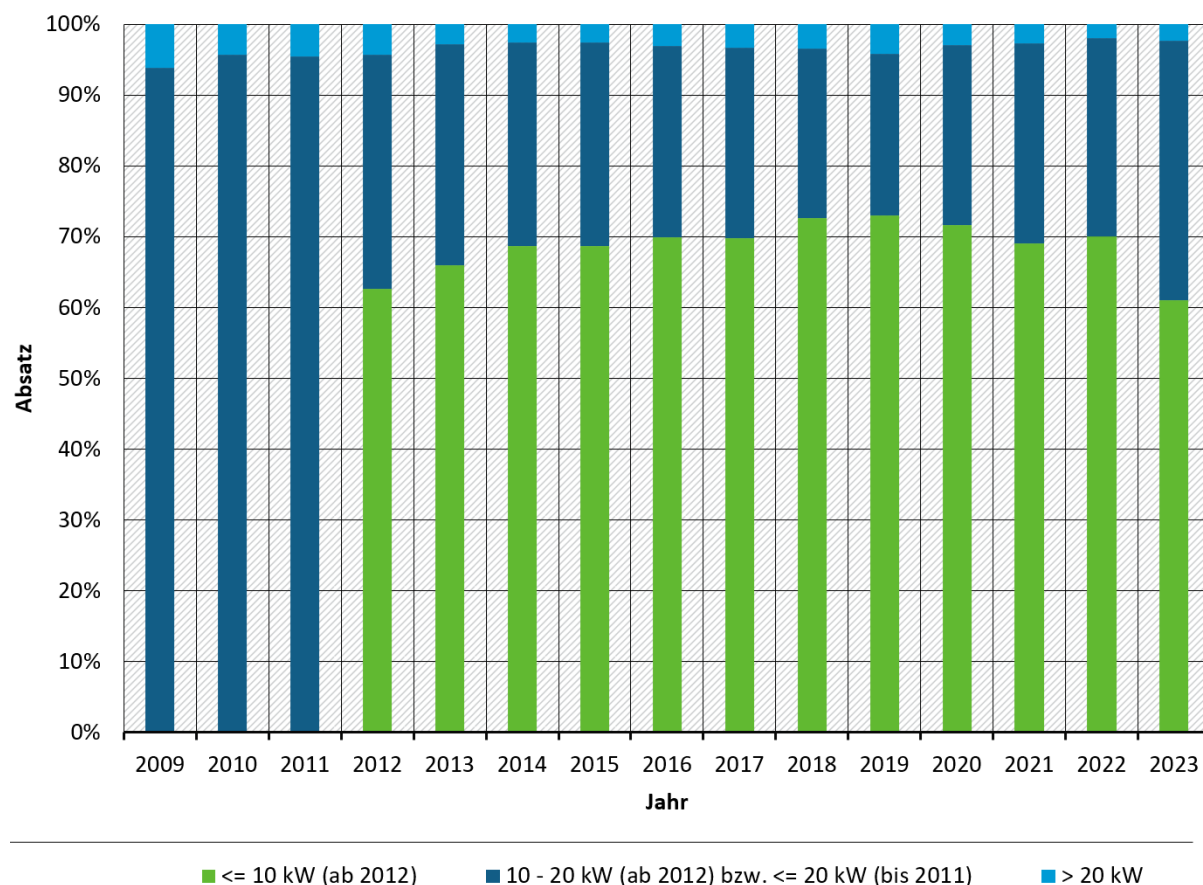
²¹ Bis zum Jahr 2011 erfolgte die Clusterung weniger fein; bspw. lag keine Unterteilung bei 10 kW vor. Die kleine Leistungsklasse bildete den Bereich aller Wärmepumpen mit einer Heizleistung unter 20 kW ab.

²² Definition des Förderjahr 2020 der Evaluation der BAFA-Förderung: Die Zuordnung erfolgt nach dem Auszahlungsdatum der Fördermittel für die einzelne Anlage. Die Auszahlung der Fördermittel erfolgt nach Installation der Anlagen. Die zeitliche Differenz zwischen Auszahlung der Fördergelder und Inbetriebnahme der Anlagen unterscheidet bei den einzelnen Anträgen. Den Einschätzungen der Evaluatoren des Förderprogrammes nach ist davon auszugehen, dass der mittlere Unterschied zwischen Inbetriebnahme und Förderauszahlung unter einem halben Jahr liegt. Es ergibt sich damit eine zeitliche Unschärfe bei der Gegenüberstellung der Daten der BAFA-Förderung und der Marktzahlen. Für die hier durchgeführte Untersuchung der Leistung ist dies nicht von Bedeutung, da es keine hohe Dynamik der Leistungsverteilung der verkauften Geräte gibt.

²³ Die Leistungsdaten für die genannten Betriebspunkte konnten für 7.311 (Gebäudebestand) sowie 6.040 (Neubau) Luft/Wasser-Wärmepumpen und 3.794 (Gebäudebestand) sowie 9.482 (Neubau) Sole/Wasser-Wärmepumpen ermittelt werden und für diese Auswertung berücksichtigt werden. Dies deckt mehr als 90% der in der Förderjahr geförderten Wärmepumpen ab.

für die Jahre zwischen 2009 und 2022. Während der Anteil der Wärmepumpen mit einer Nennheizleistung unter 10 kW von 63 % im Jahr 2012 bis 73% in den Jahren 2018 und 2019 steigt, sinkt der Anteil der kleinsten Leistungsklasse ab 2020 wieder leicht zugunsten einer stärkeren Zunahme des Anteils von Wärmepumpen in der Leistungsbereich zwischen 10 kW und 20 kW. Dies spiegelt die beginnende Marktdurchdringung bei größeren Gebäuden und bei Sanierungen wider. Der Anteil der Wärmepumpen mit einer Nennheizleistung über 20 kW ist gering und liegt in den einzelnen Jahren zwischen 3 % und 6 %.

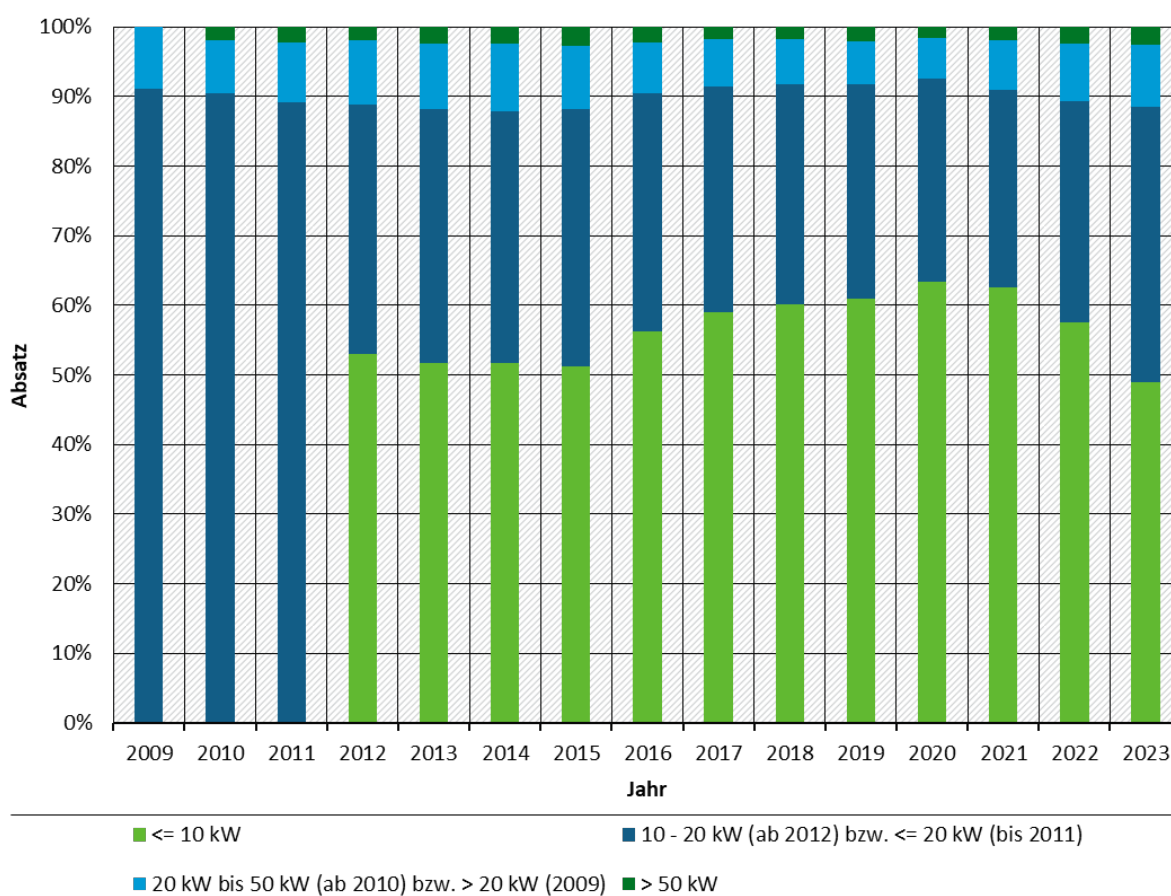
Abbildung 14: Anteile der Verkaufszahlen von Luft/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen in Deutschland (basierend auf der Nennheizleistung A-7/W35)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten des BWP/BDH

Abbildung 15 zeigt die Entwicklung der Verteilung der verkauften Sole/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen (eingeteilt basierend auf der Nennheizleistung im Betriebspunkt B0/W35). Der höchste Anteil liegt, wie bei Luft/Wasser-Wärmepumpen, in der kleinsten Leistungsklasse: der Anteil der Leistungsklasse bis 10 kW ist von rund 52 % in den Jahren 2012 bis 2015 auf 64 % im Jahr 2020 gestiegen, um aktuell einen Anteil von 59% einzunehmen. Entsprechende sind die Zahlen der verkauften Sole/Wasser-Wärmepumpen in den höheren Leistungsklassen seit 2020 überproportional gestiegen. Ihr Anteil beträgt in der Leistungsklasse von 10 bis 20 kW nun rund ein Drittel, in der Klasse zwischen 20 und 50 kW stieg der Anteil von 6% im Jahr 2020 auf 8 % im Jahr 2022. Auf die höchste Leistungsklasse (> 50 kW) entfällt in allen Jahren rund 2 % des Absatzes von Sole/Wasser-Wärmepumpen.

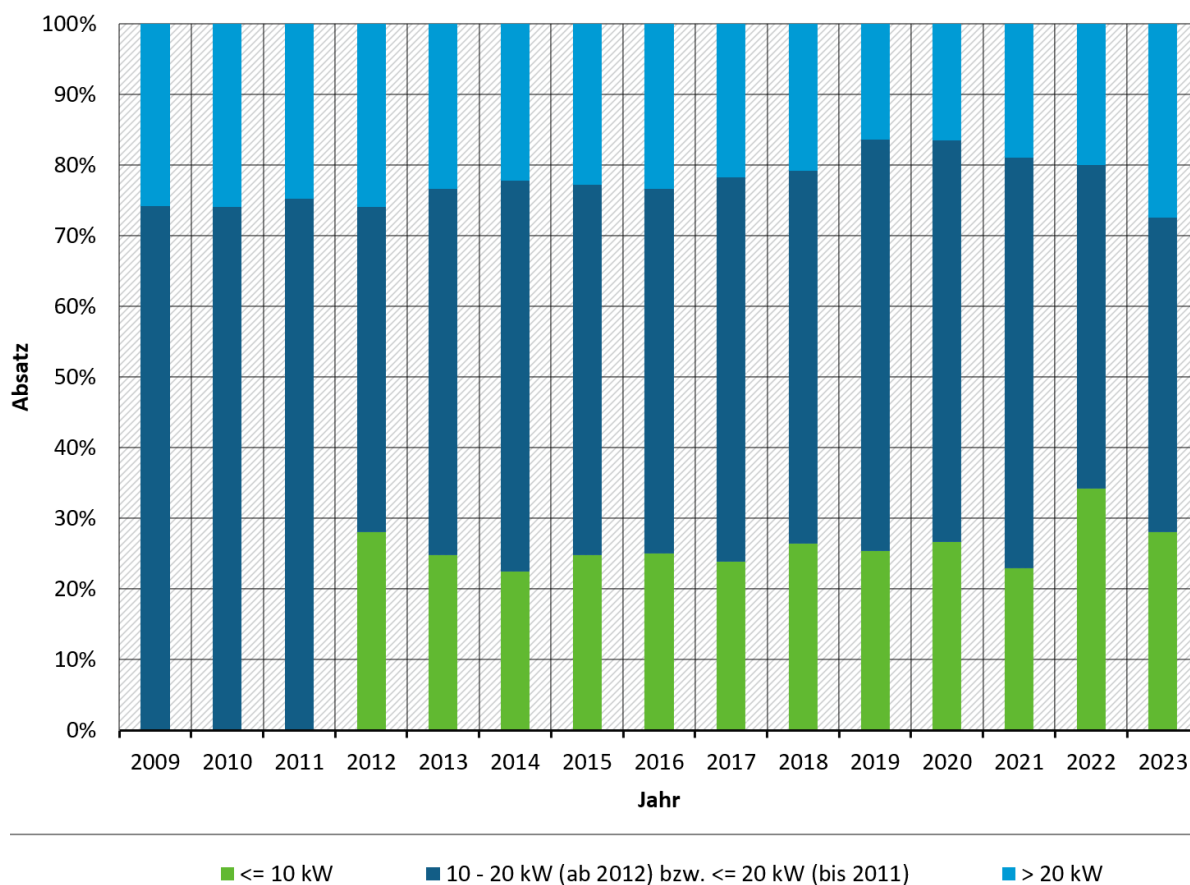
Abbildung 15: Anteile der Verkaufszahlen von Sole/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen in Deutschland (basierend auf der Nennheizleistung B0/W35)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten des BWP/BDH

Abbildung 16 zeigt die Entwicklung der Verteilung der verkauften Wasser/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen (eingeteilt basierend auf der Nennheizleistung im Betriebspunkt W10/W35). Verglichen mit Sole/Wasser-Wärmepumpen zeigt sich eine andere Leistungsverteilung. In die kleinste Leistungsklasse bis 10 kW entfallen nur zwischen 23 % und 34 % des Absatzes, wobei die Absatzstatistik einen bemerkenswerten Sprung zwischen diesen Extremwerten vom vorletzten zum letzten Jahr aufweist. Der Anteil in der höchsten Leistungsklasse (> 20 kW) ging von 2009 bis 2019 nahezu kontinuierlich von 26% auf 16% zurück und stieg zuletzt aufgrund auch hier überproportionaler Zunahme der größeren Wärmepumpen wieder auf 20%.

Abbildung 16: Anteile der Verkaufszahlen von Wasser/Wasser-Wärmepumpen nach Leistungsklassen in Deutschland (basierend auf der Nennheizleistung W10/W35)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Daten des BWP/BDH

5.2.1.3 Plausibilitätsprüfung bisheriger AGEE-Stat Eingangsdaten

Luft/Wasser-Wärmepumpen

Zur Plausibilisierung der Inputdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix werden die Angaben der Nennwärmeleistung der im Förderjahr 2020 BAFA-geförderten Wärmepumpen herangezogen. Die geförderten Wärmepumpen wurden entsprechend der Nennheizleistung in die Leistungsklassen der BDH/BWP-Absatzstatistik eingeteilt und je Leistungsklasse der Mittelwert der Nennheizleistung gebildet²⁴.

- ▶ < 10 kW: 6,9 kW
- ▶ 10 ... 20 kW: 11,9 kW

²⁴ Es wurde der Mittelwert aller geförderten Wärmepumpen betrachtet; sowohl Einbau im Neubau als auch im Gebäudebestand. Die beiden Gruppen wurden zunächst getrennt ausgewertet, um einzuschätzen, ob eine getrennte Betrachtung notwendig erscheint. Für eine getrennte Berücksichtigung bei der Abschätzung der mittleren Nennheizleistung je Leistungsklasse der verkauften Geräte wäre es notwendig, die Marktanteile im Neubau und Gebäudebestand zu kennen. Zudem wäre es notwendig einzuschätzen, inwiefern der Einsatzfall Gebäudebestand bei den geförderten Wärmepumpen im Mittel dem der verkauften Geräte entspricht. Hintergrund ist, dass Bestandsgebäude auf quasi-Neubaustandard saniert sein können oder weitestgehend unsaniert sein können, und damit von einer kleinen bis zu einer großen spezifischen Heizleistung ausgerüstet sein können. Die mittlere Nennheizleistung der geförderten Wärmepumpen in der Leistungsklasse < 10 KW lag bei 7.1 kW für den Einsatz Gebäudebestand und 6.7 KW im Neubau. Vor dem Hintergrund der Unsicherheit der anderen notwendigen Annahmen erscheint eine getrennte Betrachtung nicht notwendig.

► > 20 kW: 30,3 kW (mit Variantenbetrachtung: 45 kW, 60 kW)²⁵

Da für die vorherigen Jahre keine entsprechende Auswertung der geförderten Wärmepumpen vorliegt, wird für die Leistungsklassen bis 20 kW die Annahme getroffen, dass die mittlere Nennheizleistung im Jahr 2009 20% höher war als im Jahr 2020²⁶. Zwischen den Jahren 2009 und 2020 wird linear interpoliert. In der Leistungsklasse ab 20 kW wird über die Jahre hinweg die gleiche mittlere Nennleistung angesetzt. Hintergrund ist die Annahme, dass in diesem Leistungsbereich die Verbesserung des energetischen Standards der Gebäude über die Jahre von untergeordneter Bedeutung ist. Vielmehr werden sich die Änderungen der Verwendung von Wärmepumpen auswirken. Aufgrund des wachsenden Einsatzes von Wärmepumpen in größeren Gebäuden könnte die Entwicklung der mittleren Leistung in diesem Bereich über die Jahre steigen. Da neben den Angaben der BAFA-Förderung keine Anhaltswerte für die mittlere Leistung in der großen Leistungsklasse vorliegen, wird in diesem Leistungsbereich mit den o.g. Varianten konstant über alle Jahre gerechnet, um die Sensitivität dieser Annahme zu prüfen.

Zur Bestimmung der mittleren Nennheizleistung aller verkauften Wärmepumpen werden die ermittelten mittleren Nennheizleistung je Leistungsklasse mit der Anzahl der verkauften Wärmepumpen je Leistungsklasse gewichtet.

Für das Jahr 2023 ist der Mittelwert der Heizleistung von Luft/Wasser-WPs bei A-7/W35 aus Daten der BAFA-Förderung für BEG-EM in der Grafik eingetragen (T. Oltersdorf, persönliche Kommunikation, 2024).

Abbildung 17 zeigt die Nennheizleistung der Inputdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix sowie die mit der zuvor beschriebenen Methode aus der BDH/BWP-Absatzstatistik ermittelten mittlere Nennheizleistung. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Die AGEE-Stat Daten liegen (mit Ausnahme vom Jahr 2010²⁷) um 2 % bis 11 % über der auf den BDH/BWP- und MAP-Daten beruhenden Abschätzung (in der Grafik als V0 bezeichnet). Gegenüber den Variantenrechnungen V1 und V2 liegen die AGEE-Stat Daten teils leicht höher, teils leicht niedriger.

Wie erwähnt, wird in (Born et al., 2017) angegeben, dass die AGEE-Stat Daten auf dem Betriebspunkt A2/W35 beruhen und damit nicht mit den eigenen Ableitungen aus den BDH/BWP-Absatzstatistik vergleichbar wären. Zur Kontrolle wird eine grobe „Umrechnung“ der aus den BDH/BWP-Daten ermittelten mittleren Nennheizleistung (A-7/W35) auf den Betriebspunkt A2/W35 vorgenommen (Anhang A.2). Diese Betrachtung liefert keinen eindeutigen Hinweis, ob die Angabe des Betriebspunktes korrekt ist. Die Tatsache, dass die Daten die (Born et al., 2017) vom BWP zur Verfügung gestellt wurden, ebenfalls aus der BDH/BWP-Absatzstatistik (A-7/W35) abgeleitet wurden, und es aufwendig und weniger wahrscheinlich erscheint, dass damals für den Betriebspunkt eine Abschätzung zur

²⁵ Die größte Unsicherheit bei der Annahme der mittleren Leistung je Leistungsklasse liegt im Bereich über 20 kW, da der Bereich nicht umfassend von der BAFA-Förderung repräsentiert wird und sehr heterogen ist. Einige Gesichtspunkte hierzu: An Seriengeräte sind Geräte bis 30 kW ... 40 kW (und wenige größere) verfügbar. Zudem werden bei Beheizung von Mehrfamilienhäusern und anderen größeren Anlagen oftmals mehrere Geräte in Kaskade eingesetzt, so dass sich auch aus der Heizungsstruktur nur schwer eine Abschätzung ableiten lässt. Luft/Wasser-Wärmepumpen sind auch mit höheren Heizleistungen möglich; dann in Einzelanfertigungen. Zum Tragen kommt hier, dass wenige Anlagen mit einer hohen Leistung stärker bei der Mittelwertbildung ins Gewicht fallen als Anlagen mit geringer Leistung.

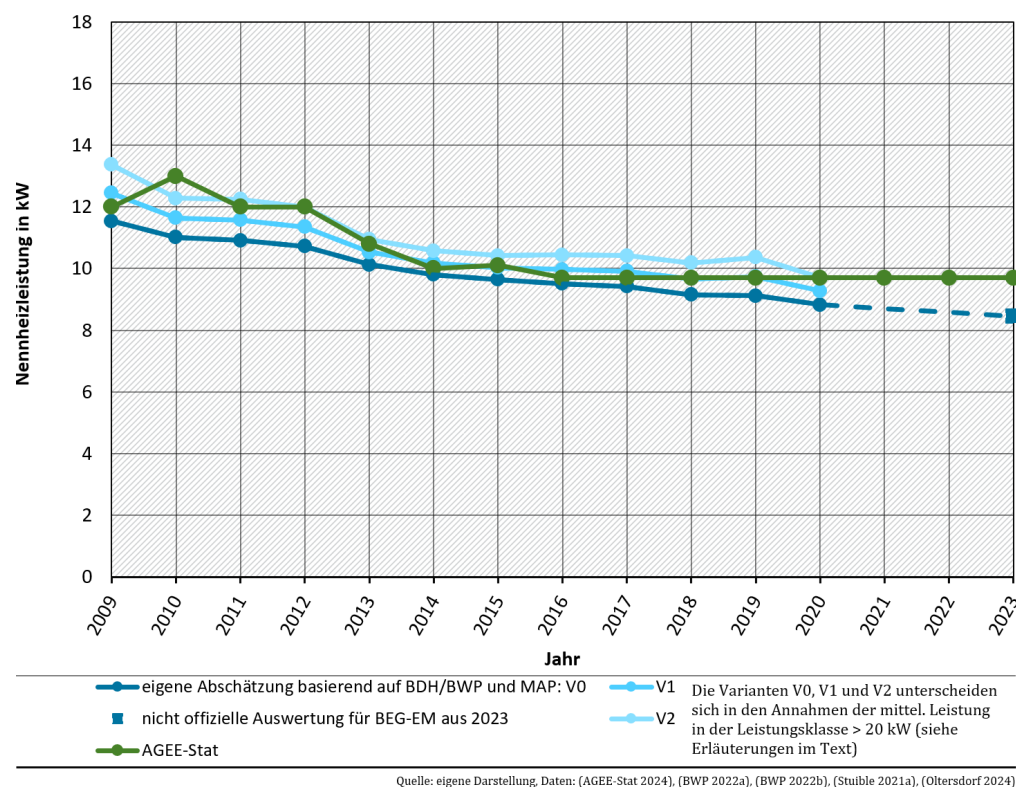
Somit besteht hier eine hohe Unsicherheit der Annahmen. Zur Prüfung der Sensitivität bei der Annahme der mittleren Nennheizleistung in der Klasse > 20 kW werden zwei alternative Annahmen zu dem Mittelwert der BAFA-geförderten Wärmepumpen (30 kW) betrachtet: 45 kW und 60 kW. Hiermit würde sich die berechnete mittlere Nennheizleistung aller verkauften Wärmepumpen um rund 5% bzw. 10% erhöhen.

²⁶ Die Annahme erfolgt in Anlehnung an die Entwicklung der mittleren Leistung nach AGEE-Stat.

²⁷ Die AGEE-Stat Daten verzeichnen im Jahr 2010 einen punktuellen Anstieg, der sich mit der eigenen Abschätzung nicht bestätigen lässt. Da die AGEE-Stat Angaben auf ganze Zahlen gerundet vorliegen, könnte ein geringer Anstieg in den aufgeführten Zahlen größer wirken als dieser eigentlich ist. Ein Unterschied von bspw. 0,1 kW kann sich bei ganzen Zahlen in einer Änderung um 1 kW auswirken (12,4 (12 kW) und 12,5 (13 kW)).

Umrechnung auf A2/W35 vorgenommen wurde, ergänzt mit den in diesem Kapitel und im Anhang durchgeführten Betrachtungen, lassen es nicht unwahrscheinlich erscheinen, dass die AGEE-Stat Daten auf dem Betriebspunkt A-7/W35 basieren. Die aktuellen Input-Daten der AGEE-Stat (2023) weisen den Betriebspunkt A-7/W35 aus.

Abbildung 17: Mittlere Nennheizleistung von Luft/Wasser-Wärmepumpen (A-7/W35 in Deutschland



Sole/Wasser-Wärmepumpen

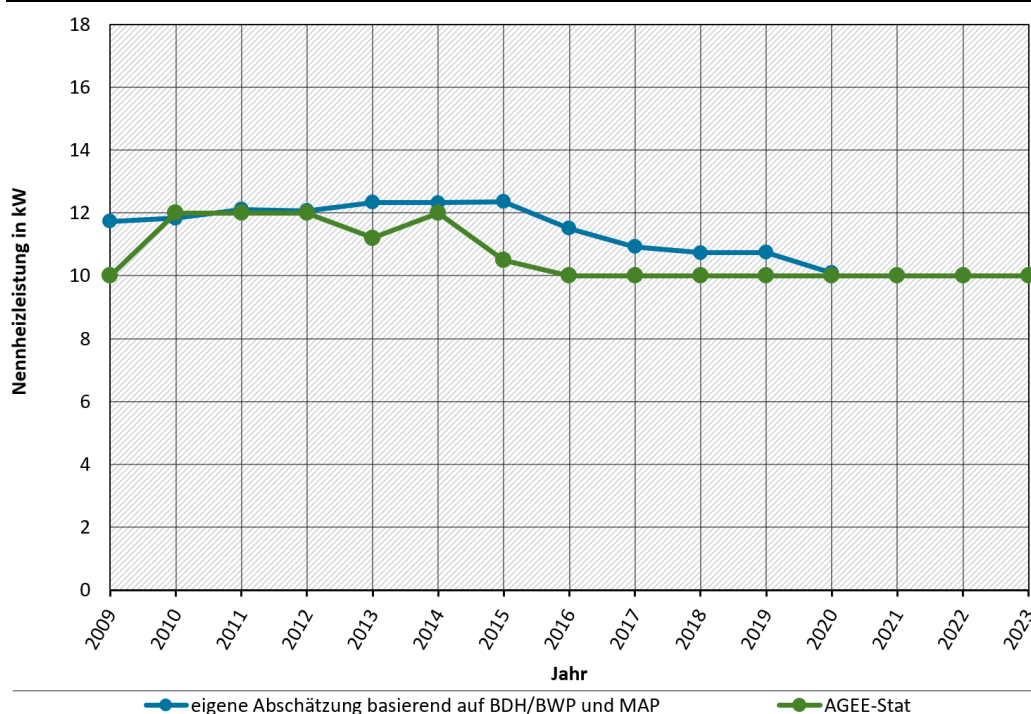
Die Plausibilisierung der mittleren Nennheizleistung der Sole/Wasser-Wärmepumpen wurde analog wie bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen vorgenommen. Aus der Analyse der BAFA-geförderten Wärmepumpen wurden für das Jahr 2020 die folgenden Mittelwerte der Nennheizleistung je Leistungsklasse abgeleitet.

- ▶ < 10 kW: 6,1 kW
- ▶ 10 ... 20 kW: 12,6 kW
- ▶ 20 bis 30 kW: 27,4 kW
- ▶ > 50 kW: 62,1 kW

Da für die Jahre bis 2019 keine entsprechende Auswertung der geförderten Wärmepumpen vorliegt, wird für die Leistungsklassen bis 20 kW die Annahme getroffen, dass die mittlere Nennheizleistung im Jahr 2009 10% höher war als im Jahr 2020. Es beruht auf der Annahme, dass Wärmepumpen dieser Leistungsklasse überwiegend in Wohngebäuden, oftmals Neubauten, als Single-Gerät eingesetzt werden und aufgrund steigender Wärmedämmstandards die Wärmelast im Mittel gesunken ist. Zwischen den Jahren 2009 und 2020 wird linear interpoliert. In den Leistungsklassen >20 kW wird ein konstanter Mittelwert über die Jahre angesetzt.

Die mittleren Nennheizleistungen nach der eigenen Abschätzung liegen in der gleichen Größenordnung wie die Daten der AGEE-Stat (vgl. Abbildung 18). Nur in dem Jahr 2015 zeigt sich die unterschiedliche Tendenz; während bei der eigenen Abschätzung die mittlere Nennheizleistung auf dem Niveau des Vorjahres liegt, weisen die AGEE-Stat Daten hier eine Abnahme der mittleren Nennheizleistung auf, die sich bei den eigenen Abschätzungen erst ein, zwei Jahre später zeigen.

Abbildung 18: Mittlere Nennheizleistung von Sole/Wasser-Wärmepumpen (B0/W35) in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, Daten: (AGEE-Stat 2024), (BWP 2022a), (BWP 2022b), (Stuible 2021a)

Wasser/Wasser-Wärmepumpen

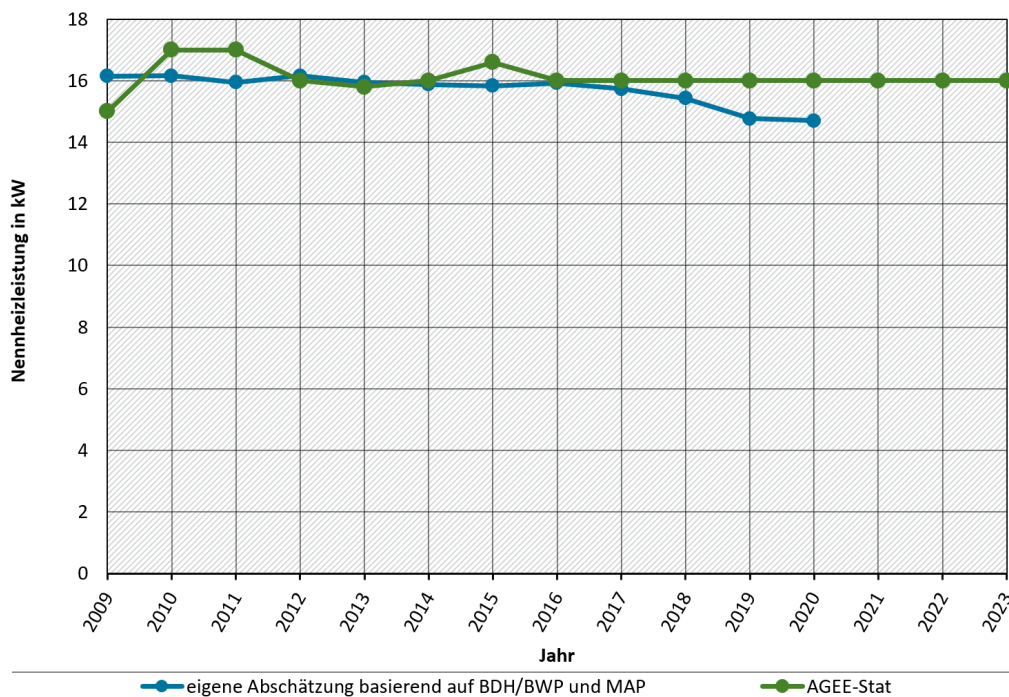
Die Plausibilisierung der mittleren Nennheizleistung der Sole/Wasser-Wärmepumpen wurde analog wie bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen vorgenommen. Aus der Analyse der BAFA-geförderten Wärmepumpen wurden für das Jahr 2020 die folgenden Mittelwerte der Nennheizleistung je Leistungsklasse abgeleitet.

- ▶ < 10 kW: 7,8 kW
- ▶ 10 ... 20 kW: 13,5 kW
- ▶ > 50 kW: 29,9 kW

Bei den Wasser/Wasser-Wärmepumpen wird über alle Jahre hinweg der gleiche Mittelwert je Leistungsklasse angesetzt, da sowohl die Klassenstärke in der BDH/BWP-Absatzstatistik als auch die AGEE-Stat Daten nicht auf signifikante Änderungen hindeuten.

Die nach der eigenen Abschätzung ermittelten mittleren Heizleistungen der Wasser/Wasser-Wärmepumpen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den AGEE-Stat Daten (vgl. Abbildung 19).

Abbildung 19: Mittlere Nennheizleistung (W10/W35) von Wasser/Wasser-Wärmepumpen in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, Daten: (AGEE-Stat 2024), (BWP 2022a), (BWP 2022b), (Stuible 2021a)

5.2.1.4 Entwicklung der mittleren thermischen Leistung

Luft/Wasser-Wärmepumpen

Die mittlere Nennheizleistung (A-7/W35) der verkauften Luft/Wasser-Wärmepumpen geht über die Jahre leicht zurück (vgl. Abbildung 17). Im Jahr 2009 wird der Wert in der Größenordnung von 12 kW eingeschätzt, im Jahr 2020 in der Größenordnung von 9 kW.

Sole/Wasser-Wärmepumpen

Die mittlere Nennheizleistung (B0/W35) der verkauften Sole/Wasser-Wärmepumpen geht über die Jahre ebenfalls zurück (vgl. Abbildung 18). Im Jahr 2009 wird der Wert in der Größenordnung von 12 kW eingeschätzt, im Jahr 2020 in der Größenordnung von 10 kW.

Wasser/Wasser-Wärmepumpen

Wie in 5.2.1.2 gezeigt, liegt der Einsatzbereich von Wasser/Wasser-Wärmepumpen zu Dreiviertel bei einer erforderlichen Nennheizleistung über 10 kW, während dessen Anteil bei Sole/Wasser-Wärmepumpen weniger als die Hälfte beträgt. Die mittleren Nennheizleistung (W10/W35) der Wasser/Wasser-Wärmepumpen ist folglich höher als die der Sole/Wasser-Wärmepumpen. Zudem zeigt sich nur eine geringe Reduktion der mittleren Nennheizleistung über die Jahre. Im Jahr 2009 wird der Wert in der Größenordnung von 16 kW eingeschätzt, im Jahr 2020 in der Größenordnung von 15 kW (vgl. Abbildung 19).

5.2.2 Elektrische Brauchwasserwärmepumpen

Der Anwendungsbereich von Brauchwasserwärmepumpen liegt überwiegend im Einfamilienhausbereich. Nach Einschätzung der Autor*innen ist der Einsatz in Mehrfamiliengebäuden weiterhin eine Ausnahme. In der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) wird aus einer Marktübersicht des Magazin „Sonne, Wind und Wärme“ aus dem Jahr 2017 eine

mittlere Heizleistung²⁸ von 2 kW abgeleitet und diese auch für Anlagen älteren Absatzdatums angesetzt. Dieser Wert wird von den Autor*innen dieser Studie als plausibel eingeschätzt und kann aufgrund des gleichbleibenden Einsatzbereiches beibehalten werden.

5.2.3 Gasbetriebene Wärmepumpen

Die Nennleistung der ehemals und heute erhältlichen Sorptionswärmepumpen liegt im Bereich von 10 kW und 40 kW (Bafa, 2020), (ASUE, 2020):

- ▶ 10 kW bzw. 15 kW (Viessmann, Vaillant), Verkauf in der zweiten Hälfte der 2010er Jahre eingestellt
- ▶ 20 kW (Robur, Boostheat) bzw. 40 kW (Robur), Boostheat 2020-2022 (Verkauf wieder eingestellt)
- ▶ 15 kW (Ariston/Elco), in Italien marktverfügbar, in Deutschland noch keine Markteinführung wg. unklarer gesetzlicher Situation

Gasmotorisch angetriebene Wärmepumpen sind in Deutschland in einem Leistungsbereich zwischen 20 und 100 kW Heizleistung marktverfügbar (Bafa, 2020), (ASUE, 2020). Sowohl bei Sorptions- als auch bei gasmotorischen Wärmepumpen liegen keine belastbaren Marktzahlen und damit auch keine Häufigkeitsverteilung der Nennheizleistung der verkauften Geräte vor. In den Eingangsdaten der Bewertungsmatrix der AGEE-Stat wird von einer sinkenden durchschnittlichen Nennheizleistung der Sorptionswärmepumpen von 40 kWh im Jahr 2009 auf 21 kW im Jahr 2020 ausgegangen. Diese Angaben beruhen auf einer Markteinschätzung und Prognose des BWP aus dem Jahr 2013. Die durchschnittliche Nennheizleistung der gasmotorischen Wärmepumpen wird mit 50 kW angesetzt. Dies beruht auf Aussagen der ASUE und des BDEW. (Born et al., 2017)

5.2.4 Empfehlungen

Elektrische Heizungswärmepumpen

Es wird empfohlen weiterhin die jährliche BDH/BWP-Absatzstatistik als Basis für die Abschätzung der mittleren Nennheizleistung zu verwenden. Hierbei erweist es sich als günstig, dass diese für Luft/Wasser-Wärmepumpen auf dem Betriebspunkt A-7/W35 beruht. In dem Punkt liegen die Leistungsangaben von invertergeregelte und fixed-speed Wärmepumpen für den gleichen Anwendungsfall in einer ähnlichen Größenordnung; anders als in der üblichen Angabe der Nennheizleistung für A2/W35. Somit scheint es ausreichend die mittleren Nennheizleistung aller verkauften Wärmepumpen je Wärmepumpentyp zu Grunde zu legen ohne für die sich über die Jahre ändernden Anteile zwischen fixed-speed Wärmepumpen und leistungsgeregelten Wärmepumpen zu berücksichtigen.

Ergänzend wird empfohlen, die Daten der BAFA-geförderten Wärmepumpen des jeweiligen Jahres für die Ableitung der mittleren Nennheizleistung aus der in Leistungsklassen vorliegenden BDH/BWP-Absatzstatistik zu verwenden. Es erscheint ausreichend, die datenbasierte Abschätzung der mittleren Nennheizleistung je Leistungsklasse im Abstand einiger Jahre durchzuführen und in den Zwischenjahren beizubehalten.

Da mit einem wachsenden Einsatz von Großwärmepumpen zu rechnen ist und sich daraus ein Einfluss auf die insgesamt installierte Heizleistung ableitet, empfehlen die Autor*innen in

²⁸ Nenn-Heizleistung nach (DIN EN 16147)

nachfolgenden Studien die Leistungsklasse > 50 kW differenzierter zu betrachten. Neben der Anzahl der Anlagen ist insbesondere die Verteilung der installierten Leistung von Bedeutung. Es könnte beim BDH/BWP angeregt werden, die Absatzstatistik in dem Leistungsbereich $>> 100$ kW in Klassen zu unterteilen.

Elektrische Brauchwasserwärmepumpen

Es wird empfohlen weiterhin die mittlere nominale Heizleistung mit 2 kW anzusetzen, da sich der überwiegende Einsatzfall nicht geändert hat.

Sorptionswärmepumpen

Die Heizleistung der (heute und in der Vergangenheit) marktverfügbaren Sorptionswärmepumpen-Geräte ist bekannt. Jedoch ist die Häufigkeitsverteilung des Verkaufes dieser Geräte nicht bekannt, da keine Marktzahlen vorliegen. Vereinfacht wird folgender Ansatz vorgeschlagen:

- ▶ 2009 bis 2017: 26 kW
Ein Drittel Adsorptionswärmepumpen (10 kW), zwei Drittel Absorptionswärmepumpen (33 kW, siehe folgender Punkt)
- ▶ 2018 ff: 33 kW
Ein Drittel 20 kW und zwei Drittel 40 kW.

Hierbei wurden folgende Annahmen nach Experteneinschätzungen getroffen:

- ▶ Es wurden im Zeitraum 2009 bis 2017 mehr Absorptionswärmepumpen als Adsorptionswärmepumpen verkauft.
- ▶ Der Verkauf von Restbeständen von Adsorptionswärmepumpen nach 2017 ist marginal.
- ▶ Leistungsgrößen entsprechen den Heizleistungen der jeweils marktverfügbaren Geräte (vgl. Kapitel 4.1.3)
- ▶ Die größeren Wärmepumpen der Absorptionswärmepumpen (40 kW) werden häufiger verkauft als die kleineren Geräte (20 kW). Hintergrund der Einschätzung sind die mit steigender Leistung sinkenden spezifischen Investitionskosten, die den Anwendungsfall für größere Leistungen attraktiver gestaltet als für kleinere Leistungen. Zudem sind mehr Firmen am Markt, welche die großen Wärmepumpen vertreiben als die kleinen. Damit wird von einer größeren Reichweite ausgegangen.

Gasmotorische Wärmepumpen

Es wird empfohlen weiterhin eine durchschnittliche Nennheizleistung von 50 kW anzusetzen.

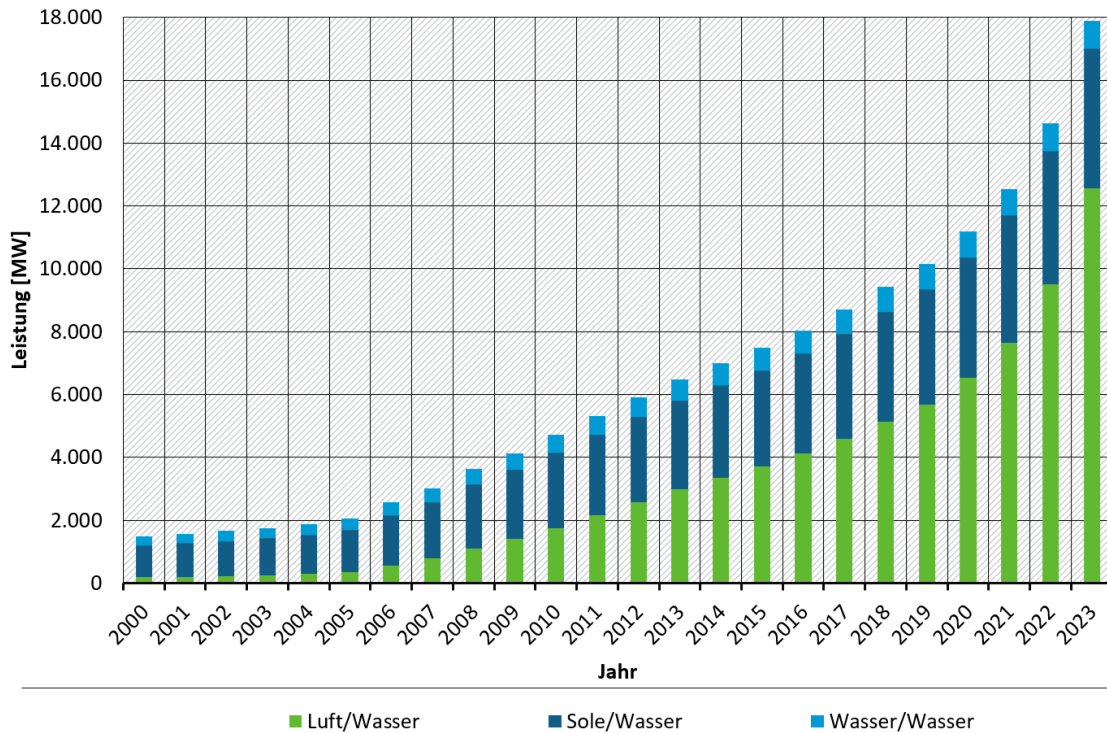
5.3 Thermische Leistung der installierten Wärmepumpen in Deutschland

Die thermische Gesamtleistung der installierten Wärmepumpen in Deutschland hat insbesondere ab dem Jahr 2005 stark zugenommen. Sie lag 2023 bei insgesamt knapp $19.000 \text{ MW}_{\text{th}}$.

