



Academy for Professionals

Studiengang
Holzbau und Energieeffizienz

Master-Thesis

**Betrachtung der Wärmepumpentauglichkeit von
Bestandswohngebäuden anhand von Praxisbeispielen**

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Harald Krause
Zweitprüfer: Prof. Uli Spindler

Hochschule: Technische Hochschule Rosenheim
Hochschulstraße 1
83024 Rosenheim

Erstellt von: Stephan Eichler
Matrikelnummer: 1006773

Abgabedatum: 15.02.2024

Kurzfassung

Derzeit existiert bei einem Großteil der Bevölkerung die Vorstellung, dass Wärmepumpen nur in Neubauprojekten effizient arbeiten können oder aber eine Fußbodenheizung eine zwingende Voraussetzung für den Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden ist. Ebenso werden viele Hausbesitzer mit pauschalierten, horrenden Sanierungskosten vor dem Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden abgeschreckt.

Da jedes Gebäude anders und individuell ist, gibt es keine generelle Aussage, was für den Einsatz einer Wärmepumpe bei einem Bestandswohngebäude notwendig ist. Meistens sind die Kosten (vorbereitende Maßnahmen und der Einbau selbst) von Wärmepumpen in Bestandswohngebäuden deutlich geringer als vermutet.

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, anhand von 10 zufällig ausgewählten Bestandswohngebäuden, diese auf eine exemplarische Wärmepumpentauglichkeit zu untersuchen. Darüber hinaus wird anhand von objektbezogenen Analysen eine jeweils spezifische Gebäudeoptimierung vorgenommen, die für einen effizienten Einsatz einer Wärmepumpe notwendig wäre.

Abschließend wird auf den durchgeführten Optimierungsvarianten die Berechnung der Jahresarbeitszahlen (JAZ) gemäß dem JAZ-Rechner des Bundesverband Wärmepumpe e. V. auf Basis der CHA-Monoblock Wärmepumpe der Firma Wolf GmbH aus Mainburg durchgeführt.

Schlagwörter:

Wärmepumpe, Bestandswohngebäude, Jahresarbeitszahl, Wärmepumpentauglichkeit, Effizienz

Abstract

At present, a large part of the population believes that heat pumps can only work efficiently in new buildings, or that underfloor heating is a prerequisite for the use of a heat pump in existing residential buildings. Similarly, many homeowners are deterred from installing a heat pump in existing homes by the horrendous lump sum cost of retrofitting.

As every building is different and individual, there is no general statement about what is necessary to install a heat pump in an existing residential building. In most cases, the costs (preparation and installation) of heat pumps in existing residential buildings are significantly lower than expected.

The aim of this Master's thesis is to investigate the suitability of heat pumps in 10 randomly selected existing residential buildings. In addition, a specific building optimisation, which would be necessary for the efficient use of a heat pump, is carried out on the basis of object-related analyses.

Finally, the annual coefficients of performance (COP) are calculated using the COP calculator of the German Heat Pump Association on the basis of the CHA monoblock heat pump from Wolf GmbH in Mainburg.

Keywords:

Heat pump, existing residential buildings, annual coefficient of performance, heat pump suitability, efficiency

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei meinem Erstprüfer Herrn Prof. Dr. rer. nat. Harald Krause, sowie bei meinem Zweitprüfer, Herrn Prof. Ulrich Spindler, für die wissenschaftliche und fachliche Betreuung sowie für die Themen- bzw. Aufgabenstellung bedanken.

Ein besonderer Dank geht an alle Hauseigentümer, die die notwendigen und erforderlichen Objektdaten für die praxisnahen Simulationen bereitgestellt haben. Ohne diese Datengrundlage wäre die Masterarbeit nicht möglich gewesen.

Danken möchte ich auch meinem Vater, Herrn Dr. techn. Klaus Eichler, für die vielfältige Unterstützung in Form von zahlreichen Gesprächen, Diskussionen und Anregungen während meines berufsbegleitenden Studiums, der Masterarbeit und bei der Gründung meiner Selbständigkeit.

Abschließend auch ein Dank an meine Partnerin, Daniela Rothmaier, die mich während meines Studiums und des Verfassens meiner Masterarbeit mental unterstützt hat.

Motivation

Nachhaltigkeit und Klimaschutz sind in den meisten Bereichen unseres alltäglichen Lebens präsent. In vielen Bereichen des Alltags entscheiden sich die Menschen aktiv für die Nachhaltigkeit und den Klimaschutz; sei es für die Initiative grüner Knopf (nachhaltige Textilien) oder die Siegel Öko, Bio bzw. Fairtrade.

