

Bernadetta Winiewska, Bert Oschatz

Erarbeitung eines Verfahrens zur energetischen Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen inner- halb der Systemnormung

F 2930

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9365-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz - Prof. Hartmann - Dr. Werdin - Prof. Felsmann

Erarbeitung eines Verfahrens zur energetischen Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen innerhalb der Systemnormung

Abschlussbericht

Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative
Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und
Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: II 3 – F20-11-1-005 / SWD-10.08.18.7-12.10)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Auftragnehmer: ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Bayreuther Str. 29 in 01187 Dresden

Projektbearbeiter: M.Eng. Bernadetta Winiewska

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Dresden, 25. August 2014

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Projektbeschreibung	7
2.1	Hintergrund	7
2.2	Ziele des Projektes.....	7
2.3	Projektablauf	8
2.4	Erwarteter Nutzen	9
3	Gaswärmepumpen	10
3.1	Technologie.....	10
3.1.1	Allgemeines	10
3.1.2	Motor-Gaswärmepumpe.....	11
3.1.3	Absorptions-Gaswärmepumpe.....	11
3.1.4	Diffusions-Absorptions-Gaswärmepumpe.....	12
3.1.5	Adsorptions-Gaswärmepumpe.....	12
3.2	Literaturanalyse.....	13
3.2.1	Abschätzung des Potenzials von Gaswärmepumpen.....	13
3.2.2	Weltweite Gaswärmepumpenaktivitäten	15
3.2.3	Anforderungen an Gaswärmepumpen	16
3.2.4	Gaswärmepumpen im zukünftigen Wärmemarkt.....	18
3.3	Marktanalyse von Gaswärmepumpen	19
4	Auswertung der Prüfstandsmessungen	23
4.1	Berechnungsverfahren nach VDI 4650 Blatt 2.....	23
4.2	Prüfbedingungen.....	23
4.3	Berechnung der Nutzungsgrade und Heizzahlen	25
4.3.1	Kennzahlen für die Raumheizung	25
4.3.2	Kennzahlen für die Warmwasserbereitung	27
4.3.3	Gesamtkennzahlen.....	28
4.4	Ergebnisse der Prüfstandsmessungen.....	29
4.4.1	Allgemeines	29
4.4.2	Vaillant	29
4.4.3	Viessmann	30
4.4.4	Bosch Thermotechnik	33
4.4.5	Robur/Buderus.....	34
5	Auswertung der Feldtestmessungen	37
5.1	Allgemeines.....	37
5.2	Messdatenerfassung	38
5.3	Vergleich: GWP im Labor und im Feld.....	44
6	Simulationsrechnungen	48

6.1	Einführende Bemerkungen	48
6.2	Simulationssoftware	49
6.3	Simulationsmodell	50
6.4	Randbedingungen der Simulation	53
6.4.1	Gebäudemodell und Wärmeschutzniveau	53
6.4.2	Heizsystem	55
6.4.3	Definition der Standardvariante	55
7	Ergebnisse der Simulationen	57
7.1	Variantenmatrix	57
7.2	Standardvariante	59
7.2.1	EFH Bestand 82	59
7.2.2	EFH Bestand 94	65
7.2.3	EFH Neubau	75
7.3	Parametervariationen	85
7.3.1	Einführende Bemerkungen	85
7.3.2	Einfluss des Wärmeschutzes	85
7.3.3	Einfluss der Systemtemperaturen	87
7.3.4	Einfluss des Betriebsregimes	89
7.3.5	Einfluss der Klimadaten	93
7.3.6	Einfluss der Raum-Solltemperatur	94
7.3.7	Einfluss des Warmwasserbetriebes	95
8	Bewertungsvorschlag für die Sorptions-Gaswärmepumpen	97
8.1	Einführende Bemerkungen	97
8.2	Eingangsparameter des Berechnungsansatzes	97
8.3	Berechnungsansatz zur Bewertung der Sorptions-GWP	98
8.3.1	Raumheizung	98
8.3.2	Warmwasserbereitung	101
8.3.3	Randbedingungen für die Standardwerte	101
8.4	Einschätzung des Berechnungsansatzes	101
9	Normvorschlag: Sorptions-Gaswärmepumpen in der DIN V 18599	102
9.1	Einführende Bemerkungen	102
9.2	Raumheizung (DIN V 18599-5)	102
9.3	Trinkwassererwärmung (DIN V 18599-8)	112
10	Zusammenfassung	114
11	Literaturverzeichnis	117
12	Anhang	119
12.1	Erweiterungen Type 201	119
12.2	Produktdatenblätter	121

Abkürzungen

EFH	Einfamilienhaus
EG	Erdgeschoss
EnEV	Energieeinsparverordnung
et al.	Et alii (und andere)
EWP	Elektrowärmepumpe
FBH	Fußbodenheizung
GWP	Gaswärmepumpe
HeizU	Heizungsunterstützung
HG	Heizgerät
HK	Heizkreis
HZG	Raumheizung
IGWP	Initiative Gaswärmepumpe
L/W-WP	Luft/Wasser-Wärmepumpe
MFH	Mehrfamilienhaus
NZEB	Nearly Zero Energy Building - Niedrigstenergiegebäude
OG	Obergeschoss
RH	Reihenhaus
RL	Rücklauf
S/W-WP	Sole/Wasser-Wärmepumpe
TWE	Trinkwassererwärmung
TWW	Trinkwarmwasser
VAR	Variante
VL	Vorlauf
WW-WP	Wasser/Wasser-Wärmepumpe
WE	Wärmeerzeuger

1 Einleitung

Mit dem Energiekonzept hat die Bundesregierung eine klare Vorgabe für die zukünftige Energieversorgung in Deutschland gemacht. Sie soll umweltschonend, zuverlässig und bezahlbar sein. Entsprechend dem Energiekonzept sollen bis 2020 die Treibhausemissionen in Deutschland um 40 % und bis 2050 um mindestens 80 % - jeweils gegenüber 1990 – reduziert werden. Der Primärenergieverbrauch soll bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 50 % - jeweils gegenüber 2008 - sinken. Der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch soll bis 2020 18 % betragen und bis 2050 auf 60 % ansteigen.

Tabelle 1-1: Gebäuderelevante Klimaschutzziele

Gebäuderelevante Klimaschutzziele		2020	2030	2040	2050
über- greifend	CO ₂ -Reduzierung (Bezugsjahr 1990)	- 40%	- 55%	- 70%	>- 80%
	Reduzierung Primärenergieverbrauch (Bezugsjahr 2008)	- 20%			- 50%
	Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoenergieverbrauch	18%	30%	45%	60%
sektor- spezifisch	Sanierungsrate - Gebäude	Verdopplung von jährlich 1% auf 2%			
	Reduzierung Primärenergiebedarf				- 80%

Zusätzlich zu den o.g. übergreifenden Zielsetzungen definiert die Bundesregierung für den Gebäudebereich sektorspezifische Ziele, da auf den Wärmemarkt im Gebäudebereich rund 40 % des deutschen Endenergieverbrauchs und etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen entfallen. Bis 2020 ist in diesem Bereich bereits eine signifikante CO₂-Emissionsminderung geplant und bis 2050 soll eine Senkung des Primärenergiebedarfes um 80 % im Wärmemarkt erfolgen. Diese definierten Ziele erfordern neben der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien den Einsatz innovativer Effizienztechnologien.

Die Sorptions-Gaswärmepumpen können einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der angestrebten Klimaschutzziele leisten. Sorptionswärmepumpen weisen eine hohe Effizienz aus und führen zur Verringerung des Primärenergiebedarfs und der Kohlendioxidemissionen im Wärmemarkt. Durch die Einbindung von Umweltwärme erreichen Gaswärmepumpen (GWP) einen hohen regenerativen Anteil. Dieser kann durch die Nutzung von Bioerdgas oder durch die Kombination mit Solarthermie weiter gesteigert werden. Dies führt zu einer nochmaligen Absenkung von CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf. Anteile erneuerbarer Energie am gesamten Primärenergieeinsatz von bis zu 40 % lassen sich mit Gaswärmepumpen bereits bei einem Biogasanteil von 20 % erreichen.

Die Gaswärmepumpentechnologie hat in Deutschland dank einer hohen Erdgasverfügbarkeit, einem gut ausgebauten Erdgasnetz und einer verbreiteten Erdgasanwendung im Wärmemarkt ein sehr großes Marktpotenzial.

Erdgas ist der mit Abstand am häufigsten zur Beheizung im Gebäudebestand eingesetzte Energieträger. 49,1 % aller deutschen Wohnungen wurden im Jahr 2011 mit Erdgas beheizt [BDEW, 2012]. In aller Regel kommen Heizkessel als Wärmeerzeuger zum Einsatz. Das technische Potenzial der Brennwerttechnik (auch in Verbindung mit Solarthermie) ist dabei auf der Geräteseite weitgehend ausgeschöpft. Für eine weitere Effizienzsteigerung im Bereich der Gasgeräte für die zukünftige Beheizung des Gebäudebestands stellt die Gaswärmepumpe eine der wenigen erfolgversprechenden Technologien dar.

Im Neubausektor ergibt sich eine deutlich schärfere Wettbewerbssituation für Erdgas als im Bestand. Noch vor 10 Jahren wurde bei mehr als 75 % der zum Bau genehmigten Wohneinheiten Erdgas als Energieträger gewählt. Inzwischen hat sich der Anteil gasbeheizter Neubauten bei etwa 50 % stabilisiert. Die Energiespar- und Klimaschutzziele für den zukünftigen Neubau (besonders NZEB-Standard) lassen sich jedoch mit der den Neubau dominierenden Gasbrennwerttechnik kaum realisieren. Die Gaswärmepumpen können dagegen den verschärften Anforderungen im zukünftigen Neubau standhalten.

Die Initiative Gaswärmepumpe IGWP hat die Gaswärmepumpentechnologie auf dem Weg zur Marktreife begleitet und durch verschiedene Aktivitäten wesentlich dazu beigetragen, dass Gaswärmepumpen als innovative Erdgasanwendung wahrgenommen werden. Sie werden von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Technologien und für differenzierte Zielmärkte angeboten.

Die IGWP wurde im Frühjahr 2008 als eine Allianz aus Geräteindustrie und Energiewirtschaft, der die Hersteller

- Bosch Thermotechnik GmbH, Wetzlar (Bosch)
- Robur GmbH, Friedrichshafen (Robur)
- Vaillant GmbH, Remscheid (Vaillant)
- Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Allendorf (Eder) (Viessmann)

sowie die Energieversorger

- EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Karlsruhe (EnBW)
- E.ON Ruhrgas AG, Essen (E.ON Ruhrgas)
- EWE AG, Oldenburg (EWE)
- GASAG Berliner Gaswerke AG, Berlin (GASAG),
- MVV Energie AG, Mannheim (MVV),
- RWE Rheinland Westfalen Netz AG, Dortmund (RWE)
- VNG - Verbundnetz Gas AG, Leipzig (VNG)

angehören, gegründet. Die Vereinigung der zuvor genannten Energieversorger und Heizungshersteller hatte zum Ziel, eine Plattform für die erfolgreiche Positionierung und Markteinführung der Gaswärmepumpentechnologie zu schaffen.

Durch verschiedene Aktivitäten hat die IGWP wesentlich dazu beigetragen, dass Gaswärmepumpen die Marktreife erreicht haben und im Markt als innovative Erdgasanwendung wahrgenommen werden. Zu den wichtigsten Aktivitäten gehören:

- die technologische Weiterentwicklung der Gaswärmepumpen im Dialog mit den Herstellern und den Energieversorgungsunternehmen sowie der Erfahrungsaustausch im Rahmen von Feldtests,
- das Engagement in Gremien zwecks Berücksichtigung der Gaswärmepumpe in technischen Regeln und zwecks Implementierung nationaler und internationaler Standardisierungen,
- der politische Dialog mit Blick auf die Gesetzgebungsverfahren und Förderprogramme,
- die Präsenz auf Messen, Ausstellungen, die Vorbereitung von Vorträgen und Veröffentlichungen sowie die Erstellung von Vermarktungsunterlagen,
- die Zusammenarbeit mit unabhängigen Instituten zur Beantwortung von unterschiedlichen Fragestellungen
- die Kooperation mit dem Fachhandwerk und weitere Öffentlichkeitsaktivitäten.

Das Ziel der Markteinführung wurde durch die IGWP erreicht. Die IGWP löste sich zum Ende 2012 auf. Die wichtigsten Aktivitäten werden jedoch weiter geführt:

- die weiteren Marketing-Aktivitäten, die in der Vermarktung von Gaswärmepumpen im Verbund innovativer Gasanwendungen bestehen, werden in die branchenweite ERDGAS Produkt- und Systemkampagne integriert,
- für die Tätigkeiten in den Bereichen Technik und Normung findet ein Transformationsprozess in Richtung Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH) statt.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird auf Ergebnisse der von der IGWP in Kooperation mit den Herstellern durchgeführten Feldtestmessungen und der Prüfstandsmessungen für die Sorptions-Gaswärmepumpen zurückgegriffen. Diese bilden die Grundlage zur Erarbeitung eines Simulationsmodells zur Beschreibung des Verhaltens von Gaswärmepumpen und Ableitung eines Berechnungsansatzes. Anschließend wird ein Vorschlag zur energetischen Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen innerhalb der Systemnormung erarbeitet, mit dem Ziel diesen in die zuständigen Normenausschüsse einzubringen.

2 Projektbeschreibung

2.1 Hintergrund

Die inzwischen marktverfügbaren Sorptions-Gaswärmepumpen können nicht ohne Weiteres oder gar nicht im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV) bewertet werden.

Die im Zusammenhang mit der Energieeinsparverordnung [EnEV 2009] anzuwendenden Systemnormen DIN V 4701-10 und DIN V 18599 enthalten kein Verfahren für eine praxismgerechte energetische Bewertung von Gaswärmepumpen. Die Neufassung der DIN V 18599 vom Dezember 2011, auf die die [EnEV 2014] verweist, enthält ein vereinfachtes Verfahren zur energetischen Bewertung von Gaswärmepumpen. Eine Berücksichtigung der konkreten Betriebsbedingungen der Sorptionswärmepumpe erfolgt nicht. So werden z.B. differierende Deckungsanteile der energetisch völlig unterschiedlich effizienten Wärmepumpenmodule und Spitzenlastbrenner nicht erfasst. Es gibt daher einen dringenden Bedarf an einem qualifizierten Verfahren für die energetische Bewertung von Gaswärmepumpen innerhalb der Systemnormung, um einen sachgerechten Vergleich mit anderen Technologien zu ermöglichen.

Ein qualifiziertes Bewertungsverfahren ist gleichzeitig Voraussetzung für die Planung eines energieeffizienten Wärmepumpeneinsatzes, da erst dadurch die Effekte wesentlicher Einflussparameter sichtbar werden.

2.2 Ziele des Projektes

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden Prüfstandsmessungen von Gaswärmepumpen ausgewertet und ein Simulationsmodell zur Beschreibung des Verhaltens von Gaswärmepumpen bei unterschiedlichen Betriebszuständen erstellt. Die Ergebnisse umfangreicher Simulationsrechnungen werden mit den Ergebnissen von Feldtests verglichen und ein geeignetes Bewertungsverfahren für Gaswärmepumpen für die Systemnormung wird abgeleitet. Dabei wird darauf geachtet, dass der Detaillierungsgrad analog zur Bewertung anderer Technologien ist, wesentliche energetische Einflussfaktoren berücksichtigt werden und eine ausreichende Übereinstimmung mit realen Energieverbräuchen vorhanden ist.

Abschließend wird ein Bewertungsvorschlag für die nationale Normung (Fortschreibung der DIN V 18599 und ggf. der DIN V 4701-10, sofern diese Norm weiterentwickelt wird) aufbereitet und in die zuständigen Normenausschüsse (DIN NA 041-05-01: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen und DIN GA 005-56-20: Gemeinschaftsarbeitsausschuss NABau/FNL/NHRS: Energetische Bewertung von Gebäuden) eingebracht.

Zusätzlich werden die Ergebnisse des Forschungsprojektes für die europäische Normung aufbereitet und auf europäischer Ebene im Rahmen des Mandats 480 zur EPBD (Directive on Energy Performance of Buildings) eingebracht (CEN TC 228: Heizungsanlagen in Gebäuden, wird national von NA 041-01-58 AA: Heizungsanlagen in Gebäuden bzw. im DIN NA 041-05-01 gespiegelt, zuständiges Untergremium CEN TC 228/WG 4: Berechnungsverfahren, Anlagenausführung und Bewertung).



Abbildung 2.2-1: Für das Einbringen des Bewertungsvorschlages relevante Normenausschüsse

Begleitend zu o.g. Arbeiten werden Öffentlichkeitsaktivitäten zur Verbreitung des Bewertungsverfahrens für Gaswärmepumpen durchgeführt.

Sorptionswärmepumpen mit Öl als Brennstoff sind bisher nicht marktverfügbar. Das im Rahmen des Forschungsvorhabens zu entwickelnde Bewertungsverfahren soll für die Abbildung solcher Systeme grundsätzlich auch geeignet sein.

2.3 Projektablauf

Die Reihenfolge der im Rahmen des Forschungsvorhabens durchzuführenden Arbeiten stellt vereinfachend die Abbildung 2.3-1 dar.

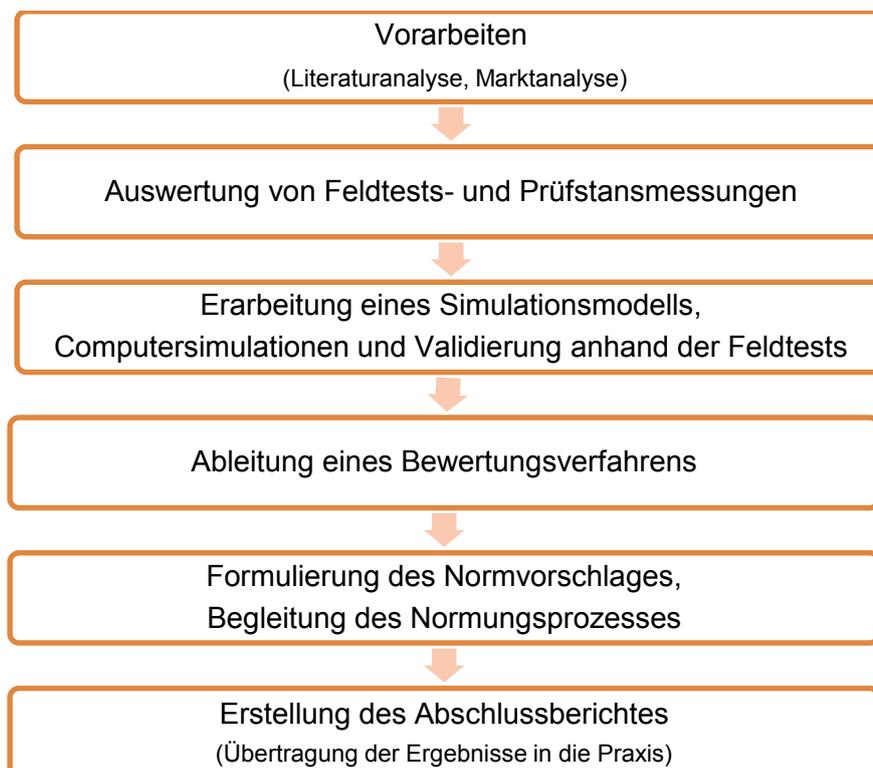


Abbildung 2.3-1: Projektablauf, Übersicht

Die Projektbearbeitung erfolgt im Einzelnen mit diesen Arbeitsschritten

1. Literaturanalyse, Analyse der Marktsituation
2. Auswertung von Prüfstandsmessungen zum Verhalten von Sorptions-Gaswärmepumpen unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen
3. Erstellung eines Simulationsmodells zur Beschreibung des Verhaltens von Gaswärmepumpen bei unterschiedlichen Betriebszuständen
4. Umfangreiche Simulationsrechnungen
5. Validierung der Simulationen anhand von Feldtests
6. Ableitung eines für die normative Bewertung ausreichend genauen, jedoch möglichst einfach zu handhabenden Algorithmus
 - Detaillierungsgrad analog zur Bewertung anderer Technologien
 - Berücksichtigung der wesentlichen energetischen Einflussfaktoren
 - Ausreichende Übereinstimmung mit realen Energieverbräuchen
7. Aufbereitung eines Normvorschlages für die nationale Normung (Fortschreibung der DIN V 18599 und ggf. der DIN V 4701-10) und Einbringung in die zuständigen Normenausschüsse
8. Aufbereitung der Ergebnisse für die europäische Normung und Einbringung der Ergebnisse auf europäischer Ebene (CEN TC 228)
9. Öffentlichkeitsaktivitäten zur Förderung von Gaswärmepumpen
 - Publikation des Forschungsberichtes
 - Fachbeiträge in Fachzeitschriften
 - Vorträge etc.
10. Formaler Projektabschluss
 - Erstellung des Endberichtes
 - Erstellung von Kurzfassungen

2.4 Erwarteter Nutzen

Von den Ergebnissen der Forschungsarbeit wird folgender Nutzen erwartet:

- Sachgerechte normative Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen im Rahmen von EnEV, Förderprogrammen etc. mit DIN V 18599 (und ggf. DIN V 4701-10)
- Verminderung des Aufwandes bei der Nachweiserstellung
- Verbesserung der Rahmenbedingungen für den Einsatz energieeffizienter Sorptions-Gaswärmepumpen

Die geplante Umsetzung in einer durch die EnEV in Bezug genommenen Norm stellt eine äußerst schnelle Verbreitung der im Rahmen des Forschungsvorhabens gewonnen Erkenntnisse in die Planungspraxis sicher. Gleichzeitig fördert eine physikalisch-technisch korrekte Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen die Entwicklungsaktivitäten der Hersteller, da der energetische Vorteil besserer Produkte glaubhaft nachgewiesen werden kann.

3 Gaswärmepumpen

3.1 Technologie

3.1.1 Allgemeines

Die Wärmepumpen können nach [ifeu, 2008], wie in Abbildung 3.1-1 dargestellt, in zwei technische Prinzipien: Kompressions- und Sorptionswärmepumpen unterteilt werden. Sowohl bei Kompressionswärmepumpen als auch bei Sorptionswärmepumpen wird einer Wärmequelle Umgebungswärme mittels Verdampfer entzogen. Diese steht nach Drückerhöhung anschließend im Verflüssiger zur Einspeisung in ein Wärmenetz auf einem höheren Temperaturniveau zur Verfügung. Zur Aufnahme und Abgabe von Wärme wird kontinuierlich der Aggregatzustand des Kältemittels geändert.

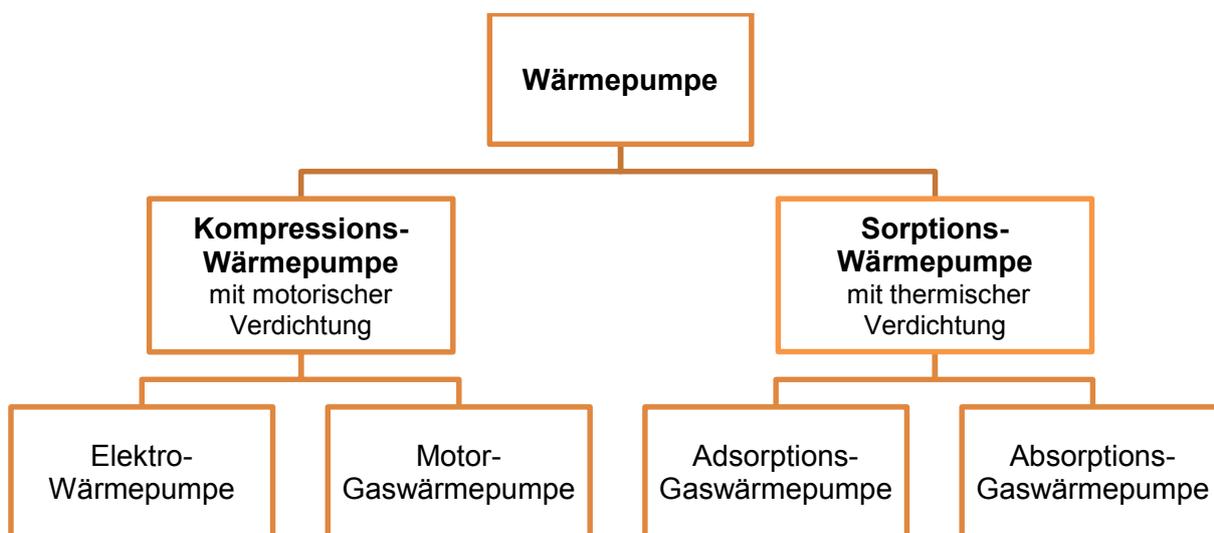


Abbildung 3.1-1: Einteilung von Wärmepumpen

Der Unterschied zwischen beiden Technologieprinzipien liegt in der Art der Verdichtung. Bei den Kompressions-Wärmepumpen kommt ein mechanischer Kompressor, der über Elektro- oder Verbrennungsmotor angetrieben wird, zum Einsatz. Bei Sorptions-Wärmepumpen findet eine thermische Verdichtung über Sorption und Desorption statt.

Die Sorptions-Wärmepumpen werden weiterhin nach Art des Prozesses in Absorptions- und Adsorptions-Wärmepumpen unterschieden:

- Absorptions-GWP: das verdampfte Kältemittel wird in einer Lösung (z.B. Ammoniak/Wasser oder Wasser/Lithiumbromid) aufgenommen, ein kontinuierlicher Prozess
- Adsorptions-GWP: Adsorption (Anlagerung) des Kältemittels (z.B. Wasser, Alkohol) an der Oberfläche eines Feststoffes (z.B. Zeolith, Silikagel), ein zyklischer Prozess

Die Gaswärmepumpen werden als Motor-Gaswärmepumpen, Adsorptions-Gaswärmepumpen und Absorptions-Gaswärmepumpen ausgeführt. Eine Sonderform der Absorptions-GWP bildet die Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP). Die Funktionsprinzipien der Gaswärmepumpen werden in nachstehenden Abschnitten kurz erläutert.

3.1.2 Motor-Gaswärmepumpe

Das Funktionsprinzip einer gasmotorisch betriebenen Wärmepumpe (Motor-GWP) ist ähnlich wie bei einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe, mit dem Unterschied, dass der Verdichter der Motor-GWP mittels Gas statt elektrischer Energie angetrieben wird.

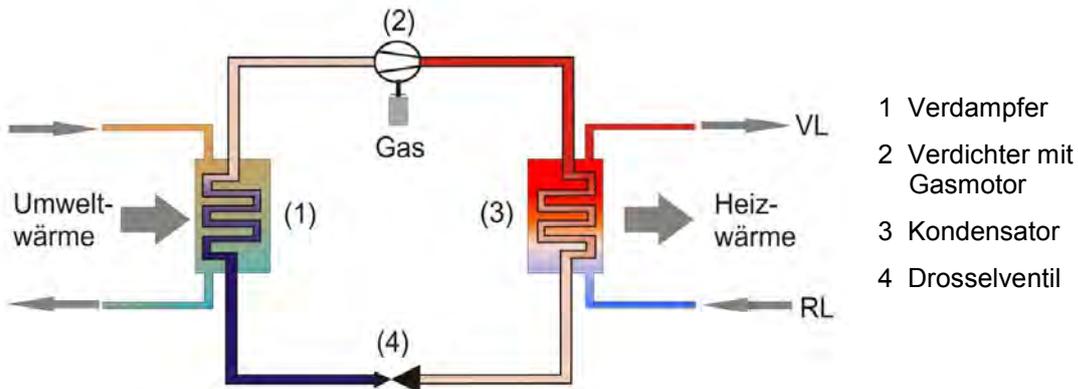


Abbildung 3.1-2: Motor-Gaswärmepumpe

Eine Motor-GWP besteht hauptsächlich, wie in Abbildung 3.1-2 dargestellt, aus einem Verdampfer, einem Verdichter, einem Kondensator und einem Expansionsventil. Das im System zirkulierende Kältemittel wird im Verdampfer (1) unter Zufuhr von Umweltwärme verdampft und gelangt anschließend zum Verdichter (2). Das dort auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau gebrachte Kältemittel (im gasförmigen Zustand) wird in den Verflüssiger/Kondensator (3) geleitet und wieder verflüssigt. Die dabei abgegebene Wärme kann in das Heizsystem eingekoppelt werden. Das im Kondensator verflüssigte Kältemittel wird im Drosselventil (4) entspannt und zum Verdampfer geleitet.

3.1.3 Absorptions-Gaswärmepumpe

Abbildung 3.1-3 stellt das allgemeine Funktionsprinzip einer Absorptions-Gaswärmepumpe dar. Sie besteht aus einem Verdampfer, einem Absorber, einem Desorber/Austreiber, einem Kondensator/Verflüssiger und einem Drosselventil.

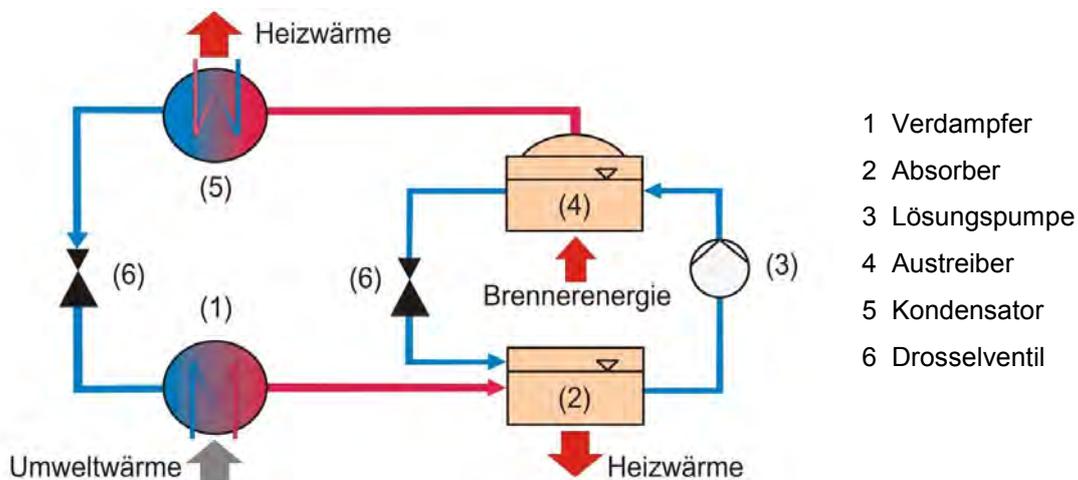


Abbildung 3.1-3: Absorptions-Wärmepumpe

Das Kältemittel wird im Verdampfer (1) mittels der aufgenommenen Umweltwärme verdampft und in den Absorber (2) geleitet. Dort wird das verdampfte Kältemittel unter Wärme-freisetzung (Absorptionswärme) im Lösungsmittel absorbiert. Die Lösungspumpe (3) fördert das Kältemittel-/Lösungsmittel-Gemisch zum Desorber (4), wo unter Zufuhr der Brennerenergie die Austreibung des Kältemittels aus dem Gemisch erfolgt. Das Kältemittel tritt in den Kondensator (5) ein und wird unter Wärmeabgabe verflüssigt. Anschließend erfolgt eine Entspannung des verflüssigten Kältemittels im Expansionsventil/Drosselventil (6) und der Prozess fängt mit dem Eintritt des Kältemittels in den Verdampfer erneut an.

3.1.4 Diffusions-Absorptions-Gaswärmepumpe

Die Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) ist ein Spezialfall der Absorptions-GWP, bei der die Lösungspumpe durch eine Blasenpumpe ersetzt wird. Da die DAWP einen natürlichen Auftrieb nutzt, ist für den Wärmepumpenkreislauf keine elektrische Energie erforderlich. Als Trägergas wird z.B. Helium eingesetzt.

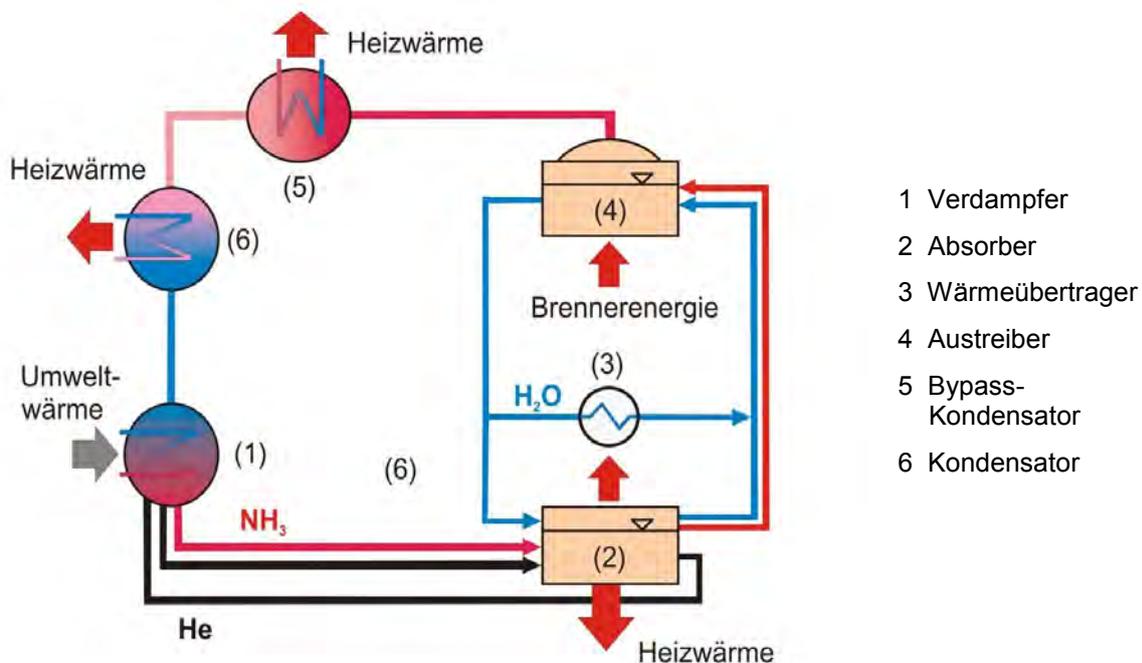
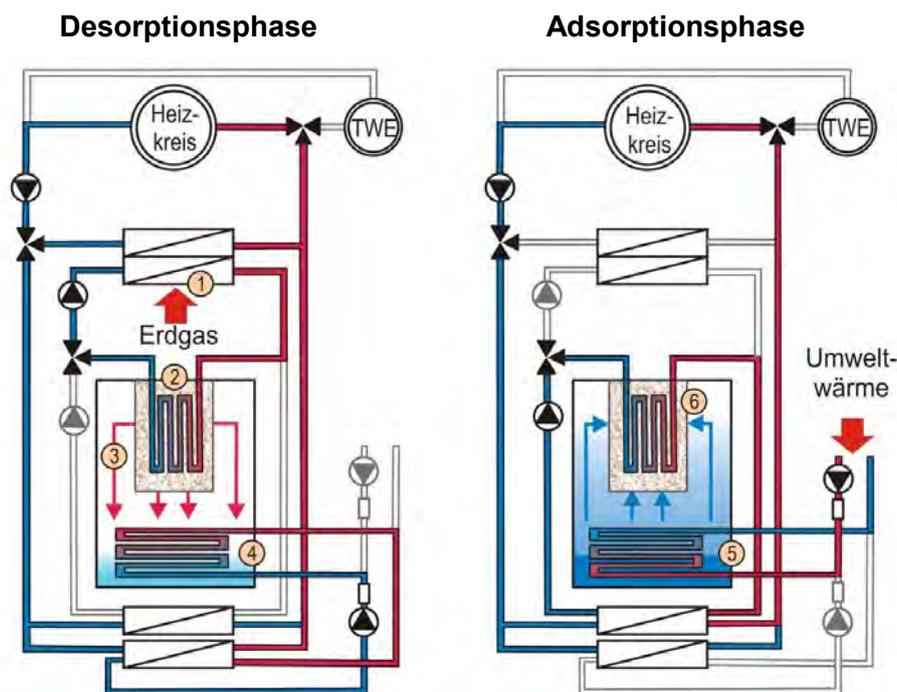


Abbildung 3.1-4: Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP)

3.1.5 Adsorptions-Gaswärmepumpe

Der Sorptionsprozess einer Adsorption-GWP verläuft in zwei Phasen, die Desorptions- und die Adsorptionsphase. In der ersten Phase wird das im Adsorbens (z.B. Zeolith) enthaltene Kältemittel (z.B. Wasserdampf) ausgetrieben. Durch den Adsorber/Desorber (2) strömt der Wärmeträger Wasser, der mit Hilfe des Gasbrenners (1) auf ca. 110°C erhitzt wird und über einen internen Wasserkreislauf übertragen wird. Das dadurch erwärmte Adsorbens gibt das gespeicherte Kältemittel ab - das Kältemittel **desorbiert** und strömt als heißer Dampf in den unteren Teil des Moduls. Hier kondensiert der Dampf und gibt dabei seine Kondensationswärme an den unteren Wärmetauscher bzw. das Heizsystem ab. Dieser Schritt ist beendet, wenn das Adsorbens einen bestimmten Trocknungsgrad erreicht hat und das gesamte Kältemittel sich im unteren Teil des Moduls befindet.



- | | | |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 Brennwerteinheit | 3 Kältemittel (Wasserdampf) | 5 Kältemittel (verdampft) |
| 2 Adsorber (Zeolith-Modul) | 4 Kältemittel (kondensiert) | 6 Kältemittel dampfförmig |

Abbildung 3.1-5: Adsorptions-Wärmepumpe, Zeolith-Gaswärmepumpe

Im weiteren Verlauf wird der Gasbrenner (1) ausgeschaltet, das Zeolith-Modul (2) kühlt zunächst auf Rücklauftemperaturniveau ab und die Adsorptionsphase beginnt. Während der zweiten Phase wird die Umgebungswärme eingekoppelt. Die Verdampfungswärme für das Kältemittel kann z.B. durch Solarkollektoren zur Verfügung gestellt werden. Sobald die Temperatur des Verdampfers unter das Temperaturniveau der Umgebungswärmequelle gesunken ist, wird die Solepumpe eingeschaltet. Die durch eine Umweltwärmequelle (z.B. geothermische Bohrung oder Solarkollektoren) erwärmte Sole führt dem Verdampfer "kalte" Energie zu. Das Kältemittel im unteren Teil des Adsorbers verdampft, der Dampf strömt in den oberen Teil des Adsorbers und wird durch das Adsorbens **adsorbiert**. Die dabei frei werdende Adsorptionswärme wird ebenfalls als Nutzwärme genutzt. Wenn das Kältemittel im unteren Teil des Adsorbers vollständig verdampft ist, beginnt der Prozess erneut.

3.2 Literaturanalyse

3.2.1 Abschätzung des Potenzials von Gaswärmepumpen

Bereits am Anfang ihrer Aktivitäten hat die IGWP zwei unabhängige Institute beauftragt, die das Potenzial der Gaswärmepumpentechnologie abschätzen sollten.

Das ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden und das Beratungsbüro für Energieeffizienz und Umweltschutz Bergheim Prof. Manfred Kleemann haben die Studie zum Thema „Potenzial der Gaswärmepumpentechnologie“ [ITG/Kleemann, 2010] erarbeitet. In der Studie werden Gaswärmepumpensysteme technisch beschrieben sowie mit anderen Systemen zur Heizung und Warmwasserversorgung von Wohngebäuden aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht verglichen. Anschließend werden aus volkswirtschaftlicher und energiepolitischer Sicht zwei Szenarien für die Wärmemarktentwicklung und die Rolle der

Gaswärmepumpe darin betrachtet, wobei das Szenario eines nachhaltigen Wärmemarktes favorisiert wird.

Die wichtigsten Aussagen der Studie bezüglich des Potenzials der Gaswärmepumpentechnologie können, wie folgt, zusammengefasst werden:

1) Wirtschaftlichkeit

Die Jahresgesamtkosten und damit die Wirtschaftlichkeit einer Systemlösung mit Gaswärmepumpe hängen stark von den Investitionskosten und der Förderung ab. Aus den durchgeführten Berechnungen lässt sich ableiten, dass die Förderung besonders bei der Markteinführung von Gaswärmepumpen eine wichtige Rolle spielt und deutlich zur Senkung der Jahresgesamtkosten beitragen kann. Ohne Förderung bei der Markteinführung weisen die untersuchten Varianten mit GWP deutlich höhere Jahresgesamtkosten als Vergleichsvarianten aus. Die Berechnungen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit beim Einsatz der GWP sich deutlich verbessert, wenn die Gerätekosten zukünftig sinken. Wie bei anderen technischen Systemen kann auch hier davon ausgegangen werden, dass mit steigenden Stückzahlen die Geräte- und Systemkosten sinken. Die Jahresgesamtkosten einer Systemlösung mit GWP würden dann im Bereich anderer marktgängigen Technologien liegen.

2) Ökologische Aspekte

Aus ökologischer Sicht weisen die GWP im Vergleich zu anderen gasbetriebenen Wärmeerzeugern wesentliche Vorteile auf. Gaswärmepumpen können pro eingesetzte Kilowattstunde Erdgas zwischen 1,2 und 1,6 Kilowattstunden Wärme produzieren. Der Primärenergiebedarf und die Kohlendioxidemissionen lassen sich damit beim Einsatz von GWP im Vergleich zu Gas-Brennwertgeräten deutlich reduzieren. Die Staub-, NO_x- und Kohlenmonoxid-Emissionen sind ebenso vergleichsweise gering. Durch die Einbindung der Umweltwärme erreichen Gaswärmepumpen zusätzlich einen merklichen Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Primärenergiebedarf.

3) Wärmemarktentwicklung

Im zweiten Teil der Studie wird die Wärmemarktentwicklung bis 2030 betrachtet. Das favorisierte „Szenario Nachhaltigkeit“ ist durch eine forcierte energetische Gebäudesanierung und durch einen verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien gekennzeichnet. Nach diesem Szenario soll der Gesamtverbrauch um ca. 19 % reduziert werden und der Anteil erneuerbaren Energien auf 32 % in 2030 ansteigen. Dadurch gehen die Marktanteile der fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl zwar zurück, der Wärmemarkt ist aber 2030 immer noch zu 53 % von diesen beiden Energieträgern abhängig. Die erwartete Wärmemarktentwicklung macht den Einsatz von Effizienztechnologien unabdingbar.

Aus den durchgeführten Berechnungen lassen sich folgende Aussagen bezüglich der Gaswärmepumpen auf dem zukünftigen Wärmemarkt ableiten:

- Jährliche Installationsraten: Für 2010 wurde ein Volumen von 4.000 Anlagen pro Jahr erwartet, das bis 2020 auf rund 50.000 GWP pro Jahr ansteigen sollte und bis 2030 fast 110.000 Anlagen pro Jahr erreichen sollte.
- Der Anlagenbestand an Gaswärmepumpen sollte sich damit bis 2030 auf rund 1.050.000 Anlagen erhöhen.
- Entsprechend der unterstellten Marktentwicklung für die GWP sollten die Investitionen in diese Technologie von 0,1 Mrd. € im Jahr 2010 auf 1,7 Mrd. € pro Jahr bis 2030 ansteigen. Damit würde der Anteil der GWP an den gesamten Investitionen auf dem deutschen Heizungsmarkt ca. 8 % im Jahr 2030 betragen.

3.2.2 Weltweite Gaswärmepumpenaktivitäten

Nach einer positiven Abschätzung des Potenzials der Gaswärmepumpentechnologie und den erfolgversprechenden ersten Labor- und Feldtests wurde das Leipziger Institut für Energie GmbH von der IGWP beauftragt, die Erfolgsfaktoren und Hemmnisse für die Markteinführung von Gaswärmepumpen durch eine Analyse des internationalen Gaswärmepumpenmarktes zu analysieren und daraus Rückschlüsse und Empfehlungen für den deutschen Markt abzuleiten [IE Leipzig, 2011]. Der Fokus der Untersuchungen wurde auf den Einsatz von Gaswärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern gelegt.

Im Rahmen der durchgeführten Marktanalyse wird die weltweite Marktentwicklung von Gaswärmepumpen in den Ländern Japan, China, USA, Kanada und Australien kurz dargestellt und die Gründe für deren Marktposition genannt.

Die Gaswärmepumpentechnologie hat sich besonders in Japan etabliert. Seit über 30 Jahren werden dort Motor-GWP und Gasklimageräte zum Heizen und Kühlen erfolgreich eingesetzt. In China und den USA hat sich diese Technologie zum Teil etabliert. In Kanada und Australien befinden sich die GWP in der Phase einer frühen Markteinführung.

Da gerade in den Ländern Japan, China und den USA die Gaswärmepumpen in Form von Gasklimageräten vorrangig die Funktion der Klimatisierung übernehmen, können keine Rückschlüsse für den deutschen Markt daraus gezogen werden. Daher werden im Hauptteil der Studie ausgewählte europäische Märkte hinsichtlich der Verfügbarkeit von Gaswärmepumpen und der die Markteinführung von GWP beeinflussenden Rahmenbedingungen analysiert.

Die Erkenntnisse der Studie können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Gaswärmepumpen befinden sich in den analysierten europäischen Ländern in einer frühen Markteintrittsphase. Für den Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser sind jedoch kaum Geräte marktverfügbar. Die Zeolith-GWP von Vaillant befindet sich zu dem Zeitpunkt in Deutschland, Frankreich, Österreich und der Schweiz in der Markteinführung bzw. ist diese in absehbarer Zukunft geplant. Die Zeolith-GWP von Viessmann wird zu dem Zeitpunkt noch in Feldtests erprobt. Im höheren Leistungsbereich bis ca. 40 kW stehen die Absorptions-Wärmepumpen der italienischen Firma Robur zur Verfügung, die mit geringfügigen Anpassungen auch

durch deutsche Heiztechnikanbieter, wie z.B. Bosch Thermotechnik, Oertli-Rohleder Wärmetechnik, vertrieben werden.

- Ein großes Potenzial für Gaswärmepumpen bieten Länder mit einer hohen Erdgasverfügbarkeit, einem gut ausgebauten Erdgasnetz und einer verbreiteten Erdgasanwendung (hoher Anteil von Erdgas am Raumwärmemarkt). Dazu gehören insbesondere Belgien, Großbritannien und die Niederlande.
- Für eine erfolgreiche Markteinführung der GWP sind außerdem die Länder erfolgversprechend, in denen sich die Wärmepumpentechnologie (EWP) etabliert hat. Eine sehr hohe Akzeptanz und hohe Absatzzahlen haben die Wärmepumpen in Frankreich, Deutschland, Österreich und der Schweiz.
- Staatliche Förderungen für Wärmepumpen sind in allen betrachteten Ländern vorhanden. Die Gaswärmepumpen werden bei Förderinstrumenten nur unzureichend berücksichtigt, nur in Deutschland, den Niederlanden und Österreich wird die GWP explizit gefördert. Die in Deutschland an GWP gestellten Anforderungen im Rahmen von MAP und EEWärmeG werden nicht nach Wärmequelle und Technologie differenziert und sind zum Teil zu hoch angesetzt. Dadurch kann die GWP im Gegensatz zur Elektrowärmepumpe an einer erfolgreichen Markteinführung gehindert werden.
- Besonders in Ländern mit einer weniger effizienten und ökologischen Stromerzeugung kann die Gaswärmepumpe gegenüber der EWP primärenergetische und ökologische Vorteile aufweisen. Bei einer Verwendung von Biogas oder „Windmethan“ als Brennstoff können die primärenergetischen Vorteile noch erhöht werden.

3.2.3 Anforderungen an Gaswärmepumpen

Parallel zur Analyse der europäischen Wärmemärkte wird vom ITG Dresden in Zusammenarbeit mit der TU Dresden [ITG/TU, 2012] untersucht, welche Anforderungen Gaswärmepumpen erfüllen müssen, damit sie einen marktrelevanten Anteil bei der zukünftigen Wärmeversorgung von Gebäuden erreichen und sich als Alternative zu den herkömmlichen Technologien am Wärmemarkt etablieren können. Da der Wärmemarkt in Deutschland langfristig durch den Gebäudebestand dominiert wird, wurde im Rahmen der Studie der Einsatz der Gaswärmepumpen im Bereich der Bestandsgebäude untersucht.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten die Anforderungen an die Gaswärmepumpen für den deutschen Gebäudebestand abgeleitet werden. Zum einen werden die technischen Anforderungen (u.a. Abmessungen, Gerätebauart, Schallemissionen, verbrennungsbedingte Emissionen, TEWI-Grenzwert, Kältemittel, Aufstell-, Anschluss- und Betriebsbedingungen) und zum anderen die Anforderungen an die Investitionskosten (zulässige Systemkosten und Gerätelistenpreis) definiert.

Bei der Definition von Anforderungen an die verbrennungsbedingten Emissionen und das Kältemittel wird auf zwei weitere Studien, die im Auftrag der IGWP parallel erarbeitet wurden, zurückgegriffen: „Zukünftige Anforderungen an das EU Ecolabel für Heizgeräte in Warmwasser-Heizungsanlagen“ von [Heikrodt, 2011] und das „Gutachten zu den

Aufstellungsbedingungen von Sorptionswärmepumpen mit NH₃ als Arbeitsmittel“ von [Ziegler, 2010].

Die verbrennungsbedingten Emissionen von neu entwickelten Gaswärmepumpen sollten nach [Heikrodt, 2011] zukünftig folgende Werte nicht überschreiten:

- NO_x ≤ 60 mg/kWh (bezogen auf Nutzenergie)
- CO ≤ 50 mg/kWh (bezogen auf Nutzenergie).

Nach [Ziegler, 2010] steht für die Bestimmung von Aufstellungsbedingungen für Sorptionsgeräte anhand der Füllmenge des Kältemittels die DIN EN 378-1 zur Verfügung. Die nach DIN EN 378-1 definierte Kältemittelfüllmenge (Ammoniak) für Wohnbereiche von maximal 2,5 kg sollte bei den Gaswärmepumpen, die in Ein- und Zweifamilienhäuser eingesetzt werden, angestrebt werden. Damit wäre die Aufstellung von Sorptionsgeräten in Wohnbereichen ohne zusätzliche sicherheitstechnische Vorkehrungen möglich. Ein spezieller verschlossener Aufstellraum ist nicht erforderlich.

Die für Gaswärmepumpen definierten technischen Anforderungen können folgender Tabelle entnommen werden:

Tabelle 3-1: Technische Anforderungen an GWP für Ein- und Zweifamilienhaus

Anforderungsgröße		Anforderungswert
Abmessungen und Gewicht	Minimale Abmessung	≤ 610 mm
	Höhe	≤ 1950 mm
	Gewicht	<ul style="list-style-type: none"> • Wandhängend: 50 bis 70 kg • Bodenstehend: keine Anforderungen
Gerätebauart		Entwicklungsfortschritt: Standgerät → Wandgerät → Splitgerät
Wärmequelle		Erschließbare Wärmequellen: Luft, Erdreich, Solarstrahlung
Schallemissionen	Schalleistungspegel	möglichst ≤ 55 dB(A)
Kältemittel		bei Ammoniak: Füllmenge möglichst ≤ 2,5 kg (Aufstellung in Wohnbereichen möglich)
TEWI-Grenzwert		TEWI-Wert möglichst < 202
Verbrennungsbedingte Emissionen		<ul style="list-style-type: none"> • NO_x ≤ 60 mg/kWh • CO ≤ 50 mg/kWh
Zusätzliche Ausstattung/Eigenschaften		<ul style="list-style-type: none"> • Einrichtungen zur Gasbeschaffenheitserkennung empfehlenswert • Modulierender Brenner mit Modulationsverhältnis von mindestens 1:3 • Einsatz von Hocheffizienzpumpen (falls geräte- oder systemintegriert)
Aufstell-, Anschluss- und Betriebsbedingungen	GWP als Austauschgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Innenaufstellung im vorhandenen Heizraum • Nutzung vorhandener Anschlüsse (Gasanschluss, Vor-/Rücklauf) • Systemtemperaturen EFH: ≥ 55/45°C MFH: Vorlauftemperaturen kurzzeitig 70°C

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden die Gaswärmepumpen mit konkurrierenden konventionellen Anlagenvarianten (Gas-Brennwerttechnik mit/ohne Solarthermie) verglichen, um daraus die zulässigen GWP-Kosten abzuleiten. Die im Rahmen der Studie abgeleiteten Anforderungen an Investitionskosten werden auszugsweise in der Tabelle 3-2 dargestellt.

Tabelle 3-2: Anforderungen an Investitionskosten von GWP

Anforderungsgröße	Anforderungswert		
	System-nutzungsgrad	EFH Bestand Leistung ca. 14 kW	kleines MFH, saniert Leistung ca. 20 kW
Zulässige Systemkosten¹⁾			
Brutto-Endkundenpreis - incl. Wärmeerzeuger, Wärmequelle, Warmwasserbereitung und Montage	$\eta_{th}=1,3$	13.000 € (16.000 €) ²⁾	22.000 € (26.000 €) ²⁾
	$\eta_{th}=1,5$	15.000 € (19.000 €) ²⁾	26.000 € (31.000 €) ²⁾
Listenpreis der GWP¹⁾			
Netto-Listenpreis - incl. Wärmeerzeuger, Regelung und Warmwasserbereitung	$\eta_{th}=1,3$	11.500 € (9.200 €) ²⁾	20.300 € (17.100 €) ²⁾
	$\eta_{th}=1,5$	13.600 € (10.400 €) ²⁾	23.300 € (18.800 €) ²⁾

¹⁾ Zielgröße: Jahresgesamtkosten 10 % höher als Gas-Brennwert + sol. Warmwasser/Heizungsunterstützung
²⁾ Werte in Klammern für Gaswärmepumpen mit Erdreich als Wärmequelle

Aus den durchgeführten Berechnungen lässt sich ableiten, dass die Gaswärmepumpen gegenüber konkurrierenden Systemen zur Wärmeversorgung von Bestandsgebäuden eine Reihe wesentlicher Vorteile aufweisen. Um zukünftig eine breitere Marktpräsenz zu erreichen, sind gegenüber dem aktuellen Stand der Technik eine gewisse technische Weiterentwicklung und eine Verringerung der Investitionskosten erforderlich. Die aus dem Vergleich mit den Wettbewerbssystemen ableitbaren Anforderungen sind jedoch in einem überschaubaren Zeitraum erreichbar.

3.2.4 Gaswärmepumpen im zukünftigen Wärmemarkt

Der zukünftige Wärmemarkt wird durch viele politische und regulatorische Rahmenbedingungen maßgeblich beeinflusst. Auf der nationalen Ebene zählt dazu vor allem das Energiekonzept der Bundesregierung, auf der europäischen Ebene die EU Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD).

Im Rahmen einer vom Prof. Manfred Kleemann erarbeiteten Studie wird untersucht, wie sich das Energiekonzept der Bundesregierung auf den Wärmemarkt und die Positionierung der GWP-Technologie darin auswirkt [Kleemann, 2011]. Dabei werden 3 Szenarien für die zukünftige Wärmeversorgung analysiert, die einen unterschiedlichen Grad der Umsetzung des Energiekonzeptes beschreiben. So sollen die für das Jahr 2050 definierten

Klimaschutzziele im Szenario „Trend 2090“ erst im Jahr 2090, im Szenario „Moderat 2070“ im Jahr 2070 und im Szenario „Forciert 2050“ schon im Jahr 2050 erreicht werden.

Aus Sicht des Autors ist eine im Szenario „Moderat 2070“ beschriebene Entwicklung, die zwischen dem Idealfall der vollständigen Umsetzung bis 2050, die als Obergrenze anzusehen ist, und der als Untergrenze definierten Trendentwicklung bis 2090 verlaufen wird, wahrscheinlich. Nach diesem Szenario soll der Endenergieverbrauch von 2010 bis 2035 um 18 % und bis 2050 um ca. 30 % reduziert werden. Der Anteil der fossilen Endenergien am gesamten Endenergiebedarf sinkt durch die Effizienzmaßnahmen und durch die Nutzung erneuerbarer Energien von derzeit 91 % auf 56 % bis 2035 und auf 33 % bis 2050. Gleichzeitig steigt der Anteil der erneuerbaren Energien von 9 % im Jahr 2010 auf 44 % im Jahr 2035 an und erreicht maximal 67 % im Jahr 2050.

Aus den durchgeführten Berechnungen und Annahmen für Szenario „Moderat 2070“ lassen sich folgende Aussagen bezüglich der Gaswärmepumpen auf dem zukünftigen Wärmemarkt ableiten:

- Jährliche Installationsraten: Die aktuell noch niedrigen Zubauraten sollen bis 2035 auf 55.000 Anlagen pro Jahr steigen und bis 2050 rund 68.000 Anlagen pro Jahr erreichen.
- Anlagenbestand: Der Anlagenbestand an Gaswärmepumpen soll sich damit bis 2035 auf etwa 670.000 Anlagen erhöhen. Für das Jahr 2050 wird ein Anlagenbestand mit rund 1,2 Mio. Anlagen erwartet.
- Entsprechend der unterstellten Marktentwicklung für die GWP sollen die Investitionen in diese Technologie von 0,02 Mrd. € im Jahr 2010 auf 1,08 Mrd. € pro Jahr bis 2050 ansteigen. Damit soll der Anteil der GWP an den gesamten Investitionen für die Anlagenerneuerung ca. 3,5 % im Jahr 2050 betragen.