Den Löwenanteil an der installierten thermischen Gesamtleistung haben Heizungs-Wärmepumpen, die mit Strom betrieben werden (Abbildung 20). Im Jahr 2023 waren sie mit einer Gesamtleistung von $17.900 \text{ MW}_{\text{th}}$ installiert. Den größten Anteil daran haben Luft/Wasser-

Wärmepumpen mit rund 12.600 MW_{th}, gefolgt von Sole/Wasser-Wärmepumpen mit 4.500 MW_{th}. Den kleinsten Anteil an den elektrischen Wärmepumpen mit einer installierten Gesamtleistung mit knapp 900 MW_{th} haben Wasser/Wasser-Wärmepumpen.

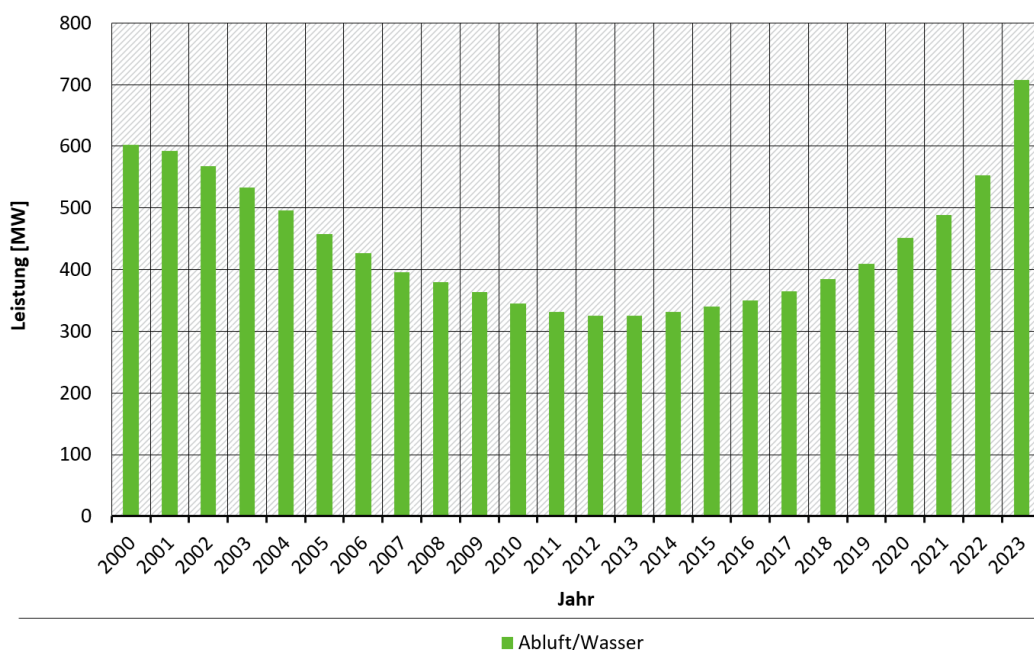
Abbildung 20: Thermische Gesamtleistung der Wärmepumpe – Strom – Luft/Wasser, Sole/Wasser, Wasser/Wasser



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

Entgegen dem Trend der gängigen Heizungswärmepumpen ist die installierte thermische Gesamtleistung der Brauchwasserwärmepumpen nicht kontinuierlich gewachsen. Im Gegensatz; zwischen 1999 und 2011 ging die installierte Leistung von ca. 600 MW_{th} auf ca. 330 MW_{th} zurück. Seit 2013 steigt die Leistung wieder an und stieg in den letzten Jahren deutlich auf etwas über 700 GW_{th} im Jahr 2023 an (Abbildung 21).

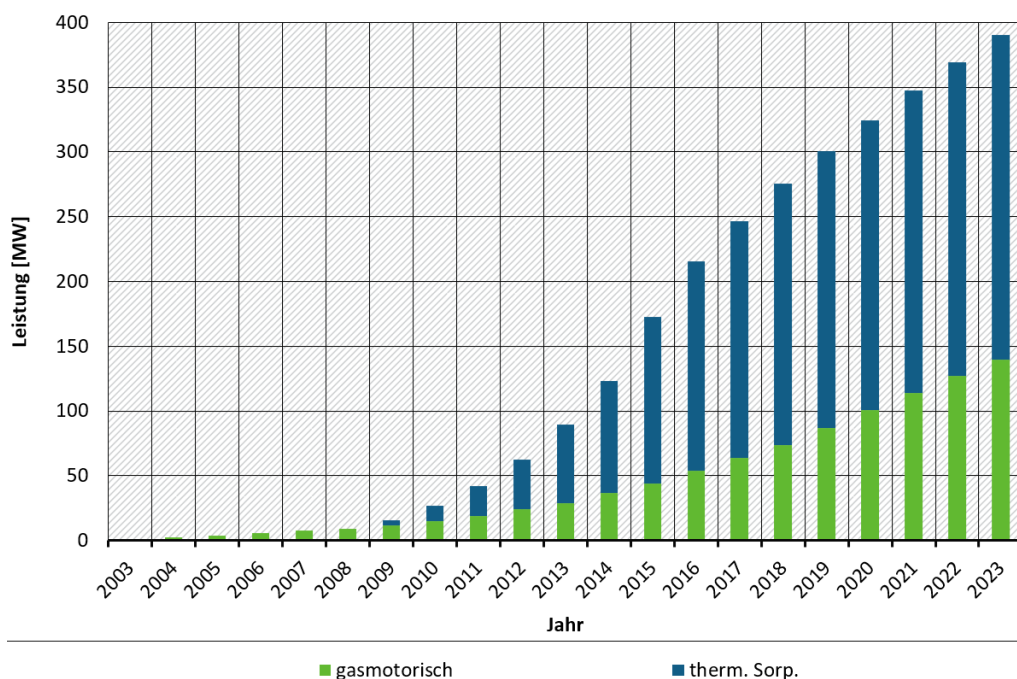
Abbildung 21: Thermische Gesamtleistung der elektrischen Brauchwasserwärmepumpe



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

Der Anteil von Gaswärmepumpen an der installierten thermische Gesamtleistung aller Wärmepumpen im Jahr 2023 ist vergleichsweise gering und unter 400 MW_{th} (Abbildung 22).

Abbildung 22: Thermische Gesamtleistung der Wärmepumpe – Gas – gasmotorisch, Sorption



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Umweltbundesamtes

6 Entwicklung der Effizienz

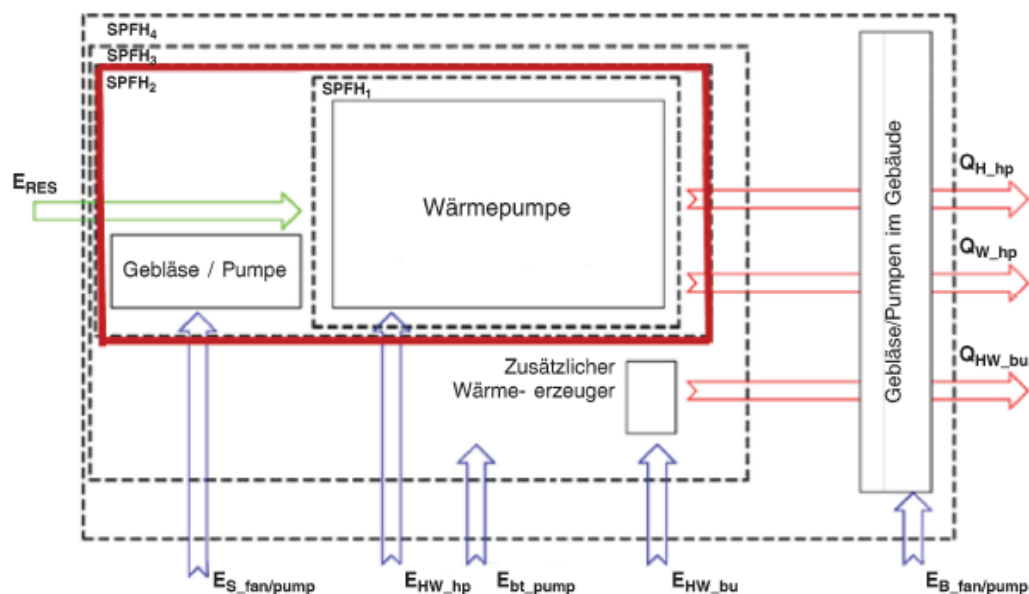
6.1 Bilanzgrenze

6.1.1 Definition im Beschluss 2013/114/EU

Im Beschluss der Kommission 2013/114/EU (2013/114/EU, 2013) wird die Bilanzgrenze wie in Abbildung 23 gezeigt definiert. Die Bestimmung des SPF sollte nach der jahreszeitbedingten Leistungszahl (SCOP net) gemäß der Norm EN 14825:2012 für elektrisch angetriebene Wärmepumpen für Raumheizung bzw. dem jahreszeitbedingten Primärenergieverhältnis (SPER net) gemäß der Norm EN 12309 für thermisch angetriebene Wärmepumpen erfolgen. „Dies bedeutet, dass die für den Betrieb der Wärmepumpe und den Kältemittelkreislauf erforderliche elektrische Energie bzw. der Kraftstoffverbrauch berücksichtigt werden“²⁹. (2013/114/EU, 2013). Nicht berücksichtigt werden die Kurbelwellenheizung und eine Zusatzheizung - auch falls diese direkt im Gerät integriert ist - sowie der Energiebezug der Wärmepumpensteuerung außerhalb der Wärmepumpenbetriebszeit. Während in der gezeigten Grafik neben Raumheizung auch Trinkwassererwärmung berücksichtigt wird, führt der Beschluss nur auf, nach welcher Norm der SCOP für Raumheizung zu ermitteln ist, gibt jedoch keine Norm für die Berechnung des SCOP für Trinkwassererwärmung an.

Gemäß der dargestellten Bilanzgrenze ist die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme vor etwaigen Speichern zu bilanzieren.

Abbildung 23: Bilanzgrenzen zur Bewertung von Wärmepumpensystemen nach 2013/114/EU



Quelle: Beschluss der Kommission 2013/114/EU (2013/114/EU, 2013)

²⁹ Sorptionswärmepumpen: Für den Betrieb der Wärmepumpe ist eine Pumpe zur Umwälzung des Lösungsmittels erforderlich. In der Abbildung 23 ist diese außerhalb der Bilanzgrenze dargestellt; gemäß der Formulierung im Text der Richtlinie und der Definition nach EN 12309 liegt der Energiebezug innerhalb der Bilanzgrenze zur Ermittlung SPERnet. Nach EN 12309-1 berücksichtigt der SPERnet (saisonales Primärenergieverhältnis) eines Geräts den Stromverbrauch des Wärmepumpengeräts im Aktiv-Modus und abzüglich des Energieverbrauchs des Hilfsgaskessels.

$E_{S_fan/pump}$	Energie für den Betrieb des Gebläses und/oder der Kältemittelpumpe
E_{HW_hp}	Energie für den Betrieb der Wärmepumpe selbst
E_{bt_pump}	Energie für den Betrieb der Pumpe, die das Mittel zur Absorption der Umgebungsenergie umwälzt (nicht für alle Wärmepumpen zutreffend)
E_{HW_bu}	Energie für den Betrieb eines zusätzlichen Wärmeerzeugers (nicht für alle Wärmepumpen zutreffend)
$E_{B_fan/pump}$	Energie für den Betrieb des Gebläses und/oder der Pumpe, die das Mittel umwälzt, das die endgültige Nutzwärme bereitstellt
Q_{H_hp}	Über die Wärmepumpe bereitgestellte Wärme aus der Wärmequelle
Q_{W_hp}	Über die Wärmepumpe aus der mechanischen Antriebsenergie abgegebene Wärme
Q_{HW_hp}	Wärme aus dem zusätzlichen Wärmeerzeuger (nicht für alle Wärmepumpen zutreffend)
E_{RES}	Durch die Wärmepumpe gebundene aerothermische, geothermische oder hydrothermische Energie (Wärmequelle) aus erneuerbaren Quellen
E_{RES}	$E_{RES} = Q_{usable} - E_{S_fan/pump} - E_{HW_hp}$ $= Q_{usable} * (1 - 1/SPF)$
Q_{usable}	$Q_{usable} = Q_{H_hp} + Q_{W_hp}$

6.1.2 Elektrische Wärmepumpen

6.1.2.1 Definition in Gerätekennwerte und Feldmessungen

Prüfstandmessungen: COP-Werte von Heizungs-Wärmepumpen

Die Prüfung erfolgt bei den in der entsprechenden Norm - abhängig vom Wärmepumpentyp - vorgegebenen Prüfpunkten unter konstanten Prüfbedingungen³⁰, vgl. Kapitel 5.1. In den Datenquellen, die dieser Studie zu Grunde liegen, werden folgende Betriebspunkte angegeben:

- ▶ Luft/Wasser: A2/W35³¹
- ▶ Sole/Wasser: B0/W35

³⁰ Die erste Zahl gibt die Eintrittstemperatur auf der Wärmequellenseite ein, die zweite Zahl, die Austrittstemperatur auf der Wärmesenkenseite.

³¹ Abweichend von den Standardbedingungen der EN 14511 (A7/W35), vgl. Kapitel 5.1, wird der Betriebspunkt A2/W35 in den Datenquellen aufgeführt, da sich der einzuhaltende Grenzwert für das EHPA Gütesiegel auf eben diesen Betriebspunkt bezieht.

- Temperaturspreizung auf der Wärmesenkenseite: 10 K bei den Messungen nach EN 255 und 5 K bei den Messungen nach EN 14511

Die Bilanzgrenze ist in den Normen wie folgt festgelegt:

- Thermische Energie direkt nach der Wärmepumpe
- Elektrische Energie des Verdichters, der Steuerung und anteilig der Pumpe / des Ventilators auf der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite. Hierbei wird nur der Energieaufwand zur Überwindung des wärmepumpeninternen Druckverlustes (Durchströmung des Verdampfers bzw. Kondensators) berücksichtigt.
- Fällt eine Abtauung in den Prüfzyklus, so wird der Energieaufwand hierfür berücksichtigt.

Bei dem Betrieb einer Wärmepumpe im Betriebspunkt A2/W35 kommt es zur Vereisung des Verdampfers und dieser wird von Zeit zu Zeit abgetaut. Es ist von der Konstruktion des Verdampfers (Lamellenabstand, Richtung der Luftdurchströmung, u.a.) und der Steuerung abhängig, wie die Vereisung fortschreitet und in welchen Abständen abgetaut wird. Nicht alle Wärmepumpen müssen während der Prüfphase der Norm-Messung abgetaut werden³²; somit enthält der COP-Wert bei einigen Wärmepumpen einen Abtauzyklus und andere nicht, vgl. Kapitel 6.2.1.2. Nach den Einschätzungen vom WPZ Buchs würde die Effizienz der Wärmepumpen, bei denen die Abtauung in der Norm-Messung berücksichtigt wird, im Schnitt einen etwa 6 bis 9% höheren COP an diesem Arbeitspunkt aufweisen, wenn die Abtauung im Bilanzierungszeitraum nicht berücksichtigt würde (Eschmann, 2017).

Prüfstandmessungen: COP-Werte von Brauchwasserwärmepumpe

Es bestehen zwei grundlegende Unterschiede zwischen der Norm-Messung der Heizungs-Wärmepumpen (EN 14511) und der Brauchwasserwärmepumpen (EN 16147). Während die Heizungswärmepumpen unter konstanten Randbedingungen vermessen werden, umfasst die Vermessung der Brauchwasserwärmepumpen ein 24h-Zapfprofil. Der zweite Unterschied liegt bei der Bilanzgrenze: Heizungs-Wärmepumpen werden am Ausgang der Wärmepumpe bilanziert, während Brauchwasserwärmepumpen nach dem (i.d.R. integrierten) Trinkwasserspeicher bilanziert werden. In diesen COP-Wert fließen somit neben der Effizienz des Wärmepumpengerätes auch die Speicherverluste mit ein. Bei der elektrischen Energieaufnahme werden der Verdichter, die Steuerung, der Wärmequellenantrieb und - wenn zum Erzielen der Temperaturen des Norm-Zapfprofils erforderlich - auch der Heizstab berücksichtigt.

In der EN 16147 werden unterschiedliche Anwendungsfälle unterschieden. Die Luft/Brauchwasser-Wärmepumpen können bei einer Wärmequellentemperatur von 7°C, 15°C oder 20°C vermessen werden. Zudem werden verschiedene Zapfprofile aufgeführt, die unterschiedliche tägliche Entnahmemengen umfassen. Im Testzentrum WPZ Buchs werden die meisten Messungen bei dem Zapfprofil XL (19 kWh) durchgeführt (Eschmann, 2017). Die ErP-Richtlinie, Verordnung (EU) Nr. 814/2013 (Verordnung (EU) Nr. 814/2013, 2013), welche für die EU-Energielabel ausschlaggebend ist, sieht nur die Betriebspunkte 7°C und 20°C vor. Die Vorgaben der Zapfprofile unterscheiden sich nur in geringem Maße von denen der EN 16147.

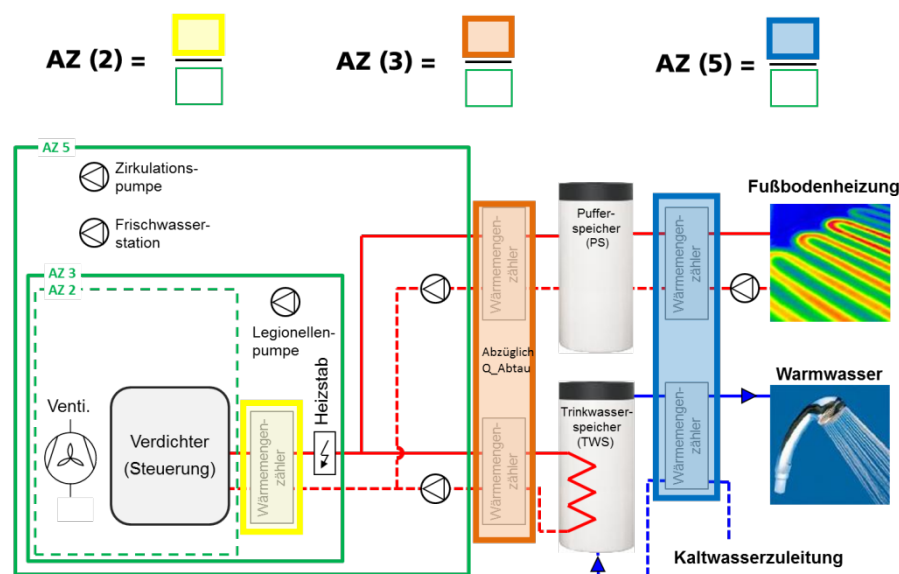
³² (Eschmann (2017)) schreibt zu den Messungen beim WPZ Buchs: „Die Abtauung wurde bis September 2012 nur dann berücksichtigt, wenn der Heizzyklus zwischen zwei Abtauungen kürzer als 4 Stunden war. Seit 2012 (...) wird die Spreizung zwischen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur überwacht. Bleibt diese Spreizung über 140 min konstant (max. 2.5%-Abweichung), wird keine Abtauung für die Auswertung berücksichtigt.“

Feldmessungen: JAZ von Heizungswärmepumpe

In den Feldmessungen des Fraunhofer ISE wird die Jahresarbeitszahl an unterschiedlichen Bilanzgrenzen ermittelt. Exemplarisch werden in Abbildung 24 drei Bilanzgrenzen aufgezeigt. Die Bilanzgrenze „3“ umfasst den elektrischen Energieaufwand des Verdichters, der Heizstabes, des Wärmequellenantriebes und der Steuerung. Diese Bilanzgrenze wird bei allen Anlagen – wenn es die baulichen Voraussetzungen ermöglichen – messtechnisch ermittelt. Zusätzlich kann auch die Effizienz ohne Berücksichtigung des Heizstabes (Bilanzgrenze „2“) ausgewiesen werden. Ergänzend wird in einigen der Monitoringprojekte zudem die Bilanzgrenze „5“ vermessen. Hierbei wird die bereitgestellte Wärmemenge „nach“ dem Speicher bilanziert und zusätzlich der elektrische Energiebezug der Speicherladepumpen berücksichtigt.

Abbildung 24: Bilanzgrenzen zur Bewertung von Wärmepumpensystemen im Feldtest (Beispiel)

Systemgrenzen für die Berechnung der Arbeitszahlen



Quelle: eigene Darstellung gemäß der im Monitoringprojekt der Fraunhofer ISE „WPsmart im Bestand“ (Günther et al., 2020) verwendeten Bilanzgrenzen

Feldmessungen: JAZ von Brauchwasserwärmepumpe

Brauchwasserwärmepumpen nutzen zumeist Luft als Wärmequelle und erwärmen das Trinkwasser über den im Trinkwasserspeicher integrierten Kondensator (Direktkondensation). Feldmessungen ermitteln entsprechend eine JAZ, die sich - analog zu den Norm-Messungen - auf die bereitgestellte Wärme „nach“ dem Speicher und den elektrischen Energieaufwand für Verdichter, Steuerung, Ventilator und Heizstab bezieht. Teilweise wird der Energieaufwand des Heizstabes separat ausgewiesen.

6.1.2.2 Unterschiede der Definitionen

In der RED II wird nur die Wärmepumpe inkl. dem Wärmequellenantrieb berücksichtigt, jedoch keine Zusatzheizung. Die bereitgestellte Wärme wird vor etwaigen Speichern bilanziert. Dies entspricht im Wesentlichen auch der Bilanzgrenze der Norm-COP-Kennwerte für Heizungswärmepumpen, jedoch mit einem Unterschied. In der EN 14511 wird der Wärmequellenantrieb nur bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen mit Direktansaugung komplett berücksichtigt. Ein Unterschied ergibt sich somit für Außenluft/Wasser-Wärmepumpen mit Kanalanschluss und für Erdreich/Wasser- bzw. Grundwasser/Wasser-Wärmepumpen. Als Größenordnung für den Unterschied: In der VDI 4650 zur Berechnung der JAZ (VDI, 2019a) wird

für die Sole-Pumpe ein Aufschlag von 3,5% auf den Elektroenergiebezug kalkuliert und für die Grundwasser-Pumpe (bei Anlagen ohne Zwischenkreis und einer Heizleistung zwischen 10 kW und 20 kW) von 20%.

Die o.g. Feldmessungen des Fraunhofer ISE können im Grundsatz auch nach der in der RED II angegebenen Bilanzgrenze ausgewertet werden, wenn die in Abbildung 24 gezeigte Bilanzgrenze 2 zu Grunde gelegt wird. Ein Unterschied besteht in der Berücksichtigung des Elektroenergiebezuges der Steuerung. Während diese laut RED II nur während des Wärmepumpenbetriebes betrachtet wird, umfassen die Ergebnisse des Feldmonitorings auch den Energiebezug während des Stillstandes. Der Unterschied wird nach (Günther et al., 2014) im Mittel auf unter 2% geschätzt.

Der größte Unterschied zwischen der Definition in der RED II einerseits und Norm-Kennwerten sowie Feldmessungen andererseits betrifft Brauchwasserwärmepumpen. In dem Beschluss (2013/114/EU) wird nicht explizit auf Brauchwasserwärmepumpen eingegangen. Auch hier wäre demnach vor dem Trinkwasserspeicher zu bilanzieren. Da bei Brauchwasserwärmepumpen der Kondensator des Kältekreises i.d.R. im Trinkwasserspeicher eingebaut ist, wird hier in der EN 16147 und auch in Feldmessungen nach dem Trinkwasserspeicher bilanziert. Die Effizienz „nach“ Speicher ist geringer als die Effizienz „vor“ Speicher, da hier nicht die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme berücksichtigt wird, sondern nur die Zapfung. Der Anteil der Speicherverluste an der gesamten bereitgestellten Wärme hängt – neben dem Umfang der Speicherverluste – insbesondere von dem Umfang der Zapfung ab, die eine weit größere Varianz aufweist als die Speicherverluste. Dies wird am Beispiel einer Brauchwasserwärmepumpe mit einem Speicher von 250L und maximal zulässigen Speicherverlusten³³. Bei den Norm-Angaben liegen die Speicherverluste bezogen auf die bereitgestellte Wärme für die üblicherweise angegebenen Zapfprofile L (11,7 kWh/d) und XL (19,1 kWh/d) bei 16% bzw. 10%. In der Realität ist der Anteil der Verluste (weit) höher, da üblicherweise (deutlich) weniger Warmwasser gezapft wird. Bei einem täglichen Warmwasserverbrauch (bei 50°C) von 23 L/Person³⁴ liegen die Speicherverluste bei einem 2-Personen-Haushalt (2,1 kWh/d) bei 50%.

6.2 Mittlerer COP je Anlage

6.2.1 Elektrische Heizungswärmepumpe

6.2.1.1 Einfluss der Änderungen der Prüfbedingungen nach EN 255 und EN 14511

Die Temperaturspreizungen auf der Wärmesenkenseite unterscheiden sich bei den Messungen nach EN 255 (10 K) und EN 14511 (5 K). In der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) wird die Effizienzminderung aufgrund der geringeren Spreizung – ohne Nennung einer Literaturquelle oder Erläuterung der Annahme - auf ~8 % angesetzt. Das WPZ Buchs hat in Messungen von 13 Luft/Wasser- und 19 Sole/Wasser-Wärmepumpen einen Unterschied von 7,0 % bzw. 6,4 % ermittelt (Eschmann, 2009). Es wird in der vorliegenden Studie in Anlehnung an die Ergebnisse von (Eschmann, 2009) ein Effizienzunterschied von 7 % für die Umrechnung der unterschiedlichen Betriebsbedingungen angesetzt.

³³ Maximal zulässige Speicherverluste nach Verordnung (EU) 814/2013 (Verordnung (EU) Nr. 814/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern (2013)): 2,2 kWh/d bei 250L

³⁴ DIN 4701-10 setzt einen täglichen Warmwasserbedarf von 23 Liter pro Person bei 50°C Wassertemperatur an. Die Kaltwassertemperatur wurde hier auf 10°C angesetzt.

6.2.1.2 Luft/Wasser-Wärmepumpe

Abbildung 25 zeigt die zeitliche Entwicklung von COP-Werten von Luft/Wasser-Wärmepumpen im Betriebspunkt A2/W35 nach EN 14588 im Zeitraum von 1993 bis 2020. Dargestellt sind die Angaben unterschiedlicher Literaturquellen:

- ▶ Wärmepumpen-Testzentrum WPZ Buchs (vgl. Kapitel 2.4.1):
Mittelwert der im jeweiligen Jahr bei dem Testzentrum gemessenen COP-Kennwerte (Zeitraum 1993 bis 2017)
- ▶ BAFA geförderte Wärmepumpen (vgl. Kapitel 2.3):
Mittelwert der COP-Werte der Wärmepumpengeräte des jeweiligen Förderjahrganges^{35, 36, 37}. (Zeitraum 2008 bis 2020).
- ▶ Inputdaten der Berechnungsmatrix der AGEE-Stat umgerechnet auf Betriebsbedingungen nach EN 14511³⁸
Diese Daten berechnen sich aus folgenden Gleichungen, die in der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) basierend auf den Daten des Wärmepumpen-Testzentrums WPZ Buchs hergeleitet wurde; hier umgerechnet auf EN 14511:
Luft/Wasser-Wärmepumpe: $f(x) = 0,92 \cdot (0,0589 \cdot x - 114,62)$
mit X = Jahreszahl

Die vom Testzentrum durchgeführten Messungen umfassen i.d.R. neu auf den Markt zu bringende Produkte. Es ist davon auszugehen, dass die Mittelwerte aller im jeweiligen Jahr verkauften Wärmepumpen niedriger liegt und sich quasi ein zeitlicher Versatz gegenüber den Ergebnissen des Prüfzentrums ergibt.

Die über die BAFA geförderten Wärmepumpen geben einen Ausschnitt des Marktes wieder. Hierbei werden nur die im Gebäudebestand bzw. in der Basisförderung geförderten Anlagen berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.3). Die diesem Förderbereich zu Grunde liegende Anforderung einer berechneten JAZ von mindestens 3,3 bzw. 3,5 (je nach Jahr) sollte – zumindest in den letzten Jahren - von beinahe allen marktrelevanten Wärmepumpen bei den Standardberechnungswerten für Fußbodenheizung erreicht werden ebenso wie von einem überwiegenden Anteil bei den Standardberechnungswerten für Radiatoren (Stuible, Zech, Ullrich, Witt et al., 2018), (Stuible et al., 2019). Nach Einschätzung der Autor*innen sollten die COP-Werte der hier dargestellten geförderten Wärmepumpen nur leicht gegenüber dem

³⁵ Definition des Förderjahr der Evaluation der BAFA-Förderung: Bis zum Förderjahr 2014 erfolgte die Zuordnung der geförderten Anlagen nach dem Errichtungszeitpunkt der jeweiligen Anlage. Ab der Evaluation des Förderjahrgangs 2015 erfolgt die Zuordnung nach dem Auszahlungsdatum der Fördermittel für die einzelne Anlage. Die zeitliche Differenz zwischen Auszahlung der Fördergelder und Inbetriebnahme der Anlagen unterscheidet bei den einzelnen Anträgen. Den Autoren der Evaluation der Förderjahres ab 2015 zu folge, ist davon auszugehen, dass der mittlere Unterschied der beiden Zeitpunkte im Mittel unter einem halben Jahr liegt.

³⁶ Im Zeitraum 2008 bis 2014 und im Jahr 2020 wurden Wärmepumpen im Gebäudebestand berücksichtigt, in den Jahren 2016 bis 2019 bei Sole/Wasser-Wärmepumpen alle geförderten Anlagen, bei Luft/Wasser-Wärmepumpen nur die Basisförderung. Somit wird die Innovationsförderung bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen ausgeklammert, die nur von wenigen Anlagen erzielt werden kann. Damit ist davon auszugehen, dass die hier betrachtenden geförderten Anlagen auch ein die Verteilung am Markt widerspiegeln könnte.

³⁷ Im Zeitraum 2008 bis 2019 beruht die Auswertung auf Stichproben (30 bis 150 Anlagen je Wärmepumpentyp und Jahr) und im Jahr 2020 auf dem gesamten Fördersatz (bei Luft/Wasser-Wärmepumpen nur im Gebäudebestand)

³⁸ Die Eingangsdaten in die Bewertungsmatrix der AGEE-Stat beruhen auf der EN 255 Bedingungen. Da diese seit 2005 nicht mehr gültig ist, erfolgen die Darstellungen der zeitlichen Entwicklung der COP-Werte in diesem Bericht bezogen auf die Bedingungen nach EN 14511 und nicht wie in der Vorgängerstudie auf EN 255.

Mittelwert des gesamten Marktes an Luft/Wasser-Wärmepumpen des jeweiligen Jahres erhöht sein.

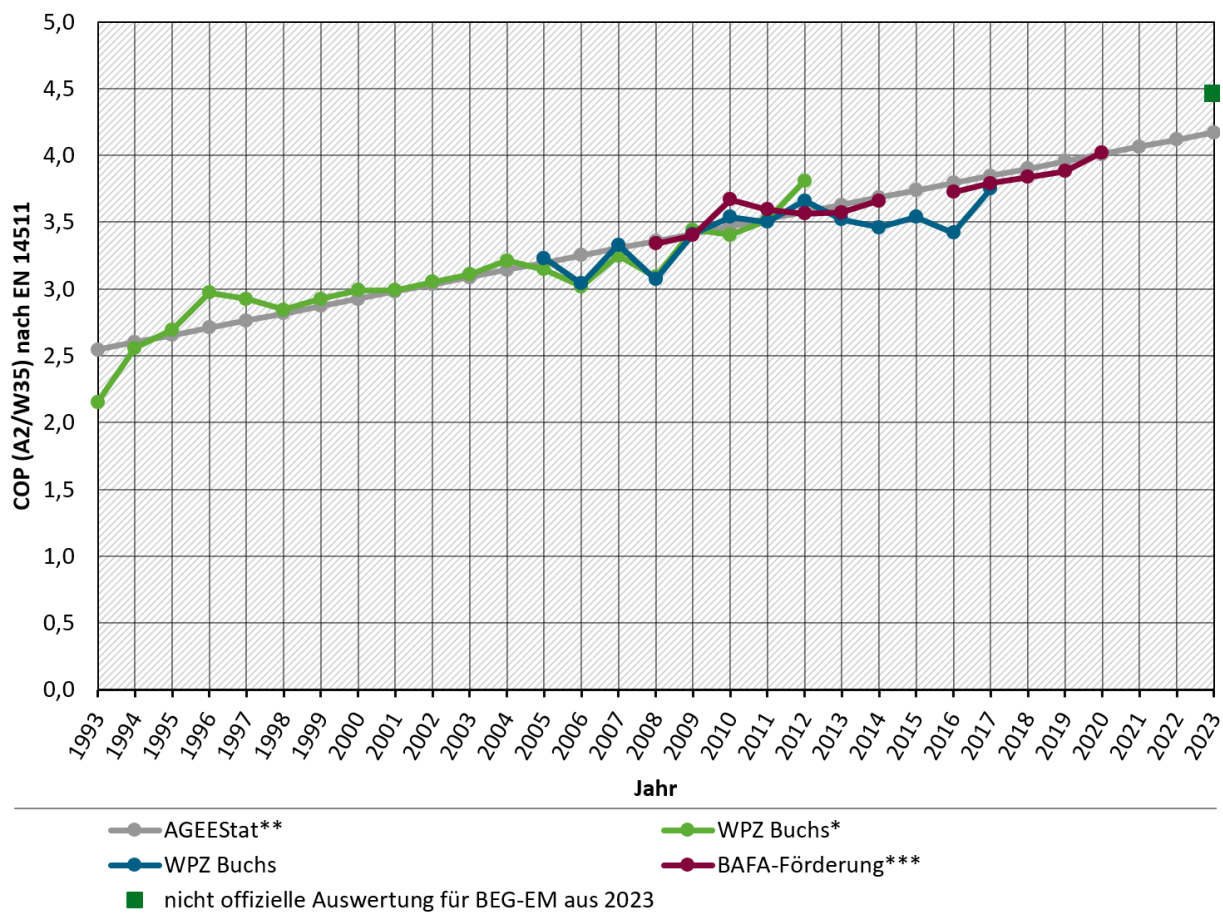
Die COP-Werte der BAFA-geförderten Wärmepumpen nehmen den Trend von steigenden COP-Werten der Teststandmessungen des WPZ-Buchs auf. Die – von Schwankungen überlagerte – Steigerung der COP-Werte in dem dargestellten Zeitraum ist auf unterschiedliche Einflüsse zurückzuführen. Es ist zu vermuten, dass die Effizienz-Steigerungen in den 90er Jahren auf technische Verbesserungen zurückzuführen ist. Ein weiterer Grund der Effizienz-Steigerung liegt darin, dass bei einer zunehmenden Anzahl von Wärmepumpen während der Auswertungsphase der Messung keine Abtauung auftritt (vgl. Kapitel 6.1). Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Effizienz seit 2005 schreibt WPZ Buchs, dass ein „Hauptgrund für diese Effizienzsteigerung (...) sicherlich auf die durchschnittlich längeren Heizzyklen zwischen zwei Abtau-Phasen zurückzuführen“ ist (Eschmann, 2013). Im Jahr 2012 (2014)³⁹ wurde bei jeder vierten (dritten) Luft/Wasser-Wärmepumpe keine Abtauung beim Normpunkt berücksichtigt (Eschmann, 2013), (Eschmann, 2014). Auch im Jahresbericht 2017 wird beschrieben, dass „vermehrt Messungen bei A2/W35 ohne Abtauung ausgewertet werden können“ (Eschmann, 2017), jedoch ohne deren Anteil anzugeben. Damit zeigt sich eine Schwäche der Verwendung des COP-Wertes im Betriebspunkt A2/W35 zur Abbildung der Entwicklung der Effizienz.

Die Steigung des mittleren COP-Wertes der geförderten Wärmepumpen könnte sich zum einen damit begründen, dass stets mehr Wärmepumpen mit einem höheren COP-Wert auf den Markt kommen, und zum anderen mit einer steigenden Nachfrage an effizienten Wärmepumpen. Insbesondere mit der Änderung des Förderansatzes zum 1.1.2020 und damit einer signifikanten Erhöhung der Fördersätze für Luft/Wasser-Wärmepumpen⁴⁰ ist möglicherweise auch die Bereitschaft gestiegen effizientere, höherpreisige Wärmepumpen zu kaufen.

³⁹ Die Erhöhung des Anteils der Wärmepumpen, bei denen im Auswertungszeitraum der Messung keine Abtauung auftrat, ist im Vergleich der Prüffahre vor/nach 2012 neben den Änderungen im Design der Wärmepumpen auf eine Änderung in den Prüfbedingungen beim WPZ Buchs zurückzuführen: „Die Abtauung wurde bis September 2012 nur dann berücksichtigt, wenn der Heizzyklus zwischen zwei Abtauungen kürzer als 4 Stunden war. Seit September 2012 wird exakt nach der EN 14511 ausgewertet. Bleibt diese Spreizung über 140 min konstant (max. 2,5 %-Abweichung), wird keine Abtauung für die Auswertung berücksichtigt“ (Eschmann (2017)).

⁴⁰ 35 % der anrechenbaren Investitionskosten; bei gleichzeitigem Kesseltausch 45 %

Abbildung 25: Entwicklung des COP (A2/W35 nach EN 14511) von Luft/Wasser-Wärmepumpen



* Messungen wurden nach EN 255 durchgeführt und mit einem Faktor von 0.92 umgerechnet, um den Unterschied der Prüfbedingungen in etwa zu berücksichtigen,

** Datenbasis von AGEESat orientiert sich an EN 255. Hier mit einem Faktor von 0.92 umgerechnet.

*** Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Born 2017), (Eschmann 2017), (Stuible 2016) bis (Stuible 2021), (Oltersdorf 2024)

6.2.1.3 Sole/Wasser-Wärmepumpe

Abbildung 26 zeigt die zeitliche Entwicklung von COP-Werten von Sole/Wasser-Wärmepumpen im Betriebspunkt B0/W35 nach EN 14588 im Zeitraum von 1993 bis 2020. Analog zu der Darstellung der Luft/Wasser-Wärmepumpen sind Angaben aus folgenden Literaturquellen abgebildet:

- ▶ Wärmepumpen-Testzentrum WPZ Buchs (vgl. Kapitel 2.4.1):
Mittelwert der im jeweiligen Jahr bei dem Testzentrum gemessenen COP-Kennwerte (Zeitraum 1993 bis 2017)
- ▶ BAFA geförderte Wärmepumpen (vgl. Kapitel 2.3):
Mittelwert der COP-Werte der Wärmepumpengeräte des jeweiligen Förderjahrganges^{35, 36, 37} (Zeitraum 2008 bis 2020).

- Inputdaten der Berechnungsmatrix der AGEE-Stat umgerechnet auf Betriebsbedingungen nach EN 14511³⁸.

Diese Daten berechnen sich aus folgenden Gleichungen, die in der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) basierend auf den Daten des Wärmepumpen-Testzentrums WPZ Buchs hergeleitet wurde; hier umgerechnet auf EN 14511:

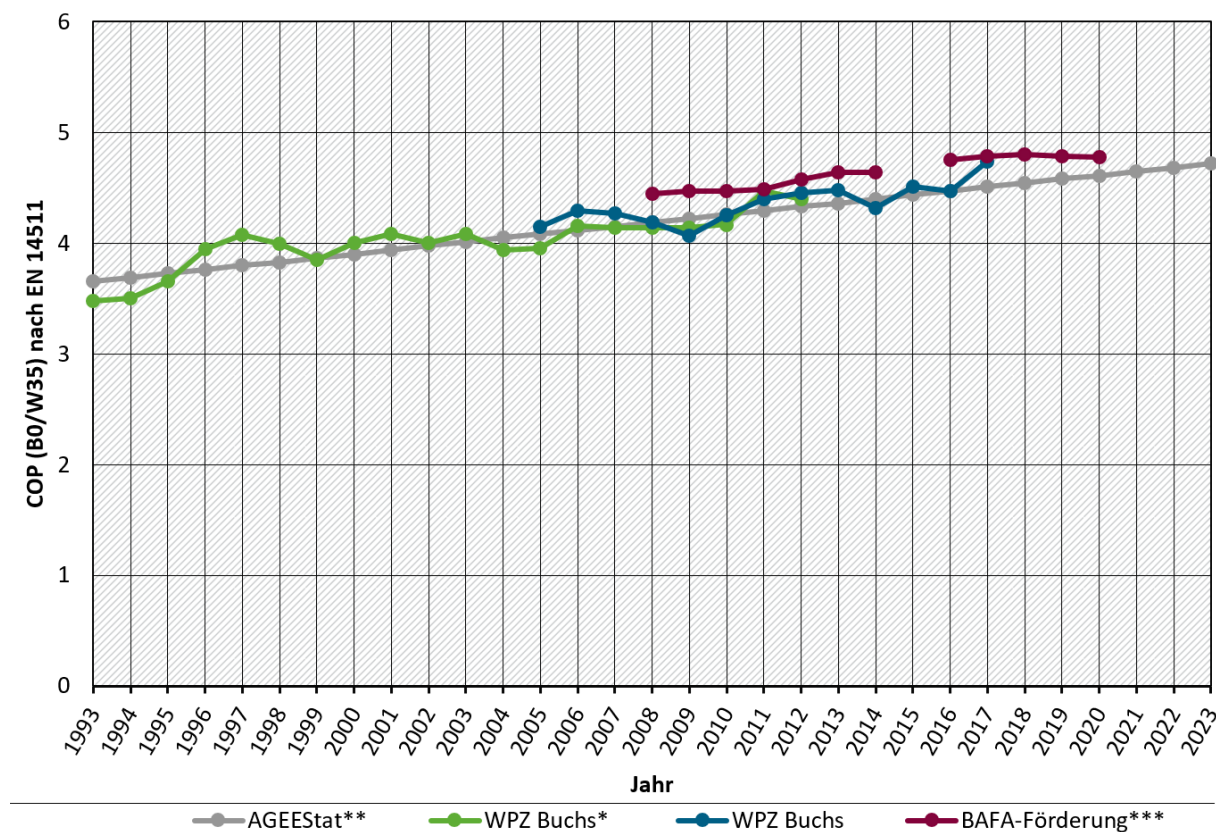
Sole/Wasser-Wärmepumpe: $f(x) = 0,92 \cdot (0,0386 \cdot x - 72,958)$

mit X = Jahreszahl

Die vom Testzentrum durchgeführten Messungen umfassen i.d.R. neu auf den Markt zu bringende Produkte. Es ist davon auszugehen, dass die Mittelwerte aller im jeweiligen Jahr verkauften Wärmepumpen niedriger liegt und sich quasi ein zeitlicher Versatz gegenüber den Ergebnissen des Prüfzentrums ergibt.