Leider galt dies lange Zeit nicht für den Bereich der Energieversorgung in Deutschland. Durch günstig importiertes Gas aus Russland wurden alternative Energieversorgungsmethoden viel zu lange von der Politik, Wirtschaft, Industrie und den Privathaushalten ignoriert. Insbesondere Gas ist in vielen Köpfen als umweltfreundlicher, fossiler Energieträger verankert.

Im Januar 2022 wurden Gaskraftwerke von der Europäischen Union offiziell als Brückentechnologie beworben. Es war sogar geplant, Gaskraftwerke mit einem europäischen Ökosiegel zu versehen, um diesen Markt für grüne Finanzinvestments zu öffnen.¹

Ähnlich verhielt es sich mit der Bewertung von neuen Gas-Brennwert Geräten, die effizientere Wirkungsgrade haben und dadurch im Vergleich zu Nieder-Temperaturkessel-Systemen durchaus als umweltverträglich eingestuft werden können.² Fakt ist, dass nach wie vor in Gas-Brennwert Geräten klimaschädliches, fossiles Gas zur Wärmeerzeugung verbrannt wird, nur eben 5 bis 10 % weniger.³

Durch den russischen Angriffskrieg gegen die Ukraine fand ab Ende Februar 2022 ein „radikales“ Umdenken sowohl in der Regierung als auch in der Bevölkerung in Deutschland statt. Die Abhängigkeit von russischem Gas wurde schlagartig zu einem großen Risikofaktor für die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland. Die Brückentechnologie galt nun als gefährdet und man sah sich gezwungen ernsthaft Gedanken über alternative Energiequellen für Industrie, Wirtschaft und für die hohe Anzahl an Bestandswohngebäuden zu machen.

Plötzlich stand die Wärmepumpe im Bereich Wohngebäude nicht mehr nur im Neubau als Heizquelle im Mittelpunkt, sondern sie wurde auch als Alternative zu Heizöl und/oder Gas in Bestandswohngebäuden thematisiert. Allerdings ist die gängige Meinung im Umlauf, dass der Einsatz einer Wärmepumpe in einem Bestandswohngebäude nur mit erheblichem finanziellem und baulichem Aufwand (z.B. mit sehr kostenintensiven zusätzlichen Sanierungsmaßnahmen) möglich ist. Diese Auffassung hält viele Leute vor der Anschaffung einer Wärmepumpe ab.

Der Einbau einer Wärmepumpe in einem Bestandswohngebäude ist aufgrund der komplexen Randbedingungen des immer als Einzelfall zu betrachteten Gebäudeobjekts aber eine sehr interessante Aufgabenstellung und Herausforderung. Eine pauschale Antwort bzw. Lösung gibt es

¹ (Schwarz, 2022)

² (SBZMonteur, 2021)

³ (Krohn, o. J.)

im Voraus auf Basis des aktuellen „Stands der Technik für Wärmepumpen“ nicht. Es bedarf immer einer Betrachtung im Einzelfall.

Neben den ökologischen Aspekten steht bei den meisten Bürgern logischerweise der ökonomische Aspekt im Vordergrund. Auch der Aspekt der Autarkie gewinnt zunehmend an Bedeutung, nicht nur von russischem Gas, sondern generell die Abhängigkeit von externen Energieversorgern.

Durchgeführte Teilsanierungsmaßnahmen an Bestandswohngebäuden aufgrund von Abnutzung und Alterung (z. B. Fenstertausch, Heizungsanlage) und teilweise historisch begründeten überdimensionierten Heizkörperflächen stehen in einer ständigen Wechselwirkung zueinander und beeinflussen positiv und/oder negativ den möglichen sinnvollen Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden.

Angesichts des hohen Stellenwertes bei der aktuellen und zukünftigen Energie- und Wärmeversorgung von Bestandswohngebäuden mit Wärmepumpen drängt sich daher für Verbraucher und Planer folgende Frage auf:

Welchen energetischen Standard erfüllen bzw. weisen die Bestandswohngebäude auf und ist mit dem vorhandenen energetischen Ist-Zustand bzw. mit welchen erforderlichen/notwendigen Sanierungsmaßnahmen ein sinnvoller und wirtschaftlicher Einsatz einer Wärmepumpe möglich?

Der Einsatz von Wärmepumpen wird in den kommenden Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen und umso wichtiger ist es, die ökonomischen und ökologischen Parameter sowie den IST-Zustand der Bestandswohngebäude für den Einsatz einer Wärmepumpe zu kennen.