3.3 Marktanalyse von Gaswärmepumpen

Sorptions-Gaswärmepumpen werden in Deutschland von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Technologien und für differenzierte Zielmärkte angeboten. Die Einsatzbereiche von Sorptions-Gaswärmepumpen sind nahezu identisch mit denen von Gas-Brennwertgeräten: Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Gewerbe.

Die Zeolith-Gaswärmepumpe zeoTHERM der Firma Vaillant GmbH mit Solarkollektoren als Wärmequelle ist seit Frühjahr 2010 marktverfügbar. Zum Marktstart wurde die Zeolith-Gaswärmepumpe zeoTHERM VAS 106/3 mit einer Nennwärmeleistung von 10 kW nur im System mit drei Flachkollektoren und einem bivalenten Warmwasserspeicher angeboten. Inzwischen sind auch Systemkombinationen mit Vakuum-Röhrenkollektoren bzw. mit einer vorhandenen thermischen Solaranlage im Modernisierungsfall möglich. Das Angebot wurde im zweiten Halbjahr 2012 um eine Zeolith-GWP mit einer Nennwärmeleistung von 15 kW (zeoTHERM VAS 156/4) erweitert, was den Einsatz der Gaswärmepumpe nicht nur im Neubau und sanierten Bestand sondern auch im unsanierten Wohngebäudebestand ermöglicht.

Die Markteinführung der Zeolith-Gaswärmepumpe VITOSORP 200-F der Firma Viessmann Werke GmbH & Co. KG fand im Herbst 2013 statt. Sie wird mit einer Nennwärmeleistung von 10 kW (15 kW im Warmwasserbetrieb) und zunächst mit Wärmequelle Erdreich, dann voraussichtlich ab Herbst 2014 mit Solarkollektoren als Wärmequelle angeboten. Diese Zeolith-GWP kann daher sowohl im Neubau als auch im Bestand eingesetzt werden.

Im höheren Leistungsbereich bis ca. 40 kW sind seit 2009 auch modulierende Absorptionswärmepumpen mit Wärmequelle Erdreich, Außenluft und Wasser der italienischen Firma Robur GmbH in Deutschland erhältlich. Der Einsatzbereich dieser Gaswärmepumpen erstreckt sich aufgrund der Nennleistung auf mittelgroße Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude. Die Geräte werden mit geringen Anpassungen inzwischen durch andere Heiztechnikanbieter wie z. B. Bosch Thermotechnik GmbH, De Dietrich Remeha GmbH und OERTLI-ROHLER Wärmetechnik GmbH vertrieben. Die Bosch Thermotechnik GmbH bietet in der Buderus-Produktpalette seit Herbst 2011 die Absorptions-Gaswärmepumpe Logatherm GWPL41 mit Außenluft als Wärmequelle und seit Herbst 2012 die Logatherm GWPS41 und Logatherm GWPW41 mit Erdreich und Wasser als Wärmequelle an.

Die marktverfügbaren bzw. sich kurz vor der Markteinführung befindlichen Gaswärmepumpen werden in folgender Übersicht gezeigt. Ausführliche Informationen zum jeweiligen Gerät können dem Anhang 12.2 entnommen werden.

Tabelle 3-3: Gaswärmepumpen am Markt (Bildquelle: Vaillant, Viessmann, Robur, Bosch Thermotechnik)

	Adsorptions-Gaswärmepumpe		Absorptions-Gaswärmepumpe		
					
Hersteller	Vaillant	Viessmann	Bosch Thermotechnik	Robur	Bosch Thermotechnik
Einsatzbereich	EFH	EFH	EFH	MFH/Nichtwohngeläude	MFH/Nichtwohngeläude
Leistung	10 und 15 kW	15 kW	3-10 kW	15-41 kW	15-41 kW
Status	Marktverfügbar seit - 04/2010 (10 kW) - 09/2012 (15 kW)	Marktverfügbar seit Herbst 2013	Labor-/Feldtest	Marktverfügbar seit Frühjahr 2009 (LW, SW, WW)	Marktverfügbar seit - 2. Halbjahr 2011 (L/W) - 2. Halbjahr 2012 (S/W, W/W)
EFH - Einfamilienhaus, MFH - Mehrfamilienhaus, L/W – Luft/Wasser-Wärmepumpe, S/W – Sole/Wasser-Wärmepumpe, W/W – Wasser/Wasser-Wärmepumpe					

Der junge Markt für Gaswärmepumpen ist auf der Anbieterseite gegenwärtig durch eine außerordentliche Dynamik geprägt. Zusätzlich zu Aktivitäten zur Implementierung der marktverfügbaren Gaswärmepumpen im Wärmemarkt werden Entwicklungsaktivitäten fortgesetzt. Einige Hersteller haben die Markteinführung weiterer Geräte/Lösungen in den kommenden Jahren angekündigt.

Viessmann entwickelt eine wandhängende Absorptions-Gaswärmepumpe im kleinen Leistungsbereich (s. Abbildung 3.3-1). Die Vitosorp 300-W arbeitet mit einem thermischen Verdichter und einem integrierten Gas-Brennwertgerät zur Deckung von Bedarfsspitzen. Das Gerät soll bei einem Modulationsgrad von 1:10 zwischen 1,6 und 16 kW modulieren. Damit wäre die GWP für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern geeignet. Vitosorp 300-W wird mit Erdsreich als Wärmequelle angeboten.

Abmessungen, Gewicht, Montage- und Serviceaufwand sollten bei Vitosorp 300-W mit einem wandhängenden Gas-Brennwertkessel vergleichbar sein.



Abbildung 3.3-1: Vitosorp 300-W: Absorptions-Gaswärmepumpe, Quelle: Viessmann

Bosch Thermotechnik hat eine Absorptions-Gaswärmepumpe mit Luft als Wärmequelle im kleinen Leistungsbereich angekündigt. Die Nennleistung soll 17 kW betragen. Damit wäre die Gaswärmepumpe für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern geeignet. Die Gaswärmepumpe soll in das Produktprogramm von Buderus aufgenommen werden.

4 Auswertung der Prüfstandsmessungen

4.1 Berechnungsverfahren nach VDI 4650 Blatt 2

Die Gaswärmepumpen werden von unabhängigen Prüfinstituten gemäß VDI 4650 Blatt 2:2011-12 „Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresheizzahl und des Jahresnutzungsgrads von Sorptionswärmepumpenanlagen – Gas-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung“ [VDI 4650-2] vermessen. Für die geprüften Geräte werden gemäß o.g. VDI-Richtlinie folgende Kennziffern bestimmt:

- Jahresheizzahl und Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung
- Jahresheizzahl und Jahresnutzungsgrad für die Warmwasserbereitung
- Gesamt-Jahresheizzahl und Gesamt-Jahresnutzungsgrad

Je nach Geräteart wird die solare Unterstützung für die Raumheizung und/oder Warmwasserbereitung bei der Berechnung der o.g. Kennzahlen berücksichtigt.

4.2 Prüfbedingungen

Die Berechnung des Jahresnutzungsgrades und der Jahresheizzahl von Sorptions-Gaswärmepumpen basiert auf der Bestimmung des Norm-Nutzungsgrades von Brennwertgeräten gemäß DIN 4702-8 „Heizkessel – Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors“. Nach [DIN 4702-8] wird der Norm-Nutzungsgrad aus fünf gleichgewichteten Teillast-Nutzungsgraden bei den relativen Wärmeleistungen 13 %, 30 %, 39 %, 48 % und 63 % bestimmt. Die relative Wärmeleistung ist dabei die Wärmeleistung in einem beliebigen Betriebspunkt bezogen auf die deklarierte Nennwärmeleistung des Gerätes im Heizbetrieb.

Die bei der Messung nach VDI 4650 Blatt 2 zugrunde gelegten Prüfbedingungen werden auszugsweise im Folgenden genannt.

Die bei der Prüfung nach VDI 4650 Blatt 2 einzuhaltenden Vorlauf- und Rücklaufftemperaturen für die drei typischen Heiznetze und die jeweilige relative Wärmeleistung sind in Tabelle 4-1 ausgewiesen.

Tabelle 4-1: Prüfbedingungen für die Bestimmung der Teillast-Nutzungsgrade

Relative Wärmeleistung θ	Heiznetz 35/28°C		Heiznetz 55/45°C		Heiznetz 65/50°C	
	t_{VL} in °C	t_{RL} in °C	t_{VL} in °C	t_{RL} in °C	t_{VL} in °C	t_{RL} in °C
0,13	22,2	21,3	26,0	24,8	28,8	26,8
0,30	24,9	22,8	32,6	29,6	37,1	32,6
0,39	26,2	23,5	35,6	31,7	41,1	35,2
0,48	27,5	24,2	38,5	33,8	44,9	37,7
0,63	29,7	25,3	43,4	37,2	51,0	41,6

Gleichzeitig definiert die VDI 4650 Blatt 2 für die unterschiedlichen Umweltwärmequellen die bei der Prüfung einzuhaltenden Randbedingungen u.a. bezüglich der Verdampfer-Eintrittstemperatur.

Die bei der Prüfung einer Gaswärmepumpe mit Erdreich als Wärmequelle unterstellten Verdampfer-Eintrittstemperaturen (Sole-Temperaturen) in Abhängigkeit von der relativen Wärmeleistung stellt folgende Tabelle dar. Diese Werte gelten nur für Gaswärmepumpen mit Erdwärmesonden. Erdwärmekollektoren werden im Rahmen dieser VDI-Richtlinie nicht berücksichtigt.

Tabelle 4-2: Verdampfer-Eintrittstemperaturen für Sole/Wasser-Wärmepumpen

Relative Wärmeleistung θ	Sole/Wasser-Wärmepumpe $t_{\text{Verd,ein,Sole}}$, in °C
0,13	9
0,30	8
0,39	7
0,48	6
0,63	5

Für Grundwasser als Wärmequelle definiert die VDI-Richtlinie Umrechnungsfaktoren für die Ermittlung der Teillast-Nutzungsgrade für Grundwasser als Wärmequelle aus den gemessenen Werten für Erdreich als Wärmequelle. Die Umrechnungsfaktoren werden in Tabelle 4-3 aufgelistet. Bei der Messung der fünf Teillastpunkte ist die Verdampfer-Eintrittstemperatur einer Gaswärmepumpe mit Grundwasser als Wärmequelle mit 10°C bzw. mit 7°C bei einem zusätzlichen Zwischen-Wärmetauscher anzunehmen.

Tabelle 4-3: Umrechnungsfaktoren für die Ermittlung der Teillast-Nutzungsgrade für Grundwasser als Wärmequelle

Relative Wärmeleistung θ	Wasser/Wasser-Wärmepumpe	
	$t_{\text{Verd,ein}}$ 7 °C	$t_{\text{Verd,ein}}$ 10 °C
0,13	0,98	1,01
0,30	0,99	1,02
0,39	1,00	1,03
0,48	1,03	1,05
0,63	1,05	1,07

Für Gaswärmepumpen mit Außenluft als Wärmequelle werden die in Tabelle 4-4 genannten Werte (Wärmequellentemperaturen) am Eintritt in den Luft-Wärmeübertrager in Abhängigkeit von der relativen Wärmeleistung und der Normaußentemperatur angenommen.

Tabelle 4-4: Außenlufttemperatur t_a , abhängig von der Normaußen­temperatur und der relativen Leistung

Relative Wärmeleistung θ	$t_{a,N} = -10 \text{ °C}$	$t_{a,N} = -12 \text{ °C}$	$t_{a,N} = -14 \text{ °C}$	$t_{a,N} = -16 \text{ °C}$
0,13	16,2	15,9	15,6	15,4
0,30	10,9	10,3	9,7	9,1
0,39	8,4	7,6	6,8	6,0
0,48	5,7	4,8	3,8	2,9
0,63	1,2	0,0	-1,3	-2,5

Bei Solarstrahlung als Wärmequelle werden die in Tabelle 4-4 ausgewiesenen Werte mit Temperatur­aufschlag in Abhängigkeit von der Aperturfläche und der Kollektorart nach Tabelle 4-5 korrigiert.

Tabelle 4-5: Temperaturerhöhung gegenüber der Außentemperatur bei Solarstrahlung als Wärmequelle

Aperturfläche in m^2	Temperaturerhöhung Flachkollektoren in $^{\circ}\text{C}$	Temperaturerhöhung Röhrenkollektoren in $^{\circ}\text{C}$
2	2,1	3,0
3	2,9	4,1
4	3,6	5,2
6	4,8	6,8
8	5,6	8,0

4.3 Berechnung der Nutzungsgrade und Heizzahlen

4.3.1 Kennzahlen für die Raumheizung

Die unter Zugrundelegung der zuvor genannten Prüfbedingungen gemessene Wärmeleistung, Brennstoffleistung und die elektrische Leistungsaufnahme in den jeweiligen Teillastpunkten wird für die Berechnung der im Folgenden ausgewiesenen Kennzahlen nach VDI 4650 Blatt 2 verwendet.

Der Jahresnutzungsgrad Raumheizung errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\eta_{N,h} = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{h,i}}} \quad (4.3.1)$$

mit

$$\eta_{h,i} = \frac{P_{i,th}}{Q_i} \quad (4.3.2)$$

Dabei ist

$\eta_{h,i}$ Nutzungsgrad

$P_{i,th}$ Wärmeleistung

Q_i Brennstoffleistung

in den 5 Teillastpunkten der Gaswärmepumpe (13 %, 30 %, 39 %, 48 % und 63 %) unter Berücksichtigung der zuvor genannten Prüfbedingungen.

Die Jahresheizzahl Raumheizung ergibt sich aus Gleichung (4.3.3):

$$\zeta_h = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\zeta_{h,i}}} \quad (4.3.3)$$

mit

$$\zeta_{h,i} = \frac{P_{i,th}}{Q_i + P_{i,el}} \quad (4.3.4)$$

Dabei ist

$\zeta_{h,i}$ Heizzahl

$P_{i,th}$ Wärmeleistung

Q_i Brennstoffleistung

$P_{i,el}$ elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe

in den 5 Teillastpunkten der Gaswärmepumpe (13 %, 30 %, 39 %, 48 % und 63 %) unter Berücksichtigung der zuvor genannten Prüfbedingungen.

Solarunterstützte Raumheizung

Der Jahresnutzungsgrad einer Sorptionswärmepumpe mit direkter solarer Heizungsunterstützung errechnet sich nach Gleichung (4.3.5):

$$\eta_{N,h,S} = \frac{\eta_{N,h}}{1 - X} \quad (4.3.5)$$

Dabei ist

$\eta_{N,h}$ Jahresnutzungsgrad der Sorptions-Gaswärmepumpe gemäß Gleichung (4.3.1) unter Berücksichtigung der im Abschnitt 4.2 genannten Randbedingungen

X Anteil an Heizwärme durch direkte solare Heizungsunterstützung

Die Jahresheizzahl einer Sorptionswärmepumpe mit direkter solarer Heizungsunterstützung berechnet sich zu:

$$\zeta_{h,S} = \frac{\zeta_h}{1 - (1 - z \cdot \zeta_h) \cdot X} \quad (4.3.6)$$

Dabei ist

X Anteil an Heizwärme durch direkte solare Heizungsunterstützung

ζ_h Jahresheizzahl gemäß Gleichung (4.3.3) unter Berücksichtigung der im Abschnitt 4.2 genannten Randbedingungen

- z Verhältnis aus der elektrischen Hilfsenergie für die zusätzlich benötigte Solarpumpe und der durch die Solarenergie bereitgestellten Nutzwärme

4.3.2 Kennzahlen für die Warmwasserbereitung

Der Jahresnutzungsgrad für die Warmwasserbereitung **ohne** Solarunterstützung ($\eta_{N,w}$) wird nach Gleichung (4.3.7) berechnet.

$$\eta_{N,w} = \frac{1}{\frac{Y}{\eta_{w1}} + \frac{1-Y}{\eta_{w2}}} \quad (4.3.7)$$

mit:

- Y „Anteil der Heizarbeit zur Aufheizung von Frischwasser- auf Nutztemperatur“, üblicherweise $Y=0,4$
- η_{w1} „Nutzungsgrad der Aufheizung“, anzuwenden ist der Jahresnutzungsgrad für das Heiznetz 55/45°C bei der gewählten Wärmequelle.
- η_{w2} „Nutzungsgrad der Nachladung“, anzuwenden ist der Nutzungsgrad bei 65/50°C und Nennleistung der Gaswärmepumpe

Die Jahresheizzahl für die Warmwasserbereitung **ohne** Solarunterstützung ($\zeta_{N,w}$) ergibt sich aus Gleichung (4.3.8):

$$\zeta_{N,w} = \frac{1}{\frac{Y}{\zeta_{w1}} + \frac{1-Y}{\zeta_{w2}}} \quad (4.3.8)$$

mit:

- Y „Anteil der Heizarbeit zur Aufheizung von Frischwasser- auf Nutztemperatur“, üblicherweise $Y=0,4$
- ζ_{w1} „Heizzahl der Aufheizung“, anzuwenden ist die Jahresheizzahl für das Heiznetz 55/45°C bei der gewählten Wärmequelle
- ζ_{w2} „Heizzahl der Nachladung“, anzuwenden ist die Heizzahl bei 65/50°C und Nennleistung der Gaswärmepumpe

Der Jahresnutzungsgrad Warmwasserbereitung **mit** Solarunterstützung errechnet sich zu:

$$\eta_{N,w,S} = \frac{\eta_{N,w}}{1 - \varphi} \quad (4.3.9)$$

Dabei ist

- φ Solarer Deckungsanteil für die Warmwasserbereitung (anlagen-/gebäudespezifisch)
- $\eta_{N,w}$ Jahresnutzungsgrad Warmwasserbereitung nach Gleichung (4.3.7)

Die Jahresheizzahl Warmwasserbereitung **mit** Solarunterstützung wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\zeta_{N,w,S} = \frac{\zeta_{N,w}}{1 - (1 - z \cdot \zeta_{N,w}) \cdot \varphi} \quad (4.3.10)$$

Dabei ist

- φ Solarer Deckungsanteil für die Warmwasserbereitung (anlagen-/gebäudespezifisch)
- $\zeta_{N,w}$ Jahresheizzahl Warmwasserbereitung nach Gleichung (4.3.8)
- z Verhältnis aus der elektrischen Hilfsenergie für die zusätzlich benötigte Solarpumpe und der durch die Solarenergie bereitgestellten Nutzwärme

4.3.3 Gesamtkennzahlen

Bei der Berechnung der Gesamtkennzahlen einer Gaswärmepumpe nach VDI 4650 Blatt 2 (Gesamt-Jahresnutzungsgrad, Gesamt-Jahresheizzahl) werden die zuvor genannten Kennzahlen für die Raumheizung und Warmwasserbereitung entsprechend ihrem Anteil gewichtet.

Der Gesamt-Jahresnutzungsgrad berechnet sich dementsprechend zu:

$$\eta_{N,WP} = \frac{1}{\frac{1-y}{\eta_{N,h}} + \frac{y}{\eta_{N,w}}} \quad (4.3.11)$$

Dabei ist

- y Anteil des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf – (anlagen-/gebäudespezifisch)

Die Gesamt-Jahresheizzahl wird nach Gleichung (4.3.12) ermittelt:

$$\zeta_{WP} = \frac{1}{\frac{1-y}{\zeta_h} + \frac{y}{\zeta_w}} \quad (4.3.12)$$

In der Gleichung (4.3.11) und Gleichung (4.3.12) sind bei solarer Heizungsunterstützung $\eta_{N,h}$ durch $\eta_{N,h,S}$ bzw. ζ_h durch $\zeta_{h,S}$ zu ersetzen. Bei solarer Unterstützung der Warmwasserbereitung werden $\eta_{N,w}$ durch $\eta_{N,w,S}$ bzw. ζ_w durch $\zeta_{w,S}$ ersetzt.

4.4 Ergebnisse der Prüfstandsmessungen

4.4.1 Allgemeines

Die detaillierten Ergebnisse der im Rahmen der IGWP durchgeführten Prüfstandsmessungen, u.a. die Brennstoffleistung, Wärmeleistung und die elektrische Leistungsaufnahme in den jeweiligen Teillastpunkten, liegen vor. Auf Wunsch der Hersteller wird jedoch an dieser Stelle verzichtet, die detaillierten Messwerte bekannt zu geben.

Im Folgenden werden die von den Prüfinstituten ermittelten Kennziffern:

- Jahresnutzungsgrad und Jahresheizzahl für die Raumheizung¹
- Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl für die Raumheizung und Warmwasserbereitung²

für die jeweiligen Geräte ausgewiesen. Diese werden den von der IGWP im Zuge der Bearbeitung des Forschungsvorhabens zur Verfügung gestellten Prüfberichten entnommen³.

4.4.2 Vaillant

Die Adsorptions-Gaswärmepumpe zeoTHERM der Firma Vaillant wurde am GWI Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. gemäß der VDI-Richtlinie VDI 4650 Blatt 2 für die Heiznetze 35/28°C und 55/45°C vermessen.

Die ermittelten Kennzahlen: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl mit solarer Unterstützung für die Raumheizung und Warmwasserbereitung werden in folgender Tabelle ausgewiesen.

Die Abbildung 4.4-1 stellt zusätzlich den Jahresnutzungsgrad und die Jahresheizzahl für die Raumheizung dar.

Tabelle 4-6: Gesamtkennzahlen der zeoTHERM mit solarer Unterstützung für Warmwasserbereitung und Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,40	1,33
Gesamt-Jahresheizzahl	1,37	1,30

Bei der Berechnung der Gesamtkennzahlen wird der solare Deckungsanteil für die Warmwasserbereitung mit $\varphi = 60\%$, der solare Deckungsanteil für die Raumheizung mit $X = 5\%$ und der Anteil des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf mit $y = 18\%$ angenommen.

¹ Ermittelt nach Gleichung (4.3.1) bzw. (4.3.3), beschreibt die Effizienz der GWP ohne zusätzliche solare Unterstützung und ist damit für die Beurteilung des Wärmepumpenprozesses im Gegensatz zur Gesamtkennzahl am besten geeignet.

² Bei der Berechnung der Gesamtkennzahlen wird der Anteil des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf einheitlich bei allen Anlagen mit $y = 18\%$ durch die Prüfinstitute angenommen. Dadurch wird die Vergleichbarkeit der Kennzahlen der jeweiligen Anlagen gewährleistet. Der unterstellte pauschale Wert beschreibt nach VDI 4650 Blatt 2 ein Beispielgebäude (Bestandsgebäude) und hat seinen Ursprung in der früheren Version der Heizkostenverordnung. Im Neubaubereich werden tendenziell höhere Anteile des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf erreicht. Analog dazu wird der solare Deckungsanteil für die Warmwasserbereitung mit $\varphi = 60\%$ und der solare Deckungsanteil für die Raumheizung mit $X = 5\%$ (falls zutreffend) angenommen. Da das zu erarbeitende Bewertungsverfahren auf den Teilergebnissen (Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung und Jahresnutzungsgrad für die Warmwasserbereitung) und nicht auf der Gesamtkennzahl aufbaut, spielen die unterstellten Werte für die weitere Vorgehensweise keine Rolle.

³ Die Prüfberichte zur Leistungsmessung einer GWP gemäß VDI 4650 Blatt 2 liegen beim Hersteller und dem zutreffenden Prüfinstitut (GWI, DBI, EBI, HLK) vor.

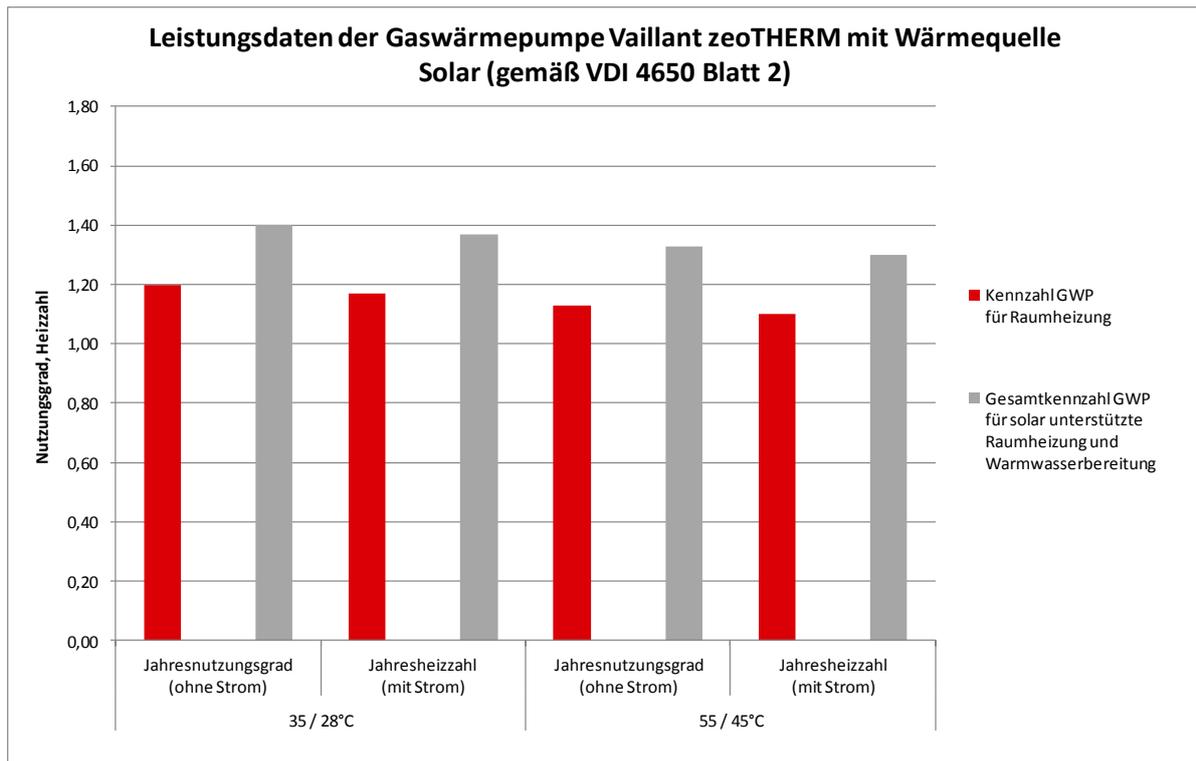


Abbildung 4.4-1: Leistungsdaten der Adsorptions-Gaswärmepumpe zeoTHERM mit Wärmequelle Solar

4.4.3 Viessmann

Die Adsorptions-Gaswärmepumpe VITOSORP 200-F der Firma Viessmann wurde durch das DBI - Gasthechnologisches Institut gGmbH Freiberg gemäß der VDI-Richtlinie VDI 4650 Blatt 2 für die Heiznetze 35/28°C und 55/45°C vermessen.

Die ermittelten Leistungsdaten der VITOSORP 200-F mit Wärmequelle Erdreich stellt die Abbildung 4.4-2 detailliert dar.

Die ermittelten Kennzahlen: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl für die Wärmequelle Erdreich ohne solare Unterstützung sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 4-7: Gesamtkennzahlen der VITOSORP 200-F mit Erdreich als Wärmequelle ohne solare Unterstützung für Warmwasserbereitung und Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,28	1,21
Gesamt-Jahresheizzahl	1,23	1,17

Wird die Viessmann-Gaswärmepumpe mit einer Solaranlage zur solaren Trinkwassererwärmung kombiniert, ergeben sich die in Tabelle 4-8 zusammengestellten Kennzahlen nach VDI 4650 Blatt 2: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl mit solarer Unterstützung für die Warmwasserbereitung.

Dabei wird bei der Ermittlung der Gesamtkennzahlen der solare Deckungsanteil für die Warmwasserbereitung mit $\varphi = 60\%$ und der Anteil des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf mit $\gamma = 18\%$ zugrunde gelegt.

Tabelle 4-8: Gesamtkennzahlen der VITOSORP 200-F mit Erdreich als Wärmequelle mit solarer Unterstützung für Warmwasserbereitung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,46	1,38
Gesamt-Jahresheizzahl	1,40	1,33

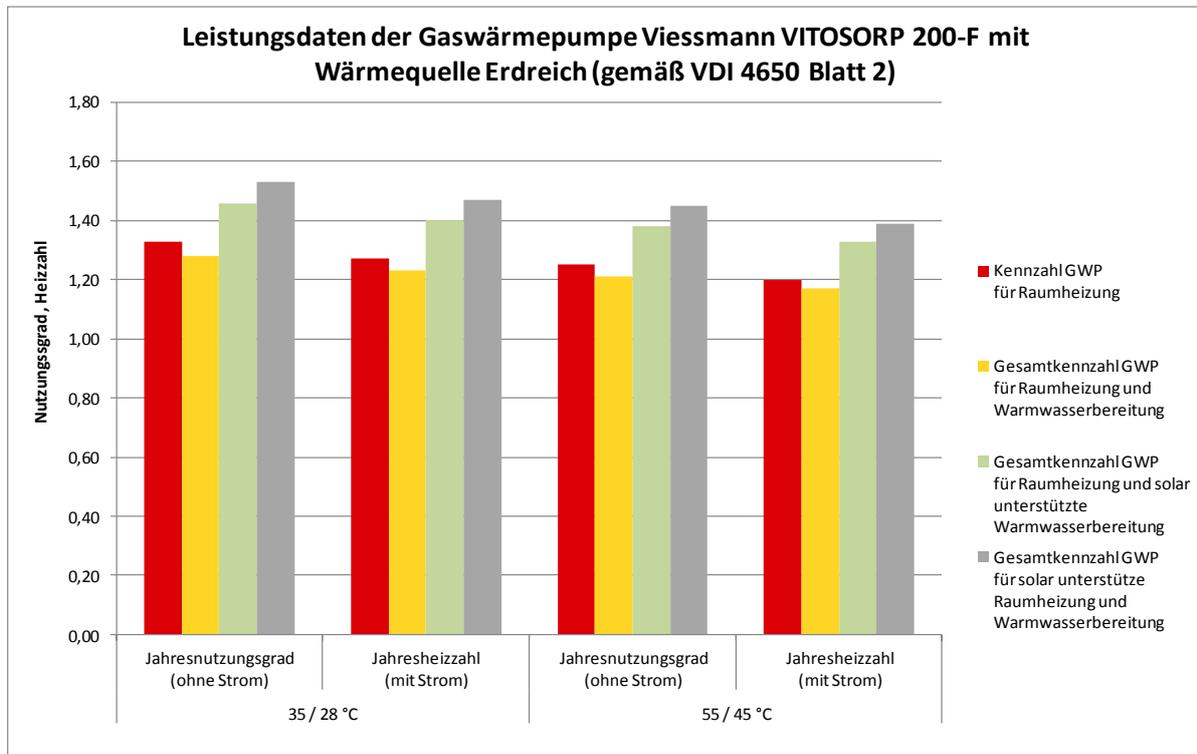


Abbildung 4.4-2: Leistungsdaten der Adsorptions-Gaswärmepumpe VITOSORP 200-F mit Wärmequelle Erdreich

Wird zusätzlich zur solaren Trinkwassererwärmung die solare Heizungsunterstützung berücksichtigt, ergeben sich die in Tabelle 4-9 zusammengestellten Kennzahlen nach VDI 4650 Blatt 2: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl mit solarer Unterstützung für die Warmwasserbereitung und Raumheizung. Dabei wird bei der Ermittlung der Gesamtkennzahlen der solare Deckungsanteil für die Raumheizung mit $X = 5\%$ angenommen.

Tabelle 4-9: Gesamtkennzahlen der VITOSORP 200-F mit Erdreich als Wärmequelle mit solarer Unterstützung für Warmwasserbereitung und Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,53	1,45
Gesamt-Jahresheizzahl	1,47	1,39

Die Leistungsdaten der VITOSORP 200-F mit Wärmequelle Solar werden detailliert in Abbildung 4.4-3 abgebildet.

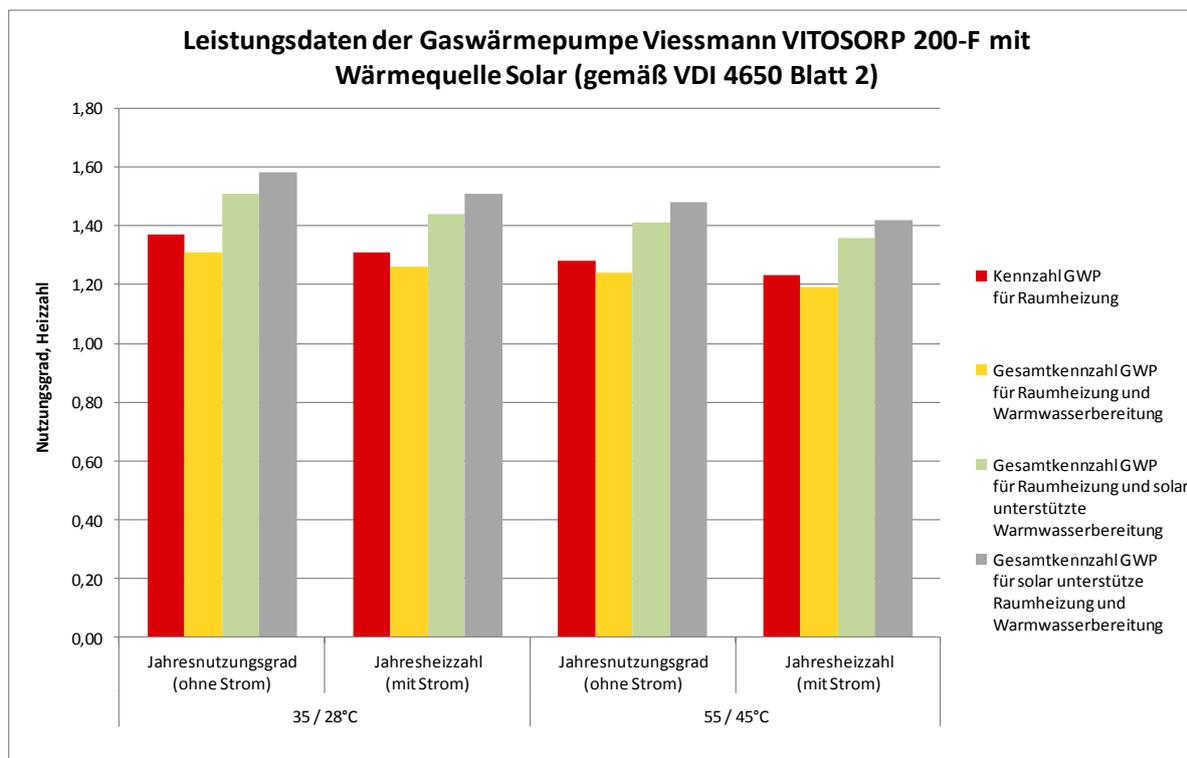


Abbildung 4.4-3: Leistungsdaten der Adsorptions-Gaswärmepumpe VITOSORP 200-F mit Wärmequelle Solar

Die ermittelten Gesamtkennzahlen für die VITOSORP 200-F mit Wärmequelle Solar: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl für die Wärmequelle Solar mit solarer Unterstützung für die Warmwasserbereitung sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Bei der Berechnung der Gesamtkennzahlen wird der Anteil des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf mit $\gamma = 18\%$ angenommen. Die solare Unterstützung für die Warmwasserbereitung wird mit $\varphi = 60\%$ unterstellt.

Tabelle 4-10: Gesamtkennzahlen der VITOSORP 200-F mit Solar als Wärmequelle mit solarer Unterstützung für Warmwasserbereitung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,51	1,41
Gesamt-Jahresheizzahl	1,44	1,36

Die Gesamtkennzahlen für die VITOSORP 200-F mit Wärmequelle Solar: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl für die Wärmequelle Solar mit solarer Unterstützung für die Warmwasserbereitung und Raumheizung werden in Tabelle 4-11 ausgewiesen. Die solare Unterstützung für die Raumheizung wird dabei mit $X = 5\%$ (Deckungsanteil Raumheizung) angenommen.

Tabelle 4-11: Gesamtkennzahlen der VITOSORP 200-F mit Solar als Wärmequelle mit solarer Unterstützung für Warmwasserbereitung und Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,58	1,48
Gesamt-Jahresheizzahl	1,51	1,42

4.4.4 Bosch Thermotechnik

Die DAWP-Wärmepumpe der Firma Bosch Thermotechnik wurde am GWI Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. nach der VDI 4650 Blatt 2 für die Heiznetze 35/28°C, 55/45°C und 70/55°C vermessen.

Die während der Labormessung ermittelten Leistungsdaten der Diffusions-Absorption-GWP mit Wärmequelle Erdreich stellt detailliert die Abbildung 4.4-4 dar.

Die berechneten Gesamtkennzahlen für die Diffusions-Absorption-GWP: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl für die Wärmequelle Erdreich ohne solare Unterstützung werden in folgender Tabelle ausgewiesen.

Tabelle 4-12: Gesamtkennzahlen der Bosch Thermotechnik-Gaswärmepumpe ohne solare Unterstützung für Warmwasserbereitung und Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C	Heiznetz 70/55°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,29	1,24	1,16
Gesamt-Jahresheizzahl	1,24	1,19	1,11

Wird die Bosch Thermotechnik-Gaswärmepumpe mit einer Solaranlage zur solaren Trinkwassererwärmung kombiniert, ergeben sich die in Tabelle 4-13 zusammengestellten Kennzahlen nach VDI 4650 Blatt 2: Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl mit solarer Unterstützung für die Warmwasserbereitung.

Tabelle 4-13: Gesamtkennzahlen der Bosch Thermotechnik-Gaswärmepumpe mit solarer Unterstützung für Warmwasserbereitung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C	Heiznetz 70/55°C
Gesamt-Jahresnutzungsgrad	1,49	1,42	1,32
Gesamt-Jahresheizzahl	1,42	1,36	1,25

Bei der Berechnung der Gesamtkennzahlen wird der Anteil des Warmwasserenergiebedarfs am gesamten Wärmeenergiebedarf mit $\gamma = 18\%$ angenommen. Die solare Unterstützung für die Warmwasserbereitung wird mit $\varphi = 60\%$ unterstellt. Die direkte solare Heizungsunterstützung wird nicht berücksichtigt.

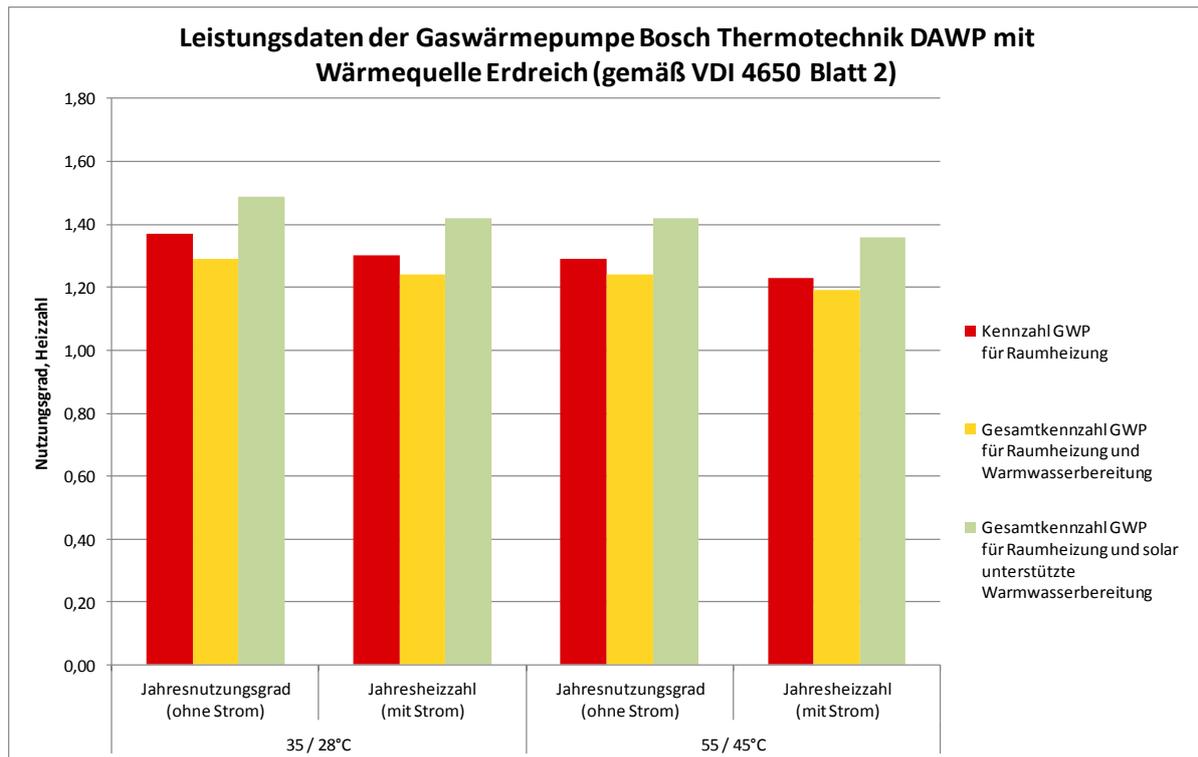


Abbildung 4.4-4: Leistungsdaten der Gaswärmepumpe Bosch Thermotechnik DAWP mit Wärmequelle Erdreich

4.4.5 Robur/Buderus

Die Absorptions-Gaswärmepumpen von Robur wurden am Engler-Bunte-Institut (EBI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und durch die HLK Stuttgart GmbH untersucht. Die Luft/Wasser-GWP Logatherm GWPL 41 von Buderus (Bosch Thermotechnik GmbH), die mit der GAHP A HT der Firma Robur baugleich ist, wurde an der HLK Stuttgart GmbH nach der VDI 4650 Blatt 2 für die Heiznetze 35/28°C und 55/45°C vermessen.

Die Messung der Luft/Wasser-GWP am Versuchsstand der HLK Stuttgart GmbH ergab die in folgender Tabelle und Abbildung 4.4-5 ausgewiesenen Kennzahlen: Jahresnutzungsgrad und Jahresheizzahl für Raumheizung für die Wärmequelle Luft ohne solare Unterstützung.

Tabelle 4-14: Jahresheizzahl und Jahresnutzungsgrad für Raumheizung der Luft/Wasser-Gaswärmepumpe ohne solare Unterstützung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung	1,5	1,4
Jahresheizzahl für die Raumheizung	1,4	1,3

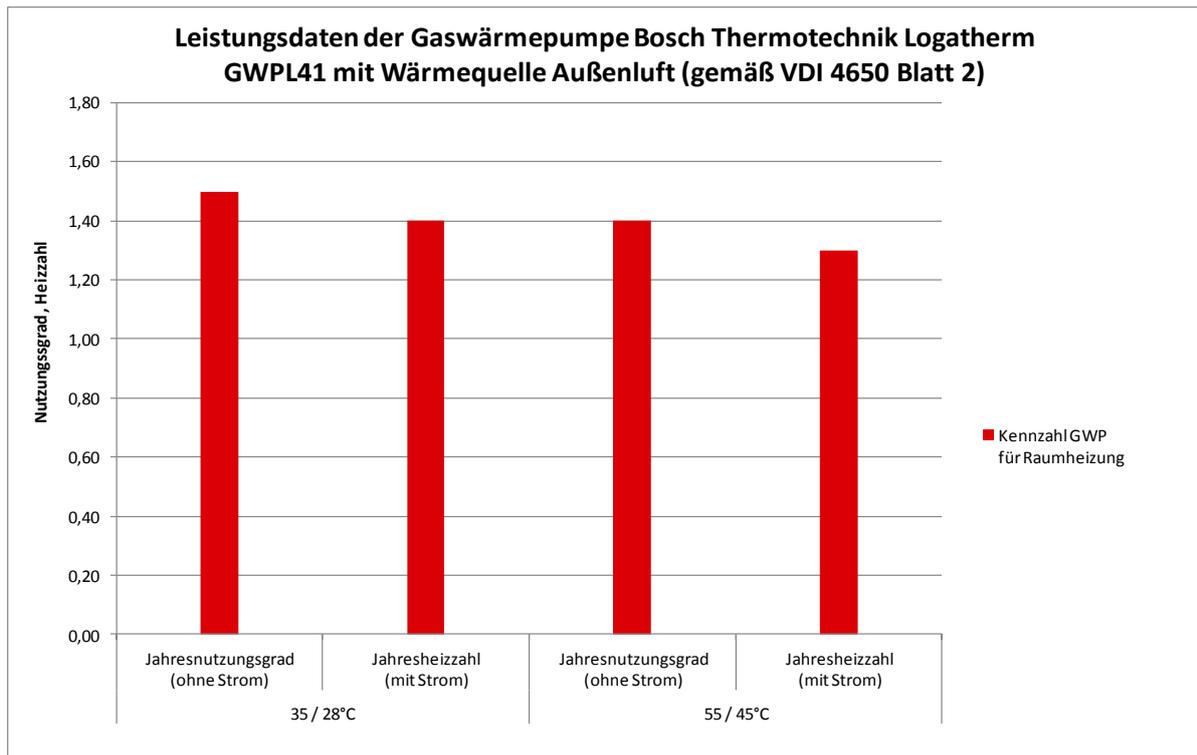


Abbildung 4.4-5: Leistungsdaten der Absorptions-Gaswärmepumpe Bosch Thermotechnik Logatherm GWPL 41 mit Wärmequelle Außenluft

Die Kennzahlen für die Warmwasserbereitung wurden im Rahmen der Messung nicht bestimmt. Daher ist die Ermittlung der Gesamtkennzahlen (Gesamt-Jahresnutzungsgrad und Gesamt-Jahresheizzahl) für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung nach VDI 4650 Blatt 2 nicht möglich.

Die Untersuchungen der Sole/Wasser-Absorptions-GWP am EBI ergaben die in Abbildung 4.4-6 und Tabelle 4-15 ausgewiesenen Kennzahlen: Jahresnutzungsgrad und Jahresheizzahl für die Raumheizung für die Wärmequelle Erdreich ohne solare Unterstützung.

Tabelle 4-15: Jahresheizzahl und Jahresnutzungsgrad für Raumheizung der Sole/Wasser-Gaswärmepumpe ohne solare Unterstützung nach VDI 4650 Blatt 2

	Heiznetz 35/28°C	Heiznetz 55/45°C
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung	1,58	1,47
Jahresheizzahl für die Raumheizung	1,48	1,38

Entsprechend der Berechnungsvorschrift der VDI 4650 Blatt 2 wurden für die Wasser/Wasser-GWP aus den Kennwerten für die Sole/Wasser-GWP die in Tabelle 4-16 und Abbildung 4.4-7 dargestellten Jahresnutzungsgrade für die Raumheizung in Abhängigkeit von der Verdampfer Eintrittstemperatur ermittelt.

Tabelle 4-16: Jahresnutzungsgrad für Raumheizung der Wasser/Wasser-Gaswärmepumpe ohne solare Unterstützung nach VDI 4650 Blatt 2

Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung	Verdampfer-eintrittstemperatur 7°C	Verdampfer-eintrittstemperatur 10°C
Heiznetz 35/28°C	1,60	1,64
Heiznetz 55/45°C	1,49	1,53

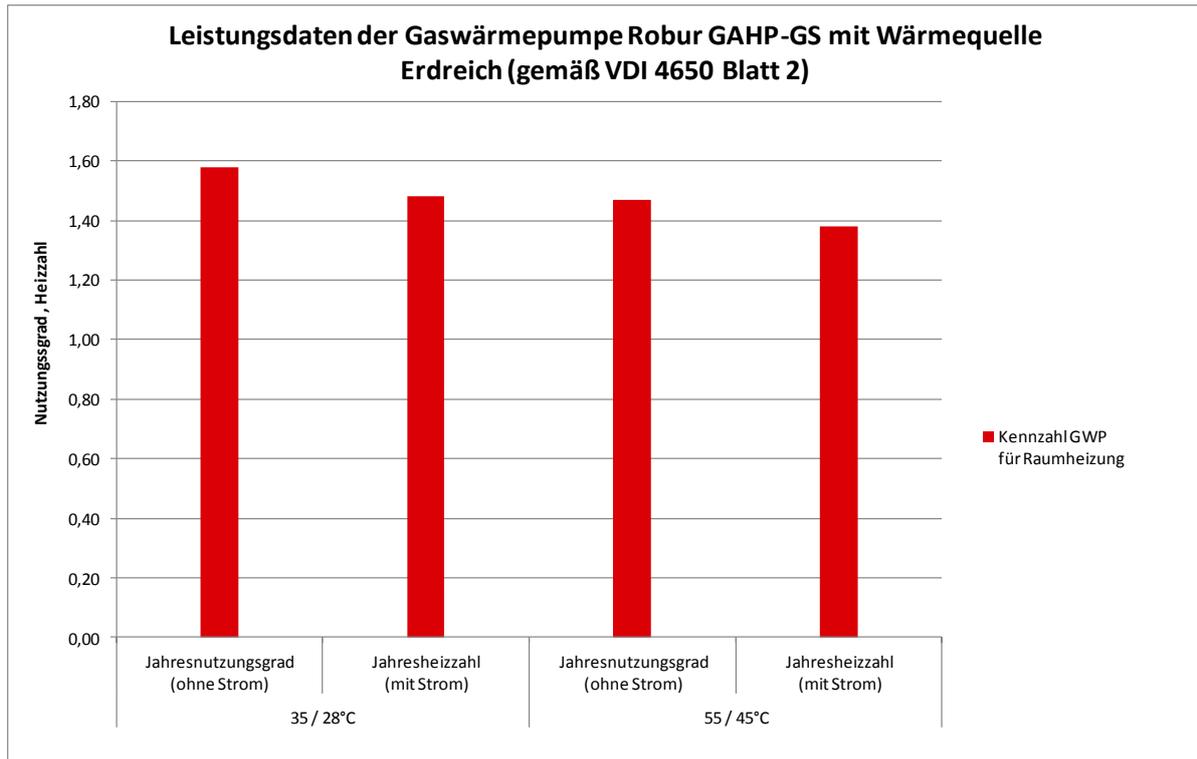


Abbildung 4.4-6: Leistungsdaten der Absorptions-Gaswärmepumpe Robur GAHP-GS mit Wärmequelle Erdreich

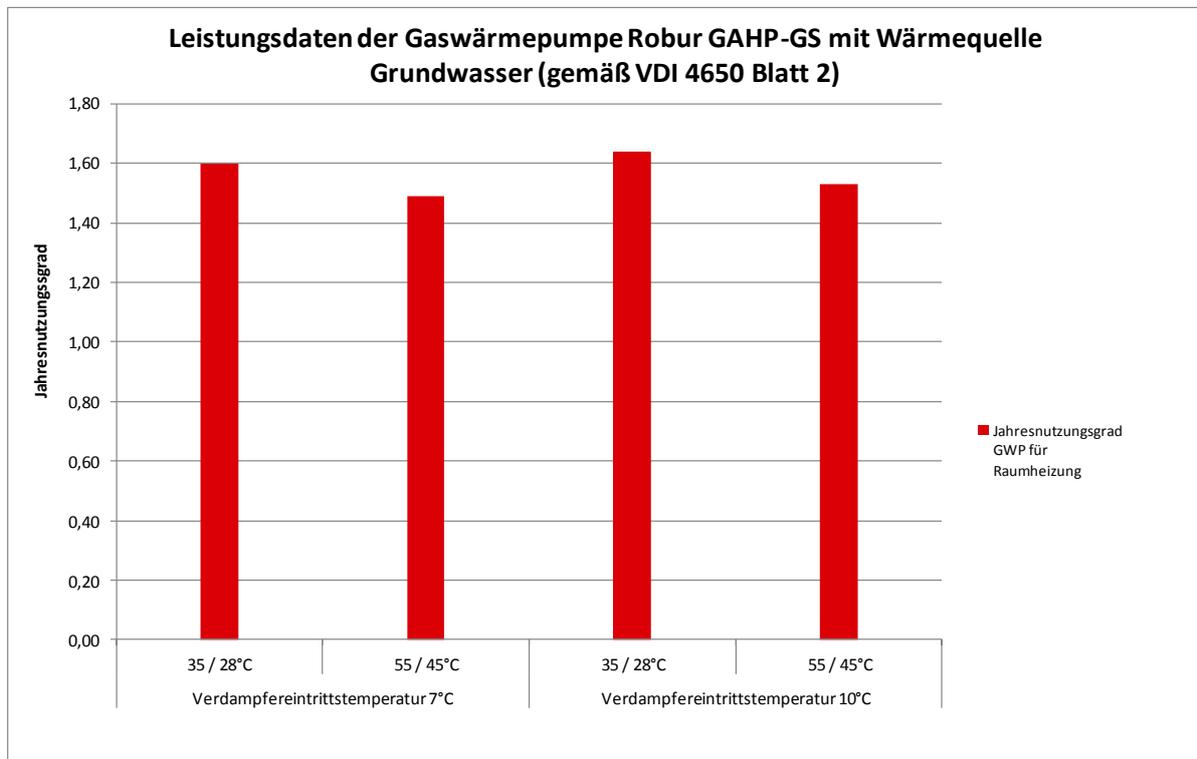


Abbildung 4.4-7: Leistungsdaten der Absorptions-Gaswärmepumpe Robur GAHP-WS mit Wärmequelle Grundwasser

5 Auswertung der Feldtestmessungen

5.1 Allgemeines

Im Rahmen der von der IGWP in Kooperation mit Herstellern durchgeführten Feldtests wurden insgesamt an 61 Standorten Gaswärmepumpen deutschlandweit installiert und unter realen Betriebsbedingungen getestet⁴. An den Standorten wurden je nach Geräteentwicklung mehrere Gerätegenerationen eingebaut. Dabei wurden

- 30 Feldtestanlagen mit der Zeolith-Gaswärmepumpe der Firma Vaillant
- 15 Feldtestanlagen mit dem Zeolith-Kompaktgerät der Firma Viessmann
- 7 Feldtestanlagen mit der DAWP-Gaswärmepumpe von Bosch Thermotechnik
- 9 Feldtestanlagen mit der Robur-Absorptions-Gaswärmepumpe

betrieben.

Die Standorte der installierten Feldtestanlagen werden in folgender Abbildung dargestellt.

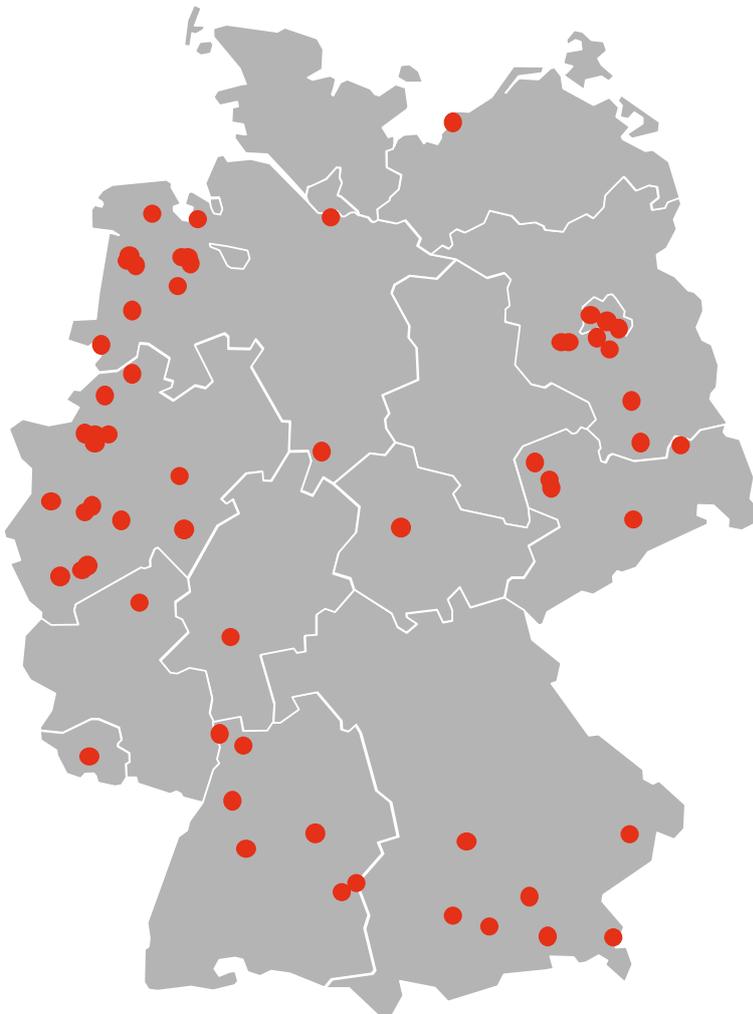


Abbildung 5.1-1: GWP-Feldtestanlagen: 61 Gerätestandorte

⁴ Die Feldtestmessungen wurden in den Jahren 2008 bis 2012 durchgeführt. Diese wurden durch den Arbeitskreis Technik der IGWP (Leiter AK Technik: Herr Werner Weißing, ETG) begleitet. Die Feldtests wurden von folgenden Energieversorgern unterstützt: EnBW, E.ON Ruhrgas, EWE, GASAG, MVV, RWE, VNG.