Die über die BAFA geförderten Wärmepumpen geben einen Ausschnitt des Marktes wieder. Hierbei werden nur die im Gebäudebestand bzw. in der Basisförderung geförderten Anlagen berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.3). Die Anforderung einer berechneten JAZ von mindestens 3,7 bzw. 3,8 (je nach Jahr) sollten von allen jeweils marktverfügbaren Wärmepumpen bei den Standardberechnungswerten für Fußbodenheizung erreicht werden. Bei der Berücksichtigung der Standardberechnungswerte für Radiatoren ist davon auszugehen, dass für die Wärmepumpen am Markt der letzten Jahres ebenfalls die Grenzwerte der Mindest-JAZ erreicht werden, und für den Beginn der Auswertung der BAFA-Förderung für den überwiegenden Anteil (Stuible, Zech, Ullrich, Witt et al., 2018), (Stuible et al., 2019). Nach Einschätzung der Autor*innen sollten die COP-Werte der hier dargestellten geförderten Wärmepumpen den Mittelwert des gesamten Marktes an Sole/Wasser-Wärmepumpen des jeweiligen Jahres gut widerspiegeln.

Abbildung 26: Entwicklung des COP (B0/W35), nach EN 14511 von Sole/Wasser-Wärmepumpen



* Messungen wurden nach EN 255 durchgeführt und mit einem Faktor von 0.92 umgerechnet, um den Unterschied der Prüfbedingungen in etwas zu berücksichtigen,
 ** Datenbasis von AGEESat orientiert sich an EN 255. Hier mit einem Faktor von 0.92 umgerechnet.

Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Eschmann 2017), (Born 2017), (Stuible 2016) bis (Stuible 2021)

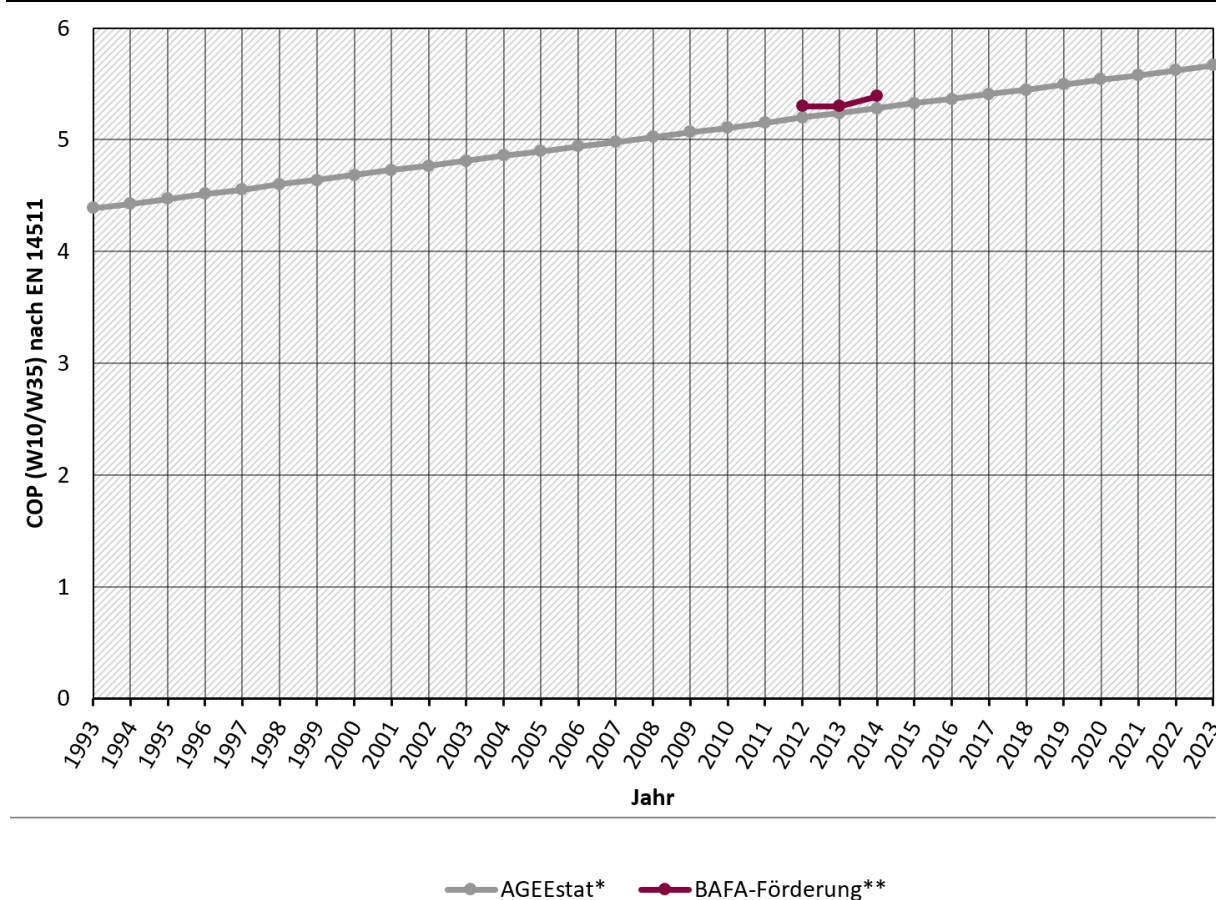
6.2.1.4 Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Abbildung 27 zeigt die zeitliche Entwicklung von COP-Werten von Wasser/Wasser-Wärmepumpen im Betriebspunkt W10/W35 nach EN 14588 im Zeitraum von 1993 bis 2020. Analog zu der Darstellung der Luft/Wasser-Wärmepumpen sind Angaben aus folgenden Literaturquellen abgebildet:

- ▶ BAFA geförderte Wärmepumpen (vgl. Kapitel 2.3):
 Mittelwert der COP-Werte der Wärmepumpengeräte des jeweiligen Förderjahrganges^{35, 36, 37} (Zeitraum 2012 bis 2014).
- ▶ Inputdaten der Berechnungsmatrix der AGEESat umgerechnet auf Betriebsbedingungen nach EN 14511³⁸.

Die COP-Werte der geförderten Wärmepumpen entsprechend nahezu den Eingangswerten der AGEESat Berechnungsmatrix. Der Unterschied beträgt maximal 2 %.

Abbildung 27: Entwicklung des COP (W10/W35) von Wasser/Wasser-Wärmepumpen



* Datenbasis von AGEEstat orientiert sich an EN 255. Hier mit einem Faktor von 0.92 umgerechnet.

** In den Jahren 2008 bis ca 2011 erfolgten bei den dem Mittelwert zugrunde liegenden Daten die Angabe einiger COP-Werte ggf. noch EN 255.

Quelle: eigene Darstellung, Daten: (Born 2017), (Stuible 2016), (Stuible 2027)

6.2.2 Brauchwasserwärmepumpe

Anders als bei Heizungswärmepumpen, sind die Angaben der Norm-COPs von Brauchwasserwärmepumpen nicht direkt als Indikator der Effizienz des Wärmepumpengerätes unter gleichen Norm-Bedingungen und damit für die Effizienzentwicklung über die Jahre, zu verwenden.

Bilanzgrenze

Wie in Kapitel 6.1.1 ausgeführt, soll die Bilanzierung der Wärmepumpeneffizienz, die als Eingangsgröße zur Bestimmung der gewonnenen erneuerbaren Energien dient, vor Speicher erfolgen. Die Bestimmung des Norm-COP-Wertes von Brauchwasserwärmepumpen erfolgt jedoch auf Basis der Wärmemenge der Trinkwasserzapfung (also nach dem Speicher), vgl. Kapitel 6.1.2.1. Somit ist eine Abschätzung der Speicherverluste zur Bestimmung des COP-Wertes „vor Speicher“ notwendig.

Einflussfaktoren auf die Norm-COP

Wie in Kapitel 6.1 aufgeführt, können die Normmessungen sowohl bei verschiedenen Zapfprofilen als auch bei unterschiedlichen Quellentemperaturen durchgeführt werden. Um die bei unterschiedlichen Bedingungen ermittelten COP-Werte berücksichtigen zu können, müsste der Einfluss der Prüfbedingungen auf den COP-Wert analysiert werden. Dies ist aufgrund der sehr kleinteiligen Betrachtung nur mit – gemessen an der erzielbaren Verbesserung der Statistik – unverhältnismäßigem Aufwand und im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Die Datenbasis

wäre zumindest auf Anlagen mit gleichem Prüf-Zapfprofil zu begrenzen. Eine Abschätzung des Einflusses unterschiedlicher Wärmequellentemperaturen könnte vorgenommen werden.

Datenquellen

Für Angaben des COPs in den 2010er Jahren auf den Markt gebrachten Brauchwasserwärmepumpen kann auf veröffentlichte Prüfergebnisse des WPZ Buchs zurückgegriffen werden. In der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) wird für die Annahme der Effizienz in den 1980er Jahren auf eine Literaturquelle zurückgegriffen, in der „TEST-Ergebnisse für die Kellerluft-Trinkwarmwasserwärmepumpen“ angeführt werden. Es werden keine Hinweise auf die Prüfbedingungen gegeben. Aufgrund des hohen Einflusses der Prüfbedingungen auf den COP-Wert, kann diese Angabe nicht als belastbare Literaturquelle herangezogen werden.

Ermittlung der COP-Werte

An dieser Stelle wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Ermittlung von COP-Werten als Spiegel der Effizienzsteigerung der Geräte über die Jahre vorgenommen. Ohne weiterführende Recherchen keine Erkenntnisse über vergleichbare Angaben in der Historie vor. Es wird empfohlen zunächst die Berücksichtigung der Brauchwasserwärmepumpen bei der Berichterstattung zu klären (vgl. Kapitel 6.2.4), um deren Relevanz und damit einen angemessenen Aufwand bei der Einschätzung der Entwicklung der Effizienz über die Jahre einschätzen zu können.

6.2.3 Gasbetriebene Wärmepumpe

Bei der Einschätzung der Jahresnutzungsgrades der gasbetriebenen Wärmepumpen wird nicht auf eine Angabe eines Effizienzkennwertes unter definierten Normbedingungen zurückgegriffen. Damit werden in diesem Kapitel keine Angaben vorgenommen.

6.2.4 Empfehlungen

Elektrische Heizungswärmepumpen

Nach Einschätzung der Autor*innen eignet sich die bisher verwendete Funktion für die Entwicklung des mittleren COP-Wertes der verkauften Wärmepumpen für die bisherigen Jahre. In den folgenden Jahren ist die Entwicklung im Blick zu behalten und die Funktion anzupassen. Die Autor*innen sehen folgende Einflüsse auf die Entwicklung einwirken:

- ▶ Grundsätzlich wird die Marktentwicklung von den Autor*innen so eingeschätzt, dass aufgrund des Marktwachstums die Investitionen durch die Hersteller nicht mehr in erster Linie in die Erhöhung der Energieeffizienz und damit der COP-Werte, die auf eine mittlerweile guten Niveau angelangt ist, sondern vorwiegend in den Aufbau von Produktionskapazitäten, Kostenreduktionen sowie in die Einführung neuer Kältemittel gelenkt werden.
- ▶ Umstellung der eingesetzten Kältemittel: Die unterschiedlichen kältetechnischen Eigenschaften der Kältemittel beeinflussen Effizienz-Potential der Wärmepumpe. Ein anderer Aspekt ist, dass Neuentwicklungen auch erneut mit einer Lernkurve (Anpassungen von Komponente auf die neuen Kältemittel) etc. verbunden sein können. Als ein Beispiel sei hier die Verwendung von Propan genannt. Propan bietet die Möglichkeit höhere COP-Wert zu erzielen. Bei den ersten Produkten, die Propan als Kältemittel eingesetzt haben, lag die

Effizienz noch nicht im oberen Effizienzbereich aller marktverfügbaren Wärmepumpen. Eine beispielhafte Auswertung aktueller Daten der BAFA für Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigt, dass aktuell tatsächlich ein bemerkenswerter Anstieg des mittleren COPs der dokumentierten Anlagen zu sehen ist (vgl. Abbildung 25).

- Käuferverhalten:
entscheidend für die nominale Effizienz der installierten Wärmepumpen ist neben den technischen Weiterentwicklungen stets das Käuferverhalten. Möglicherweise führt ein gestiegenes ökologisches Bewusstsein und der Wunsch einer Reduzierung des Gaseinsatzes bei der Stromproduktion zum Kauf effizienterer Geräte. Andererseits könnte auch die Erschließung erweiterter Anwendungsbereiche und damit andere Entscheidungspfade bei Planung und Kauf der Wärmeerzeugungsanlage eine andere Richtung einschlagen.

Die Datenbasis der BAFA-geförderten Wärmepumpen scheint derzeit die geeignetste Datenbasis zur Einschätzung des COP der verkauften Wärmepumpen. Dem BAFA liegen für alle geförderten Wärmepumpen die jeweiligen Fabrikatsbezeichnungen vor. Durch einen Verschnitt aller geförderten Wärmepumpengeräte mit Angaben aus Anlagenlisten lässt sich die Verteilung der COP-Kennwerte in diesem Marktsegment ermitteln. In der BAFA-Liste der förderfähigen Wärmepumpen war bis 2020 der Nenn-COP aller Geräte aufgeführt (vgl. Kapitel 2.4.2). In den später erscheinenden BAFA-Listen ist der COP-Wert nicht mehr notiert. D.h. für Wärmepumpen, die in den letzten zwei Jahren auf den Markt gebracht wurden, sind anderen Datenquellen notwendig. Am Fraunhofer ISE wird (außerhalb dieses Projektes) eine Wärmepumpendatenbank aufgebaut. Bei der Verwendung der BAFA-geförderten Wärmepumpen sind stets die gültigen Förderbedingungen in den Blick zu nehmen und einzuschätzen, inwiefern diese dazu führen, dass der mittlere COP-Wert der geförderten Anlagen dem Gesamtabatzmarkt entspricht oder möglicherweise gegenüber diesem erhöht ist.

Gasbetriebene Wärmepumpen

Bei der Einschätzung der Jahresnutzungsgrades der gasbetriebenen Wärmepumpen wird nicht auf eine Angabe eines Effizienzkennwertes unter definierten Normbedingungen zurückgegriffen.

Brauchwasserwärmepumpen

Wie in Kapitel 3.5 beschrieben, bestehen grundsätzlich Unklarheiten bei der Berücksichtigung der Brauchwasserwärmepumpen in der Berichterstattung, da keine klaren Handlungsanweisung bzgl. der Berücksichtigung der Nutzung von Raumluft und Abluft als Wärmequelle in dem Beschluss 2013/114/EU gegeben sind. Es wird empfohlen die Bestimmung der COP-Werte durchzuführen, nachdem eine tiefergehende Prüfung der Rechts- und Sachlage erfolgt ist und damit die Relevanz dieses Wärmepumpentyps bei der Berichterstattung bekannt ist. Anschließend lässt sich ein angemessener Aufwand für die Einschätzung einer Effizienzsteigerung über die Jahre ableiten.

6.3 Einflussfaktoren auf die JAZ

Die Jahresarbeitszahl einer Heizungswärmepumpe ist insbesondere vom Anwendungsfall, der Auslegung, der Inbetriebnahme und dem Wärmepumpengerät abhängig:

- Gütegrad der Wärmepumpe in den relevanten Betriebspunkten
- Wärmequellentemperatur im Betrieb:
Witterung (Außenluft-WP), Auslegung Wärmequelle und Bedarfsprofil (Sole, Grundwasser)

- ▶ Wärmesenktemperatur im Betrieb im Raumheizmodus:
Heizkurve, Regelungskonzept, Hydraulikkonzept, Witterung, Nutzer
- ▶ Wärmesenktemperatur im Betrieb im Trinkwassererwärmungsmodus:
Warmwasser-Solltemperatur, Regelungskonzept, Zirkulation, Nutzer
- ▶ Verhältnis Trinkwassererwärmung zu Raumheizung
- ▶ Betriebsweise: signifikante Deckungsbeiträge weiterer Wärmeerzeuger?

6.4 Mindestjahresarbeitszahl zur Berücksichtigung der Wärmepumpen

6.4.1 Vorgaben RED

Nach der RED III Artikel 7 und Beschluss der Kommission 2013/114/EU dürfen bei der EE-Statistik nur diejenigen elektrisch angetriebenen Wärmepumpengeräte berücksichtigt werden, die mit einem SPF ($SCOP_{net}$) von mindestens 2,5 arbeiten (vgl. Kapitel 3.2). Dieser Grenzwert wird ab 2010 festgesetzt. Den Autor*innen der vorliegenden Studie ist nicht bekannt, ob/welche Vorgaben für die Mindestjahresarbeitszahl vor 2010 angesetzt werden müssen. Die folgenden Analysen von Feldtestanlagen betrachten den Wert von 2,5 unabhängig vom Jahr als Grenzwert.

6.4.2 Auswertung Feldtest

In der Schweiz wurden im Zeitraum 1994 bis 2002 je rund 100 Luft/Wasser- sowie Sole/Wasser-Wärmepumpen vermessen (Erb et al., 2004). 60% der Gebäude wurden in diesem Zeitraum errichtet und sind mit Fußbodenheizungen beheizt. Die übrigen 40% der Gebäude sind unterschiedlich sanierte Bestandsgebäude, je zur Hälfte mit Fußbodenheizungen und Radiatoren. Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen nimmt der Mittelwert der $nJAZ_{241}$ der vermessenen Wärmepumpen von 2,3 (1994/95) auf 2,7 (2002) zu. Über den gesamten Zeitraum hinweg wurden rund je zur Hälfte $nJAZ_2$ zwischen 1,75 und 2,5 sowie 2,5 und 4,0 ermittelt. Unter den Sole/Wasser-Wärmepumpen wurden nur bei 5 % der Anlagen eine $nJAZ_2$ unter 2,5 ermittelt. Für Wasser/Wasser-Wärmepumpen wird die gleiche Einschätzung getroffen wie für Sole/Wasser-Wärmepumpen.

Bei Feldmessungen in dem Zeitraum 2017 bis 2020 von 12 Luft/Wasser-Wärmepumpen und 11 Sole/Wasser-Wärmepumpen überwiegend in Einfamiliengebäuden untersucht⁴² (Prinzing et al., 2021). Die mittleren Vorlauftemperaturen der Wärmepumpen im Raumheizmodus lagen zwischen rund 28°C und 45°C (bzw. 50°C bei einer Sole/Wasser-Wärmepumpe). Nur eine Luft/Wasser-Wärmepumpe wurde mit einer JAZ_{WP}^{43} unter 2,5 betrieben. Die JAZ_{WP} der

⁴¹ $nJAZ_2$: es wurde an dieser Stelle die Abkürzung aus der Studie verwendet, um deutlich zu machen, dass die Bilanzgrenze leicht von den Bilanzgrenzen der anderen referenzierten Feldstudien abweicht.

Bilanzgrenze 2: a) Wärme vor Trinkwasserspeicher und nach Heizungsspeicher; b) elektrische Energie von Wärmepumpen-Gerät und Pumpen, ohne Heizstab.

„n“: normiert. Aus einem linearen Fit der Arbeitszahl der jeweiligen Anlage über der Außentemperatur wurde die Arbeitszahl bei der mittleren Außenlufttemperatur aller Anlagen während der Heizperiode ermittelt.

Diese Definition ist nicht direkt mit den Ergebnissen der anderen Studien vergleichbar. Zur Abschätzung der Größenordnung der JAZ in dem Zeitraum kann diese jedoch verwendet werden.

⁴² Alle Wärmepumpenanlagen werden zunächst während mindestens einer Heizperiode auf Ihre Effizienz überprüft. Danach finden Betriebsoptimierungen bei der Anlagensteuerung statt.

⁴³ JAZ_{WP} bezeichnet die JAZ nach RED II, bei der die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme vor Speicher bilanziert wird und als Elektrische Verbraucher das Wärmepumpengerät und der Quellenantrieb berücksichtigt werden; nicht der Heizstab.

anderen Wärmepumpen lag im Bereich von 2,9 und 4,3. Die Sole/Wärmepumpen erzielten JAZ_WP im Bereich von 3,1 und 5,6⁴⁴.

Im Rahmen des Projektes „WPMonitor“ wurden Wärmepumpen in Einfamilienhäusern vermessen, die Anfang der 2000er Jahre errichtet wurden (Günther et al., 2014). Unter den 35 Luft/Wasser-Wärmepumpen lag die JAZ_WP einer Anlage mit 2,4 unter der Mindestjahresarbeitszahl und zwei Anlagen mit 2,5 und 2,6 nur knapp oberhalb. Die JAZ der anderen Anlagen lag recht gleichmäßig verteilt zwischen 2,7 bis 4,0; zwei Anlagen wiesen noch höhere JAZ_WP auf. Die JAZ_WP aller Sole/Wasser-Wärmepumpen lag (i.d.R. deutlich) über 2,5⁴⁵. Die niedrigste JAZ_WP lag bei 3,0.

Im Rahmen des Projektes „WPsmart im Bestand“ wurden Wärmepumpen in (unterschiedlich sanierten) Bestandsgebäuden vermessen. Unter den 41 Luft/Wasser-Wärmepumpen erreichten vier Wärmepumpen⁴⁶ keine JAZ_WP von 2,5. Vier weitere Wärmepumpen erfüllen mit 2,5 und 2,6 nur knapp das Kriterium zur Berücksichtigung. Unter den 13 Sole/Wasser-Wärmepumpen trat ein Ausreißer mit einer JAZ_WP von 1,8 auf⁴⁷. Die JAZ_WP aller anderen Sole/Wasser-Wärmepumpen lag im Bereich von 3,3 bis 4,7 und damit deutlich über dem Grenzwert⁴⁸.

6.4.3 Einschätzung der Autor*innen

Die historische Entwicklung der JAZ über die letzten Jahrzehnte ist insbesondere von folgenden Punkten geprägt: Technologische Entwicklung der Wärmepumpen (COP) und Qualität der Planung, Installation und Inbetriebnahmen. Zudem wirken sich Veränderungen im Anwendungsgebiet auf die Betriebstemperaturen und somit die Effizienz aus (u.a. Art und Auslegung des Wärmeübergabesystems, Anteil Trinkwassererwärmung zu Raumheizung, Anforderungen an Trinkwassererwärmung, Anwendung außerhalb der (individuellen) Wohngebäudebeheizung). Ein signifikanter Einfluss hierdurch auf die Statistik wird in Zukunft erwartet - mit zunehmender Anwendung im Altbau, im Mehrfamilienhaus-Bereich und außerhalb der Wohngebäudebeheizung sowie mit der Verbreitung von Quartierslösungen.

Luft/Wasser-Wärmepumpen: Für das Jahr 1993 (und die Jahre zuvor) wird in Anlehnung an die Entwicklung der COP-Werte (vgl. Kapitel 6.2.1.2) und die Feldtesterfahrungen der FAWA-Studie der Anteil von Luft/Wasser-Wärmepumpen, deren JAZ_WP unter 2,5 liegt, auf 50 % geschätzt. Für die Jahre 2010 ff wird der Anteil in der Größenordnung von 5 % bis 10 % eingeordnet. Aufgrund des technischen Fortschrittes wird angenommen, dass sich der Anteil von 2010 bis ins Jahr 2022 reduziert hat und im Jahr 2010 eher im oberen Bereich und im Jahr 2022 eher im unteren Bereich einzuordnen ist. In den nächsten Jahren könnte der rasante Anstieg des Einsatzes von Wärmepumpen wieder zu einer Erhöhung des Anteiles der Wärmepumpen mit einer JAZ kleiner 2,5 führen. Bei der Installation und Inbetriebnahme der Anlagen ist damit zu rechnen, dass das Effizienzpotential einer Anlage nicht immer ausgeschöpft wird. Dies könnte u.a. durch folgende Faktoren hervorgerufen werden: geringqualifizierte Montagekräfte, Umstellung der Installationsprozesse, Veränderungen in der Optimierungsziele (Installationsaufwand, Robustheit u.a. versus Effizienz). Zudem wird sich die Bandbreite des Einsatzes von Wärmepumpen (gewünscht) erhöhen und Wärmepumpen verstärkt auch in

⁴⁴ Die Angaben beziehen sich auf die Auswertungsperiode 2020/2021.

⁴⁵ Die Angaben beziehen sich auf die Auswertungsperiode 2012/2013. In den beiden Jahren zuvor zeigt sich ein ähnliches Bild.

⁴⁶ Bei diesen vier Wärmepumpen liegt nur eine Messung der JAZ im Raumheizbetrieb vor, da WP nur die Raumheizung übernommen hat oder die Trinkwassererwärmung aufgrund der kompakten Bauweise nicht vor Speicher vermessen werden konnte. Es ist zu erwarten, dass die Gesamt-JAZ unter Berücksichtigung der Trinkwassererwärmung nicht signifikant anders ausfällt.

⁴⁷ Randbedingungen: Baujahr der WP: 2010. Geringste COP-Wert aller vermessenen WP. Mittlere Betriebstemperatur 53°C.

⁴⁸ Die Angaben beziehen sich auf die Auswertungsperiode 2018/2019; in Einzelfälle auf 2017/2018.

gering saniert Gebäuden sowie dem MFH-Bereich installiert werden. Wie sich die laufenden und zukünftigen Entwicklungen in der Herstellung (Lieferkettenengpässe, signifikante Steigerung der Stückzahlen, Umstellung auf eine wirkliche industrielle Fertigung, Umstellung Kältemittel) in Summe auf die Qualität und Effizienz der Produktion auswirken, lässt sich nicht abschätzen. Für eine valide Datenbasis sind Feldmessdaten erforderlich. Eine Zeitreihe für den Anteil der Luft/Wasser-Wärmepumpen, deren JAZ_WP unter 2,5 liegt, könnte bspw. wie folgt angesetzt werden. Lineare Interpolation zwischen 1993 (50%) und 2010 (10%) sowie lineare Interpolation zwischen 2010 (10%) und 2022 (5%). Anschließend konstant fortschreiben, bis eine neue Datenbasis vorliegt.

Sole/Wasser-Wärmepumpen: Im Jahr 1993 erreichten Sole/Wasser-Wärmepumpen im Mittel COP-Werte von 3,5 (B0/W35), vgl. Kapitel 6.2.1.3. Die JAZ von Sole/Wasser-Wärmepumpen liegt üblicherweise in einem Bereich von -30% bis +10% um den COP-Wert (B0/W35), vgl. Kapitel 6.5.1.3. Bei Wärmepumpenanlagen, deren COP-Wert (B0/W35) unter dem Mittelwert liegen, bei Fehlern bei der Anlage und/oder sehr hohen Heizkreistemperaturen könnten auch JAZ unter 2,5 auftreten. Die Autor*innen schätzen den Anteil der Sole/Wasser-Wärmepumpen, die im Jahr 1993 und früher eine JAZ_WP unter 2,5 aufweisen, angelehnt an die FAWA-Studie auf 5%. Heutzutage treten bei Sole/Wasser-Wärmepumpen JAZ_WP unter 2,5 so selten auf, dass der Anteil unter 1% liegen dürfte und vernachlässigt werden könnte. Nur wenn massive Fehler bei der Installation und Inbetriebnahme auftreten, liegt die JAZ_WP unter dem Grenzwert.

6.4.4 Auswirkung auf Eingangsparameter in die AGEE-Stat Statistik

Wenn für einen Wärmepumpentyp aufgrund des Mindestjahresarbeitszahl-Kriteriums nicht alle Anlagen in der Statistik berücksichtigt würden, wirkt sich dies auf verschiedene Parameter aus:

- ▶ Die zu berücksichtigen Absatzzahlen im jeweiligen Jahr reduzieren sich um den entsprechenden Anteil der Wärmepumpen, die das Mindestkriterium nicht erfüllen.
- ▶ Der Mittelwert der JAZ des jeweiligen Jahres, darf nicht den Mittelwert aller in dem Jahr in Betrieb genommenen Anlagen dieses Wärmepumpentypes wiedergeben, sondern sich nur auf die Wärmepumpenlangen beziehen, die das Mindestkriterium erfüllen.

In diesem Bericht werden in den entsprechenden Kapiteln die Entwicklung des Gesamtabsatzes bzw. des COP über alle Wärmepumpen hinweg aufgeführt.

Sollten Wärmepumpen, welche die bisherige Mindest-JAZ nicht erreichen, in die AGEE-Stat Berichterstattung nicht einfließen, können die Autor*innen der vorliegenden Studie die o.g. Zahlen auf Basis der vorliegenden Monitoringprojekte und einer allgemeinen Experteneinschätzung empfehlen.

6.5 Mittlere JAZ je Anlage

6.5.1 Heizungswärmepumpe

6.5.1.1 Methode zur Ermittlung der JAZ

Wie in der Vorgängerstudie wird der Ansatz verfolgt die JAZ auf Basis der Entwicklung des COP und dem Verhältnis von JAZ und COP zu ermitteln.

Das Verhältnis von JAZ zu COP ist von den Einsatzbedingungen der Wärmepumpe und der Effizienzcharakteristik des Wärmepumpengerätes abhängig. Es sind somit die in Kapitel 6.3 beschriebenen Einflussfaktoren auf die JAZ, insbesondere die Betriebstemperatur,

ausschlaggebend. Zum anderen kommt bei dem Verhältnis JAZ/COP zum Tragen, dass der COP-Wert bei A2/W35 bei verschiedenen Wärmepumpenfabrikaten in unterschiedlichem Maße ein Indikator für das „Effizienz-Level“ in anderen Betriebspunkten ist. Die Charakteristik des Gütegrades abhängig von den Betriebstemperaturen und der Einfluss der Abtauung im Betriebspunkt A2/W35 fallen unterschiedlich aus.

Zur Ermittlung des Verhältnisses JAZ zu COP werden Monitoringdaten aus den Projekten „WP Monitor“ und „WPsmart im Bestand“ analysiert (Günther et al., 2014) , (Günther et al., 2020). Beide Projekte adressieren den Einsatz von Wärmepumpen in kleinen Wohngebäuden (meist Einfamilienhäusern). In dem Projekt „WP Monitor“ werden Anlagen in Gebäuden betrachtet, die mit Fußbodenheizungen ausgestattet sind. In dem Projekt „WPsmart im Bestand“ werden Wärmepumpen vermessen, die in Bestandsgebäuden unterschiedlicher Sanierungstiefe eingebaut sind. Die Gebäude werden teils mit Fußbodenheizungen, teils mit Radiatoren und teils mit Mischsystemen beheizt. In der vorliegenden Studie werden Wärmepumpensystem der beiden Projekte betrachtet, die sowohl die Raumheizung als auch die Trinkwassererwärmung in monovalenter oder monoenergetischer Betriebsweise übernehmen.

Ergänzend wird mit einer Systemsimulation der Einsatz einer Außenluft/Wasser- sowie einer Sole/Wasser-Wärmepumpe in einem Einfamiliengebäude für unterschiedliche energetische Standards der Gebäudehülle untersucht (vgl. Kapitel A.3):

- ▶ SFH_30:
spez. Heizwärmebedarf (q_{RH}) 37 kWh/(m²*a),
Heizkreistemperatur bei Normaußentemperatur (T_{RH_nom}) 35/30
- ▶ SFH_60: 69 kWh/(m²*a), 35/30
- ▶ SFH_100: 109 kWh/(m²*a), 55/45
- ▶ SFH_170: 170 kWh/(m²*a), 65/55

6.5.1.2 Luft/Wasser-Wärmepumpe

Bisheriger Ansatz

In der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) wurde der Mittelwert der Jahresarbeitszahlen aus Feldmonitoring-Projekten zu dem mittleren berechneten COP-Werte (Betriebspunkt A2/W35 nach EN 255) des jeweiligen Jahres ins Verhältnis gesetzt. Für die betrachteten Jahre 2006, 2008 und 2012 ergab sich in allen Jahren mit ca. 0,77 ein fast identisches Verhältnis. Die im Folgenden aufgeführten Betrachtungen von Monitoring- und Simulationsdaten beziehen sich auf den Betriebspunkt A2/W35 nach DIN EN 14511. Aufgrund unterschiedlicher Betriebsbedingungen der Teststandmessungen ergeben sich bei nach DIN EN 14511 vermessenen Wärmepumpen geringere COP-Werte. In der vorliegenden Studie wird ein mittlerer Effizienzunterschied von 7 % angesetzt, vgl. Kapitel 6.2.1.1. Somit ergibt sich ein JAZ/COP_{EN_14511}-Verhältnis von 0,83.

Analyse Feldtestdaten und Simulationen

Abbildung 28 zeigt das Verhältnis der JAZ_WP⁴⁹ (Raumheizung & Trinkwassererwärmung) zum COP-Wert (A2/W35 nach EN 14511) des jeweiligen Gerätes über der mittleren

⁴⁹ JAZ_WP bezeichnet die JAZ nach RED II, bei der die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme vor Speicher bilanziert wird und als Elektrische Verbraucher das Wärmepumpengerät und der Quellenantrieb berücksichtigt werden; nicht der Heizstab.

Betriebstemperatur⁵⁰ der Wärmepumpe im Raumheizmodus. Dargestellt sind 16 Wärmepumpen der Auswertungsperiode 2012/2013 und 11 Wärmepumpen in 2013/2014 (WP Monitor) sowie 21 Wärmepumpen in 2018/2019 (WPsmart im Bestand (Günther et al., 2020)).

Vor Betrachtung des JAZ/COP-Verhältnisses ein Blick auf die Wetterbedingungen in den drei betrachteten Auswertungsperioden; hier mit dem Verhältnis der Gradtagszahlen G15/20 im jeweiligen Jahr zum langjährigen Mittel des jeweiligen Standortes f_{GTZ} (gemittelt über alle Standorte) beschrieben: 2012/2013 mit $f_{GTZ} = 1,09$, 2013/2014 mit $f_{GTZ} = 0,93$ und 2018/2019 mit $f_{GTZ} = 0,96$. Es werden somit JAZ aus über- und unterdurchschnittlich warmen Jahren betrachtet. Für 9 Anlagen, die in dem „wärmsten“ und „kältesten“ der betrachteten Jahre vermessen wurden, zeigen sich Unterschiede der JAZ von wärmeren zum anderen Jahr zwischen +1% und +8% (bzw. eine Anlage mit +25%)⁵¹. Da sich von Jahr zu Jahr auch andere Einflussfaktoren bei den einzelnen Anlagen geändert haben (könnten), bspw. Nutzer, Parametrierung, u.a., lässt sich daraus keine Abhängigkeit der JAZ von der GTZ ableiten. Es vermittelt einzig einen Einblick in mögliche Änderungen der JAZ von Jahr zu Jahr.

Die JAZ/COP -Verhältnisse der untersuchten 39 Wärmepumpenanlagen, zeigen eine breite Verteilung zwischen 0,7 und 1,0 (sowie ein Außenseiter-Wert von 0,65 bei der Anlage mit der zweithöchsten Heizkreistemperatur). Diese große Bandbreite des JAZ/COP-Verhältnisses besteht in gleichem Maße über den gesamten Kernbereich der mittleren Betriebstemperaturen im Raumheizmodus (30°C bis 40°C), der 85% der untersuchten Wärmepumpen abdeckt. Die zwei Anlagen unterhalb bzw. drei Anlagen oberhalb des Temperatur-Kernbereiches weisen ein JAZ/COP-Verhältnis eher im oberen Bereich bzw. unteren Bereich der Bandbreite auf. Aufgrund der Vielfalt der weiteren Einflussfaktoren auf das JAZ/COP-Verhältnis und der begrenzten Anzahl der betrachteten Wärmepumpen, lässt sich der zu erwartende Zusammenhang des JAZ/COP-Verhältnisses nicht aufzeigen.

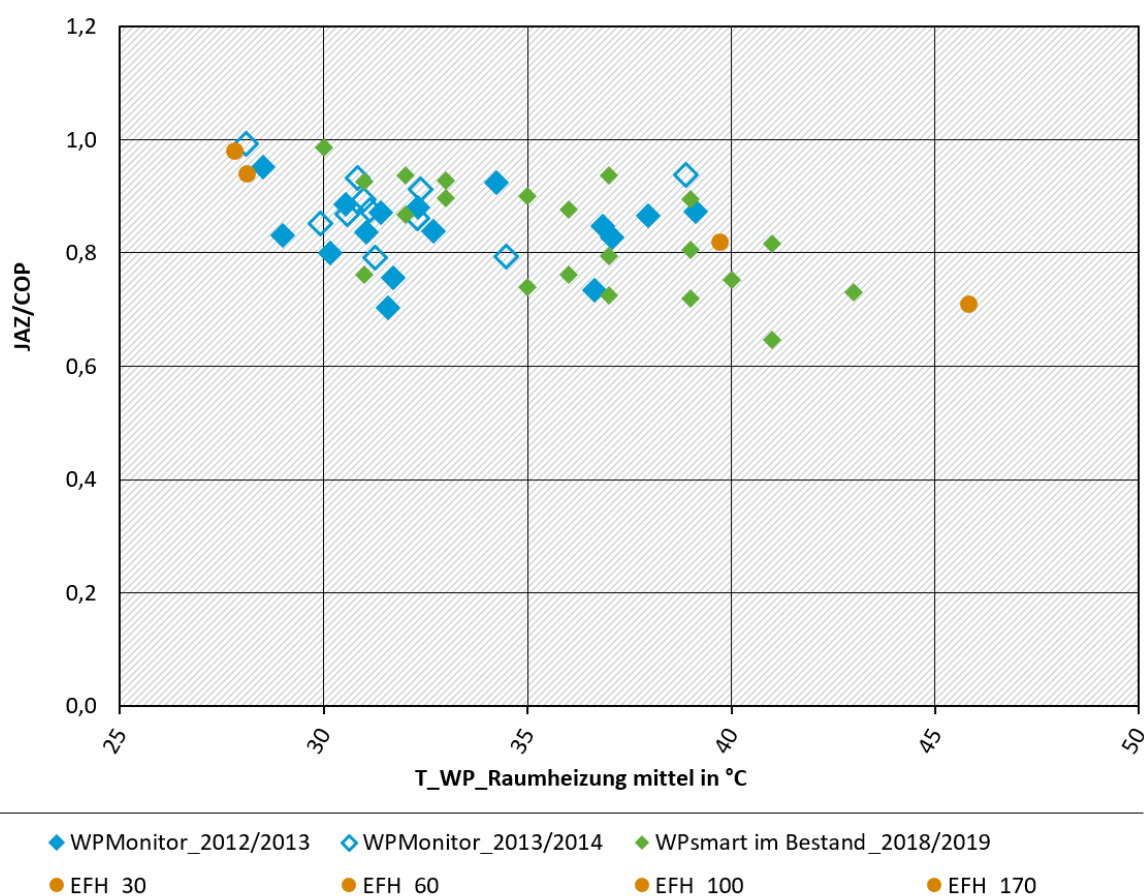
In Systemsimulation wird der Zusammenhang des Verhältnisses JAZ/COP von der Auslegungs- und damit Betriebstemperatur der Heizkreises untersucht. Während das Verhältnis in EFH_30 und EFH_60, beide mit Fußbodenheizung ausgestattet, bei 0,98 (EFH_60) bzw. 0,94 (EFH_30) liegt, sinkt das Verhältnis mit höheren Betriebstemperaturen auf 0,82 (EFH_100, Auslegung 55/45) sowie 0,71 (EFH_170, Auslegung 65/55). Neben dem Einfluss der unterschiedlichen Heizkreistemperaturen in den vier Gebäudevarianten auf das JAZ/COP-Verhältnisses wirkt sich auch der unterschiedliche Anteil der Trinkwassererwärmung an der gesamten bereitgestellten Wärme aus. Dieser Effekt ist gegenläufig. Bei dem EFH_30 mit geringen Heizkreistemperaturen ist der Einfluss der Trinkwassererwärmung mit einem Anteil 20% auf die Gesamt-JAZ höher als bei dem EFH_170 mit einem Anteil von nur 5%.

Es ist zu erwarten, dass sich bei einer weit größeren Stichprobe an Felddaten über einen breiten Temperaturbereich eine vergleichbare Tendenz eines sinkenden JAZ/COP-Verhältnisses mit steigenden Heizkreistemperaturen bei einer nach wie vor sehr hohen Bandbreite zeigt. Die hohe Bandbreite des JAZ/COP-Verhältnisses spiegelt die Vielfalt und den hohen Einfluss weiterer Randbedingungen auf dieses Verhältnis wider.

⁵⁰ Mittelwert aus Vorlauf und Rücklauf; energetisch gewichtet

⁵¹ Die mittlere Betriebstemperatur im Raumheizmodus unterscheidet sich bei den 9 Anlagen von einem zum anderen Jahr um max. 1 K.