Vergleichbare Studien wurden bereits durch Herrn Dr. Marek Miara, Koordinator Wärmepumpen am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, in Form eines Feldtests durchgeführt. Hierfür wurden 29 Außenluft-Wärmepumpen im Auswertungszeitraum Juli 2018 bis Juni 2019 betrachtet. Die durchschnittliche Jahresarbeitszahl (JAZ) lag hierbei zwischen 2,5 und 3,8, wobei zwei besonders positive „Ausreiser“ in der Auswertung der Studie nicht berücksichtigt wurden. Der Mittelwert der Jahresarbeitszahl lag bei 3,1.⁴

Seit Beginn des Feldtests vor über fünf Jahren hat sich durch innovative und technische Weiterentwicklungen die Performance von Wärmepumpen, speziell im Bereich der Luft-Wasser Wärmepumpen, signifikant verbessert. Darin besteht nun auch die Motivation dieser Masterarbeit, mit aktuellen technischen Daten der Wärmepumpenhersteller praxisnahe Simulationsergebnisse über den Einsatz von Wärmepumpen in Bestandswohngebäuden zu erhalten. Zusätzlich werden optionale Sanierungsmaßnahmen angesetzt und ihre effizienzsteigernden Auswirkungen auf den Einsatz einer Wärmepumpe erörtert.

⁴ (Wille-Hausmann, 2020)

I. Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	I
ABSTRACT	I
DANKSAGUNG	I
MOTIVATION	I
I. INHALTSVERZEICHNIS	I
II. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
III. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
IV. TABELLENVERZEICHNIS	VI
1. VORWORT	1
1.1 GRUNDLAGEN	1
1.2 WÄRMEPUMPENEIGNUNG	6
1.3 METHODIK.....	9
2. BESTANDBETRACHTUNG	11
2.1 OBJEKT 1: MFH 71131 JETTINGEN.....	11
2.1.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	11
2.1.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	14
2.1.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik	14
2.1.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	15
2.1.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	17
2.1.6 Schlussbemerkung.....	17
2.2 OBJEKT 2: EFH LONSEE	18
2.2.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	18
2.2.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	21
2.2.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik	21
2.2.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	21
2.2.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	22
2.2.6 Schlussbemerkung.....	22
2.3 OBJEKT 3: EFH MITTELBIBERACH.....	23

2.3.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	23
2.3.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	26
2.3.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik.....	26
2.3.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	26
2.3.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	28
2.3.6 Schlussbemerkung.....	29
2.4 OBJEKT 4: MFH IN ULM	30
2.4.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	30
2.4.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	32
2.4.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik.....	32
2.4.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	33
2.4.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	35
2.4.6 Schlussbemerkung.....	35
2.5 OBJEKT 5: EFH IN EBERHARDZELL	37
2.5.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	37
2.5.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	40
2.5.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik.....	40
2.5.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	41
2.5.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	42
2.5.6 Schlussbemerkung.....	42
2.6 OBJEKT 6: EFH IN BAD SAULGAU	43
2.6.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	43
2.6.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	46
2.6.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik.....	46
2.6.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	46
2.6.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	47
2.6.6 Schlussbemerkung.....	48
2.7 OBJEKT 7: EFH IN NEU-ULM	49
2.7.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	49
2.7.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik.....	53

2.7.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	53
2.7.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	55
2.7.6 Schlussbemerkung	55
2.8 OBJEKT 8: EFH IN DOSENHEIM.....	56
2.8.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	56
2.8.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	59
2.8.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik	59
2.8.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	60
2.8.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	61
2.8.6 Schlussbemerkung	62
2.9 OBJEKT 9: DHH IN SCHRIESHEIM	63
2.9.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	63
2.9.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	65
2.9.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik	66
2.9.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	66
2.9.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	68
2.9.6 Schlussbemerkung	69
2.10 OBJEKT 10: EFH IN GRÜNSTADT	70
2.10.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand).....	70
2.10.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen.....	73
2.10.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik	73
2.10.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)	74
2.10.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)	75
2.10.6 Schlussbemerkung	75
3. ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	77
4. AUSBLICK.....	81
V LITERATUR- QUELLENVERZEICHNIS.....	VII
VI ANLAGENVERZEICHNIS	IX
VII EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	X

II. Abkürzungsverzeichnis

BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
EFH	Einfamilienwohnhaus
EM	Einzelmaßnahmen
EPS	Expandiertes Polystyrol
EU	Europäische Union
GWP	Global Warming Potential
HLz	Hochlochziegel
JAZ	Jahresarbeitszahl
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt-Peak
l/h	Liter pro Stunde
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MFH	Mehrfamilienhaus
PU	Polyurethan-Hartschaum
PUR	Polyurethan-Hartschaum
Q _N	Nennwärmeleistung
q _{Norm}	Normleistung
q _R	Raumheizlast
q _{HK} /q _R	Faktor der Überdimensionierung der Heizflächen gegenüber der Raumheizlast
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
U _g	U-Wert des Glases
U _w	U-Wert des Fensters
U _d	U-Wert der Türe
W	Watt
WDVS	Wärmedämmverbundsysteme
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe
WSchV	Wärmeschutzverordnung

III. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Grundriss Mustergebäude	2
Abb. 2: Einflussgrößen auf die berechnete JAZ von Wärmepumpen	6
Abb. 3: Gebäudeansichten Objekt 1	11
Abb. 4: Anlagentechnik Objekt 1	13
Abb. 5: Gebäudeansichten Objekt 2	18
Abb. 6: Anlagentechnik Objekt 2	20
Abb. 7: Gebäudeansichten Objekt 3	23
Abb. 8: Anlagentechnik Objekt 3	25
Abb. 9: Gebäudeansichten Objekt 4	30
Abb. 10: Anlagentechnik Objekt 4	31
Abb. 11: Gebäudeansichten Objekt 5	37
Abb. 12: Anlagentechnik Objekt 5	39
Abb. 13: Gebäudeansichten Objekt 6	43
Abb. 14: Anlagentechnik Objekt 6	45
Abb. 15: Gebäudeansichten Objekt 7	49
Abb. 16: Anlagentechnik Objekt 7	51
Abb. 17: Gebäudeansichten Objekt 8	56
Abb. 18: Anlagentechnik Objekt 8	58
Abb. 19: Gebäudeansichten Objekt 9	63
Abb. 20: Anlagentechnik Objekt 9	65
Abb. 21: Gebäudeansichten Objekt 10	70
Abb. 22: Anlagentechnik Objekt 10	72
Abb. 23: Übersicht Berechnungsergebnisse JAZ	79
Abb. 24: Ausblick JAZ AC312P	82

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnete Heizlast vs. Abgeschätzte Heizlast (IST-Zustand).....	3
Tabelle 2: Berechnete Heizlast vs. Abgeschätzte Heizlast (Sanierung-Zustand)	4
Tabelle 3: Objekt 1 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	13
Tabelle 4: Objekt 1 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	16
Tabelle 5: Objekt 2 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	20
Tabelle 6: Objekt 2 Auflistung Heizkörper Variante 1	22
Tabelle 7: Objekt 3 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	25
Tabelle 8: Objekt 3 Auflistung Heizkörper Variante 1	27
Tabelle 9: Objekt 3 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	28
Tabelle 10: Objekt 4 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	32
Tabelle 11: Objekt 4 Auflistung Heizkörper Variante 1	34
Tabelle 12: Objekt 4 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	35
Tabelle 13: Objekt 5 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	40
Tabelle 14: Objekt 5 Auflistung Heizkörper Variante 1	42
Tabelle 15: Objekt 6 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	45
Tabelle 16: Objekt 6 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	47
Tabelle 17: Objekt 7 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	52
Tabelle 18: Objekt 7 Auflistung Heizkörper Variante 1	54
Tabelle 19: Objekt 7 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	55
Tabelle 20: Objekt 8 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	59
Tabelle 21: Objekt 8 Auflistung Heizkörper Variante 1	60
Tabelle 22: Objekt 8 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	61
Tabelle 23: Objekt 9 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	65
Tabelle 24: Objekt 9 Auflistung Heizkörper Variante 1	68
Tabelle 25: Objekt 9 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	68
Tabelle 26: Objekt 10 Auflistung Heizkörper IST-Zustand	72
Tabelle 27: Objekt 10 Auflistung Heizkörper Variante 2.....	75

1. Vorwort

1.1 Grundlagen

Um den weltweit stattfindenden Klimawandel zu stoppen, hat sich die Bundesrepublik Deutschland zu zahlreichen Maßnahmen verpflichtet, um u. a. den Ausstoß von CO₂-Emissionen in die Umwelt zu reduzieren. Dies soll zum Beispiel durch eine Minimierung des Verbrennens von fossilen Energien gelingen.

Im Jahr 2023 wurde fast jede zweite selbstgenutzte Immobilie mit einer Gasheizung beheizt (49%), gefolgt von einer Ölheizung (24%), somit wurden knapp 75% der in Deutschland vorhandenen selbstgenutzten Immobilien mit fossilen Brennstoffen beheizt.⁵ Selbst im ersten Halbjahr des Jahres 2022 war in 16% der Neubauprojekte noch eine Gasheizung als Wärmeerzeuger vorgesehen.⁶

Spätestens seit dem Angriffskrieg durch Russland auf die Ukraine möchte die EU, insbesondere Deutschland, eine Abkehr von russischem Gas bzw. generell von Gas als Energieträger erreichen. Als alternative Wärmequelle steht für viele Wohngebäude der Einsatz einer Wärmepumpe im Fokus. Das Ziel der Bundesregierung ist es ab 2024 jährlich 500.000 Wärmepumpen in Gebäuden zu verbauen.⁷

Wie zuvor aufgeführt liegt die Vermutung nahe, dass viele Planer sich unzureichend mit dem Einsatz einer Wärmepumpe, speziell in Bestandswohngebäuden, auseinandersetzen. Bestandswohngebäude im Sinne der vorliegenden Studie sind Wohngebäude, die vor dem Jahr 2000 errichtet wurden. Selbst in Neubauprojekten mit in der Regel optimalen energetischen Rahmenbedingungen für den Einsatz von Wärmepumpen werden zum Teil noch fossile Brennstoffe als Energiequelle geplant und eingebaut; eine bedauerliche Tatsache.