5.2 Messdatenerfassung

Im Folgenden werden die Standorte der Feldtestanlagen sowie der messtechnische Aufbau der Feldtestanlagen der vier Hersteller schematisch dargestellt.

Vaillant

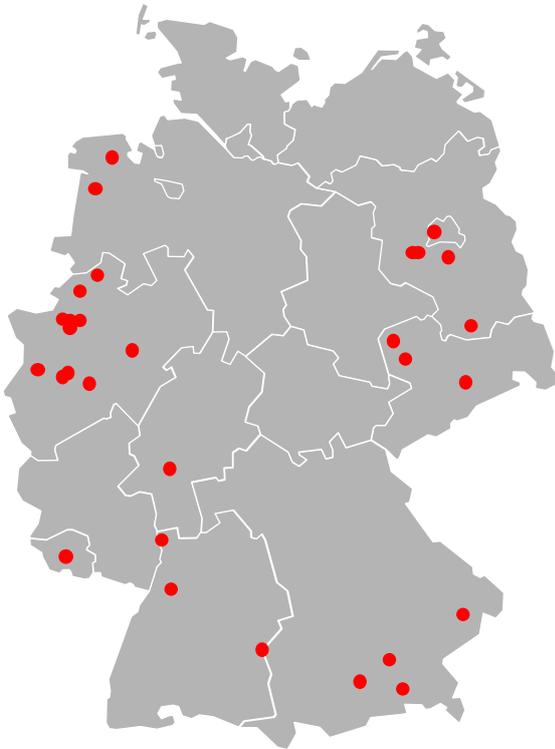


Abbildung 5.2-1: Standorte der Vaillant-Feldtestanlagen

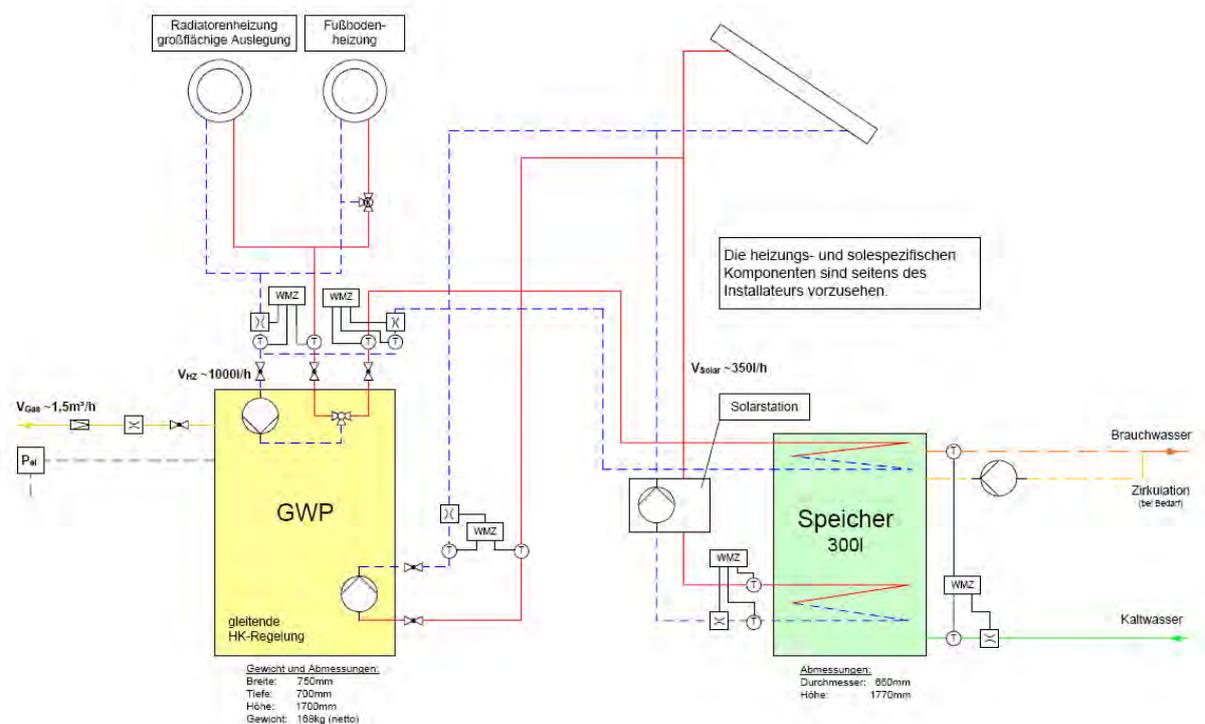


Abbildung 5.2-2: Anlagenschema mit Messtechnik der zeoTHERM

Viessmann

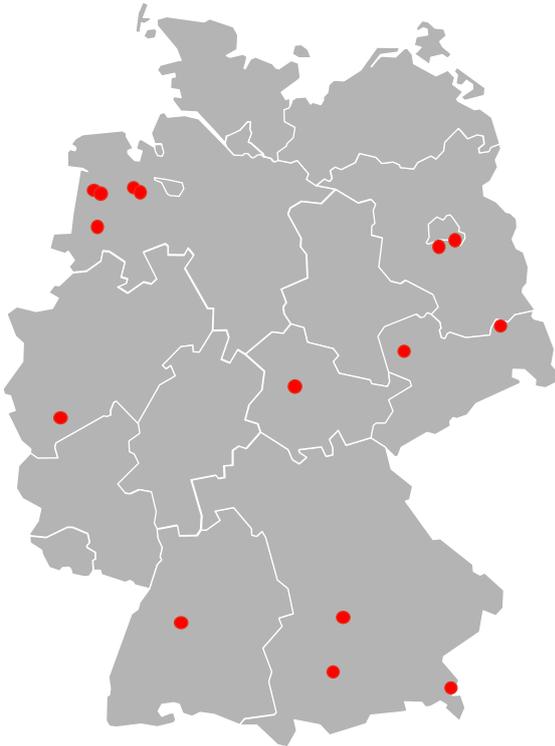


Abbildung 5.2-3: Standorte der Viessmann-Feldtestanlagen

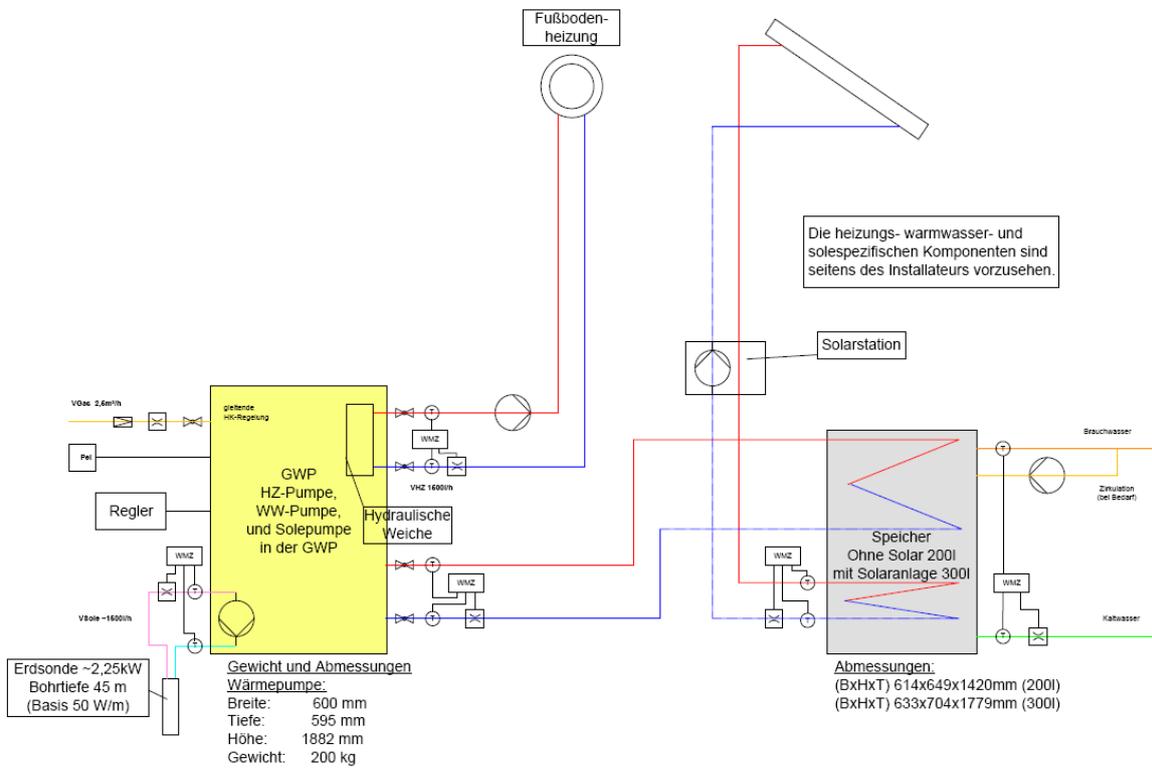


Abbildung 5.2-4: Anlagenschema mit Messtechnik der VITOSORP 200-F

Bosch Thermotechnik

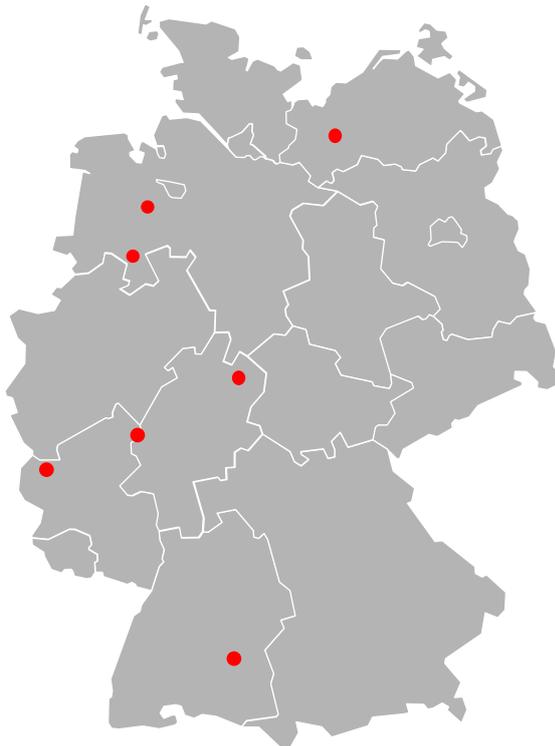


Abbildung 5.2-5: Standorte der DAWP-Feldtestanlagen

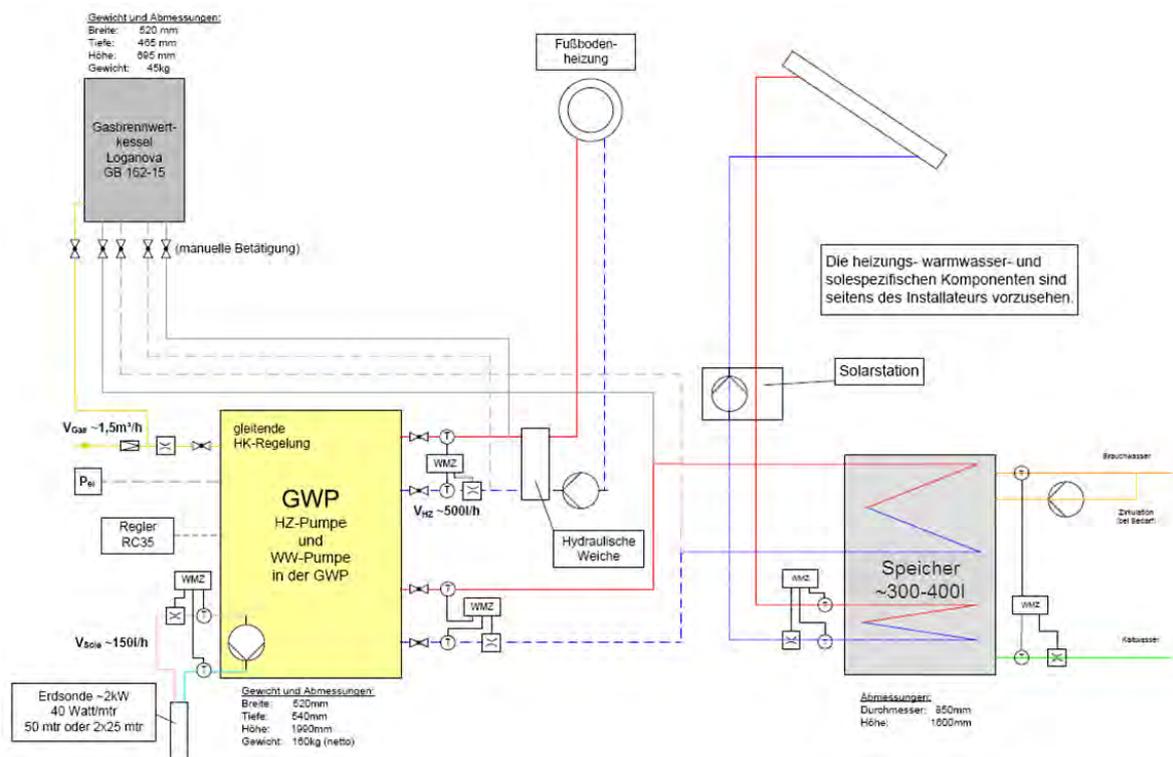


Abbildung 5.2-6: Anlagenschema mit Messtechnik der Bosch-DAWP (mit zusätzlicher Solaranlage zur TWE)

Robur

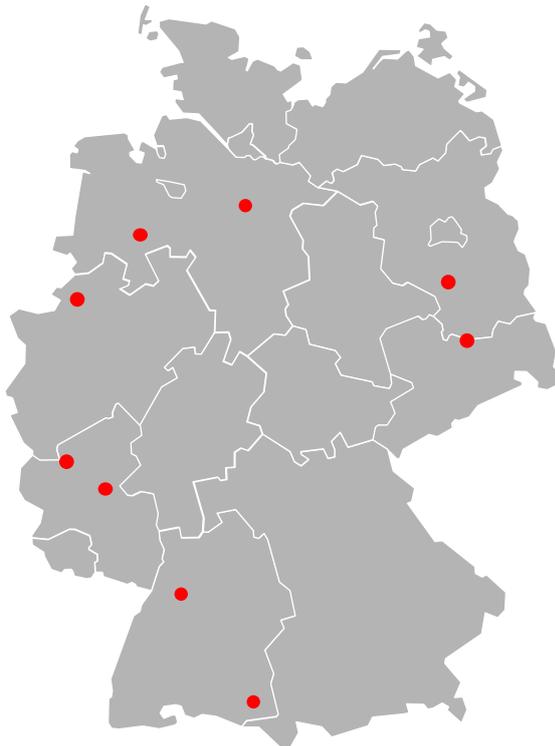


Abbildung 5.2-7: Standorte der Robur-Feldtestanlagen

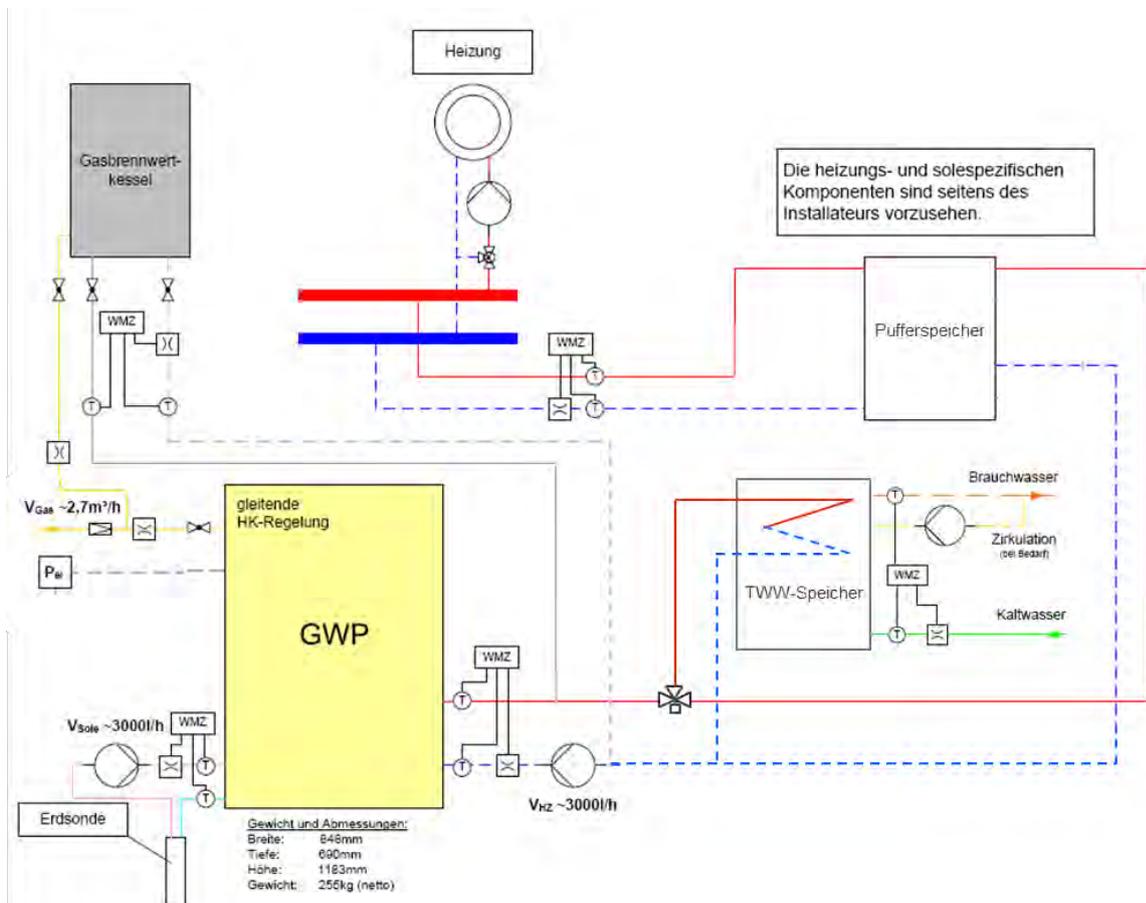


Abbildung 5.2-8: Anlagenschema mit Messtechnik der Robur-GWP (mit Warmwasserbereitung, vereinfacht)

Im Rahmen der durchgeführten Feldtestmessungen werden u.a. folgende Messwerte erfasst:

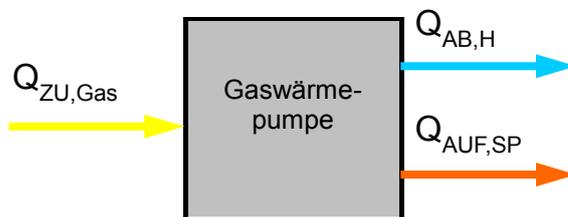
- Volumenstrom Erdgas
- Wärmequellentemperatur
- Vorlauf- und Rücklauf­temperatur des Heizkreises
- Vorlauf- und Rücklauf­temperatur für die Speicherladung vom Heizgerät
- Vorlauf- und Rücklauf­temperatur für die Speicherladung Solar
- Volumen­ströme des Heizkreises, des Speicherladekreises und falls vorhanden des Solarkreises
- Außentemperatur

Diese Messwerte werden für die weitere Vorgehensweise, vor allem für die Validierung des Simulationsmodells anhand der Ergebnisse von Feldtests, verwendet. An dieser Stelle wird jedoch auf die detaillierte Auflistung der Messwerte verzichtet.

Die Messwerte werden so aufbereitet, dass die Bestimmung von folgenden 4 Kennwerten möglich ist. Für die Validierung des Simulationsmodells spielt vor allem der Nutzungsgrad HG eine große Rolle.

1. Nutzungsgrad HG (Heizgerät)

$$\eta_{Therm,HG} = \frac{Q_{AB,H} + Q_{AUF,SP}}{Q_{ZU,Gas}} \times 100\%$$

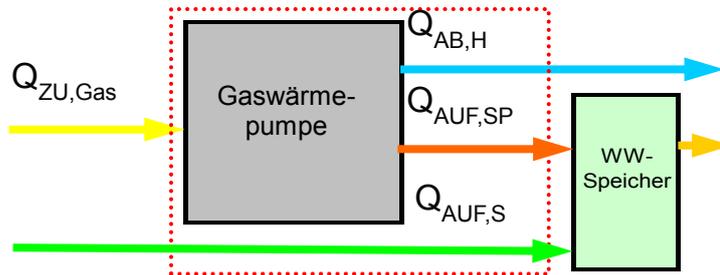


Dabei wird die vom Heizgerät abgegebene Wärmemenge für die Speicherladung ($Q_{AUF,SP}$) und Heizung ($Q_{AB,H}$) bilanziert und auf die zugeführte Wärmemenge Erdgas ($Q_{ZU,Gas}$) bezogen. Durch die Nutzung der Umweltwärme werden Nutzungsgrade von über 1,0 ermittelt.

2. Nutzungsgrad HG + Solar

Dafür wird die vom Heizgerät abgegebene Wärmemenge für die Speicherladung ($Q_{AUF,SP}$) und Heizung ($Q_{AB,H}$) sowie die Wärmemenge, die von der Umweltquelle (Solar) zur Speicherbeladung ($Q_{AUF,S}$) zugeführt wird, bilanziert und auf die zugeführte Wärmemenge Erdgas ($Q_{ZU,Gas}$) bezogen.

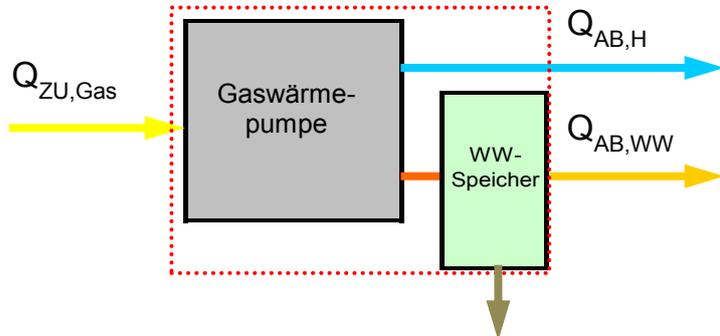
$$\eta_{Therm,HG+Solar} = \frac{Q_{AB,H} + Q_{AUF,SP} + Q_{AUF,S}}{Q_{ZU,Gas}} \times 100\%$$



3. Nutzungsgrad System

Um den Systemnutzungsgrad bestimmen zu können, wird die vom Heizgerät abgegebene Wärmemenge für die Heizung ($Q_{AB,H}$) sowie die Wärmemenge Brauchwasser ($Q_{AB,WW}$), die nach dem Speicher erfasst wird, bilanziert und auf die zugeführte Wärmemenge Erdgas ($Q_{ZU,Gas}$) bezogen, damit handelt es sich hier um einen erdgasbezogenen Systemnutzungsgrad. Der Systemnutzungsgrad ist eine informative Größe, die die Speicherverluste berücksichtigt und damit Aussagen zu den Verlusten von unterschiedlich dimensionierten Speichern ermöglicht.

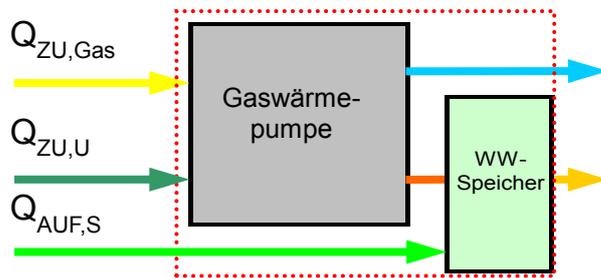
$$\eta_{Therm,System} = \frac{Q_{AB,H} + Q_{AB,WW}}{Q_{ZU,Gas}} \times 100\%$$



4. Regenerativer Deckungsbeitrag

Zur Bestimmung des regenerativen Deckungsbeitrags wird die zugeführte Umwelt-Wärmemenge für das Heizgerät ($Q_{ZU,U}$) sowie die zugeführte Umwelt-Wärmemenge zur Speicherbeladung ($Q_{AUF,S}$) bilanziert und auf die Summe aller zugeführten Wärmemengen (Erdgas, Σ Umweltwärme) bezogen. Die Größe kann zur Einschätzung des Anteils erneuerbarer Energien an der gesamten Wärmebereitstellung unterschiedlicher Lösungen herangezogen werden. Erfolgt keine solare Unterstützung der Warmwasserbereitung entfällt in der Formel $Q_{AUF,S}$ und es wird der Anteil der im Wärmepumpenprozess eingesetzten Umwelt-Wärmemenge für das Heizgerät berechnet. Alternativ kann der Wert mit Hilfe des Nutzungsgrades Heizgerät abgeleitet werden ($\zeta_{RDB} = 1 - 1/\eta_{Therm,HG}$).

$$\zeta_{RDB} = \frac{(Q_{ZU,U} + Q_{AUF,S})}{(Q_{ZU,U} + Q_{AUF,S} + Q_{ZU,Gas})} \times 100\%$$



5.3 Vergleich: GWP im Labor und im Feld

Im Folgenden werden die während der Prüfstandsmessungen ermittelten Gesamt-Jahresnutzungsgrade den im Feldtest gemessenen Jahresnutzungsgraden von ausgewählten Anlagen gegenübergestellt. Zusätzlich werden die Randbedingungen für die im Labor gemessenen Jahresnutzungsgrade nach VDI 4650 Blatt 2 für die jeweilige GWP-Technologie angeführt und die Eigenschaften der betrachteten Feldtestanlagen (Wärmequelle, Art der Warmwasserbereitung, Systemtemperaturen) genannt.

Die am Prüfstand nach VDI 4650 Blatt 2 gemessenen Jahresnutzungsgrade konnten im Feld bei gut ausgelegten und betriebenen Anlagen bestätigt werden. Die in folgenden Abbildungen ausgewiesenen Feldtestanlagen zeichnen sich durch eine gute Einbindung der Gaswärmepumpe in das Heizsystem sowie durch niedertemperierte Heizflächen (Auslegungstemperatur 35/28°C: Abbildung 5.3-1 - Abbildung 5.3-3 und Auslegungstemperatur 55/45°C: Abbildung 5.3-4) aus.

Die im Feldtest gemessenen Jahresnutzungsgrade entsprechen bei den ersten drei Diagrammen dem zuvor beschriebenen „Nutzungsgrad HG + Solar“. Bei der vierten Feldtestanlage wird der „Nutzungsgrad HG“ ermittelt.

Die Trinkwassererwärmung wird nachfolgend mit TWE und die Heizungsunterstützung mit HeizU abgekürzt.

Vaillant

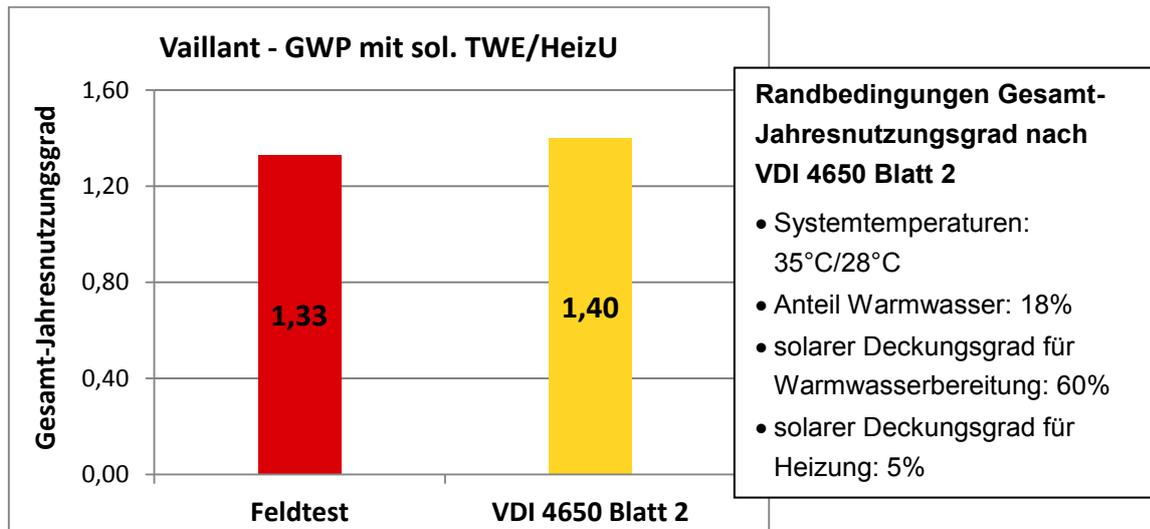


Abbildung 5.3-1: Jahresnutzungsgrad der Vaillant-GWP: Feldtest und Messwert nach VDI 4650 Blatt 2

Feldtestanlage

Typ	Vaillant zeoTherm
Wärmequelle	Solar (3 Kollektoren)
Heizsystem	Fußbodenheizung (35/28°C)
Warmwasserbereitung	ja (300l Speicher + solare TWE/HeizU)
Zirkulation	ja

Viessmann

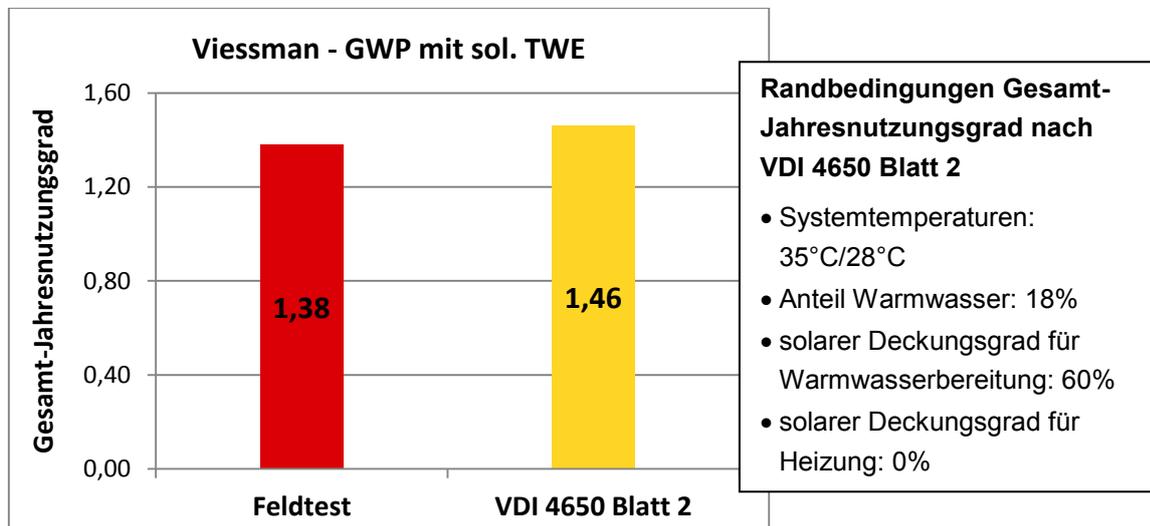


Abbildung 5.3-2: Jahresnutzungsgrad der Viessmann-GWP: Feldtest und Messwert nach VDI 4650 Blatt 2

Feldtestanlage

Typ	Viessmann VITOSORP 200-F
Wärmequelle	Erdreich (Sole)
Heizsystem	Fußbodenheizung (35/28°C)
Warmwasserbereitung	ja (300l Speicher + solare TWE)
Zirkulation	ja

Bosch Thermotechnik

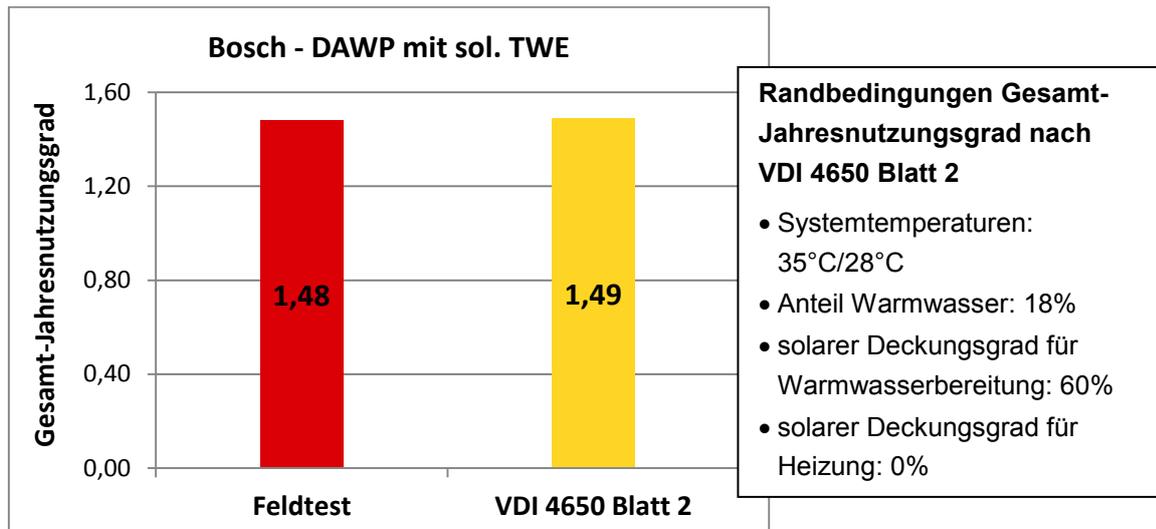


Abbildung 5.3-3: Jahresnutzungsgrad der Bosch Thermotechnik-DAWP: Feldtest und Messwert nach VDI 4650 Blatt 2

Feldtestanlage

Typ	Bosch Thermotechnik DAWP
Wärmequelle	Erdreich (Sole)
Heizsystem	Fußbodenheizung (35/28°C)
Warmwasserbereitung	ja (400l Speicher + solare TWE)
Zirkulation	ja

Robur

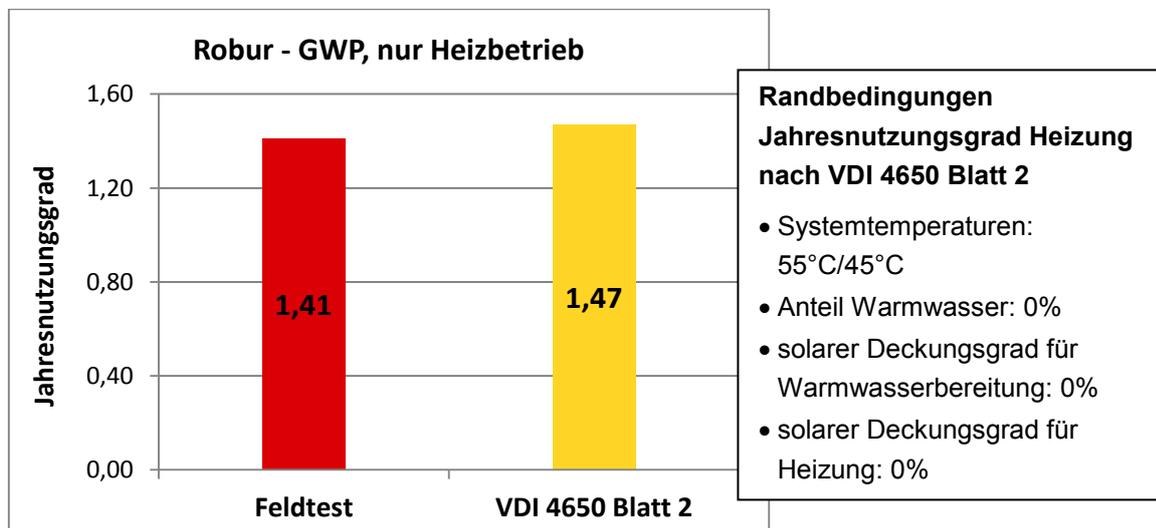


Abbildung 5.3-4: Jahresnutzungsgrad der Robur-GWP: Feldtest und Messwert nach VDI 4650 Blatt 2

Feldtestanlage

Typ	Robur GAHP GS
Wärmequelle	Erdreich (Sole)
Heizsystem	Radiatoren (55/45°C)
Warmwasserbereitung	nein
Zirkulation	nein

Die tatsächlich im Feld ermittelten Jahresnutzungsgrade der vier gewählten Feldtestanlagen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den nach VDI 4650 Blatt 2 gemessenen Jahresnutzungsgraden. Die geringfügigen Abweichungen resultieren daraus, dass in der Praxis zum Teil nicht die Heizkreistemperaturen sowie die Lastverteilung gemäß VDI 4650 Blatt 2 erreicht werden und die Bereitschaftsverluste nochmals den Gesamt-Jahresnutzungsgrad reduzieren.

Die aufgeführten Nutzungsgrade zeigen das hohe Potenzial der Gaswärmepumpentechnik auf. Durch intelligente Regelungssysteme und eine optimale Auslegung der Hydraulik können in der Praxis die Jahresnutzungsgrade weiterhin angehoben werden. Neuentwicklungen sind hierzu grundsätzlich erforderlich.

6 Simulationsrechnungen

6.1 Einführende Bemerkungen

Um eine hinreichend genaue Beschreibung der Komplexität von heizungstechnischen Anlagen im Gebäude zu erzielen, ist es notwendig, sämtliche Größen/Parametern, die das Betriebsverhalten beeinflussen, zu erfassen. Dabei müssen sowohl die technischen Einflussfaktoren wie z.B. Wärmeerzeuger, Wärmeverteil- und Wärmeübergabesystem als auch die Wechselwirkungen des Nutzers und der Umgebung berücksichtigt werden (s. Abbildung 6.1-1)

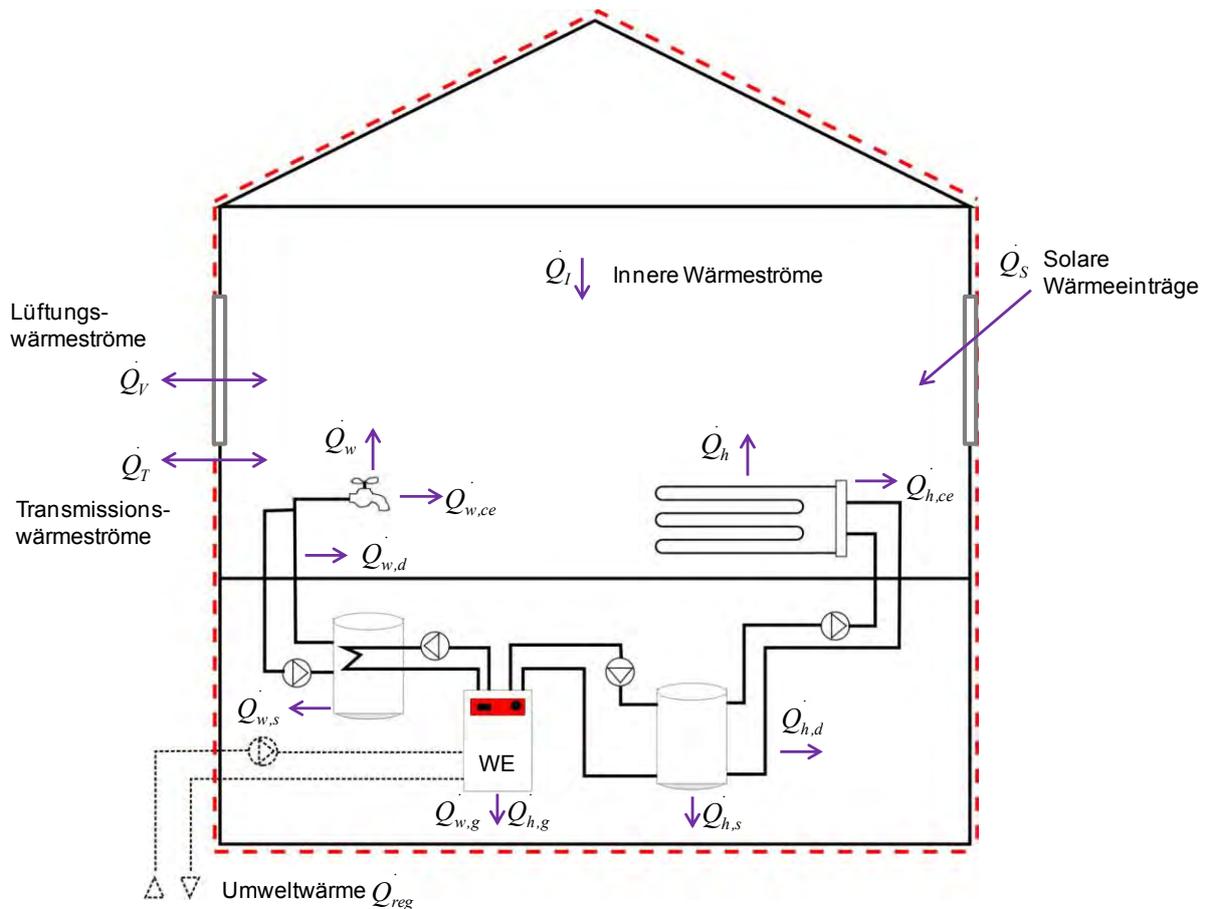


Abbildung 6.1-1: Schematische Darstellung der Wärmeströme in einem Wohngebäude

Grundsätzlich bieten sich für die Analyse des Betriebsverhaltens eines Wärmeerzeugers unter verschiedenen Betriebszuständen zwei Möglichkeiten an: die Messung am konkreten Objekt und die Nachbildung mittels einer thermischen Gebäudesimulation.

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurde als Untersuchungsmethodik die dynamische numerische Simulation gewählt. Die Analyse des Betriebsverhaltens eines Wärmeerzeugers mittels Simulation setzt die Verfügbarkeit eines geeigneten Modells voraus. Dieses Modell muss dabei die komplex und instationär ablaufenden thermischen Vorgänge von Gebäude und Anlage ausreichend detailliert nachbilden.

6.2 Simulationssoftware

Zum heutigen Zeitpunkt stehen viele numerische Gebäudesimulationsprogramme, die ausreichend validiert sind, zur Verfügung. Eine weite Verbreitung haben dabei folgende Simulationsprogramme

- TRNSYS
- MATLAB
- MODELICA
- DOE-2

erfahren.

Bezugnehmend auf eine langjährige Erfahrung und die Entwicklungsarbeiten mit dem Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS an der TU Dresden wird dieses Programm für die nachfolgenden Simulationen verwendet.

TRNSYS steht für „Transient System Simulation Program“ und wurde Mitte der siebziger Jahre an der Universität von Wisconsin, Madison (USA) entwickelt. Es besitzt eine offene und modulare Struktur. Als Programmiersprache wird Fortran verwendet.

Die Module des Programms werden „Type“ genannt. Diese beschreiben einzelne Komponenten thermischer Systeme, wie z.B. Warmwasserspeicher, Wärmeerzeuger und Gebäude, sowie mathematische Berechnungsverfahren, Regelalgorithmen und Datenein- und -ausgaben.

Die Grundlage jedes Types bildet dabei die mathematische Beschreibung physikalischer Vorgänge oder ein auf Messwerten basierendes Kennlinienmodell bzw. eine Kombination beider Möglichkeiten.

Für die Zielsetzung des Forschungsvorhabens ist es notwendig, die realen Verhältnisse (s. Abbildung 6.1-1) mit einem numerischen Modell zu beschreiben, bei dem die wichtigsten Wechselwirkungen dynamisch korrekt erfasst werden. Im Rahmen der Arbeit wird das mathematische Modell, wie in Abbildung 6.2-1, strukturiert.

Die einzelnen Komponenten des mathematischen Modells (Types) stehen analog den realen Bedingungen miteinander in Wechselwirkung. Dies wird vereinfachend in folgender Abbildung dargestellt.

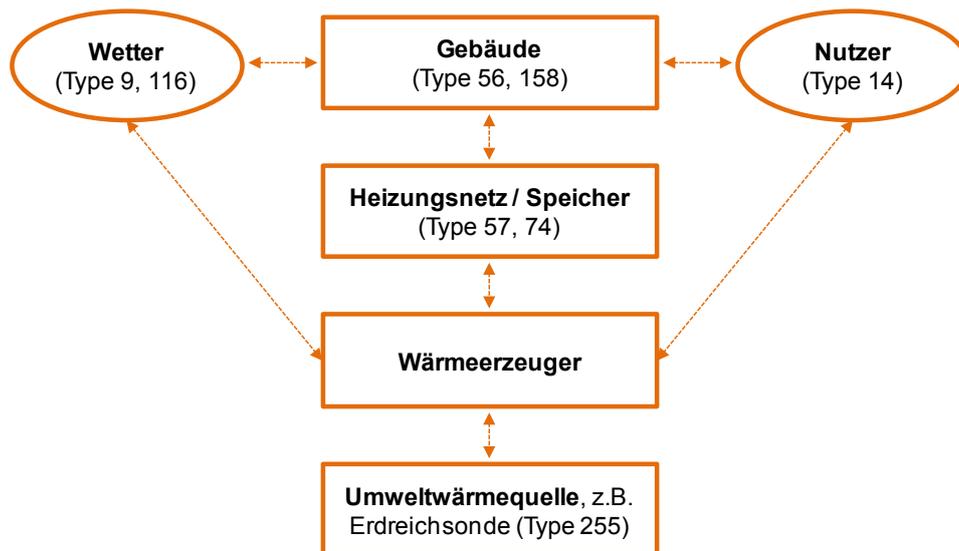


Abbildung 6.2-1: Struktur des mathematischen Modells zur Beschreibung der Wechselwirkungen Gebäude-Anlage-Nutzer

Die für die Erstellung des Modells eingesetzten Module, bis auf das Type für den Wärmeerzeuger, wurden in den vergangenen Jahren an der TU Dresden kontinuierlich weiterentwickelt und validiert.

6.3 Simulationsmodell

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird das Modul für den Wärmeerzeuger – die Sorptions-Gaswärmepumpe – erarbeitet. Das Modell für die Sorptions-Gaswärmepumpe basiert auf dem ursprünglich für eine Kompressionswärmepumpe entwickelten und von [Seifert, 2009] umfassend erweiterten Modell (Type 201). Der Algorithmus für die Elektrowärmepumpen stellt ein stationäres Kennlinienmodell dar. Die Wärmeleistung und die elektrische Leistungsaufnahme der Elektrowärmepumpe werden durch biquadratische Polynome approximiert. Der dynamische Ansatz (das zeitliche Verhalten nach dem Ein- und Ausschalten) wird mit einem PT_1 -Glied berücksichtigt.

Das vorhandene Modell für die Elektrowärmepumpe wird entsprechend den Eigenschaften der Sorptions-Gaswärmepumpe angepasst und erweitert. Die marktverfügbaren Sorptionswärmepumpen zeichnen sich durch unterschiedliche Betriebscharakteristika aus. Das Augenmerk der Untersuchungen wird dabei auf die Adsorptions-Gaswärmepumpen aufgrund des stark von Elektro-WP abweichenden Betriebscharakteristikums gerichtet. Nach der Auswertung der Prüfstandsmessungen von Sorptions-Gaswärmepumpen konnten folgende Parameter als entscheidend für die energetische Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen (besonders von Adsorptions-Gaswärmepumpen) eingestuft werden:

- die Gebäudeheizlast
- die Nennleistung des Wärmepumpenmoduls
- die Auslastung der Anlage (Belastungsgrad)
- die Auslegungstemperaturen des Heiznetzes

Das Simulationsmodell wird so aufbereitet, dass der Einfluss der zuvor genannten für die energetische Bewertung von Gaswärmepumpen relevanten Parameter untersucht werden kann (s. Abschnitt 7.1).

Grundlegend kann eine Adsorptions-Gaswärmepumpe je nach Belastungsgrad überwiegend im reinen Wärmepumpenbetrieb, überwiegend im Mischbetrieb oder im Direktheizbetrieb betrieben werden. Je höher der Anteil des Wärmepumpenbetriebes ist, desto höheren Jahresnutzungsgrad erreicht die Anlage. Erwartungsgemäß wird beim Einsatz einer GWP mit derselben Nennwärmeleistung in einem Gebäude mit niedrigerer Heizlast ein höherer Jahresnutzungsgrad ermittelt als in einem Gebäude mit einer höheren Gebäudeheizlast. Das ist auf die Verlängerung der Laufzeit der GWP im reinen Wärmepumpenbetrieb und im Mischbetrieb zurückzuführen. Dies wird auch durch die Ergebnisse der Feldtests bestätigt.

Anders als bei den Elektrowärmepumpen ist der Einfluss der Wärmequellentemperatur auf die energetische Effizienz bei den Adsorptions-Gaswärmepumpen deutlich geringer.

Das im Rahmen des Projektes erarbeitete Modell für die Sorptions-Gaswärmepumpen wird detailliert durch [Perschk, 2014] beschrieben. Die zur Abbildung von GWP im Type 201 erforderlichen Anpassungen/Erweiterungen in Form von neuen Parameterdateien, Inputs und Outputs werden auszugsweise im Abschnitt 12.1 genannt. In erster Linie wird das Modell so aufbereitet, dass der modulierende Betrieb der Sorptions-Gaswärmepumpe unterstützt wird. Gleichzeitig wird das vorhandene Regelungskonzept für die Elektrowärmepumpe vollständig überarbeitet. Das erarbeitete Regelungskonzept für die Sorptions-GWP baut auf folgenden Größen auf: Heizkurve, Außentemperatur, Regelgröße, Rücklauftemperaturen des Heizkreises und der Wärmequelle sowie Aufteilung der Wärmeströme auf die Brenner- und Soleleistung. Auf Grundlage von Messwerten können für die Adsorptions-GWP die Anteile der Brennerleistung und der Soleleistung bei unterschiedlichen Belastungsgraden der GWP und Systemtemperaturen approximiert werden. Dies wird beispielhaft in Abbildung 6.3-1 dargestellt.

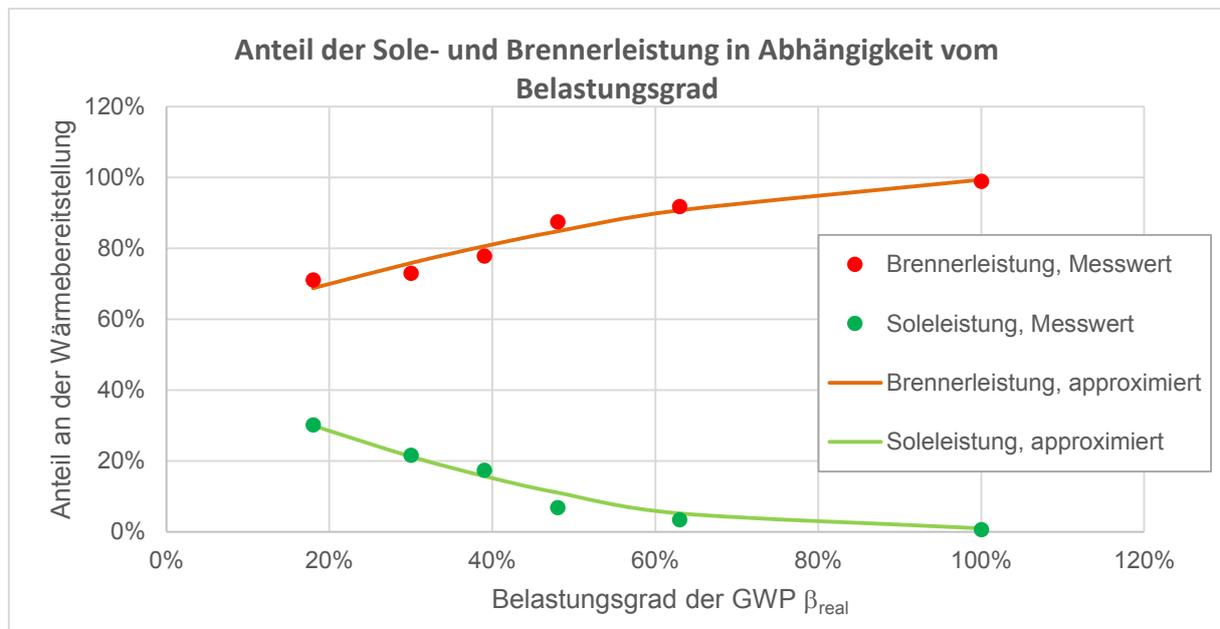


Abbildung 6.3-1: Anteil der Brenner- und Soleleistung in Abhängigkeit vom Belastungsgrad der Gaswärmepumpe bei Auslegungstemperaturen von 55/45°C

Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass mit einem sinkenden Belastungsgrad der Gaswärmepumpe der Anteil der Soleleistung an der Wärmebereitstellung zunimmt und gleichzeitig die Effizienz der GWP ansteigt. Die approximierten Gleichungen für die Sole-

und Brennerleistung sind produktspezifisch und werden durch die Nennwärmeleistung des Wärmepumpenmoduls maßgeblich beeinflusst.

Für das erarbeitete Modell werden die approximierten Gleichungen für die Soleleistung \dot{Q}_{Sole} , Brennerleistung $\dot{Q}_{Brenner}$ und die elektrische Leistungsaufnahme P_{WP} in der Form

$$\dot{Q}_{Sole} = \dot{Q}_{HK} \cdot (a \cdot \beta_{real}^2 + b \cdot \beta_{real} + c)$$

$$\dot{Q}_{Brenner} = \dot{Q}_{HK} \cdot (d \cdot \beta_{real}^2 + e \cdot \beta_{real} + f)$$

$$P_{WP} = g \cdot \beta_{real}^2 + h \cdot \beta_{real} + i$$

eingesetzt, wobei die Koeffizienten a bis i produktspezifisch aus den Herstellerunterlagen zu ermitteln sind, \dot{Q}_{HK} die im Heizungsnetz benötigte Heizleistung und β_{real} der Belastungsgrad der Gaswärmepumpe ist. Zur Ermittlung der Koeffizienten a bis i werden die detaillierten Ergebnisse der Messung nach VDI 4650 Blatt 2 (Brennstoffleistung und Soleleistung in den 5 Teillastpunkten) benötigt. Auf Grundlage von Messwerten erfolgt eine Approximation, welche die Anteile der Brenner- und der Soleleistung an der Wärmebereitstellung wiedergibt. Da das Verhältnis der beiden Leistungen auch von den Systemtemperaturen abhängig ist, werden für alle bei der Messung zugrunde gelegten Systemtemperaturen entsprechende Koeffizienten ermittelt. Bei Auslegungstemperaturen, die zwischen den bei der Messung unterstellten Systemtemperaturen liegen, werden die Werte für Brenner- und Soleleistung linear interpoliert.

Gleichzeitig wird im betrachteten GWP-Modell der An- und Abfahrvorgang der Gaswärmepumpe in Anlehnung an die Herstellerinformationen definiert.

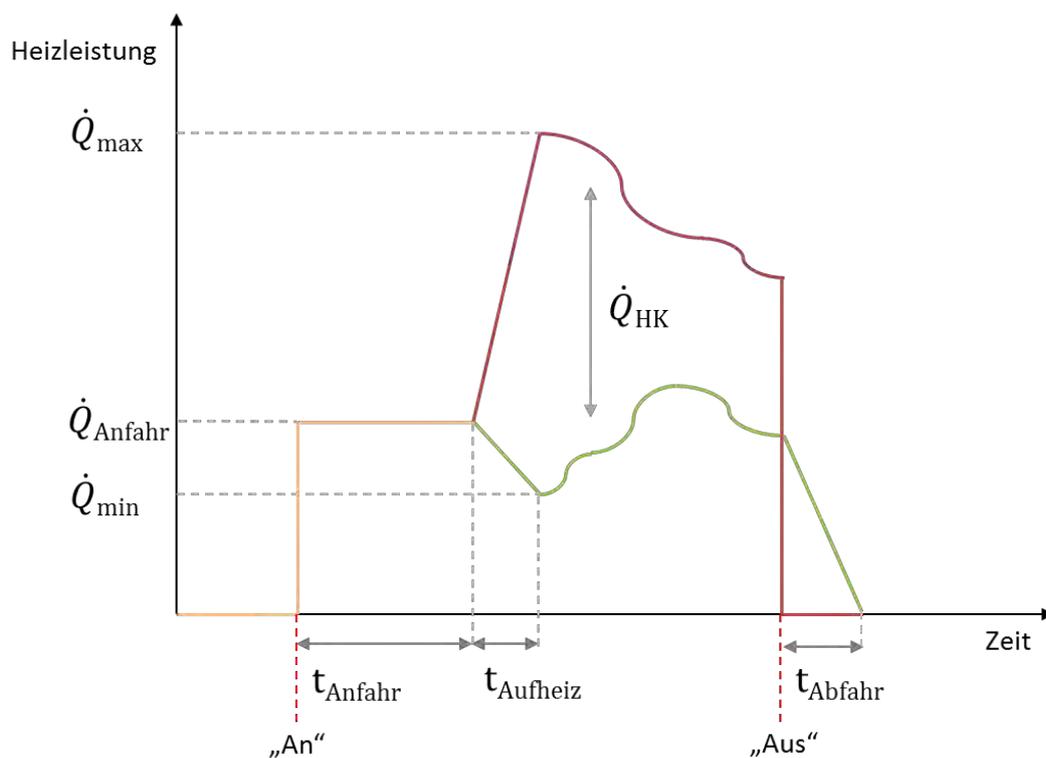


Abbildung 6.3-2: Unterstellter An- und Abfahrvorgang bei Sorptions-Gaswärmepumpen

So wird für jede GWP die Nennwärmeleistung (maximale Heizleistung \dot{Q}_{max}), die minimale Heizleistung \dot{Q}_{min} , bei der die GWP aktiviert wird, die Heizleistung während des Anfahrvorgangs \dot{Q}_{Anfahr} sowie die Zeitdauer des Anfahrvorganges t_{Anfahr} , die Zeitdauer des Aufheizvorganges $t_{Aufheiz}$ und die Zeitdauer des Abfahrvorganges t_{Abfahr} definiert (s. Abbildung 6.3-2). Solange die angeforderte Heizleistung \dot{Q}_{HK} die minimale Heizleistung nicht unterschreitet, wird ein modulierender Betrieb der Gaswärmepumpe unterstellt.