Abbildung 28: Verhältnis JAZ_WP zu COP (A2/W35 nach EN 14511) von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen im realen Betrieb sowie Simulationsrechnungen



Berechnung basierend auf der COP A2/W35 nach EN 14588, nicht witterungsbereinigt

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern, Messungen aus den Projekten „WPMonitor“ (Günther et al. 2014) und „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020), sowie eigenen Systemsimulationen (vgl. Anhang)

Plausibilisierung der bisherigen AGEE-Stat Eingangsdaten

Um aus den Feldtestdaten einen Mittelwert des JAZ/COP-Verhältnisses als Eingangsgröße für die AGEE-Stat Matrix ableiten zu können, ist in den Blick zu nehmen, ob der Bereich der Betriebsbedingungen der ausgewerteten Monitoringdaten den überwiegenden Feldbestand widerspiegeln oder ein zu berücksichtigender Anteil mit weitaus höheren Betriebstemperaturen (und damit tendenziell geringem JAZ/COP-Verhältnis) zu erwarten ist. Hierzu wird die Verteilung des Absatzes an Wärmepumpen im Neubau und Gebäudebestand betrachtet und eine Einschätzung der installierten Wärmeübergabesysteme und deren Betriebstemperaturen getroffen. Den Einschätzungen des BWP nach lag der Marktanteil für Bestandsgebäude im Jahr 2017 bei 5,5%, stetig wachsend. Die Autor*innen dieser Studien gehen davon aus, dass im Neubau überwiegend Fußbodenheizungen zum Einsatz kommen oder Radiatoren mit einer Auslegungstemperatur von max. 55/45 (Jahresmittel 39°C)⁵². Die Betriebsbedingungen des Neubaus sind somit über die dargestellten Feldtestdaten abgebildet. Im – derzeit noch weniger bedeutenden - Bereich des Gebäudebestandes zeigt sich eine größere Bandbreite an Betriebstemperaturen, da sich der Sanierungszustand und damit der Heizwärmebedarf und die Heizkreistemperaturen deutlich unterscheiden. Es wird die Einschätzung getroffen, dass hier die ganze Bandbreite vorhanden ist, von dem auf Neubaustandard sanierten Gebäuden über eine

⁵² Die Angabe des Jahresmittelwertes wurde den Simulationsrechnungen entnommen; liegt auch in der Größenordnung der Erfahrungswerte aus dem Feld bei eben diesen Auslegungstemperaturen

Teilsanierung, bei der ebenfalls Auslegungstemperaturen von bspw. 55/45 (Jahresmittel 39°C) vorhanden sind, bis zu einigen Anlagen, deren Auslegungstemperaturen in der Größenordnung von 65/55 (Jahresmittel 46°C)⁵³ liegen, vgl. (Günther et al., 2020). Der Anteil der Wärmepumpen, die im Jahresmittel bei Betriebstemperaturen über 40°C betrieben werden, wird unter 10% geschätzt. Ergänzt um die Tatsache, dass das JAZ/COP-Verhältnis über den ganzen Kernbereich der mittleren Betriebstemperatur zur Raumheizung von 30°C bis 40°C die gleich große Bandbreite (0,7 bis 1,0) aufweist, erscheint es hinreichend genau, den Mittelwert der Monitoringdaten für die AGEE-stat Berechnungsmatrix heranzuziehen.

Der Mittelwert des JAZ/COP-Faktors der hier analysierten Wärmepumpen im realen Betrieb liegt bei 0,84. Die in der Vorgängerstudie verwendete Annahme liegt (umgerechnet auf die gleichen COP-Prüfbedingungen) bei 0,83. Es zeigt sich somit eine gute Übereinstimmung.

6.5.1.3 Sole/Wasser-Wärmepumpe

Bisheriger Ansatz

Wie bei den Außenluft/Wasser-Wärmepumpen wird in der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) die Jahresarbeitszahlen aus Feldmonitoring-Projekten zu den mittleren berechneten COP-Werten (Betriebspunkt B0/W35 nach EN 255) der jeweiligen Jahre ins Verhältnis gesetzt. Für die betrachteten Jahre 2006, 2008 und 2012 ergab im Mittel ein Verhältnis von 0,81. Umgerechnet auf den Betriebspunkt B0/W35 nach EN 14511 ergibt sich ein $JAZ/COP_{EN\,14511}$ -Verhältnis von 0,87.

Analyse Feldtestdaten und Simulationen

Abbildung 29 zeigt das Verhältnis der JAZ_{WP} ⁵⁴ (Raumheizung und Trinkwassererwärmung zum COP-Wert (B0/W35 nach EN 14511) des jeweiligen Gerätes über der mittleren Betriebstemperatur⁵⁵ der Wärmepumpe im Raumheizmodus. Dargestellt sind 17 Wärmepumpen der Auswertungsperiode 2012/2013 und 12 Wärmepumpen in 2013/2014 (WP Monitor) sowie 11 Wärmepumpen in 2018/2019 (WPsmart im Bestand).

Die Wetterbedingungen in den drei betrachteten Auswertungsperioden unterscheiden sich: 2012/2013 mit f_{GTZ} ⁵⁶=1,15, 2013/2014 mit f_{GTZ} = 0,91 und 2018/2019 mit f_{GTZ} = 0,96. Somit werden JAZ in über- und unterdurchschnittlich warmen Jahren betrachtet. 9 Anlagen wurden in dem „wärmsten“ und dem „kältesten“ der betrachteten Jahre vermessen. Diese Anlagen sind alle mit Fußbodenheizungen ausgestattet; weisen daher eine flache Heizkurve auf. Die Unterschiede der JAZ im kälteren Jahr zum wärmeren Jahr verteilt sich über den Bereich von -3% bis +8%. Es zeigt sich bei diesen Anlagen somit kein ausgeprägter Einfluss der GTZ auf die JAZ; vielmehr spiegelt es die Varianz der Einflüsse auf die JAZ wider.

Das JAZ/COP -Verhältnisses der 31 betrachteten Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen deckte einen Bereich von 0,7 bis 1,0 ab, erweitert um zwei Außenseiter-Anlagen mit 1,09 bzw. 1,16. Es zeichnet sich ein sehr schwacher Trend zu geringeren JAZ/COP - Verhältnis mit steigender Heizkreistemperatur et v.v.. Aufgrund der Vielfalt und des hohen Einflusses weitere Einschlussfaktoren wäre eine größere Stichprobe über einen breiten Temperaturbereich erforderlich, um eine Abhängigkeit ermitteln zu können.

⁵³ Die Angabe des Jahresmittelwertes wurde den Simulationsrechnungen bei eben diesen Auslegungstemperaturen entnommen.

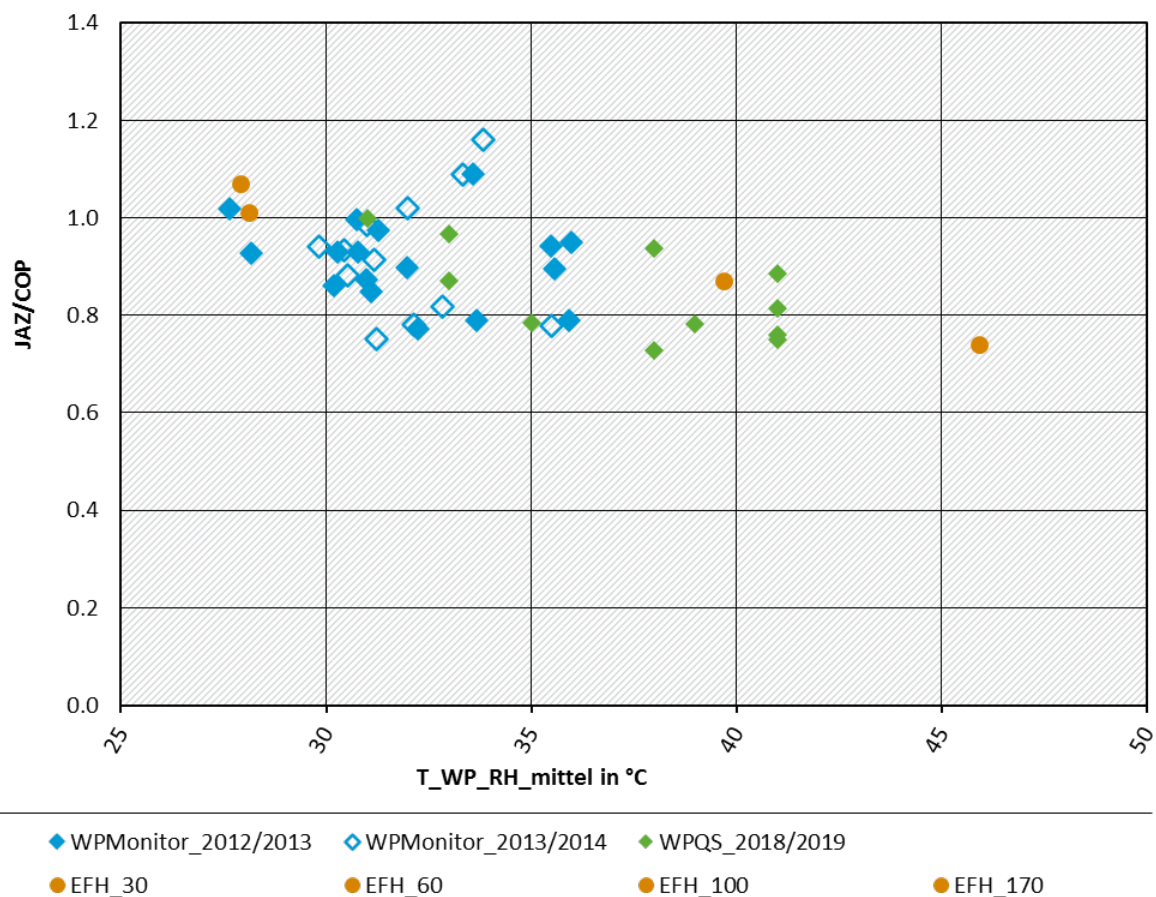
⁵⁴ JAZ_{WP} bezeichnet die JAZ nach RED II, bei der die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme vor Speicher bilanziert wird und als Elektrische Verbraucher das Wärmepumpengerät und der Quellenantrieb berücksichtigt werden; nicht der Heizstab.

⁵⁵ Mittelwert aus Vorlauf und Rücklauf; energetisch gewichtet

⁵⁶ Verhältnis der Gradtagzahlen G15/20 im jeweiligen Jahr zum langjährigen Mittel des jeweiligen Standortes f_{GTZ} (gemittelt über alle Standorte)

Wie bei den Außenluft/Wasser-Wärmepumpen wird hier der Betrieb der Sole/Wasser-Wärmepumpe bei sehr unterschiedlichen Heizkreistemperaturen anhand von Systemsimulationen aufgezeigt. Während das Verhältnis JAZ/COP in EFH_30 und EFH_60, beide mit Fußbodenheizung ausgestattet, bei 1,07 (EFH_60) bzw. 1,01 (EFH_30) liegt, sinkt das Verhältnis mit höheren Betriebstemperaturen auf 0,87 (EFH_100, Auslegung 55/45) sowie 0,74 (EFH_170, Auslegung 65/55).

Abbildung 29: Verhältnis JAZ_WP zu COP (B0/W35 nach EN 14511) von Sole/Wasser-Wärmepumpen im realen Betrieb sowie Simulationsrechnungen



Berechnung basierend auf der COP_{B0/W35} nach EN 14588, nicht witterungsbereinigt

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern, Messungen aus den Projekten "WPMonitor" (Günther et al. 2014) und „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020), sowie eigenen Systemsimulationen (vgl. Anhang)

Plausibilisierung der bisherigen AGEE-stat Eingangsdaten

Analog zu den Ausführungen im Kapitel der Außenluft/Wasser-Wärmepumpen wird es als hinreichend repräsentativ angenommen den Mittelwert der hier analysierten Wärmepumpen im realen Betrieb als Eingangswert in die AGEE-stat Berechnungsmatrix in Betracht zu ziehen.

Der Mittelwert des JAZ/COP-Faktors dieser Anlagen liegt bei 0,89. Die in der Vorgängerstudie verwendete Annahme liegt (umgerechnet auf die gleichen COP-Prüfbedingungen) bei 0,87. Es zeigt sich somit eine gute Übereinstimmung.

6.5.1.4 Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Bisheriger Ansatz

Für Wasser/Wasser-Wärmepumpen werden dieselben JAZ -Werte wie für Sole/Wasser-Wärmepumpen angenommen. Die Autor*innen der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) treffen die Einschätzung, dass die prinzipiell höhere Effizienz von Wasser/Wasser-Wärmepumpen auf Grund der durchschnittlich höheren Wärmequellentemperaturen durch den Energiebedarf der Förderpumpe des Brunnes aufgewogen wird.

Vergleicht man die bisher angenommene JAZ-Entwicklung mit der Entwicklung COP-Entwicklung so ergibt sich ein JAZ/COP_{EN_14511} -Verhältnis von 0,67. (Zum Vergleich: 0,77 bei Luft/Wasser-Wärmepumpe und 0,81 bei Sole/Wasser-Wärmepumpe)

Plausibilisierung der bisherigen AGEE-stat Eingangsdaten

Den Autor*innen der vorliegenden Studie sind keine ausreichend umfangreichen Monitoringdaten von Wasser/Wasser-Wärmepumpen bekannt.

Ein Unterschied von Wasser/Wasser- gegenüber Sole/Wasser-Wärmepumpen ist der höhere Anteil des elektrischen Energiebedarfs für den Wärmequellenantrieb (Brunnenpumpe vs. Pumpe im Solekreis). Bei den im Projektes „WP Monitor“ (Günther et al., 2014) vermessenen vier Wasser/Wasser-Wärmepumpen lag der Anteil des elektrischen Energiebezuges Brunnenpumpe an der Summe aus Verdichter, Regelung und Brunnenpumpe bei 11% (8% bis 16%). Bei den 41 Sole/Wasser-Wärmepumpen reihen die energetischen Anteile der Sole-Pumpen von 2% bis 8% (Mittel 5%). Dies wirkt sich mindert auf das JAZ/COP-Verhältnis von Wasser/Wasser-Wärmepumpen aus.

Die höheren Wärmequellentemperaturen der Wasser/Wasser-Wärmepumpen werden in einem anderen COP-Bezugspunkt (W10/W35 vs. B0/W35) abgebildet. Wobei für das JAZ/COP-Verhältnis von Bedeutung ist, wie weit sich jeweils die mittlere Temperatur im Betrieb und die Norm-Bedingungen unterscheiden. Zudem ist nicht bekannt, welche Anwendungsbereiche und damit Wärmesenkentemperaturen bei Wasser/Wasser-Wärmepumpen verbreitet sind.

Aufgrund des geringen Absatzes an Wasser/Wasser-Wärmepumpen hat dieser Typ weniger Einfluss auf den Gesamtbestand. Den Autor*innen der vorliegenden Studie sehen die beiden folgenden Ansätze zur Abschätzung der JAZ der Wasser/Wasser-Wärmepumpen für geeignet. Ansatz 1: Bestimmung der JAZ auf Basis des COP-Verlaufes multipliziert mit einem konstanten JAZ/COP-Verhältnis. Das JAZ/COP-Verhältnis könnte bspw. rund 10% geringer angesetzt werden als das der Sole/Wasser-Wärmepumpen. Ansatz 2: JAZ der Wasser/Wasser-Wärmepumpe mit der JAZ der Sole/Wasser-Wärmepumpen gleichsetzen. Ansatz 2 ergibt rund 10% geringere JAZ-Werte als Ansatz 1. Es wird empfohlen weiterhin neue Monitoringprojekte im Blick zu haben; ggf. ergeben sich Erkenntnisse aus neuen Feldstudien.

6.5.2 Brauchwasserwärmepumpe

Brauchwasserwärmepumpen erwärmen das Trinkwasser zumeist über den im Trinkwasserspeicher integrierten Kondensator (Direktkondensation). Die Bilanzierung in

Feldtests und die Ermittlung von Geräte-Kennwerten erfolgt „nach“ Speicher; der Eingangswert in die AGEE-Stat Bewertungsmatrix muss sich auf die Bilanzierung „vor“ Speicher beziehen.

Einflussfaktoren auf die JAZ

Die Jahresarbeitszahl einer Brauchwasserwärmepumpe (berechnet „vor Speicher“) ist von folgenden Faktoren abhängig:

- ▶ Gütegrad der Wärmepumpe in den relevanten Betriebspunkten
- ▶ Aufstellungsort (Wärmequellentemperatur)
- ▶ Warmwasser-Solltemperatur und Regelungskonzept (Hysterese, Zeitschaltuhr, ...)
- ▶ Nutzung (nur Zapfung (mit entsprechend „niedrigen“ Eintrittstemperaturen in den Speicher) oder auch Zirkulation (mit entsprechend „hohen“ Eintrittstemperaturen in den Speicher))
- ▶ Abschätzung der Speicherverluste, da keine Messung „vor“ Speicher erfolgen kann (Direktkondensation im Speicher)

Bisherige AGEE-Stat Eingangsdaten und Bewertung

In der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) wird die JAZ dem Norm-COP gleichgesetzt. Es wird eine lineare Korrelation der JAZ über die Jahre angesetzt mit den Stützstellen von 3,30 für das Jahr 2016 und 2,3 für das Jahr 1986. Für das Jahr 2020 ergibt sich eine JAZ von 3,43.

Wie in Kapitel 6.1.1 ausgeführt, erfordert die Methode zur Bestimmung der gewonnenen erneuerbaren Energien die Bilanzierung der Wärmepumpeneffizienz „vor Speicher“. Die Bestimmung des Norm-COP-Wertes von Brauchwasserwärmepumpen erfolgt jedoch auf Basis der Wärmemenge der Trinkwasserzapfung (also nach dem Speicher), vgl. Kapitel 6.1.2.1. Somit kann dieser Wert nicht direkt übernommen werden. Es ist eine Verrechnung der Speicherverluste notwendig, um die COP-Werte als Basis zu verwenden.

Datenlage

Zur Ermittlung der JAZ können Simulationen und Feldmessungen herangezogen werden. Die veröffentlichten Ergebnisse weisen zumeist JAZ-Angaben „nach Speicher“. Basierend darauf ist eine Abschätzung der JAZ „vor“ Speicher vorzunehmen. Veröffentlichungen von Feldmessung der JAZ von Brauchwasserwärmepumpen umfassen, soweit den Autor*innen bekannt, nur einzelne Anlagen (bspw. (Helmling & Wapler, 2018) mit fünf Brauchwasserwärmepumpen). Es wäre zu prüfen, ob die Veröffentlichungen alle notwendigen Informationen enthalten, um eine Abschätzung der JAZ „vor“ Speicher vornehmen zu können. Mit einer ergänzenden Auswertung der in den Feldtests „WP Monitor“, „WP Effizienz“ und „WPsmart im Bestand“ des Fraunhofer ISE vermessenen Brauchwasserwärmepumpen wäre die Erschließung der Daten weiterer Anlagen möglich.

Für eine Abschätzung der mittleren JAZ der in der EE-Statistik zu berücksichtigen Wärmepumpen ist - neben der Auswertung der COP-Werte, der Felddaten und Simulationsstudien – entscheidend, eine Einschätzung über die Verteilung der Anwendung der unterschiedlichen Wärmequellen zu treffen. Da die (anteilige) Berücksichtigung der Wärmequellen Abluft und Raumluft als erneuerbare Wärmequelle derzeit nicht geklärt ist (vgl. Kapitel 3.5), und damit auch nicht die Gewichtung der einzelnen Wärmequellen bei der Ermittlung eines Mittelwertes der JAZ über den Gesamtmarkt, kann zum derzeitigen Zeitpunkt keine Abschätzung vorgenommen werden.

6.5.3 Gasbetriebene Wärmepumpe

In der Liste der förderfähigen Wärmepumpen, in der u.a. alle (ehemals und heute) marktverfügbaren Sorptionswärmepumpen aufgeführt sind, wird der berechnete Jahresnutzungsgrad und die berechnete Jahresheizzahl für zwei Einsatzbereiche angegeben: Auslegungs-Heizkreistemperatur (bei Norm-Außenlufttemperatur) von 35°C/28°C und 55°C/45°C. Die Angaben sind abhängig vom Fabrikat und von der eingesetzten Wärmequelle. Exemplarisch wird der heizwertbezogene Jahresnutzung hier aufgeführt (Bafa, 2020):

- ▶ Absorptionswärmepumpe:
55/45°C Anwendung: 1,36 bis 1,53
35/28°C Anwendung: 1,49 bis 1,64
- ▶ Adsorptionswärmepumpe:
55/45°C Anwendung: 1,19 bis 1,29
35/28°C Anwendung: 1,22 bis 1,39

Es zeigt sich, dass die Adsorptionsgeräte eine etwas geringere Effizienz bei gleichen Einsatzbedingungen aufweisen als die Absorptionsgeräte. Dies gilt für die bisher entwickelten Geräte mit Kältemittel Wasser. Adsorptionswärmepumpen auf Basis Aktivkohle/Ammoniak erreichen ähnliche Effizienzen wie die entsprechenden Absorptionswärmepumpen. Die heizwertbezogene Jahresnutzung entspricht nicht dem Effizienz-Kennwert, der für den SPF nach Beschluss der Kommission zu berücksichtigen ist (2013/114/EU) (2013/114/EU, 2013) , vgl. Kapitel 6.1. Für das zu verwendende jahreszeitbedingten Primärenergieverhältnis (SPER net) liegen keine umfänglichen öffentlich zugänglichen Daten vor. Auch fehlen hier Ergebnisse umfänglicher Feldstudien. Aus Vermessungen der Geräte nach EN12309 sind Werte für SPER für hohe Heizungsvorlauftemperaturen (55°C) von ca. 1,25-1,3 bekannt.

6.5.4 Empfehlungen

Elektrische Heizungswärmepumpe

Für Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen empfehlen die Autor*innen der vorliegen Studie den bisherigen Ansatz der Ermittlung der JAZ als Funktion der Entwicklung des mittleren COP unter Berücksichtigung der konstanten Umrechnungsfaktoren von 0,77 (bezogen auf COP-Werte nach EN 255) bzw. 0,81 (bezogen auf COP-Werte nach EN 255) beizubehalten.

Der bisherige Ansatz die JAZ der Wasser/Wasser-Wärmepumpen mit der JAZ der Sole/Wasser-Wärmepumpen gleich zu setzen, wird von den Autor*innen dieser Studie als konservative Schätzung angesehen. Aufgrund der geringeren Bedeutung der Wasser/Wasser-Wärmepumpen könnte dieser Ansatz beibehalten werden, bis umfangreichere Feldtestdaten zur Verfügung stehen.

Brauchwasserwärmepumpen

Wie in Kapitel 3.5 beschrieben, bestehen grundsätzlich Unklarheiten bei der Berücksichtigung der Brauchwasserwärmepumpen in der Berichterstattung, da zum einen keine klaren Handlungsanweisung bzgl. der Berücksichtigung der Nutzung von Raumluft und Abluft als Wärmequelle in dem Beschluss 2013/114/EU gegeben sind und zum anderen die RED II derzeit in der Überarbeitung ist. Es wird empfohlen zunächst eine tiefergehende Prüfung der Rechts- und Sachlage abzuwarten, da der Umfang der Berücksichtigung der unterschiedlichen Wärmequellen Einfluss auf die über den Gesamtabsatz gemittelte JAZ hat. Zudem lässt sich nach

Klärung des Sachverhaltes die Relevanz dieses Wärmepumpentyps bei der Berichterstattung und ein angemessener Aufwand für die Einschätzung JAZ über die Jahre ableiten.

Die Autor*innen empfehlen zunächst die bisherigen Eingangsdaten in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix beizubehalten und auf dem derzeitigen Niveau stagnieren zu lassen.

Sorptionswärmepumpen

Die Autor*innen der vorliegenden Studie empfehlen für alle bisherigen Jahre einen Effizienzkennwert von 1,2 anzunehmen. Dies ist eine konservative Annahme. Den Empfehlungen liegen folgenden Überlegungen zu Grunde:

- ▶ Es wird keine Abhängigkeit über die Jahre vorgenommen, da die gleichen Produkte über die Jahre auf dem Markt sind; abgesehen von dem Ausscheiden der Adsorptionswärmepumpen (vgl. Kapitel 4.1.3)
- ▶ Nach Einschätzung der Autor*innen liegt der Einsatz von Absorptionswärmepumpen vorrangig in (un-/ teilsanierten) Bestandsgebäuden mit Radiatorheizungen. Demgegenüber wird der Einsatz der Adsorptionswärmepumpen eher im Niedertemperaturbereich gesehen. Dem schlechteren Effizienzkennwerten der Adsorptionswärmepumpen bei gleichen Einsatzbedingungen wie den Absorptionswärmepumpen stehen günstigere Einsatzbedingungen gegenüber.
- ▶ Den bisherigen Annahmen von bis zu 1,42 (2020) scheint eine andere Bilanzgrenze oder eine deutlich zu ambitionierte Schätzung der Marktentwicklung oder andere Einsatzbedingungen zu Grunde zu liegen.

In Zukunft ist mit einer Effizienzsteigerung bei Neuentwicklungen zu rechnen. Es wird empfohlen in einigen Jahren eine Neubewertung entsprechend der dann vorhandenen Marktlage vorzunehmen.

Gasmotorische Wärmepumpen

Die Autor*innen empfehlen weiterhin einen Jahresnutzungsgrad von 1,5 anzusetzen, bis eine bessere Datenbasis zur Verfügung steht.

6.6 Hilfsenergiebedarf

Wie in Kapitel 2.5 beschrieben, verfügt das Fraunhofer ISE über eine breite Datenbasis von messtechnisch untersuchten Wärmepumpen im Einfamilienhausbereich. Dabei war das Messkonzept in den bisher durchgeführten Projekten nahezu identisch. Bezüglich der Elektroenergieverbraucher wurde anvisiert, Verdichter, Steuerung, Wärmequellenantriebe sowie den Elektroheizstab getrennt zu erfassen. Um die Steuerung zu bilanzieren war es i.d.R. zudem notwendig, auch die senkenseitigen Pumpen zu vermessen.

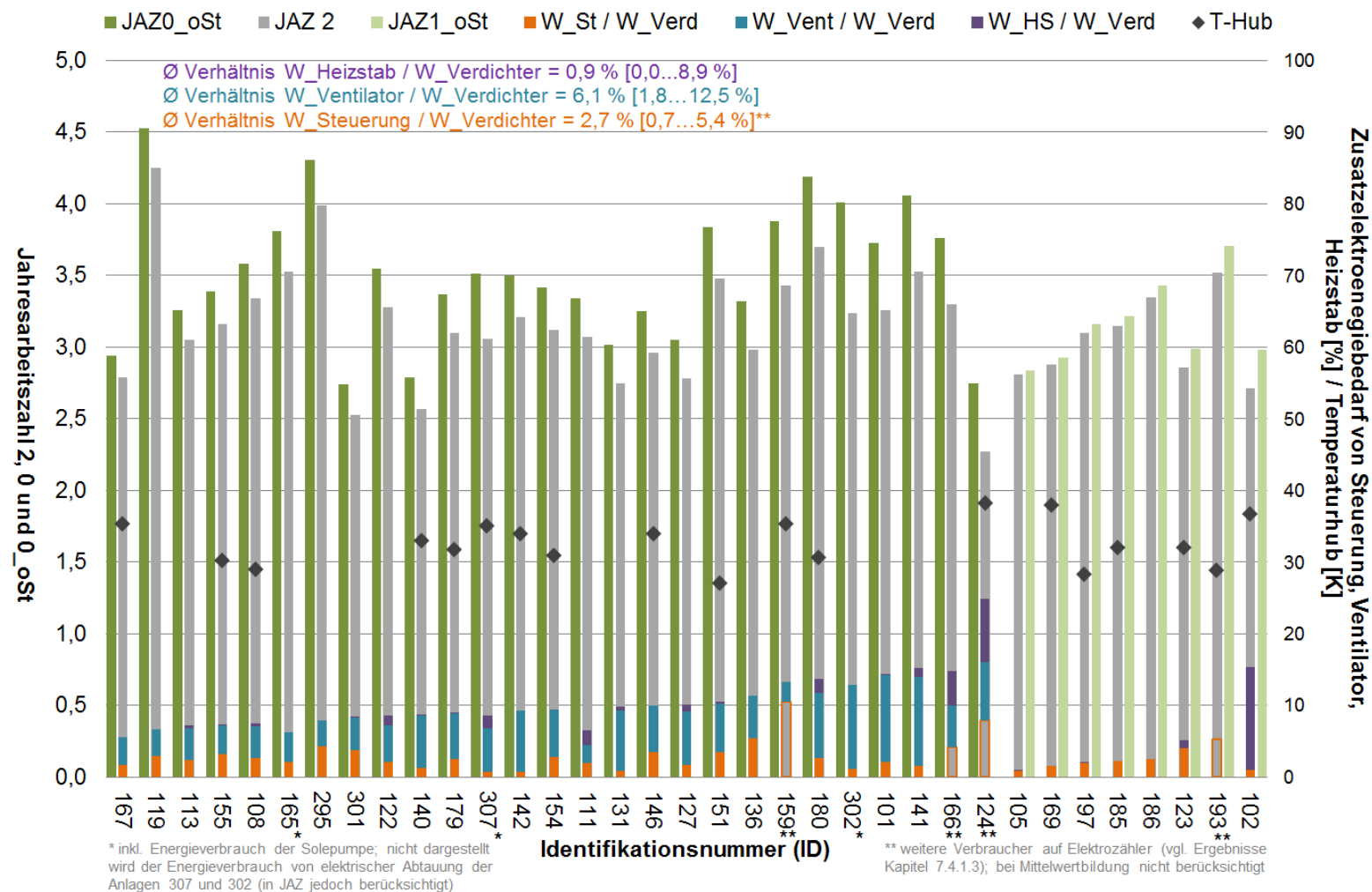
Monitoringprojekt „WP Monitor“

In der Abbildung 30 werden beispielhaft Ergebnisse aus dem Projekt „WP Monitor“ (Günther et al., 2014) für 35 Außenluft-Wärmepumpen zusammenfassend dargestellt. Die grauen Rauten zeigen den Temperaturhub, die geteilten Säulen geben den anteiligen Energieverbrauch des Heizstabes (lila), des Wärmequellenantriebs (blau) sowie der Steuerung (orange) wieder. Bei den Anlagen auf der linken Seite wurden alle elektrischen Verbraucher messtechnisch erfasst. Daher können für diese Wärmepumpen auch die Jahresarbeitszahl 0_oSt (Berücksichtigung des Verdichters) und Jahresarbeitszahl 2 (Berücksichtigung von Verdichter, Steuerung, Ventilator,

Elektroheizstab) dargestellt werden, deren Differenz im Energieverbrauch der genannten Komponenten liegt. Für die Anlagen auf der rechten Seite werden die Jahresarbeitszahlen mit den Bilanzgrenzen 1_oSt (Berücksichtigung von Verdichter, Ventilator und Steuerung) und 2 (s.o.) veranschaulicht, da bei diesen Wärmepumpen der Wärmequellenantrieb nicht separat vermessen wurde. Die dargestellten Anteile des Elektroenergieverbrauches einzelner Komponenten werden im Verhältnis zum Energieverbrauch des Verdichters dargestellt. Die in der Grafik genannten Mittelwerte und Bandbreiten beziehen sich auf die umfassend vermessenen Wärmepumpen auf der linken Seite des Diagramms.

Hinsichtlich der Mittelwerte der einzelnen Einflussparameter auf die JAZ 2 ergeben sich bemerkenswerte Verhältnisse zueinander. Der Energieverbrauch des Heizstabes ist im betrachteten Zeitraum sehr gering (0,9 %). Allein die Steuerung verbraucht das Dreifache an Elektroenergie (2,7 %). Gleichzeitig benötigt diese fast halb so viel Energie wie die Ventilatoren (6,1 %). Insgesamt wird durch diese drei Komponenten der Energieverbrauch der Wärmepumpenanlage im Mittel um knapp 10 % (zum Verdichter) erhöht. Bei der Betrachtung der Einzelanlagen zeigen sich sehr unterschiedliche Verteilungen der Energieverbräuche von Steuerung, Ventilator und Heizstab. So wurde nur für 16 der 35 untersuchten Wärmepumpen ein Heizstabeinsatz detektiert. Wobei nur bei drei Anlagen der Anteil am Gesamtelektroenergiebedarf einen Wert von 2 % übersteigt. Auch bei Steuerung und Ventilator zeigt sich eine deutliche Varianz. Bei mehreren Anlagen (IDs 295, 301, 136) liegt bspw. der Energieverbrauch der Steuerung auf ähnlichem Niveau wie der des Ventilators.

Abbildung 30: Messergebnisse für 35 Außenluft-Wärmepumpen mit Fokus auf die quantifizierbaren Effizienzeinflüsse auf die Jahresarbeitszahl



Hinweis: In dem hier zitierten Projekt wurde eine andere Bezeichnung der Bilanzgrenzen verwendet als in Abbildung 24. Die hier als Bilanzgrenze „2“ benannte Bilanzgrenze entspricht der in Abbildung 24 dargestellten Bilanzgrenze „3“. Quelle: (Günther et al., 2014)

Monitoringprojekt „WPsmart im Bestand“

Im Rahmen des Projektes „WPsmart im Bestand“ wurden Wärmepumpen in Bestandsgebäuden unterschiedlicher Sanierungstiefe (Einfamilienhäuser und einige kleinen Mehrfamilienhäuser) vermessen (Günther et al., 2020) und u.a. der Einsatz der Elektroheizstäbe ausgewertet. Die Nutzung des Heizstabes spielt bei den meisten vermessenen Anlagen eine untergeordnete Rolle (Auswertungsperiode überwiegend 2018/2019; für einige Objekte 2017/2018). Von den 29 Außenluft-Wärmepumpen verfügen 24 über einen Heizstab. Von den fünf Anlagen, die keinen Heizstab integriert haben, sind vier als bivalente Systeme ausgeführt. Von den 24 Anlagen mit Heizstab haben knapp die Hälfte (elf Anlagen) diesen auch eingesetzt. Von diesen elf Anlagen hatten zwei mit je 0,1 % den Heizstab nur sporadisch in Betrieb. Bei fünf Anlagen liegt der Energieanteil zwischen 0,7 % und 3,0 %, bei drei Anlagen zwischen 4 % bis 7% und bei einer Anlage bei 23 %. Bei den Erdreich-Wärmepumpen verfügen 10 von 12 Anlagen über Heizstäbe, wobei nur zwei Anlagen diese in Betrieb genommen haben. Hierbei lag die relative Heizstabarbeit bei 0,2 % bzw. 3,9 %. Die wenigen signifikanten Heizstabbetriebe sind auf den Einsatz zur Legionellenvermeidung, falsche Parametrierung bzw. einen Defekten zurückzuführen.

7 Entwicklung der Betriebsstundenäquivalente

7.1 Definition

In der Methodik des Beschluss 2013/114/EU der Kommission sind die „äquivalenten Jahresbetriebsstunden der Wärmepumpen“ H_{HP} definiert (vgl. Kapitel 3.2). H_{HP} bezeichnen „die zugrunde gelegten jährlichen Stunden, die eine Wärmepumpe bei Nennleistung Wärme erbringen muss, um die gesamte von den Wärmepumpen erzeugte Nutzwärme bereitzustellen.“ Demnach ist dieser Parameter ein fiktiver Rechenwert, da die reale Heizleistung der Wärmepumpen von den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängig ist.

Es ist von zentraler Bedeutung eine Konsistenz zwischen der Angabe der thermischen Leistung (vgl. Kapitel 5) und der Angabe der Betriebszeitenäquivalent zur Ermittlung der thermischen Energie zu gewährleisten. In Kapitel 5.1 wird die Thematik unterschiedlicher Definitionen der Nennleistung näher ausgeführt.

7.2 Elektrische Heizungswärmepumpen

Einflussfaktoren

Die Betriebsstundenäquivalente sind u.a. von folgenden Aspekten abhängig:

- ▶ Charakteristik des Wärmebedarfs (bspw. Anteil Raumheizung (abhängig von der Außenlufttemperatur) und Trinkwassererwärmung (relativ konstant über das Jahr))
- ▶ Auslegung der Wärmepumpenanlage (bspw. gewählter Bivalenzpunkt)
- ▶ Betriebsweise bzw. Regelung der Wärmepumpenanlage bei bivalenten Anlagen
- ▶ Einsatz von Solarthermie
- ▶ Mögliche Unterschiede zwischen den Annahmen bei der Auslegung (bspw. hinsichtlich Gebäudebeschaffenheit, Wetter, Nutzer) einerseits und den Bedingungen im Betrieb andererseits
- ▶ Wärmebedarf im jeweiligen Jahr im Vergleich zur mittleren Anforderung (Wetterbedingungen, Nutzerverhalten)
- ▶ Bedingungen der nominale Leistungsangabe bei leistungsgeregelten Wärmepumpen (bspw. Angabe einer oder beider Verdichterstufen bei zweistufigen Wärmepumpen; Teillastfaktor bei Inverter-Wärmepumpen)

Standardwert Beschluss (2013/114/EU)

Der Beschluss der EU-Kommission (2013/114/EU) gibt für die Betriebsstundenäquivalente folgende Standardwerte an, abhängig von der Klimaregion und dem Wärmepumpentyp an.

Tabelle 2: Standardwerte für H_{HP} für elektrisch angetriebene Wärmepumpen (EU/2013/14)

Art der WP	Durchschnittliches Klima	Kälteres Klima
Luft/Wasser	1.640 h/a	1.710 h/a
Sole/Wasser	2.070 h/a	2.470 h/a
Wasser/Wasser	2.070 h/a	2.470 h/a

Deutschland befindet in den Klimaregion „kaltes Klima“ und „durchschnittliches Klima“. Die deutlichen Unterschiede zwischen Wärmepumpen mit der Wärmequelle „Außenluft“ sowie „Erdreich & Wasser“ sind auf die Annahme in dem Beschluss zurückzuführen, dass bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen ein deutlicher Anteil der Heizwärme durch einen zusätzlichen Wärmeerzeuger - i.d.R. ein elektrischer Heizstab - bereitgestellt wird.

Der Beschluss trifft keine Aussage, welche Norm-Nennbedingungen der Nennheizleistung, mit der die Betriebsstundenäquivalente verrechnet werden, zu Grunde zu legen sind (vgl. Angaben unterschiedlicher Norm-Nennbedingungen in Kapitel 5.1).

Bisherige AGEE-Stat Eingangsdaten

In der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) werden diverse Literaturquellen (Normen, BWP, u.a.) genannt, interpretiert und eine durch Experten abgesicherte Abschätzung für das Betriebszeitenäquivalent (dort als Vollbenutzungsstunden bezeichnet) abgeleitet. Es wird in allen Jahren ein Wert von 2.050 h/a für alle elektrisch angetriebenen Heizungswärmepumpen angesetzt. Die verwendeten Literaturquellen stehen nicht alle im Bezug zu Wärmepumpen und beziehen sich teilweise auf den Punkt der Normheizlast eines Gebäudes. Die wärmepumpenbezogenen Literaturquellen spezifizieren teilweise nicht, auf welche Definition der Nennleistung sich die ausgewiesenen Stundenangaben beziehen.

Datenlage: Auswertung Feldmonitoring

Zur Bewertung der zuvor genannten Angaben der Betriebsstundenäquivalent wird eine Analyse von Feldtest durchgeführt. Dies bietet zum einen Einblick in den realen Betrieb und zum anderen ermöglicht es Konsistenz mit der Definition der Nennleistung der AGEE-stat Leistungsangaben zu schaffen (vgl. 5.2.1): A-7/W35 für Luft/Wasser, B0/W35 für Sole/Wasser.

Der folgenden Analyse liegen Monitoringdaten der Projekte „WP Monitor“ und „WPsmart im Bestand“ zu Grunde (Günther et al., 2014), (Günther et al., 2020). Beide Projekte adressieren den Einsatz von Wärmepumpen in kleinen Wohngebäuden (meist Einfamilienhäusern). In dem Projekt „WP Monitor“ werden Anlagen in Gebäuden betrachtet, die in 2000er und 2010er Jahren errichtet wurden und mit Fußbodenheizungen ausgestattet sind. In dem Projekt „WPsmart im Bestand“ liegt der Wärmepumpeneinsatz in Bestandsgebäuden unterschiedlicher Sanierungstiefen, die teils mit Fußbodenheizungen, teils mit Radiatoren und teils mit Mischsystemen beheizt werden.

In der Analyse werden 36 Sole/Wasser-Wärmepumpenanlagen (10 aus „WPsmart im Bestand“, 22 aus „WP Monitor“, und 2, die in beiden Projekten vermessen wurden) sowie 39 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen (18 aus „WPsmart im Bestand“, 21 aus „WP Monitor“) betrachtet. Die Objekte des Projektes „WP Monitor“ werden für einen oder mehrere der Betrachtungszeiträume 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 und 2013/2014 ausgewertet. Die

Auswertung des Projekts „WPsmart im Bestand“ bezieht sich auf den Betrachtungszeitraum 2018/2019.

Die untersuchten Anlagen werden monoenergetisch (oder monovalent) betrieben. In mehr als 80 % dieser Anlagen lag der Deckungsbeitrag eines Heizstabes – wenn überhaupt in Betrieb – unter 1%. Nur in je einer Außenluft/Wasser- und einer Sole/Wasser-Wärmepumpenanlage trat in einem oder mehreren der Betrachtungszeiträume ein signifikanter Heizstabeinsatz mit einem Deckungsbeitrag von 7 % bzw. 8 % auf. In sechs bzw. zwei Anlagen (Außenluft bzw. Sole) lag der Deckungsbeitrag zwischen 1 % und 4 %. 4 Anlagen sind mit einer Solaranlage zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung ausgestattet. In 8 Objekten nutzen die Bewohner gelegentlich einen (Kachel)Ofen. Die Anlagen mit (Kachel)Ofennutzung und signifikantem Heizstabeinsatz sind in den Grafiken markiert.

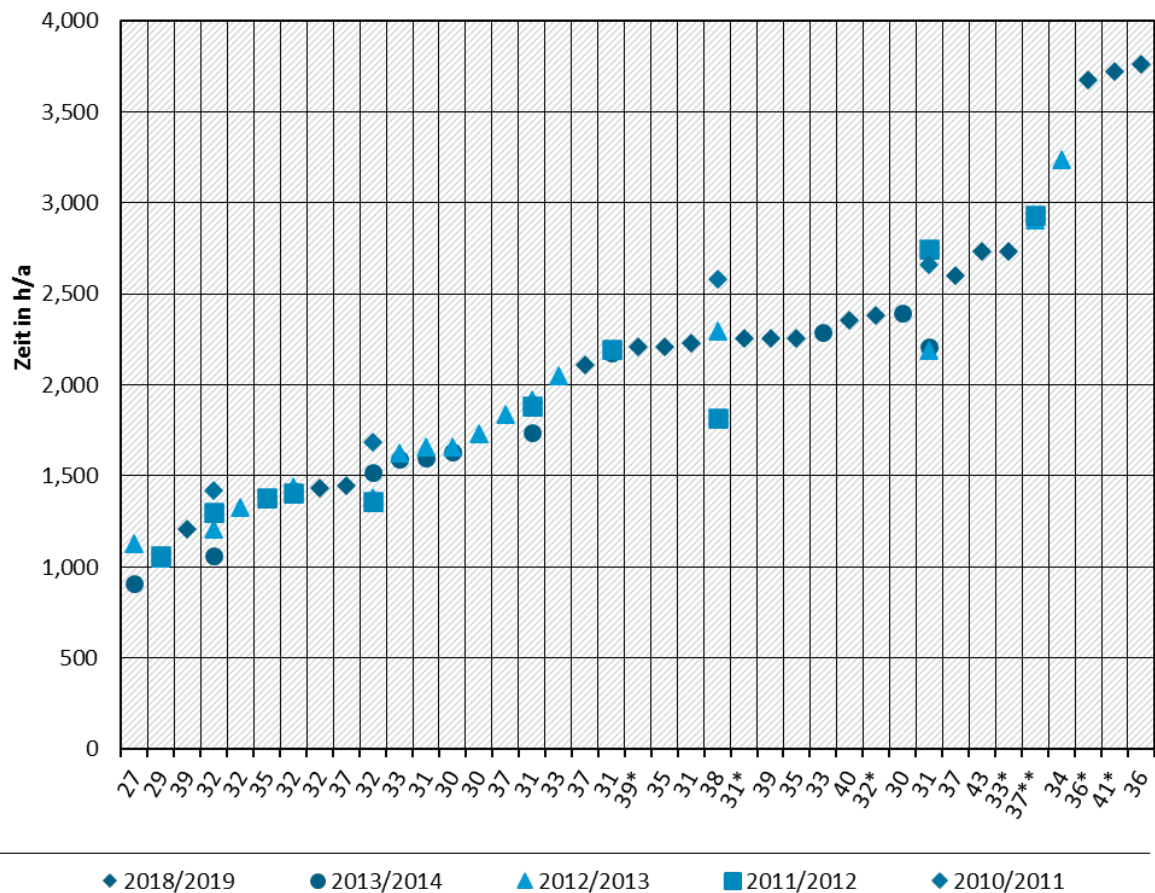
Die Heizungswärmepumpen werden in allen Objekten zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung eingesetzt. Der Anteil der Trinkwassererwärmung an der gesamten mit der Wärmepumpe bereitgestellten Wärme liegt im Mittel bei 20 %.