Umso schwieriger gestaltet sich der planerische und tatsächlich umzusetzende Ansatz, Wärmepumpen in Bestandswohngebäuden in Betracht zu ziehen. Viele Verbraucher, Handwerksbetriebe und selbst Fachplaner glauben nach wie vor, dass der Einsatz einer Wärmepumpe bei Bestandswohngebäuden mit erheblichen baulichen Umbauten und Sanierungskosten verbunden ist und/oder nur beim Einsatz einer Fußbodenheizung effizient funktioniert. Solche Ansichten werden nicht selten mit entsprechenden Artikeln auf Webseiten beschrieben, in denen der Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden als Herausforderung beschrieben wird.⁸ Derartige Aussagen beruhen zumeist auf pauschalierten Aussagen und auf Basis nicht vorhandener Projektdaten und Statistiken.

⁵ (Calließ, 2023)

⁶ (DESTATIS, 2022)

⁷ (Deutschlandsfunk, 2023)

⁸ (Vilsmeier, 2023)

Diese Masterarbeit soll daher als Bestandsanalyse dienen, die die Wärmepumpentauglichkeit von Bestandswohngebäuden projektspezifisch untersucht und im Weiteren mögliche optionale Sanierungsschritte zur Optimierung eines effizienten Einsatzes einer Wärmepumpe aufzeigt.

Wesentlicher Parameter bei der Betrachtung der Wärmepumpentauglichkeit ist die benötigte raumweise Heizlast; diese wurde früher häufig als überschlägige Heizlast berechnet und beruhte auf der Grundfläche, nicht jedoch auf der Hüll- bzw. Verlustfläche eines Raumes. Auch blieb die individuelle Ausgangssituation eines Raumes außer Betracht (wie z. B. Anzahl der Fensterfläche, Angrenzung an un-/beheizte Räume, ...).

Diese pauschale Betrachtung führte zu einer ungenauen, meist deutlichen Überdimensionierung der Heizflächen in den heutigen Bestandswohngebäuden, was dem Einsatz einer Wärmepumpe allerdings zugutekommen kann. Um eine Überdimensionierung besser zu verstehen, anbei der Grundriss eines Erdgeschosses eines exemplarisch erstellten Wohngebäudes aus dem Baujahr 1990.