6.4 Randbedingungen der Simulation

6.4.1 Gebäudemodell und Wärmeschutzniveau

Für die Wahl der Gebäudeart (EFH, MFH, RH, Nichtwohngebäude) sowie des Wärmeschutzniveaus für die im Rahmen der Ausarbeitung durchzuführenden Simulationen ist der mögliche Einsatzbereich der aktuell am Markt verfügbaren bzw. kurz vor der Markteinführung stehenden Gaswärmepumpen maßgebend.

Abbildung 6.4-1 stellt die Struktur des Gebäudebestandes in Deutschland dar. Der Gebäudebestand wird in Deutschland durch Ein- und Zweifamilienhäuser (etwa 75 % aller Wohngebäude, ca. 14 Millionen Gebäude) dominiert. Gebäude mit mehr als 2 Wohneinheiten (WE) weisen einen Anteil am gesamten Wohngebäudebestand von ca. 25 % aus.

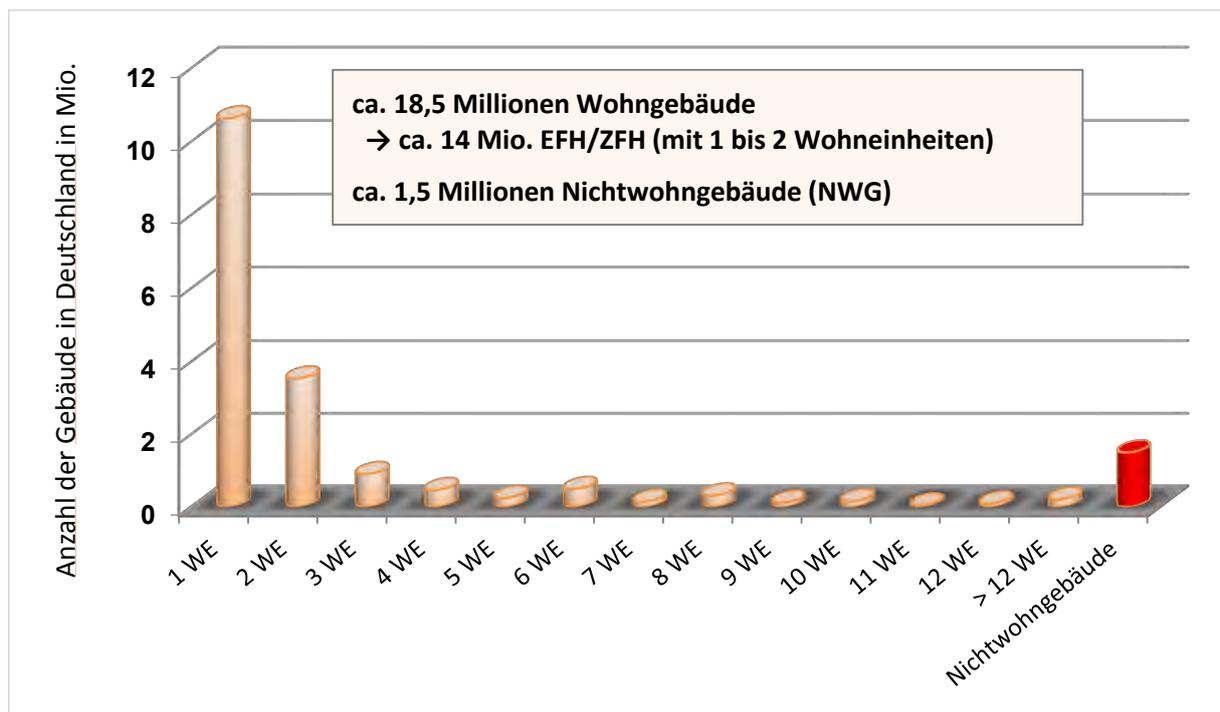


Abbildung 6.4-1: Struktur des Gebäudebestandes in Deutschland, Quelle der Zahlenwerte: das Statistische Bundesamt (destatis)

Nach [Zensus, 2011] sind rund zwei Drittel der Wohngebäude in Deutschland freistehend, ein Drittel ist als Doppelhaus oder gereihtes Haus mit anderen Gebäuden aneinander gebaut. In den Flächenländern ist eine analoge Tendenz zu erkennen. Die freistehenden Wohngebäude sind dort stark vorherrschend. In den Stadtstaaten überwiegen dagegen die gereihten Wohngebäude. Knapp unter 40 % der Wohngebäude sind dort in freistehender Bauweise ausgeführt (s. Abbildung 6.4-2).

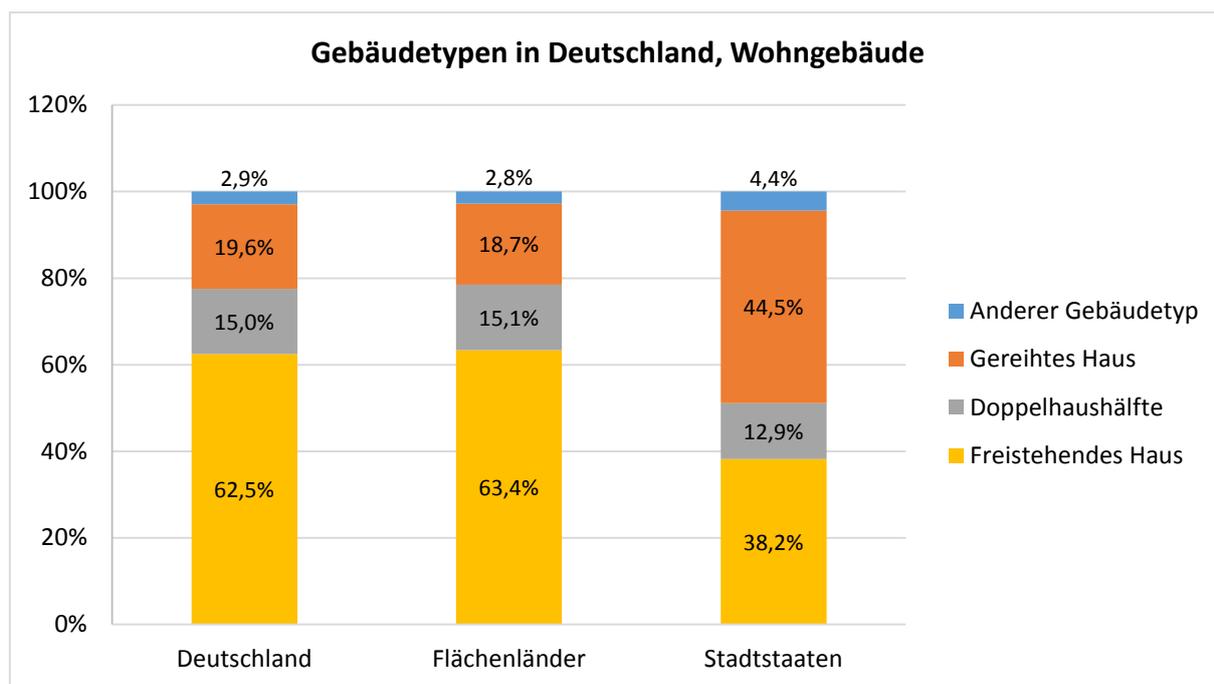


Abbildung 6.4-2: Gebäudetypen in Deutschland, Quelle der Zahlenwerte: [Zensus, 2011]

Im Rahmen der Simulationsrechnungen wird daher in erster Linie ein fiktives freistehendes Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 160 m² betrachtet (s. Abbildung 6.4-3).

Um sowohl den Neubau als auch den energetisch (teil-)sanierten Bestand abzubilden, werden drei Wärmeschutzniveaus (s. Tabelle 6-1) berücksichtigt:

- Neubaustandard entsprechend Referenzausführung nach Energieeinsparverordnung [EnEV 2009] (entspricht der Referenzausführung nach [EnEV 2014]) – EFH Neubau
- Bestandsgebäude mit Wärmeschutzstandard etwa entsprechend der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994 [WSchV 94] – EFH Bestand 94
- Bestandsgebäude mit Wärmeschutzstandard etwa entsprechend [WSchV 82] – EFH Bestand 82

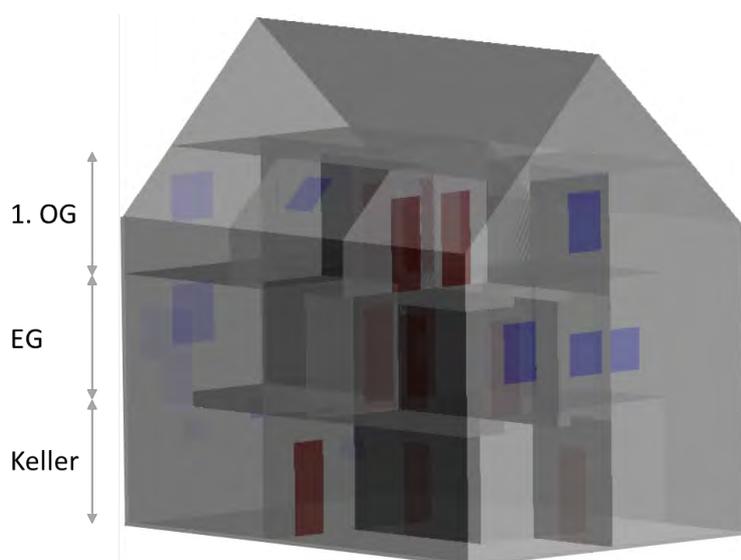


Abbildung 6.4-3: Gebäudemodell des Einfamilienhauses [Knorr, et al., 2011]

Tabelle 6-1: Betrachtetes Wärmeschutzniveau

	EFH Neubau	EFH Bestand 94	EFH Bestand 82
Wärmeschutz	Referenzwärmeschutz nach EnEV 2009/2014	etwa WSchV 94	etwa WSchV 82
Gebäudeheizlast $\Phi_{h,max}$ bei $\theta_{e,min} = -14^\circ\text{C}$	6,5 kW	8,7 kW	9,9 kW

6.4.2 Heizsystem

Um den Einfluss der Systemtemperaturen und der Art der Wärmeübergabe auf die energetische Effizienz von Gaswärmepumpen zu untersuchen, werden sowohl freie Heizflächen (Radiatoren) in ringförmiger Verteilung als auch integrierte Heizflächen mit entsprechend niedrigeren Systemtemperaturen (Fußbodenheizung) betrachtet.

Je nach Variante werden die in Tabelle 6-2 ausgewiesenen Systemtemperaturen berücksichtigt.

Tabelle 6-2: Unterstellte Systemtemperaturen

	freie Heizflächen (Radiatoren)	integrierte Heizflächen (FBH)
Unterstellte Systemtemperaturen im Auslegungsfall	55/45°C 50/40°C 45/35°C	35/28°C 37/30°C

6.4.3 Definition der Standardvariante

Im Rahmen der durchgeführten Simulationsrechnungen wird die Standardvariante wie in Tabelle 6-3 definiert.

Den Berechnungen liegt der Wetterdatensatz für Klimaregion 4 – Nordostdeutsches Tiefland (Station Potsdam) nach Testreferenzjahr TRY04 von 2011 zugrunde.

In Anlehnung an die Richtwerte für die Berechnung des Energiebedarfes von Wohngebäuden nach DIN V 18599-10:2011-12 werden die in Tabelle 6-3 genannten Nutzungsrandbedingungen unterstellt.

Tabelle 6-3: Randbedingungen Standardvariante

Standardvariante (Heizbetrieb)	
Wetterdatensatz	TRY04 2011, Potsdam
Raum-Solltemperatur im Heizfall	$\theta_{i,h,soll} = 20^\circ\text{C}$
Temperaturabsenkung reduzierter Betrieb	$\Delta\theta_{i,NA} = 4\text{ K}$
Tägliche Nutzungszeit	Von 6:00 bis 23:00 Uhr (2 h Vorheizzeit)
Pufferspeicher	$V_{PS} = 300\text{ l}$
Hydraulischer Abgleich	vollständig

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden für alle betrachteten Varianten das gleiche Nutzerverhalten und ein PI-Regler verwendet. Die Kennwerte des eingesetzten PI-Reglers können folgender Tabelle entnommen werden.

Tabelle 6-4: Kennwerte des unterstellten PI-Reglers

	Verstärkungsfaktor K_P in 1/K	Verzugszeit T_L in s	Nachstellzeit T_N in s
PI-Regler	0,2	60	1.800

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Simulationen mit den nach VDI 4650 Blatt 2 ermittelten Kennwerten der Gaswärmepumpe zu erzielen und gleichzeitig den Einfluss der einzelnen Parameter auf die energetische Effizienz der Gaswärmepumpe besser darstellen zu können, wird bei der Standardvariante nur die Raumheizung betrachtet.

Als Wärmeerzeuger wird eine Adsorptions-Gaswärmepumpe mit Wärmequelle Erdreich und den in folgender Tabelle genannten Parametern eingesetzt.

Tabelle 6-5: Energetische Kennwerte der Adsorptions-Gaswärmepumpe nach VDI 4650 Blatt 2

Jahresnutzungsgrad Raumheizung bei 35/28°C	$\eta_{N,h,35/28^\circ C} = 1,33$
Jahresnutzungsgrad Raumheizung bei 55/45°C	$\eta_{N,h,55/45^\circ C} = 1,25$
Jahresnutzungsgrad Warmwasserbereitung	$\eta_{N,w} = 1,07$
Nennwärmeleistung	$\dot{Q}_{max} = 11 \text{ kW}$

7 Ergebnisse der Simulationen

7.1 Variantenmatrix

Im Rahmen der durchgeführten Simulationsrechnungen werden unterschiedliche Parameter, die das Betriebsverhalten der Adsorptions-Gaswärmepumpe maßgeblich beeinflussen, variiert. Dazu zählen

- das Wärmeschutzniveau,
- die Systemauslegungstemperaturen,
- das Betriebsregime (Nachtabsenkung, -abschaltung, durchgängiger Betrieb),
- die Raum-Solltemperatur,
- die Art des Heizungssystems (Radiatoren, Fußbodenheizung),
- das Pufferspeichervolumen,
- die Klimadaten (Berechnungen mit unterschiedlichen Testreferenzjahren)

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird der Einfluss des jeweiligen Parameters an ausgewählten Beispielen/Varianten diskutiert. Grundlegend werden die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen für die in der Tabelle 7-1 ausgewiesenen Varianten vorgestellt. Bei der Wahl der Varianten wurde darauf geachtet, dass die unterstellten Randbedingungen technisch und energetisch sinnvoll sind. So wird z.B. darauf verzichtet, für das betrachtete Einfamilienhaus mit Wärmeschutz etwa entsprechend [WSchV 82] (EFH Bestand 82) eine Berechnung mit niedertemperierten Flächensystemen durchzuführen.

Die im Folgenden ausgewiesenen Ergebnisse und die abgeleiteten Schlussfolgerungen sind nur auf Adsorptions-Wärmepumpen übertragbar.

Tabelle 7-1: Variantenmatrix

Variante	Wärmeschutzniveau			Systemtemperatur					Heizsystem		Variationen von der Standardvariante
	EFH Neubau	EFH Bestand 94	EFH Bestand 82	55/45°C	50/40°C	45/35°C	35/28°C	37/30°C	Radiatoren	FBH	
VAR001			x	x					x		-
VAR002			x		x				x		-
VAR003		x		x					x		-
VAR004		x			x				x		-
VAR005		x				x			x		-
VAR006		x						x		x	-
VAR007		x					x			x	-
VAR008	x			x					x		-
VAR009	x				x				x		-
VAR010	x					x			x		-
VAR011	x							x		x	-
VAR012	x						x			x	-
VAR013		x					x			x	V _{PS} = 500l
VAR014	x						x			x	V _{PS} = 500l
VAR015			x	x					x		Nachtabstaltung
VAR016	x			x					x		Nachtabstaltung
VAR017		x					x			x	durchgängiger Betrieb
VAR018	x						x			x	durchgängiger Betrieb
VAR019		x					x			x	$\theta_{i,h,soll} = 20^{\circ}\text{C}/24^{\circ}\text{C}$
VAR020	x						x			x	$\theta_{i,h,soll} = 20^{\circ}\text{C}/24^{\circ}\text{C}$
VAR021		x					x			x	mit Warmwasser
VAR022	x						x			x	mit Warmwasser
VAR023	x						x			x	TRY01 („warm“)
VAR024	x						x			x	TRY13 („kalt“)

7.2 Standardvariante

7.2.1 EFH Bestand 82

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Jahressimulationen für das betrachtete Einfamilienhaus Bestand (EFH Bestand 82) dargestellt. Dabei werden zum einen die Heizleistung der Gaswärmepumpe und die Raumtemperaturen über die Heizperiode und zum anderen die Netztemperaturen sowie die Energiekennwerte ausgewiesen.

Zum besseren Verständnis der im Folgenden angeführten Sachverhalte wird in Abbildung 7.2-1 der zugrunde gelegte Verlauf der Außentemperatur entsprechend dem TRY04 während der Simulationszeit abgebildet. Die Jahressimulation wird im Zeitraum vom 20. Juli bis zum 19. Juli des Folgejahres durchgeführt. Erwartungsgemäß treten die niedrigsten Außentemperaturen in den Wintermonaten auf. Das Minimum $\theta_e = -13,4^\circ\text{C}$ wird am 04. Januar verzeichnet.

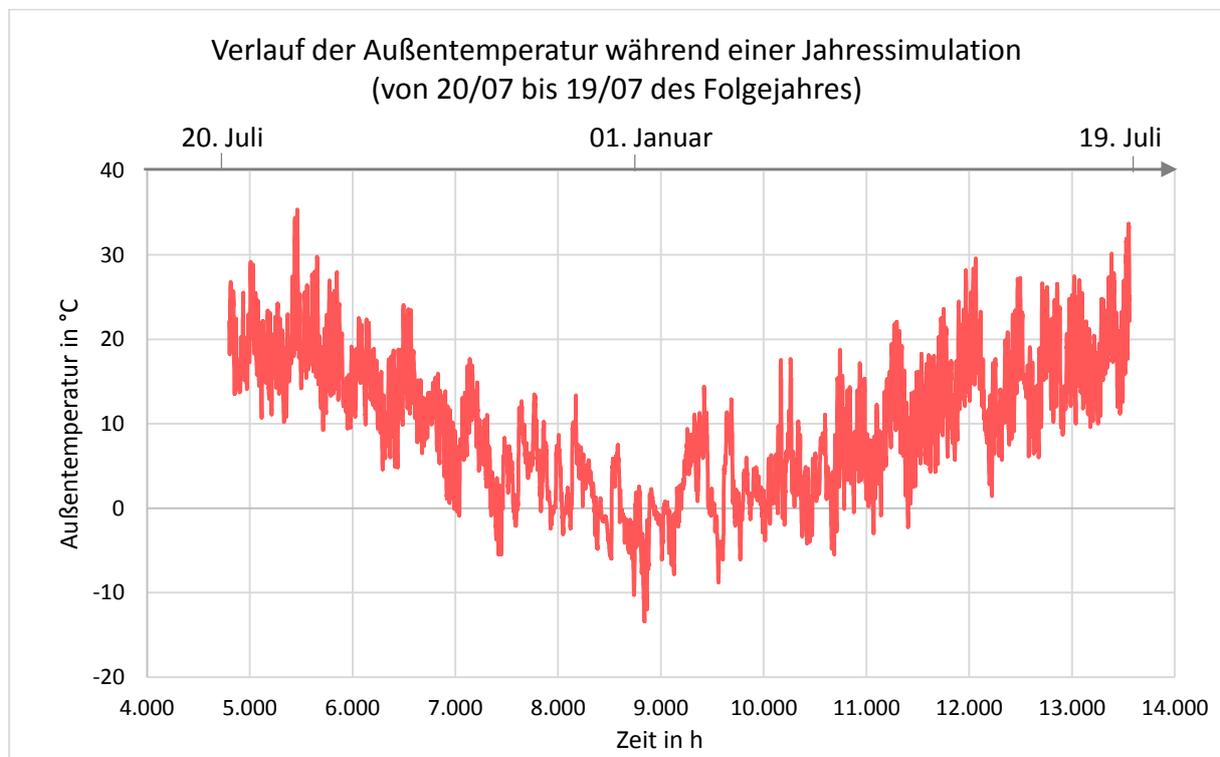


Abbildung 7.2-1: Außentemperatur während der Jahressimulation, entsprechend TRY04 für Potsdam

Heizleistung

In folgenden zwei Abbildungen wird die Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode abgebildet. Dabei wird die Heizleistung stundengenau durch einen Punkt im Bild wiedergegeben und kann durch die Verknüpfung der Farbinformation mit einer Farbskala für jede Stunde abgeschätzt werden. Mit Hilfe der beiden Zeitskalen (vertikale Achse: Tagestunde, horizontale Achse: Monat) kann die Heizleistung für den jeweiligen Zeitpunkt des Jahres abgelesen werden.

Die beiden betrachteten Varianten unterscheiden sich in den zugrunde gelegten Systemauslegungstemperaturen. So wird in der Abbildung 7.2-2 die Heizleistung der GWP

bei der Auslegungstemperatur von 55/45°C und in der Abbildung 7.2-3 bei der Auslegungstemperatur von 50/40°C dargestellt.

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 82, 55/45°C)

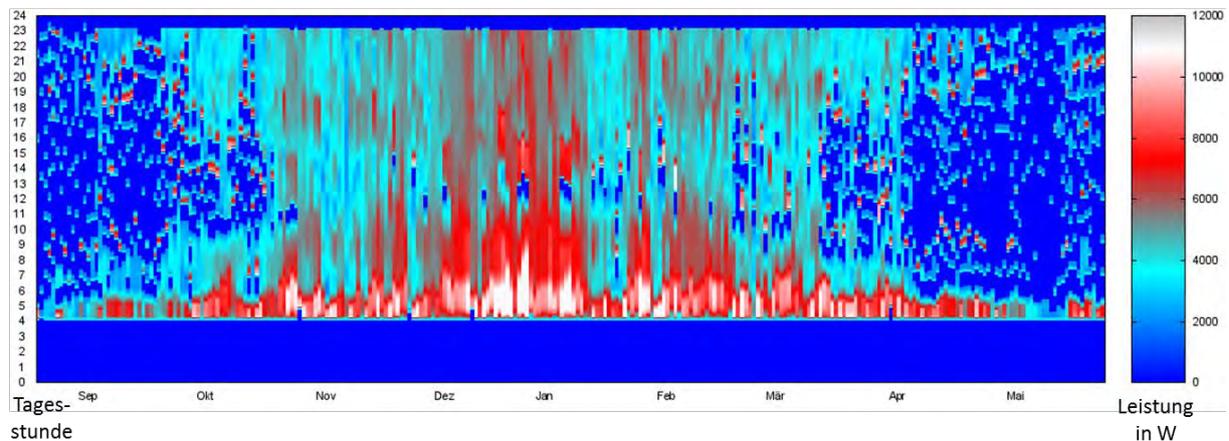


Abbildung 7.2-2: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode, EFH Bestand 82, Systemtemperaturen 55/45°C (VAR001)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 82, 50/40°C)

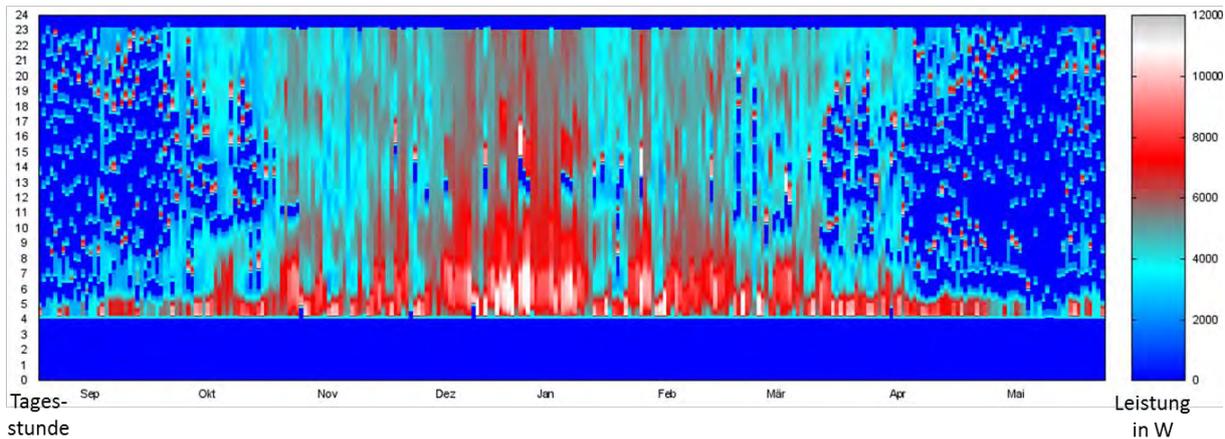


Abbildung 7.2-3: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode (EFH Bestand 82, 50/40°C, VAR002)

In beiden Fällen ist deutlich zu erkennen, dass die Gaswärmepumpe nicht nur in der vordefinierten Anheizphase (von 4:00 bis 6:00 Uhr) sondern auch im späteren Tagesverlauf bei niedrigen Außentemperaturen stets eine hohe Leistung bereitstellt. Diese liegt überwiegend im Bereich zwischen $\dot{Q} > 8 \text{ kW}$ und $\dot{Q} \leq 11 \text{ kW}$. Aufgrund einer höheren Vorlauftemperatur sind in Abbildung 7.2-2 mehr Stunden im Jahr erkennbar, in denen die Gaswärmepumpe bei Nennwärmeleistung ($\dot{Q}_{max} = 11 \text{ kW}$) arbeitet. Gleichzeitig kann den beiden Diagrammen entnommen werden, dass die GWP in den Wintermonaten ihre Leistung überwiegend regelt (moduliert) und ein ausgeprägtes Taktverhalten nur in der Übergangszeit (Herbst, Frühjahr) zu beobachten ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die angeforderte Heizleistung niedriger als die Mindestleistung \dot{Q}_{min} der betrachteten Gaswärmepumpe ist.

Raumtemperaturen

Abbildung 7.2-4 stellt die operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes im betrachteten Einfamilienhaus dar. Die für den Heizfall (während der Heizperiode) vordefinierte Raum-Solltemperatur $\theta_{i,h,soll} = 20^\circ\text{C}$ wird in der Nutzungszeit (von 06:00 bis 23:00 Uhr) nur selten unterschritten. Infolge der Nachtabsenkung fällt die Raumtemperatur um maximal 2 K im

betrachten Raum ab. Außerhalb der Heizperiode schwankt die Raumtemperatur überwiegend zwischen 20°C und 23,5°C. In Einzelfällen können auch Raumtemperaturen knapp unter 20°C auftreten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den Sommermonaten kein Heizbetrieb erfolgt.

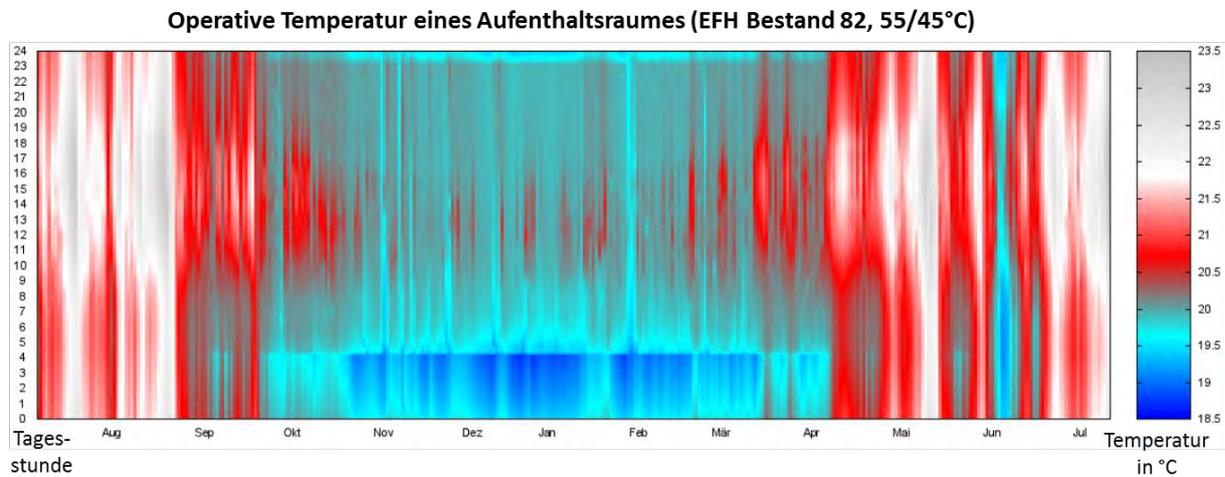


Abbildung 7.2-4: Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Bestand 82, 55/45°C, VAR001)

Analoge Aussagen lassen sich aus der Abbildung 7.2-5 ableiten. Dargestellt wird hier die Summenhäufigkeit der Temperaturabweichung von der Raum-Solltemperatur in der Nutzungszeit während der Heizperiode für den Aufenthaltsraum. So wird in beiden Fällen (Systemauslegungstemperatur von 55/45°C und 50/40°C) die operative Temperatur im betrachteten Raum nur selten unterschritten.

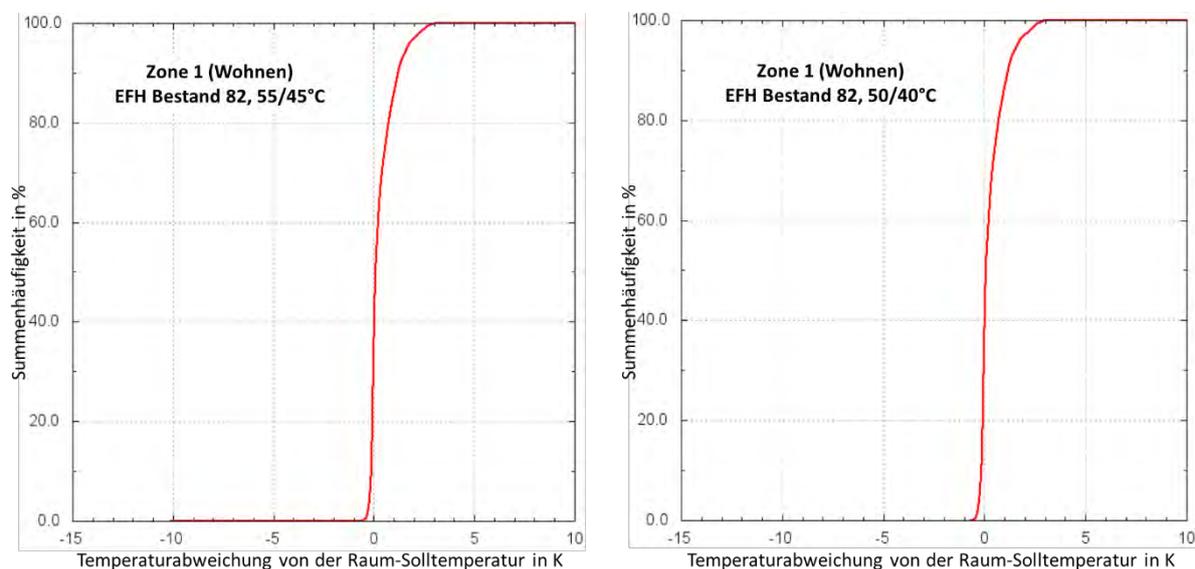


Abbildung 7.2-5: Summenhäufigkeit der Temperaturabweichung von der Raum-Solltemperatur in der Nutzungszeit (EFH Bestand 82)

Netztemperaturen

Die Abbildung 7.2-6 und Abbildung 7.2-7 spiegeln den Verlauf der Vorlauf- und der Rücklauftemperatur für das betrachtete Bestandsgebäude über eine Heizperiode wieder. Durch die Maxima der Vorlauftemperatur wird die festgelegte Auslegungsvorlauftemperatur (Variante 1: $\theta_{VA} = 55^\circ\text{C}$ und Variante 2: $\theta_{VA} = 50^\circ\text{C}$) ersichtlich. Betrachtet man beide Abbildungen in Zusammenhang mit dem in Abbildung 7.2-1 ausgewiesenen Verlauf der

Außentemperatur während der Simulation wird deutlich, dass die Vorlauftemperatur von der Außentemperatur abhängig ist und damit die Auslegungsvorlauftemperatur nur selten erreicht wird.

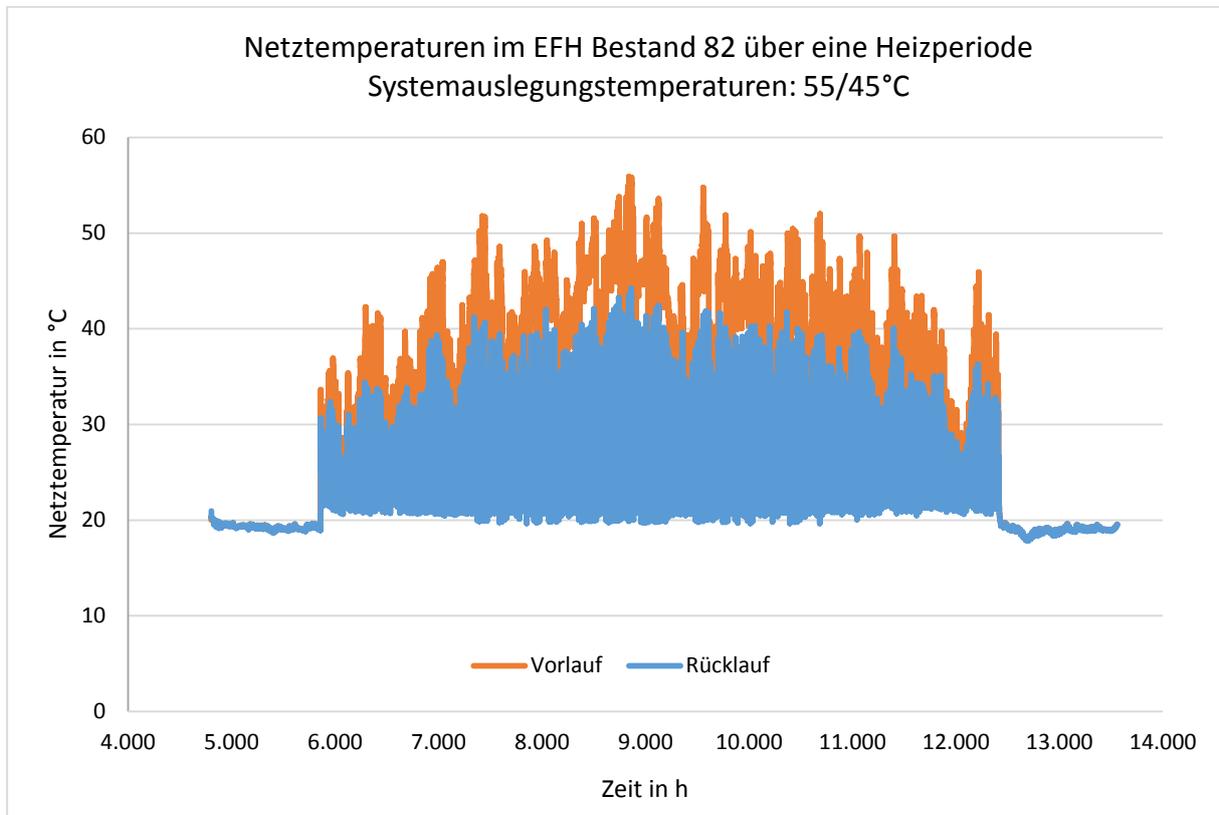


Abbildung 7.2-6: Netztemperaturen im EFH Bestand über eine Heizperiode (EFH Bestand 82, 55/45°C, VAR001)

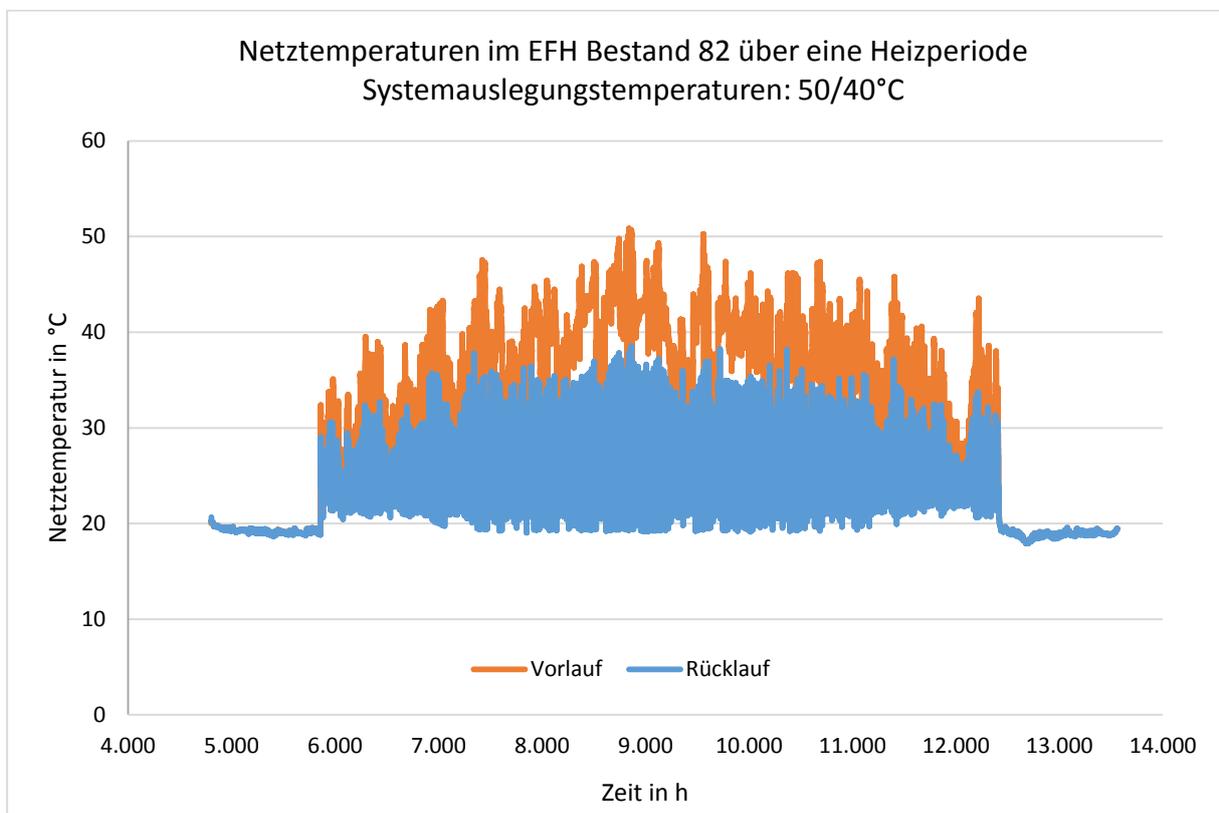


Abbildung 7.2-7: Netztemperaturen im EFH Bestand über eine Heizperiode (EFH Bestand 82, 50/40°C, VAR002)

Energiekennwerte

Die Energiekennwerte des betrachteten EFH Bestand können der Tabelle 7-2 entnommen werden. Aus diesen Kennwerten lässt sich nach Gleichung (7.2.1) der Jahresnutzungsgrad Raumheizung der Gaswärmepumpe berechnen.

$$\eta_{GWP} = \frac{Q_{HK}}{Q_{Brenner}} \quad (7.2.1)$$

Tabelle 7-2: Energiekennwerte und Jahresnutzungsgrad Raumheizung im EFH Bestand 82

EFH Bestand 82	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
VAR001	19.410	16.507	518	117,6%
VAR002	19.340	16.084	525	120,2%

In Abbildung 7.2-8 und Abbildung 7.2-10 wird die von der Gaswärmepumpe bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse der GWP für die beiden betrachteten Varianten im EFH Bestand 82 dargestellt. Aus den beiden Diagrammen wird ersichtlich, dass mehr als die Hälfte des Wärmeenergiebedarfes im Mischbetrieb und im Direktheizbetrieb von der GWP gedeckt werden. Das kann wiederum in Verbindung mit der in Abbildung 6.3-1 dargestellten Abhängigkeit der Brennerleistung vom Belastungsgrad der GWP die ermittelten vergleichsweise niedrigen Jahresnutzungsgrade Raumheizung nach Tabelle 7-2 erklären.

Die Abbildung 7.2-11 und Abbildung 7.2-9 liefern eine Übersicht über die Laufzeiten der Gaswärmepumpe in der jeweiligen Leistungsklasse.

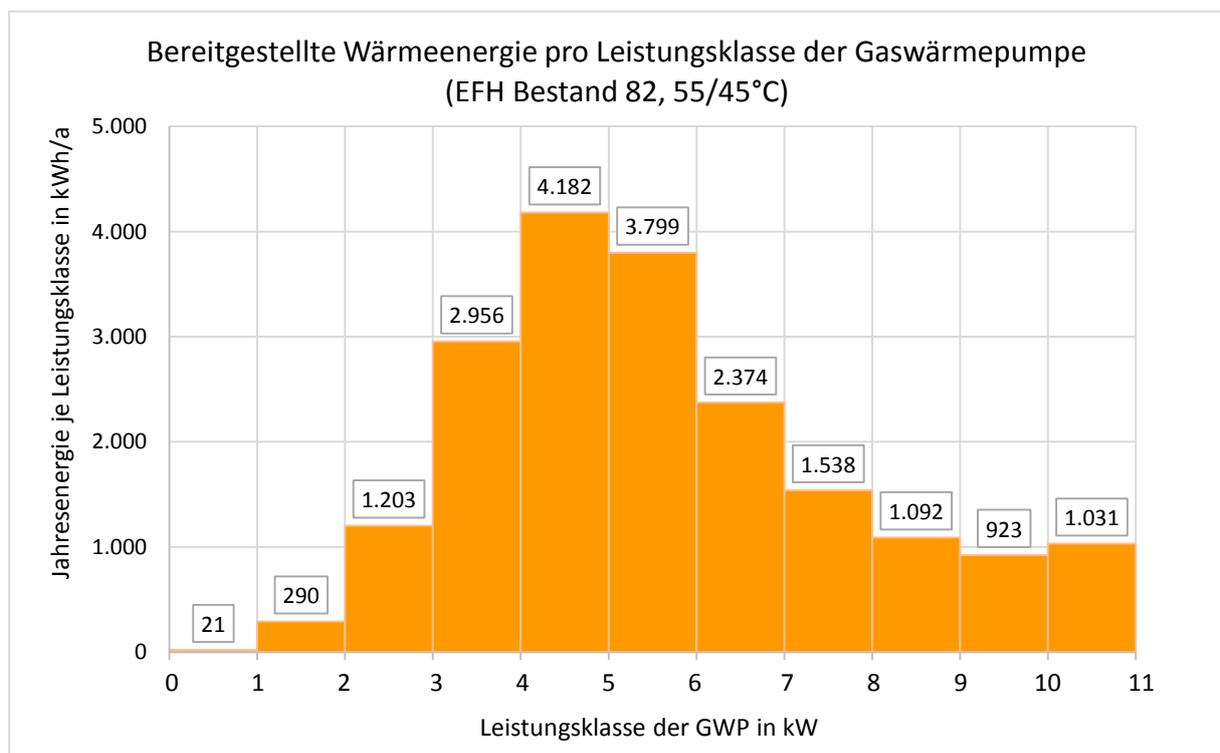


Abbildung 7.2-8: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 82, 55/45°C, VAR001)

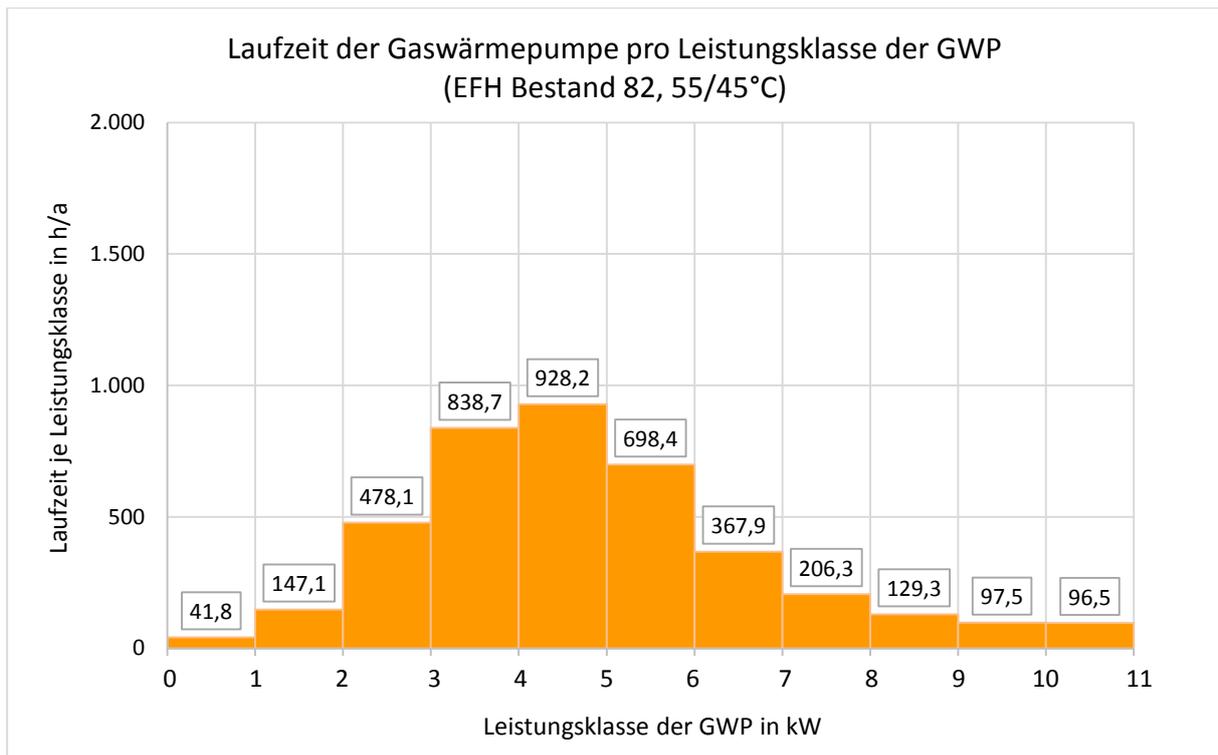


Abbildung 7.2-9: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 82, 55/45°C, VAR001)

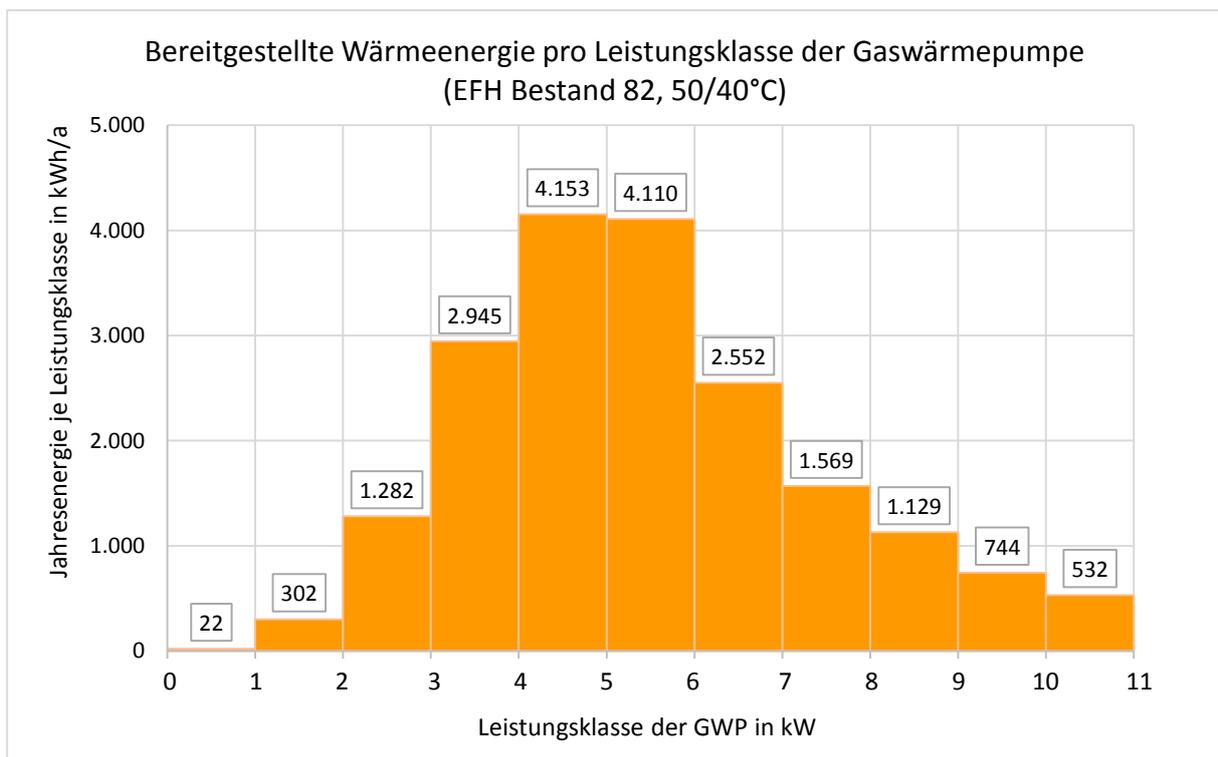


Abbildung 7.2-10: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 82, 50/40°C, VAR002)

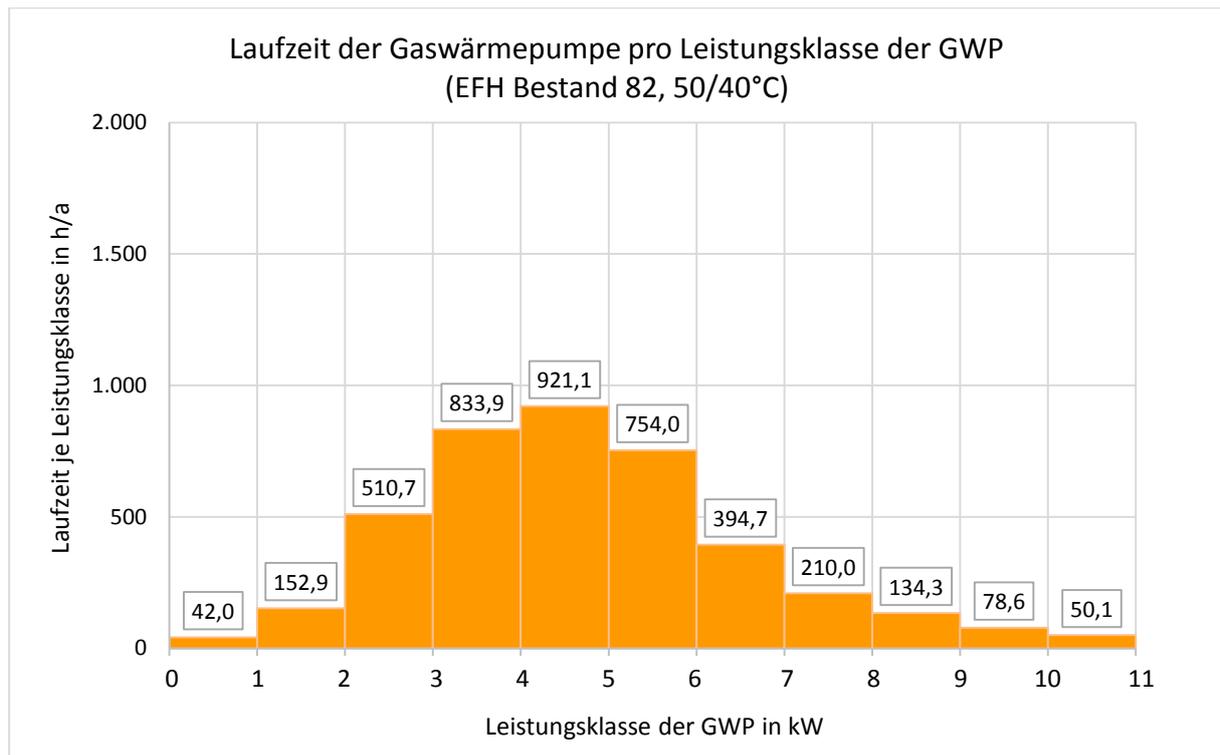


Abbildung 7.2-11: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 82, 50/40°C, VAR002)

7.2.2 EFH Bestand 94

Analog dem zuvor betrachteten Einfamilienhaus mit Wärmeschutz etwa entsprechend der [WSV 82] werden im Folgenden die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen für das Einfamilienhaus mit einem höheren Wärmeschutzniveau etwa entsprechend [WSchV 94] auszugsweise ausgewiesen.

Heizleistung

So wird in der Abbildung 7.2-12 bis Abbildung 7.2-14 die Heizleistung der Gaswärmepumpe während der Heizperiode bei 3 unterschiedlichen Systemauslegungstemperaturen (55/45°C, 50/40°C und 45/35°C) in Verbindung mit Radiatorenheizung dargestellt.

Im Vergleich zum zuvor betrachteten EFH Bestand 82 führt der höhere Wärmeschutzstandard zu einer Reduzierung der Wärmepumpenleistung. Dabei wird die höchste Leistung von der Gaswärmepumpe in der Aufheizphase und bei niedrigen Außentemperaturen bereitgestellt. In den Wintermonaten wird die Gaswärmepumpe besonders bei niedrigeren Systemauslegungstemperaturen (s. Abbildung 7.2-14) über mehrere Stunden am Tag im Teillastbetrieb gefahren. Ein ausgeprägtes Taktverhalten ist auch hier in der Übergangszeit (Herbst, Frühjahr) zu beobachten.