Zur Berücksichtigung der Wetterbedingungen wird das Verhältnis der Gradtagszahl G15/20 im jeweiligen Jahr zum langjährigen Mittel des jeweiligen Standortes herangezogen. Als Datenquelle werden die Angaben nach (Institut Wohnen und Umwelt GmbH [IWU], 2022) für die Postleitzahl des Standortes des jeweiligen Gebäudes herangezogen.

Abbildung 31 zeigt die witterungsbereinigten⁵⁷ Betriebsstundenäquivalente der 39 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen. Es zeigt sich eine sehr breite Verteilung um den Median von 2.210 h/a. Der Kernbereich von 50 % der Anlagen reicht von 1.450 h/a bis zu 2.300 h/a. Die gesamte Bandbreite umfasst Betriebsstundenäquivalent zwischen 1.000 h/a und 3.760 h/a. Einflussfaktoren auf die Betriebsstundenäquivalente sind am Anfang dieses Kapitels beschrieben.

⁵⁷ Bei der Witterungsbereinigung wurde für alle Anlagen der Anteil der Trinkwassererwärmung an der gesamten mit der WP bereitgestellten Wärme mit 20% angesetzt. Die Vereinfachung nicht den konkreten Anteil der jeweiligen Anlage zu verwenden, ist im Vergleich zu der Varianz der Betriebsstundenäquivalenten der Wärmepumpen ohne Bedeutung für die Gesamtaussage.

Abbildung 31: Außenluft/Wasser-Wärmepumpen: witterungsbereinigte Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (A-7/W35)

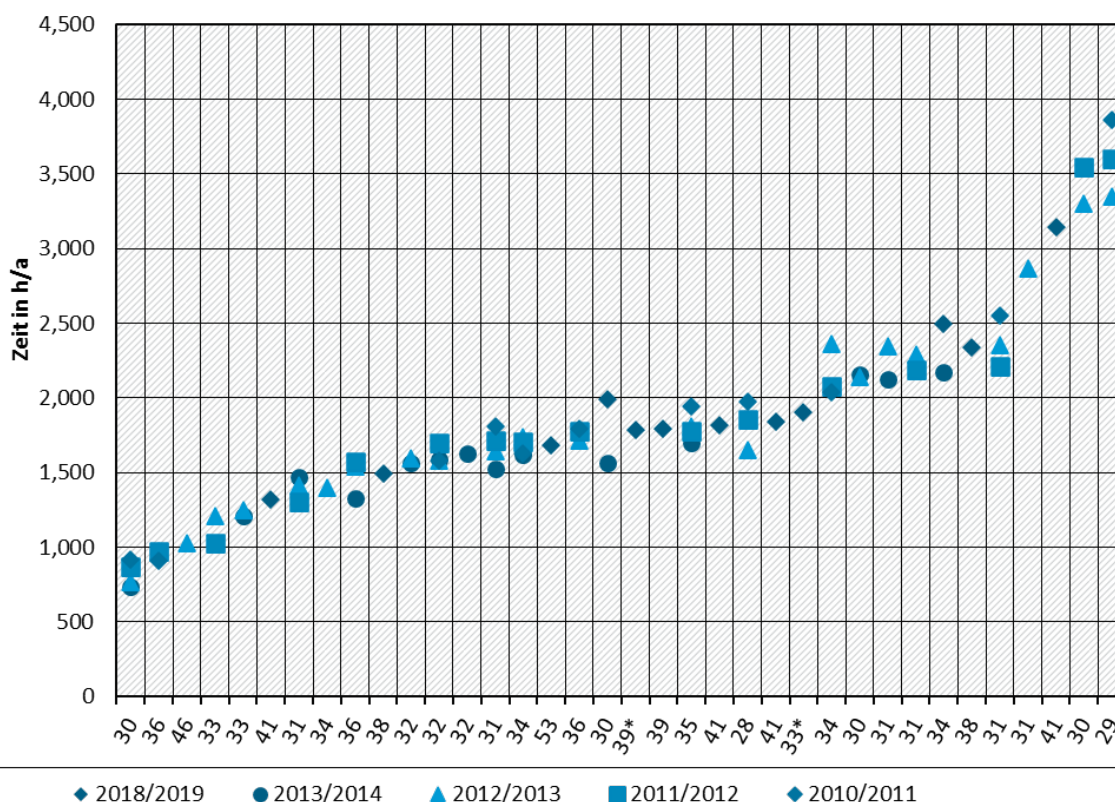


Berechnung basierend auf der Nennheizleistung A-7/W35 nach EN 14588. Datenbasis: Heizperiode 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14; 2018/19. witterungsbereinigt. Die Bezeichnung der Anlagen gibt die mittlere Heizkreistemperatur der Anlage wieder. Legende: * Bewohner nutzen (Kachel)Ofen; ** Deckungsanteil Heizstab 5 - 8%

Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern und Messungen aus den Projekten "WPMonitor" (Günther et al. 2014) und „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020)

Abbildung 32 zeigt die witterungsbereinigten⁵⁷ Betriebsstundenäquivalente der 36 Sole/Wasser-Wärmepumpen. Es zeigt sich – wie bei den Außenluft/Wasser-Wärmepumpen – eine sehr breite Verteilung, von minimal 820 h/a bis zu 3.600 h/a. Der Kernbereich von 50 % der Anlagen reicht von 1.480 h/a bis zu 2.150 h/a. Der Median liegt mit 1.780 h/a unter dem Wert der Außenluft/Wasser-Wärmepumpen.

Abbildung 32: Sole/Wasser-Wärmepumpen: witterungsbereinigte Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (B0/W35)



Berechnung basierend auf der Nennheizleistung B0/W35 nach EN 14588. Datenbasis: Heizperiode 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2018/19. witterungsbereinigt. Die Bezeichnung der Anlagen gibt die mittlere Heizkreistemperatur der Anlage wieder. Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern und Messungen aus den Projekten "WPMonitor" (Günther et al. 2014) und „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020)
 Legende: * Bewohner nutzen (Kachel)Ofen; ** Deckungsanteil Heizstab 5 - 8%

Datenlage: Ergebnisse Systemsimulation

In einer Simulationsstudie wird der Einsatz einer Außenluft/Wasser-Wärmepumpe in Einfamiliengebäuden unterschiedlichen energetischen Standards der Gebäudehülle untersucht (vgl. Kapitel A.3). Die Wärmepumpe ist genau auf den gewählten Bivalenzpunkt von -7°C ausgelegt. Die Betriebsstundenäquivalente liegen zwischen 2.620 h/a (EFH_30: 37 kWh/(m²*a), Fußbodenheizung) und 2.830 h/a (EFH_100: 109 kWh/(m²*a), Radiatorheizung). Verglichen mit den Feldtestdaten liegen die Simulationsergebnisse im oberen Drittel der dort ermittelten Betriebsstundenäquivalente. Dies zeigt, dass die Anlagen im Feld oftmals großzügiger dimensioniert sind als die hier genau abgestimmte Auslegung auf die (aufgrund der Simulation genau bekannten) Anforderungen im Bivalenzpunkt von -7°C .

In der Simulationsrechnung wird auch eine auf den Bivalenzpunkt von -7°C ausgelegte Sole/Wasser-Wärmepumpe betrachtet. Die Betriebsstundenäquivalente liegen ebenfalls in der Größenordnung von 2.700 h/a und damit auch im oberen Bereich der im Feld ermittelten Betriebsstundenäquivalente. Auch hier werden die Wärmepumpen üblicherweise größer ausgelegt als in der Simulation angenommen.

7.3 Elektrische Brauchwasserwärmepumpen

Es bestehen grundsätzlich Unklarheiten bei der Berücksichtigung der Brauchwasserwärmepumpen in der Berichterstattung, da die hier zumeist eingesetzten Wärmequellen Raumluft und Abluft nicht (in vollem Umfang) als erneuerbare Energie

berücksichtigt werden können, vgl. Kapitel 3.5. Dies ist gemäß Beschluss 2013/114/EU durch reduzierte Betriebsstundenäquivalente auszugleichen. Von daher ist die Frage bzgl. der Anrechnung als erneuerbare Energie entscheidend für die Festlegung der Betriebsstundenäquivalente. Wegen der bestehenden Unklarheiten, kann hier keine Plausibilisierung der bisherigen Eingangsdaten erfolgen. Es wird stattdessen eine Abschätzung der Betriebsstundenäquivalente ohne Reduktion aufgeführt.

Standardwert Beschluss (2013/114/EU)

Der Beschluss der EU-Kommission (2013/114/EU) gibt für Brauchwasserwärmepumpen keine Standardwerte für die Betriebsstundenäquivalente an. Es wird ein Standardwert für Abluft/Wasser-Wärmepumpen von 600 h/a bzw. 660 h/a (kälteres bzw. durchschnittliches Klima) angegeben; jedoch nicht benannt, ob dies im Kontext einer Wärmepumpe für Raumheizung und/oder Trinkwassererwärmung gemeint ist. Es liegt die Vermutung nahe, dass dies eine Angabe für Raumheizung (ggf. und Trinkwassererwärmung) ist und die Anzahl der Betriebsstundenäquivalent geringer ausfallen, als bei Außenluft- und Erdreich-Wärmepumpen, da Abluft nur zum Teil als erneuerbare Wärme gewertet wird und dies über reduzierte Betriebsstundenäquivalente auszugleichen ist.

Bisherige AGEE-Stat Eingangsdaten

Der bisherige Eingangswert in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix liegt in allen Jahren bei 600 h/a.

Eigene Abschätzung (ohne Reduktion zur Berücksichtigung der nicht vollständig anrechenbaren Wärmequelle)

Im Folgenden wird eine Abschätzung der Betriebsstundenäquivalente für den häufigsten Anwendungsfall (Einfamilienhaus) durchgeführt. Hierbei werden folgende Annahmen getroffen:

- ▶ Nutzer: 3 Personen
- ▶ Wärmebedarf für die Warmwassernutzung⁵⁸: 375 kWh/a je Person
- ▶ Speicherverluste⁵⁹: 2,2 kWh/d
- ▶ Rohrleitungsverluste der Warmwasserleitung (keine Zirkulation)⁶⁰: 4,2 kWh/(m²*a)

Hiermit ergibt sich ein jährlicher Wärmebedarf von 2.510 kWh/a (1.120 kWh/a für Trinkwasserzapfung, 590 kWh/a zur Deckung der Rohrleitungsverluste, 800 kWh/a zur Deckung der Speicherverluste). Bezogen auf 2 kW mittlere Heizleistung ergeben sich die Betriebsstundenäquivalente zu 1.260 h/a.

Die durchschnittliche Haushaltsgröße in Deutschland lag 2023 bei etwa 2,03 Personen pro Haushalt (Destatis, 2024b). Damit dürften in den typischen Einsatzgebieten in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie in Einzelwohnungen jeweils zwischen 2 und 3 Personen von einer Brauchwasserwärmepumpe versorgt werden. Gemäß der obigen Abschätzung liegt die Zahl der Betriebsstundenäquivalente also zwischen 840 und 1260 h/a. Mit dem Ansatz von 600 h/a ist also in Übereinstimmung mit dem Beschluss 2012/114/EU (2013/114/EU, 2013) ein

⁵⁸ täglichen Warmwasserbedarf von 23 Liter pro Person bei 50°C Wassertemperatur und 10°C Kaltwassertemperatur, Bereitstellungsdauer 350 d/a (Deutsches Institut für Normung e.V [DIN] (2003))

⁵⁹ Maximale Warmhalteverluste S von Warmwasserspeichern nach Verordnung (EU) Nr. 814/2013 für einen 250 L Speicher. Nach eigenen Marktrecherchen ist 250 L eine typische Größe

⁶⁰ Flächenspezifischer Angabe in (DIN (2003))

konservativer Wert angesetzt, der in pauschaler Weise die nur anteilige Anrechnung der erneuerbaren Wärmequellen (aerothermische Energie) berücksichtigen kann.

7.4 Gasbetriebene Wärmepumpen

Der Beschluss der EU-Kommission (2013/114/EU) gibt für die Betriebsstundenäquivalente thermisch angetriebener Wärmepumpen die gleichen Standardwerte wie für elektrische Wärmepumpen an (vgl. Tabelle 2).

Der bisherige Eingangswert in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix beträgt – wie bei den elektrischen Heizungswärmepumpen – über alle Jahre hinweg 2.050 h/a.

Bei gasbetriebenen Wärmepumpen ist – wie zuvor für elektrische Heizungswärmepumpen aufgezeigt – ebenfalls mit einer hohen Varianz der Betriebsstundenäquivalenten im realen Betrieb zu rechnen. Dies ist bei diesem Wärmepumpentyp auch dadurch befördert, dass nur wenige Leistungen am Markt verfügbar sind und daher das Produkt nicht feinkaliert gewählt werden kann.

Den Autor*innen dieser Studie sind keine aussagekräftigen Ergebnisse aus Feldmessungen und Kenntnisse über häufige Einsatzbereiche und Systemauslegungen vor, um eine Abschätzung der Betriebsstundenäquivalente vornehmen zu können.

7.5 Empfehlungen

Elektrische Heizungswärmepumpen

Aufgrund der hohen Dominanz des Einsatzes von elektrischen Heizungswärmepumpen im Wohngebäudebereich wird empfohlen die Eingangsdaten in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix an diesem Einsatzbereich zu orientieren. Derzeit überwiegt hier deutlich eine monoenergetische (oder monovalente) Auslegung. Der Einsatz bivalenter Anlagen wird derzeit als sehr untergeordnet eingeschätzt.

Die Auswertung der Betriebsstundenäquivalente aus Monitoringprojekten macht deutlich, dass eine sehr große Bandbreite unterschiedlicher Auslegungen vorherrscht. Die Abschätzung eines Mittelwertes ist mit einer hohen Unschärfe verbunden.

Der bisherige Eingangswert der Betriebsstundenäquivalent in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix von 2.050 h/a (identisch für alle Wärmepumpentypen) liegt im Bereich der mittleren 50 % der in Einfamiliengebäuden untersuchten Feldanlagen (1.450 h/a bis zu 2.300 h/a bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen und 1.480 h/a bis 2.150 h/a bei Sole/Wasser-Wärmepumpen). Verglichen mit dem jeweiligen Median liegt der bisherige Eingangswert bei den untersuchten Außenluft/Wasser-Wärmepumpen um rund 150 h/a niedriger und rund 300 h/a höher bei den Sole/Wasser-Wärmepumpen. Aufgrund der hohen Bandbreite der Betriebsstundenäquivalente, die sich in den untersuchten Feldtest zeigen, und der damit einhergehenden Unschärfe der Festsetzung eines Eingangswertes für die Berechnungsmatrix, könnte an den bisherigen Eingangsdaten festgehalten werden.

Brauchwasserwärmepumpen

Die Autor*innen empfehlen zunächst die bisherigen Eingangsdaten in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix beizubehalten. Mit Blick auf eine zukünftig mögliche Weiterentwicklung des Beschlusses 2013/114/EU (2013/114/EU, 2013), nach dem bei Abluft-Wärmepumpen nur die sogenannte aerothermische Energie als erneuerbar anzurechnen ist, über eine pauschale Angabe der anzunehmenden Betriebsstundenäquivalente von 660 h/a hinaus die Ermittlung dieses Anteils jedoch nicht spezifiziert ist, sollten neue Ansätze dann ggf. Anwendung finden.

Mögliche Marktentwicklungen zum Beispiel von wohnungsweisen Einsatz von Booster Wärmepumpen könnten mittelfristig eine genauere Betrachtung nahelegen, die im EU-Regelwerk dann abgebildet werden sollte.

Gasbetriebene Wärmepumpen

Aufgrund fehlender aussagekräftiger Monitoringergebnisse, der hohen Unschärfe, die eine Abschätzung der Betriebsstundenäquivalenten mit sich bringt und der von der Anzahl her geringen Bedeutung der gasbetriebenen Wärmepumpen, werden keine Änderungen der bisher verwendeten Eingangsdaten in die AGEE-Stat Berechnungsmatrix vorgeschlagen.

8 Witterungsabhängigkeit

8.1 Einführung

Änderungen der Witterungsbedingungen wirken sich über zwei Mechanismen auf die Menge mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie E_{res} aus. Beeinflusst werden:

- ▶ die durch Wärmepumpen bereitgestellte Nutzwärme (vgl. Kapitel 5.1.1) und
- ▶ der jahreszeitbedingte Leistungsfaktor (vgl. Kapitel 6.1.1, Kapitel 6.3).

Beide Einflusspfade werden im Folgenden in Kapitel 8.2 und 8.3 separat betrachtet. Eine Änderung der bereitgestellten Nutzwärme wirkt sich eins zu eins auf die gewonnene Erneuerbare Energie aus. Eine Änderung des jahreszeitbedingten Leistungsfaktors wirkt sich aufgrund des mathematischen Zusammenhanges in geringerem Maße auf die gewonnenen Erneuerbaren Energie aus (vgl. Funktion in Kapitel 3.2). Bspw. bewirkt eine Erhöhung der Jahresarbeitszahl von 3,0 (4,0) um +10 % eine Erhöhung der gewonnenen Erneuerbaren Energie um +5% (+3%).

8.2 Einfluss Witterung auf die bereitgestellte Nutzwärme

8.2.1 Methoden zur Witterungsbereinigung des Wärmeverbrauches

Der Wärmeverbrauch zur Raumheizung ist von der Witterung abhängig. Eine übliche Methode zur Witterungsbereinigung ist, den gemessenen Heizwärmeverbrauch mit den Jahresgradtagen zu multiplizieren. Eine Bewertung dieser und anderer Methoden wird in (Mojic & Haller, 2019) vorgenommen. Schwächen bei dieser Methode der Witterungsbereinigung liegen u.a. in folgenden Aspekten:

- ▶ Festlegung einer repräsentativen mittleren Heizgrenze. Die Heizgrenze ist u.a. abhängig vom Gebäudestandort, dem Luftwechsel, den solaren Gewinnen, dem Nutzerverhalten und der Gebäudetechnik.
- ▶ Linearer Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Außentemperatur: Bei Gebäuden neuen Baustandards ist dies eine (zu) grobe Vereinfachung, da bei diesen Gebäuden das Nutzerverhalten und die Solarstrahlung einen viel stärkeren Einfluss auf den Energiebedarf haben als bei gering sanierten älteren Gebäuden.

In Deutschland wird der sogenannte Klimafaktor nach (GEG, 2020) verwendet, der auf den Jahresgradtagen $G_{20/15}$ beruht. Gradtage nach VDI 3807 sind als Temperaturdifferenz zwischen einer mittleren Raumtemperatur von 20 °C und dem jeweiligen Tagesmittelwert der Lufttemperatur definiert. Die Jahresgradtage stellen die Summe über die Temperaturdifferenzen derjenigen Tage eines Jahres dar, an welchen die Temperaturmittelwerten unter 15 °C (Heizgrenze) liegen. Die Jahresgradtage lassen sich auch für andere Raumlufttemperaturen und andere Heizgrenztemperaturen berechnen. In der Datenbank von Eurostat werden die Jahresheizgradtage $G_{18/15}$ angegeben (18°C Raumtemperatur, 15°C Heizgrenze), (Eurostat, 2023).

Bei Wärmepumpensystemen wirkt sich die Änderungen des Wärmeverbrauches zur Raumheizung ggf. nicht eins zu eins auf die Menge mit der Wärmepumpe bereitgestellten

Nutzwärme aus. Dies kann bei monoenergetischen Anlagen (mit Heizstab) und bivalenten Anlagen (mit Kessel) auftreten. In Jahren mit mehr „sehr kalten“ Außenlufttemperaturen bleibt die Einsatzzeit und die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme ggf. trotz eines höheren Heizwärmeverbrauches u.U. gleich oder verringert sich ggf. gegenüber einem „Durchschnittsjahr“ gar, wenn die Heizwärme an den „sehr kalten“ Tagen – ganz oder anteilig - über den Heizstab oder den Kessel gedeckt wird. Die Auswirkung ist von der Auslegung der Wärmepumpe und dem Betriebskonzept abhängig. Um hier eine Abschätzung des Einflusses treffen zu können, wären entweder umfangreiche, repräsentative Monitoringdaten erforderlich oder theoretische Betrachtungen, die wiederum eine Einschätzung über die Verbreitung der Auslegungen und Betriebsweisen voraussetzen. Den Autor*innen sind hierzu keine Untersuchungen bekannt. Eine weitere Herausforderung liegt in der Methodik der Berücksichtigung im AGEE-Stat Model. Über die üblichen Jahres-Witterungskennwerte, wie bspw. die Heizgradtage, lässt sich nicht auf die jahreszeitliche Verteilung des Wärmeverbrauches im konkreten Jahr schließen. Es wäre eine Auswertung von Wetterdaten notwendig. Der Aspekt des Einflusses der Witterungsbedingungen auf den Heizstab bzw. Kesseleinsatz wird im Rahmen dieser Studie nicht näher bearbeitet.

Im folgenden Kapitel 8.2.2 folgt eine Analyse von Feldmessdaten, welche den Einfluss auf den Wärmeverbrauch/die bereitgestellte Nutzwärme grundsätzlich bestätigen.

8.2.2 Feldtestdaten

Die durch Wärmepumpen bereitgestellte Nutzwärme wird in der Methodik der RED II über das Produkt aus mittlerer Nennheizleistung der installierten Wärmepumpen und mittleren äquivalenten Jahresbetriebsstunden ermittelt. Im Folgenden werden die Betriebsstundenäquivalente von 36 Wärmepumpenanlagen im Wohngebäudebereich über einen Zeitraum von zwei bis vier Jahren in Bezug zu den Witterungsbedingungen dargestellt.

Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen 14 Außenluft/Wasser-Wärmepumpen und 22 Erdreich/Wasser-Wärmepumpen, die zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung in Wohngebäuden (überwiegend Einfamilienhäusern) eingesetzt sind (vgl. Kapitel 2.5). Gezeigt sind Anlagen, die in mindestens zwei der folgenden Betrachtungszeiträume⁶¹ 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014 und 2018/2019 vermessen wurden. Die Jahreswerte der Betriebsstundenäquivalente sind je Anlage über dem Verhältnis der Gradtagszahl⁶² G15/20 im jeweiligen Jahr zum langjährigen Mittel des jeweiligen Standortes dargestellt. Ergänzend ist jeweils eine lineare Kennlinie hinzugefügt. Diese stellt die Witterungskorrektur auf Basis der Änderung der Gradtagszahl dar. Der gewählten Kennlinie liegt ein Anteil der Raumheizung an der gesamten bereitgestellten Wärme von 82% bzw. der Trinkwassererwärmung von 18% zu Grunde⁶³.

Die Abbildungen zeigen zum einen die Betriebsstundenäquivalente der jeweiligen Jahre (obere Grafik) und zum anderen die relativen Änderungen der Betriebsstundenäquivalente. Als Bezug wurde für jede Anlage aus der Regressionsgrade der jeweils gemessenen Jahreswerte ein „theoretischer Wert“ des Betriebsstundenäquivalent für die Gradtagszahl G15/20 des langjährigen Mittels des jeweiligen Standortes ermittelt. Es zeigt sich überwiegend der zu erwartenden Zusammenhang höherer Betriebsstundenäquivalente bei niedrigerer Gradtagszahl

⁶¹ Die Zeitspanne reicht stets von 1.Juli bis 30.Juni.

⁶² Als Datenquelle der Gradtagszahlen am jeweiligen Standort dienen die Angaben nach Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2022) für die Postleitzahl des Standortes des jeweiligen Gebäudes.

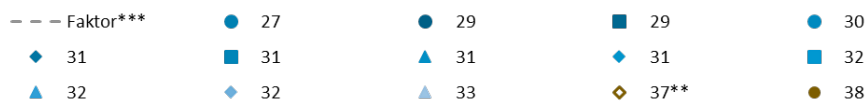
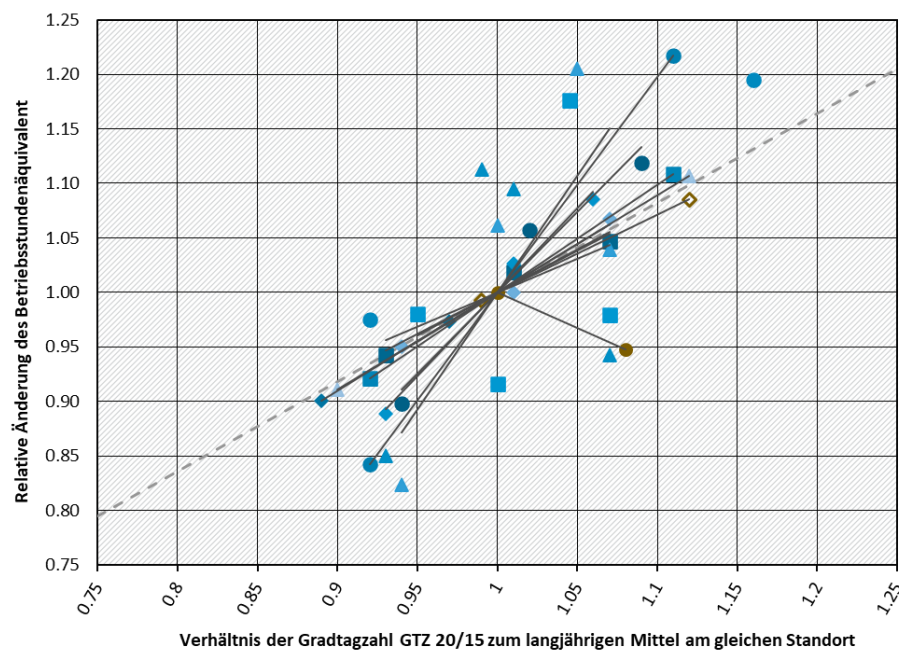
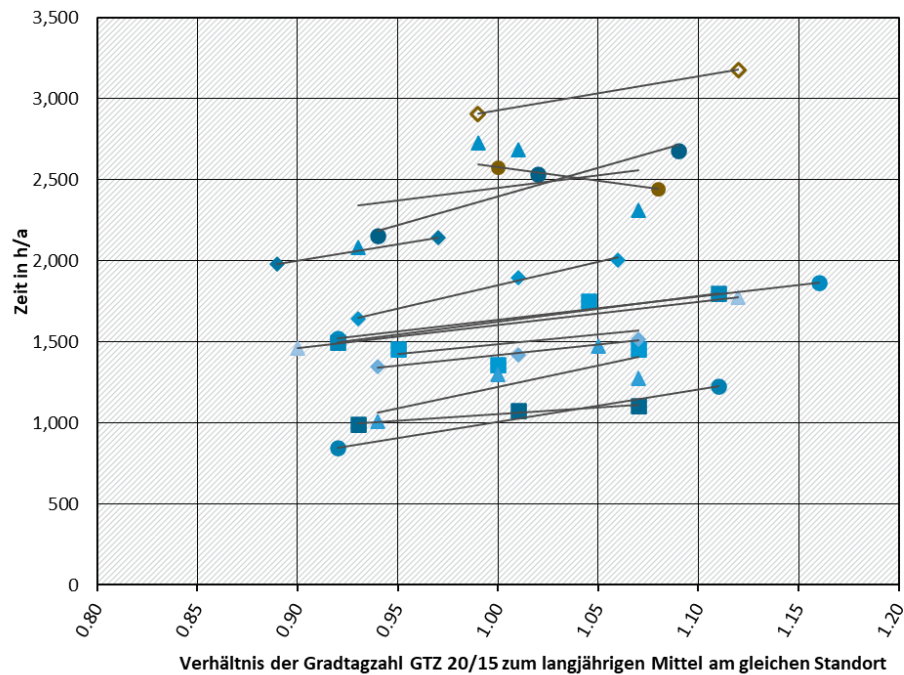
⁶³ Der Anteil von 18% wurde in Anlehnung an die Wärmepumpen-Feldtests WPsmart und WP Effizienz vorgenommen. Günther et al. (2020); Miara et al. (2011)

G15/20. Die Änderung der Betriebsstundenäquivalente fällt teils höher, teils geringer Kennlinie zur Witterungskorrektur aus. Diese Varianz ist u.a. von folgenden Aspekten hervorgerufen:

- ▶ Die Gradtagszahl G15/20 ist nur bedingt geeigneten Einfluss des Wetters wiederzugeben. Dies betrifft insbesondere den Vergleich einzelner Jahre.
- ▶ Der Anteil der Trinkwassererwärmung unterscheidet sich von Anlage zu Anlage.
- ▶ Die Variation des Nutzerverhaltens hat einen hohen Einfluss auf den Wärmebedarf und damit die Betriebsstundenäquivalente.
- ▶ Es können Sanierungsmaßnahmen in dem betrachteten Messzeitraum stattgefunden haben.
- ▶ Es können Änderungen der Parametrierung der Anlage vorgenommen worden sein.

Schlussfolgerung: Es zeigt sich überwiegend der zu erwartenden Zusammenhang höherer Betriebsstundenäquivalente bei niedrigerer Gradtagszahl G15/20. Sowohl die Einschränkungen der Methode der Gradtagszahl als auch die möglichen Änderungen der Randbedingungen führen jedoch dazu, dass Messreihen von zwei, drei Jahren nicht geeignet sind, repräsentative Aussagen zu treffen.

Abbildung 33: Außenluft/Wasser-Wärmepumpen: Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (A-7/W35) [obere Grafik]; relative Änderung der Betriebsstundenäquivalente [untere Grafik]

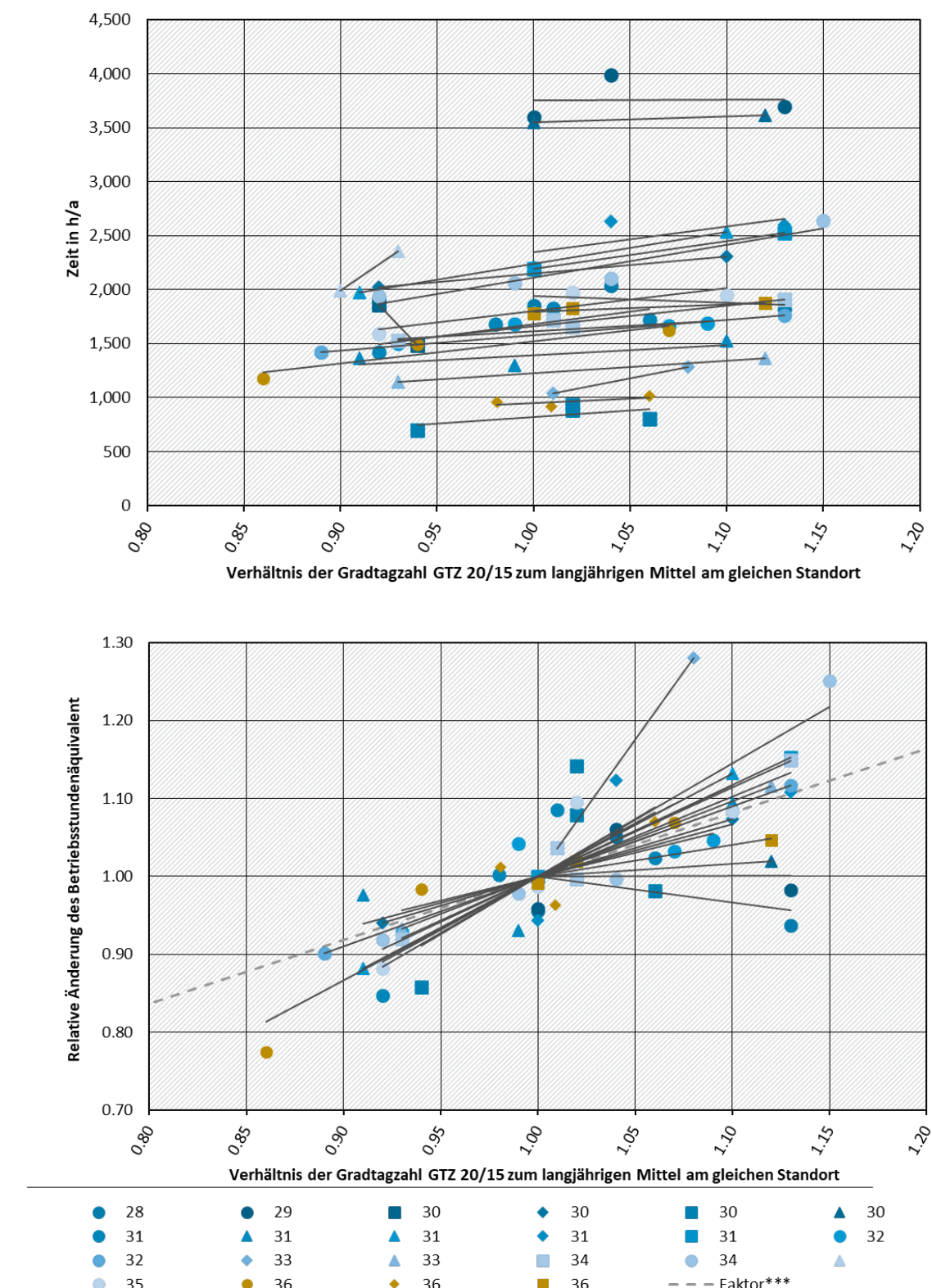


Berechnung basierend auf der Nennheizleistung A-7/W35 nach EN 14588. Datenbasis Heizperiode 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2018/19. Werte nicht witterungsbereinigt. Die Bezeichnung der Anlagen gibt die mittlere Heizkreistemperatur der Anlage wieder

eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern und Messungen aus dem Projekt "WPMonitor" (Günther et al. 2014) und „WPSmart im Bestand“ (Günther et al. 2020)

Legende: * Bewohner nutzen (Kachel)Ofen; ** Deckungsanteil Heizstab 5 - 8%; *** Kennlinie zur Witterungsbereinigung Anteil TW-Erwärmung an gesamt Wärmebereitstellung

Abbildung 34: Sole/Wasser-Wärmepumpen: Betriebsstundenäquivalente basierend auf der nominalen Heizleistung (B0/W35) [obere Grafik]; relative Änderung der Betriebsstundenäquivalente [untere Grafik]



basierend auf der Nennheizleistung B0/W35 nach EN 14588. Datenbasis: Heizperiode 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2018/19. Werte nicht witterungsbereinigt.

eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern und Messungen aus dem Projekt "WPMonitor" (Günther et al. 2014) und „WpSmart im Bestand“ (Günther et al. 2020)

Legende: *: in dem Gebäude wird ein(Kachel)Ofen genutzt. **: Deckungsanteil des Heizstabes in mind. einem der gezeigten Jahre >5%; *** Faktor zur Witterungsbereinigung der Raumheizung bei TW-Anteil von 18%

8.3 Einfluss Witterung auf die Effizienz

8.3.1 Einführung

Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe ist über folgende Pfade von den Witterungsbedingungen beeinflusst:

- ▶ Änderungen der Wärmesenktemperatur (Raumheizung)
- ▶ Änderung der Wärmequellentemperatur (Wärmequelle Außenluft, PVT und in geringem Maße auch Erreich)
- ▶ Ggf. Änderung des Deckungsbeitrages der Wärmepumpen bei monoenergetischen und bivalenten Wärmepumpensystemen. (vgl. Kapitel 8.2)

8.3.2 Einfluss auf die Leistungszahl im Betrieb

Heizkreistemperaturen sind zumeist über eine Außentemperaturabhängige Heizkurve bestimmt. Somit bewirken unterschiedliche Außentemperaturen unterschiedliche Wärmesenken-Betriebstemperaturen. Abhängig von der Art und Auslegung des Wärmeübergabesystems und damit der Heizkurve wirken sich Änderungen der Außenlufttemperatur in unterschiedlichem Ausmaß auf die Heizkreistemperatur aus (flache Heizkurve einer Fußbodenheizung vs. einer steilen Heizkurve bei Radiatoren in einem wenig sanierten Bestandgebäude).

Bei Außenluft-Wärmepumpen wirken sich Änderungen in der Witterung zudem direkt auf die Wärmequellentemperatur aus. Bei Erdreich-Wärmepumpen mit Sonden beeinflussen Witterungsänderungen die Wärmequellentemperatur nur indirekt, indem ein höherer Wärmeentzug geringere Soletemperaturen zur Folge hat (et v.v.). Bei Erdreich-Wärmepumpen mit Erdkollektoren haben die Witterungsbedingungen zusätzlich noch einen direkten (wenn auch sehr abgeschwächten und zeitversetzten) Einfluss auf die Temperatur der Wärmequelle.

Der relative Einfluss der Änderungen der Betriebstemperaturen der Wärmequellen- und der Wärmesenkenseite auf die Leistungszahl (COP) der Wärmepumpe sind vom jeweiligen Betriebspunkt abhängig. Ohne Berücksichtigung der Änderung des Gütegrades der Wärmepumpe bei unterschiedlichen Betriebspunkten ergeben sich vereinfacht folgende Einflüsse:

- ▶ Die relative Änderung der Effizienz bei Änderung der Außenlufttemperatur fällt bei höheren Senktemperaturen (Heizkreistemperaturen) geringer aus als bei niedrigen Senktemperaturen⁶⁴.
- ▶ Die Änderung der Heizkreistemperatur bei Änderung der Außenlufttemperatur ist bei steileren Heizkurven höher als bei flacheren⁶⁵.

⁶⁴ Steile Heizkurve mit 65°C Vorlauftemperatur bei -12°C Außenluft (Bestands-Radiator im nicht / wenig sanierten Altbau): 1,5%/K bei -10°C und 3,5% bei +10°C

Flache Heizkurve mit 35°C Vorlauftemperatur bei -12°C Außenluft (Fußbodenheizung): 2,5%/K bei -10°C und 5,5% bei +10°C

Die Angabe der Effizienzänderung bei -10°C bezieht sich nur auf die Änderung des COPs und nicht etwaige Änderungen bei dem Einfluss der Abtauung.

⁶⁵ Im gewählten Beispiel: Steile Heizkurve: im Mittel 1,1K Änderung Heizkreistemperatur je 1K Änderung der Außenlufttemperatur. Flache Heizkurve: im Mittel 0,3K/1K

► Außenluft-Wärmepumpen:

Die beiden eben genannten Effekte sind somit im Vergleich flacher und steiler Heizkurven gegenläufig. Für beide Anwendungsfälle liegt der Einfluss der Außenlufttemperatur somit in der gleichen Größenordnung (Berücksichtigung des Einflusses der Änderung der Quellen- und der Senktemperatur. Ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Gütegrade.)

2% bis 3%/K bei -10°C und 7%/K bis 8%/K bei +10°C

► Sole-Wärmepumpen:

Wird vereinfacht keine Beeinflussung der Quelltemperatur bei Änderung der Außenlufttemperatur angenommen und nur die Änderung der Senktemperatur betrachtet, ergibt sich folgende Änderung der Leistungszahl der Wärmepumpe bei Änderung der Außenlufttemperatur:

1,5% (0,8%) bei -10°C und 3% (1,3%) bei +10°C für die steile (flache) Heizkurve

8.3.3 Einfluss auf die aus erneuerbaren Energien gewonnene Wärme

Tabelle 3 zeigt die Einflüsse der Witterung auf die COP, den el. Energiebezug und die gewonnene Erneuerbare Energie auf Basis der Effizienzänderung für eine Außenluft/Wasser-Wärmepumpe bei einer Temperaturänderung der Außenlufttemperatur im 1°C von 6°C auf 7°C. Um den Einfluss der Effizienz klar darzustellen, wird für die Berechnung die bereitgestellte Wärme identisch angesetzt.

Dargestellt ist der Einsatz mit Radiator einerseits und mit Fußbodenheizung andererseits. Die Änderung der Außenlufttemperatur wirkt sich stärker auf den COP und den el. Energiebezug aus als auf die nutzbar gemachte Erneuerbare Energie. So erhöht sich der COP im gewählten Beispiel um +5% bei der Radiatorheizung und +3% bei der Fußbodenheizung, wohingegen sich die Gewinnung Erneuerbarer Energie nur um +1% ändert. Der elektrische Energiebezug wird um -4% bzw. -3% reduziert.

Tabelle 3: Einflüsse der Witterung auf des COP, den el. Energiebezug und die gewonnene Erneuerbare Energie auf Basis der Effizienzänderung für eine Außenluft/Wasser-Wärmepumpe in Einsatz mit Radiator bzw. mit Fußbodenheizung für Änderung der Außenlufttemperatur im 1K von 6°C auf 7°C

	Radiatorheizung		Fußbodenheizung	
Außenlufttemperatur in °C	6	7	6	7
Heizkreistemperatur in °C	39.6	38.5	25.8	25.4
Außenlufttemperatur in °C	6	7	6	7
Änderung COP ⁶⁶		+5%		+3%
Änderung el. Energiebezug		-4%		-3%
Änderung Erneuerbare Energie		+1%		+1%

Die Höhe der Auswirkung der Änderung der Außenlufttemperatur auf die gewonnene erneuerbare Wärme ist vom COP in dem momentanen Betriebspunkt abhängig. Bei geringen COP-Werten fällt die Änderung der erneuerbaren Wärme höher aus als bei höheren. Bei einem COP von 2,0 erhöht sich die Erneuerbare Energie im gleichen Maße wie sich die elektrische Energie verringert (et. v.v.) Bei einem COP von 4,0 beträgt die relative Erhöhung der Erneuerbaren Energie nur knapp ein Drittel der relativen Reduzierung der elektrischen Energie.