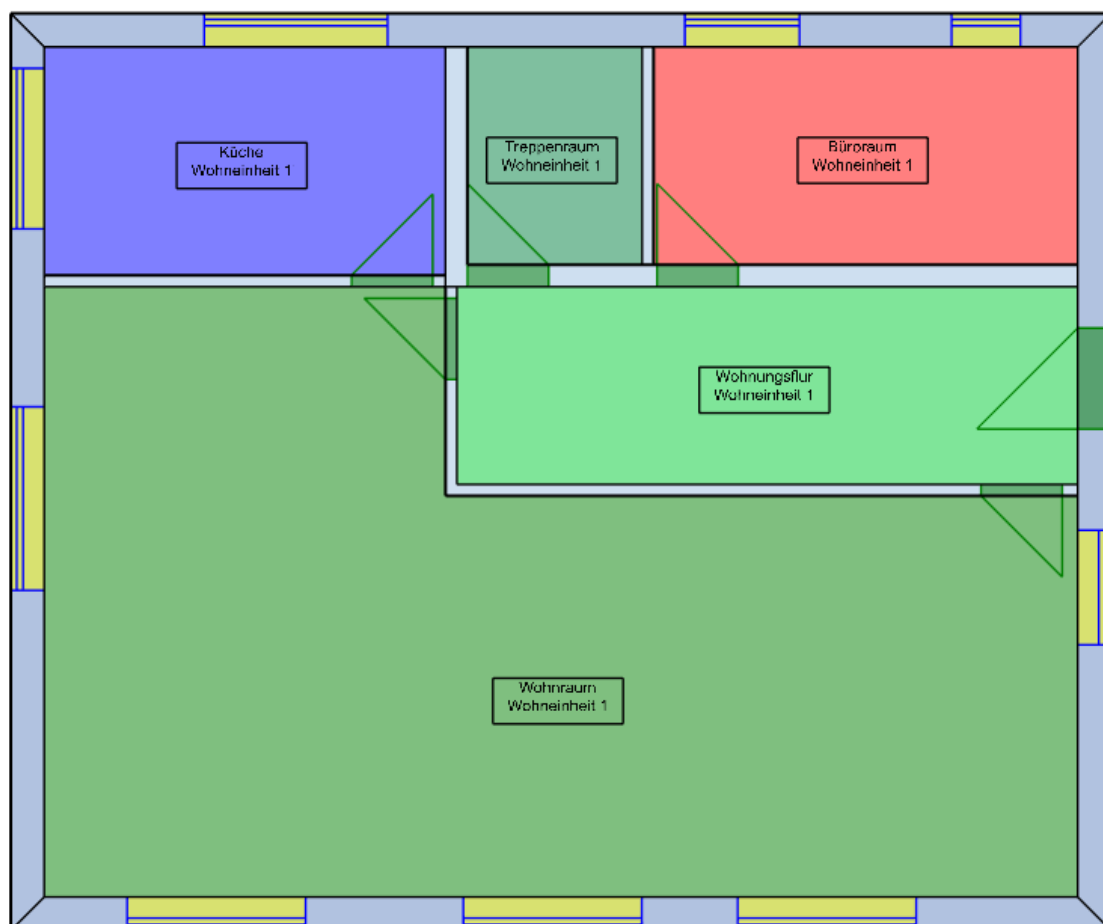


Abb. 1: Grundriss Mustergebäude⁹

⁹ (Eichler, 2023)

Die Hüllfläche wurde exemplarisch der Typologie gewählt und gilt somit als unsaniert:

- Außenwand (U-Wert 0,60 W/(m²K))
- Außentüre (U_d-Wert 2,90 W/(m²K))
- Fenster (U_w-Wert 2,70 W/(m²K))
- Rollladenkasten, ungedämmt (U-Wert 3,00 W/(m²K))
- Dach (U-Wert 0,50 W/(m²K))
- Bodenplatte (U-Wert 0,60 W/(m²K))
- Decken zu unbeheizten Flächen (U-Wert 0,60 W/(m²K))

Das Kellergeschoss sowie das Dachgeschoss werden als vollständig beheizt betrachtet. Als Klimareferenzort für diese Betrachtung wurde Ulm gewählt (Postleitzahl: 89077). Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wird mit der Kategorie C (wurde und wird nicht durchgeführt; mittel) angesetzt. Der Wärmebrückenzuschlag wird mit dem Fall D (0,10) und die Gebäudemassen mit Mittel/Hoch angesetzt. Eine Zusatzaufheizleistung sowie eine Höhenkorrektur werden nicht berücksichtigt. Bei der geschätzten pauschalen Auslegung der Heizlast pro Quadratmeter wird gemäß Baujahr eine Heizlast von 75 (W/m²) angesetzt. Dieser Wert wurde exemplarisch von der Firma Viessmann zur Dimensionierung von Heizkörpern herausgegeben.¹⁰

Raum	Fläche [in m ²]	Heizlast (berechnet) [W]	Heizlast (Abschätzung Viessmann) [W]	Überdimensionierung [W]
Küche	10,89	964	816,75	-147,25
Treppenraum	4,52	58	339	281
Büroraum	10,98	894	823,5	-70,5
Wohnungsflur	14,59	345	1094,25	749,25
Wohnraum	59,28	3784	4446	662

Tabelle 1: Berechnete Heizlast vs. Abgeschätzte Heizlast (IST-Zustand)

Aus Abb. 1 ist ersichtlich, dass die pauschale Berechnung über die Raumfläche zu einer sehr ungenauen Auslegung der Heizflächen führt (positiv wie negativ). Zusätzlich wurden von den Heizungsfirmen die abgeschätzten, auf der Grundfläche des Raumes basierten Heizlastwerte gemäß dem Motto „der Kunde soll es ja auf jeden Fall warm haben und mich bloß nicht über Weihnachten anrufen“ mit einem Sicherheitsaufschlag versehen. Da es Heizkörper nur in bestimmten Abmessungen und Typen gibt, musste letztlich ein Heizkörper aus der Herstellerliste

¹⁰ (Rogatty, 2006)

ausgewählt werden, der die überschlägig berechnete Heizlast zielsicher erreicht, was zu einer weiteren Leistungsreserve der Heizflächen führte.