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 94, 55/45°C)

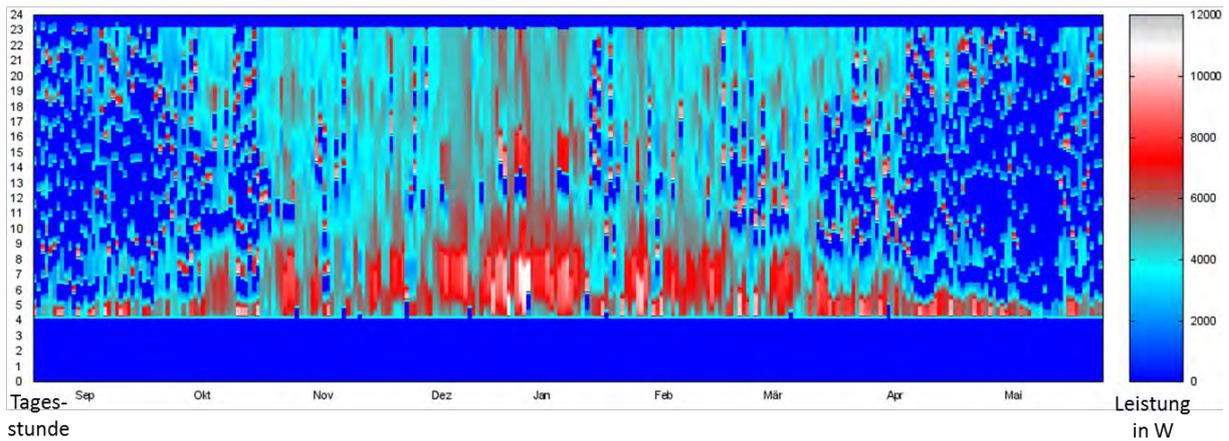


Abbildung 7.2-12: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode (EFH Bestand 94, 55/45°C, VAR003)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 94, 50/40°C)

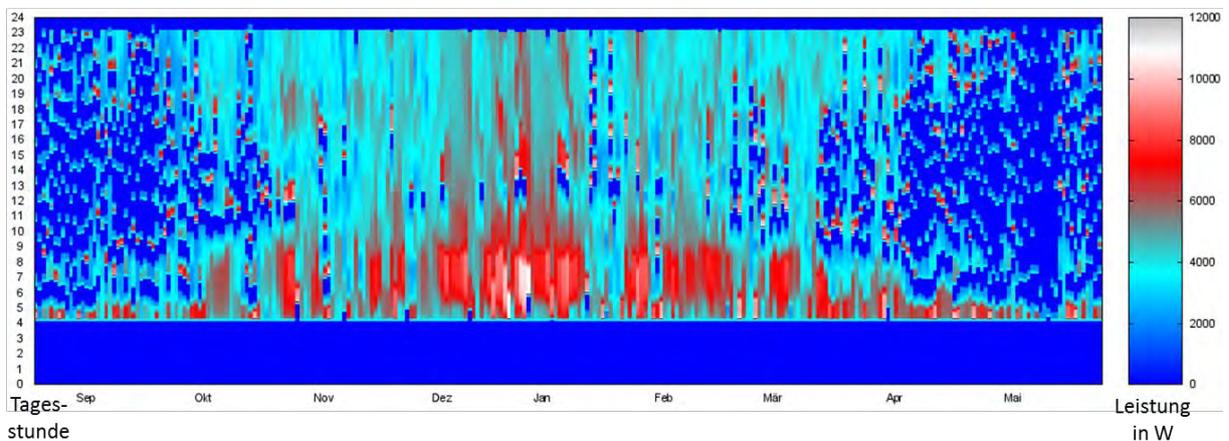


Abbildung 7.2-13: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode (EFH Bestand 94, 50/40°C, VAR004)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 94, 45/35°C)

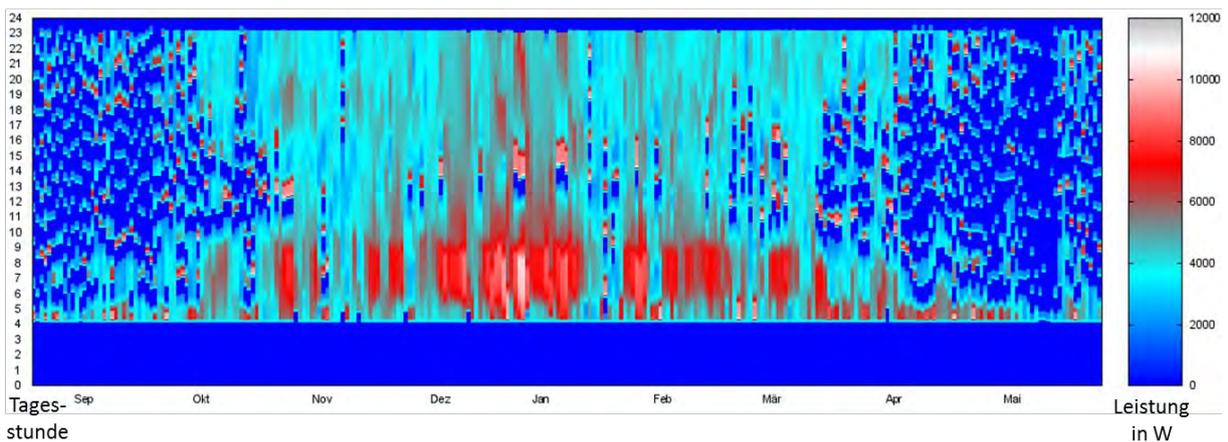


Abbildung 7.2-14: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode (EFH Bestand 94, 45/35°C, VAR005)

Anhand der Abbildung 7.2-15 und Abbildung 7.2-16 kann die bereitgestellte Leistung der Gaswärmepumpe während der Heizperiode bei 2 unterschiedlichen Systemauslegungstemperaturen (37/30°C und 35/28°C) in Verbindung mit Fußbodenheizung abgelesen werden.

Erwartungsgemäß wird die höchste Leistung von der Gaswärmepumpe in der Anheizphase (von 4:00 bis 6:00 Uhr) und zu Beginn der Nutzungszeit bereitgestellt. Im weiteren Tagesverlauf, auch bei niedrigen Außentemperaturen, taktet die GWP überwiegend und fährt im Teillastbetrieb erst in den späten Abendstunden.

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 94, 37/30°C)

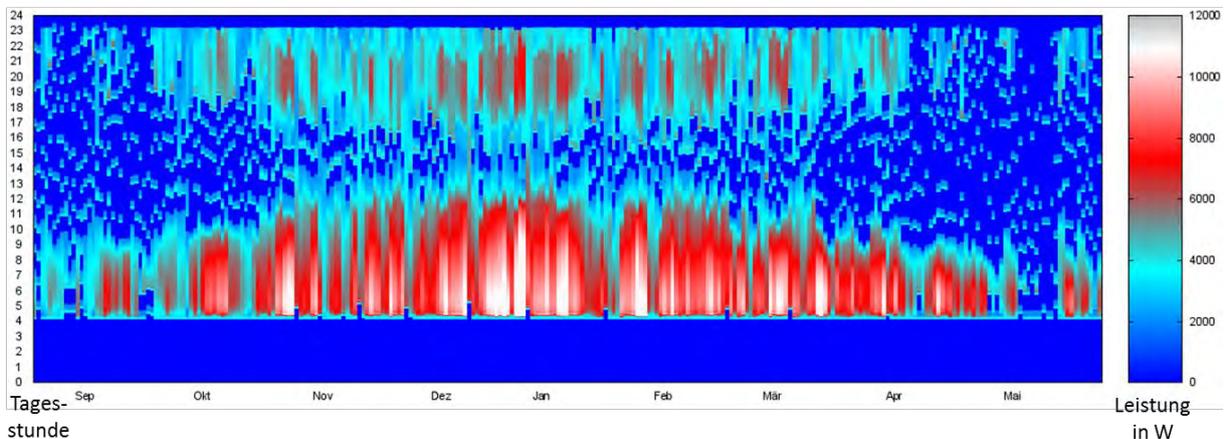


Abbildung 7.2-15: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode (EFH Bestand 94, 37/30°C, VAR006)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Bestand 94, 35/28°C)

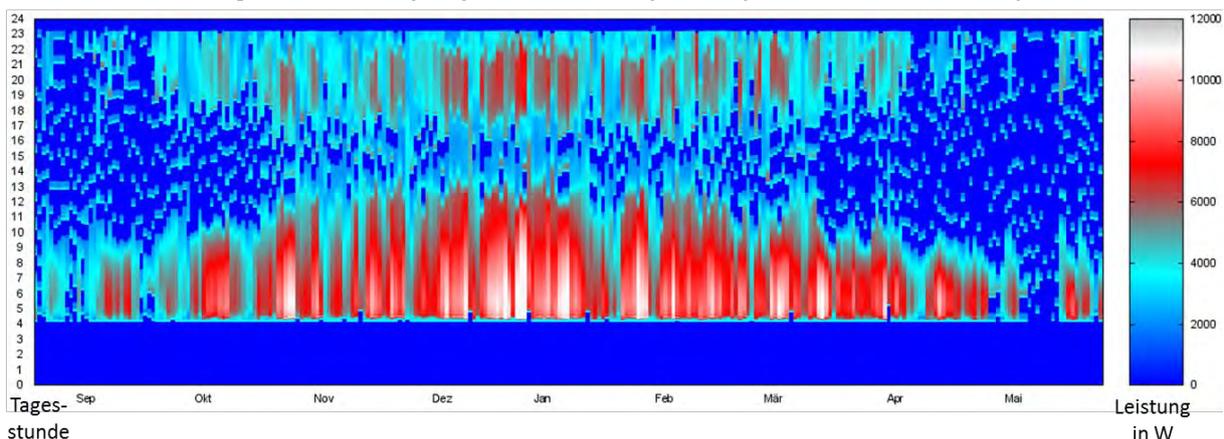


Abbildung 7.2-16: Leistung der Gaswärmepumpe im Bestandsgebäude über die Heizperiode (EFH Bestand 94, 35/28°C, VAR007)

Raumtemperaturen

Die operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes wird im betrachteten Einfamilienhaus für zwei Varianten (Radiatoren und Fußbodenheizung) in Abbildung 7.2-17 und Abbildung 7.2-18 dargestellt. In beiden Fällen wird die Raum-Solltemperatur $\theta_{i,h,soll} = 20^\circ\text{C}$ in der Nutzungszeit (von 06:00 bis 23:00 Uhr) nur selten unterschritten. Bei dem System mit Fußbodenheizung wird deutlich, dass der Beginn und das Ende der Nutzungszeit nicht so erkenntlich sind wie bei dem System mit Radiatorenheizung. Das resultiert aus einer im Vergleich zu Radiatoren größeren Trägheit des Systems. Diese führt auch zu einer geringfügigen Überschreitung der Solltemperatur bei dem System mit Flächenheizung (s. Abbildung 7.2-19), da das System nicht so dynamisch wie freie Heizflächen auf Lastwechsel reagieren kann.

Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Bestand 94, 55/45°C)

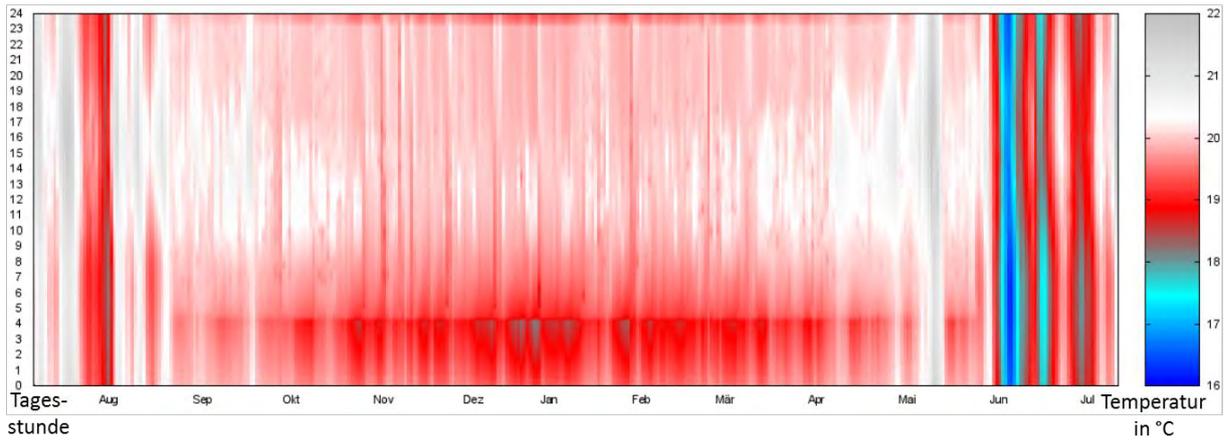


Abbildung 7.2-17: Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Bestand 94, 55/45°C, VAR003)

Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Bestand 94, 35/28°C)

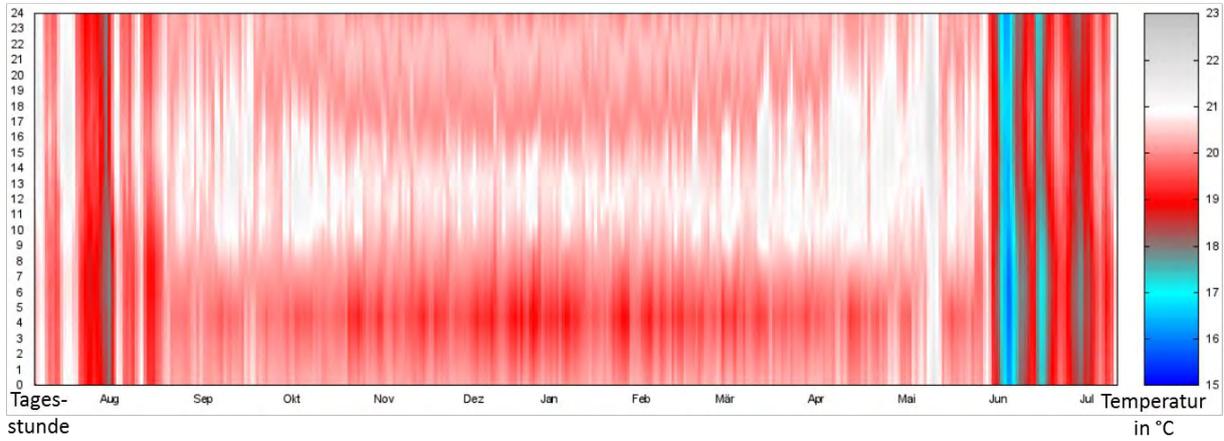


Abbildung 7.2-18: Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Bestand 94, 35/28°C, VAR007)

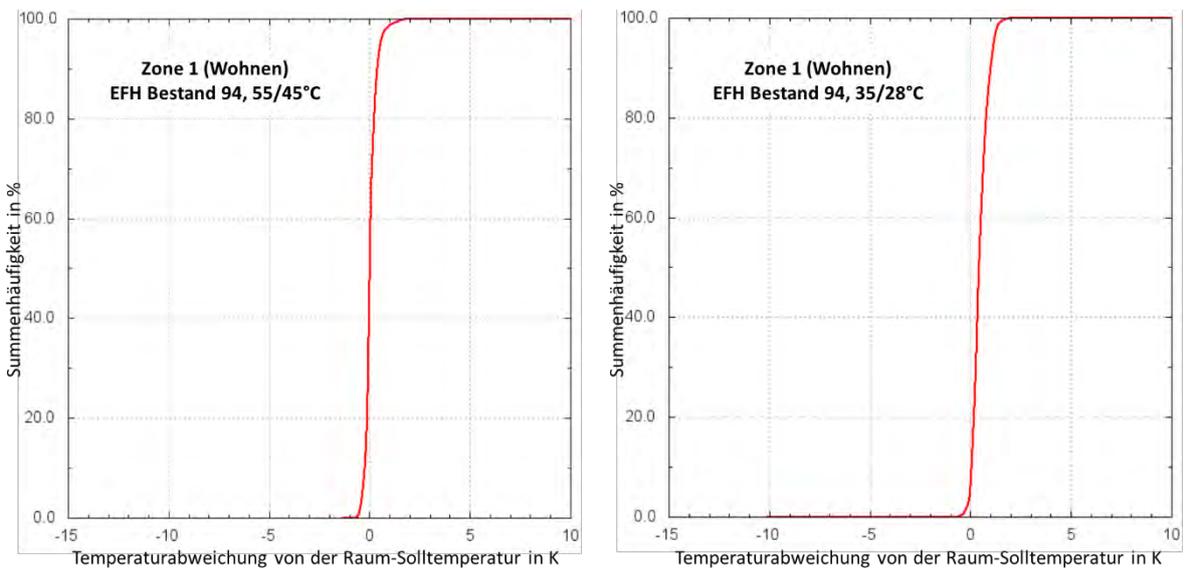


Abbildung 7.2-19: Summenhäufigkeit der Temperaturabweichung von der Raum-Solltemperatur in der Nutzungszeit (EFH Bestand 94)

Energiekennwerte

Die Energiekennwerte des betrachteten EFH Bestand sowie der nach Gleichung (7.2.1) berechnete Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe in Verbindung mit freien Heizflächen können der Tabelle 7-3 entnommen werden.

Tabelle 7-3: Energiekennwerte und Jahresnutzungsgrad Raumheizung im EFH Bestand 94, freie Heizflächen

EFH Bestand 94	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
Freie Heizflächen				
VAR003	17.822	14.850	514	120,0%
VAR004	17.740	14.421	523	123,0%
VAR005	17.681	14.071	527	125,7%

Die von der Gaswärmepumpe bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse der Gaswärmepumpe für die drei betrachteten Varianten mit freien Heizflächen im EFH Bestand 94 wird in Abbildung 7.2-20, Abbildung 7.2-22 und Abbildung 7.2-24 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der Anteil des Misch- und Direktheizbetriebes an der gesamten Wärmebereitstellung durch die Gaswärmepumpe weiterhin hoch ist, im Vergleich zum zuvor betrachteten EFH Bestand 82 jedoch zurückgegangen ist. Das begründet die geringfügig höheren Jahresnutzungsgrade Raumheizung im Vergleich zu entsprechenden Varianten im EFH Bestand 82.

Die Laufzeiten der Gaswärmepumpe in der jeweiligen Leistungsklasse im betrachteten Bestandsgebäude spiegeln die Abbildung 7.2-21, Abbildung 7.2-23 und Abbildung 7.2-25 wieder. Mit sinkenden Systemauslegungstemperaturen sinkt die Laufzeit der GWP in den höheren Leistungsklassen ($\dot{Q} > 6 \text{ kW}$), was wiederum zur Erhöhung des Jahresnutzungsgrades führt.

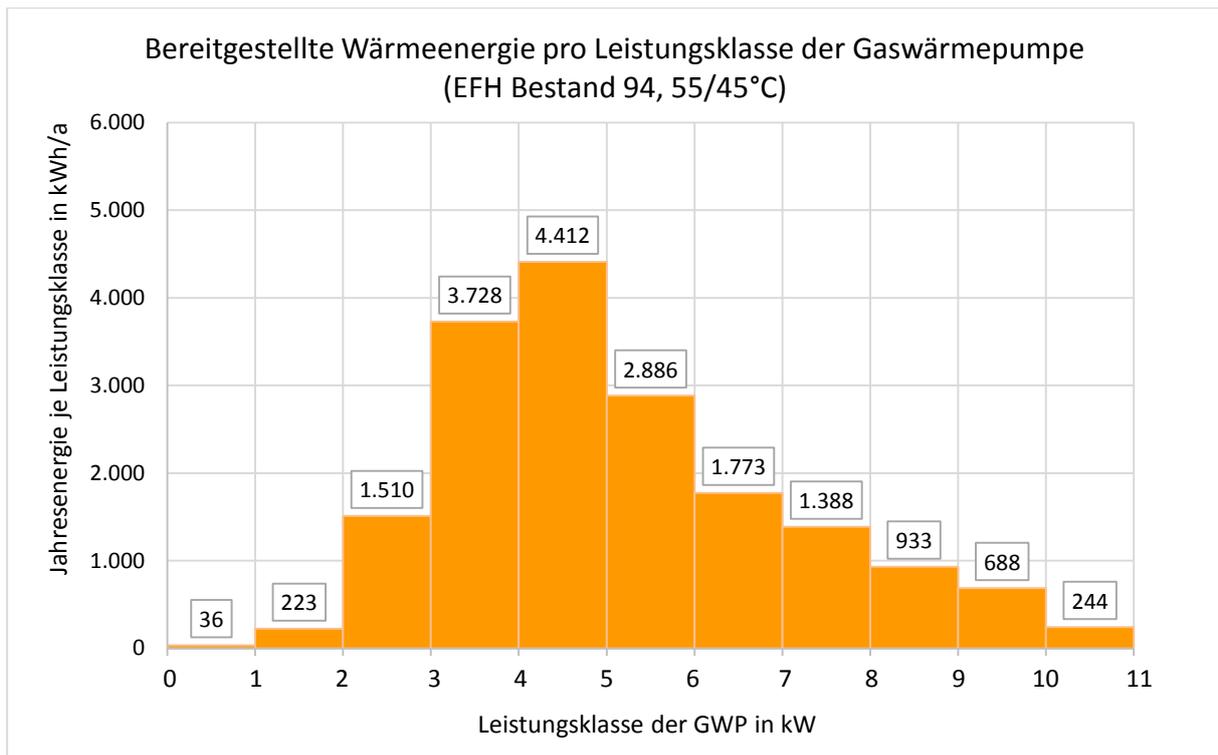


Abbildung 7.2-20: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 55/45°C, VAR003)

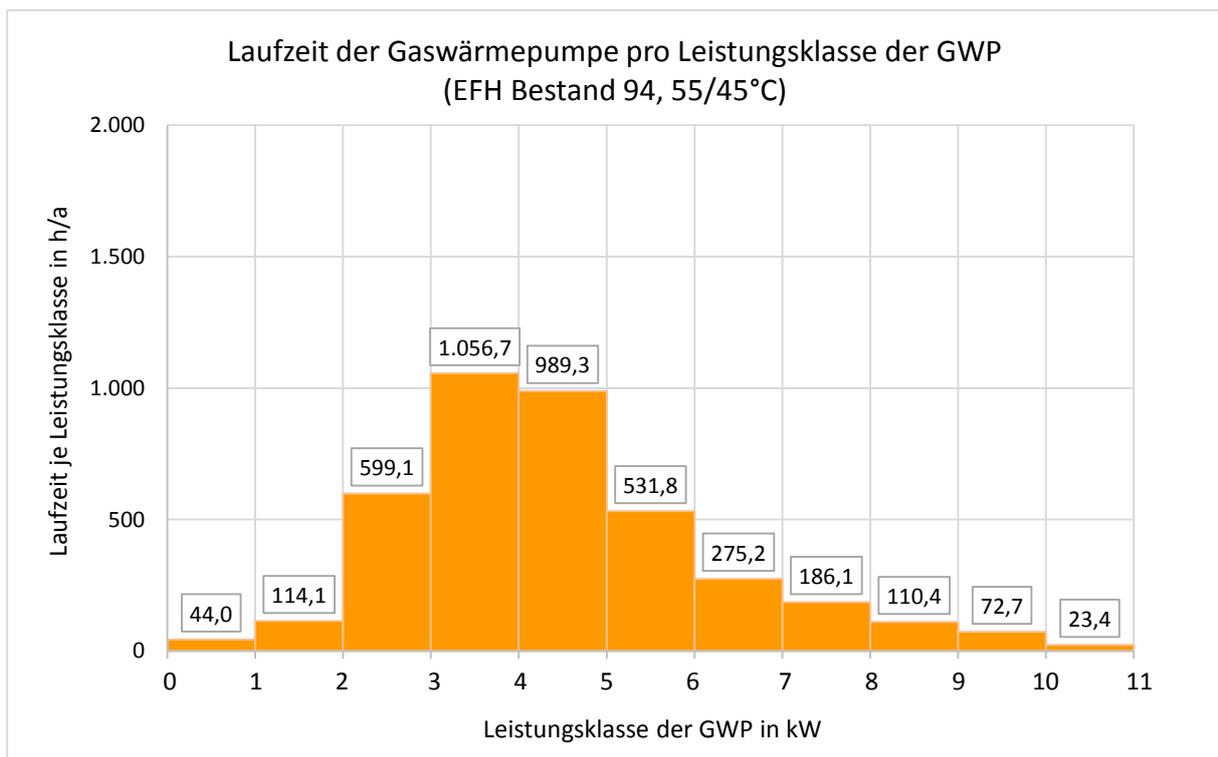


Abbildung 7.2-21: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 55/45°C, VAR003)

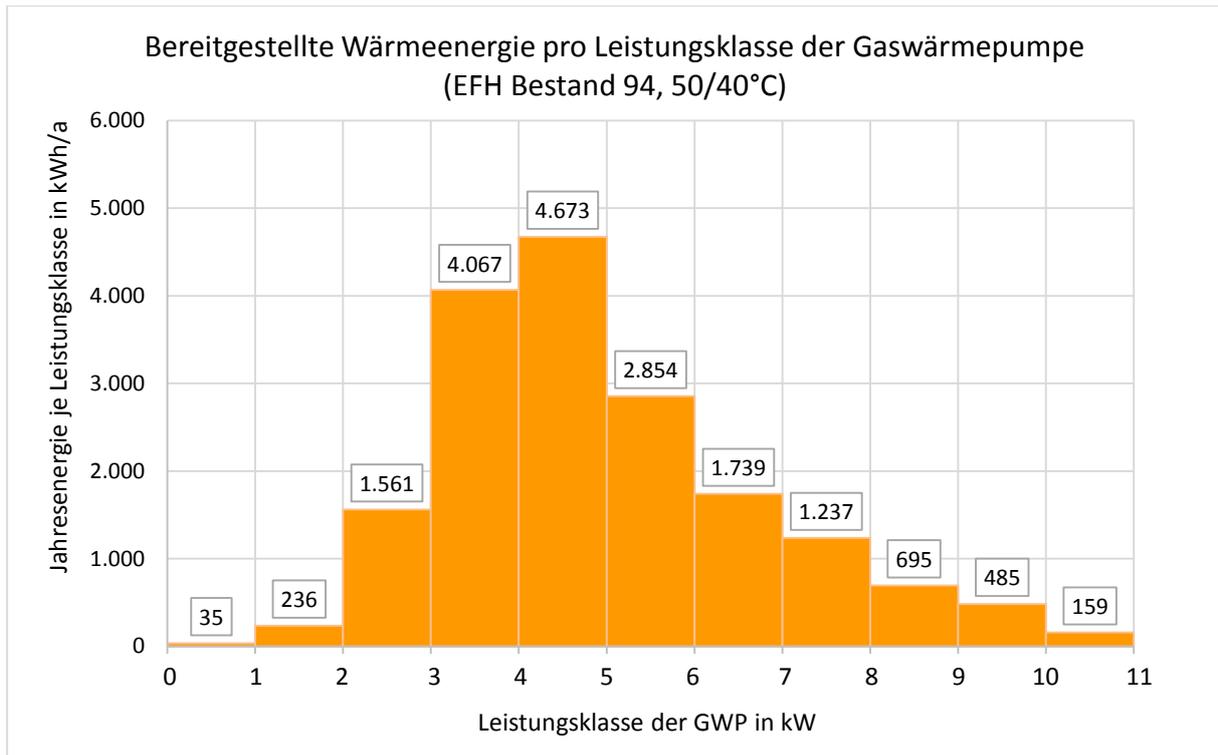


Abbildung 7.2-22: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 50/40°C, VAR004)

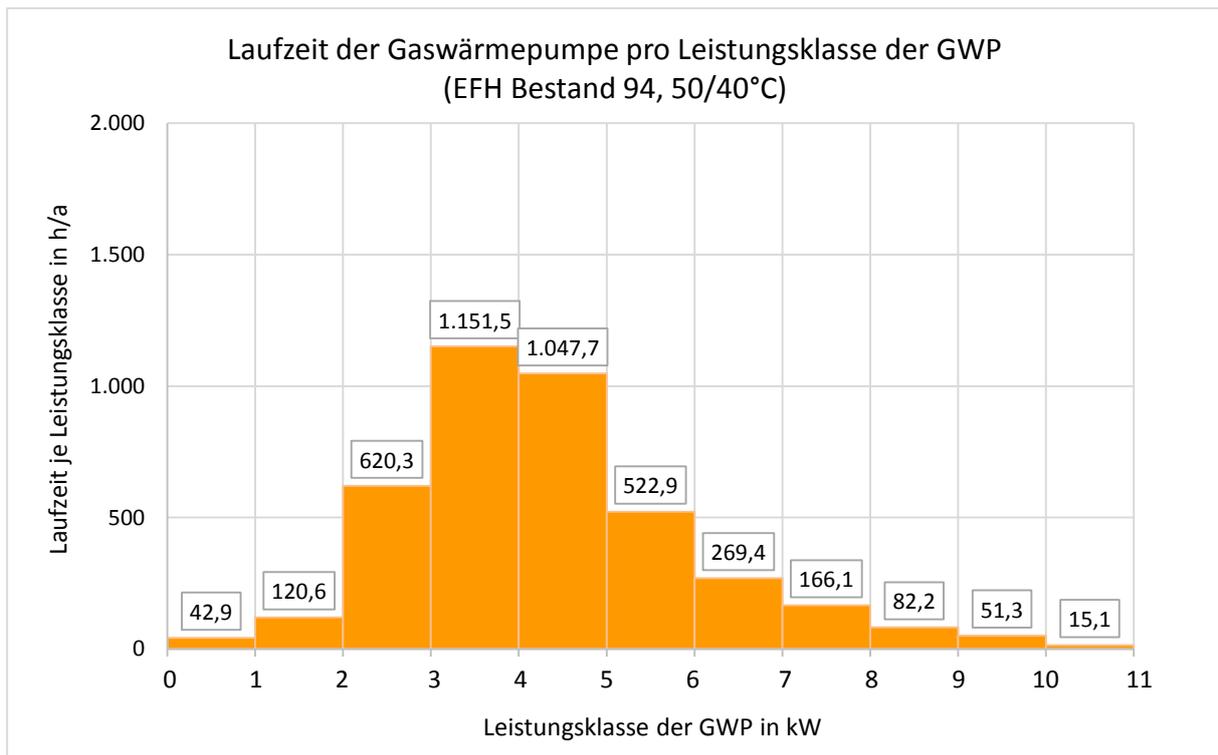


Abbildung 7.2-23: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 50/40°C, VAR004)

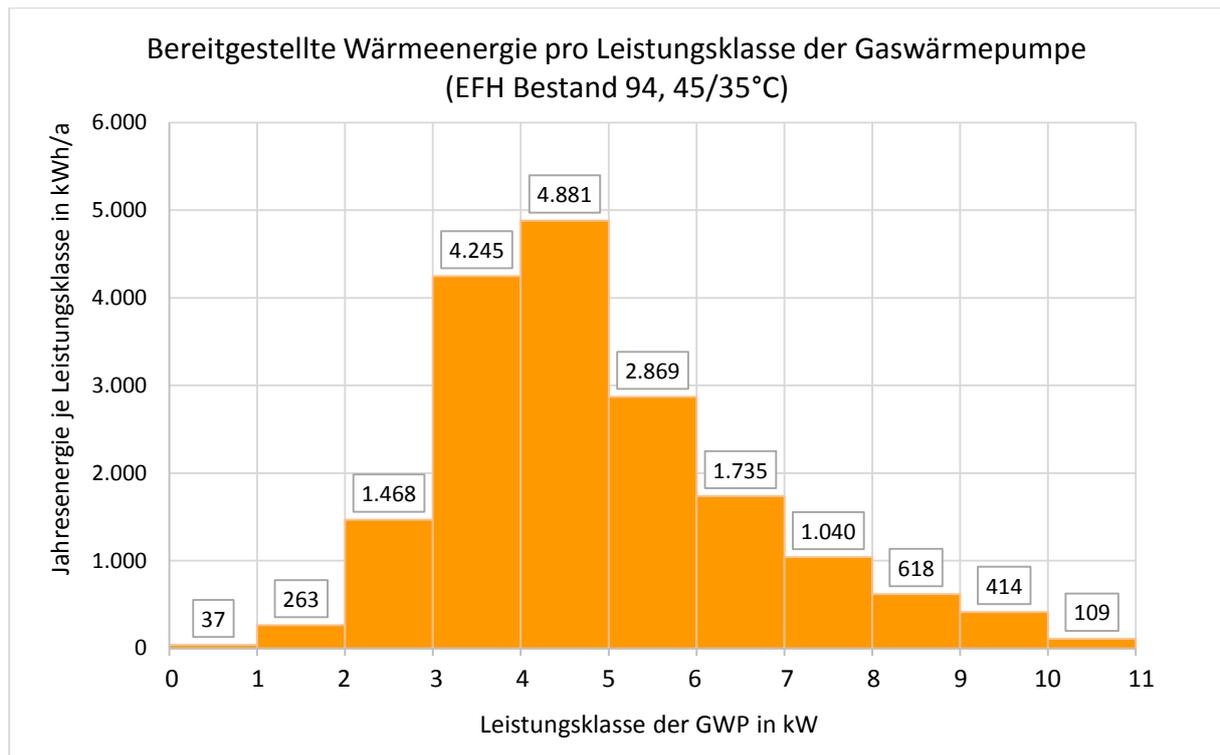


Abbildung 7.2-24: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 45/35°C, VAR005)

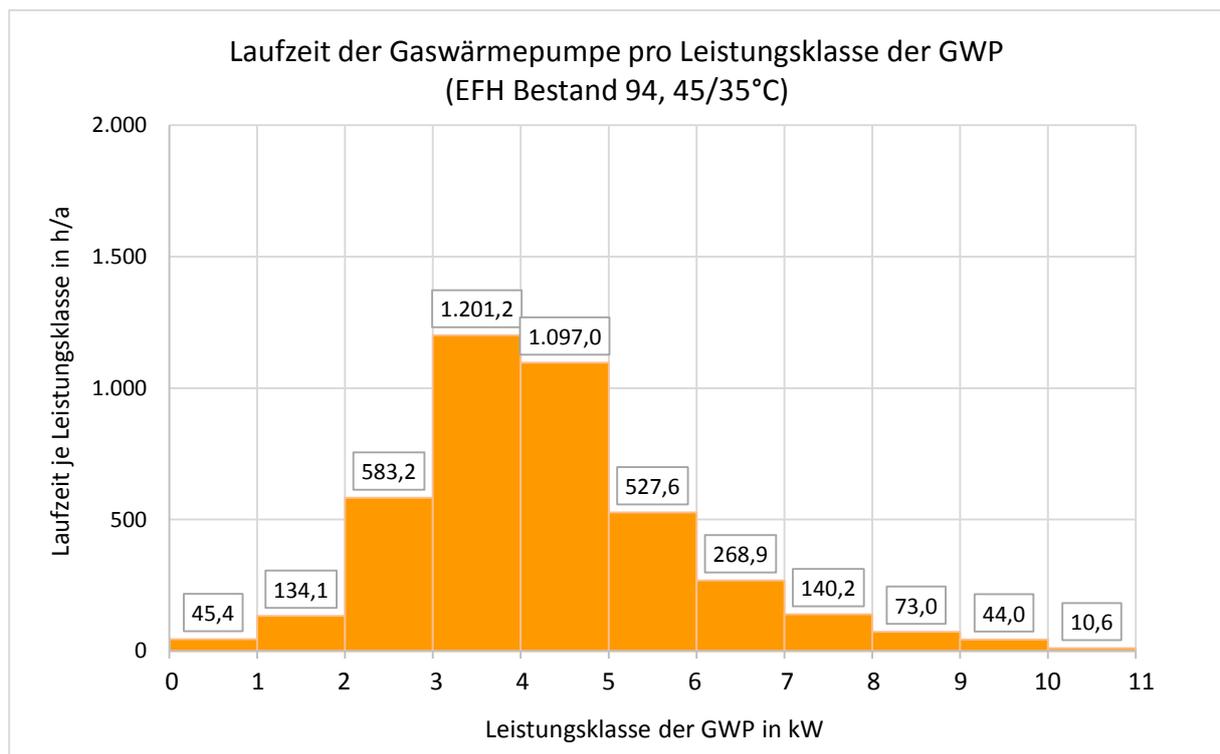


Abbildung 7.2-25: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 45/35°C, VAR005)

In Tabelle 7-4 werden die Energiekennwerte sowie die nach Gleichung (7.2.1) berechneten Jahresnutzungsgrade Raumheizung für das betrachtete EFH Bestand mit einem Wärmeschutz entsprechend [WSV 94] und Flächenheizung ausgewiesen.

Tabelle 7-4: Energiekennwerte und Jahresnutzungsgrad Raumheizung im EFH Bestand 92, Flächenheizung

EFH Bestand 94	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
Flächenheizung				
VAR006	18.175	14.580	489	124,7%
VAR007	18.159	14.390	506	126,2%

Die Verteilung der von der Gaswärmepumpe bereitgestellten Wärmeenergie auf die jeweilige Leistungsklasse des Wärmeerzeugers (s. Abbildung 7.2-26, Abbildung 7.2-28) weicht von den zuvor betrachteten Diagrammen für die Varianten mit freien Heizflächen deutlich ab. Diese spiegelt jedoch den in Abbildung 7.2-15 und Abbildung 7.2-16 dargestellten Verlauf der Heizleistung über den Tag und die Heizperiode wieder. Aufgrund des unterstellten Absenkbetriebes¹ und der daraus resultierenden Abkühlung des Gebäudes über die Nacht in Verbindung mit der Trägheit des Systems (Flächenheizung) wird besonders in der Anheizphase und zu Beginn der Nutzungszeit ein großer Teil der benötigten Wärmeenergie mit einer hohen Leistung ($\dot{Q} > 6 \text{ kW}$) bereitgestellt.

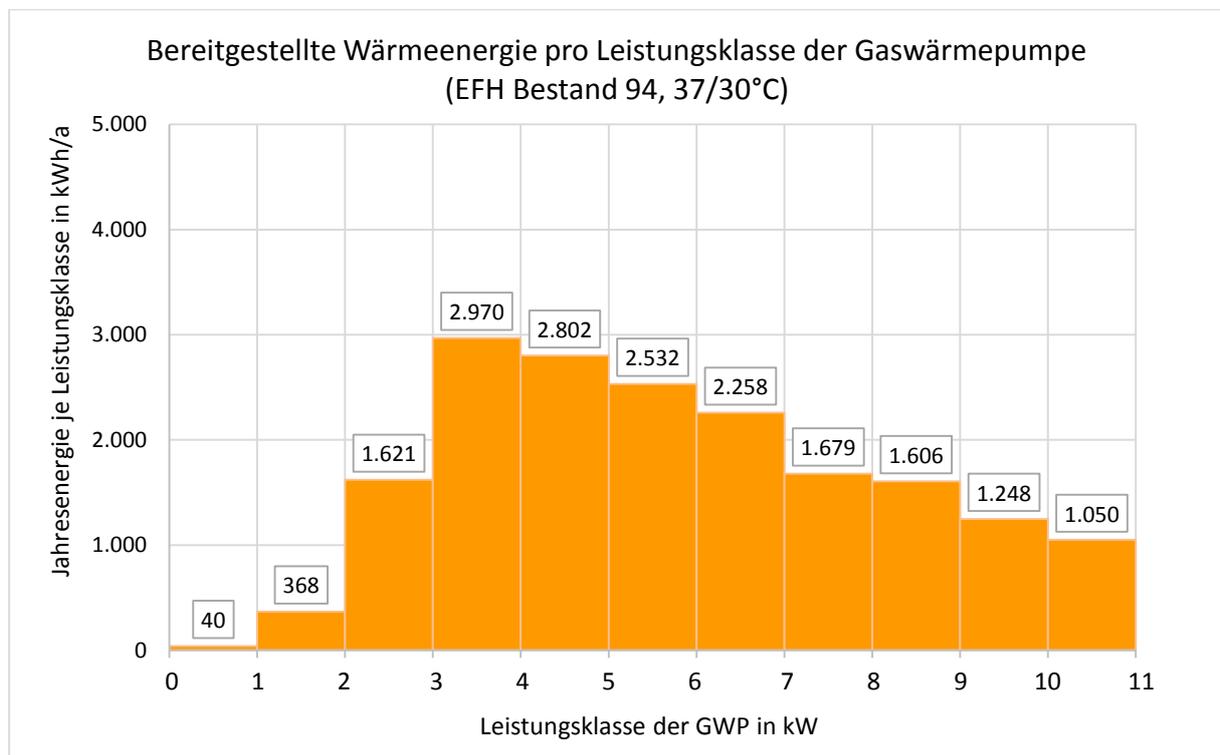


Abbildung 7.2-26: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 37/30°C, VAR006)

Die Laufzeiten der Gaswärmepumpe in den höheren Leistungsklassen ($\dot{Q} > 6 \text{ kW}$) sind dementsprechend länger als bei den Varianten mit freien Heizflächen, da das

¹ Im Simulationsmodell wird eine Absenkung der Raum-Solltemperatur in der Nicht-Nutzungszeit von 4 K unterstellt. So lange die Raum-Solltemperatur im reduzierten Betrieb nicht unter 16 °C fällt, ist der Wärmeerzeuger in den Nachstunden zwischen 23:00 und 4:00 Uhr (Nicht-Nutzungszeit) nicht im Betrieb. Unterschreitet die operative Raumtemperatur die Grenze von 16°C, geht der Wärmeerzeuger in Betrieb (s. Randbedingungen der Standardvariante, Tabelle 6-3).

Flächenheizungssystem nicht so dynamisch auf Lastwechsel reagieren kann (s. Abbildung 7.2-27, Abbildung 7.2-29).

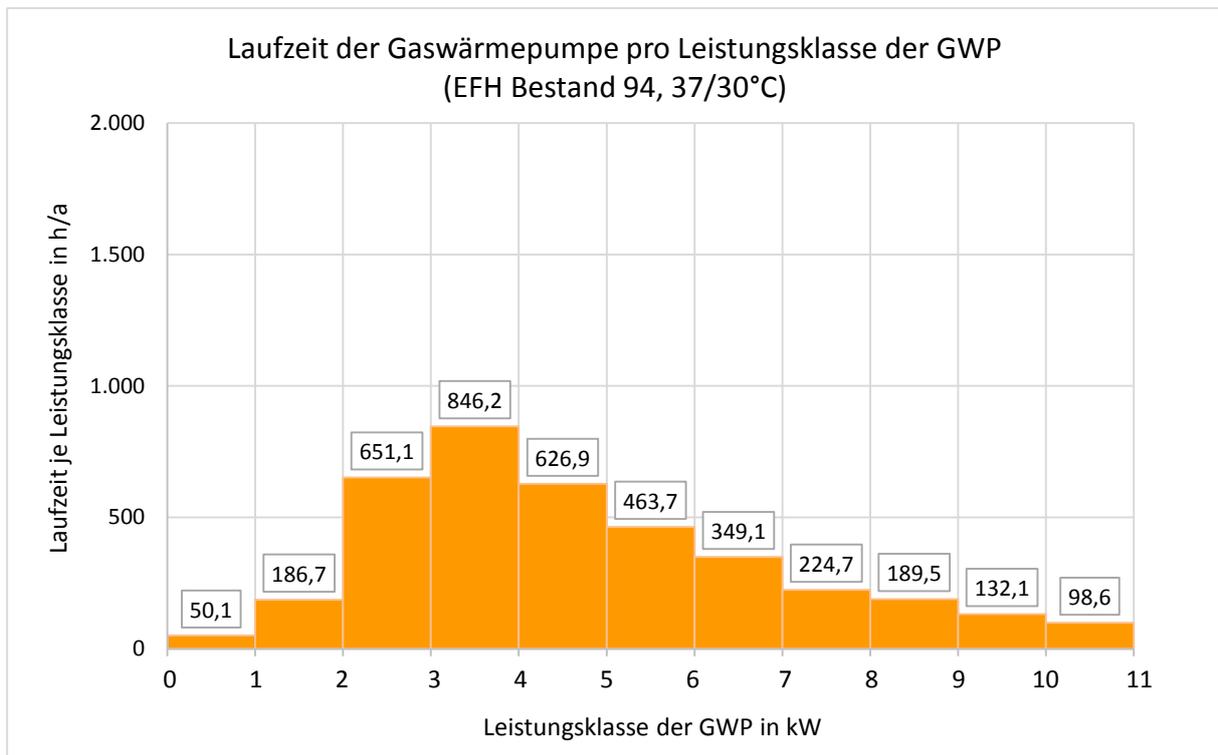


Abbildung 7.2-27: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 37/30°C, VAR006)

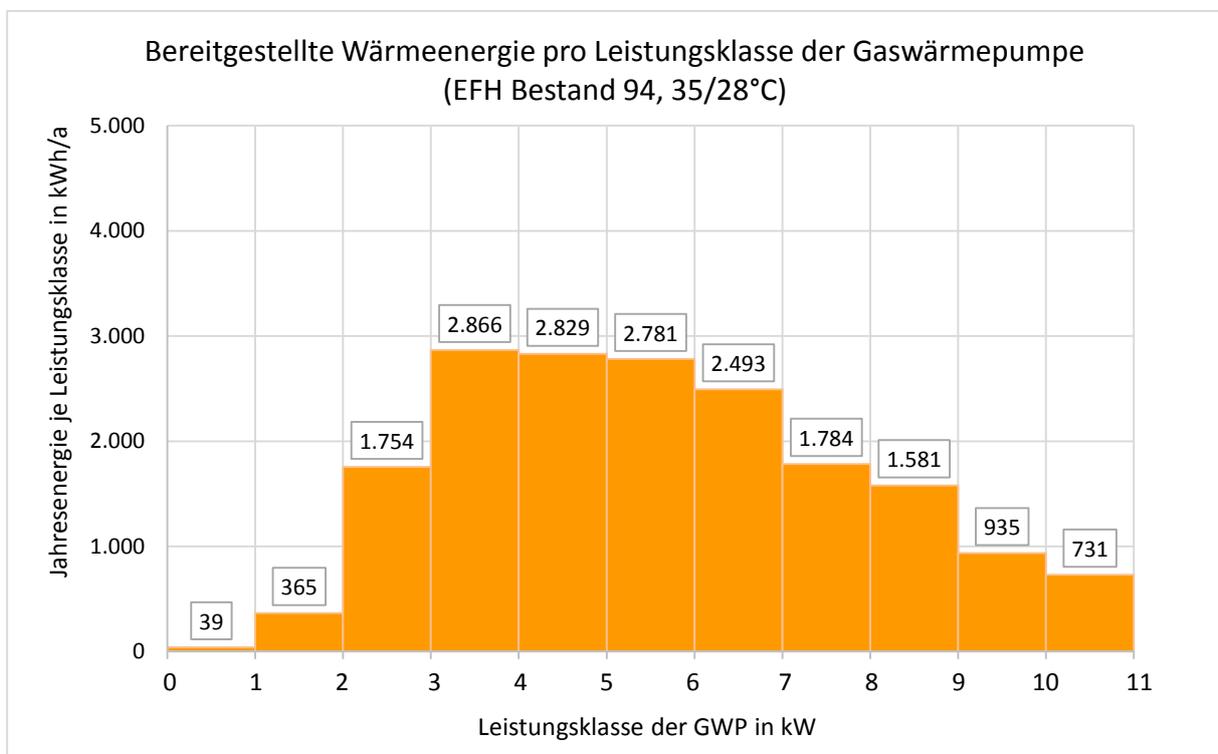


Abbildung 7.2-28: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 35/28°C, VAR007)

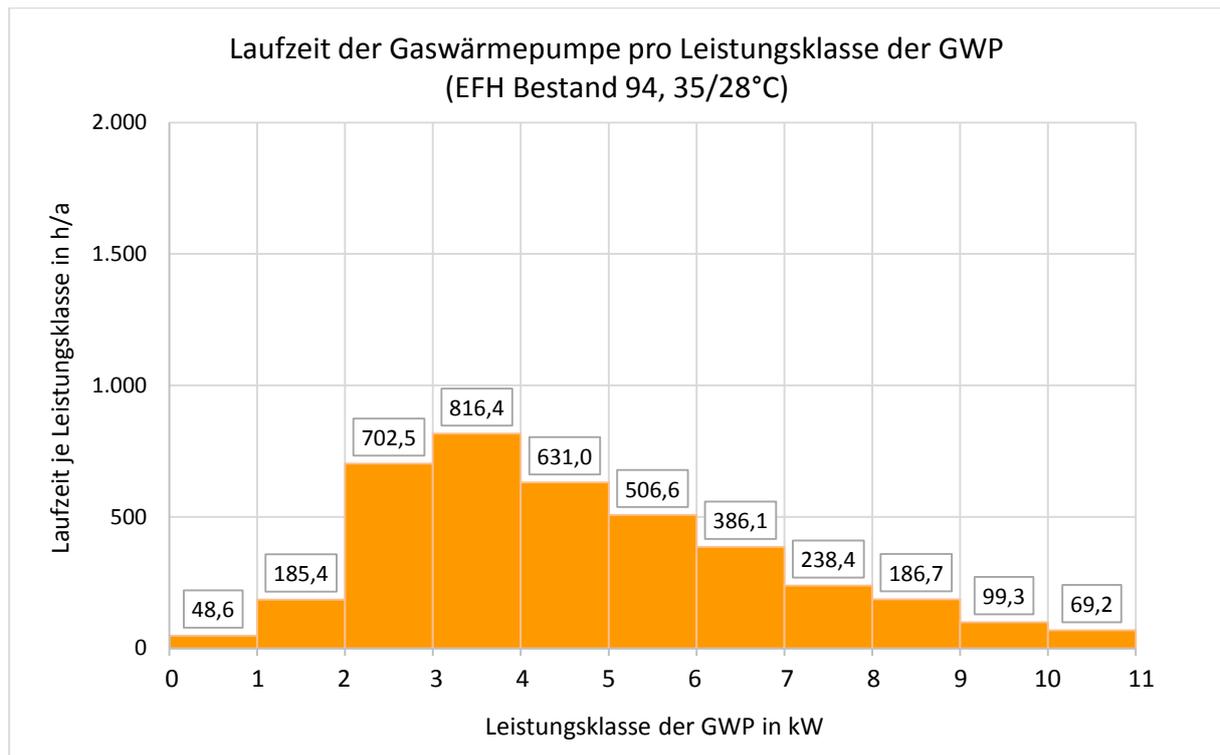


Abbildung 7.2-29: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Bestand (EFH Bestand 94, 35/28°C, VAR007)

7.2.3 EFH Neubau

Analog dem zuvor betrachteten Bestandsgebäude mit zwei unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus werden im Folgenden die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen für das Neubaugebäude mit Wärmeschutzniveau entsprechend der Referenzausführung nach EnEV 2009/2014 auszugsweise angeführt.

Heizleistung

Die Abbildung 7.2-30 bis Abbildung 7.2-32 liefert eine Übersicht über den Verlauf der Heizleistung der Gaswärmepumpe während der Heizperiode bei 3 unterschiedlichen Systemauslegungstemperaturen (55/45°C, 50/40°C und 45/35°C) in Verbindung mit freien Heizflächen.

Im Vergleich zum zuvor betrachteten Bestandsgebäude führt der höhere Wärmeschutzstandard erwartungsgemäß zu einer signifikanten Absenkung der Wärmepumpenleistung während der Heizperiode. Das lässt die Gaswärmepumpe überwiegend in einem effizienteren Lastpunkt arbeiten.

Die höchste Leistung wird von der Gaswärmepumpe zu Beginn der Nutzungszeit und bei niedrigen Außentemperaturen bereitgestellt. Diese liegt während der Heizperiode, bis auf wenige Stunden, im Bereich $\dot{Q} \leq 6 \text{ kW}$. In den Wintermonaten regelt die Gaswärmepumpe ihre Leistung über mehrere Stunden am Tag im Bereich $\dot{Q} \leq 4 \text{ kW}$ und taktet nur selten. Erst mit der niedrigeren Leistungsanforderung im Herbst und Frühjahr trifft ein ausgeprägtes Taktverhalten der Gaswärmepumpe auf.

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Neubau, 55/45°C)

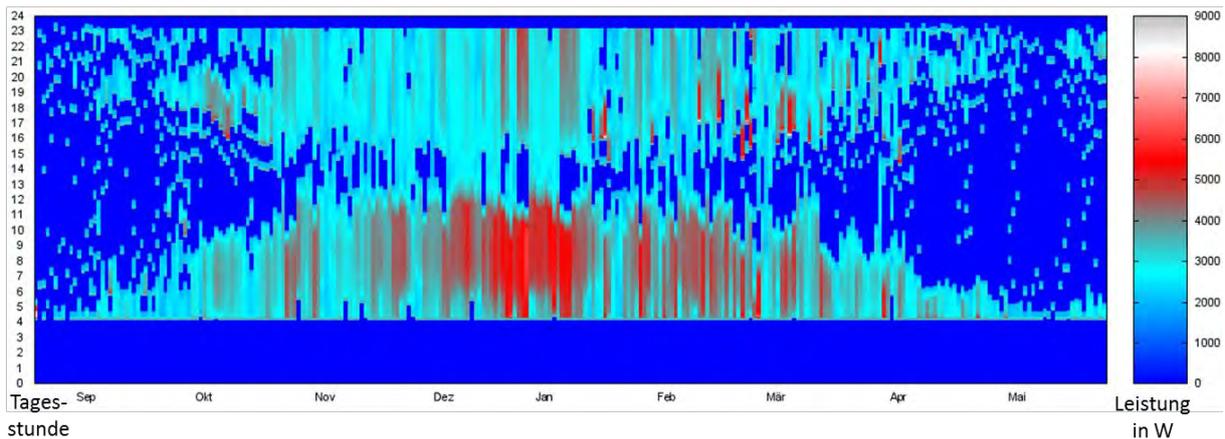


Abbildung 7.2-30: Leistung der Gaswärmepumpe im Neubaugebäude über die Heizperiode (EFH Neubau, 55/45°C, VAR008)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Neubau, 50/40°C)

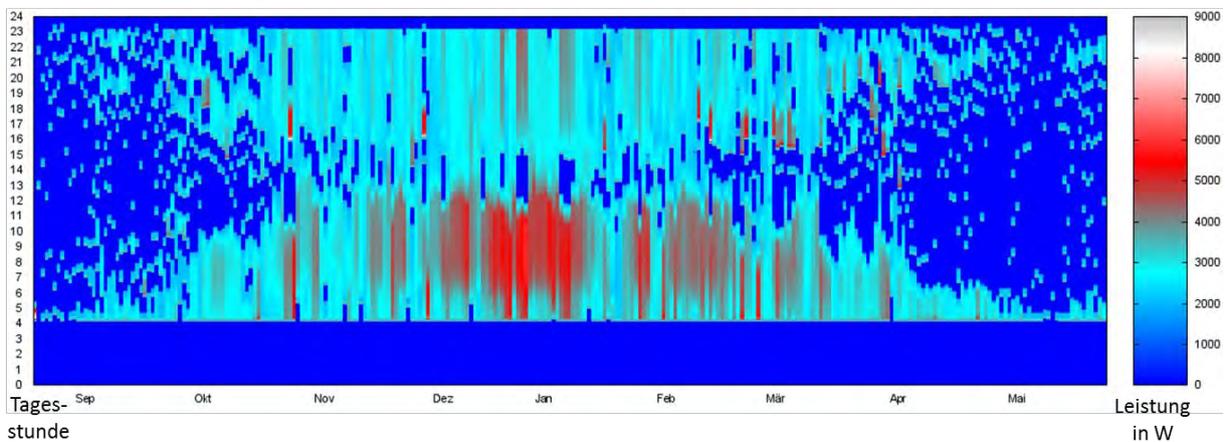


Abbildung 7.2-31: Leistung der Gaswärmepumpe im Neubaugebäude über die Heizperiode (EFH Neubau, 50/40°C, VAR009)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Neubau, 45/35°C)

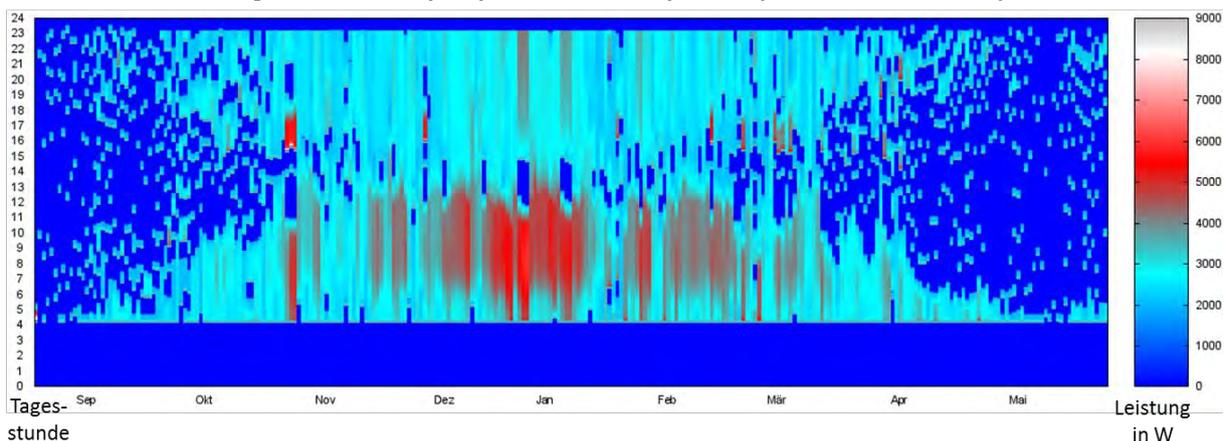


Abbildung 7.2-32: Leistung der Gaswärmepumpe im Neubaugebäude über die Heizperiode (EFH Neubau, 45/35°C, VAR0010)

Die Abbildung 7.2-33 und Abbildung 7.2-34 stellen die Heizleistung der Gaswärmepumpe während der Heizperiode in Verbindung mit Fußbodenheizung bei Systemauslegungstemperaturen von 37/30°C und 35/28°C dar.

Aus den Diagrammen können die gleichen Tendenzen des Verlaufs der Heizleistung über den Tag wie im zuvor betrachteten EFH Bestand 94 mit Fußbodenheizung abgelesen werden. Aufgrund des Absenkbetriebes und der daraus resultierenden Abkühlung des

Gebäudes über die Nacht in Verbindung mit der Trägheit des Systems wird während der Anheizphase (von 4:00 bis 6:00 Uhr) und zu Beginn der Nutzungszeit bei entsprechend niedrigen Außentemperaturen Wärme auf einem höheren Leistungsniveau ($\dot{Q} > 5 \text{ kW}$) bereitgestellt. Im weiteren Tagesverlauf ist auch in den Wintermonaten ein ausgeprägtes Taktverhalten der GWP zu beobachten. Die Gaswärmepumpe regelt ihre Leistung erst in den späten Abendstunden wieder.