8.3.4 Qualitativer Einfluss auf die JAZ

In der Definition der JAZ gemäß RED II wird die Wärmepumpe inkl. dem Wärmequellenantrieb berücksichtigt, jedoch keine Zusatzheizung. Die bereitgestellte Wärme wird vor etwaigen Speichern bilanziert (Kapitel 6.1.1).

Neben den im vorherigen Kapitel beschriebenen Witterungseinflüssen auf die Leistungszahl im Betrieb bestehen weitere Einflüsse, welche das Maß der Änderung der Jahresarbeitszahl (und damit der Nutzung erneuerbarer Energien) beeinflussen. Als Hauptaspekte beim Witterungseinfluss auf die Jahresarbeitszahl eines Wärmepumpensystems lassen sich nennen:

- A) Unterschiede der Anwendungsfälle
Die unterschiedlichen Anwendungsfälle bewirken unterschiedliche Sensitivitäten für die Jahresarbeitszahl bei Witterungsänderungen
- B) Auslegung der Wärmepumpe
Ggf. Deckungsbeiträge Heizstab / Kessel
- C) Charakteristik der Witterung
Kalte Kernheizperiode hat anderen Einfluss als kalter Frühling

A) Unterschiede der Anwendungsfälle

- Wärmepumpenquellen

⁶⁶ Im gewählten Beispiel entspricht dies einer Änderung des COP von 4.09 auf 4.28 bei im Szenario Radiatorheizung und 5.44 auf 5.60 im Szenario Fußbodenheizung

- Wärmenutzung
 - bspw. Anteil Raumheizung / Trinkwassererwärmung bei Wohngebäude Lastgang bei Betrachtung anderer Anwendungsbereiche
 - Charakteristik der Senktemperatur

B) Auslegung der Wärmepumpe

- monovalent vs. monoenergetisch vs. bivalent
- Bivalenzpunkt und Betriebskonzept (alternativ vs. parallel)
- Einsatzgrenzen der Wärmepumpe
- Bei Änderungen des Wetters in der „Kernheizperiode“ sind diese Punkte von Relevanz. Vgl. Ausführungen im folgenden Punkt.

C) Charakteristik der Witterung

Jahre mit gleicher Gradtagszahl können hinsichtlich des Einflusses auf die Jahresarbeitszahl unterschiedlich ausfallen. Dies sei an drei Beispielen vorgestellt. Hier folgt die vereinfachende Kurzfassung. Weiterführenden Erläuterungen sind im Anhang A.4 aufgeführt.

- „Extreme Kälteperiode“
vereinfacht: unterdurchschnittliche Temperaturen treten nur an den kältesten Tagen auf
→ Verringerung, Gleichbleiben oder Erhöhung der JAZ je nach WP-Auslegung/Betriebskonzept/Einsatzgrenze
- „durchgehend kältere Heizperiode“
vereinfacht: unterdurchschnittliche Temperaturen treten während der gesamten Heizperiode auf. Heizperiode ist gleich lang wie im Durchschnittsjahr.
→ Reduzierung der JAZ
- „sehr kalter Spätherbst“
vereinfacht: unterdurchschnittliche Temperaturen treten nur an Tagen auf, die im Durchschnittsjahr oberhalb der Heizgrenze liegen
→ Erhöhung der JAZ

8.3.5 Quantitative Einordnung auf die Einflüsse auf Jahresebene

Zur quantitativen Analyse des Einflusses der Witterung in unterschiedlichen Jahren können zum einen (Simulations-) Rechnungen für unterschiedliche Einsatzfälle (teilsaniertes Bestandsgebäude mit Heizkörpern vs. Neubau mit Fußbodenheizung, Varianten der Auslegung bzw. des Betriebskonzeptes (Wärmepumpen, Heizstab, Kessel) etc.) mit unterschiedlichen Wetterdaten durchgeführt werden. Zum anderen geben Auswertungen von Felddaten einen guten Einblick, wenn diese langjährige Messzeiträume und unterschiedliche Einsatzfälle umfassen. Wie die Auswertung von je neun Luft/Wasser- und neun Sole/Wasser-Wärmepumpen für jeweils 2 Jahre zeigt, ist eine deutlich größere Stichprobe sowie ein deutlich längerer Messzeitraum mit unterschiedlichen Wetterbedingungen für eine Abschätzung notwendig, da sich neben dem Wetter auch andere Bedingungen (Nutzer, Parametrierung, u.a.) von Jahr zu Jahr unterscheiden. Im Rahmen der Analyse der Untersuchungen muss ein Faktor

abgeleitet werden, der den Witterungseinfluss auf die Effizienz* abhängig von einem verfügbaren, bzw. einfach zu ermittelnden „Witterungskennwert“ wiedergibt. (* bzw. ggf. die Gesamtauswirkung von Effizienz- und Wärmeverbrauchs-Einflusspfad). Es besteht kein kausaler Zusammenhang zwischen Witterungseinfluss auf die Effizienz und der Gradtagszahl, da die Charakteristik der Witterung von Bedeutung ist (vgl. Kapitel 8.3.4). Es ist zu untersuchen, ob sich eine für die Zielstellung der AGEE-Stat nutzbare Korrelation zeigt.

Den Autor*innen sind keine Untersuchungen (sei es (Simulations-)Berechnungen, Feldkampagnen) diesbezüglich bekannt. Der Einfluss der jährlichen Witterungsbedingungen auf die Effizienz der Wärmepumpe und folglich auf die Nutzung erneuerbarer Energie wird zusammen mit dem Einfluss über die Änderung des Wärmebedarfs auf Basis eines simplen Modells im Kapitel 8.4 betrachtet.

8.4 Gesamteinfluss der Witterung

Betrachtet man den Einfluss der Witterung auf den Wärmeverbrauch zur Raumheizung zum einen und auf die Jahresarbeitszahl zum anderen zusammen, zeigen sich je nach Charakteristik der Witterung Unterschiede. So können sich die Auswirkungen der beiden Einflusspfade verstärken oder gegenläufig sein. Tabelle 4 zeigt qualitativ die Auswirkung für die in Kapitel 8.3.4 vorstellen drei Szenarien der Witterungscharakteristik. So sind in dem Szenario „durchgehend kältere Heizperiode“ (bzw. analog „durchgehend wärmere Heizperiode“) die Einflüsse über die beiden Einflusspfade auf den elektrischen Energiebezug (inkl. Heizstab) gleichläufig und daher verstärkend. Der Einfluss auf die Nutzung erneuerbarer Energie ist gegenläufig.

Tabelle 4: Einflüsse der Witterung auf die JAZ, den el. Energiebezug und die gewonnene Erneuerbare Energie für drei Szenarien von Jahren mit überdurchschnittlich hoher Gradtagszahl

Szenario der Witterungscharakteristik	JAZ	El Energie (Bilanzgrenze inkl Heizstab) ⁶⁷	Erneuerbare Energie
Extreme Kälteperiode	↕	↑ ↕	↑ ↕
„durchgehend kältere Heizperiode“	↓	↑ ↑	↑ ↓
„sehr kalter Spätherbst“	↑	↑ ↓	↑ ↑

Legende:

↑ Einfluss Änderung Wärmeverbrauch

↑ Einfluss Änderung Effizienz

- Pfeil nach oben: Steigerung
- Pfeil nach unten: Senkung
- Pfeil nach unten und oben: Steigung oder Senkung (abhängig von System-/Betriebskonzept)

Zur quantitativen Abschätzung der Einflüsse der Witterungsbedingungen auf JAZ, Energiebezug elektrischer Energie und Nutzung erneuerbarer Energie wurde eine stationäre Berechnung mit einem vereinfachten Modellansatz durchgeführt. Die Betrachtung erfolgt für eine

⁶⁷ Gewählt wie bei BNetzA

Außenluft/Wasser-Wärmepumpe in monovalenter Betriebsweise. Es wurde nur die Raumheizung untersucht. Sowohl in einem Szenario mit Flächenheizung als auch einem mit Bestandheizkörpern in einem teil-/unsanierten Bestandsgebäude. Ausgewählt wurde der Standort Potsdam im Zeitraum 2012 bis 2021. In allen Jahren waren die Einflüsse der beiden Einflusspfade (Änderung des Raumheizbedarfes und Effizienzänderung) auf die Änderung des elektrischen Energiebezuges gleichläufig. Der Einfluss der Effizienzänderung hat den Einfluss der Raumheizbedarfsänderung teilweise nur geringfügig verstärkt, teilweise grob verdoppelt. Bei der Nutzung erneuerbarer Energie zeigt sich ein anderes Bild. Der Einfluss der Witterung über den Effizienz-Pfad ist – wenn vorhanden - gegenläufig zum Einfluss über den Raumwärme-Pfad. Dies bedeutet, dass für die betrachteten Randbedingungen eine alleinige Abschätzung des Einflusses der Witterungsänderungen über den Raumwärme-Pfad den Einfluss auf den elektrischen Energiebezug unterschätzen und die mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnene Energie teilweise überschätzen könnte. Genaue qualitative Abschätzung lassen sich aus dem einfachen Modell aufgrund der komplexen und zum Teil gegenläufigen Effekte nicht ableiten.

8.5 Analyse der Monitoringdaten der Bundesnetzagentur

Im jährlichen Monitoring der Bundesnetzagentur (BNetzA) werden Daten zu unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen sowohl bei Lieferanten als auch bei Verteilernetzbetreibern erhoben. Zu den erhobenen Datenpunkten zählen die Abgabemengen und die belieferten Zählpunkte. Bei Befragung der Lieferanten wird nach Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen unterteilt. Es ist mit einer Unschärfe der Daten zu rechnen, da einige Lieferanten angeben, dass sie keine genaue Aufteilung der Mengen und Zählpunkte auf Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen vornehmen können und dementsprechend die Aufteilung schätzen oder den Gesamtwert nur in eine der beiden Kategorien eintragen⁶⁸.

Die Monitoringberichte liefern über die Abgabemengen und belieferten Zählpunkte einen Wert für die mittlere Abnahmemenge je Zählpunkt. Beim Vergleich verschiedener Jahre ist zu berücksichtigen, dass u.a. die folgende Punkte Einfluss auf die mittlere Abnahmemenge haben:

- ▶ Einfluss der Witterung auf:
 - den Wärmeverbrauch zur Raumheizung
 - die Effizienz des Wärmepumpenbetriebes und auf den Heizstabanteil
 - den Deckungsanteil der Wärmepumpe in bivalenten Systemen
- ▶ Änderung der Zusammensetzung der an den Zählpunkten angeschlossenen Wärmepumpen:
 - Art der Wärmequelle

⁶⁸ In den letzten Jahren beliefern fast alle Heizstromanbieter sowohl Nachtspeicherkunden als auch Wärmepumpenkunden. Einige Lieferanten geben an, dass sie keine genaue Aufteilung der Mengen und Zählpunkte auf Nachtspeicherheizungen und Wärmepumpen vornehmen können und dementsprechend die Aufteilung schätzen oder den Gesamtwert nur in eine der beiden Kategorien eintragen. Im Mittel* machen 89% der Heizstromlieferanten Mengen- bzw. Zählpunktangaben sowohl für Nachtspeicher als auch für Wärmepumpen. Aus den Angaben wird nicht ersichtlich, wie hoch der Anteil der Lieferanten ist, welche die Aufteilung schätzen. Zudem ist bei den Angaben der Lieferanten ohne getrennte Angabe nicht bekannt, welcher Anteil die Gesamtsumme den Wärmepumpen zuordnen. * In den Monitoringberichten für die Jahre 2013 bis 2018 wird jeweils notiert, wie viele Lieferanten eine getrennte Angabe vorgenommen haben. Die Anteile lagen in den einzelnen Jahren zwischen 93% und 79%; der Median der fünf Jahre liegt bei 89%.

- Einsatzbereich – Betriebsbedingungen: Senktemperatur, Auslegung, Lastcharakteristik, ...
- Einsatzbereich - Anlagengröße
- Mittlere nominale Effizienz des gesamten Wärmepumpenbestandes

In der Abbildung 35 sind die relativen Änderungen der mittleren Abnahmemenge je Zählerpunkt Wärmepumpe im Zeitraum 2012 bis 2022 dargestellt. Als Bezugsjahr wurde das Jahr 2017 gewählt, in dem die Gradtagszahl im mittleren Bereich des Betrachtungszeitraumes liegt. Die relative Änderung der mittleren Abnahmemenge je Zählerpunkte ist der Gradtagszahl G18/15 (Eurostat, 2023) gegenübergestellt. Als mittlere Abnahmemenge je Zählerpunkt liegen abweichende Angaben vor. Zum einen ist dieser Wert in den jeweiligen Monitoringberichten aufgeführt (im folgenden BNetzA(2) benannt); zum anderen wurde dieser aus den Einzelangaben zu den Abgabemengen und der Anzahl der belieferten Zählpunkte selber berechnet (im folgenden BNetzA(1) benannt). In einigen Jahren stimmen die Werte – im Rahmen der Auflösung der vorliegenden Daten – gut überein. In drei Jahren liegen Abweichungen von zwischen 2 % und 4 % vor.

Ergänzend zeigt die Grafik die witterungsbedingten Änderungen des Elektroenergiebezuges einer Wärmepumpenanlage, wenn hierbei die Änderung des Wärmebedarfes für die Raumheizung berücksichtigt, hingegen eine Änderung der Effizienz der Wärmepumpenanlage nicht betrachtet wird. Als weitere Randbedingungen wurde angesetzt, dass die Anlage monoenergetisch betrieben wird und der Anteil der Trinkwassererwärmung an der gesamten bereitgestellten Wärme bei 18% liegt⁶⁹. Die Witterungsbereinigung des Wärmeverbrauches wurde über die Gradtagszahl vorgenommen.

Im Betrachtungszeitraum (2012 bis 2021) lagen die Heizgradtage G18/15 zwischen 2.659 und 3.289 und damit in einer Spannbreite von -9% bis +13%, um den Mittelwert des Zeitraumes. Entsprechend ergeben sich Witterungsbereinigungsfaktoren zwischen -8% und +11%. Die mittlere Abweichung (als Absolutwert) beträgt 5%.

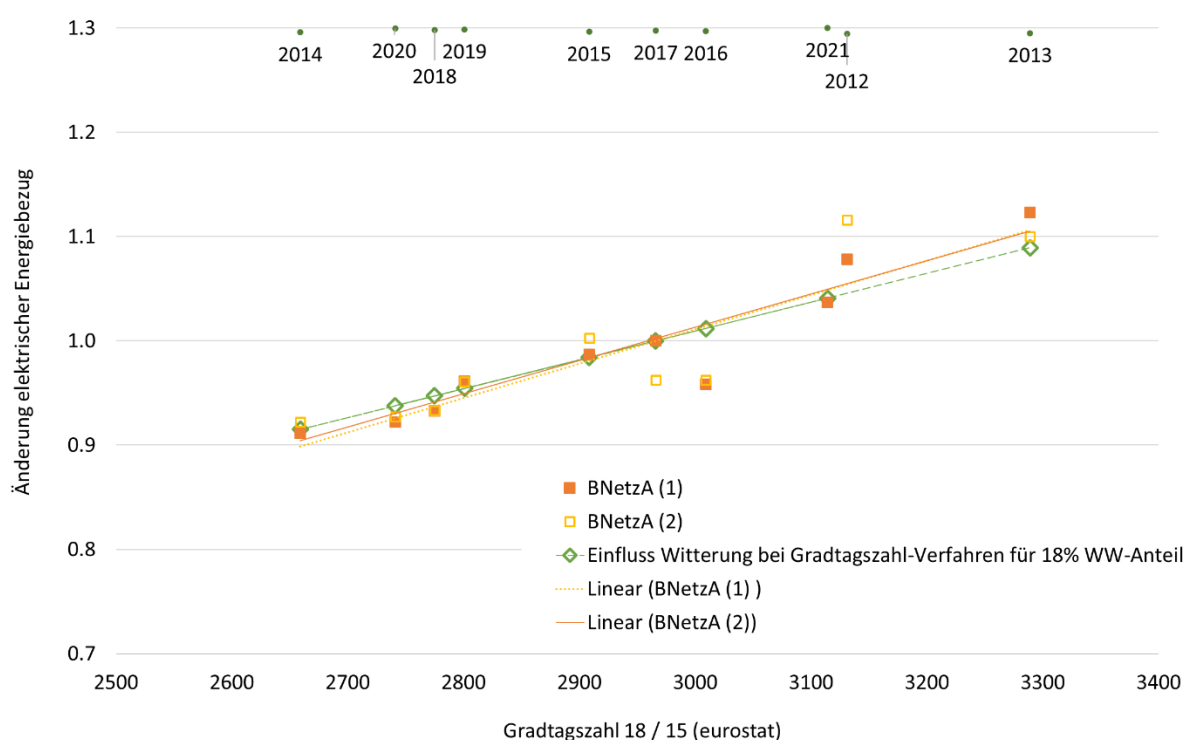
Die Trendfunktion durch die relative Abnahmemenge je Zählerpunkt (Bezugsjahr 2017) liegt nahe an der Kennlinie des berechneten Witterungseinflusses auf den Wärmeverbrauch. In den meisten Jahren liegen die Werte der relativen mittleren Abnahmemenge je Zählerpunkt im Bereich um +/- 25% um die gewählte Kennlinie des Witterungseinflusses. Höhere Unterschiede liegen - für beide Angaben der BNetzA – im Jahr 2016 vor: Während die Witterungskorrektur bei +1% beträgt, liegt die Abnahmemenge -4% unter dem Bezugsjahr. Auch die Detailbetrachtung des Verlaufes der Außenlufttemperaturen über das Jahr legt keine Erklärung für die aus dem Trend abweichenden Daten für das Jahr 2016 nahe. Es wird vermutet, dass ein Fehler bei den Daten vorliegt. Im Jahr 2012 liegen die Unterschiede auch etwas höher als im Mittel: Während die Witterungskorrektur bei +5% beträgt, liegt die Abnahmemenge +8% (1) bzw. 12% (2) über dem Bezugsjahr. Dies könnte damit zusammenhängen, dass dies das Jahr mit den kältesten Tagen im Winter war, in dem vermutlich häufiger der Heizstab eingesetzt wurde als in anderen Jahren. Die Gesamt-Effizienz der Anlage wäre in dem Jahr nicht nur wegen der geringeren Effizienz des Wärmepumpengerätes aufgrund niedriger mittlerer Außenlufttemperatur (und höherer Senktemperatur) in der Heizperiode geringer, sondern auch wegen der geringeren Effizienz während des Heizstabbetriebes. Zudem zeigt die Angabe BNetzA(2) in den Jahren 2017 ebenfalls einen deutlichen Unterschied zur Witterungskorrektur-Kennlinie. Die Angaben

⁶⁹ Der Anteil von 18% wurde in Anlehnung an die Wärmepumpen-Feldtests WPsmart und WP Effizienz vorgenommen. Günther et al. (2020); Miara et al. (2011)

BNetzA(1) stimmen in dem Jahr jedoch gut mit der Witterungskennlinie überein. Von einigen Ausreißern abgesehen, gibt somit die gewählte Kennlinie des Witterungseinflusses auf den Wärmeverbrauch die Änderungen im Elektroenergiebezug je Zählerpunkt gut wieder.

Für das AGEE-Stat Modell ist nicht der Witterungseinfluss auf den Bezug elektrischer Energie von Relevanz, sondern der Einfluss auf die mittels Wärmepumpen aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie. Änderungen der Witterung über den Pfad der Beeinflussung des Raumwärmeverbrauches bewirken die gleiche relative Änderung der aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie wie des elektrischen Energiebezuges. Auch wenn die Elektroenergieverbrauchswerte gut mit dem Ansatz zur Witterungsbereinigung über den Pfad des Raumwärmeverbrauches zusammenpassen, so ist davon auszugehen, dass (in den Jahren unterschiedlich ausgeprägter) Einfluss über den Pfad der Effizienzänderung besteht. Demnach würde die reale Änderung aufgrund der Wärmeverbrauchsänderung geringer ausfallen als in der Korrekturfunktion hierfür angesetzt. Die Abschätzung der Anteile der beiden Einflusspfade ist für die Übertragung der Monitoringdaten hinsichtlich des elektrischen Energiebezuges auf die Gewinnung erneuerbarer Energie von Bedeutung.

Abbildung 35: Änderungen der mittlere Abnahmemenge je Zählerpunkt Wärmepumpe im Zeitraum 2012 bis 2021 bezogen auf das Jahr 2017



Legende:

BNetzA (1): berechnet aus Abnahmemenge und Zählerpunktanzahl

BNetzA (2): Angabe in Monitoringbericht

Die gute Übereinstimmung der Änderungen im Elektroenergiebezug je Zählerpunkt mit der gewählten Kennlinie des Witterungseinflusses auf den Wärmeverbrauch würde im Umkehrschluss bedeuten, dass sich die Zusammensetzung der an den Zählerpunkten angeschlossenen Wärmepumpenanlagen hinsichtlich Art der Wärmequelle, nominaler Effizienz, Einsatzbereich, u.a. nicht signifikant geändert hat. Die Zählerpunkte haben sich zwischen 2012

und 2020 (2021) von 0,33 Millionen auf 0,56 (0,78) Millionen um 70% erhöht (mehr als verdoppelt). Es liegt die Vermutung nahe, dass im Zuge der Erhöhung der Zählerpunkte der Anteil an Luft/Wasser-Wärmepumpen gestiegen ist. Es zeigt sich in der Gegenüberstellung der BNetzA-Daten, der Gradtagszahl und der Jahre keine zeitliche Abhängig der Unterschiede zwischen der Änderung der relativen Abnahmemenge je Zählerpunkt gegenüber der gewählten Kennlinie zur Witterungsbereinigung.

In Abbildung 36 wird die relative Abnahmemenge je Zählerpunkt der Änderung des mittleren Elektroenergiebezuges je Wärmepumpe des AGEE-Stat Modells gegenübergestellt. Hierbei wird die Summe der Luft/Wasser-, Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen berücksichtigt. Der Betrachtungszeitraum umfasst wie zuvor die Jahres 2012 bis 2021. Im AGEE-Stat Modell wird die Änderung in der Zusammensetzung des Wärmepumpenbestandes berücksichtigt. Die Änderungen der Witterung fließen in das Modell nicht ein. Der mittlere Energiebezug elektrischer Energie je Wärmepumpe verringert sich von Jahr zu Jahr um im Mittel 1,5%. Überblick der Haupteinflüsse auf die Änderung des mittleren Energiebezuges im Modell:

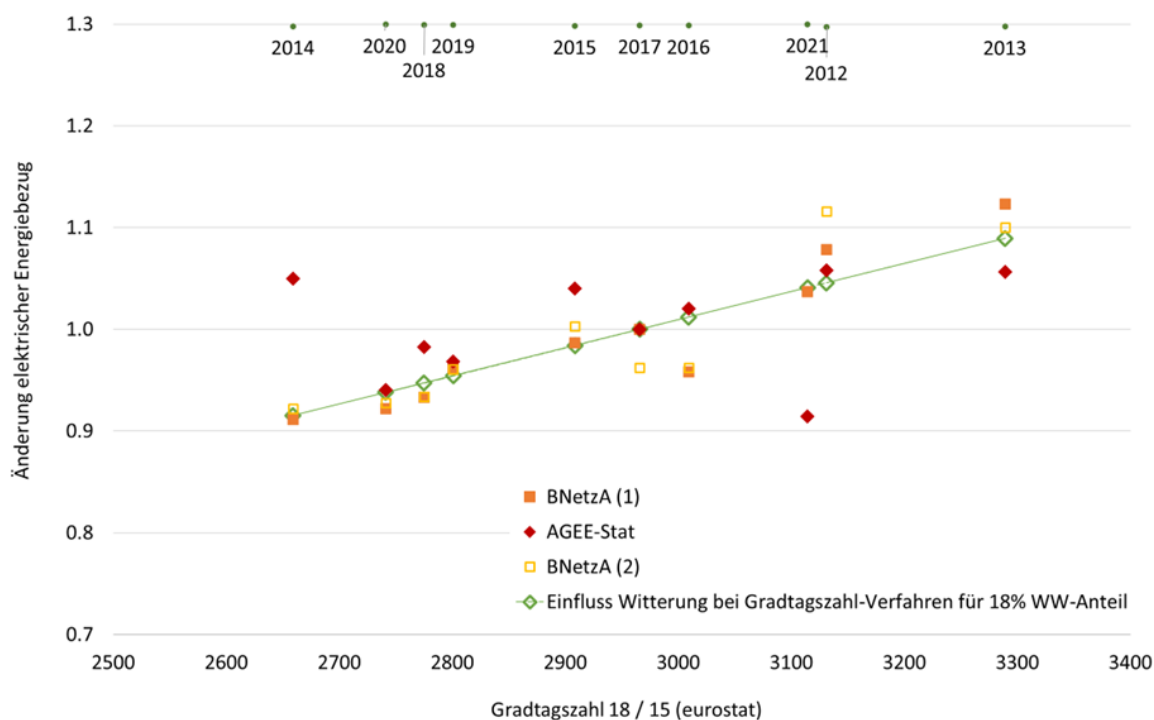
- ▶ Die mittlere Effizienz der Luft/Wasser-Wärmepumpen erhöht sich von Jahr zu Jahr um im Mittel 1%. (Sole/Wasser und Wasser/Wasser-Wärmepumpen um 0,5%)
-> Senkender Effekt auf den mittleren Energiebezug
- ▶ Die mittlere Leistung der Luft/Wasser-Wärmepumpen sinkt im Mittel jährlich um 2% (Sole/Wasser um weniger als 1%, Wasser/Wasser-Wärmepumpen um weniger als 0,5%)
-> Senkender Effekt auf den mittleren Energiebezug
- ▶ Der Anteil der Luft/Wasser-Wärmepumpen steigt im Mittel jährlich um 4%.
-> Steigender Effekt auf den mittleren Energiebezug

Vergleichende Gegenüberstellung der Ergebnisse des AGEE-Stat Modells und der Daten der BNetzA:

- ▶ AGEE-Stat Modell: Der Einfluss der Änderung des Anteils an Luft/Wasser-Wärmepumpen alleine bewirkt eine jährliche mittlere Erhöhung des mittleren Energiebezuges je Wärmepumpe um 0,5%.
- ▶ Annahme: Die Zusammensetzung der Gerätetypen im Bestand ist der zuverlässigste Eingangsparameter.
- ▶ Wenn sich aus der Gegenüberstellung der BNetzA mit den Daten der Witterung ableiten ließe, dass sich der mittlere Energiebezug der Wärmepumpen (Mittel über den gesamten Bestand) nach Witterungsbereinigung in den letzten Jahren nicht geändert hat, müsste in der Konsequenz die mittlere Effizienz der Wärmepumpen weniger steigen und/oder die mittlere Menge bereitgestellter Wärme (abgebildet über den konstanten Wert der Betriebsstundenäquivalent und der veränderlichen Wert der nominalen Leistung) sich weniger verringern. Um an dieser Stelle nicht näher ins Detail zu gehen, werden beide Modelleingangsdaten zusammen als blackbox betrachtet. Die jährliche Reduktion des mittleren Energiebezuges je Wärmepumpe zeigen in den Daten der BNetzA einen schwächeren Trend als im AGEE-Stat Modell
- ▶ Die Autor*innen der vorliegenden Studie empfehlen,

- in einer Folgestudie die beschriebene Diskrepanz näher zu betrachten und mögliche Ursachen herauszuarbeiten
- den Vergleich der Ergebnisse des AGEE-Stat Modells und der Daten der BNetzA in den Folgejahren stetig fortzuführen. Die BNetzA-Daten sind eine hinreichende Quelle zur Plausibilisierung der Ergebnisse des AGEE-Stat Modells

Abbildung 36: Änderungen der mittlere Abnahmemenge je Zählerpunkt Wärmepumpe im Zeitraum 2012 bis 2021 bezogen auf das Jahr 2017 sowie Änderung des elektrischen Energiebezuges berechnet mit dem AGEE-Stat Modell für den genannten Zeitraum



8.6 Empfehlung

Heizungswärmepumpen

Die Auswertung der Betriebsstundenäquivalente im Feld (vgl. Kapitel 7.2) macht deutlich, dass in der Praxis eine sehr große Bandbreite der Auslegungen der Wärmepumpengeräte vorherrscht. Die Abschätzung eines Mittelwertes der Betriebsstundenäquivalente ist demzufolge mit einer hohen Unschärfe verbunden, demgegenüber der Einfluss der jährlichen Schwankungen der Wetterbedingungen untergeordnet erscheint. Und vor der Unschärfe, welche die Festlegung der mittleren JAZ sowie anderen Eingangsparameter in die AGEE-Stat Statistik mit sich bringen, erscheint auch die witterungsabhängige Änderung der Jahresarbeitszahl für die Gesamtmenge der mit Wärmepumpen gewonnen erneuerbaren Energie untergeordnet. Inwiefern es für die Berichterstattung jedoch von Interesse, ungeachtet der Unschärfe der Größenordnung der ermittelten erneuerbaren Energiemenge jährliche Schwankungen in der Berichterstattung darzustellen, kann von den Autor*innen der vorliegenden Studie nicht beurteilt werden.

Falls eine Berücksichtigung – bspw. zur Vergleichbarkeit der Methodik mit anderen Wärmeerzeugern – notwendig erscheint, könnte auf eine Witterungsbereinigung über die Gradtagszahl zurückgegriffen werden. Hierzu wird im Folgenden ein Ansatz vorgestellt. Dieser Ansatz berücksichtigt sowohl den Einfluss der Witterung auf den Wärmebedarf als auf die Effizienz der Wärmepumpe. Der dargestellte Ansatz ist einfach umsetzbar, jedoch lässt sich hiermit nur ein statistischer Zusammenhang (mit einer geringen Signifikanz) abbilden. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika in der Häufigkeitsverteilung der Witterungsbedingungen, dem Nutzerverhalten und anderer Einflüsse können die realen Auswirkungen auf den Wärmepumpenbetrieb in Jahren mit einer vergleichbaren Gradtagszahl unterschiedlich ausfallen (vgl. Kapitel 8.4). Auch werden Effekte, die bei sehr extremen Kälteperioden auftreten, nicht berücksichtigt. Der Nutzereinfluss der Bewohner dämpft die Zunahme des Wärmebedarfs bei extrem niedrigen Temperaturen; bspw. aufgrund unterdurchschnittlichen Fensteröffnungszeiten oder Reduzierung der Raumtemperatur. Gleichzeitig steigt die Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen nicht im gleichen Maße wie der Wärmebedarf, da bei niedrigen Außenlufttemperaturen der Deckungsbeitrag des Heizstabes bzw. Kessels steigt. Um diese Effekte zu berücksichtigen, ist eine Erweiterung des Ansatzes zur Berücksichtigung der Witterung notwendig.

Berechnungsansatz:

$$E_{RES} = f_{wa,q} * H_{HP} * P_{rated} * (1 - \frac{1}{SPF_{wa}}) \quad (3)$$

$$f_{wa,q} = \frac{(f_{HDD} + f_{dwh,vs,sh})}{(1 + f_{dwh,vs,sh})} \quad (4)$$

$$f_{HDD} = \frac{HDD_i}{HDD_{ref}} \quad (5)$$

$$f_{dwh,vs,rh} = \frac{Q_{usable,dwh}}{Q_{usable,sh}} \quad (6)$$

$$SPF_{wa} = \frac{SPF}{(1 - f_{dwh,vs,tot}) * \frac{1}{f_{wa,SPF,rh}} + f_{dwh,vs,ges} / f_{SPF,dwh,vs,rh}} \quad (7)$$

$$f_{dwh,vs,tot} = \frac{f_{dwh,vs,rh}}{(1 + f_{dwh,vs,rh})} \quad (8)$$

$$f_{wa,SPF,rh} = (n * (-f_{HDD} + 1) + 1) \quad (9)$$

Dabei sind:

- $f_{wa,q}$: Korrekturfaktor zur Witterungsbereinigung unter Berücksichtigung des Einflusses auf den Wärmebedarf (bzw. auf die Betriebsstundenäquivalent)
- f_{HDD} : Verhältnis der Gradtagszahl im jeweiligen Jahr zu den Gradtagszahl im Referenzjahr
- HDD_i : Gradtagszahl im jeweiligen Jahr i
- HDD_{ref} : Gradtagszahl im Referenzjahr
- H_{HP} : die äquivalenten Jahresbetriebsstunden

- $f_{dwh,vs,rh}$: Verhältnis der Wärmenutzung zur Trinkwassererwärmung zur Wärmenutzung zur Raumheizung mit 0,22⁷⁰
- $Q_{usable,sh}$: Wärmenutzung zur Raumheizung
- $Q_{usable,dwh}$: Wärmenutzung zur Trinkwassererwärmung
- $f_{wa,SPF,rh}$: Korrekturfaktor zur Witterungsbereinigung unter Berücksichtigung des Einflusses auf die Effizienz zur Raumheizung
- $f_{SPF,dwh,vs,rh}$: Verhältnis SPF Trinkwassererwärmung zu SPF Raumheizung mit 0.8⁷¹
- n : 0,7 für Luft/Wasser-Wärmepumpe und 0,2 für Sole/Wasser-Wärmepumpe⁷²

Weitere Parameterbezeichnungen siehe Kapitel 3.2

Als Quelle für die jährlichen Gradtagszahlen in Deutschland könnte die Datenbank von Eurostat verwendet werden.

Brauchwasserwärmepumpen

Bei Brauchwasser-Wärmepumpen besteht kein quantitativ bedeutender Einfluss der jährlichen Schwankungen der Wetterbedingungen auf das Betriebsstundenäquivalent und die Effizienz. Die Wärmenutzung (Warmwasser) ist nicht und die Wärmequelle – über alle Anlagen hinweg betrachtet - nur in geringem Maße beeinflusst. Als Wärmequelle verwenden die Brauchwasser-Wärmepumpen oftmals Raumluft (i.d.R. ein Kellerraum) und Abluft, vgl. Kapitel 4.2.2.

⁷⁰ Das Verhältnis $f_{dwh,vs,rh}$ von 22% wird in Anlehnung an die Wärmepumpen-Feldtests WPsmart und WP Effizienz angesetzt. Günther et al. (2020); Miara et al. (2011)

⁷¹ Das Verhältnis von 0.8 wird in Anlehnung an eine interne Auswertung von 29 Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen angesetzt, die im Monitoringprojekt „WPsmart im Bestand“ (Einfamiliengebäude) vermessen wurden.

⁷² Die Faktoren sind eine grobe Näherung für den Einsatzfall der WP mit Fußbodenheizungen. Die Faktoren wurden aus einer einfachen Modell-Berechnung der JAZ für die Witterungsbedingungen der Jahre 2012 bis 2021 am Standort Potsdam abgeleitet. Unter Annahme einer höheren Heizkreistemperatur (65°C bei nominaler Außenlufttemperatur) ergibt die Modellberechnungen mit 0,9 bzw. 0,6 einen höheren Abhängigkeitsfaktor.

9 Prognose der Marktentwicklung

9.1 Marktentwicklung

Bei der Zahl der verkauften Wärmepumpen setzt sich das hohe Wachstum des Vorjahres von gut 50% im Jahr 2023 fort. Nach (BWP, 2024a) wurden 2023 insgesamt ca. 356.000 Heizungswärmepumpen abgesetzt, was einem Wachstum von 51% gegenüber 2022 entspricht. Dominiert wird der Markt weiterhin von Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem Absatz von 330.000 Geräten (+57 % ggü. 2022). In diesem Segment haben Split-Geräte ein Wachstum von 15 % auf 79.000 verkaufte Einheiten und Monoblockgeräte ein Wachstum von 78 % auf 251.000 verzeichnet. Bei Sole/Wasser-Wärmepumpen ist der Absatz hingegen stagniert (23.000 Geräte; - 1 % ggü. 2022). Damit hat sich der Marktanteil von Luft/Wasser-Wärmepumpen weiter erhöht und erreichte 93 % (nach 87 % im Jahr 2022), wohingegen der Anteil der erdgekoppelten und sonstigen Systeme folglich von 14 % auf nunmehr 7 % gesunken ist. Neben den Heizungs-Wärmepumpen wurden 2023 82.500 Brauchwasserwärmepumpen verkauft, was einem Anstieg von 81 % ggü. 2022 entspricht. (BWP, 2024a)

Diese positive Entwicklung der Absatzzahlen erstreckte sich nicht über das ganze Jahr. Im ersten Halbjahr 2023 ging der Absatz sprunghaft nach oben – mit Zuwächsen von rund 100 % gegenüber dem Vorjahr. Die Investitionsentscheidungen sind hier u.a. vom russischen Angriffskrieg auf die Ukraine beeinflusst. Seit Juni 2023 war der Trend beim Absatz rückläufig und im Dezember war der Rückgang besonders ausgeprägt. Die Debatte um das Gebäudeenergiegesetz und den künftigen Förderrahmen hemmten den Markt. In dem ersten Halbjahr 2024 verfestigte sich der Wärmepumpenabsatz bei rund 15.000 je Monat und damit auf halben Nivea im Vergleich zum Vorjahr. Der BWP verweist darauf, dass der Großhandel noch Lagerbestände an Wärmepumpen auslieferte, die sich im Vorjahr aufgrund der sinkenden Abnahme gefüllt hatten. (BWP, 2024b), (Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie [BDH], 2024a)

Der starke Anstieg der Verkaufszahlen von Wärmepumpen in den letzten Jahren ist auf den zunehmenden Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand zurückzuführen. Im Jahr 2020 wurden erstmals mehr Geräte verkauft, die im Gebäudebestand installiert wurden, als Geräte, die im Neubau eingebaut werden (BWP, 2023). Und im Jahr 2024 kommen laut BWP vier von fünf verkauften Wärmepumpen in Bestandsgebäuden zum Einsatz (BWP, 2024b).

Der Gesamtabsatz an Wärmeerzeugern ist im Jahr 2023 gegenüber dem Vorjahr signifikant gestiegen. Es wurden 1,31 Mio. Wärmeerzeuger verkauft (+34% ggü. 2022). Neben den Wärmepumpen verzeichneten hierbei auch Gas- und Ölkessel einen Anstieg der Verkaufszahlen über 30%. Wärmepumpen stellen mit einem Anteil von 27% gut ein Viertel der verkauften Wärmeerzeuger dar. (BDH, 2024c)

Im Neubaubereich ist der Marktanteil von Wärmepumpen dominierend und naturgemäß weiterhin noch deutlich höher als im Gebäudebestand. So wurde bei den Baufertigstellungen von Ein- und Zweifamilienhäusern im Jahr 2023 für 69 % der Gebäude eine Wärmepumpe als primärer Wärmeerzeuger angegeben (61% im Jahr 2022). Auch bei Mehrfamilienhäusern ist der Anteil ansteigend - von 35% (2022) auf 41% (2023). (Destatis, 2024a)

Insgesamt sind damit nach Angaben des BDH 1,7 Mio. Heizungswärmepumpen im Jahr 2023 in Deutschland installiert (BDH, 2024b). Gleichwohl ist die Zahl der Wärmepumpensysteme im Verhältnis zu den 21,6 Mio. Heizungssystemen in Deutschland immer noch gering. Der Anteil beläuft sich auf 8%. Der größte Teil der installierten Wärmepumpen wurde erst in den vergangenen fünfzehn Jahren in Betrieb genommen. Nach Angaben des BWP lag die

Austauschquote neue Wärmepumpe gegen alte Wärmepumpe im Jahr 2022 noch unter 2 % bezogen auf den Gesamtabsatz und wird mit einer Steigerung auf etwa 5% im Jahr 2030 gerechnet (BWP, 2023).

„Durch die Bestimmungen der F-Gase-Verordnung sollen die Emissionen fluoriierter Treibhausgase (F-Gase) in der EU bis 2030 drastisch gesenkt werden⁷³. Hierzu wurde u. a. eine schrittweise Beschränkung (Phase-down) der am Markt verfügbaren Mengen an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen eingeführt.“ (Das SHK-Portal, 2021) Die Quotierung sieht eine stufenweise Reduktion der verfügbaren F-Gase angefangen von 2015 mit 100 % bis 2030 auf 21 % vor. Heute besteht noch ein Großteil der in Wärmepumpen eingesetzten Kältemittel aus Fluorkohlenwasserstoffen, insbesondere R410A und R407C (Bastian & Bühring, 2021), (Oltersdorf et al., 2022). Die Umstellung auf umweltfreundlichere Alternativen ist seit mehreren Jahren ein bedeutendes Thema in der Produktentwicklung. Der Einsatz von Propan hat in den letzten zwei, drei Jahren einen sprunghaften Anstieg verzeichnet. Im Jahre 2020⁷⁴ lag der Anteil der Wärmepumpen, die als Kältemittel Propan einsetzen, an den BAFA-geförderten Wärmepumpen bereits bei 8,2 % (Oltersdorf et al., 2022).

9.2 Technologietrends

Wie in der Vorgängerstudie (Born et al., 2017) werden Technologietrends unterschieden nach Trends, die sich aus der Energiewende und der Sektorkopplung ergeben, Trends aus der Digitalisierung und Trends aus der Wärmepumpentechnik beschrieben.