Zusätzlich zu dieser Betrachtung müssten ggf. durchgeführte Sanierungen berücksichtigt werden. Entsprechend dem Beispiel entscheiden sich viele Hauseigentümer nach mehr als 30 Jahren (hier 33 Jahre) die vorhandenen zweifach verglasten Fensterelemente gegen dreifach verglaste Fensterelemente zu tauschen. In diesem Zusammenhang werden dann auch sehr häufig die Rollladenkästen gedämmt. Exemplarisch würden sich folgende Bauteile dadurch ändern:

- Rollladenkasten, gedämmt (U-Wert 1,60 W/(m²K))
- Fenster (U_w-Wert 0,80 W/(m²K))

Durch die neuen Fenster verbessert sich zudem die Luftdichtheit der Hülle. Da diese jedoch nicht gemessen wird, bleibt die Kategorie C bestehen. Die raumweise Heizlast verändert sich durch diese Sanierungsmaßnahme wie folgt:

Raum	Fläche [in m ²]	Heizlast (berechnet) [W]	Heizlast (Abschätzung Viessmann) [W]	Überdimensionierung [W]
Küche	10,89	770	816,75	46,75
Treppenraum	4,52	58	339	281
Bürraum	10,98	742	823,5	81,5
Wohnungsflur	14,59	345	1094,25	749,25
Wohnraum	59,28	2664	4446	1782

Tabelle 2: Berechnete Heizlast vs. Abgeschätzte Heizlast (Sanierung-Zustand)

Wie nun deutlich erkennbar ist, führt diese bauliche Änderung zu einer teilweise deutlichen Überdimensionierung der Heizflächen; überdimensionierte Heizkörper erhalten eine weitere Wärmeabgabereserve. Die Wärmeabgabe selbst ist durch die Heizungsvorlauftemperatur, die Heizungsrücklauftemperatur, dem Volumenstrom sowie der Größe und dem Typ des Heizkörpers definiert. Anhand dieser Parameter lässt sich die Wärme- oder Heizleistung eines Heizkörpers bestimmen. Verändert man nun einen dieser Parameter, so führt dies zu einer Veränderung der Heizleistung. Da jedoch die Heizleistungen gemäß dem oben aufgeführten Rechenbeispiel teilweise deutlich überdimensioniert sind, könnte man die Vorlauftemperatur entsprechend absenken (was den Einsatz einer Wärmepumpe grundsätzlich begünstigt). In der Praxis verhindern allerdings häufig bei einem Einfamilienhaus 5-6 kritisch knapp bemessene Heizkörper (z. B. der Büroraum vor und nach Fenstertausch) ein grundsätzliches Absenken der Vorlauftemperatur. Deshalb sollten diese Heizkörper im Zuge einer geplanten bzw. grundsätzlich möglichen Absenkung der Vorlauftemperatur ausgetauscht werden. Zusätzlich ist in dieser Betrachtung die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf zu betrachten.

Wie groß der bauliche und finanzielle Aufwand für einen effizienten Einsatz einer Wärmepumpe tatsächlich ist, lässt sich, wie bereits erwähnt, pauschal jedoch leider nicht sagen, da jedes Bestandswohngebäude einen anderen energetischen Standard aufweist und die vorhandenen Heizleistungen unterschiedlich über- und im Einzelfall auch unterdimensioniert sein können. Es bleibt zunächst einmal nur die projektbezogene Einzelfallbetrachtung.

Um den energetischen Standard von Bestandswohngebäuden etwas genauer umreißen zu können, wurden im Folgenden exemplarisch 10, in ihrer Bauart unterschiedliche, Bestandswohngebäude, ausgewählt und auf den Einsatz einer Wärmepumpe entsprechend untersucht. Abgeleitete erforderliche Sanierungsmaßnahmen (Ziel „wärmepumpentauglich“) müssen sich dabei in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen bewegen.

Sämtliche Gebäude wurden anhand der durch die Eigentümer ausgehändigten Unterlagen als Ist-Zustand simuliert. Sofern für bestimmte Bauteile keine Aufbauten oder Werte bekannt waren, wurde hierfür der Ansatz der Typologie gewählt. Die Typologie bezeichnet eine Auflistung gebäudetypischer Strukturen bestimmter Baualtersklassen (z. B. eine Abgrenzung anhand eine bestimmte Bauzeitspanne und eines bestimmten Bauteilaufbaus (z. B. Mauerwerk)) auf Basis der zu diesem Zeitpunkt geltenden Baunormen und -vorschriften. Sonstige spezifisch wirkende Parameter, wie zum Beispiel die vorhandene Dachdämmung, getauschte Fenster oder die Heizleistung der verbauten Heizkörper, wurden vor Ort aufgenommen. Je mehr Bauunterlagen durch den Eigentümer bereitgestellt bzw. vor Ort ermittelt werden konnten, desto genauer ist das Ist-Ergebnis des entsprechenden Bestandswohngebäudes und in der Folge die Beurteilung einer Wärmepumpentauglichkeit.