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Neubau, 37/30°C)

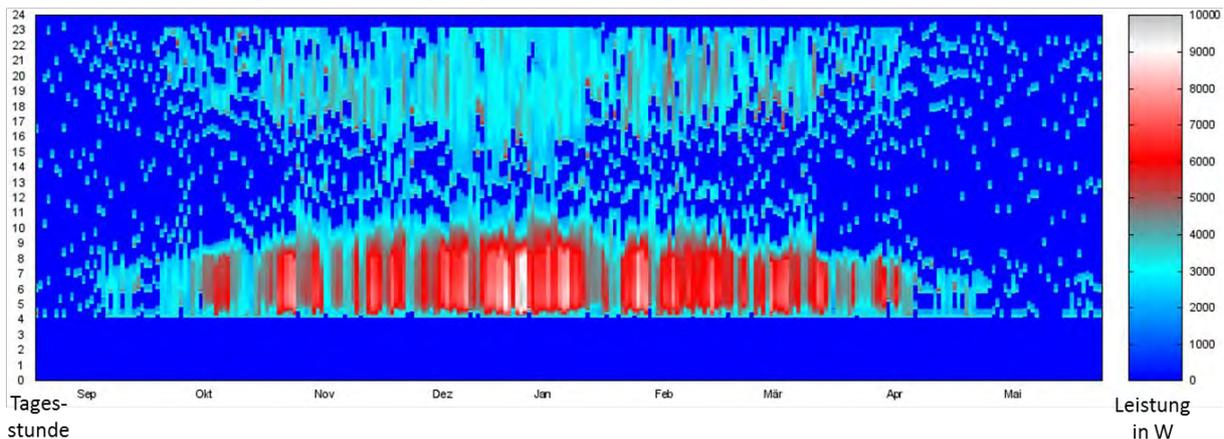


Abbildung 7.2-33: Leistung der Gaswärmepumpe im Neubaugebäude über die Heizperiode (EFH Neubau, 37/30°C, VAR011)

Heizleistung der Gaswärmepumpe über eine Heizperiode (EFH Neubau, 35/28°C)

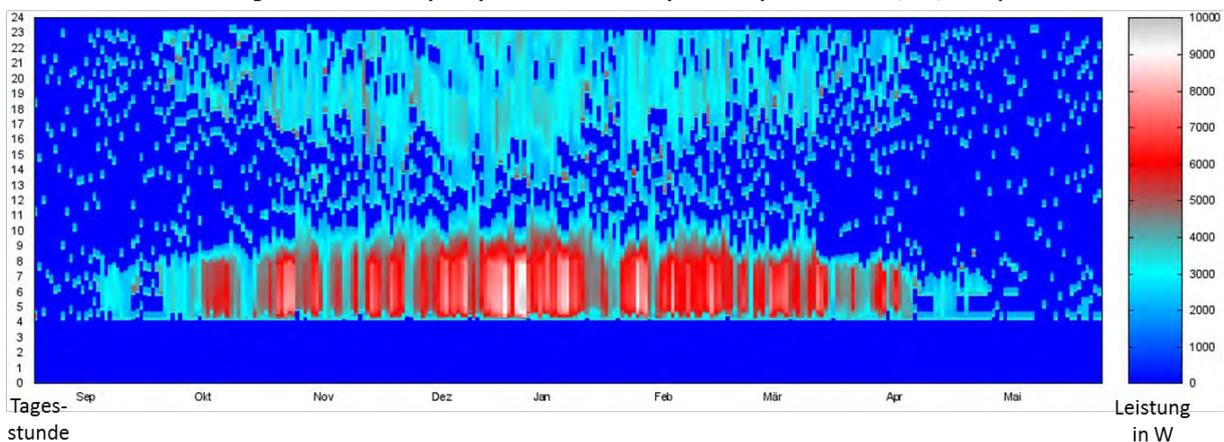


Abbildung 7.2-34: Leistung der Gaswärmepumpe im Neubaugebäude über die Heizperiode (EFH Neubau, 35/28°C, VAR012)

Raumtemperaturen

Analog der Vorgehensweise für EFH Bestand 94 wird im Folgenden die operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes jeweils für eine Variante mit freien Heizflächen (s. Abbildung 7.2-35) und eine mit Flächenheizung (s. Abbildung 7.2-36) dargestellt. Wie bei den zuvor betrachteten Varianten wird die Raum-Solltemperatur $\theta_{i,h,soll} = 20^\circ\text{C}$ in der Nutzungszeit (von 06:00 bis 23:00 Uhr) im betrachteten EFH Neubau kaum unterschritten. Stattdessen kommt es in beiden Fällen zu einer teilweisen Überschreitung der Solltemperatur. Diese fällt bei der Variante mit Flächenheizung aufgrund einer im Vergleich zu freien Heizflächen größeren Trägheit des Systems höher aus (s. Abbildung 7.2-37).

Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Neubau, 55/45°C)

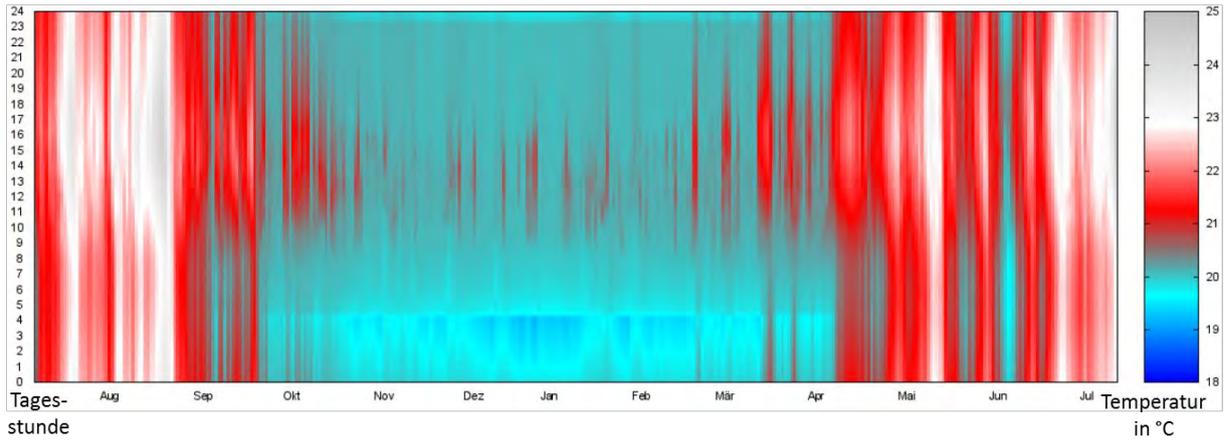


Abbildung 7.2-35: Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Neubau, 55/45°C, VAR008)

Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Neubau, 35/28°C)

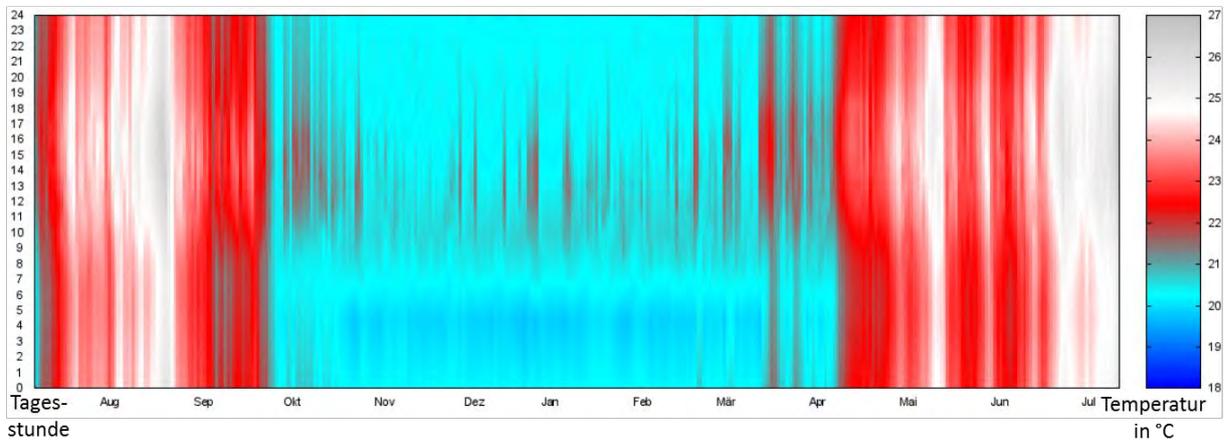


Abbildung 7.2-36: Operative Temperatur eines Aufenthaltsraumes (EFH Neubau, 35/28°C, VAR0012)

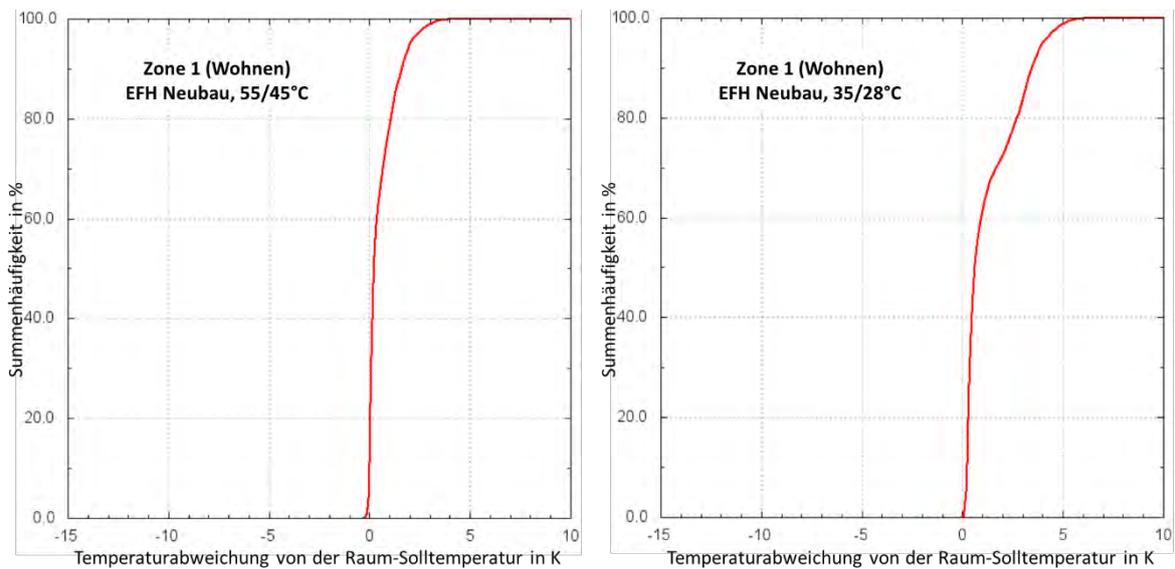


Abbildung 7.2-37: Summenhäufigkeit der Temperaturabweichung von der Raum-Solltemperatur in der Nutzungszeit (EFH Neubau)

Energiekennwerte

In Tabelle 7-5 werden die Energiekennwerte des betrachteten EFH Neubau sowie der nach Gleichung (7.2.1) berechnete Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe in Verbindung mit

freien Heizflächen ausgewiesen. Mit sinkenden Systemauslegungstemperaturen sinkt der Wärmeenergiebedarf und der Brennstoffbedarf im betrachteten EFH Neubau, was gleichzeitig zur Steigerung des Jahresnutzungsgrades führt.

Tabelle 7-5: Energiekennwerte und Jahresnutzungsgrad Raumheizung im EFH Neubau, freie Heizflächen

EFH Bestand 94	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
Freie Heizflächen				
VAR008	10.466	7.948	424	131,7%
VAR009	10.397	7.711	433	134,8%
VAR010	10.342	7.521	437	137,5%

Den im Vergleich zu den beiden zuvor betrachteten Bestandsgebäuden höheren Jahresnutzungsgrad Raumheizung begründet die in Abbildung 7.2-38, Abbildung 7.2-40 und Abbildung 7.2-42 dargestellte Verteilung der von der Gaswärmepumpe bereitgestellten Wärmeenergie auf die jeweilige Leistungsklasse der Gaswärmepumpe. Dabei wird erkenntlich, dass die angeforderte Wärmeenergie fast ausschließlich bei einem niedrigen Belastungsgrad der Gaswärmepumpe ($\beta_{real} < 0,5$) gedeckt wird. Damit ist der Anteil des reinen Wärmepumpenbetriebes an der gesamten Wärmebereitstellung durch die Gaswärmepumpe deutlich höher als bei den zuvor betrachteten Varianten im Bestandsgebäude.

Die Laufzeiten der Gaswärmepumpe in der jeweiligen Leistungsklasse spiegeln die Abbildung 7.2-39, Abbildung 7.2-41 und Abbildung 7.2-43 wieder. Mit sinkenden Systemauslegungstemperaturen steigt die Laufzeit der Gaswärmepumpe in der Leistungsklasse $2 kW < \dot{Q} \leq 3 kW$ und damit der Anteil der in dieser Leistungsklasse bereitgestellten Wärmeenergie durch die Gaswärmepumpe.

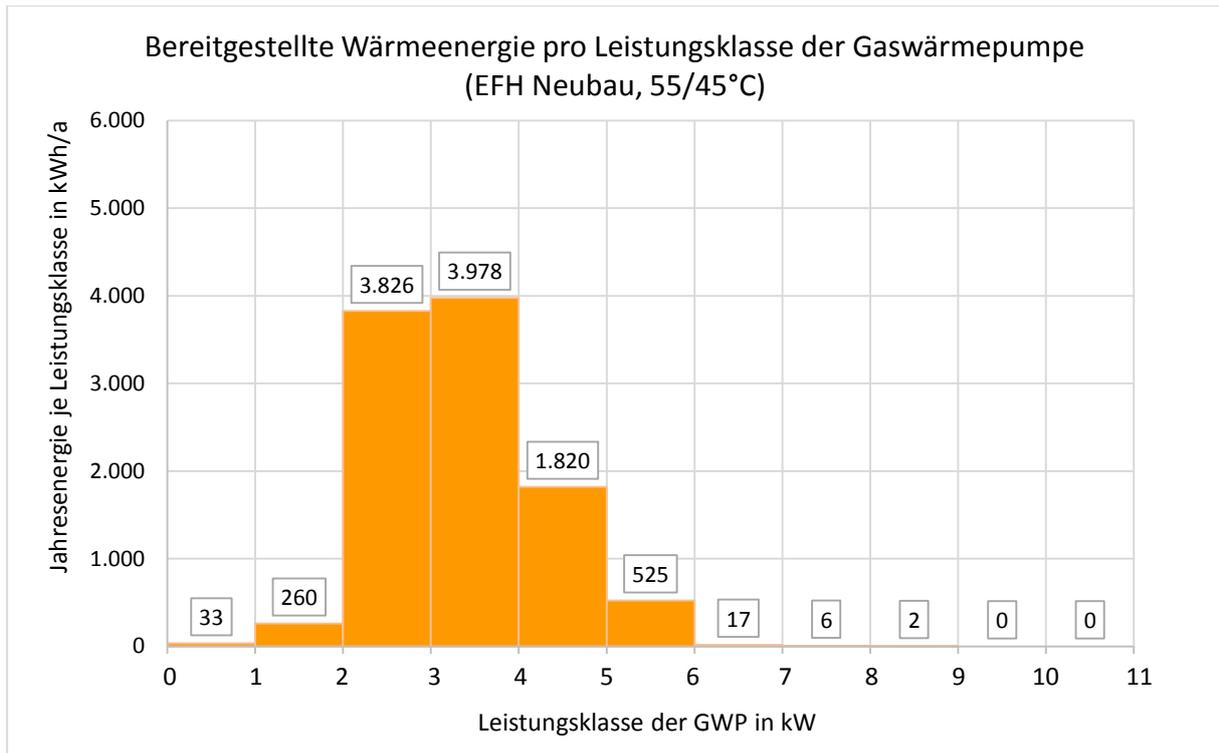


Abbildung 7.2-38: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 55/45°C, VAR008)

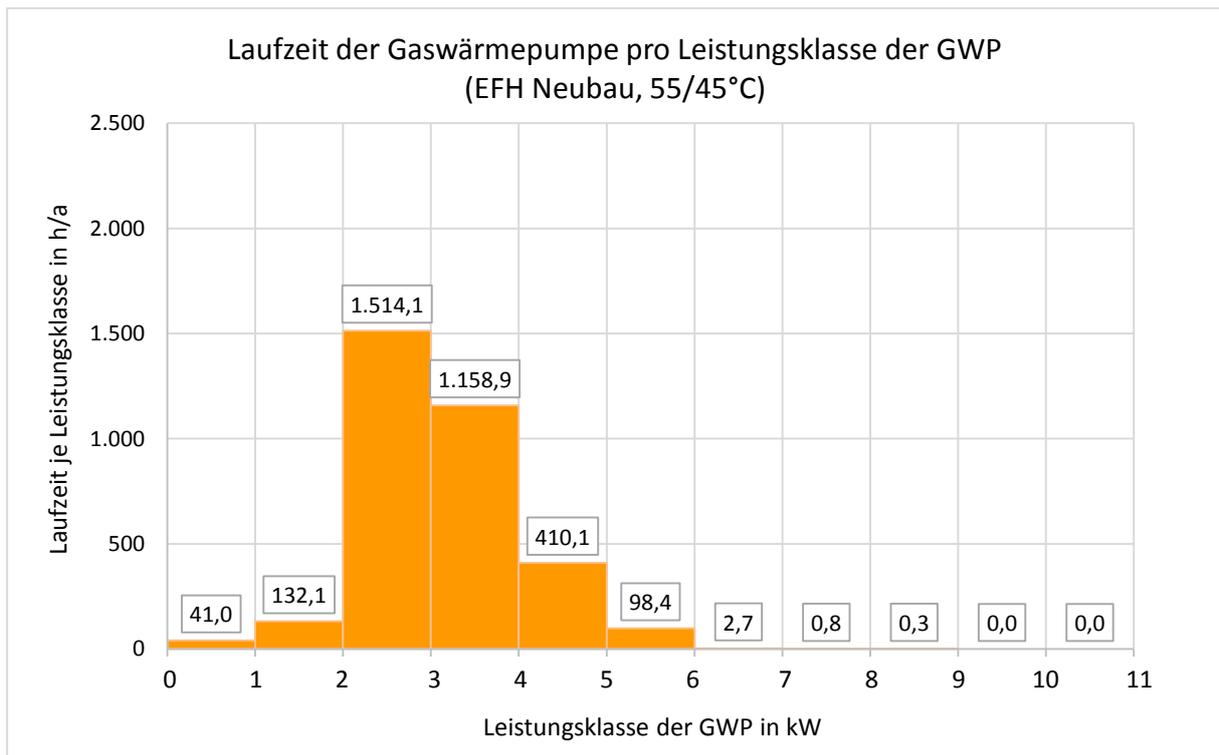


Abbildung 7.2-39: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 55/45°C, VAR008)

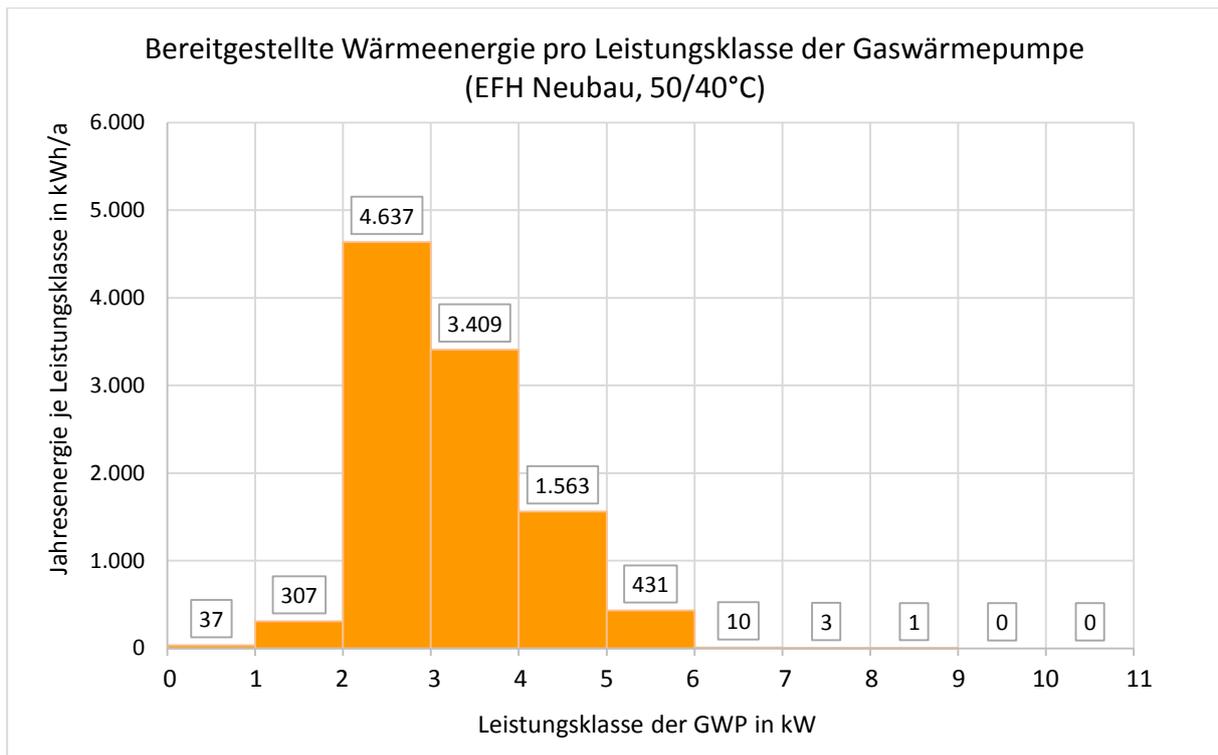


Abbildung 7.2-40: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 50/40°C, VAR009)

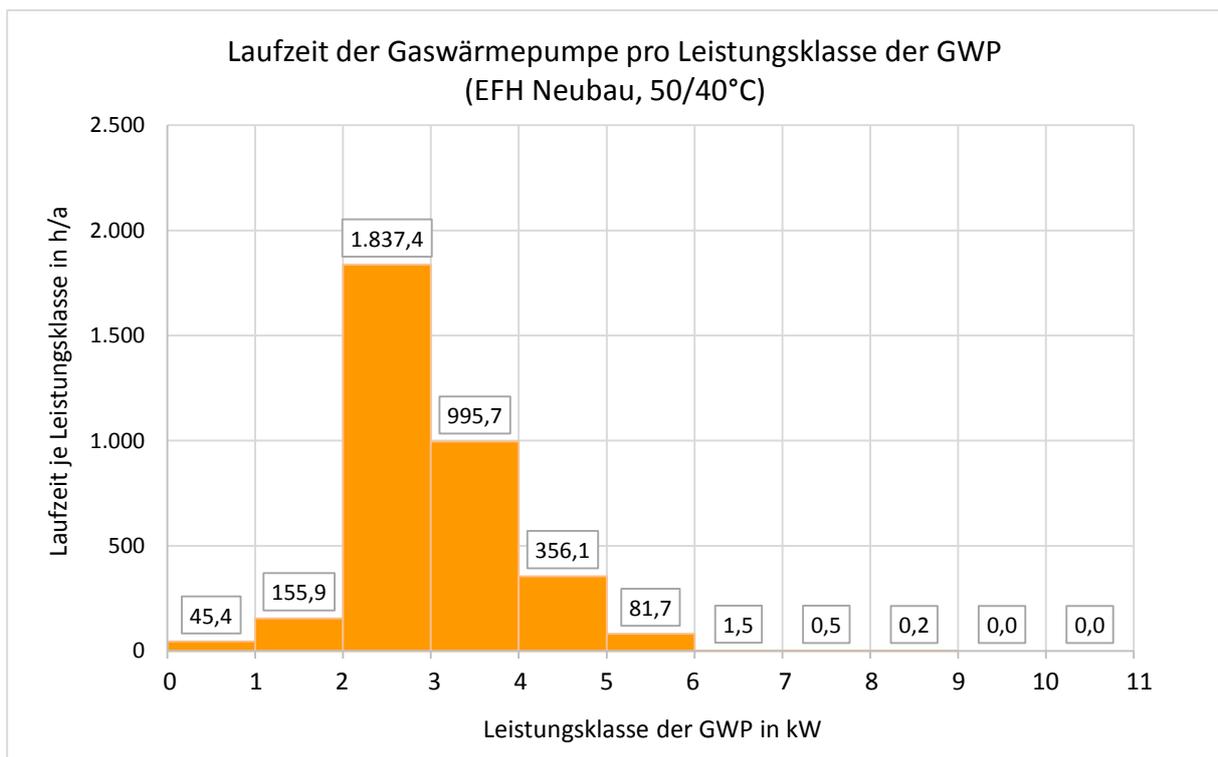


Abbildung 7.2-41: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 50/40°C, VAR009)

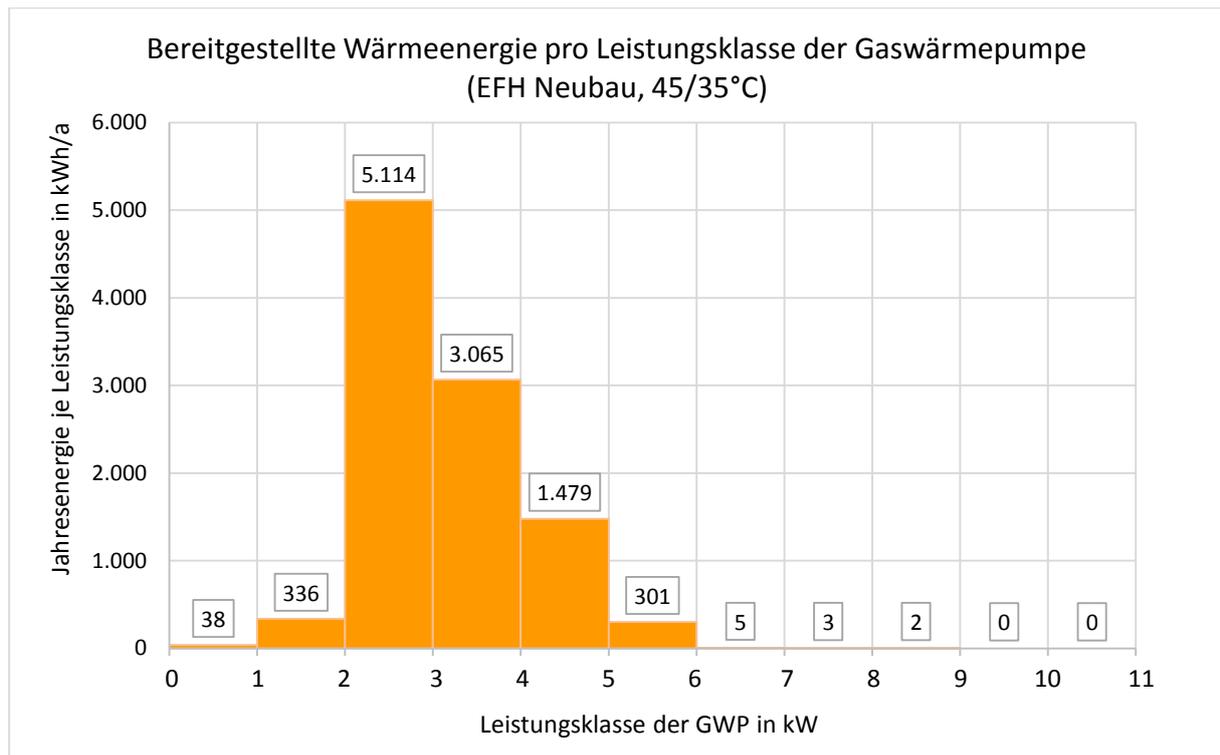


Abbildung 7.2-42: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 45/35°C, VAR010)

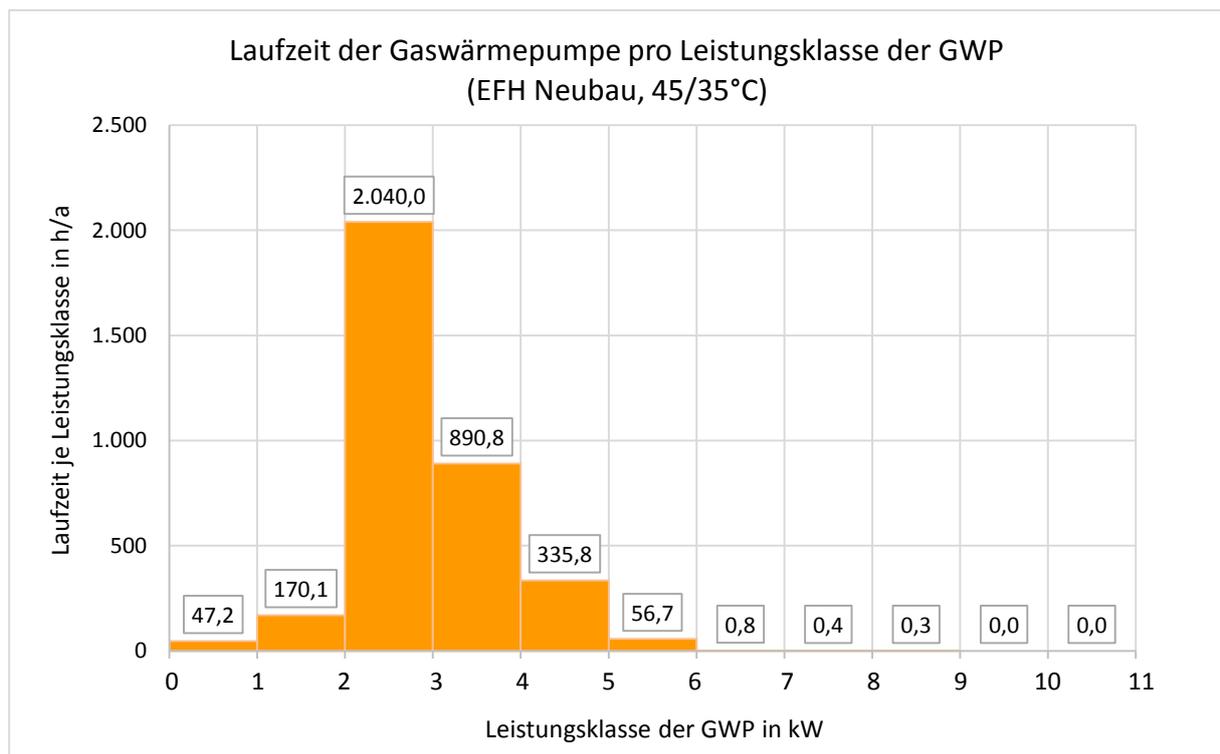


Abbildung 7.2-43: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 45/35°C, VAR010)

Tabelle 7-6 gibt die im Rahmen der durchgeführten Jahressimulationen ermittelten Energiekennwerte sowie die nach Gleichung (7.2.1) berechneten Jahresnutzungsgrade Raumheizung für das betrachtete EFH Neubau in Verbindung mit Flächenheizung wieder.

Tabelle 7-6: Energiekennwerte und Jahresnutzungsgrad Raumheizung im EFH Neubau, Flächenheizung

EFH Bestand 94	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
Flächenheizung				
VAR011	10.164	7.628	375	133,2%
VAR012	10.164	7.573	389	134,2%

Die Verteilung der von der Gaswärmepumpe bereitgestellten Wärmeenergie auf die jeweilige Leistungsklasse im EFH Neubau zeigt die gleichen Tendenzen wie im zuvor betrachteten EFH Bestand 94 mit Fußbodenheizung. Anders als bei den zuvor betrachteten Varianten mit freien Heizflächen wird ein Teil der angeforderten Wärmeenergie durch die Gaswärmepumpe bei einem höheren Belastungsgrad ($\beta_{real} \geq 0,5$), besonders in der Anheizphase und zu Beginn der Nutzungszeit, gedeckt (s. Abbildung 7.2-44, Abbildung 7.2-46). Dies ist auf die Abkühlung des Gebäudes über die Nacht und die Trägheit des Flächenheizungssystems zurückzuführen.

Dementsprechend ist die Laufzeit der Gaswärmepumpe in den höheren Leistungsklassen ($\dot{Q} > 5 kW$) länger als bei den Varianten mit freien Heizflächen (s. Abbildung 7.2-45, Abbildung 7.2-47).

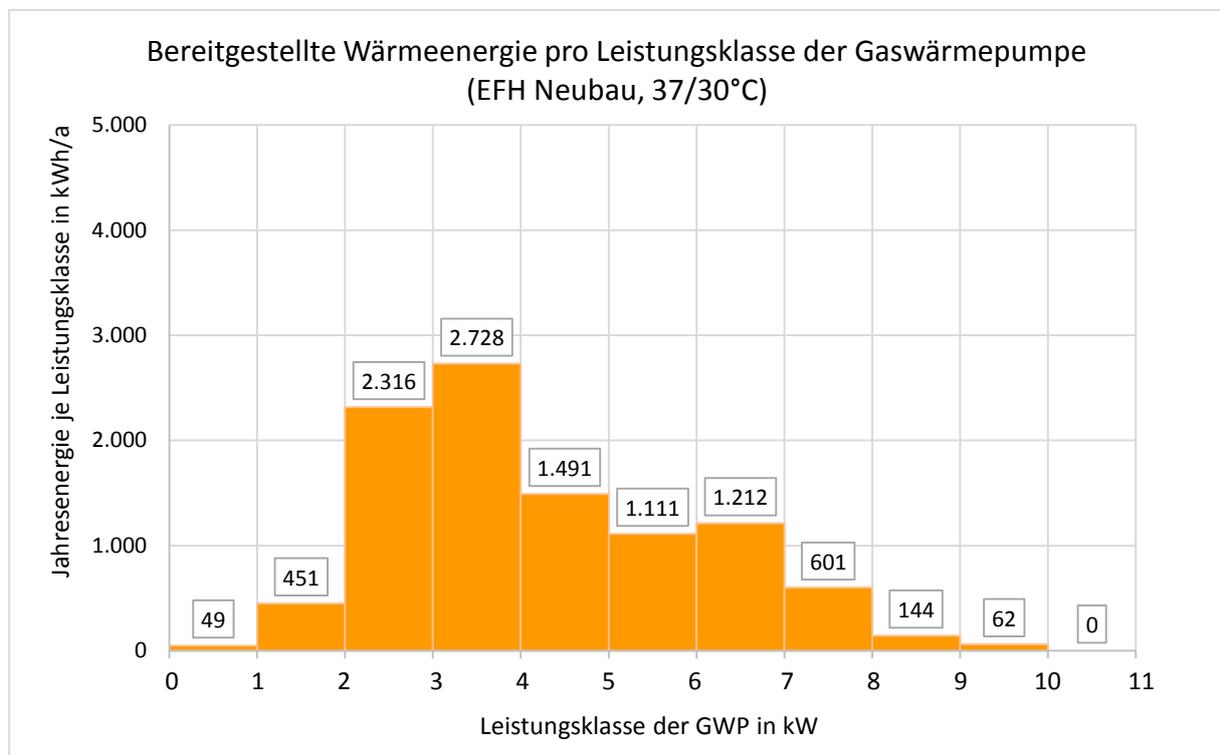


Abbildung 7.2-44: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 37/30°C, VAR011)

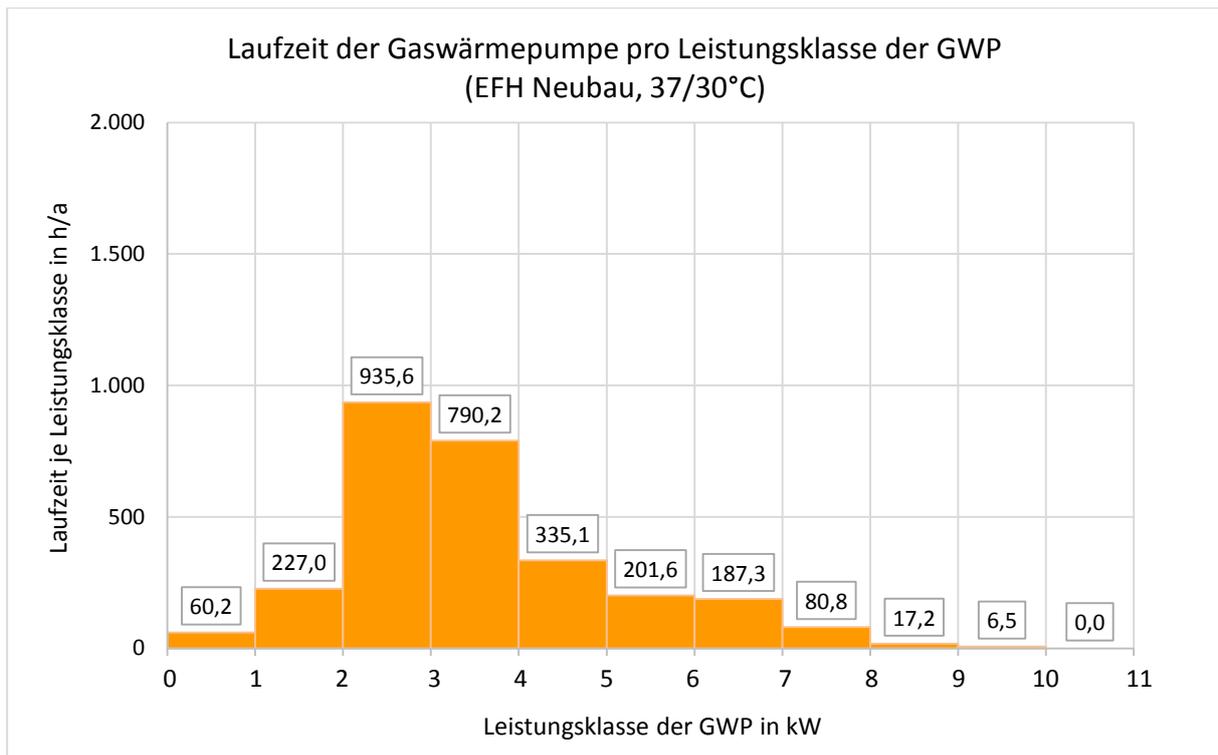


Abbildung 7.2-45: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 37/30°C, VAR011)

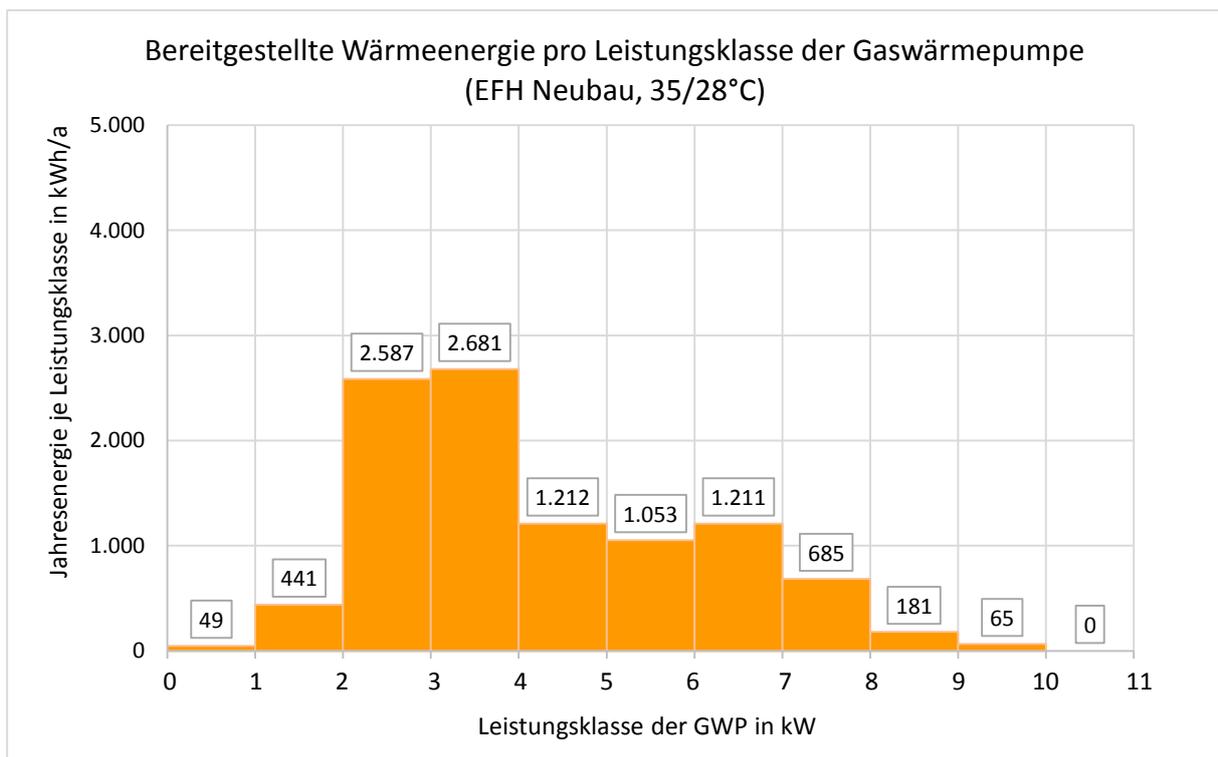


Abbildung 7.2-46: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 35/28°C, VAR012)

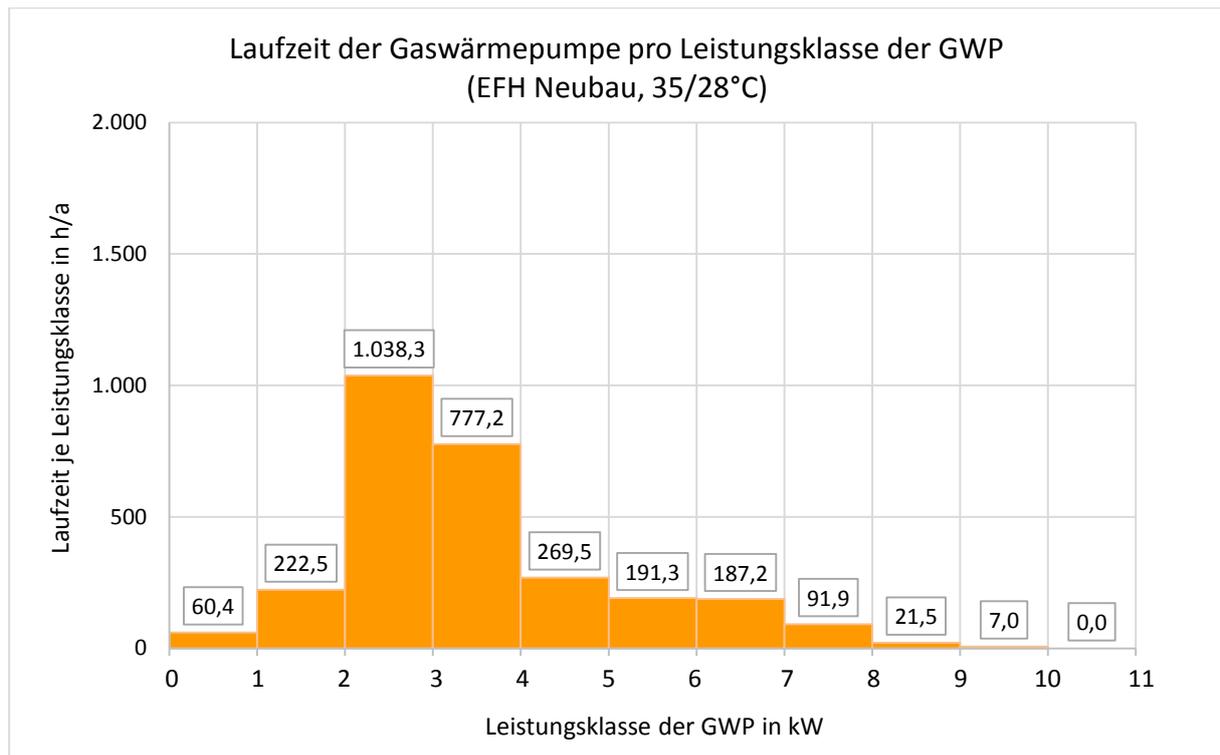


Abbildung 7.2-47: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Neubau (EFH Neubau, 35/28°C, VAR012)

7.3 Parametervariationen

7.3.1 Einführende Bemerkungen

Im Folgenden wird der Einfluss des Wärmeschutzes, der Systemtemperaturen, des Betriebsregimes, der Klimadaten und der Raum-Solltemperaturen auf den Jahresnutzungsgrad Raumheizung einer Adsorptions-Gaswärmepumpe aus den durchgeführten Simulationsrechnungen abgeleitet.

7.3.2 Einfluss des Wärmeschutzes

Der Einfluss des Wärmeschutzes auf den Jahresnutzungsgrad Raumheizung der Gaswärmepumpe ist aus den zuvor betrachteten Varianten erkenntlich, wird im Folgenden am Beispiel zwei Systemauslegungstemperaturen, die bei allen drei Wärmeschutzniveaus betrachtet werden, resümiert.

Mit steigendem Wärmeschutzniveau sinkt der Wärmeenergiebedarf des Gebäudes und gleichzeitig erhöht sich der Jahresnutzungsgrad Raumheizung (s. Abbildung 7.3-1, Abbildung 7.3-2). Letzteres resultiert daraus, dass der Anteil der in einem für die Gaswärmepumpe effizienteren Lastpunkt bereitgestellten Wärmeenergie mit sinkender Gebäudeheizlast ansteigt. Je höher der Anteil des reinen Wärmepumpenbetriebes an der gesamten Wärmebereitstellung ist, desto höheren Jahresnutzungsgrad erreicht die Anlage. Arbeitet die Adsorptions-Gaswärmepumpe überwiegend im Mischbetrieb oder im Direktheizbetrieb, sind niedrigere Jahresnutzungsgrade zu erwarten.

Daher wird beim Einsatz einer GWP mit derselben Nennwärmeleistung in einem Gebäude mit niedrigerer Heizlast ein höherer Jahresnutzungsgrad ermittelt als in einem Gebäude mit einer höheren Gebäudeheizlast.

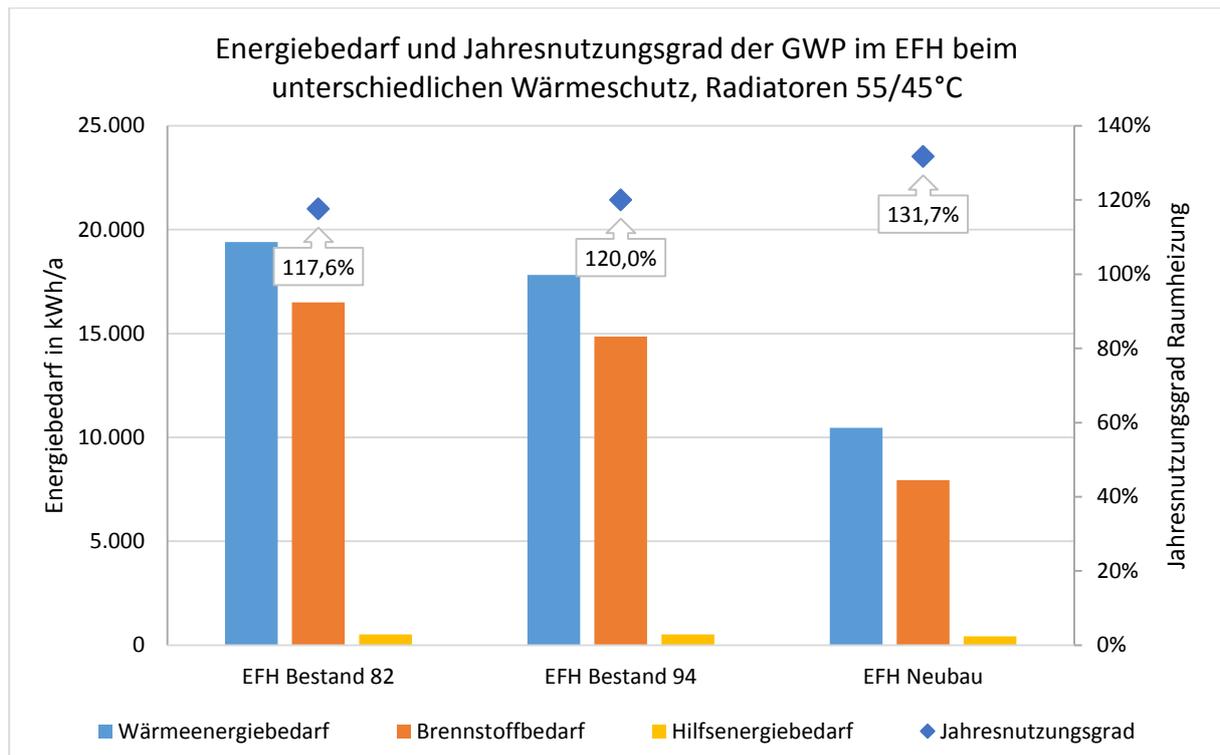


Abbildung 7.3-1: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe beim unterschiedlichen Wärmeschutz, freie Heizflächen, 55/45°C

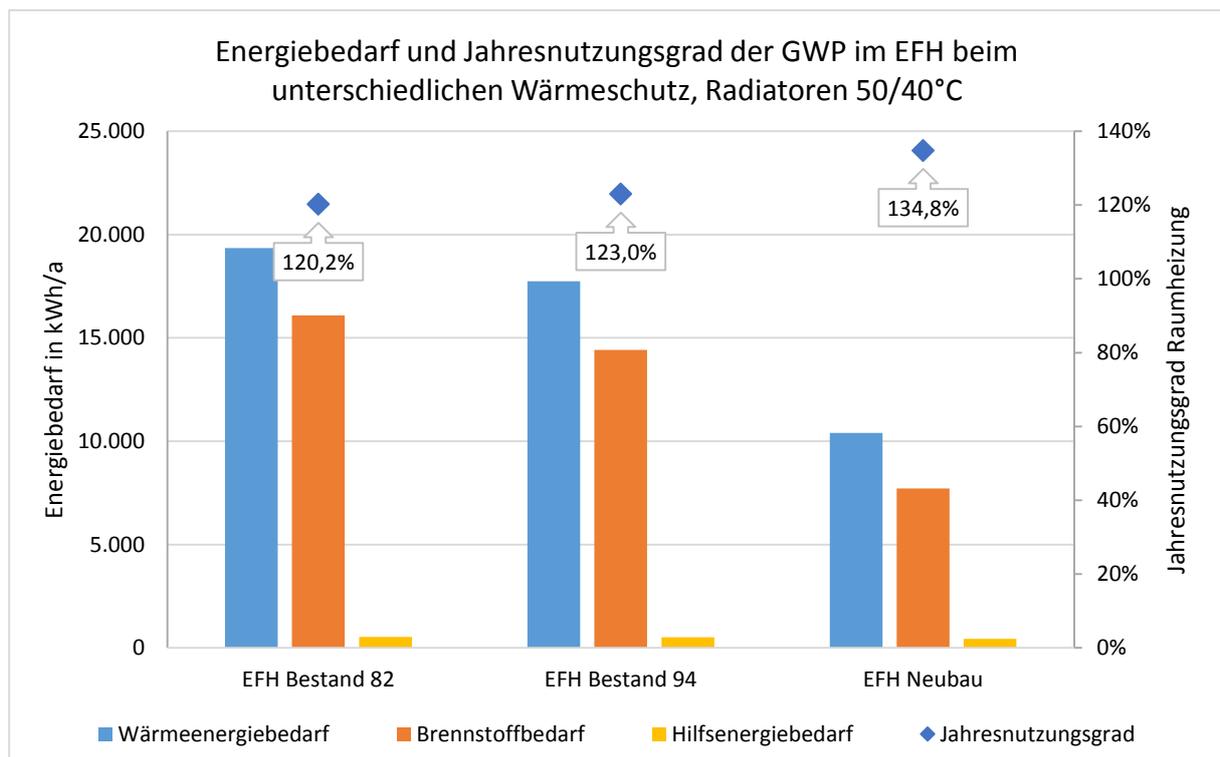


Abbildung 7.3-2: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe beim unterschiedlichen Wärmeschutz, freie Heizflächen, 50/40°C

Vergleicht man die in Abbildung 7.3-3 dargestellte Verteilung der von der Gaswärmepumpe bereitgestellten Wärmeenergie auf die Leistungsklassen für die drei betrachteten Wärmeschutzniveaus, wird deutlich, dass die im EFH Neubau angeforderte Wärmeenergie fast ausschließlich bei einem niedrigen Belastungsgrad der Gaswärmepumpe ($\beta_{\text{real}} < 0,5$) gedeckt wird. In den beiden Bestandsgebäuden ist dagegen der Anteil des Misch- und

Direktheizbetriebes an der gesamten Wärmebereitstellung durch die Gaswärmepumpe deutlich höher. Das führt zur Senkung des Jahresnutzungsgrades im EFH Bestand gegenüber EFH Neubau.

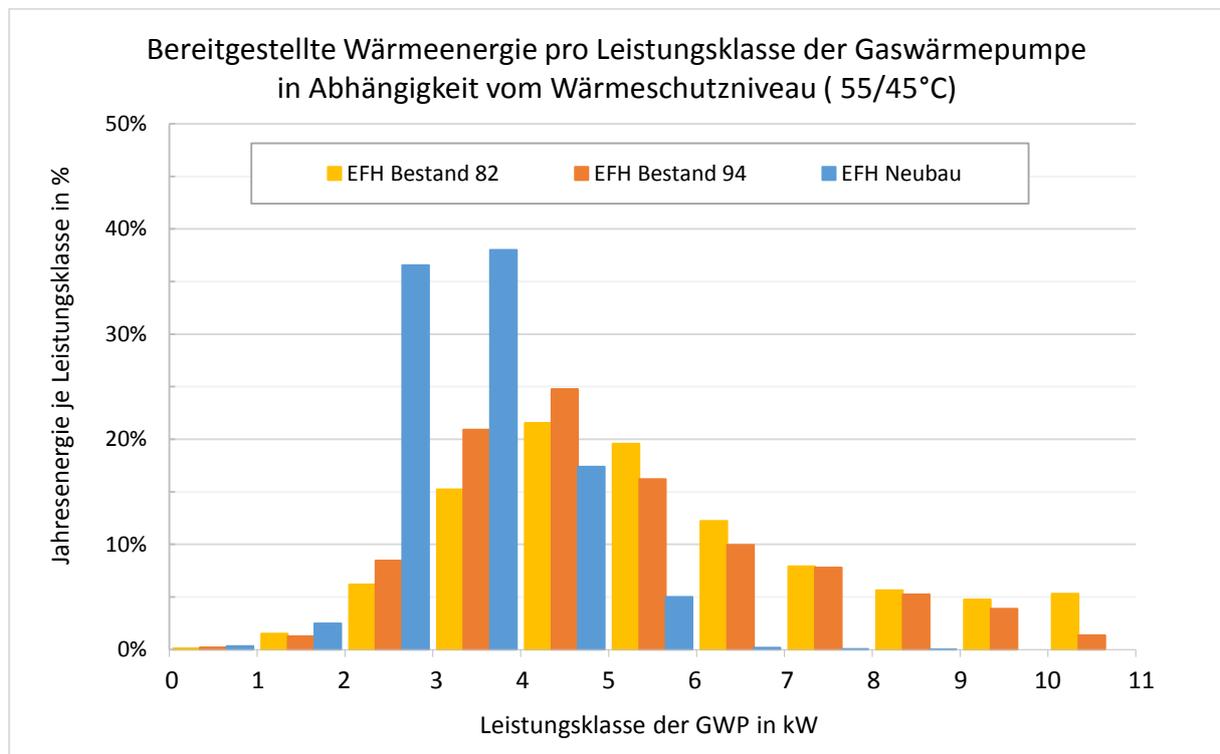


Abbildung 7.3-3: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH beim unterschiedlichen Wärmeschutz, freie Heizflächen, 55/45°C

7.3.3 Einfluss der Systemtemperaturen

Der Jahresnutzungsgrad Raumheizung der Gaswärmepumpe und damit der Brennstoffbedarf wird außerdem stark von den Systemauslegungstemperaturen beeinflusst. So werden bei niedrigeren Systemauslegungstemperaturen höhere Jahresnutzungsgrade ermittelt als bei einem System mit höheren Systemauslegungstemperaturen und sonst identischen Randbedingungen. Dies wird in Abbildung 7.3-4 am Beispiel des EFH Neubau in Verbindung mit freien Heizflächen dargestellt. Durch das Absenken der Auslegungstemperaturen kann der Brennstoffbedarf ohne spürbare Beeinflussung des Komforts für den Nutzer reduziert werden.

Der mit sinkenden Auslegungstemperaturen steigende Jahresnutzungsgrad ist darauf zurückzuführen, dass die Gaswärmepumpe bei niedrigen Systemtemperaturen länger in einem für die Wärmepumpe effizienteren Lastpunkt arbeitet. Der Anteil der Wärmeenergie, die im reinen Wärmepumpenbetrieb bereitgestellt wird, ist damit höher als bei höheren Systemtemperaturen (s. Abbildung 7.3-5).