9.2.1 Energiewende

Vor dem Hintergrund der Energiewende werden folgende Trends identifiziert:

- ▶ Zentrale Technik zur Kopplung des Wärme- und Stromsektors: alle Studien zur Energiewende gehen von einer dominanten Rolle der Wärmepumpen in einem zukünftigen, auf fluktuierende erneuerbare Energien basierenden Energiesystem aus.
- ▶ Im Projekt ‘Renewable Space Heating under the Revised Renewable Energy Directive. ENER/C1/2018-494’ kommt der Autor in einem Beitrag zur REHVA Brussels Summit, 4 November 2021 als Ergebnis der betrachteten Entwicklungsszenarien zu einer klaren Aussage, für "robuste Strategien für alle Szenarien", mithin Umsetzungsempfehlungen für Maßnahmenpakete, mit denen die Klimaschutzziele im Gebäudebereich erreicht werden können:
 - Gebäudesanierung
 - Umrüstung der Wärmeversorgung auf Wärmepumpen
 - Weitestmögliche Installation von Fernwärmenetzen in dafür geeigneten Gebieten
 - ein zumindest teilweiser, wenn nicht gar vollständiger Ausstieg aus der Gasverbrennung - selbst in den Szenarien mit E-Kraftstoff und H₂ geht der (E-)Gasbedarf gegenüber heute stark zurück

Für die Wärmepumpen der Zukunft bedeutet es die Ausrichtung an einem weitgehend durch energetische Sanierung reduzierten Gebäudeenergiebedarf und darüber hinaus aber auch

⁷³ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase#phase-down-verfahren>

⁷⁴ Berücksichtigt wurde hier das Datum der Inbetriebnahme

der Einsatz in schlecht energetisch sanierbaren Gebäuden sowie der beginnende und mittelfristig zunehmende Einsatz von Großwärmepumpen bei der Fernwärmeversorgung. (Kranzl, 2021)

- ▶ Wenn Wärmepumpen die erwartete Rolle für die Energiewende übernehmen sollen, müssen sie massentauglich und komfortabel bei Installation (einfacher) und Betrieb sowie günstiger werden; diese Punkte sind auch zentral für die Technologieentwicklung
- ▶ Die Lehrinhalte in der Aus- und Weiterbildung im SHK-Gewerk muss deutlich stärker auf die Installation von Wärmepumpen statt fossil-befuerter Wärmeerzeuger ausgerichtet werden. Ggf. ist eine Trennung der Inhalte in verschiedenen Fachdisziplinen mit unterschiedlichem Anspruch an technisches Verständnis zu erwägen, um dem Fachkräfteangebot gerecht zu werden.
- ▶ Aufgrund des anhaltenden Fachkräftemangels und stark steigenden Bau- und Sanierungskosten wird in aktuellen Szenarienrechnungen meist eine geringere Sanierungsrate (<2%) ermittelt als in Szenarienrechnungen – entsprechend der politischen Zielsetzungen – in der letzten Dekade (oft >2%) der Fall war. Wenn Wärmepumpen trotzdem im Bestand umfangreich eingesetzt werden sollen, müssen Wärmepumpen für den Betrieb in un- und teilsanierten Gebäuden weiterentwickelt werden (z.B. Hochtemperatur-Wärmepumpen) bzw. niederschwellige Maßnahmen ergriffen werden, die den effizienten Einsatz im Bestand ermöglichen (z.B. durch selektiven Heizkörpertausch)
- ▶ Smart-Grid Schnittstelle: Schaltung von Energieversorgern, Nutzung von Überschussstrom, Nutzung von Eigenstrom
- ▶ Konversion Fernwärmenetze (Niedertemperaturnetze, Kalte Fernwärme)

9.2.2 Digitalisierung

Im Zuge der Digitalisierung im Handwerk und Smart Home zeichnen sich folgende Trends ab:

- ▶ Schnellere und bessere Installation durch Unterstützung mittels digitaler Methoden (u.a. durch Augmented Reality und Virtual Reality: diese können auch für Schulungen genutzt werden)
- ▶ Unterstützung durch digitale Methoden bei der Bestandserfassung haustechnischer Anlagen und Anlagenplanung (u.a. durch Bilderkennungsverfahren und Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens)
- ▶ Ermöglichung niederschwelliger Planungsmethoden, die dort zum Einsatz kommen, wo bisher oftmals gar keine fachmännische Planung erfolgte (z.B. Austausch von Kesseln in Ein- und Zweifamilienhäusern)
- ▶ V.a. bezüglich Aspekten der Kundinnen- und Kundenansprache und -akquise, Angebotserstellung und Kommunikationsabläufen zwischen Kundinnen und Kunden, Liefernden und Auftraggebenden

- ▶ Digitale Informationsbereitstellung seitens Hersteller und Großhandel (insbesondere für Handwerksbetriebe und Planende)
- ▶ Endkunden: Smart Home Anwendungen; Steuerung Wärmepumpen und Heizungsanlagen über Smartphone/ Tablet/ ...
- ▶ Einbindung in Energiemanagementsysteme/ Systeme zur Gebäudeautomation (u.a. Regelung zur Maximierung des Eigenverbrauchs bei Nutzung von PV und ggf. Batteriespeichern); Schnittstellen
- ▶ Monitoring und Betriebsoptimierung, automatische Fehlererkennung, selbstlernende Systeme; Qualitätssicherung

9.2.3 Technologieentwicklung

Es wird erwartet, dass die Technologieentwicklung u.a. folgende Gesichtspunkte in den Fokus nimmt:

- ▶ Erschließung neuer Wärmequellen: Abwärme, Abwasser, Solarthermie-/ PVT-Kollektoren
- ▶ Höhere Temperaturen für industrielle Anwendungen
- ▶ Entwicklungen, um die Bedeutung der Wärmepumpen auch in bestehenden Gebäuden stark zu steigern (zentraler Markt der Zukunft ist die Gebäudesanierung und damit der Austausch/ die Erneuerung von Heizungen)
- ▶ der Einsatz von Großwärmepumpen und quantitativ zunehmend relevante Zuwächse und Verschiebungen hin zu größeren Leistungsklassen, für Mehrfamilienhäuser (ab 50 kW bis mehrere hundert kW) und bei „richtigen“ Großwärmepumpen für die Versorgung von Wärmenetzen und industriellen Prozesse weit im Megawattbereich. Im Anhang A.4 sind aktuelle Beispiele für den Einsatz von Großwärmepumpen dargestellt.
- ▶ Schallemissionen/ leise (Luft)Wärmepumpen
- ▶ Kältemittel mit geringem Treibhauspotenzial und damit einhergehende Anpassungen / Entwicklungen von Komponenten und Kältekreisen (Dies bindet bei den Herstellern derzeit viele Kapazitäten, so dass andere Technologieentwicklungen in den Hintergrund rücken könnten. Neue Kältemittel werden teilweise auch mit erweiterten Einsatzbereichen einhergehen; bspw. ermöglicht Propan höhere Heizkreistemperaturen, die auch für die Trinkwassererwärmung in Mehrfamilienhäusern ausreichend sein könnten.)
- ▶ Besseres Design von Wärmepumpen: zwei Trends erkennbar; (i) Wärmepumpe (inklusive Außeneinheit) schön gestalten und als Gestaltungselement im Außenraum nutzen (bewusst exponieren) oder (ii) möglichst unscheinbar gestalten und an die Umgebung anpassen („unsichtbar machen“)
- ▶ Aufgrund der derzeit vielfältigen, anderweitigen Forschungsansätze wird in Frage gestellt, ob die weitere Steigerung der Gesamteffizienz der Wärmepumpe (bezogen auf das Gerät, wie Norm-COP) derzeit ein zentrales Thema in der Wärmepumpenforschung darstellt;

gleichzeitig ist jedoch festzuhalten, dass sich Entwicklungen im Bereich der Digitalisierung gleichwohl positiv auf die Geräte- wie die Systemeffizienz auswirken können und sollen. Offenbar sorgt auch der Umstieg auf natürliche Kältemittel (Propan) für einen Anstieg der COP-Werte. (Verordnung (EU) 2017/2010, 2017)

10 Quellenverzeichnis

- Ahrendts, F., Drechsler, B., Hendricks, J., Küpper, J., Lang, S., Peil, T., Scholz, D., Timofeeva, E., Utri, M., Weidinger, L., Kraus, A., Weiß, U. & Müller, S. (2023). *Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland: Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie*. Studie. Agora Energiewende.
<https://doi.org/10.24406/publica-1440>
- Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (Hrsg.). (2020). *Marktübersicht Gaswärmepumpen 2020: Gasmotorwärmepumpen, Gassorptionswärmepumpen und Neue Technologien*. https://mainkinziggas.de/images/file/ASUE_Marktuebersicht-Gaswaermepumpen_2020.pdf
- Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik. (2023). *Input-Zeitreihen und Output-Zeitreihen der Berechnungsmatrix der AGEE-Stat*. nicht veröffentlicht. bereitgestellt per email am 12. März 2024.
- Arpagaus, C. (2019). *Hochtemperatur-Wärmepumpen: Marktübersicht, Stand der Technik und Anwendungspotenziale*. VDE Verlag.
- Arpagaus, C., Berthold, M. & Eschmann, M. (2019). *Bericht «Messung der Effizienz der Trinkwassererwärmung bei Wärmepumpenanlagen im Feld»: Feldmessungen Wärmepumpen-Anlagen 2015-2018 (Auswertung verlängert bis Dez. 2019)*.
https://www.ost.ch/fileadmin/dateiliste/3_forschung_dienstleistung/institute/ies/wpz/sonstige_wichtige_dokumente/2018_jahresbericht_trinkwassererwaermung.pdf
- Bastian, M. & Bühring, A. (2021). Was bringen die neuen Kältemittel? *SBZ Sanitär.Heizung.Klima*(16).
<https://www.sbz-online.de/heizung/waermepumpen-neu-denken-was-bringen-die-neuen-kaeltemittel>
- BFE - Bundesamt für Energie (Hrsg.) (2006). *Potenziale von Groß-Wärmepumpen besser nutzen: - Konzeption, Anwendungen, Kundensicht*. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/5629>
- Born, H., Schimpf-Willenbrink, S., Lange, H., Bussmann, G. & Bracke, R. (2017). *Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes: - Bestandsaufnahme und Trends -*. 2. Aktualisierung der Studie. Internationales Geothermiezentrum (GEZ); Hochschule Bochum.
<https://www.ieg.fraunhofer.de/content/dam/ieg/deutsch/dokumente/veroeffentlichungen/Analyse%20des%20deutschen%20Waermepumpenmarktes%202017.pdf>
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.). (2019). *Erneuerbare Energien: Wärmepumpen mit Prüfnachweis*.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.). (2020). *Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis: Heizen mit Erneuerbaren Energien*.
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee_waermepumpen_anlagenliste_bis_2020.pdf
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Hrsg.). (2022). *Bundesförderung für effiziente Gebäude: Förderprogramm im Überblick*.
https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html
- Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG) (2020). <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/>
- Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit (Hrsg.). (2024, 15. Juli). *Referentenentwurf Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Entwurf eines Gesetzes zur Umsetzung von Vorgaben der Richtlinie (EU) 2023/2413 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Oktober 2023 zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus*

erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates für Zulassungsverfahren nach dem Wasserhaushaltsgesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz.

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Glaeserne_Gesetze/20_Lp/ee-richtlinie_wasserzulassung/Entwurf/reife_ee-richtlinie_wasserzulassung_bf.pdf

Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie. (2024a). *Absatz Wärmepumpen in Deutschland Januar–September 2024* [Pressemitteilung]. https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Infografik_Marktentwicklung_WP_2024_01-09_102024_CMYK.pdf

Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie. (2024b). *Gesamtbestand zentraler Wärmeerzeuger in Deutschland 2023* [Pressemitteilung]. https://www.bdh-industrie.de/fileadmin/user_upload/Pressegrafiken/Infografik-Gesamtbestand-zentraler-Waermeerzeuger-DE-082024.jpg

Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie. (2024c). *Heizungsindustrie: Rekordabsatz in turbulentem Marktumfeld* [Pressemitteilung]. <https://www.bdh-industrie.de/presse/pressemitteilungen/artikel/heizungsindustrie-rekordabsatz-in-turbulentem-marktumfeld>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2009). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2009*. <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/branchenstatistik-2009-bundesverband-waermepumpe-praesentiert-aktuelle-absatzzahlen>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2010). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2010*. <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/waermepumpen-absatzzahlen-fuer-2010-der-markt-konsolidiert-sich>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2011). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2011*. <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/waermepumpen-absatz-steigt-2011-um-118-gegenueber-vorjahr>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (Aug 2011). *BWP-Branchenstudie 2011: Szenarien und politische Handlungsempfehlungen*. Daten zum Wärmepumpenmarkt bis 2010 und Prognosen bis 2030.

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2012). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2012*. <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/absatzzahlen-2012-70000-neue-waermepumpen-in-deutschland-installiert>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2013). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2013*. <https://www.waermepumpe.de/presse/news/details/absatzzahlen-2013-waermepumpen-markt-trotzt-hohen-strompreisen>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2014). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2014*. https://www.waermepumpe.de/uploads/media/Tabelle_Absatzzahlen_2014.jpg

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2015). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2015*. https://www.waermepumpe.de/uploads/media/Tabelle_Absatzzahlen_2015_neu.jpg

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2016). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2016*. https://www.waermepumpe.de/uploads/media/Tabelle_Absatzzahlen_2016.jpg

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2017). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2017*. https://www.waermepumpe.de/uploads/media/2018-01_AbsatzzahlenWP_2017.jpg

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2018). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2018*. <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/bwp-marktzahlen-2018-nachhaltiges-wachstum-mit-luft-nach-oben-deutliches-signal-fuer-die-politik>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2019). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2019*.
https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/Tabelle_AbsatzzahlenWP_2019.jpg

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (Hrsg.). (2020). *Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2020*.
https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/Tabelle_AbsatzzahlenWP_2020.jpg

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2020). *Wärmepumpenabsatz 2019: Leichtes Wachstum bei schwungvollem Start und zunehmender Zurückhaltung* [Pressemitteilung].
<https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/waermepumpenabsatz-2019-leichtes-wachstum-bei-schwungvollem-start-und-zunehmender-zurueckhaltung/>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2021). *Absatzzahlen Wärmepumpen: Daten nach Leistungsgruppen, E-Mailauskunft vom 06.10.2021*.

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2022a). *Absatzzahlen Wärmepumpen: Spezifikation der Gruppeneinteilung, E-Mailauskunft vom 04.04.2022*.

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2022b). *Starkes Wachstum im Wärmepumpenmarkt* [Pressemitteilung].
<https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/starkes-wachstum-im-waermepumpenmarkt/>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2023). *Branchenstudie 2023: Marktentwicklung - Prognose – Handlungsempfehlungen*.
https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/BWP_Branchenstudie_2023_DRUCK.pdf

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2024a). *Rekordabsatz: Wärmepumpenbranche beweist Leistungsfähigkeit trotz unsicherer Aussichten* [Pressemitteilung].
<https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/rekordabsatz-waermepumpenbranche-beweist-leistungsfahigkeit-trotz-unsicherer-aussichten/>

Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2024b). *Wärmepumpenbranche verzeichnet Marktstabilisierung* [Pressemitteilung].
<https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/waermepumpenbranche-verzeichnet-marktstabilisierung/>

Cischinsky, H. & Diefenbach, N. (2018). *Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016: Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand*. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU).
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngebäudebestand-2016.pdf

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) (2003). *Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung* (DIN V 4701-10).

ENGIE Refrigeration GmbH. (2018). *CO₂-Kältemaschinen und CO₂-Hochtemperaturwärmepumpen*.
https://www.engie-refrigeration.de/content/documents/DE/Broschueren/thermeco2/DE_Folder_thermeco_Waermepumpen_web.pdf

Erb, M., Hubacher, P. & Ehrbar, M. (April 2004). *Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003: Schlussbericht*. https://www.fws.ch/wp-content/uploads/2018/06/FAWA_Schlussbericht.pdf

Eschmann, M. (2009). *WPZ-Bulletin: Ausgabe 01-2009*. Informationsblatt des Wärmepumpen-Testzentrums Buchs.

- Eschmann, M. (2013). *Qualitätssicherung von Kleinwärmepumpen und statistische Auswertung der Prüfergebnisse 2012: Jahresbericht*. Bundesamt für Energie (BFE).
<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/7094>
- Eschmann, M. (2014). *Qualitätssicherung von Kleinwärmepumpen und statistische Auswertung der Prüfergebnisse 2014: Jahresbericht*. Bundesamt für Energie (BFE).
<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/7624>
- Eschmann, M. (2017). *Qualitätsüberwachung von Kleinwärmepumpen und statistische Auswertung der Prüfergebnisse 2017: Jahresbericht*. Bundesamt für Energie (BFE).
<https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9308>
- Eschmann, M. (2024a). *Prüfergebnisse Luft/Wasser-Wärmepumpen basierend auf der EN 14511 und EN 14825*.
<https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/systemtechnik/ies/wpz/pruefergebnisse-waermepumpen/>
- Eschmann, M. (2024b). *Prüfergebnisse Sole/Wasser-Wärmepumpen basierend auf der EN 14511 und EN 14825*.
<https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/systemtechnik/ies/wpz/pruefergebnisse-waermepumpen/>
- Eschmann, M. (2024c). *Prüfergebnisse Warmwasser-Wärmepumpen basierend auf der EN 16147*.
<https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/systemtechnik/ies/wpz/pruefergebnisse-waermepumpen/>
- Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2008 über die Energiestatistik (2008). <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1099/oj>
- Verordnung (EU) Nr. 844/2010 der Kommission vom 20. September 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Erstellung einer Reihe von jährlichen Atomenergie-Statistiken und der Anpassung der Verweise auf die Methodik an die NACE Rev. 2 (2010). <http://data.europa.eu/eli/reg/2010/844/oj>
- Beschluss der Kommission vom 1. März 2013 zur Festlegung von Leitlinien für die Mitgliedstaaten zur Berechnung der durch verschiedene Wärmepumpen-Technologien aus erneuerbaren Quellen gewonnenen Energie gemäß Artikel 5 der Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (2013).
[http://data.europa.eu/eli/dec/2013/114\(1\)/2013-03-06](http://data.europa.eu/eli/dec/2013/114(1)/2013-03-06)
- Delegierte Verordnung (EU) Nr. 811/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energiekennzeichnung von Raumheizgeräten, Kombiheizgeräten, Verbundanlagen aus Raumheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen sowie von Verbundanlagen aus Kombiheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen (2013). https://doi.org/10.3000/19770642.L_2013.239.deu
- Verordnung (EU) Nr. 147/2013 der Kommission vom 13. Februar 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von Aktualisierungen für die monatlichen und jährlichen Energiestatistiken (2013).
<http://data.europa.eu/eli/reg/2013/147/oj>
- Verordnung (EU) Nr. 814/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern, 56 Amtsblatt der Europäischen Union 162 (2013). <http://data.europa.eu/eli/reg/2013/814/oj>
- Verordnung (EU) Nr. 431/2014 der Kommission vom 24. April 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung

von jährlichen Statistiken zum Energieverbrauch in Privathaushalten (2014).

<http://data.europa.eu/eli/reg/2014/431/oj>

Verordnung (EU) 2017/2010 der Kommission vom 9. November 2017 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Aktualisierungen für die jährlichen und monatlichen Energiestatistiken (2017).

<http://data.europa.eu/eli/reg/2017/2010/oj>

Verordnung (EU) 2019/2146 der Kommission vom 26. November 2019 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von Aktualisierungen für die jährlichen, monatlichen und monatlich zu übermittelnden kurzfristigen Energiestatistiken (2019). <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/2146/oj>

Verordnung (EU) 2022/132 der Kommission vom 28. Januar 2022 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Energiestatistik hinsichtlich der Durchführung von Aktualisierungen für die jährlichen, monatlichen und monatlich zu übermittelnden kurzfristigen Energiestatistiken (2022). <http://data.europa.eu/eli/reg/2022/132/oj>

Mitteilung der Kommission Leitlinien zu Aspekten der Wärme- und Kälteversorgung gemäß den Artikeln 15a, 22a, 23 und 24 der Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen in der durch die Richtlinie (EU) 2023/2413 geänderten Fassung, Amtsblatt der Europäischen Union (2025).

Europäisches Parlament. (2023). *Parlament beschließt neue Regeln zur Förderung von Energieeinsparungen* [Pressemitteilung]. <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20230707IPR02421/parlament-beschliesst-neue-regeln-zur-forderung-von-energieeinsparungen>

Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (2018). <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/2018-12-21>

Richtlinie (EU) 2023/2413 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Oktober 2023 zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001, der Verordnung (EU) 2018/1999 und der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates (2023). <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>

European Heat Pump Association. (2022). *Large scale heat pumps in Europe: 16 examples of realized and successful projects*.

https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03._Media/03.02_Studies_and_reports/Large_heat_pumps_in_Europe_MDN_II_final4_small.pdf

Eurostat. (2023). *Heizgradtage und Kühlgradtage nach Land: Jährliche Daten*.

https://doi.org/10.2908/NRG_CHDD_M

Fleiter, T., Steinbach, J., Ragwitz, M., Arens, M., Aydemir, A., Elsland, R., Frassine, C., Herbst, A., Hirzel, S., Krail, M., Rehfeldt, M., Reuter, M., Dengler, J., Köhler, B., Dinkel, A., Bonato, P., Azam, N., Kalz, D., Toro, F. A., . . . Naegeli, C. (2016). *Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables): Work package 1: Final energy consumption for the year 2012*. European Commission directorate-general for energy.

https://energy.ec.europa.eu/publications/mapping-and-analyses-current-and-future-2020-2030-heatingcooling-fuel-deployment-fossilrenewables-1_en

Fleiter, T., Steinbach, J., Ragwitz, M., Dengler, J., Köhler, B., Dinkel, A., Bonato, P., Azam, N., Kalz, D., Toro, F. A., Gollmer, C., Reitze, F., Schön, M., Tuillé, F., Fovez, G., Lescot, D., Hartner, M., Kranzl, L., Müller, A., . . . Naegeli, C. (2016). *Mapping and analyses of the current and future (2020 - 2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables): Work package 2: Assessment of the technologies for the year 2012*. Final report. European Commission directorate-general for energy. <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-298456>

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.). (2022a). *Projekt-Verbund "LowEx-Bestand": Mehrfamilienhäuser nachhaltig beheizen – Projekt von Forschung, Heiztechnik-Herstellern und Wohnungswirtschaft*. <https://www.lowex-bestand.de/>
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.). (2022b). *SynPRO: Synthetische Leistungsprofile für Wohnen und Gewerbe*. <https://synpro-lastprofile.de/>
- Genkinger, A. & Afjei, T. (2014). *EU Ökodesign von Wärmepumpen: Eine Übersicht zum aktuellen Stand. Schlussbericht*. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/energieeffizienz/umgebungswaerme.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGJiYX/Rpb24vZG93bmVvYWQvNzY4Nw==.html>
- Goldberg, M., Witt, M. & Dyson, C. (2018). *Project 73 track D: Expected useful life (EUL) estimation for air-conditioning equipment from current age distribution: Results to date*. <https://ma-eeac.org/wp-content/uploads/Final-memo-on-P73-Track-D-EUL-estimation-results-to-date-v2.pdf>
- Günther, D., Miara, M., Langner, R., Helmling, S. & Wapler, J. (2014). „WP Monitor“ *Feldmessung von Wärmepumpenanlagen*. https://www.wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-monitor-plus/download/endbericht_wp_monitor.pdf
- Günther, D., Wapler, J., Luh, A., Helmling, S., Miara, M., Fischer, D., Zimmermann, D. & Wille-Hausmann, B. (2020). *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "WPsmart im Bestand" (Abschlussbericht)*. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf
- Heimrath, R. & Haller, M. (2007). *Project Report A2 of Subtask A: The Reference Heating System, the Template Solar System: A Report of IEA SHC - Task 32*. https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/task32-Reference_Heating_System.pdf
- Helmling, S. & Wapler, J. (2018). *Feldtest von Fünf Warmwasser-Wärmepumpen*. Bundesamt für Energie (BFE). <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/8677>
- Hörner, M. (2021). *Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten: Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude*. https://datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210428_IWU_PT_dataNWG_DatenundFakten
- Hubbuch, M. & Vecsei, P. M. (2019). *Lebenszykluskosten von Wärmepumpen: Kurzfassung*. IFM Institut für Facility Management. https://geothermie-schweiz.ch/wp_live/wp-content/uploads/2019/09/Bericht_LCC_EWS_2.pdf
- Institut Wohnen und Umwelt GmbH. (2022). *Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx [Computer software]*. <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/>
- Kranzl, L. (2021). *Renewable heating and cooling: technology trends & policy perspectives*. TU Wien, REHVA Brussels Summit (Online Conference). https://www.rehva.eu/fileadmin/content/1330_Renewable_heating_and_cooling_technology_trends___policy_perspectives.pdf
- Kranzl, L., Fallahnejad, M., Büchele, R., Müller, A., Hummel, M., Fleiter, T., Mandel, T., Bagheri, M., Deac, G., Bernath, C., Miosga, J., Kiefer, C., Fragosa, J., Braungardt, S [Sibylle], Bürger, V., Spasova, D., Viegand, J., Naeraa, R. & Forthuber, S. (2022). *Renewable Space Heating under the Revised Renewable Energy Directive. Final report of the project ENER/C1/2018-494*. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/525486>
- Kranzl, L., Mascherbauer, P., Fallahnejad, M., Pezzutto, S., Novelli, A., Zambito, A., Miraglio, P., Belleri, A., Bottecchia, L., Gantioler, S., Riviere, P., Etienne, A., Stabat, P., Berthou, T., Viegand, J., Jensen, C., Hummel, M.

& Müller, A. (2022). *Renewable cooling definition options and calculation methodology. Part 2 of the study "Renewable cooling under the revised Renewable Energy Directive ENER/C1/2018-493" - Publications Office of the EU*. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/786292>

Massachusetts Electric and Gas Energy Efficiency Program Administrators. (2021). *Massachusetts Technical Reference Manual for Estimating Savings from Energy Efficiency Measures: 2022-2024 Plan Version*. <https://www.massavedata.com/TRL/Technical%20Reference%20Manual%202022-2024%20Final.pdf>

Mehnert, A. (2013). *Bauen in Baden-Württemberg mit Blick auf die Energiewende*. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. <https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/20131205?path=/Energie/Strukturdaten/>

Miara, M., Günther, D., Kramer, T., Oltersdorf, T. & Wapler, J. (2011). *Wärmepumpen Effizienz: Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb*. https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-effizienz/download/wp_effizienz_endbericht_langfassung.pdf

Mojic, I. & Haller, M. (2019). *KlimaGapLite: Literaturrecherche zu den bestehenden Methoden zur Witterungsbereinigung im Gebäudebereich*. Bundesamt für Energie (BFE). https://www.ost.ch/fileadmin/dateiliste/3_forschung_dienstleistung/institute/spf/forschung/projekte/klimagaplite_190325_klimagaplite_bfe_schlussbericht_v3.pdf

Nowak, T. & Westring, P. *European Heat Pump Market Statistics Report 2021*. The European Heat Pump Association AISBL (EHPA). <https://www.ehpa.org/market-report-shop/>

Oltersdorf, T., Schnabel, L., Braungardt, S [Simon], Fugmann, H., Joos, L., Vering, C., Venzig, V., Höges, C., Müller, D., Cop, M., Mickoleit, E., Stöckel, K., Riley, B., Jäger, A., Hesse, U., Breitkopf, C., Tegethoff, W., Peteranderl, C., Becker, C., . . . Schrab, T. (2022). *HPT Annex 54: Heat Pump Systems with Low-GWP Refrigerants: Country Report: Germany*. in: 2021 Progress Annual Report. <https://heatpumpingtechnologies.org/annex54/wp-content/uploads/sites/63/2022/02/iea-annext-54-2021-annual-report-v2-021822.pdf>

Prinzing, M., Berthold, M., Eschmann, M. & Bertsch, S. (2019). *Feldmessungen Wärmepumpen-Anlagen 2015-2018 (Auswertung verlängert bis Dez. 2019): Schlussbericht*. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10013>

Prinzing, M., Berthold, M., Eschmann, M. & Bertsch, S. (2021). *Feldmessungen von Wärmepumpen-Anlagen 2020/21*. https://www.ost.ch/fileadmin/dateiliste/3_forschung_dienstleistung/institute/ies/wpz/sonstige_wichtige_dokumente/2021_bericht_feldmessungen.pdf

Das SHK-Portal (Hrsg.). (2021). *Was bringen die neuen Kältemittel? Wärmepumpen neu denken*. <https://www.sbz-online.de/heizung/waermepumpen-neu-denken-was-bringen-die-neuen-kaeltemittel>

Signorelli, S., Imhasly, S., Rohner, E. & Rybach, L. (2010). *Langzeiterfahrungen mit Erdwärmesonden-Systemen in der Schweiz*. <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=62340>

Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2021). *Baugenehmigungen / Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie, Lange Reihen ab 1980 - 2020*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publicationen/Downloads-Bautatigkeit/baugenehmigungen-heizenergie-pdf-5311001.html>

Statistisches Bundesamt. (2024a). *Knapp zwei Drittel der 2023 errichteten Wohngebäude heizen mit Wärmepumpen: Pressemitteilung Nr. N025 vom 4. Juni 2024* [Pressemitteilung]. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/06/PD24_N025_31_51.html

Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2024b, 2. April). *Haushalte nach Haushaltsgröße und Haushaltsmitgliedern*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Haushalte-Familien/Tabellen/1-2-privathaushalte-bundeslaender.html>

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2022). *Bautätigkeitsstatistik Online*. <https://www.statistik-bw.de/baut/servlet/LaenderServlet>

Stuible, A., Zech, D., Kohberg, T., Wülbeck, H.-F., Sperber, E., Nast, M., Hartmann, H., Reisinger, K., Bruhn, K., Budig, C., Orozaliev, J., Pag, F., Vajen, K., Erler, R., Janczik, S., Hermelink, A., John, A., Offermann, M., Schimschar, S. & Stryi-Hipp, G. (2014). *Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014: Evaluierung des Förderjahres 2013*. https://elib.dlr.de/107618/1/FICHT-%2317477735-v1-Revidierter_finaler_Bericht_mit_Appendices.pdf

Stuible, A., Zech, D., Ullrich, S., Witt, M., Wapler, J., Meyer, R., Günther, D., Hartmann, H., Werner, F., Schuhmann, E. & Schröder, G. (2018). *Evaluation des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2015 bis 2017: Förderjahr 2017*.

Stuible, A., Zech, D., Ullrich, S., Wülbeck, H.-F., Amendt, L., Miara, M., Oltersdorf, T., Werner, F., Orozaliev, J., Vajen, K., Schröder, G., Hartmann, H. & Reisinger, K. (2021). *Evaluation und Perspektiven des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2019 bis 2020: Evaluation des Förderjahres 2020*.

Stuible, A., Zech, D., Ullrich, S., Wülbeck, H.-F., Wapler, J., Amendt, L., Miara, M., Oltersdorf, T., Werner, F., Orozaliev, J., Vajen, K., Schröder, G., Hartmann, H. & Reisinger, K. (2021). *Evaluation und Perspektiven des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2019 bis 2020: Evaluation des Förderjahres 2019*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/evaluation-marktanreizprogramms-2019.pdf>

Stuible, A., Zech, D., Ullrich, S., Wülbeck, H.-F., Wapler, J., Hauck, S., Günther, D., Hartmann, H., Reisinger, K., Werner, F., Orozaliev, J., Vajen, K., Schuhmann, E., Erler, R., Janczik, S. & Schröder, G. (2017). *Evaluation des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2015 bis 2017: Evaluation des Förderjahres 2015*.

Stuible, A., Zech, D., Ullrich, S., Wülbeck, H.-F., Wapler, J., Meyer, R., Günther, D., Hartmann, H., Werner, F., Schuhmann, E., Schröder, G. & Heinrich, P. (2018). *Evaluation des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2015 bis 2017: Förderjahr 2016*.

Stuible, A., Zech, D., Ullrich, S., Wülbeck, H.-F., Wapler, J., Valenbreder, P., Meyer, R., Miara, M., Hartmann, H., Reisinger, K., Werner, F., Orozaliev, J., Vajen, K., Schuhmann, E., Erler, R., Heinrich, P. & Schröder, G. (2019). *Evaluation des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2015 bis 2018: Evaluation des Förderjahres 2018*. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/evaluation-marktanreizprogramms-2018.pdf>

Stuible, A., Zech, D., Wülbeck, H.-F., Sperber, E., Nast, M., Hartmann, H., Reisinger, K., Budig, C., Orozaliev, J., Pag, F., Vajen, K., Erler, R., Janczik, S., Kaltschmitt, M. & Niederberger, M. (2016). *Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014: Evaluierung des Förderjahres 2014*.

Torres Vega, P., Beaussant, O., Vita, A. de, Kutz, C., Andrey, C., Siskos, P., Vautrin, A., Cheikh, N., Fischer, C., Hoogland, O., Guevara Opinska, L., Altmann, M., Kannavou, M., Dermutas, A., Yearwood, J., Cerny Ondrej, Krenn, P., Bossmann, T., Capros, P., . . . Lee, L. Y. (2021). *Technical support for RES policy development and*

implementation: delivering on an increased ambition through energy system integration: Final Report.

European Commission. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/86135>

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (2012). *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen* (VDI-Richtlinie 2067 Blatt 1). VDI.

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) (2019a). *Berechnung von Wärmepumpen - Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen - Elektro-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung* (VDI-Richtlinie 4650 Blatt 1).

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.). (2019b). *Workshop zur Richtlinie VDI 2067: Beschreibung*. <https://www.vdi.de/veranstaltungen/detail/workshop-zur-richtlinie-vdi-2067>

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI). (2021). *Umfrage Datengrundlage VDI 2067: Informationen zur Umfrage Datengrundlage VDI 2067*.

https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/ueber_uns/fachgesellschaften/GEU/dateien/Datengrundlage-Umfrage-VDI-2067.xlsx

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI). (2024). *VDI 2067 Blatt 1 - Projekt: Auf einen Blick*.

<https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2067-blatt-1-wirtschaftlichkeit-gebaudetechnischer-anlagen-grundlagen-und-kostenberechnung>

A Anhang

A.1 Analyse unterschiedlicher Definitionen der thermischen Leistung

In Kapitel 5.1 werden unterschiedliche Definitionen der thermischen Leistung von Wärmepumpen vorgestellt. Im Folgenden werden die Angaben der Heizleistung nach Wärmenennleistung P_{rated} und Heizleistung nach DIN EN 14511 in Abhängigkeit des gewählten Bivalenzpunktes (bei P_{rated}) und der Betriebstemperaturen (bei beiden Definitionen) analysiert und die Angaben gegenübergestellt.

A.1.1 Wärmenennleistung P_{rated}

Im ersten Teil dieses Abschnittes wird der Einfluss des gewählten Bivalenzpunktes bei der Ermittlung der Wärmenennleistung P_{rated} aufgezeigt. Ziel der Betrachtung ist die „Unschärfe“ der Angabe von P_{rated} exemplarisch zu quantifizieren, die sich aufgrund des Freiheitsgrades bei der Ermittlung von P_{rated} ergibt. Ergänzend wird im zweiten Teil der Unterschied der Angabe für Mittel- und Niedertemperaturanwendung exemplarisch für einige Fabrikate aufgezeigt.

Die Tabelle 5 zeigt exemplarisch an einem Beispiel den Einfluss der Wahl des Bivalenzpunktes T_{biv} bei der Deklaration nach EU-Verordnung Nr. 811/2013 auf die Wärmenennleistung P_{rated} (Genkinger & Afjei, 2014). So beträgt für die hier betrachtete Wärmepumpe die deklarierte Wärmenennleistung 5 kW bzw. 7 kW⁷⁵ bei einem zugrundeliegenden Bivalenzpunkt von -10°C⁷⁶ bzw. von -5°C. Im zweitgenannten Fall enthält P_{rated} neben der Heizleistung der Wärmepumpe auch die Heizleistung einer Zusatzheizung.

Tabelle 5: Auswirkung der Wahl vom Bivalenzpunkt auf die deklarierte Wärmenennleistung, berechnete Geräteeffizienz SCOP, den Bedarf an elektrischer Energie für eine Zusatzheizung für eine Beispielwärmepumpe

Bivalenztemperatur [°C]	SCOP [-]	Wärmenennleistung (Prated) [kW]	elektrische Nachheizung [kWh/a]
-10	2.72	5	0
-8	2.75	5	11
-5	2.78	7	120
±0	2.63	8	1,446
2	2.45	14	3,265

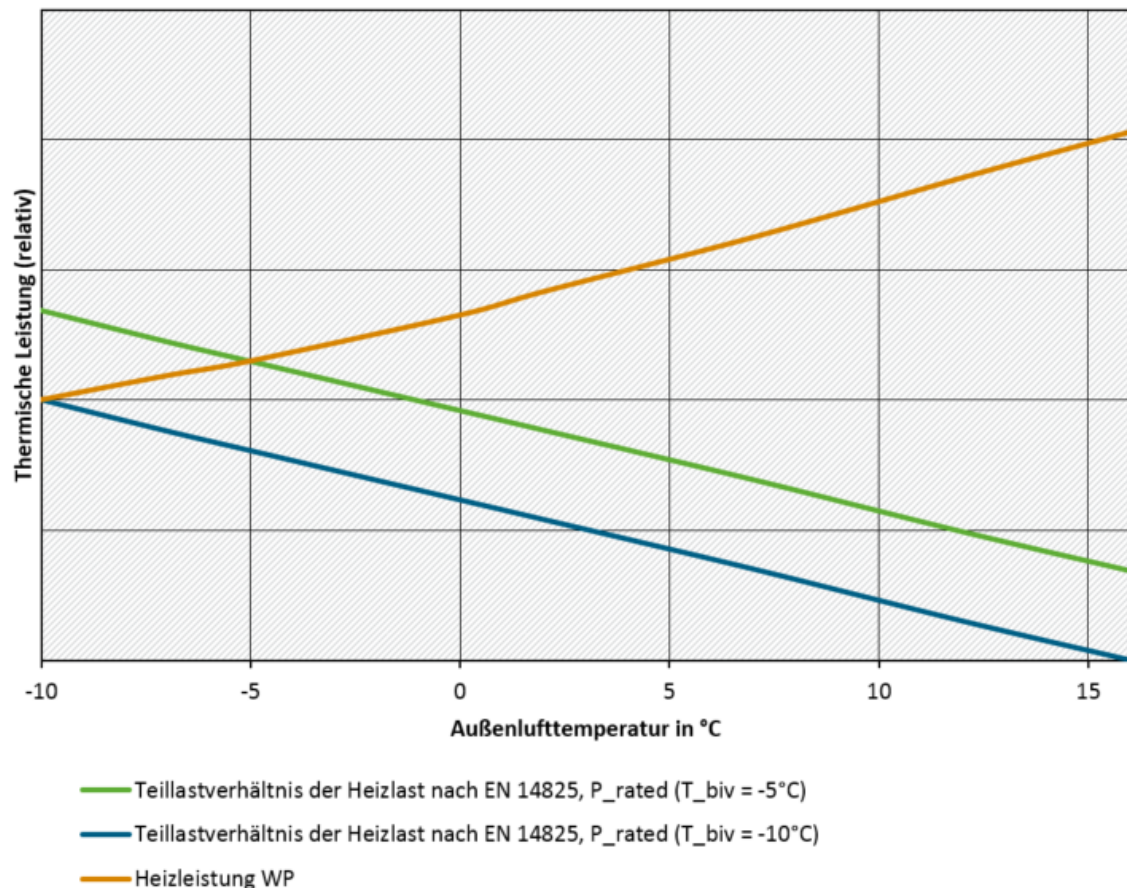
Quelle: (Genkinger & Afjei, 2014)

⁷⁵ Da die Angabe der Heizleistung nur auf die Ganzzahl gerundet vorliegt, kann der Unterschied hier nicht – mit ausreichender Aussagekraft - prozentual angegeben werden.

⁷⁶ monovalente Auslegung, da identisch mit der Bezugs-Auslegungstemperatur

Abbildung 37 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Bivalenzpunktes T_{biv} und deklariierter Wärmenennleistung P_{rated} grafisch am Beispiel einer fixed-speed Außenluft/Wasser-Wärmepumpe.

Abbildung 37: Beispiel der außenlufttemperaturabhängigen Heizleistung einer fixed-speed Außenluft/Wasser-Wärmepumpe und des Teillastverhältnisses der (Gebäude-)Heizlast*



*Gezeigt ist das Teillastverhältnis, das der Ermittlung von Wärmepumpen-Kenngrößen nach EN 14825 zu Grunde liegt. Es sind zwei unterschiedliche Auslegungen dargestellt: Bivalenztemperatur -10°C bzw. -5°C .

Quelle: eigene Darstellung

Im Folgenden werden die Kenndaten von Wärmepumpen-Fabrikaten betrachtet, die im Rahmen des Projektes „WPsmart im Bestand“ (Günther et al., 2020) im Feldmonitoring eingesetzt waren. Von sieben Erdreich/Wasser-Wärmepumpen und sechzehn Außenluft/Wasser-Wärmepumpen wurden die öffentlich zugänglichen technischen Angaben gemäß EU-Verordnung Nr. 811/2013 ausgewertet. Bei den betrachteten sieben fixed-speed Erdreich/Wasser-Wärmepumpe⁷⁷ liegt dem deklarierten Wert von P_{rated} für Mitteltemperaturanwendungen eine Bivalenztemperatur von -10°C (4 Fabrikate), -7°C (1 Fabrikat) bzw. -6°C (1 Fabrikat) zu Grunde (vgl. Abbildung 39). Bei den fünf fixed-speed Außenluft/Wasser-Wärmepumpen basiert P_{rated} für Mitteltemperaturanwendungen bei vier

⁷⁷ Bei Erdreich/Wasser-Wärmepumpen wurden ausschließlich fixed-speed Wärmepumpen betrachtet, da diese derzeit noch eine höhere Verbreitung als leistungsgeregelte Erdreich/Wasser-Wärmepumpen haben

Fabrikaten auf einer Bivalenztemperatur von -10°C oder knapp darüber⁷⁸. Bei den Inverter-Außenluft/Wasser-Wärmepumpen⁷⁹ basieren diese Angaben bei vier Fabrikaten auf einer Bivalenztemperatur von -10°C und bei fünf Fabrikaten auf Werten im Bereich zwischen -8°C und -2°C (vgl. Abbildung 40). Die geringe Anzahl der betrachteten Fabrikate erlaubt keine statistisch belastbare Aussage über die Häufigkeitsverteilung des bei der Deklaration gewählten Bivalenzpunktes, gibt jedoch den Hinweis, dass nicht einheitlich der gleiche Bivalenzpunkt verwendet wird.

Die Wärmeheizleistung P_{rated} für Mitteltemperaturanwendungen (55°C) ist geringer als für Niedertemperaturanwendungen (35°C), wenn der gleiche Bivalenzpunkt - und im Falle einer leistungsgeregelten Wärmepumpe die gleiche Verdichterdrehzahl - zu Grunde gelegt wird. Hintergrund ist die mit steigendem Temperaturhub (Unterschied zwischen Wärmequellen- und Wärmesenkentemperatur) sinkende Heizleistung einer Wärmepumpe. Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigt die Unterschiede von P_{rated} für die beiden Temperaturanwendungen. Da die Angabe von P_{rated} nur auf die Ganzzahl gerundet vorliegt, kann der Unterschied an dieser Stelle nicht – mit ausreichender Aussagekraft - prozentual ausgewertet werden.

A.1.2 Nennheizleistung nach DIN EN 14511

In diesem Abschnitt wird die Nennheizleistung von Luft/Wasser-Wärmepumpen bei den Betriebspunkten A-7/W35 (bspw. verwendet in der BDH/BWP-Absatzstatistik) und dem Betriebspunkten A2/W35 (Standardangabe in Datenblättern der Hersteller) gegenübergestellt. Die Betrachtung dient dazu, die Bedeutung einer eindeutigen Benennung des Betriebspunktes bei Leistungsangaben quantitativ zu verdeutlichen. Ein zweiter Grund für die Betrachtung ist, dass laut (Born et al., 2017) der Betriebspunkt A2/W35 in den Inputdaten der AGEE-Stat Berechnungsmatrix verwendet wird. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung der Inputdaten der AGEE-Stat ist somit eine „Umrechnung“ notwendig, um die vorliegenden Angaben der BDH/BWP-Absatzstatistik mit den vorliegenden AGEE-Stat Daten vergleichen zu können.