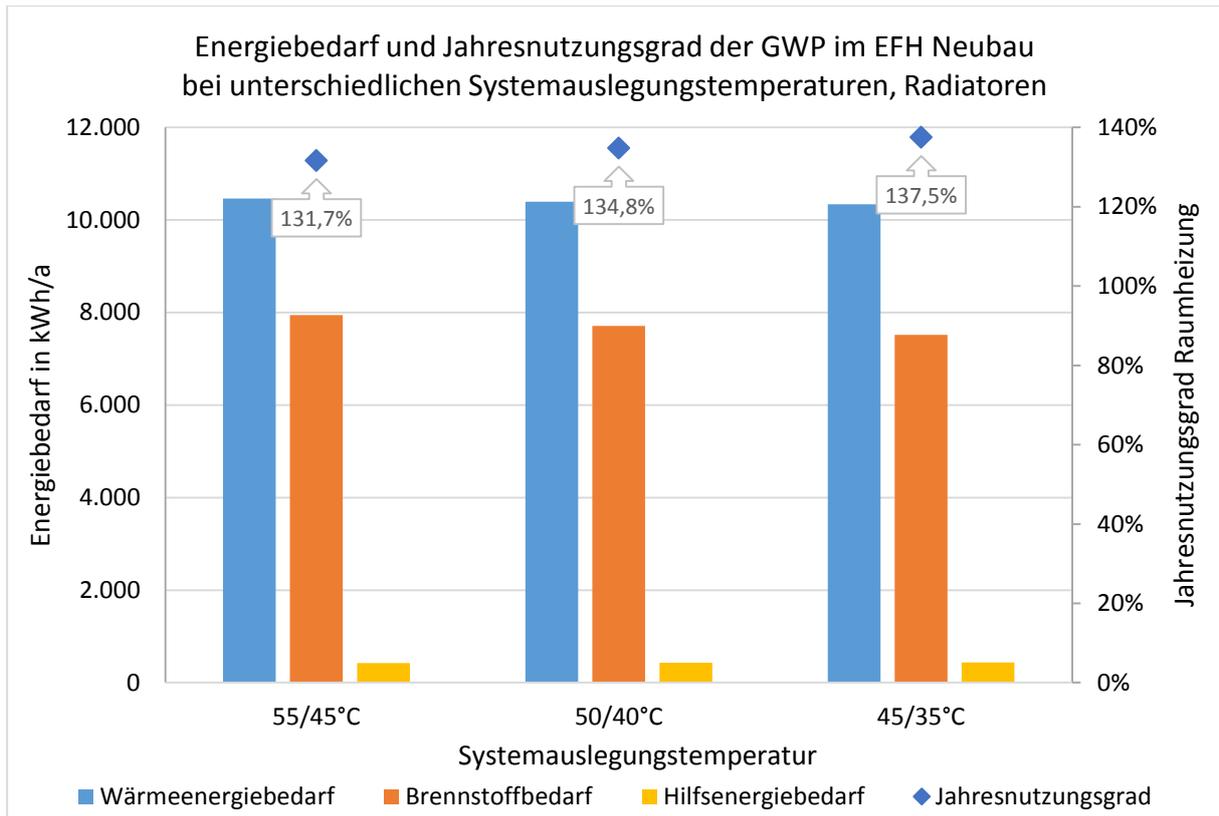


Abbildung 7.3-4: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH Neubau bei unterschiedlichen Systemauslegungstemperaturen, freie Heizflächen

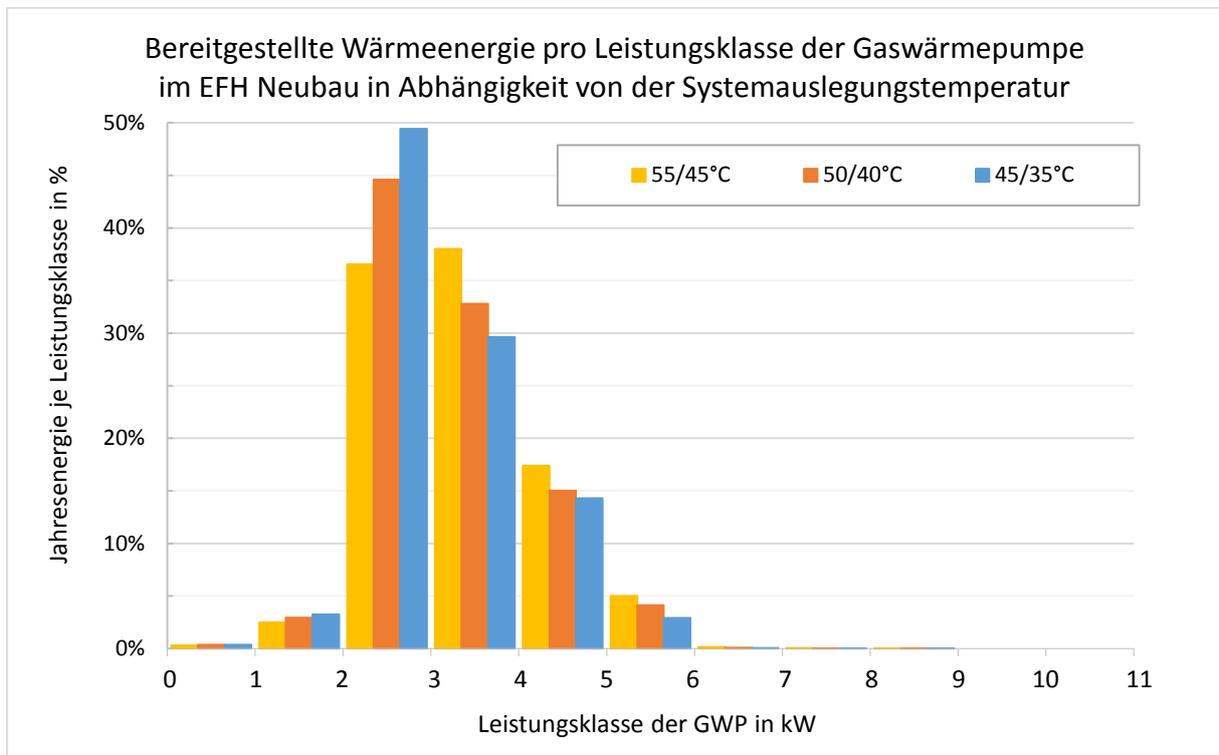


Abbildung 7.3-5: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau bei unterschiedlichen Systemauslegungstemperaturen, freie Heizflächen

7.3.4 Einfluss des Betriebsregimes

Die Analyse des Einflusses des Betriebsregimes (intermittierender und durchgängiger Betrieb) auf die energetischen Kennwerte in betrachteten Gebäuden lässt folgende Schlussfolgerungen ziehen.

Die Wahl des Betriebsregimes stellt grundlegend eine Optimierungsmöglichkeit der Anlage dar. Unter Berücksichtigung der Spezifika der Gaswärmepumpen ist es daher sinnvoll, die Betriebsweise so zu optimieren, dass die Wärmebereitstellung durch die Gaswärmepumpe überwiegend in einem für den Wärmeerzeuger optimalen Lastpunkt erfolgt. Daher wird im Folgenden untersucht, ob der Verzicht auf den intermittierenden Betrieb und damit verbundene Anheizphasen überwiegend beim Nennlastbetrieb die Erhöhung der energetischen Effizienz der Anlage bewirken kann.

Die Abbildung 7.3-9 veranschaulicht den Verlauf der Heizleistung über die Heizperiode im EFH Neubau mit niedertemperierten Heizflächen (Fußbodenheizung mit $\theta_{VA} = 35^\circ\text{C}$, $\theta_{RA} = 28^\circ\text{C}$) und einem durchgängigen Betrieb. Es wird, im Gegensatz zur Standardvariante, keine Nachtabsenkung der Raum-Solltemperatur unterstellt. Im Gegensatz zum zuvor betrachteten intermittierenden Betrieb (s. Abbildung 7.2-34) wird die angeforderte Wärme fast ausschließlich mit einer niedrigen Leistung ($2 \text{ kW} < \dot{Q} \leq 4 \text{ kW}$) von der Gaswärmepumpe bereitgestellt.

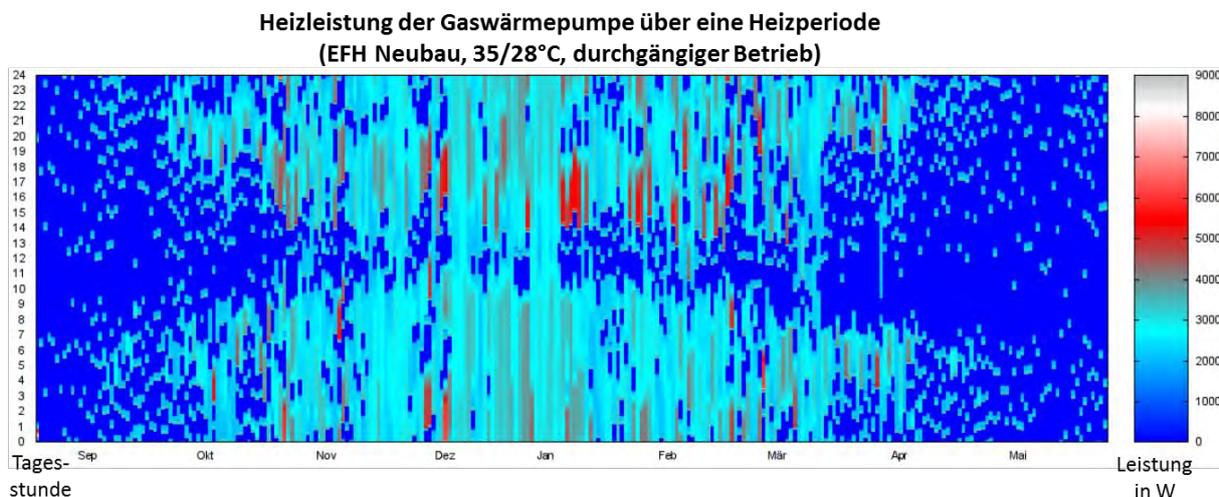


Abbildung 7.3-6: Leistung der Gaswärmepumpe im Neubaugebäude über die Heizperiode (EFH Neubau, 35/28°C, durchgängiger Betrieb, VAR018)

In Abbildung 7.3-7 und Abbildung 7.3-8 wird die bereitgestellte Wärmeenergie und die Laufzeit der GWP pro Leistungsklasse im betrachteten EFH Neubau beim intermittierenden und durchgängigen Betrieb gegenübergestellt. Der durchgängige Betrieb der Anlage bewirkt gegenüber dem intermittierenden Betrieb eine deutliche Verlängerung der Laufzeit der GWP in der Leistungsklasse $2 \text{ kW} < \dot{Q} \leq 4 \text{ kW}$. Der Anteil der Wärmeenergie, die in dieser Leistungsklasse bereitgestellt wird, steigt dabei von rund 50 % auf ca. 85 %.

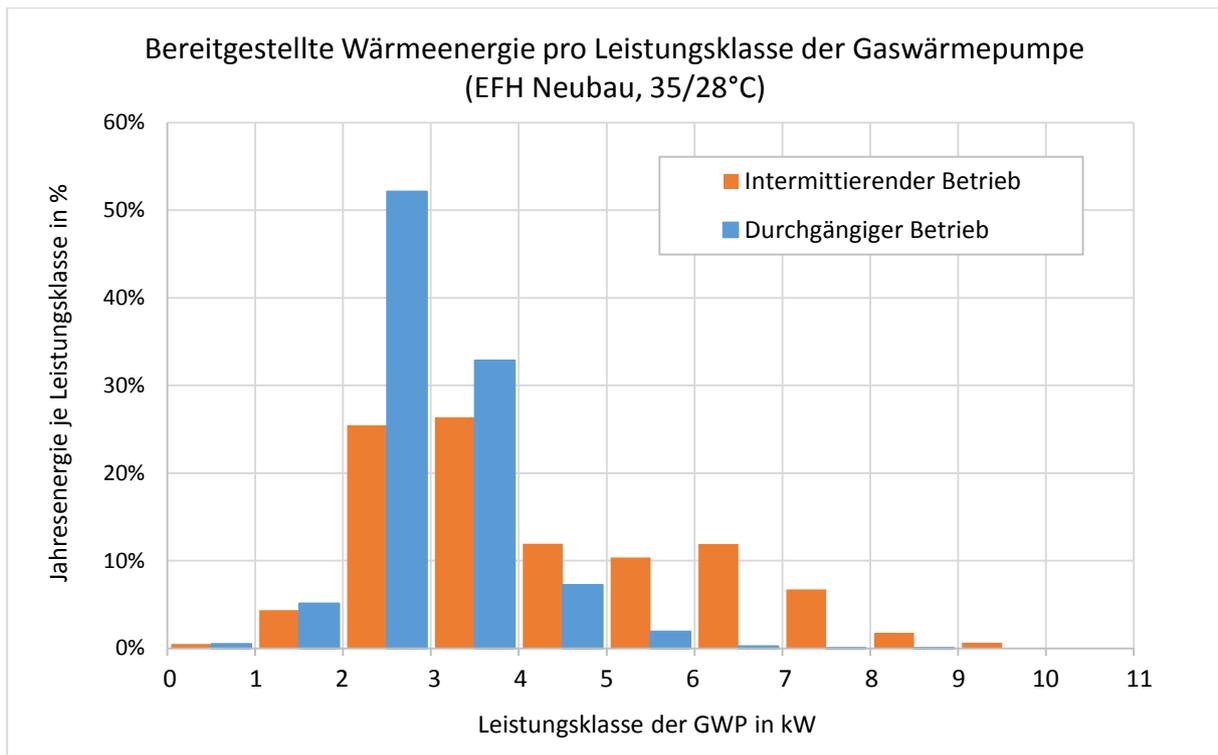


Abbildung 7.3-7: Bereitgestellte Wärmeenergie pro Leistungsklasse im EFH Neubau beim intermittierenden und durchgängigen Betrieb, integrierte Heizflächen

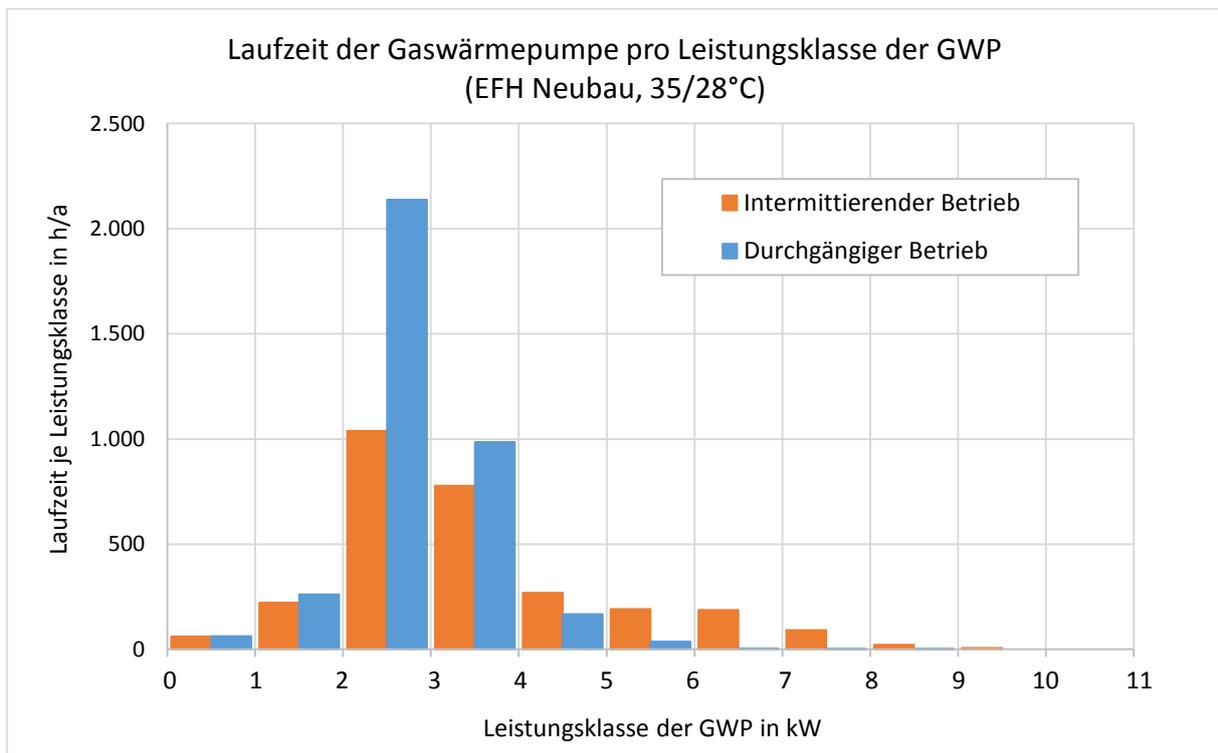


Abbildung 7.3-8: Laufzeit der Gaswärmepumpe pro Leistungsklasse im EFH Neubau beim intermittierenden und durchgängigen Betrieb, integrierte Heizflächen

Grundsätzlich führt der durchgängige Betrieb zur Verlängerung der Phasen, in denen die Wärmebereitstellung in einem für die Gaswärmepumpe effizienteren Lastpunkt erfolgt. Demgegenüber steht jedoch ein durch den durchgängigen Betrieb erhöhter Wärmeenergiebedarf. Es ist daher zu untersuchen, ob der energetische Mehraufwand für die

durchgehende Betriebsweise durch die höhere Energieeffizienz bei niedrigen Belastungsgraden der GWP ausgeglichen werden kann.

Wird bei den Varianten mit integrierten Heizflächen, z.B. Fußbodenheizung, ein durchgängiger Betrieb unterstellt, steigt der Wärmeenergiebedarf zwar geringfügig an, der Brennstoffbedarf geht aber aufgrund des höheren Jahresnutzungsgrades der Gaswärmepumpe zurück (s. Abbildung 7.3-9, Tabelle 7-7). Dies ist auf die aus dem durchgängigen Betrieb resultierende Verlängerung der Phasen, in denen die Gaswärmepumpe im reinen Wärmepumpenbetrieb bei einem niedrigen Belastungsgrad arbeitet, und z.T. auf die Trägheit des Systems zurückzuführen. Wird auf den intermittierenden Betrieb verzichtet, entfällt die tägliche Anheizphase, die überwiegend im Direktheizbetrieb erfolgt, wodurch der Wärmepumpeneffekt in der Anheizphase über die Heizperiode minimal ist.

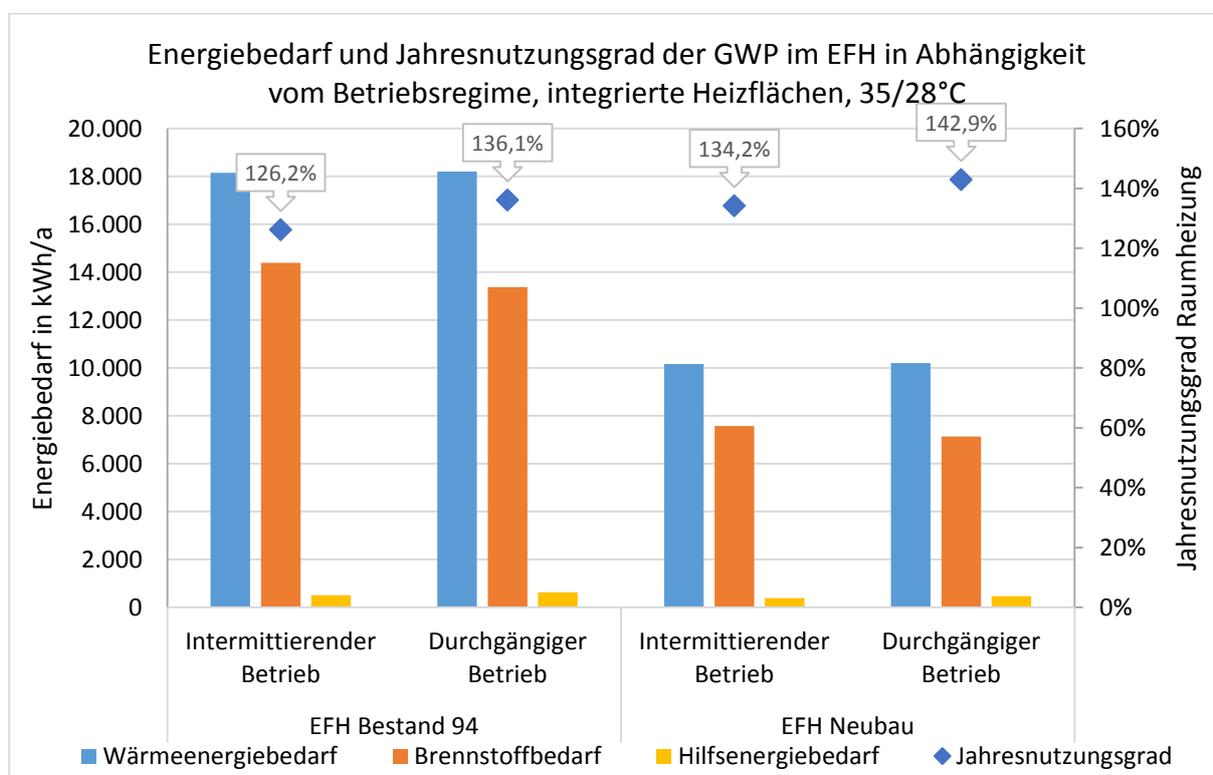


Abbildung 7.3-9: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH in Abhängigkeit vom Betriebsregime, integrierte Heizflächen

Wird eine Adsorptions-Gaswärmepumpe mit einem der simulierten Gaswärmepumpe ähnlichen Kennfeld in Verbindung mit integrierten Heizflächen betrieben, ist ein durchgängiger Betrieb aus energetischen Sicht zu empfehlen. Dieser bewirkt eine Erhöhung der Effizienz des Gesamtsystems.

Tabelle 7-7: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH in Abhängigkeit vom Betriebsregime, integrierte Heizflächen, 35/28°C

	Betriebsregime	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
EFH Bestand 94	Intermittierender Betrieb	18.159	14.390	506	126,2%
	Durchgängiger Betrieb	18.213	13.379	637	136,1%
EFH Neubau	Intermittierender Betrieb	10.164	7.573	389	134,2%
	Durchgängiger Betrieb	10.204	7.139	467	142,9%

Analoge Tendenzen können den energetischen Daten für die Varianten mit freien Heizflächen, die detailliert in Tabelle 7-8 und schematisch für das EFH Neubau in Abbildung 7.3-10 dargestellt werden, entnommen werden. Für die betrachteten Varianten führt der durchgängige Betrieb zur Erhöhung der Gesamteffizienz gegenüber dem intermittierenden Betrieb.

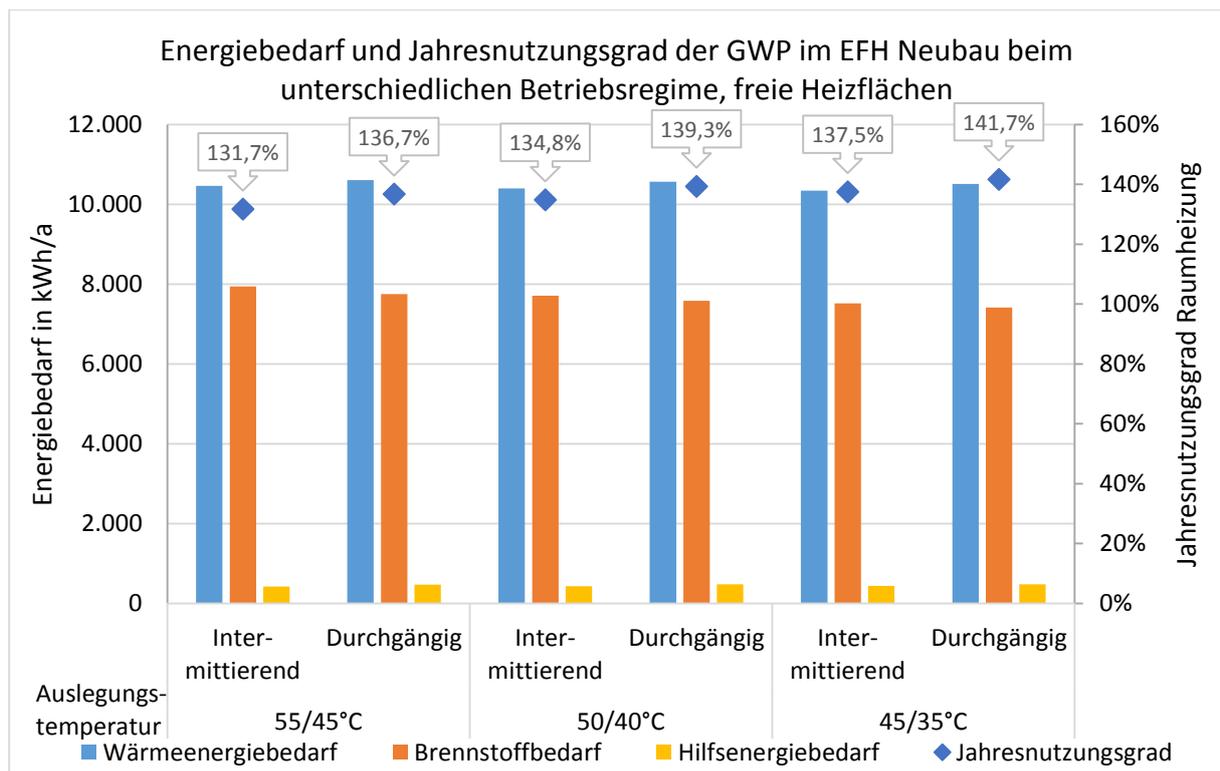


Abbildung 7.3-10: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH Neubau in Abhängigkeit vom Betriebsregime, freie Heizflächen

Tabelle 7-8: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH in Abhängigkeit vom Betriebsregime, freie Heizflächen

	Betriebsregime	Wärmeenergie- bedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoff- bedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergie- bedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungs- grad η_{GWP} in %
EFH Bestand 82					
55/45°C	Intermittierender Betrieb	19.410	16.507	518	117,6%
	Durchgängiger Betrieb	19.789	15.985	614	123,8%
50/40°C	Intermittierender Betrieb	19.340	16.084	525	120,2%
	Durchgängiger Betrieb	19.736	15.620	618	126,4%
EFH Bestand 94					
55/45°C	Intermittierender Betrieb	17.822	14.850	514	120,0%
	Durchgängiger Betrieb	18.110	14.377	597	126,0%
50/40°C	Intermittierender Betrieb	17.740	14.421	523	123,0%
	Durchgängiger Betrieb	18.061	14.061	602	128,5%
45/35°C	Intermittierender Betrieb	17.681	14.071	527	125,7%
	Durchgängiger Betrieb	18.026	13.784	604	130,8%
EFH Neubau					
55/45°C	Intermittierender Betrieb	10.466	7.948	424	131,7%
	Durchgängiger Betrieb	10.604	7.755	474	136,7%
50/40°C	Intermittierender Betrieb	10.397	7.711	433	134,8%
	Durchgängiger Betrieb	10.565	7.582	480	139,3%
45/35°C	Intermittierender Betrieb	10.342	7.521	437	137,5%
	Durchgängiger Betrieb	10.510	7.418	483	141,7%

7.3.5 Einfluss der Klimadaten

Der Einfluss des Standortes und damit des Klima auf den Jahresnutzungsgrad Raumheizung der Gaswärmepumpe ist deutlich geringer als bei den zuvor betrachteten Einflussfaktoren.

Zusätzlich zum in der Standardvariante zugrunde gelegten Referenzort Potsdam (TRY04) werden im Folgenden zwei Standorte betrachtet, die sich durch ein abweichendes Klima charakterisieren. So wird in Passau mit einer über das Jahr gemittelten Außentemperatur von $\theta_{e,m} = 8,6^\circ\text{C}$ ein geringfügig niedriger Jahresnutzungsgrad als beim Standort Potsdam ($\theta_{e,m} = 9,5^\circ\text{C}$) ermittelt. Die höheren Temperaturen in den Wintermonaten am Standort

Bremerhaven ($\theta_{e,m} = 10,1^\circ\text{C}$) führen zur geringfügigen Erhöhung des Jahresnutzungsgrades gegenüber dem Referenzstrandort nach EnEV 2014 (s. Abbildung 7.3-11, Tabelle 7-9).

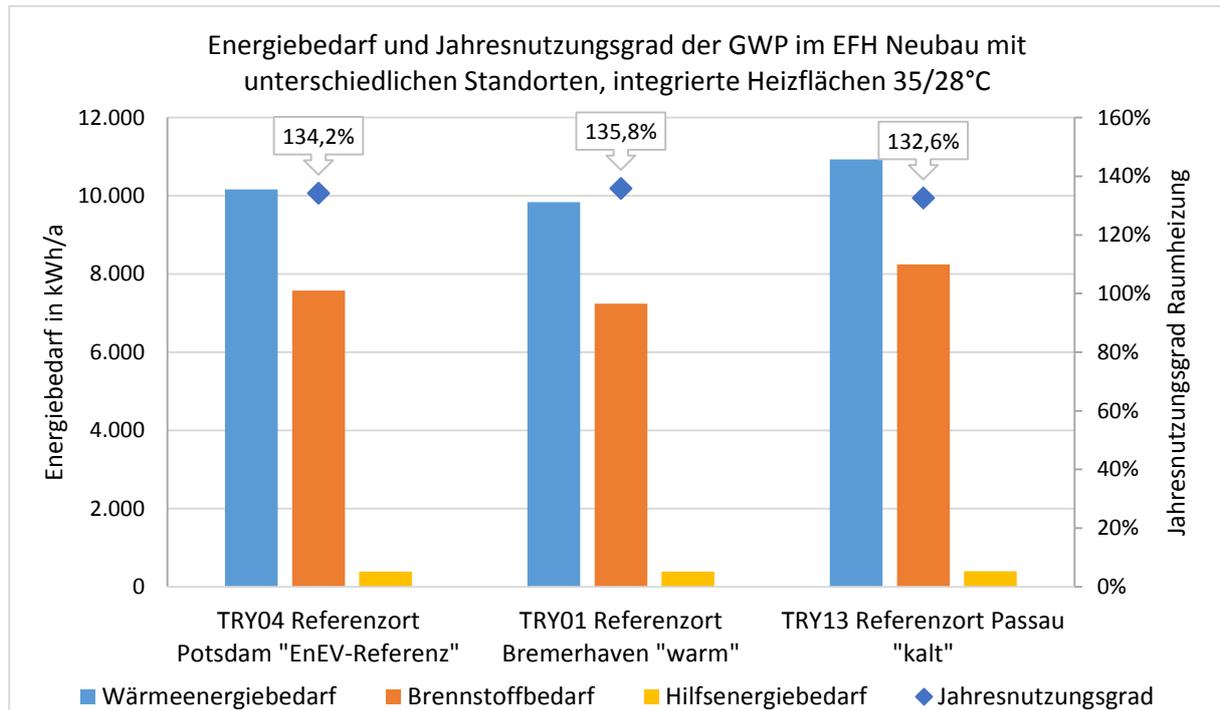


Abbildung 7.3-11: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH Neubau in Abhängigkeit von Klimadaten, integrierte Heizflächen, 35/28°C

Tabelle 7-9: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH Neubau in Abhängigkeit von Klimadaten, integrierte Heizflächen, 35/28°C

Klimadaten	Wärmeenergiebedarf Q_{HK} in kWh/a	Brennstoffbedarf $Q_{Brenner}$ in kWh/a	Hilfsenergiebedarf Q_{HE} in kWh/a	Jahresnutzungsgrad η_{GWP} in %
TRY04 Referenzort Potsdam	10.164	7.573	389	134,2%
TRY01 Referenzort Bremerhaven	9.835	7.240	390	135,8%
TRY13 Referenzort Passau	10.933	8.245	397	132,6%

7.3.6 Einfluss der Raum-Solltemperatur

Abweichend von der für die Standardvariante angenommenen Raum-Solltemperatur im Heizfall $\theta_{i,h,soll} = 20^\circ\text{C}$ (Richtwert für ein Wohngebäude nach DIN V 18599-10:2011-12) wird im Folgenden am ausgewählten Beispiel der Einfluss von höheren Solltemperaturen diskutiert. Dabei wird zum einen die Raum-Solltemperatur nach Nutzung differenziert: $\theta_{i,h,soll} = 24^\circ\text{C}$ im Bad und $\theta_{i,h,soll} = 20^\circ\text{C}$ in sonstigen Aufenthaltsräumen. Zum anderen wird eine einheitliche Raum-Solltemperatur in allen Aufenthaltsräumen von $\theta_{i,h,soll} = 21^\circ\text{C}$ unterstellt.

Erwartungsgemäß erhöhen sich mit steigender Raum-Solltemperatur der Wärmeenergiebedarf des Gebäudes und der Brennstoffbedarf. Der Jahresnutzungsgrad Raumheizung wird dabei kaum beeinflusst.

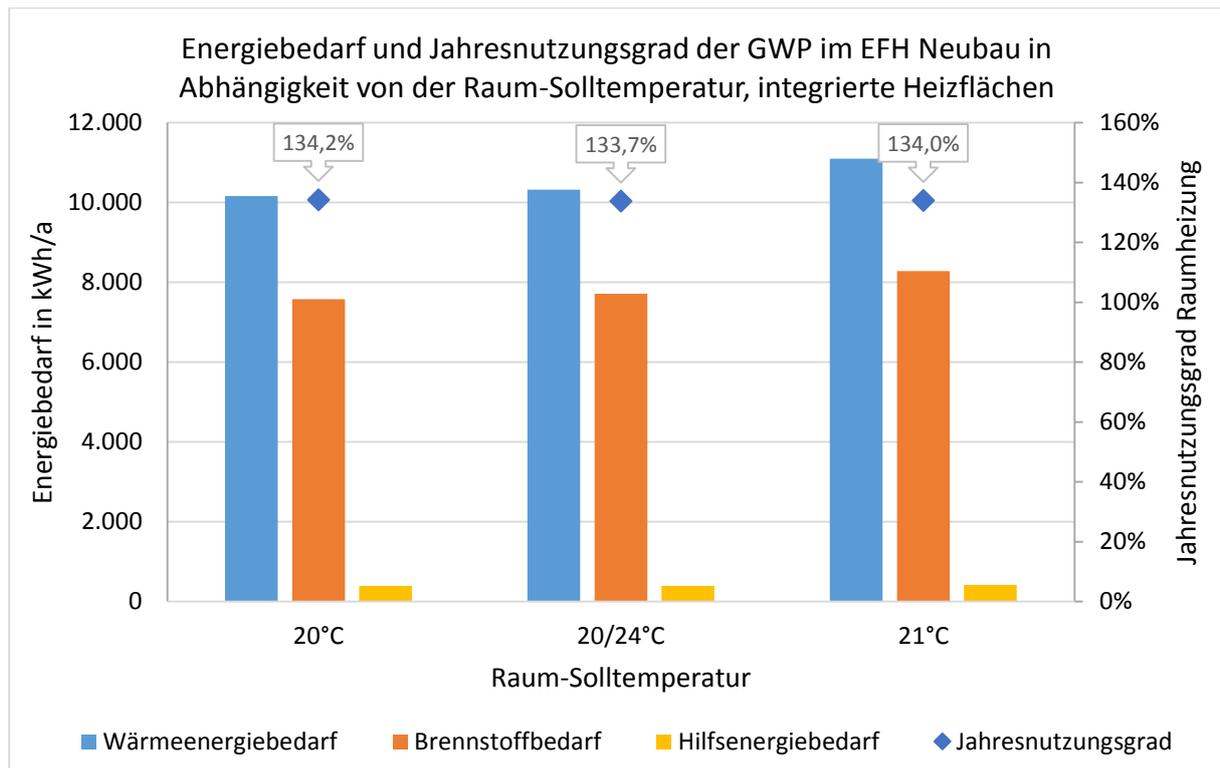


Abbildung 7.3-12: Energiebedarf und Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH Neubau in Abhängigkeit von der Raum-Solltemperatur, integrierte Heizflächen, 35/28°C

7.3.7 Einfluss des Warmwasserbetriebes

Der Einfluss des Warmwasserbetriebes auf den Gesamt-Jahresnutzungsgrad einer GWP-Anlage hängt von vielen Faktoren ab. Maßbeglich für den Gesamt-Jahresnutzungsgrad ist u.a. der Anteil vom Warmwasserenergiebedarf am gesamten Wärmeenergiebedarf. Dabei können zwei unterschiedliche Tendenzen erkannt werden.

Bei Anlagen ohne solare Unterstützung der Warmwasserbereitung sinkt der Gesamt-Jahresnutzungsgrad mit steigendem Anteil des Warmwasserenergiebedarfes (s. Abbildung 7.3-13). Das resultiert daraus, dass der Jahresnutzungsgrad der GWP im Warmwasserbetrieb aufgrund von vergleichsweise hohen Rücklauftemperaturen, die für die Effizienz der Gaswärmepumpe u.a. maßbeglich sind, tendenziell niedriger als der Jahresnutzungsgrad Raumheizung ist.

Bei Anlagen mit solarer TWE erhöht sich dagegen der Gesamt-Jahresnutzungsgrad gegenüber dem Jahresnutzungsgrad Raumheizung. Das ist auf den solaren Ertrag zur Trinkwassererwärmung zurückzuführen.

Als weitere Größe, die einen nennenswerten Einfluss auf den Gesamt-Jahresnutzungsgrad einer GWP-Anlage hat, ist die Zapftemperatur und das Zapfprofil zu nennen, die letztendlich auf das Nutzerverhalten zurückzuführen sind. Dies wird im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht weiter verfolgt.

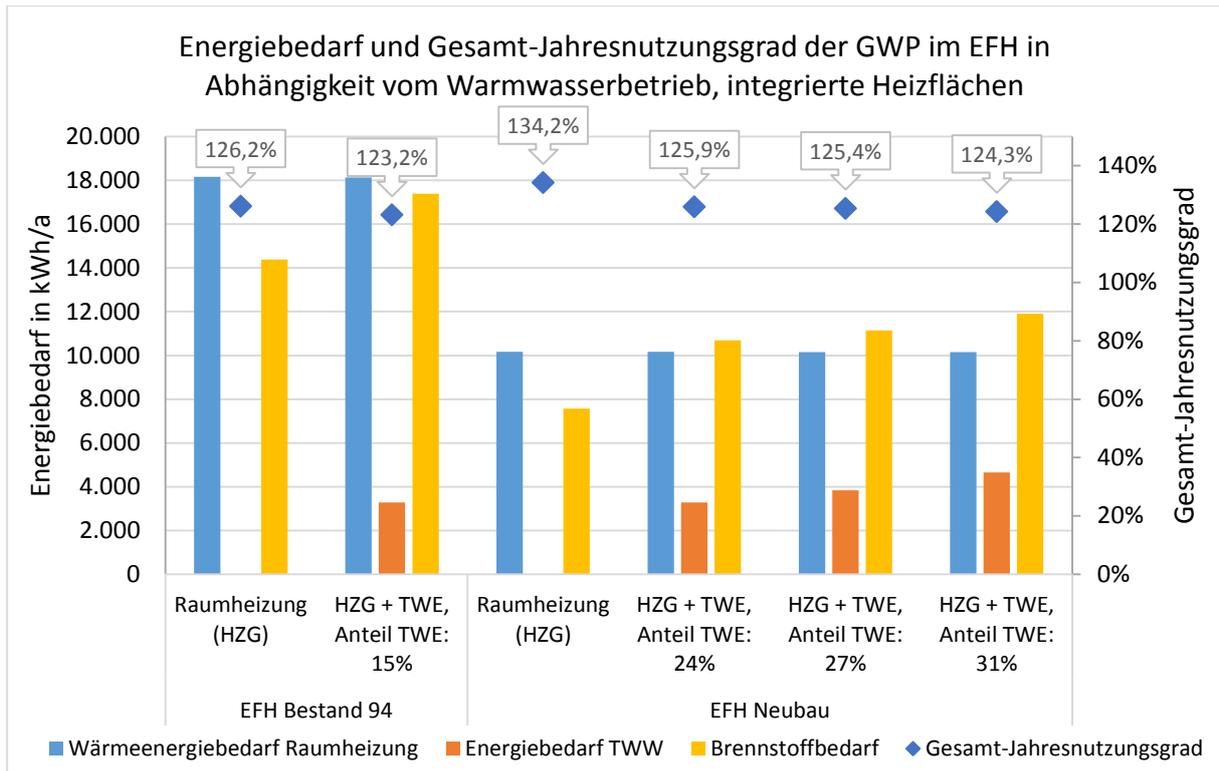


Abbildung 7.3-13: Energiebedarf und Gesamt-Jahresnutzungsgrad der Gaswärmepumpe im EFH in Abhängigkeit vom Warmwasserbetrieb (Anteil des TWW-Energiebedarfes am gesamten Wärmeenergiebedarf), integrierte Heizflächen, 35/28°C

8 Bewertungsvorschlag für die Sorptions-Gaswärmepumpen

8.1 Einführende Bemerkungen

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der durchgeführten Simulationsrechnungen und der im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse zur Betriebsweise von Sorptions-Gaswärmepumpen wird ein Berechnungsansatz zur normativen Bewertung der Sorptions-Gaswärmepumpen abgeleitet. Dieser basiert auf den thermischen Nutzungsgraden für Raumheizung und Warmwasserbereitung sowie auf der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme im Betrieb und im Stillstand der Gaswärmepumpe. Aufgrund von zum Teil unterschiedlichen Betriebscharakteristika werden für die Adsorptions- und Absorptions-Gaswärmepumpen unterschiedliche Ansätze für die Bestimmung des Nutzungsgrades im Betrieb in Abhängigkeit von der Belastung der Gaswärmepumpe gewählt. Im Ergebnis der vorgeschlagenen Bewertungsmethodik wird der Endenergiebedarf der Sorptions-Gaswärmepumpe für die Raumheizung und für die Warmwasserbereitung ermittelt. Der Brennstoffbedarf und der Hilfsenergiebedarf werden separat ausgewiesen.

8.2 Eingangsparameter des Berechnungsansatzes

Als Eingangsparameter des vorgeschlagenen Berechnungsansatzes zur energetischen Bewertung von Sorptions-GWP werden folgende Produktkennwerte festgelegt:

- Thermischer Nutzungsgrad nach VDI 4650 Blatt 2 (Raumheizung: $\eta_{N,h}$, Warmwasserbereitung: $\eta_{N,w}$)
- Nennleistung der Wärmepumpe P_n
- Untere Modulationsgrenze der Wärmepumpe $P_{\text{int,lower}}$ (nur Adsorptions-GWP)
- Nennleistung des Wärmepumpenmoduls $P_{n,WP}$ (nur Adsorptions-GWP)
- Elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe
 - Mittelwert im Betrieb (Raumheizung: $P_{\text{el,h}}$, Warmwasserbereitung: $P_{\text{el,w}}$)
 - bei Stillstand (Bereitschaft).

Der thermische Nutzungsgrad und die elektrische Leistungsaufnahme der Sorptions-Gaswärmepumpe sollen nach Möglichkeit für unterschiedliche Heiznetzauslegungstemperaturen (35/28°C, 55/45°C und 70/55°C) entsprechend der Prüfbedingungen der VDI 4650 Blatt 2 gemessen werden. Es müssen jedoch zumindest für zwei Heiznetztemperaturniveaus die Werte ermittelt werden, die im Bereich der für das Gerät zulässigen Systemtemperaturen liegen. Wenn die Kenndaten nur bei einem Auslegungstemperaturniveau bestimmt werden, dann ist die Berechnung nur dafür bzw. für niedrigere Auslegungstemperaturen möglich.

Wenn keine Produktkennwerte vorliegen, werden anstelle der produktspezifischen Größen die Standardwerte angewandt.

8.3 Berechnungsansatz zur Bewertung der Sorptions-GWP

8.3.1 Raumheizung

Eine Interpolation des thermischen Nutzungsgrades erfolgt zum einen bezüglich des Auslegungstemperaturniveaus der Heizung. Weichen bei den Gaswärmepumpen die mittleren Auslegungstemperaturen von den Prüftemperaturen nach VDI 4650 Blatt 2 ab, werden die Nutzungsgrade an die geänderten Temperaturbedingungen angepasst. Dabei wird der thermische Nutzungsgrad zwischen den vom Prüfinstitut angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen interpoliert. Es wird festgelegt, dass die Interpolation abhängig von den zur Verfügung stehenden Werten zwischen den Temperaturpaarungen von 70/55°C bis 35/28°C bzw. von 55/45°C bis 35/28°C in Abhängigkeit von der mittleren Auslegungstemperatur durchgeführt wird.

Zum anderen wird der thermische Nutzungsgrad an den Belastungsgrad der Gaswärmepumpe angepasst. Dafür sind zwei Vorgehensweisen denkbar:

1) Belastungsgrad in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Die monatlichen Temperaturen können entsprechend der Vorgehensweise für Elektro-Wärmepumpen in Klassen aufgeteilt werden. Für jede Temperaturklasse wird ein Belastungsgrad der Gaswärmepumpe wie folgt gebildet:

$$\beta_{h,gen,bin,i} = \frac{\theta_{i,h,soll} - \theta_{bin,i}}{\theta_{i,h,soll} - \theta_{e,min}} \cdot \frac{\phi_{h,max}}{P_n}$$

Dabei ist

$\beta_{h,gen,bin,i}$	der Belastungsgrad der Gaswärmepumpe in der jeweiligen Temperaturklasse,
$\theta_{i,h,soll}$	die Raum-Solltemperatur im Heizfall, in °C,
$\theta_{bin,i}$	die Referenztemperatur der jeweiligen Temperaturklasse, in °C,
$\theta_{e,min}$	das Tagesmittel der Außentemperatur am Auslegungstag, in °C,
$\phi_{h,max}$	die maximale Gebäudeheizlast, in kW,
P_n	die Nennleistung der Gaswärmepumpe, in kW.

In folgender Tabelle werden die Temperaturklassen, die zugehörigen Temperaturbereiche sowie beispielhaft für das TRY04 (die mittleren Verhältnisse in Deutschland) die monatlichen Stundensummen in den jeweiligen Temperaturklassen angegeben.

Referenztemperatur der Temperaturklasse, in °C, $\theta_{bin,i}$	-7	2	7	20	Monatssumme, t_{mth}
Temperaturgrenzen, °C	-15 bis -2	-2 bis 4	4 bis 15	15 bis 32	
Monat	monatliche Stundensumme in h, $t_{mth,bin,i}$				
Januar	178	363	203	0	744
Februar	105	391	171	5	672
März	54	286	386	18	744
April	7	121	480	112	720
Mai	0	10	428	306	744
Juni	0	0	300	420	720
Juli	0	0	129	615	744
August	0	0	144	600	744
September	0	0	410	310	720
Oktober	0	85	605	54	744
November	48	284	388	0	720
Dezember	174	367	203	0	744
Jahr	566	1907	3847	2440	8760

Die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe der Gaswärmepumpe in der jeweiligen Temperaturklasse (im Monat) wird dabei wie folgt berechnet:

$$Q_{h,outg,i} = Q_{h,outg} \cdot \frac{t_{mth,bin,i}}{t_{mth}}$$

Dabei ist

$Q_{h,outg}$ die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe der Gaswärmepumpe (im Monat) in kWhⁱⁱ,

$t_{mth,bin,i}$ monatliche Stundensumme in der jeweiligen Temperaturklasse, in h.

t_{mth} Stundensumme im Monat, in h.

Unter Berücksichtigung des Belastungsgrades in der jeweiligen Temperaturklasse könnte der auf die Auslegungstemperatur korrigierte thermische Nutzungsgrad berechnet werden.

2) Belastungsgrad in Abhängigkeit von der monatlichen rechnerischen Laufzeit der Heizung

Alternativ kann der mittlere monatliche Belastungsgrad der Gaswärmepumpe unter Berücksichtigung des Nutzwärmebedarfes und der Wärmeverluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung sowie der Nennwärmeleistung der Gaswärmepumpe und der monatlichen rechnerischen Laufzeit der Heizung bestimmt werden.

ⁱⁱ Die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe ist die Wärmemenge, die durch den Wärmeerzeuger nach Abzug der Erzeugerwärmeabgabe des Wohnungslüftungsgerätes für Raumheizung und des Energieertrages der Solaranlage für Raumheizung gedeckt wird. Der verbleibende Wärmebedarf, der durch die Gaswärmepumpe gedeckt wird, ergibt sich entsprechend der Berechnungsvorschrift der DIN V 18599-5 nach Gleichung 68 zu:

$$Q_{h,outg}^* = Q_{h,outg} - Q_{h,sol} - Q_{rv,h,outg}^*$$

$$\beta_{h,gen,i} = \frac{(Q_{h,b} + Q_{h,ce}) \cdot f_{hydr} + Q_{h,d} + Q_{h,s}}{P_n \cdot t_{h,rL}}$$

Dabei ist

$\beta_{h,gen,i}$	der mittlere monatliche Belastungsgrad der Gaswärmepumpe,
$Q_{h,b}$	der Nutzwärmebedarf im Betrachtungszeitraum (im Monat), in kWh,
$Q_{h,ce}$	die Wärmeverluste der Übergabe für das Heizsystem (im Monat), in kWh,
$Q_{h,d}$	die Wärmeverluste der Verteilung für das Heizsystem (im Monat), in kWh,
$Q_{h,s}$	die Wärmeverluste der Speicherung für das Heizsystem (im Monat), in kWh,
P_n	die Nennleistung der Gaswärmepumpe, in kW,
$t_{h,rL}$	die monatliche rechnerische Laufzeit der Heizung, in h,
f_{hydr}	der Faktor für den hydraulischen Abgleich.

Beide Vorgehensweisen zur Bestimmung des Belastungsgrades führen beim intermittierenden Betrieb der Anlage zu vergleichbaren Ergebnissen. Die erste Variante erhöht allerdings den Berechnungsaufwand deutlich. Die zweite Berechnungsmöglichkeit greift auf die in der Norm vorhandenen Größen zu und kann den Einfluss des Betriebsregimes (durchgängige und intermittierende Betriebsweise) auf den Nutzungsgrad Raumheizung der GWP abbilden. Daher wird im Rahmen des Bewertungsansatzes die Ermittlung des Belastungsgrades mithilfe der zweiten Variante (Belastungsgrad in Abhängigkeit von der monatlichen rechnerischen Laufzeit der Heizung) vorgeschlagen.

Die Wärmequelle wird bereits bei der Ermittlung des thermischen Nutzungsgrades nach VDI 4650 Blatt 2 berücksichtigt. Eine zusätzliche Korrektur der Wärmequellentemperatur ist in der Berechnung nur für Absorptions-Gaswärmepumpen vorgesehen.

Bei Anlagen mit solarunterstützter Warmwasserbereitung und/oder Raumheizung wird analog der im Kapitel 6.5.1 der DIN V 18599 Teil 5 genannten Bewertungsmethodik für die Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung vorgegangen. Der Endenergiebedarf des restlichen Gesamtwärmebedarfs für Raumheizung (der verbleibenden Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem) wird unter Berücksichtigung des korrigierten thermischen Nutzungsgrades Raumheizung im Betrieb berechnet.

Der Gesamtwärmebedarf für die Raumheizung (jährliche Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem) wird als Summe der monatlichen Nutzwärmebedarfswerte sowie der monatlichen Verluste für die Wärmespeicherung, -verteilung und -übergabe berechnet.

Die Hilfsenergie der Heizwärmeerzeugung wird über

- die Betriebszeit und die mittlere elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe aus Messung nach VDI 4650 Blatt 2 sowie
- die Stillstandzeiten und die elektrische Leistungsaufnahme im Stillstand

berechnet.

Die Werte für die elektrische Leistungsaufnahme werden in Abhängigkeit von der mittleren Auslegungstemperatur interpoliert.

8.3.2 Warmwasserbereitung

Für die Berechnung des Endenergiebedarfs für die Warmwasserbereitung wird der thermische Nutzungsgrad der GWP für die Warmwasserbereitung berücksichtigt. Dieser Wert kann entweder als produktspezifische Größe, die nach VDI 4650 Blatt 2 ermittelt wird, oder als Standardwert eingesetzt werden.

Bei Anlagen mit solarunterstützter Warmwasserbereitung wird analog der im Kapitel 6.4 der DIN V 18599 Teil 8 genannten Bewertungsmethodik vorgegangen. Der ermittelte Energieeintrag der Solaranlage $Q_{w,sol}$ wird von der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwarmwassersystem $Q_{w,outg}$ abgezogen. Der Endenergiebedarf der Gaswärmepumpe wird unter Berücksichtigung der verbleibenden Erzeugernutzwärmeabgabe und des thermischen Nutzungsgrades für die Warmwasserbereitung der GWP berechnet.

Für die Berechnung der Hilfsenergie für die Warmwasserbereitung werden die am Prüfstand ermittelte elektrische Leistungsaufnahme im Warmwasserbetrieb und die elektrische Leistungsaufnahme im Stillstand zugrunde gelegt.

8.3.3 Randbedingungen für die Standardwerte

Liegen keine Produktkennwerte vor, so können für die Berechnung des Endenergiebedarfes der Gaswärmepumpe und der Hilfsenergie für die Raumheizung und Warmwasserbereitung Standardwerte angenommen werden. Diese werden im Normvorschlag entsprechend definiert und orientieren sich an den Produktkennwerten der sich derzeit am Markt befindlichen Geräte.

Wenn zur Berechnung die Standardwerte für Gaswärmepumpen angewandt werden, müssen die nach VDI 4650 Blatt 2 gemessenen Produktwerte der eingebauten Gaswärmepumpe mindestens die Standardwerte aufweisen.

Weichen die tatsächlichen mittleren Auslegungstemperaturen des Heizmediums von den Auslegungstemperaturen der Standardwerte ab, werden die Nutzungsgrade der GWP an die geänderten Temperaturbedingungen durch lineare Interpolation angepasst.

8.4 Einschätzung des Berechnungsansatzes

Das erarbeitete Berechnungsverfahren für die Sorptions-Gaswärmepumpen ist durch die geringe Anzahl der Eingangsparameter einfach und damit übersichtlich.

Positiv ist zu sehen, dass wenige Daten zur energetischen Qualität der GWP in dem Verfahren benötigt werden und damit die Anzahl der Produktkennwerte die am Prüfstand bestimmt werden und vom Hersteller geliefert werden, gering ist.

Der abgeleitete Algorithmus ist für die normative Bewertung ausreichend genau und gleichzeitig einfach zu handhaben. Die im Rahmen der Bearbeitung als wesentlich definierten energetischen Einflussfaktoren werden berücksichtigt. Der Detaillierungsgrad ist analog zur Bewertung anderer Technologien.

9 Normvorschlag: Sorptions-Gaswärmepumpen in der DIN V 18599

9.1 Einführende Bemerkungen

Im Folgenden wird ein Normvorschlag für die energetische Bewertung von Sorptions-Gaswärmepumpen in der zukünftigen DIN V 18599 angeführt. Der Vorschlag basiert auf dem in der Ausgabe der DIN V 18599-5 vom Dezember 2011 vorhandenen vereinfachten Berechnungsansatzⁱⁱⁱ für Sorptions-GWP.

Gegenüber dem ursprünglichen Ansatz wird eine Vorgehensweise zur Bestimmung des Nutzungsgrades in Abhängigkeit vom Belastungsgrad der GWP vorgeschlagen. Dabei wird aufgrund von den zum Teil unterschiedlichen Betriebscharakteristika zwischen Adsorptions- und Absorptions-Gaswärmepumpen differenziert. Gleichzeitig werden neue Eingangsgrößen wie z.B. untere Modulationsgrenze, die Nennleistung des Wärmepumpenmoduls berücksichtigt. Eine weitere Differenzierung findet hinsichtlich dem Verhältnis der Nennleistung des Wärmepumpenmoduls zur Nennleistung der GWP bei Adsorptions-GWP und der Wärmequelle bei Absorptions-GWP statt. Zusätzlich erfolgt eine Korrektur der Quelltemperatur für die Wärmequelle Außenluft und Erdreich. Außerdem ist der Einfluss des Betriebsregimes (intermittierend, durchgängig) auf die Effizienz des Gesamtsystems im vorgeschlagenen Bewertungsansatz deutlich zu erkennen, so dass Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich der Betriebsweise unter Berücksichtigung der Betriebsspezifika der ausgewählten Gaswärmepumpe in einem konkreten Auslegungsfall durchgeführt werden können. Durch diese Änderungen werden Effekte wesentlicher Einflussparameter sichtbar gemacht und damit die Planung eines energieeffizienten Wärmepumpeneinsatzes erleichtert.

Die dem vorgeschlagenen Normtext zugrunde liegende Symbole, Einheiten, Indizes und Begriffsdefinitionen sind in der Volltextausgabe der Norm (DIN V 18599 in der Ausgabe vom Dezember 2011) enthalten und werden hier nicht separat aufgeführt. Bei Bedarf werden die verwendeten Symbole und Indizes im Zuge der Überarbeitung der DIN V 18599 angepasst.

Im vorliegenden Normvorschlag wird auf andere Normteile bzw. Gleichungen aus der DIN V 18599-5 und DIN V 18599-8 verwiesen. Alle im Folgenden genannten Verweise auf Abschnitte betreffen die Abschnitte aus der DIN V 18599-5 (Heizung) und der DIN V 18599-8 (Warmwasserbereitung).

9.2 Raumheizung (DIN V 18599-5)

Die Bestimmung des Endenergiebedarfes der Sorptions-Gaswärmepumpe $Q_{h,f}$ und der Hilfsenergie für die Raumheizung $W_{h,gen}$ erfolgt anhand der Nennleistung P_n , der thermischen Nutzungsgrade $\eta_{h,a,Test}$ nach VDI 4650 Blatt 2 und der elektrischen Leistungsaufnahme P_{aux} , gemessen im Betrieb und bei Stillstand der Gaswärmepumpe. Diese Werte werden als Produktwerte nach VDI 4650 Blatt 2 bestimmt, alternativ können Standardwerte verwendet

ⁱⁱⁱ Der vereinfachte Berechnungsansatz wurde vom ITG Dresden im Auftrag der IGWP erarbeitet. Aus Übersichtlichkeitsgründen wird darauf verzichtet, die Ergänzungen und Anpassungen separat zu betrachten.

werden. Es folgt zusätzlich eine Anpassung des Nutzungsgrades und der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme im Betrieb der Gaswärmepumpe an die tatsächlichen Auslegungstemperaturen der Gaswärmepumpe, falls diese von den während der Messung angesetzten Auslegungstemperaturen abweichen. Zusätzlich findet eine Anpassung des thermischen Nutzungsgrades an den mittleren monatlichen Belastungsgrad der Gaswärmepumpe statt. Der Belastungsgrad wird dabei in Abhängigkeit von der monatlichen rechnerischen Laufzeit der Heizung ermittelt.

Berechnung der Endenergie für den Wärmeerzeuger $Q_{h,f}$

Der Endenergiebedarf der Heizwärmeerzeugung $Q_{h,f}$, bezogen auf den Brennwert, berechnet sich nach Gleichung (1):

$$Q_{h,f} = \sum Q_{h,outgi} \cdot f_{Hs/Hi} / \eta_{h,opi} \quad (1)$$

Dabei ist

$Q_{h,f}$	die Endenergie für den Heizwärmeerzeuger/die Sorptions-Gaswärmepumpe (im Monat) in kWh,
$Q_{h,outg}$	die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe der Gaswärmepumpe (im Monat) in kWh, nach 6.5 entspricht dieser Wert $Q_{h,outg}^*$, in kWh ^{iv} ,
$\eta_{h,opi}$	der korrigierte thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb nach Gleichung (8),
$f_{Hs/Hi}$	das Brennwert-Heizwert-Verhältnis des verwendeten Brennstoffes (siehe 4.2).

Bei Gaswärmepumpen mit zusätzlicher solarunterstützter Raumheizung wird analog der in 6.5.3 genannten Bewertungsmethodik vorgegangen. Der ermittelte Energieeintrag der Solaranlage $Q_{h,sol}$ wird von der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Heizsystem entsprechend Gleichung (68) abgezogen.

Korrektur des unter Prüfbedingungen ermittelten Nutzungsgrades auf die tatsächliche Auslegungstemperatur der Gaswärmepumpe

Weichen die mittleren Auslegungstemperaturen des Heizmediums ($\theta_{A,av}$) von den Prüftemperaturen nach VDI 4650 Blatt 2 ($\theta_{A,av,Test,i}$) ab, wird der Nutzungsgrad an die geänderten Temperaturbedingungen angepasst. Dabei wird der thermische Nutzungsgrad zwischen den vom Prüfinstitut angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen interpoliert.

Für Gaswärmepumpen, für die die Nutzungsgrade für zumindest zwei unterschiedliche Heiznetztemperaturpaarungen vorliegen, wird wie folgt vorgegangen:

Die Nutzungsgrade der Gaswärmepumpe werden für die mittleren Auslegungstemperaturen des Heizmediums $\theta_{A,av,Test,i}$ gemessen. Für die Korrektur des Nutzungsgrades werden der obere und der untere Messwert so ausgewählt, dass nach Gleichung (2)

^{iv} Die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe, die durch die Gaswärmepumpe gedeckt wird, wird nach Gleichung 68 der DIN V 18599-5:2011-12 berechnet. Verweis auf Kapitel 6.5 der DIN V 18599-5 in der aktuellen Fassung.

$$\theta_{A,av,Test,1} > \theta_{A,av} > \theta_{A,av,Test,2} \quad (2)$$

und

$$\theta_{A,av,Test,i} = 0,5 \cdot (\theta_{VA,Test,i} + \theta_{RA,Test,i}) \quad (3)$$

ist.

Dabei ist

$\theta_{A,av,Test,i}$ die mittlere Auslegungstemperatur des Heizmediums im Rahmen der Prüfung für die angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen,

$\theta_{VA,Test,i}$ die Vorlauftemperatur des Heizmediums bei Auslegungsbedingungen im Rahmen der Prüfung für die angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen,

$\theta_{RA,Test,i}$ die Rücklauftemperatur des Heizmediums bei Auslegungsbedingungen im Rahmen der Prüfung für die angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen.

Liegen Messwerte für mehr als zwei Heiznetztemperaturpaarungen vor, sind die der tatsächlichen Auslegungstemperatur der Gaswärmepumpe wertmäßig naheliegenden Messpunkte zu wählen.

Mit dem Index i werden die im Rahmen der Prüfung vorausgesetzten Heiznetztemperaturpaarungen angegeben.

Tabelle 1 — Prüfbedingungen und ermittelte thermische Nutzungsgrade als Produktwerte der Gaswärmepumpe

Messung des thermischen Nutzungsgrades für:	Vorlauf-temperatur des Heizmediums $\theta_{VA,Test,i}$	Rücklauf-temperatur des Heizmediums $\theta_{RA,Test,i}$	Mittlere Temperatur des Heizmediums $\theta_{A,av,Test,i}$	Thermischer Nutzungsgrad Raumheizung $\eta_{h,a,i}$
1. Heiznetztemperaturpaarung	$\theta_{VA,Test,1}$	$\theta_{RA,Test,1}$	$\theta_{A,av,Test,1}$	$\eta_{h,a,Test,1}$
2. Heiznetztemperaturpaarung	$\theta_{VA,Test,2}$	$\theta_{RA,Test,2}$	$\theta_{A,av,Test,2}$	$\eta_{h,a,Test,2}$

Für die Interpolation werden die Differenzen der unter Prüfbedingungen ermittelten thermischen Nutzungsgrade Raumheizung (heizwertbezogen) und der mittleren Auslegungstemperaturen des Heizmediums der im Rahmen der Prüfung angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$\Delta\eta_{h,a,Test} = \eta_{h,a,Test,2} - \eta_{h,a,Test,1} \quad (4)$$

$$\Delta\theta_{A,av,Test} = \theta_{A,av,Test,1} - \theta_{A,av,Test,2} \quad (5)$$

Die Korrektur des unter Prüfbedingungen ermittelten Nutzungsgrades auf die tatsächliche Auslegungstemperatur der Gaswärmepumpe erfolgt nach:

$$\eta_{h,op,a} = \eta_{h,a,Test,1} + (\Delta\eta_{h,a,Test} / \Delta\theta_{A,av,Test}) \cdot (\theta_{A,av,Test,1} - \theta_{A,av}) \quad (6)$$

Dabei ist

$\eta_{h,op,a}$	der thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb,
$\eta_{h,a,Test,1}$	der unter Prüfbedingungen ermittelte thermische Nutzungsgrad Raumheizung für die erste Heiznetztemperaturpaarung,
$\Delta\eta_{h,a,Test}$	die Differenz der unter Prüfbedingungen ermittelten thermischen Nutzungsgrade Raumheizung für beide Heiznetztemperaturpaarungen,
$\Delta\theta_{A,av,Test}$	die Differenz der mittleren Auslegungstemperaturen des Heizmediums der im Rahmen der Prüfung angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen,
$\theta_{A,av,Test,1}$	die mittlere Temperatur des Heizmediums bei Auslegungsbedingungen im Rahmen der Prüfung für die erste Heiznetztemperaturpaarung,
$\theta_{A,av}$	die für den Betrieb vorgesehene mittlere Temperatur des Heizmediums bei Auslegungsbedingungen der Gaswärmepumpe.

Für Auslegungstemperaturen der Gaswärmepumpe, die unterhalb der während der Prüfung angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen liegen, wird der thermische Nutzungsgrad Raumheizung für die niedrigste geprüfte Auslegungstemperatur (unterer Messwert) ohne weitere Korrekturen verwendet. Für Auslegungstemperaturen der Gaswärmepumpe, die oberhalb der während der Prüfung angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen liegen, wird der Standardwert für Auslegungstemperatur von 70/55°C nach Tabelle 6 angenommen.

Korrektur des Nutzungsgrades Raumheizung auf den tatsächlichen Belastungsgrad der Gaswärmepumpe

Der auf die tatsächliche Auslegungstemperatur der Gaswärmepumpe korrigierte Nutzungsgrad Raumheizung wird anschließend unter Berücksichtigung des tatsächlichen Belastungsgrades der GWP korrigiert.

Der mittlere monatliche Belastungsgrad berechnet sich zu

$$\beta_{h,gen,i} = \frac{(Q_{h,b} + Q_{h,ce}) \cdot f_{hydr} + Q_{h,d} + Q_{h,s}}{P_n \cdot t_{h,rL}} \quad (7)$$

Dabei ist

$\beta_{h,gen,i}$	der mittlere monatliche Belastungsgrad der Gaswärmepumpe,
$Q_{h,b}$	der Nutzwärmebedarf im Betrachtungszeitraum (im Monat) (siehe 4.2), in kWh,
$Q_{h,ce}$	die Wärmeverluste der Übergabe für das Heizsystem (im Monat) (siehe 6.2), in kWh,
$Q_{h,d}$	die Wärmeverluste der Verteilung für das Heizsystem (im Monat) (siehe 6.3), in kWh,
$Q_{h,s}$	die Wärmeverluste der Speicherung für das Heizsystem (im Monat) (siehe 6.4), in kWh,

- P_n die Nennleistung der Gaswärmepumpe (siehe 5.4 bzw. als Produktkennwert), in kW,
- $t_{h,rL}$ die monatliche rechnerische Laufzeit der Heizung (siehe 5.4.1), in h
- f_{hydr} der Faktor für den hydraulischen Abgleich (siehe 6.2).

Der Nutzungsgrad der GWP in Abhängigkeit von der Belastung wird für 6 Lastpunkte bestimmt. Diese orientieren sich an den im Rahmen der Messung nach VDI 4650 Blatt 2 zugrunde gelegten Lastpunkten. Alternativ können soweit vorhanden die Produktkennwerte (Teillastnutzungsgrade Raumheizung gemessen nach VDI 4650 Blatt 2) angewendet werden.

Aufgrund von unterschiedlichen Betriebscharakteristika wird im Folgenden zwischen Adsorptions- und Absorptions-Gaswärmepumpen unterscheiden.

Adsorptions-Gaswärmepumpe

Die Nutzungsgrade für die 6 Lastpunkte werden entsprechend den in der Tabelle 2 ausgewiesenen Formeln unter Hinzuziehung der Koeffizienten aus Tabelle 3 ermittelt. Die Koeffizienten werden dabei in Abhängigkeit vom Verhältnis des Wärmepumpenmoduls zur Nennleistung der Adsorptions-GWP gewählt.

Tabelle 2 — Nutzungsgrad der Gaswärmepumpe in Abhängigkeit vom Belastungsgrad

Belastungsgrad β_i	Nutzungsgrad der Adsorptions-Gaswärmepumpe $\eta_{h,i}$
$\frac{P_{int,lower}}{P_n}$	$\eta_{h,Pint,lower} = 1,15 \cdot \eta_{h,op,a} \cdot \left(1 - \frac{P_{int,lower} - 0,13 \cdot P_n}{P_n}\right)$
0,30	$\eta_{h,Pint,30\%} = a \cdot \eta_{h,op,a}$
0,39	$\eta_{h,Pint,39\%} = b \cdot \eta_{h,op,a}$
0,48	$\eta_{h,Pint,48\%} = c \cdot \eta_{h,op,a}$
0,63	$\eta_{h,Pint,63\%} = d \cdot \eta_{h,op,a}$
1,0	$\eta_{h,Pn} = \max(e \cdot \eta_{h,op,a}; 0,98)^v$

Tabelle 3 — Koeffizienten zur Berechnung des Nutzungsgrades in Abhängigkeit vom Verhältnis des Wärmepumpenmoduls zur Nennleistung der Adsorptions-GWP

Verhältnis des Wärmepumpenmoduls zur Nennleistung	Koeffizienten				
	a	b	c	d	e
$P_{n,WP}/P_n \leq 0,3$	1,01	0,98	0,95	0,91	0,88
$P_{n,WP}/P_n > 0,3$	1,08	1,02	0,95	0,85	0,81

^v Es ist immer mit dem höheren Wert zu rechnen.

Dabei ist

P_n	die Nennleistung der Gaswärmepumpe, in kW,
$P_{int,lower}$	untere Modulationsgrenze der Gaswärmepumpe, in kW,
$P_{n,WP}$	die Nennleistung des Wärmepumpenmoduls, in kW,
$\eta_{h,op,a}$	der thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb nach Gleichung (6),
$\eta_{h,Pint,lower}$	der Nutzungsgrad bei der unteren Modulationsgrenze,
$\eta_{h,Pint,i}$	der Nutzungsgrad bei entsprechend 30 %, 39 %, 48 % und 63 % Teillast,
$\eta_{h,Pn}$	der Nutzungsgrad bei Volllast.

Der auf den mittleren monatlichen Belastungsgrad $\beta_{h,gen,i}$ korrigierte thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb wird durch Interpolation zwischen zwei wertmäßig naheliegenden Belastungsgraden β_i und β_j aus Tabelle 2, wobei $\beta_i < \beta_j$ und $\beta_i < \beta_{h,gen,i} \leq \beta_j$ ist, berechnet.

$$\eta_{h,op,i} = \begin{cases} \eta_{h,int,lower} & \text{für } \beta_{h,gen,i} \leq \frac{P_{int,lower}}{P_n} \\ \eta_{h,i} - \left(\frac{\eta_{h,j} - \eta_{h,i}}{\beta_j - \beta_i} \right) \cdot (\beta_i - \beta_{h,gen,i}) & \text{für } \beta_{h,gen,i} > \frac{P_{int,lower}}{P_n} \end{cases} \quad (8)$$

Dabei ist

$\eta_{h,op,i}$	der korrigierte thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb,
$\eta_{h,Pint,lower}$	der Nutzungsgrad bei der unteren Modulationsgrenze,
$\beta_{h,gen,i}$	der mittlere monatliche Belastungsgrad der Gaswärmepumpe nach Gleichung (7),
$\beta_{i,j}$	zwei wertmäßig dem mittleren monatlichen Belastungsgrad der GWP naheliegende Belastungsgrade nach Tabelle 2, wobei $\beta_i < \beta_j$,
$\eta_{h,i,j}$	Nutzungsgrade der GWP bei gewählten Belastungsgraden β_i und β_j nach Tabelle 2 bzw. als Produktkennwert (Teillastnutzungsgrade Raumheizung gemessen nach VDI 4650 Blatt 2).

Absorptions-Gaswärmepumpe

Die Nutzungsgrade für die 6 Lastpunkte werden entsprechend den in der Tabelle 4 ausgewiesenen Formeln unter Hinzuziehung der Koeffizienten aus Tabelle 5 berechnet. Die Koeffizienten werden dabei in Abhängigkeit von der Wärmequelle der Absorptions-GWP gewählt.

Tabelle 4 — Nutzungsgrad der Gaswärmepumpe in Abhängigkeit vom Belastungsgrad

Belastungsgrad β_i	Quellentemperatur $\theta_{\text{Test},i}$ in °C		Nutzungsgrad der Adsorptions-Gaswärmepumpe $\eta_{h,i}$
	Außenluft	Erdreich	
0,13	16,2	9	$\eta_{h,Pint,13\%} = a \cdot \eta_{h,op,a}$
0,30	10,9	8	$\eta_{h,Pint,30\%} = b \cdot \eta_{h,op,a}$
0,39	8,4	7	$\eta_{h,Pint,39\%} = c \cdot \eta_{h,op,a}$
0,48	5,7	6	$\eta_{h,Pint,48\%} = d \cdot \eta_{h,op,a}$
0,63	1,2	5	$\eta_{h,Pint,63\%} = e \cdot \eta_{h,op,a}$
1,0	0	4	$\eta_{h,Pn} = f \cdot \eta_{h,op,a}$

Tabelle 5 — Koeffizienten zur Berechnung des Nutzungsgrades in Abhängigkeit von der Wärmequelle der Absorptions-GWP

Wärmequelle	Koeffizienten					
	a	b	c	d	e	f
Außenluft	0,95	0,98	1	1,02	1,04	1,00
Erdreich/Grundwasser	0,85	0,95	1,01	1,04	1,09	1,05

Dabei ist

$\eta_{h,op,a}$ der thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb,

$\eta_{h,Pint,i}$ der Nutzungsgrad bei entsprechend 13 %, 30 %, 39 %, 48 % und 63 % Teillast,

$\eta_{h,Pn}$ der Nutzungsgrad bei Volllast.

Der auf den mittleren monatlichen Belastungsgrad $\beta_{h,gen,i}$ korrigierte thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb wird durch Interpolation zwischen zwei wertmäßig naheliegenden Belastungsgraden β_i und β_j aus Tabelle 2, wobei $\beta_i < \beta_j$ und $\beta_i < \beta_{h,gen,i} \leq \beta_j$ ist, berechnet. Bei Absorptions-GWP erfolgt zusätzlich eine Korrektur des berechneten Wertes hinsichtlich der Quelltemperatur.

$$\eta_{h,op,i} = \begin{cases} \eta_{h,Pint,13\%} \cdot (1 - f) & \text{für } \beta_{h,gen,i} \leq 0,13 \\ \left[\eta_{h,i} - \left(\frac{\eta_{h,j} - \eta_{h,i}}{\beta_j - \beta_i} \right) \cdot (\beta_i - \beta_{h,gen,i}) \right] \cdot (1 - f) & \text{für } \beta_{h,gen,i} > 0,13 \end{cases} \quad (9)$$

Dabei ist

$\eta_{h,op,i}$ der korrigierte thermische Nutzungsgrad Raumheizung im Betrieb,

- $\eta_{h,Pint,13\%}$ der Nutzungsgrad bei 13 % Teillast nach Tabelle 4 bzw. als Produktkennwert (13 %-Teillastnutzungsgrad gemessen nach VDI 4650 Blatt 2),
- $\beta_{h,gen,i}$ der mittlere monatliche Belastungsgrad der Gaswärmepumpe nach Gleichung (7),
- $\beta_{i,j}$ zwei wertmäßig dem mittleren monatlichen Belastungsgrad der GWP naheliegende Belastungsgrade nach Tabelle 4, wobei $\beta_i < \beta_j$,
- $\eta_{h,i,j}$ Nutzungsgrade der GWP bei gewählten Belastungsgraden β_i und β_j nach Tabelle 4 bzw. als Produktkennwert (Teillastnutzungsgrade Raumheizung gemessen nach VDI 4650 Blatt 2),
- f Korrekturfaktor für die Quellentemperatur für Wärmequelle Außenluft und Erdreich nach Gleichung (10), für Grundwasser als Wärmequelle $f = 0,0$.

$$f = \begin{cases} (\theta_{h,Pint,13\%} - \theta_{so}) \cdot 0,01 & \text{für } \beta_{h,gen,i} \leq 0,13 \\ \left[\theta_{Test,i} - \left(\frac{\theta_{Test,j} - \theta_{Test,i}}{\beta_j - \beta_i} \right) \cdot (\beta_i - \beta_{h,gen,i}) - \theta_{so} \right] \cdot 0,01 & \text{für } \beta_{h,gen,i} > 0,13 \end{cases} \quad (10)$$

Dabei ist

- $\theta_{h,Pint,13\%}$ die unter Prüfbedingungen für die entsprechende Wärmequelle zugrunde gelegte Quellentemperatur bei 13 % Teillast,
- $\beta_{h,gen,i}$ der mittlere monatliche Belastungsgrad der Gaswärmepumpe nach Gleichung (7),
- $\beta_{i,j}$ zwei wertmäßig dem mittleren monatlichen Belastungsgrad der GWP naheliegende Belastungsgrade nach Tabelle 4, wobei $\beta_i < \beta_j$,
- $\theta_{Test,i,j}$ die unter Prüfbedingungen für die entsprechende Wärmequelle zugrunde gelegte Quellentemperatur bei den gewählten Belastungsgraden β_i und β_j nach Tabelle 4,
- θ_{so} Mittlere Quellentemperatur (im Monat), wobei $\theta_{so} = \theta_e$ für Wärmequelle Außenluft und $\theta_{so} = \theta_{so,Sole}$ für Wärmequelle Erdreich, in ° C,
- θ_e Monatsmittelwert Außenlufttemperatur (siehe 4.2), in ° C,
- $\theta_{so,Sole}$ Monatsmittelwert Soletemperatur (Erdsonde) nach Gleichung (11), in ° C.

$$\theta_{so,Sole} = 1,5 + \frac{1,5 \cdot \theta_e}{10} \quad (11)$$

Hilfsenergie zum Betrieb der Gaswärmepumpe

Die Hilfsenergie der Heizwärmeerzeugung $W_{h,gen}$ wird mit der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme $P_{h,gen,aux,av}$ der Gaswärmepumpe (gemessen an den fünf Teillastpunkten zur Ermittlung des thermischen Nutzungsgrades nach VDI 4650 Blatt 2) und der elektrischen Leistungsaufnahme bei Stillstand $P_{aux,P0}$ (gemessen im Schlumberbetrieb der Gaswärmepumpe) nach folgender Gleichung berechnet:

$$W_{h,gen} = P_{h,gen,aux,av,op} \cdot (t_{h,rL} - t_{w,Pn,day} \cdot d_{mth} \cdot d_{op,a} / 365) + P_{aux,P0} \cdot (24 \cdot d_{mth} - t_{h,rL}) \quad (12)$$

Dabei ist

$W_{h,gen}$	die Hilfsenergie der Heizwärmeerzeugung, in kWh,
$P_{h,gen,aux,av,op}$	die mittlere elektrische Leistungsaufnahme im Betrieb der Gaswärmepumpe, in kW,
$P_{aux,P0}$	die elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe bei Stillstand, in kW,
$t_{h,rL}$	die rechnerische Laufzeit (im Monat) (siehe 5.4.1), in h,
d_{mth}	die Anzahl der Tage (im Monat) (siehe 4.2),
$t_{w,Pn,day}$	die Tageslaufzeit der Gaswärmepumpe zur Trinkwassererwärmung (siehe 4.2), in h,
$d_{op,a}$	die jährliche Betriebsdauer (siehe 4.2), in d.

Die mittlere elektrische Leistungsaufnahme im Betrieb der Gaswärmepumpe $P_{h,gen,aux,av,op}$ ist eine auf die Auslegungstemperaturen der Gaswärmepumpe korrigierte Größe. Der Korrektur liegen die unter den Prüfbedingungen ermittelten mittleren elektrischen Leistungsaufnahmen der Gaswärmepumpe für zwei Heiznetztemperaturpaarungen ($P_{h,gen,aux,av,Test,1}$ und $P_{h,gen,aux,av,Test,2}$) zugrunde.

Die mittlere elektrische Leistungsaufnahme im Betrieb der Gaswärmepumpe errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$P_{h,gen,aux,av,op} = P_{h,gen,aux,av,Test,1} + (\Delta P_{h,gen,aux,av,Test} / \Delta \theta_{A,av,Test}) \cdot (\theta_{A,av} - \theta_{A,av,Test,1}) \quad (13)$$

Dabei ist

$P_{h,gen,aux,av,Test,1}$	die unter Prüfbedingungen ermittelte mittlere elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe für die erste Heiznetztemperaturpaarung, in kW,
$\Delta P_{h,gen,aux,av,Test}$	die Differenz der unter Prüfbedingungen ermittelten mittleren elektrischen Leistungsaufnahmen für beide Heiznetztemperaturpaarungen, in kW.

Die Differenz der unter Prüfbedingungen ermittelten mittleren elektrischen Leistungsaufnahmen für beide Heiznetztemperaturpaarungen berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\Delta P_{h,gen,aux,av,Test} = P_{h,gen,aux,av,Test,1} - P_{h,gen,aux,av,Test,2} \quad (14)$$

Dabei ist

$P_{h,gen,aux,av,Test,2}$ die unter Prüfbedingungen ermittelte mittlere elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe für die zweite Heiznetztemperaturpaarung, in kW.

Für Auslegungstemperaturen der Gaswärmepumpe, die unterhalb der während der Prüfung angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen liegen, wird die mittlere elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe für die niedrigste geprüfte Auslegungstemperatur (der untere Messwert) ohne weitere Korrekturen verwendet. Für Auslegungstemperaturen der Gaswärmepumpe, die oberhalb der während der Prüfung angesetzten Heiznetztemperaturpaarungen liegen, wird der Standardwert für Auslegungstemperatur von 70/55°C nach Tabelle 6 angenommen.

Randbedingungen für die Standardwerte

Liegen keine Produktkennwerte vor, so können für die Berechnung des Endenergiebedarfes der Sorptions-Gaswärmepumpe $Q_{h,f}$ und der Hilfsenergie für die Raumheizung $W_{h,gen}$ die Standardwerte nach Tabelle 6 angenommen werden.

Tabelle 6 — Standardwerte zur Bewertung von Gaswärmepumpe in Abhängigkeit von Auslegungstemperaturen

Untere Modulationsgrenze der Gaswärmepumpe $P_{int,lower}$			$0,20 \cdot P_n$		
Nennleistung des Wärmepumpenmoduls $P_{n,WP}$			$0,30 \cdot P_n$		
Standardwerte in Abhängigkeit von Auslegungstemperaturen			Heiznetz 35/28 ($\theta_{A,av}=31,5\text{ °C}$)	Heiznetz 55/45 ($\theta_{A,av}=50,0\text{ °C}$)	Heiznetz 70/55 ($\theta_{A,av}=62,5\text{ °C}$)
Thermischer Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung $\eta_{h,op,a,i}$			1,30	1,20	1,10
Hilfsenergie	Betrieb $P_{h,gen,aux,av}$	Wärmequelle Luft	$0,022 \cdot P_n$	$0,022 \cdot P_n$	$0,022 \cdot P_n$
		Andere Wärmequellen	$0,012 \cdot P_n$	$0,012 \cdot P_n$	$0,012 \cdot P_n$
	Stillstand $P_{aux,P0}$		0,02 kW	0,02 kW	0,02 kW
Dabei ist P_n die Nennleistung der Gaswärmepumpe, in kW.					

Wenn zur Berechnung die Standardwerte für Gaswärmepumpe angewandt werden, müssen die nach VDI 4650, Blatt 2 gemessenen Produktwerte der eingebauten Gaswärmepumpe mindestens die Standardwerte aufweisen.

Weichen die tatsächlichen mittleren Auslegungstemperaturen des Heizmediums ($\theta_{A,av}$) von den Auslegungstemperaturen der Standardwerte ab, werden die Nutzungsgrade und die elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe an die geänderten Temperaturbedingungen analog der vorher beschriebenen Vorgehensweise angepasst.

Wenn produktspezifische Kennwerte angewandt werden, dann sind sowohl die von der Auslegungstemperatur abhängigen (der thermische Nutzungsgrad, die elektrische

Leistungsaufnahme) als auch die nicht abhängigen Kennwerte (die untere Modulationsgrenze, die Nennleistung der GWP sowie die Nennleistung des Wärmepumpenmoduls bei Adsorptions-GWP) produktspezifisch zu verwenden.

9.3 Trinkwassererwärmung (DIN V 18599-8)

Die Bestimmung des Endenergiebedarfes der Gaswärmepumpe $Q_{w,f}$ und der Hilfsenergie für den Warmwasserbetrieb $W_{w,gen}$ erfolgt anhand der Nennleistung P_n , des thermischen Nutzungsgrades $\eta_{w,a}$ nach VDI 4650 Blatt 2 und der elektrischen Leistungsaufnahme P_{aux} gemessen im Betrieb und bei Stillstand der Gaswärmepumpe. Diese Werte werden als Produktwerte nach VDI 4650 Blatt 2 bestimmt, alternativ können Standardwerte verwendet werden.

Berechnung der Endenergie für den Wärmeerzeuger $Q_{w,f}$

Der Endenergiebedarf der Gaswärmepumpe für den Warmwasserbetrieb $Q_{w,f}$, bezogen auf den Brennwert, berechnet sich nach

$$Q_{w,f} = Q_{w,outg} \cdot f_{Hs/Hi} / \eta_{w,a} \quad (15)$$

Dabei ist

- $Q_{w,f}$ die Endenergie für den Trinkwarmwassererzeuger/die Sorptions-Gaswärmepumpe (im Monat) in kWh,
- $Q_{w,outg}$ die verbleibende Erzeugernutzwärmeabgabe der Gaswärmepumpe an das Trinkwarmwassersystem (im Monat) in kWh, entsprechend Abschnitt 6.4 entspricht dieser Wert $Q_{w,outg}^*$,
- $\eta_{w,a}$ thermischer Nutzungsgrad Trinkwarmwasserbereitung,

ANMERKUNG Vereinfacht wird der thermische Nutzungsgrad für den Warmwasserbetrieb $\eta_{w,a}$ als konstant angenommen.

- $f_{Hs/Hi}$ das Brennwert-Heizwert-Verhältnis des verwendeten Brennstoffes.

Der thermische Nutzungsgrad Trinkwarmwasserbereitung $\eta_{w,a}$ ist eine unter Prüfbedingungen nach VDI 4650 Blatt 2 ermittelte Größe und wird in die Berechnung der monatlichen Endenergien für den Warmwasserbetrieb ohne weiteren Korrekturen eingesetzt.

Bei Anlagen mit solarunterstützter Warmwasserbereitung wird analog der in 6.4.1 genannten Bewertungsmethodik vorgegangen. Der ermittelte Energieeintrag der Solaranlage $Q_{w,sol}$ wird von der Erzeugernutzwärmeabgabe an das Trinkwassersystem abgezogen.

Hilfsenergie zum Betrieb der Gaswärmepumpe im Warmwasserbetrieb

Der Hilfsenergiebedarf zum Betrieb der Gaswärmepumpe $W_{w,gen}$ wird mit der elektrischen Leistungsaufnahme $P_{w,gen,aux}$ der Gaswärmepumpe (gemessen bei Nennlast der Gaswärmepumpe) und der elektrischen Leistungsaufnahme bei Stillstand $P_{aux,P0}$ (gemessen im Schlumberbetrieb der Gaswärmepumpe) berechnet.

$$W_{w,gen} = P_{w,gen,aux} \cdot t_{w,Pn,day} \cdot d_{op,mth} + P_{aux,P0} \cdot (24 - t_{w,Pn,day}) \cdot (d_{op,mth} - t_{h,rB}) \quad (16)$$

Dabei ist

$W_{w,gen}$	der Hilfsenergiebedarf der Gaswärmepumpe zur Trinkwarmwasserbereitung (im Monat), in kWh,
$P_{w,gen,aux}$	die elektrische Leistungsaufnahme im Warmwasserbetrieb der Gaswärmepumpe, in kW,
$P_{aux,P0}$	die elektrische Leistungsaufnahme der Gaswärmepumpe bei Stillstand, in kW,
$d_{op,mth}$	die Betriebsdauer für Trinkwarmwasser (im Monat), in h,
$t_{w,Pn,day}$	die Tageslaufzeit der Gaswärmepumpe zur Trinkwassererwärmung (siehe Gleichung (88)), in h,
$t_{h,rB}$	die rechnerische Betriebszeit (im Monat), in d.

Randbedingungen für die Standardwerte

Liegen keine Produktkennwerte vor, so können für die Berechnung des Endenergiebedarfes der Gaswärmepumpe $Q_{w,f}$ und der Hilfsenergie für den Warmwasserbetrieb $W_{w,gen}$ die Standardwerte nach Tabelle 7 angenommen werden.

Wenn zur Berechnung die Standardwerte für Gaswärmepumpe angewandt werden, müssen die nach VDI 4650 Blatt 2 gemessenen Produktwerte der eingebauten Gaswärmepumpe mindestens die Standardwerte aufweisen.

Wenn produktspezifische Kennwerte angewandt werden, dann sind sowohl der thermische Nutzungsgrad als auch die elektrische Leistungsaufnahme produktspezifisch zu verwenden.

Tabelle 7— Standardwerte zur Bewertung der Gaswärmepumpe für den Warmwasserbetrieb

Bewertungsgrößen			Standardwert	
Thermischer Nutzungsgrad Trinkwarmwasserbereitung		$\eta_{w,a}$	1,0	
Elektrische Leistungsaufnahme	Betrieb	$P_{w,gen,aux}$	Wärmequelle Außenluft	$0,022 \cdot P_n$
			Andere Wärmequellen	$0,012 \cdot P_n$
	Stillstand	$P_{aux,P0}$	0,02 kW	
Dabei ist				
P_n	die Nennleistung der Gaswärmepumpe, in kW.			

10 Zusammenfassung

Die Bundesregierung hat mit dem Energiekonzept eine relativ klare Vorgabe gemacht, wie sie sich die zukünftige Energieversorgung in Deutschland aus heutiger Sicht vorstellt: umweltschonend, zuverlässig und bezahlbar. Vor dem Hintergrund steigender Energiepreise, einer weitgehenden Importabhängigkeit, CO₂-verursachter Klimaveränderungen und des in der Bevölkerung ausgeprägten Wunsches nach einem höheren erneuerbaren Anteil sind die Vorgaben des Energiekonzepts nachvollziehbar.

Der Wärmemarkt hat mit rund 40 % den höchsten Anteil am Energieverbrauch in Deutschland. Bis 2020 ist in diesem Bereich bereits eine signifikante CO₂-Emissionsminderung geplant und bis 2050 soll eine Senkung des Primärenergiebedarfes um 80 % im Wärmemarkt erfolgen. Diese definierten Ziele erfordern neben der Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien den Einsatz innovativer Effizienztechnologien. Dezentrale und systemintegrierende moderne Heiztechnologien können eine verlässliche Zukunftsperspektive für eine nachhaltige Wärmeversorgung eröffnen, die eine politisch und gesellschaftlich angestrebte deutliche Verringerung des Energieverbrauchs mit sich bringt.

Der deutsche Gebäudebestand wird aktuell durch Heizkessel als Wärmeerzeuger dominiert (49,1% aller deutschen Wohnungen wurden im Jahr 2011 mit Erdgas und ca. 29,3% mit Heizöl beheizt). Für eine weitere Effizienzsteigerung im Bereich der Gas-/Ölgeräte für die zukünftige Beheizung des Gebäudebestands (auch Neubaus) stellen brennstoffbetriebene Sorptionswärmepumpen eine erfolgversprechende Technologie dar. Dies wird durch entsprechende Entwicklungsaktivitäten führender Hersteller belegt. Am Markt sind aktuell Gaswärmepumpen verfügbar, die sich aufgrund der Nennwärmeleistung für den Einsatz im Neubau bzw. energetisch sanierten Gebäudebestand (Ein- und Zweifamilienhausbereich) oder für mittelgroße Mehrfamilienhäuser eignen.

Gerade für diese Technologie ergeben sich jedoch Probleme bei der energetischen Bewertung im Rahmen der Energieeinsparverordnung und der darauf aufbauenden Regelungen wie z.B. das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz oder die KfW-Effizienzhausförderung. Es gibt einen dringenden Bedarf an einem qualifizierten Verfahren für die energetische Bewertung von Gaswärmepumpen innerhalb der Systemnormung, um einen sachgerechten Vergleich mit anderen Technologien zu ermöglichen. Ein qualifiziertes Bewertungsverfahren ist gleichzeitig Voraussetzung für die Planung eines energieeffizienten Wärmepumpeneinsatzes, da erst dadurch die Effekte wesentlicher Einflussparameter sichtbar werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Prüfstandsmessungen von Gaswärmepumpen ausgewertet und ein Simulationsmodell zur Beschreibung des Verhaltens von Gaswärmepumpen bei unterschiedlichen Betriebszuständen erstellt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der durchgeführten Simulationsrechnungen und der im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsvorhabens gewonnen Erkenntnisse zur Betriebsweise von Sorptions-Gaswärmepumpen wurde ein Berechnungsansatz zur normativen Bewertung der Sorptions-Gaswärmepumpen abgeleitet.

Bei dem Berechnungsansatz und dem daraus abgeleiteten Bewertungsvorschlag, der in die Systematik der DIN V 18599 passt, wurde darauf geachtet, dass der Detaillierungsgrad analog zur Bewertung anderer Technologien ist, wesentliche energetische Einflussfaktoren berücksichtigt werden und eine ausreichende Übereinstimmung mit realen Energieverbräuchen vorhanden ist.

Der Berechnungsansatz basiert auf den thermischen Nutzungsgraden für Raumheizung und Warmwasserbereitung nach VDI 4650 Blatt 2 sowie auf der mittleren elektrischen Leistungsaufnahme im Betrieb und im Stillstand der Gaswärmepumpe. Aufgrund von zum Teil unterschiedlichen Betriebscharakteristika wurden für die Adsorptions- und Absorptions-Gaswärmepumpen unterschiedliche Ansätze für die Bestimmung des Nutzungsgrades im Betrieb in Abhängigkeit von der Belastung der Gaswärmepumpe gewählt. Als Eingangsparameter des vorgeschlagenen Berechnungsansatzes zur energetischen Bewertung von Adsorptions-Gaswärmepumpen werden zusätzlich die untere Modulationsgrenze der Wärmepumpe $P_{\text{int,lower}}$ und die Nennleistung des Wärmepumpenmoduls $P_{\text{n,WP}}$ festgelegt.

Der Nutzungsgrad im Betrieb wird auf die Auslegungstemperatur und den Belastungsgrad der Sorptions-Gaswärmepumpe korrigiert, dieser wird in Abhängigkeit von der monatlichen rechnerischen Laufzeit der Heizung und der Nennleistung der GWP ermittelt. Durch die Berücksichtigung der konkreten Betriebsbedingungen der Sorptions-Gaswärmepumpe werden die differierenden Deckungsanteile der energetisch völlig unterschiedlich effizienten Wärmepumpenmodule und Spitzenlastbrenner erfasst. So kann z.B. eine Adsorptions-Gaswärmepumpe je nach Belastungsgrad überwiegend im reinen Wärmepumpenbetrieb, überwiegend im Mischbetrieb oder im Direktheizbetrieb betrieben werden. Je höher der Anteil des Wärmepumpenbetriebes ist, desto höheren Jahresnutzungsgrad erreicht die Anlage. Daher wird beim Einsatz einer GWP mit derselben Nennwärmeleistung ein höherer Jahresnutzungsgrad in einem Gebäude mit niedrigerer Heizlast ermittelt als in einem Gebäude mit einer höheren Gebäudeheizlast.

Zusätzlich ist der Einfluss des Betriebsregimes (intermittierend, durchgängig) auf die Effizienz des Gesamtsystems im vorgeschlagenen Bewertungsansatz deutlich zu erkennen. Unter Berücksichtigung der Betriebsspezifika der Gaswärmepumpen ist es daher sinnvoll, die Betriebsweise so zu optimieren, dass die Wärmebereitstellung durch die Gaswärmepumpe überwiegend in einem für den Wärmeerzeuger optimalen Lastpunkt erfolgt. So führt der durchgängige Betrieb zur Verlängerung der Phasen, in denen die Wärmebereitstellung in einem für die Adsorptions-Gaswärmepumpe effizienteren Lastpunkt erfolgt. Demgegenüber steht jedoch ein durch den durchgängigen Betrieb erhöhter Wärmeenergiebedarf. Es ist daher zu untersuchen, ob der energetische Mehraufwand für die durchgehende Betriebsweise durch die höhere Energieeffizienz bei niedrigen Belastungsgraden im konkreten Auslegungsfall ausgeglichen werden kann. Für die im Rahmen des Forschungsvorhabens betrachteten Varianten mit Adsorptions-GWP ist ein durchgängiger Betrieb aus energetischen Sicht zu empfehlen. Dieser bewirkt eine Erhöhung der Effizienz des Gesamtsystems gegenüber einer intermittierenden Betriebsweise.

Im Ergebnis der vorgeschlagenen Bewertungsmethodik wird der Endenergiebedarf der Sorptions-Gaswärmepumpe für die Raumheizung und für die Warmwasserbereitung ermittelt. Der Brennstoffbedarf und der Hilfsenergiebedarf werden separat ausgewiesen.

Erwarteter Nutzen und Umsetzung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Die geplante Umsetzung in einer durch die EnEV in Bezug genommenen Norm stellt eine äußerst schnelle Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse in die Planungspraxis sicher. Gleichzeitig fördert eine physikalisch-technisch korrekte Bewertung die Entwicklungsaktivitäten der Hersteller, da der energetische Vorteil besserer Produkte glaubhaft nachgewiesen werden kann. Durch den neuen Bewertungsvorschlag wird die Situation im Bereich der Systemnormung verbessert, was gleichzeitig die Markteintrittsbarrieren für die Gaswärmepumpentechnologie im kleinen Leistungsbereich verringern kann.

11 Literaturverzeichnis

- [BDEW, 2012] Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland 2012, Beheizungssysteme im Neubau Entwicklung seit 2000
- [DIN 4702-8] Heizkessel – Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors, Ausgabe März 1990
- [DIN V 18599] Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-10, Ausgabe Februar 2007
Teile 1-11, Ausgabe Dezember 2011
- [DIN V 4108-6] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Ausgabe Juni 2003
- [DIN V 4701-10] Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe August 2003
- [EnEV 2009] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29.04.2009 (Energieeinsparverordnung – EnEV)
- [EnEV 2014] Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013
- [Heikrot, 2011] Prof. Heikrodt, „Zukünftige Anforderungen an das EU Ecolabel für Heizgeräte in Warmwasser-Heizungsanlagen“, Hochschule Ostwestfalen Lippe, 2011
- [IE Leipzig, 2011] iE Leipziger Institut für Energie GmbH: Weltweite Gaswärmepumpenaktivitäten Marktanalyse im Heizungsmarkt für Wohngebäude, Leipzig, 2011
- [ifeu, 2008] ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, WI - Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH: MINI-Technologiefolgenabschätzung Gas-Wärmepumpe, Heidelberg, Wuppertal, 2008
- [ITG/Kleemann, 2010] ITG Dresden, Beratungsbüro für Energieeffizienz und Umweltschutz Bergheim: Potenzial der Gaswärmepumpentechnologie, Dresden, Bergheim, 2010
- [ITG/TU, 2012] ITG Dresden, TU Dresden: Anforderungen an Gaswärmepumpen für den Gebäudebestand, Dresden, 2012
- [Kleemann, 2011] Manfred, Kleemann: Auswirkungen des Energiekonzeptes der Bundesregierung auf den Wärmemarkt, Bergheim, 2011
- [Knorr, et al., 2011] Dr.-Ing. M. Knorr, et al.: Energieoptimiertes Bauen. Energetische Gesamtanalyse, Bewertung und Verbesserung von komplexen HLK-Systemen für Wohngebäude unter Berücksichtigung wärmephyologischer Aspekte, Fraunhofer IRB Verlag, 2011

- [Perschk, 2014] B. Perschk: Interdisziplinäre Projektarbeit - Erstellung und Validierung eines Modells von Sorptions-Gaswärmepumpen innerhalb des numerischen Simulationsprogrammes TRNSYS, 2014.
- [Seifert, 2009] Dr.-Ing. J. Seifert: Ein Beitrag zur Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotenziale von Regelverfahren in der Heizungstechnik, TU Dresden, 2009
- [VDI 4650-2] Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresheizzahl und des Jahresnutzungsgrades von Sorptionswärmepumpenanlagen, Gas-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung, Blatt 2, Entwurf Dezember 2011
- [WSchV 82] II. Verordnung über einen energieeinsparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 24.02.1982 (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV)
- [WSchV 94] Verordnung über einen energieeinsparenden Wärmeschutz bei Gebäuden vom 16.08.1994 (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV)
- [Zensus, 2011] Zensus 2011: Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland, Erste Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2014
- [Ziegler, 2010] Prof. Dr.-Ing. F. Ziegler: Gutachten zu den Aufstellungsbedingungen von Sorptionswärmepumpen mit NH₃ als Arbeitsmittel, TU Berlin, 2010

12 Anhang

12.1 Erweiterungen Type 201

Die zur Abbildung von GWP im Type 201 erforderlichen Anpassungen/Erweiterungen in Form von neuen Parameterdateien, Inputs und Outputs werden im Folgenden auszugsweise genannt.

Die produktspezifischen Parameterdaten werden auf vier Eingabedateien verteilt. Das sind sowohl die allgemeinen Parameter (z.B. maximale Heizleistung, Zeitdauer des Anfahrvorganges) als auch 18 Koeffizienten zur Ermittlung der Sole- und Brennerleistung sowie der elektrischen Leistungsaufnahme der GWP (s. Tabelle 1 und 2).

Tabelle 1: Allgemeine Parameter der GWP

Parameter	Beschreibung
hh1	maximale Heizleistung [kW]
hh2	minimale Heizleistung [kW]
hh3	Heizleistung während des Anfahrvorganges [kW]
hh4	Zeitdauer des Anfahrvorganges [h]
hh5	Zeitdauer des Aufheizvorganges [h]
hh6	Zeitdauer des Abschaltvorganges [h]
hh7	maximaler Massenstrom [kg/s]

Tabelle 2: Koeffizienten zur Bestimmung der Brenner- und Soleleistung sowie der elektrischen Leistungsaufnahme

Parameter			Beschreibung
Brennerleistung (wp_bh)	Soleleistung (wp_sh)	elektrische Leistungsaufnahme (wp_eh)	
bh1	sh1	eh1	jeweils erster Koeffizient bei 1. Heizkreistemperaturpaarung
bh2	sh2	eh2	jeweils zweiter Koeffizient bei 1. Heizkreistemperaturpaarung
bh3	sh3	eh3	jeweils dritter Koeffizient bei 1. Heizkreistemperaturpaarung
bh4	sh4	eh4	jeweils erster Koeffizient bei 2. Heizkreistemperaturpaarung
bh5	sh5	eh5	jeweils zweiter Koeffizient bei 2. Heizkreistemperaturpaarung
bh6	sh6	eh6	jeweils dritter Koeffizient bei 2. Heizkreistemperaturpaarung

Die Variablennamen der im Simulationsmodell für Gaswärmepumpen relevanten Inputs, Outputs und Parameter im Type 201 stellt Tabelle 3 dar.

Tabelle 3: Inputs, Outputs und erforderliche Parameter zur Abbildung der GWP im Type 201

	Variablenname	Beschreibung	Einheiten
Inputs	T201MS	Massestrom Sole	[kg/s]
	T201TES	Eintrittstemperatur aus der Sole	[°C]
	T201MHK	Massestrom Heizkreis	[kg/s]
	T201EHK	Eintrittstemperatur aus dem Heizkreis	[°C]
	T201UTHK	Umgebungstemperatur des Heizkreiseintrittes	[°C]
	T201UTS	Umgebungstemperatur des Soleeintrittes	[°C]
	T201yhpreal	Analoges Regelsignal der Wärmepumpe	[0=aus bis 1=an]
	T201t_Vs	Sollvorlauftemperatur	[°C]
Outputs	T201PWPsyst	Leistungsaufnahme des WP-Systems	[W]
	T201COPaus	COP Bilanz außen	
	T201COPin	COP Bilanz innen	
	T201mode	Betriebsmodus der Wärmepumpe	
	T201schalt	Anzahl der Schaltvorgänge	
	T201dtschalt	Vergangene Zeit seit dem letzten Startvorgang	[s]
	T201TSIN	Eintrittstemperatur aus der Sole	[°C]
	T201TSOUT	Austrittstemperatur in die Sole	[°C]
	T201THKIN	Eintrittstemperatur aus dem Heizkreis	[°C]
	T201THKOUT	Austrittstemperatur in den Heizkreis	[°C]
	T201QB	Mittlere Brennerleistung	[W]
	T201QHK	Mittlere Heizkreisleistung	[W]
	T201QS	Mittlere Soleentzugsleistung	[W]
Parameter	wp_art	Wärmepumpenart	1=LWWP
			2=SWWP
			3=WWWP
			4=GAdWP
			5=GAbWP
	t_np	Minimale Niederdrucktemperatur	[°C]
	t_hp	Maximale Hochdrucktemperatur	[°C]
	tau_min	Mindestlaufzeit der Wärmepumpe	[h]
	thka EN14511h	Heizkreis Temperatur EN14511 (Heizen)	[°C]
	tse EN14511h	Sole Temperatur EN14511 (Heizen)	[°C]
	cps	Spezifische Wärmekapazität Solefluid	[J/(kg*K)]
	cphk	Spezifische Wärmekapazität Heizkreisfluid	[J/(kg*K)]
	dp_WUE_K	Druckverlust des Wärmeübertragers auf der Heizkreisseite	[Pa]
q_K	Nennvolumenstrom des Heizkreis	[m³/h]	
dp_WUE_V	Druckverlust des Wärmeübertragers auf der Soleseite	[Pa]	
q_V	Nennvolumenstrom der Sole	[m³/h]	

12.2 Produktdatenblätter¹⁰

Vaillant, zeoTHERM	
Modell	VAS 106/4, VAS156/4
Nennwärmeleistung	1,5 – 10,2 kW 1,5 – 15,0 kW
Betriebsweise	Modulierend
Gesamt-Jahresnutzungsgrad nach VDI 4650 Blatt 2	1,40 (Heiznetz 35/28°C) 1,33 (Heiznetz 55/45°C)
Gesamt-Jahresheizzahl nach VDI 4650 Blatt 2	1,37 (Heiznetz 35/28°C) 1,30 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Adsorptions-Gaswärmepumpe
Sorptionsmittel	Zeolith
Kältemittel	Wasser
Geräteabmessungen (B x T x H)	772 x 718 x 1.700 mm
Gewicht	160 kg (mögliche Teilung des Geräts zum Transport)
Aufstellung	Standgerät, Innenaufstellung
Wärmequelle	Solarthermie
Markteinführung	1. Halbjahr 2010 (10 kW) 2. Halbjahr 2012 (15 kW)

¹⁰ Die technischen Daten zum jeweiligen Produkt sowie die GWP-Bilder sind den Produktdatenblättern bzw. der Internetpräsenz des jeweiligen Herstellers/Heiztechnikianbieters entnommen. Die ausgewiesenen Nutzungsgrade und Heizzahlen sind den Prüfberichten zur Leistungsmessung gemäß VDI 4650 Blatt 2 entnommen.

<p style="text-align: center;">Viessmann, VITOSORP 200-F</p>		
Modell	VITOSORP 200-F	
Nennwärmeleistung	10 kW (15 kW im Warmwasserbetrieb)	
Betriebsweise	Modulierend	
Gesamt-Jahresnutzungsgrad nach VDI 4650 Blatt 2	Wärmequelle Erdreich, ohne sol. TWE	1,28 (Heiznetz 35/28°C) 1,21 (Heiznetz 55/45°C)
	Wärmequelle Solar	1,58 (Heiznetz 35/28°C) 1,48 (Heiznetz 55/45°C)
Gesamt-Jahresheizzahl nach VDI 4650 Blatt 2	Wärmequelle Erdreich, ohne sol. TWE	1,23 (Heiznetz 35/28°C) 1,17 (Heiznetz 55/45°C)
	Wärmequelle Solar	1,51 (Heiznetz 35/28°C) 1,42 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Adsorptions-Gaswärmepumpe	
Sorptionsmittel	Zeolith	
Kältemittel	Wasser	
Geräteabmessungen (B x T x H)	600 x 580 x 1.870 mm	
Gewicht	< 170 kg (mögliche Teilung des Geräts zum Transport)	
Aufstellung	Standgerät, Innenaufstellung	
Wärmequelle	Erdreich, Solarthermie	
Markteinführung	2. Halbjahr 2013 (mit Wärmequelle Erdreich) voraussichtlich 2. Halbjahr 2014 (mit Wärmequelle Solar)	

<p style="text-align: center;">Robur, E³GS</p>	
Modell	E ³ GS HT, E ³ GS LT
Maximale Leistung	42,6 kW (B0/W35)
Betriebsweise	Modulierend (1:2)
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,58 (Heiznetz 35/28°C) 1,47 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,48 (Heiznetz 35/28°C) 1,38 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser (7 kg/10 kg)
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 690 x 1.278 mm
Gewicht	300 kg
Aufstellung	Standgerät, Innen-/ Außeninstallation
Wärmequelle	Erdreich
Markteinführung	Frühjahr 2009 (zur ISH 2009)

<p>Robur, E³WS</p>	
Modell	E ³ WS
Maximale Leistung	41,6 kW (W10/W50)
Betriebsweise	Modulierend (1:2)
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,60 (Heiznetz 35/28°C, $t_{\text{Verd,ein}}=7^{\circ}\text{C}$) 1,64 (Heiznetz 35/28°C, $t_{\text{Verd,ein}}=10^{\circ}\text{C}$) 1,49 (Heiznetz 55/45°C, $t_{\text{Verd,ein}}=7^{\circ}\text{C}$) 1,53 (Heiznetz 55/45°C, $t_{\text{Verd,ein}}=10^{\circ}\text{C}$)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser (7,7 kg/10 kg)
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 690 x 1.278 mm
Gewicht	300 kg
Aufstellung	Standgerät, Innen-/ Außeninstallation
Wärmequelle	Wasser
Markteinführung	Frühjahr 2009 (zur ISH 2009)

<p>Robur, E³A</p>	
Modell	E ³ A HT, E ³ A LT
Maximale Leistung	41,7 kW (A7/W35)
Betriebsweise	Modulierend (1:2)
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,49 (Heiznetz 35/28°C) 1,36 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,4 (Heiznetz 35/28°C) 1,3 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser (7 kg/10 kg)
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 1258 x 1.537 mm
Gewicht	400 kg
Aufstellung	Standgerät, Außeninstallation
Wärmequelle	Außenluft
Markteinführung	Frühjahr 2009 (zur ISH 2009)

<p>Bosch Thermotechnik, Buderus Logatherm GWPS41</p>	
Modell	GWPS41
Maximale Leistung	42,9 kW (B0/W35)
Betriebsweise	Modulierend
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,58 (Heiznetz 35/28°C) 1,47 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,48 (Heiznetz 35/28°C) 1,38 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 691 x 1.278 mm
Gewicht	300 kg
Aufstellung	Standgerät, Inneninstallation
Wärmequelle	Erdreich
Markteinführung	2. Halbjahr 2012

<p>Bosch Thermotechnik, Buderus Logatherm GWPW41</p>	
Modell	GWPW41
Maximale Leistung	41,6 kW (W10/W50)
Betriebsweise	Modulierend
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,60 (Heiznetz 35/28°C, $t_{\text{Verd,ein}}=7^{\circ}\text{C}$) 1,64 (Heiznetz 35/28°C, $t_{\text{Verd,ein}}=10^{\circ}\text{C}$) 1,49 (Heiznetz 55/45°C, $t_{\text{Verd,ein}}=7^{\circ}\text{C}$) 1,53 (Heiznetz 55/45°C, $t_{\text{Verd,ein}}=10^{\circ}\text{C}$)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 691 x 1.278 mm
Gewicht	300 kg
Aufstellung	Standgerät, Inneninstallation
Wärmequelle	Wasser
Markteinführung	2. Halbjahr 2012

<p>Bosch Thermotechnik, Buderus Logatherm GWPL41</p>	
Modell	GWPL41
Maximale Leistung	41 kW (A7/W35)
Betriebsweise	Modulierend
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,49 (Heiznetz 35/28°C) 1,36 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,4 (Heiznetz 35/28°C) 1,3 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 1258 x 1.537 mm
Gewicht	395 kg
Aufstellung	Standgerät, Außeninstallation
Wärmequelle	Außenluft
Markteinführung	1. Halbjahr 2011

<p>De Dietrich Remeha, Gas HP 35 A HT LC</p>	
Modell	Gas HP 35 A HT LC
Nennleistung	38 kW
Betriebsweise	Modulierend (1:2)
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,49 (Heiznetz 35/28°C) 1,36 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,4 (Heiznetz 35/28°C) 1,3 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser
Geräteabmessungen (B x T x H)	852 x 1.244 x 1.515 mm
Gewicht	400 kg
Aufstellung	Standgerät, Außeninstallation
Wärmequelle	Außenluft
Markteinführung	Nach Robur-Markteinführung

<p>OERTLI-ROHLEDER Wärmetechnik, GAWP 40 SW (Baugleich mit Robur E³GS)</p>	
Modell	GAWP 40 SW HT, GAWP 40 SW LT
Maximale Leistung	42,6 kW (B0/W35)
Betriebsweise	Modulierend (1:2)
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,58 (Heiznetz 35/28°C) 1,47 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,48 (Heiznetz 35/28°C) 1,38 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser (7 kg/10 kg)
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 691 x 1.278 mm
Gewicht	300 kg
Aufstellung	Standgerät, Inneninstallation
Wärmequelle	Erdreich
Markteinführung	Nach Robur-Markteinführung

<p>OERTLI-ROHLEDER Wärmetechnik, GAWP 35 LW</p>	
Modell	GAWP 35 LW HT, GAWP 35 LW LT
Maximale Leistung	38,4 kW (A7/W35)
Betriebsweise	Modulierend (1:2)
Jahresnutzungsgrad für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,49 (Heiznetz 35/28°C) 1,36 (Heiznetz 55/45°C)
Jahresheizzahl für die Raumheizung nach VDI 4650 Blatt 2	1,4 (Heiznetz 35/28°C) 1,3 (Heiznetz 55/45°C)
GWP-Technologie	Absorptions-Gaswärmepumpe
Kältemittelgemisch	Ammoniak/Wasser (7 kg/10 kg)
Geräteabmessungen (B x T x H)	848 x 1258 x 1.537 mm
Gewicht	400 kg
Aufstellung	Standgerät, Außeninstallation
Wärmequelle	Außenluft
Markteinführung	Nach Robur-Markteinführung