Wie in Kapitel 5.1.3 und 5.1.5 beschrieben, wird die Nennheizleistung bei Außenluft/Wasser-Wärmepumpen für unterschiedliche Betriebspunkte angegeben. In allen Herstellerunterlagen erfolgt die Angabe für A2/W35; in vielen Datenblättern auch für A-7/W35 und andere Betriebspunkte. Die Nennheizleistung für A2/W35 ist –bei einer fixed-speed Wärmepumpe - aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Heizleistung höher als bei A-7/W35 (vgl. Abbildung 37). Da keine Vorgabe besteht, unter welcher Teillast⁸⁰ leistungsgeregelte Wärmepumpen zu vermessen sind, liegen den Angaben der Nennheizleistung der Hersteller u.U. unterschiedliche Teillastbedingungen zu Grunde. Diese werden im Datenblatt oftmals nicht spezifiziert.

In Abbildung 38 wird das Verhältnis der Nennheizleistung bei A-7/W35 zu der Nennwärmeleistung bei A2/W35 für die im Jahr 2020 BAFA-geförderten Luft/Wasser-Wärmepumpen dargestellt⁸¹. Bei den fixed-speed Wärmepumpen liegt das Verhältnis im Mittel bei 0,80, mit einer Bandbreite von 0,77 bis 0,82 für die Hälfte der Anlagen. Bei den leistungsgeregelten Wärmepumpen liegt das Verhältnis im Mittel bei 1,44 mit einer viel

⁷⁸ Bei zwei Fabrikaten wird ein Bivalenzpunkt von -10°C angegeben, bei zwei Fabrikaten erfolgt keine Angabe. Dem Verhältnis von P_{rated} zur nominalen Heizleistung (A2/W35) lässt sich vermuten, dass hier der Bivalenzpunkt ebenfalls in der gleichen Größenordnung liegt.

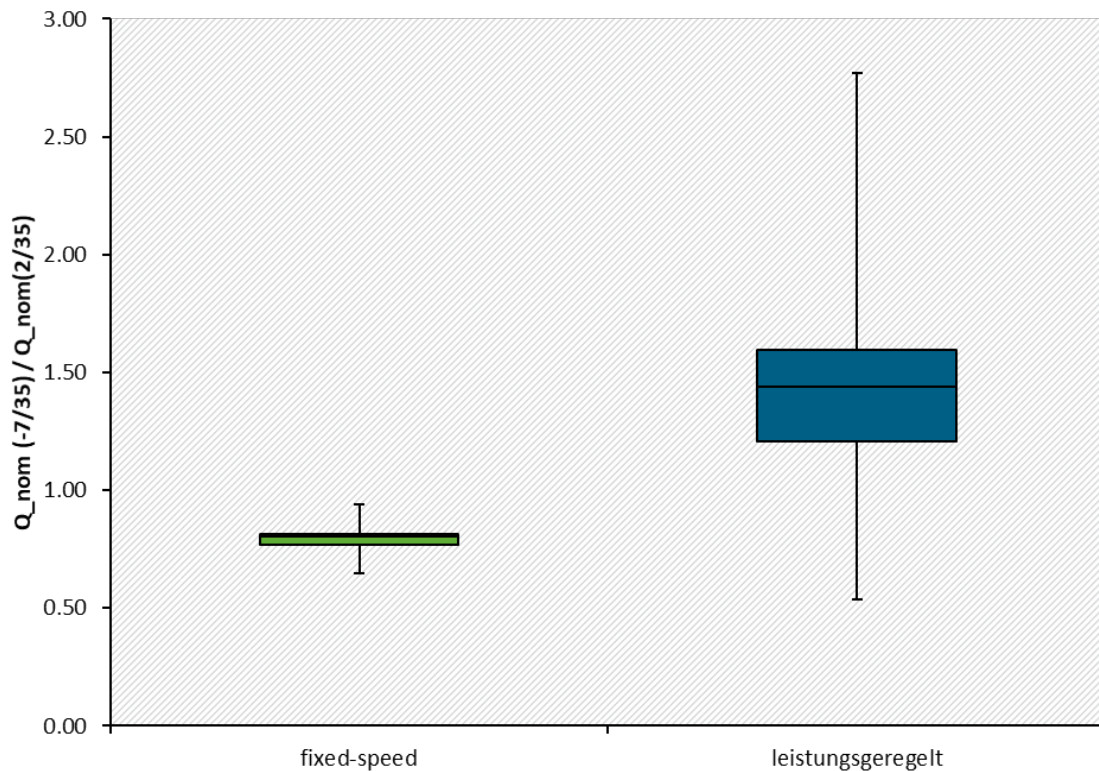
⁷⁹ Zwei Fabrikate weisen den Wert der Bivalenztemperatur nicht aus.

⁸⁰ In einem Teillastbetrieb <1 wird der Verdichter mit einer gegenüber dem Vollastbetrieb reduzierten Drehzahl betrieben. (Teillast = 1 entspricht Vollast)

⁸¹ Eigene Auswertung der geförderten Anlagen, die nicht im zugehörigen Evaluationsbericht (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Amendt et al. (2021)) veröffentlicht wurde. Datenumfang: 582 fixed-speed Wärmepumpen und 12.767 leistungsgeregelte Wärmepumpen

größeren Streuung der Werte. So reicht die Bandbreite von der Hälfte der Wärmepumpen von 1,21 nach 1,60. Hintergrund hierfür sind die unterschiedlichen Teillastverhältnisse, unter denen die Hersteller die Wärmepumpe in den beiden Betriebspunkten haben vermessen lassen.

Abbildung 38: Heizleistung von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen nach DIN EN 14511: Verhältnis der Heizleistung im Betriebspunkt A-7/W35 zum Betriebspunkt A2/W35.



* Datenumfang: 582 fixed-speed Wärmepumpen und 12.767 leistungsgeregelte Wärmepumpen

Quelle: eigene Auswertung der Datenbasis des BAFA-Förderjahres 2020 (Stuible 2021)

Ergänzend wurde für leistungsgeregelte Wärmepumpen die Angabe der Heizleistung in dem Betriebspunkt A-7/W35 anhand von Stichproben näher betrachtet. Es besteht die Frage, ob die Angaben bei A-7/W35 in grober Näherung dem Vollastbetrieb beschreiben oder eine signifikant geringere Leistung. In sieben von zehn Datenblättern wurde der gleiche Wert für die Nennleistung wie für die maximale Leistung aufgeführt, in einem Fall wurde die Nennleistung um 10% größer beziffert als der aufgeführte Maximalwert und in zwei Datenblättern ist ein um 14 % bzw. 4 % geringerer Wert für die Nennleistung als für die maximale Leistung angegeben.

A.1.3 Vergleich der Wärmenennleistung P_{rated} und Heizleistung nach DIN EN 14511

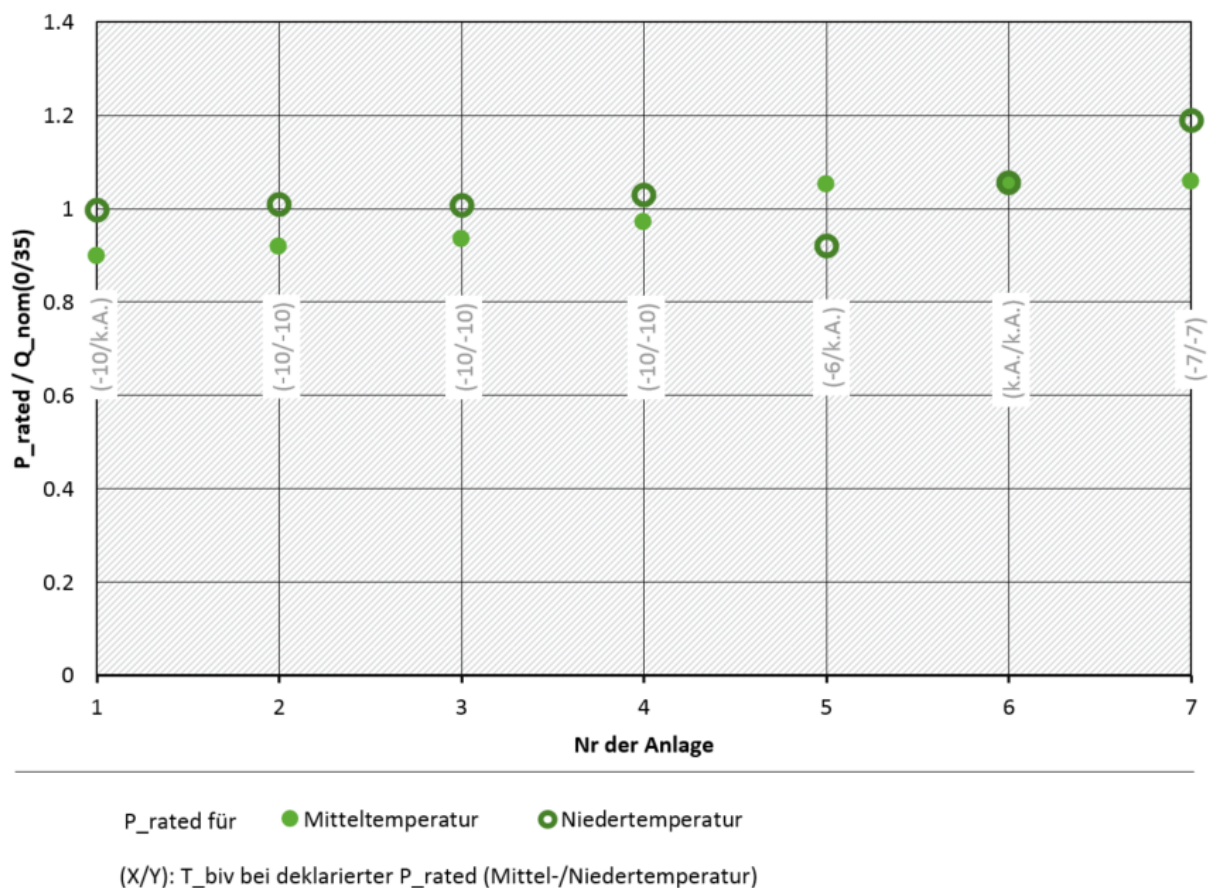
Die Angaben der Heizleistung einer Wärmepumpe nach DIN EN 14511 einerseits und nach EU-Verordnung Nr. 811/2013 (P_{rated}) andererseits unterscheiden aufgrund der unterschiedlichen Definitionen (vgl. Seiten 5.1.3 und 5.1.5). Die folgende Auswertung zeigt dies anhand von sieben Erdreich/Wasser-Wärmepumpen und sechzehn Außenluft/Wasser-Wärmepumpen⁸².

Bei den Erdreich/Wasser-Wärmepumpen entsprechen die Randbedingungen im Bezugs-Auslegungspunkt nach EU-Verordnung Nr. 811/2013 - auf den P_{rated} bezogen ist - bei Niedertemperatur-Anwendungen dem Betriebspunkt B0/W35 nach DIN EN 14511. Damit

⁸² Es wurden Wärmepumpen-Fabrikate untersucht, die im Rahmen des Projektes „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020) im Feldmonitoring eingesetzt waren.

entspricht die Wärmeheizleistung P_{rated} für Niedertemperaturanwendungen - bei einem zugrunde gelegten Bivalenzpunkt von -10°C - der Nennwärmeleistung ($B0/W35$) (vgl. Abbildung 39). Liegt der deklarierten Wärmeheizleistung P_{rated} ein höherer Bivalenzpunkt, bspw. -5°C , zu grunde, ist P_{rated} höher als die Nennwärmeleistung ($B0/W35$), da P_{rated} hierbei die Heizleistung der Zusatzheizung enthält (vgl. Kapitel 5.1.3 und 5.1.5, Abbildung 37 und Wärmepumpen-Fabrikat „5“ und „7“ in Abbildung 39).

Abbildung 39: Heizleistung von Erdreich/Wasser-Wärmepumpen: Verhältnis^{83, 84} der Wärmenennleistung P_{rated} zu der Heizleistung ($B0/W35$) nach DIN EN 14511



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern. Es wurden sieben Wärmepumpen-Fabrikate untersucht, die im Rahmen des Projektes „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020) im Feldmonitoring eingesetzt waren

Abbildung 40 zeigt den Vergleich der Wärmenennleistung P_{rated} mit der Nennheizleistung nach DIN EN 14511 für den Betriebspunkt A2/W35. Die Auswertung erfolgt getrennt für fixed-speed und Inverter-Wärmepumpen. Bei den fixed-speed Wärmepumpen beträgt die Wärmenennleistung P_{rated} im Falle einer monovalenten Auslegung⁸⁵ bei Niedertemperaturanwendungen rund Dreiviertel der Nennwärmeleistung ($A2/W35$) (vgl. Wärmepumpen-Fabrikat „1“, „4“ und vermutlich auch „2“, „3“ in Abbildung 40. Hintergrund hierfür ist die mit steigendem Temperaturhub ($A-10/35$ vs. $A2/W35$) sinkende Heizleistung der Wärmepumpe (vgl. Abbildung 37). Bei dem Wärmepumpen-Fabrikat „5“, ist P_{rated} leicht höher

⁸³ Die deklarierten Werte für P_{rated} werden stets gerundet auf eine Ganzzahl angegeben. Eine Bewertung von Unterschieden ist vor diesem Hintergrund vorzunehmen. Bei Wärmepumpen-Fabrikaten „kleiner“ Heizleistung ist damit eine Bewertung des Unterschiedes zwischen die deklarierten Werte in Mittel- und Niedertemperaturanwendung nicht möglich. So sind die beiden Angaben für ein Fabrikat identisch.

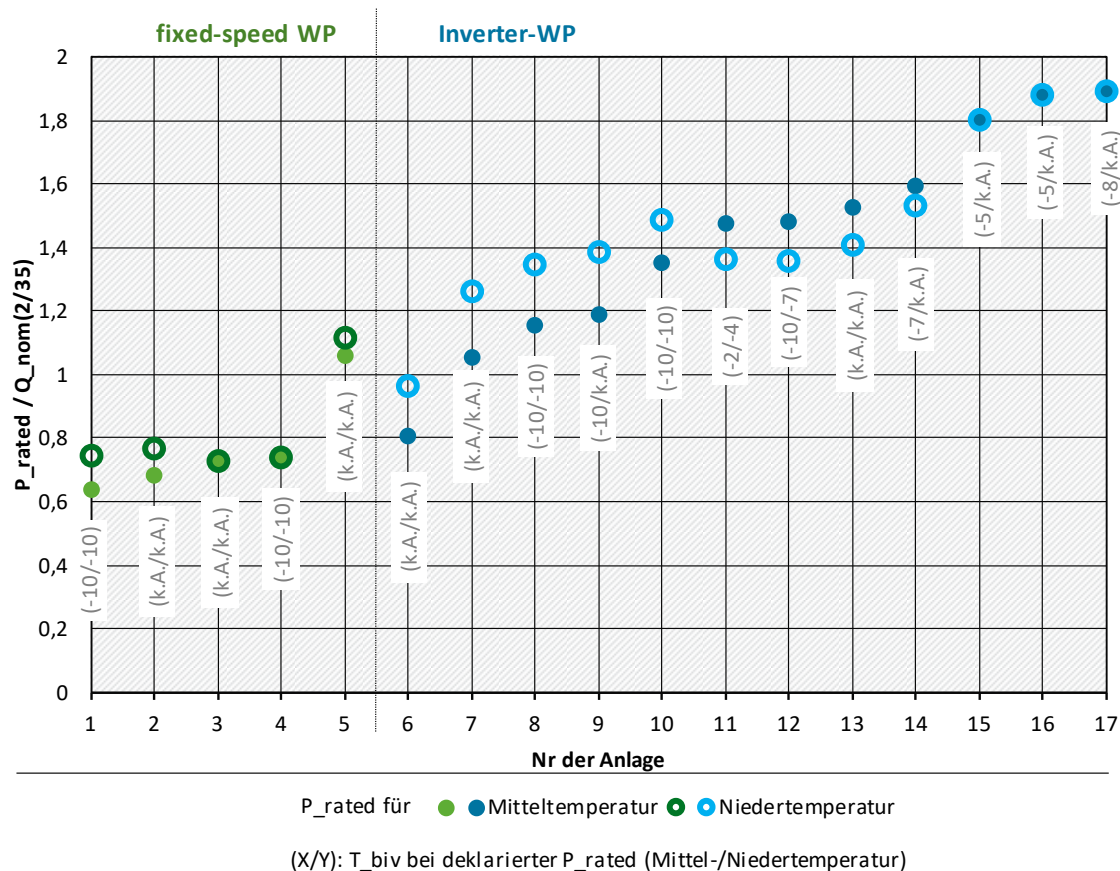
⁸⁴ Für das Fabrikat „5“ ist kein Wert für P_{rated} für die Niedertemperaturanwendung veröffentlicht.

⁸⁵ Bivalenzpunkt entspricht dem Bezugs-Auslegungspunkt von -10°C

als die Nennwärmeleistung (A_2/W_{35}). Es ist zu vermuten, dass hier ein höherer Bivalenzpunkt dem Wert von P_{rated} zu Grunde liegt.

Bei modulierenden Außenluft/Wärmepumpe-Wärmepumpen ist P_{rated} höher als die Nennheizleistung nach DIN EN 14511 (A_2/W_{35}). (Ausnahme ein Fabrikat in Mitteltemperaturanwendung). Hintergrund hierfür ist, dass die Angabe der Nennheizleistung nach DIN EN 14511 (A_2/W_{35}) i.d.R. für einen Teillastbetrieb erfolgt. Die von den Herstellern gewählten „Nenn-Teillastzustände“ unterscheiden sich. Dies ist eine Ursache, weshalb sich eine große Bandbreite des Verhältnisses von Wärmenennleistung P_{rated} zu Nennheizleistung (A_2/W_{35}) zeigt. P_{rated} beträgt bis zum 1.9-fachen der Nennheizleistung (A_2/W_{35}). Ein weiterer Grund für die Bandbreite ist, dass die deklarierten Angaben von P_{rated} auf unterschiedlichen Bivalenzpunkten im Bereich zwischen -10°C und -2°C basieren.

Abbildung 40: Heizleistung von Außenluft/Wasser-Wärmepumpen: Verhältnis^{83, 86} der Wärmenennleistung P_{rated} zu der Heizleistung (A_2/W_{35}) nach DIN EN 14511



Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten aus Datenblättern. Es wurden sechzehn Wärmepumpen-Fabrikate untersucht, die im Rahmen des Projektes „WPsmart im Bestand“ (Günther et al. 2020) im Feldmonitoring eingesetzt waren

⁸⁶ Die als „6“ und „7“ aufgeführten Fabrikate sind identisch. In den Datenblättern verschiedener Jahre werden unterschiedliche Nennwärmeleistungen A_2/W_{35} ausgewiesen (16,6 kW*, 12,2 kW, 9,5 kW). Es scheint sich die Ansicht, welcher Teillastbetrieb für die Angabe der Nennwärmeleistung zu Grunde gelegt wird, bei diesem Hersteller geändert zu haben. „6“ zeigt die Darstellung für 12,2 kW und „7“ für 9,5 kW.

* Dies wird auch als maximale Heizleistung in diesem Betriebspunkt aufgeführt.

A.2 Ergänzungen zum Kapitel 5.2.1.3 Plausibilitätsprüfung bisheriger AGEE-Stat Eingangsdaten

Die Einteilung der verkauften Wärmepumpen in Leistungsklassen in der BDH/BWP-Absatzstatistik basiert auf dem Betriebspunkt A-7/W35 für Luft/Wasser-Wärmepumpen. Nach (Born et al. 2017) sollten die Angaben der mittleren Nennheizleistung der AGEE-Stat Berechnungsmatrix auf dem Betriebspunkt A2/W35 beruhen. Es wird eine Abschätzung für die „Umrechnung“ der aus den BDH/BWP-Daten ermittelten mittleren Nennheizleistung bei A-7/W35 auf A2/W35 vorgenommen. Dies ist für die vergangenen Jahre mit großen Unsicherheiten behaftet, da notwendige Randbedingungen für die Vergangenheit sich nur vage abschätzen lassen.

Der Abschätzung liegen folgende Annahmen zu Grunde:

- ▶ Anteil leistungsgeregelter Wärmepumpen⁸⁷:
10 % für 2009, 25 % für 2012, 50 % für 2010, 95 % für 2020
- ▶ Verhältnis nominale Leistung bei A-7/W35:
1,44 für leistungsgeregelten Wärmepumpe und 0,8 für fixed-speed Wärmepumpen (vgl. Abbildung 38)
- ▶ Verhältnis mittlere Heizleistung leistungsgeregelte Wärmepumpen zu der mittleren Heizleistung fixed-speed Wärmepumpen je Leistungsgruppe: 1,0.

Für die Jahre 2009 bis 2012 ergibt die Abschätzung, die Angabe einer mittleren Nennheizleistung für den Betriebspunkt A2/W35 10 % bis 20 % höher ausfallen könnte als im Betriebspunkt A-7/W35. Dies ist auf den hohen Anteil der fixed-speed Wärmepumpen zurückzuführen. Um des Jahr 2015, bei gleichem Anteil von fixed-speed und leistungsgeregelten Wärmepumpen, läge die mittlere Nennheizleistung in beiden Betriebspunkten in der gleichen Größenordnung. Im Jahr 2020, mit einer hohen Marktdurchdringung invertiergezogelter Wärmepumpen, könnte die mittlere Nennheizleistung im Betriebspunkt A2/W35 gut ein Viertel höher ausfallen als im Betriebspunkt A-7/W35. Da die AGEE-Stat Daten im Jahr 2020 nur eine konstante Fortschreibung sind und um das Jahr 2015 keine großen Unterschiede der mittleren Nennheizleistung beider Betriebspunkte zu erwarten sind, werden die Angaben im Jahr 2009 in den Blick genommen.

- ▶ Eigene Berechnung nach BDH/BWP:
 - A-7/W35: 11,5 kW (in der Basisannahme) 12,4 kW in der Variation V2⁸⁸
 - A2/W35: mit Annahme eines um 15% höheren Wertes: 13,2 kW bzw. 14,4 kW
- ▶ AGEE-Stat: 12 kW (laut (Born et al. 2017) A2/W35)

Diese Angaben könnten darauf hindeuten, dass die Daten bei (Born et al. 2017) und damit in AGEE-Stat nicht auf A2/W35 beruhen, sondern ebenfalls auf A-7/W35. Die Abweichungen könnten allerdings auch darauf zurückzuführen sein, dass die AGEE-Stat-Angaben auf ganze

⁸⁷ Die Abschätzungen für die Jahre 2012, 2015, 2020 wurden aus Angaben in folgenden Quellen abgeleitet: (Stuible et al. (2014)), (Stuible et al. (2017)), (Stuible, Zech, Ullrich, Wülbeck, Amendt et al. (2021)). Die Annahme für das Jahr 2019 ist eine eigene Schätzung als Grenzbetrachtung. Der Anteil wird zwischen 10 % und 20 % vermutet.

⁸⁸ Die Autoren der Studie vermuten, dass die Annahmen des BWP bei der Erstellung der Daten für die AGEE-Stat eher im Bereich der Basisvariante oder Variante 1 gelegen haben als bei der Variante 2.

Zahlen gerundet sind und damit nur grob einzuschätzen sind und sie möglicherweise auch auf unterschiedlichen Annahmen bei der Umrechnung aus dem ehemaligen BWP-Ansatz gegenüber den Annahmen der Autor*innen beruhen könnten.

A.3 Systemsimulation

In einer Simulationsstudie wird der Einsatz einer Außenluft/Wasser-Wärmepumpe sowie einer Sole/Wasser-Wärmepumpen in Einfamiliengebäuden unterschiedlichen energetischen Standards der Gebäudehülle untersucht.

Gebäude

Es wird das im Rahmen des IEA SHC Task 32 entwickelte Referenzgebäude (140 m² beheizter Wohnfläche) mit den dort spezifizierten Gebäudestandards EFH_30, EFH_60 und EFH_100 verwendet (Heimrath & Haller, 2007). Ergänzend wird ein Gebäude mit einem höheren spezifischen Heizwärmebedarf betrachtet (EFH_170 genannt). Die Heizwärmebedarfsermittlung der Gebäude erfolgt für durchschnittliches Wetter am Referenzstandort Potsdam. Das Warmwasserzapfprofil eines dreiköpfigen Haushaltes wurde mit dem Programm SynPRO (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme [ISE], 2022b) erstellt. Die Gebäudekenndaten sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Gebäudekennwert

Parameter	Einheit	EFH_30	EFH_60	EFH_100	EFH_170
Beheizte Wohnfläche	m ²	140			
Nutzer	-	3 Personen			
Rauminnentemperatur	°C	20			
Normaußentemperatur	°C	-12,6 (Standort Potsdam)			
Heizgrenztemperatur	°C	12	12	15	15
Wärmebedarf					
Raumheizung	kWh/(m ² *a)	37	69	109	170
Warmwasser-Zapfung ⁸⁹	kWh/(m ² *a)	10	10	10	10
Wärmebedarf					
Raumheizung (VL/RL)	°C	35/30	35/30	55/45	65/55
Warmwasser ⁹⁰	°C	50	50	50	50

⁸⁹ Es ist keine Zirkulationssystem in Betrieb, da in EFH oftmals keine Zirkulation genutzt wird oder nur für einen kurzen Zeitraum. Längere Nutzung, wie im MFH bei zentraler Trinkwassererwärmung notwendig, ist unüblich.

Bei der Warmwasserleitung treten -auch ohne Zirkulationsbetrieb- Wärmeverluste auf. Um die Simulation einfach zu halten, werden diese Verluste nicht berücksichtigt. In der VDI 4701-10 werden die flächenbezogenen Wärmeverluste der Warmwasserleitung ohne Zirkulation mit 4,2 kWh/(m²*a) angesetzt; wovon 1,9 kWh/(m²*a) als Heizgutschrift angerechnet werden können.

⁹⁰ 50°C wird in der VDI-Richtlinie zur Berechnung der JAZ als Standardwert angesetzt (Verein Deutscher Ingenieure e.V [VDI] (2019a))

Systemkonzept und Systemauslegung

Es wird eine monoenergetische Heizungsanlage untersucht; bestehend aus der Außenluft/Wasser-Wärmepumpe bzw. einer Sole/Wasser-Wärmepumpen, einem Heizstab im Vorlauf vor den Speichern, einem Pufferspeicher für die Raumheizung (200 L, 260 L, je nach Gebäude) sowie einem Pufferspeicher (250 L) mit angeschlossener Frischwasserstationen (FWS) für die Trinkwassererwärmung. Der Wärmebedarf wird vorrangig von der Wärmepumpe gedeckt. Der Heizstab geht in Betrieb, wenn die Heizleistung der Wärmepumpen unterhalb des Bivalenzpunktes nicht ausreicht, den Wärmebedarf zu decken. In diesem Falle arbeiten Wärmepumpe und Heizstab zeitgleich. Wenn die erforderliche Wärmesenktemperatur die maximal zulässige Betriebstemperatur der Wärmepumpe überschreitet, wird der Heizstab als alleiniger Wärmeerzeuger genutzt.

Die Wärmepumpenheizleistung ist idealisiert genau auf den Bivalenzpunkt von -7°C ausgelegt, wobei die Heizlast in diesem Punkt aus einem Fit der Tageswerte des Heizwärmebedarfes (Raumheizung und Trinkwassererwärmung) ermittelt ist. Als Soletemperatur im Bivalenzpunkt wird 0°C angesetzt und nicht die – einem ganz idealisierten Ansatz folgend - in der Simulationsrechnung bei einer Außenlufttemperatur von -7°C angesetzten Soletemperatur von 3,5°C. Diesbezüglich wird somit ein praxisnäherer Ansatz gewählt. Die nominale Heizleistung der Wärmepumpen liegt zwischen 3,8 kW (EFH_30) und 13,3 kW (EFH_170) für die Außenluft-Wärmepumpe (A-7/W35) und zwischen 2,8 kW und 10,0 kW für die Sole-Wärmepumpe (B0/W35).

Die Effizienz der Wärmepumpe ist so gewählt, dass der nominale COP-Wert in der oberen Hälfte der BAFA-geförderten Wärmepumpen liegt. Die maximale Vorlauftemperatur ist auf 62°C festgelegt.

Die Raumheizung erfolgt in den Gebäuden EFH_30 und EFH_60 mit Fußbodenheizungen und in den Gebäuden EFH_100 und EFH_170 über Radiatoren mit einer Auslegungstemperatur von 55/45 bzw. 65/55 bei Normaußenlufttemperatur. Die Heizkreistemperatur wird über eine außenlufttemperaturabhängige Heizkurve bestimmt.

Tabelle 7: Systemauslegung

Parameter	Einheit	EFH_30	EFH_60	EFH_100	EFH_170
Bivalenzpunkt	°C	-7			
Heizleistung WP					
L/W-WP (A-7/W35)	kW	3,8	5,9	8,4	13,3
S/W-WP (B0/W35)	kW	2,8	4,3	6,5	10,0
COP WP					
L/W-WP (A2/W35)	-	4,1			
S/W-WP (B0/W35)	-	4,5			

Methodik

Die Heizlastzeitreihe für die Gebäude EFH_30, _60, _100 wurde mit TRNSYS anhand der Gebäudekenndaten ermittelt. Den Autor*innen dieser Studie lagen keine mit TRNSYS

ermittelten Heizlastzeitreihen eines Gebäudes mit geringerem Dämmstandard vor. Daher wurde vereinfacht die Heizlastzeitreihe des EFH_100 mit dem Faktor 1,7 skaliert. Dieser vereinfachte Ansatz wird für die Betrachtung der Jahresarbeitszahl als geeignet eingestuft; eine Auswertung der Betriebsstundenäquivalenten erfolgt für das Gebäude EFH_170 nicht.

Das System wird mit dem im Forschungsprojekt „LowEx-Bestand Analyse“ entwickelten Python basierten Tool HEBAP simuliert (ISE, 2022a). Der Trinkwasserbedarf und die Heizlast werden als Zeitreihe eingelesen. Der Speicher zur Trinkwassererwärmung wird als Schichtenspeicher abgebildet, der Heizungsspeicher vereinfacht als Verlustterm. Die Wärmepumpe wird als Kennlinienmodell mit Abhängigkeit der Heizleistung und Effizienz von Quellen- und der Senktemperatur abgebildet. Die Wärmepumpenleistung wird entsprechend der jeweiligen Heizlast (plus Speicherverluste) bzw. der erforderlichen Leistung zur Beladung des Trinkwasserspeichers idealisiert geregelt. Die Sole-Eintrittstemperatur in die Wärmepumpe wird als Funktion der Außenlufttemperatur abgebildet, die auf Basis der Betriebsdaten mehrere im Feldtest vermessener Wärmepumpen ermittelt wurde.

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die zentralen Jahreskennwerte der simulierten Systeme zusammengestellt: mittlere Vorlauftemperatur, Jahresarbeitszahl, Heizstabeinsatz, Betriebsstundenäquivalent. Die Ergebnisse werden im jeweiligen Kapitel des Hauptteiles näher vorgestellt.

Die Wärmepumpe ist idealisiert genau auf den gewählten Bivalenzpunkt. Die Heizleistung der Wärmepumpe in dem Punkt wird entsprechend der aus der Simulationsrechnung bekannten Wärmebedarfes festgelegt. In der Praxis ist der Wärmebedarf in dem Punkt nicht bekannt. Wie in der VDI 4645 empfohlen, könnte die Leistung im Bivalenzpunkt durch eine lineare Funktion zwischen der nach DIN EN 12831-1 berechneten Heizlast und der Heizgrenze erfolgen. Die Heizlastberechnung nach DIN EN 12831-1 trifft sehr konservative Annahmen (Wärmegewinne werden nicht berücksichtigt) und überschätzt tendenziell den Wärmebedarf bei Normaußentemperatur. Ein weiterer Unterschied zwischen der hier angewendeten Auslegung und der Praxis ist, dass nach Ermittlung eines Wertes für die erforderlichen Heizleistung eine marktverfügbare Wärmepumpe zu wählen ist und hierbei vermutlich oftmals eher eine „größere“ als eine „kleinere“ Wärmepumpe gewählt wird.

Tabelle 8: Ergebnisse Außenluft-Wärmepumpe

Parameter	Einheit	EFH_30	EFH_60	EFH_100	EFH_170
Mittlere WP-Temperatur					
Raumheizung	°C	28	28	40	46
Trinkwassererwärmung	°C	49	50	50	50
JAZ WP					
Gesamt	-	4,1	4,3	3,6	3,1
Raumheizung	-	4,5	4,6	3,6	3,1
Trinkwassererwärmung	-	3,3	3,2	3,2	3,2
JAZ WP & Heizstab					
Gesamt	-	3,9	4,1	3,4	3,0
Raumheizung	-	4,4	4,4	3,5	3,0
Trinkwassererwärmung	-	3,0	2,9	2,9	3,0
JAZ_WP/COP	-	0,94	0,98	0,82	0,71
Betriebsstundenäquivalent					
Gesamt	h	2.620	2.700	2.830	N/A ⁹¹
Raumheizung	h	1.910	2.230	2.510	N/A
Trinkwassererwärmung	h	710	460	330	N/A

Legende /Erläuterung

JAZ WP: Jahresarbeitszahl von der Wärmepumpe (Bilanzgrenze: thermische Energie "vor" Speicher; elektrischer Energiebezug von Verdichter, Ventilator bzw. Sole-Pumpe, Regelung)

JAZ WP & Heizstab: Jahresarbeitszahl von Wärmepumpe und Heizstab (Bilanzgrenze: zusätzlich zu den bei JAZ_WP genannten Energien wird die Energiebereitstellung und der elektrische Energiebezug des Heizstabes berücksichtigt)

mittlere WP-Temperatur: Mittelwert aus energetisch gewichteter mittlerer Vorlauf- und Rücklauf-temperatur der Wärmesenke

⁹¹ Aufgrund der – im Abschnitt „Methodik“ – vereinfachten Erstellung der Heizlastzeitreihe wird auf eine Auswertung der Betriebsstundenäquivalente verzichtet.

Tabelle 9: Ergebnisse Erdreich-Wärmepumpe

Parameter	Einheit	EFH_30	EFH_60	EFH_100	EFH_170
Mittlere WP-Temperatur					
Raumheizung	°C	28	28	40	46
Trinkwassererwärmung	°C	49	50	50	50
JAZ WP					
Gesamt	-	4,8	5,2	4,2	3,6
Raumheizung	-	5,7	5,7	4,3	3,6
Trinkwassererwärmung	-	3,5	3,5	3,4	3,4
JAZ WP & Heizstab					
Gesamt	-	4,6	4,9	4,1	3,5
Raumheizung	-	5,7	5,7	4,3	3,5
Trinkwassererwärmung	-	3,1	3,0	3,1	3,3
JAZ_WP/COP	-	1,01	1,07	0,87	0,74
Betriebsstundenäquivalent					
Gesamt	h	2.700	2.780	2.730	N/A ⁹¹
Raumheizung	h	1.970	2.310	2.420	N/A
Trinkwassererwärmung	h	730	470	310	N/A

Legende /Erläuterung: siehe Tabelle 8

A.4 Witterungseinfluss auf die Jahresarbeitszahl: Weitergehende Ausführungen

Jahre mit gleicher Gradtagszahl können hinsichtlich des Einflusses auf die Jahresarbeitszahl unterschiedlich ausfallen. Dies sei an drei Beispielen vorgestellt. Hier folgt die vereinfachende Kurzfassung. Weiterführenden Erläuterungen sind weiter unten aufgeführt.

- „Extreme Kälteperiode“ -> Verringerung, Gleichbleiben oder Erhöhung der JAZ (je nach WP-Auslegung/Betriebskonzept/Einsatzgrenze).
- „durchgehend kältere Heizperiode“ -> Reduzierung der JAZ
- „sehr kalter Spätherbst“ -> Erhöhung der JAZ

Nähere Erläuterung der drei Beispiele:

- „Extreme Kälteperiode“ (vereinfacht: unterdurchschnittliche Temperaturen treten nur an den kältesten Tagen auf)
 - Heiztage, die ohnehin in der Heizperiode liegen sind kälter.
-> Reduzierung der JAZ bei monovalentem Betrieb
 - Bei monoenergetischen bzw. bivalenten Anlagen übernimmt u.U. der Heizstab oder der Kessel einen (höheren) Deckungsbeitrag⁹² als im durchschnittlich kalten Winter.

⁹² Abhängig von Auslegung, Betriebskonzept und ggf Unterschreitung der Einsatzgrenze der Wärmepumpe (Wärmequellen- und/oder Wärmesenkenseitig bedingt)

Auswirkung abhängig von Randbedingungen:

a) Kessel bzw. Heizstab übernimmt auch im Durchschnittsjahr die gesamte Wärmebereitstellung an den kältesten Tagen

-> Keine Auswirkungen auf Wärmepumpen*, wenn die „kalten Tage“ noch kälter sind

* Dies ist gleichbedeutend mit gleichbleibender JAZ nach RED II Definition

(Bilanzgrenze ohne Heizstab),

b) Kessel bzw. Heizstab hat im Durchschnittsjahr keinen oder nur einen anteiligen Deckungsbeitrag.

-> Erhöhung der JAZ der Wärmepumpe, da „kalte Wintertage wegfallen“ (bei kompletter Übernahme der Wärmebereitstellung durch Heizstab / Kessel in der Extremkälteperiode)

-> Reduzierung⁹³ der JAZ, wenn Kessel / Wärmepumpen nur die Erhöhung des Wärmebedarfes decken.

- Die unterdurchschnittlichen Temperaturen treten bei niedrigen Außenlufttemperaturen auf.
-> vgl. Ausführungen zum Einfluss auf den COP
- „durchgehend kältere Heizperiode“ (vereinfacht: unterdurchschnittliche Temperaturen treten nur während der gesamten Heizperiode auf. Heizperiode ist gleich lang wie im Durchschnittsjahr.)
 - Heiztage, die ohnehin in der Heizperiode liegen sind kälter.
-> Reduzierung der JAZ
 - Kaum Beeinflussung des Deckungsbeitrages.
- „Sehr kalter Spätfrühling“ (vereinfacht: unterdurchschnittliche Temperaturen treten nur an Tagen auf, die im Durchschnittsjahr oberhalb der Heizgrenze liegen)
 - Die Heiztage des Durchschnittsjahres treten in gleichem Umfang und bei den gleichen Außenlufttemperaturen auf. Zusätzlich ergeben sich Heiztage bei verhältnismäßig hohen Außenlufttemperaturen bzw. geringen Heizkreistemperaturen
-> Erhöhung der JAZ
 - Die unterdurchschnittlichen Temperaturen treten bei hohen Außenlufttemperaturen auf.
-> vgl. Ausführungen zum Einfluss auf den COP
- Zusätzlich sei noch der Aspekt genannt, dass sich Änderungen der Außenlufttemperaturen im Bereich, wo die Abtauung einsetzt auf eben diesen Beitrag auswirkt (Betrieb ohne vs. mit Abtauung)

⁹³ Reduzierung der JAZ fällt gegenüber einer monoenergetischen Anlage jedoch geringer aus.

A.5 Beispiele für den Einsatz von Großwärmepumpen

A.5.1 Große Flusswärmepumpe für Mannheimer Energieversorger

Siemens Energy lieferte im Frühjahr 2022 eine große Flusswärmepumpe an den Mannheimer Energieversorger MVV in Baden-Württemberg. Als Wärmequelle wird das Rheinwasser genutzt werden. Mit einer thermischen Leistung von bis zu 20 MW und einer elektrischen Leistungsaufnahme von etwa 7 MW wird sie nach Angaben von Siemens Energy eine der größten Wärmepumpen in Deutschland sein.

Ab 2023 sollen so rund 3.500 Haushalte mit Fernwärme versorgt und rund 10.000 Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr eingespart werden.

Mit der neuen Wärmepumpe verfolgt MVV das Ziel, die Fernwärme in Mannheim und der Region bis 2030 vollständig auf grüne Energie umzustellen.

<https://www.powerengineeringint.com/decentralized-energy/district-energy/german-utility-deploys-river-heat-pump-to-decarbonise-heating/>

A.5.2 Klimafreundliche Wärmeversorgung für Berlin Potsdamer Platz

Vattenfall Die Wärme Berlin AG und Siemens Energy haben im Frühjahr 2021 eine Vereinbarung unterzeichnet, um eine neue Großwärmepumpe mit hoher Temperatur in Berlin zu testen. Am Potsdamer Platz in Berlin zur Erzeugung grüner Fernwärme aus Abwärme und Strom aus erneuerbaren Energien und speisen ihn in die Berliner Fernwärme ein Netz. Ziel des Pilotprojektes ist es, robuste Aussagen in Bezug auf die technischen und wirtschaftlichen Potenziale der Wärmeerzeugung mit Hilfe von Groß- und Hochtemperaturen Wärmepumpen zu erhalten. Genutzt werden soll die Abwärme einer Kälteanlage, die seit 1997 lokale Kälteleistung für rund 12.000 Büros, 1.000 Wohneinheiten und zahlreiche kulturelle bereitstellt. Bislang wird die ungenutzte Abwärme über Kühltürme in die Umgebungsluft abgeleitet. Operatives Ziel ist es, mit dem Einsatz einer neuen Hochtemperatur-Wärmepumpe, eine umweltfreundlichere Möglichkeit zu bieten, Kühlen und Heizung zu verbinden.

<https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/vattenfall-and-siemens-energy-help-advance-climate-friendly-heating-supply-berlin>

A.5.3 Fernwärmesysteme Bergheim

Neue Fernwärmesysteme der Stadt Bergheim nutzen als Wärmequelle das Sumpfwasser des in der Nähe der Stadt befindlichen Braunkohletagebau. Dieses Wasser wird von einer Temperatur von 26°C auf von zwei Wärmepumpen auf 10°C abgekühlt und die Wärmeversorgung der lokalen Fernwärmesysteme genutzt.

Zwei Wärmepumpen mit jeweils 293 kW thermischer Leistung liefern Vorlauftemperaturen von etwa 55-60°C und erreichen einen COP von 4,4. Und wurden sind seit 2014 und 2015 in Betrieb.

Das zweite große Wärmepumpenprojekt in der Stadt Bergheim ist ein kommunales Fernwärmenetz, das etwa 10 Gebäude mit einer kleiner Kombination aus einer KWK-Anlage (314 kWe und 220 kWth) zusammen mit einer Hochtemperatur-Wärmepumpe 865 kWth mit Wärme versorgt.

Die elektrische Leistung des BHKWs kann 100% des Stroms für die Wärmepumpe liefern und zusammen speisen sie fast 1MW an Wärme in das Netz ein. Das KWK-Wärmepumpensystem weist einen Brennstoffnutzungskoeffizienten von 167% auf und arbeitet mit einer Temperatur von 80-93°C. Zum Einsatz kommt eine CO₂-Wärmepumpe, die für den Betrieb bei hohen transkritischen Temperaturen ausgelegt ist.

https://www.eptec.no/wp-content/uploads/2016/08/Large_heat_pumps_in_Europe_MDN_II_final4_small.pdf