1.2 Wärmepumpeneignung

Wärmepumpen können bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen eingesetzt werden. So ist der Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden mit einer Vorlauftemperatur von 70°C heutzutage technisch kein Problem mehr. Bestimmte Rahmenbedingungen (z. B. Vorlauftemperatur) erhöhen oder erniedrigen die Effizienz einer Wärmepumpe jedoch maßgeblich. Bei Absenkung der Vorlauftemperatur um ein Grad Celsius steigt die Effizienz einer Wärmepumpe um ca. 2,5%.¹¹

Aussagefähig bezüglich der Effizienz einer Wärmepumpe ist der Wert der sogenannten Jahresarbeitszahl, in deren Endergebnis/Berechnung unter anderem sowohl die Vorlauftemperatur als auch die Spreizung als entscheidende Einflussgrößen eingehen (vgl. Abb. 2: Einflussgrößen auf die berechnete JAZ von Wärmepumpen).

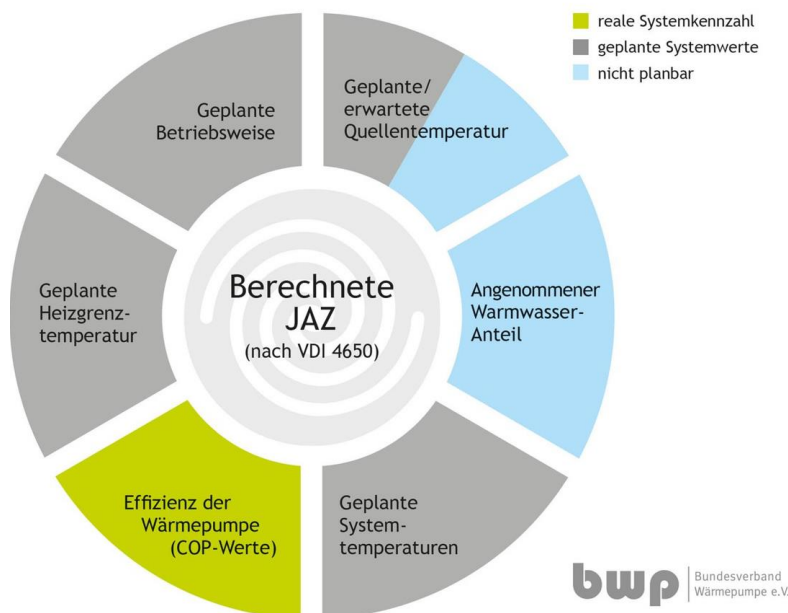


Abb. 2: Einflussgrößen auf die berechnete JAZ von Wärmepumpen¹²

Die Jahresarbeitszahl ist hierbei die Effizienzbetrachtung durch Berechnung (Prognosen) des besagten Objekts über einen Jahreszeitraum und dabei wie folgt definiert:¹³

$$JAZ = \frac{\text{Wärmemenge pro Jahr [kWh]}}{\text{Strommenge pro Jahr [kWh]}}$$

Neben den genannten Einflussfaktoren der Systemtemperaturen fließen der angenommene

¹¹ (Deutsche Umwelthilfe e. V)

¹² (Bundesverband Wärmepumpe e. V., o. J.)

¹³ (Thiel, 2024)

Warmwasseranteil, die geplante Heizgrenztemperatur, die geplante Quelltemperatur und der Coefficient of Performance, kurz COP-Wert, in die Berechnung der Jahresarbeitszahl ein.

Um praxisnahe und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurde bei der Simulation auf den Einsatz einer marktüblichen und verfügbaren Wärmepumpe zurückgegriffen. Hierbei fiel die Entscheidung auf die CHA-Monoblock des bayrischen Hersteller WOLF. Die CHA-Monoblock verwendet als Kältemittel das natürliche Kältemittel R290 (Propan) mit einem geringen Global Warming Potential, kurz GWP, von 3.¹⁴

Ebenfalls kann die Wärmepumpe hohe Vorlauftemperaturen von bis zu 70°C ohne elektrischen Heizstab gewährleisten und verfügt über eine effiziente Arbeitsweise (z. B. CHA-10/400V bei A2/W35 (A2=Außenluft 2°C/W35=Vorlauftemperatur 35°C) COP nach EN14511 von 4,65).¹⁵ Zusätzlich ist ein elektrischer Heizstab mit 9 KW verbaut.

Für die Berechnung der Jahresarbeitszahl ist ebenfalls relevant, dass im Bundesdurchschnitt ca. 90% der Außentemperaturen bei über 0°C liegen.¹⁶ Spitzenmodelle wie z. B. die Wärmepumpe AC312P (OVUM, österreichischer Hersteller) erreichen einen COP bei A2/W35 von 5,25 und liegen damit noch deutlich über den Leistungsdaten der WOLF CHA-10/400V.¹⁷

Aus diesem Grund wird für die Beurteilung einer grundsätzlichen Eignung für einen effizienten Einsatz von Wärmepumpen in Bestandswohngebäuden anhand folgender Kriterien festgelegt:

- Maximale Vorlauftemperatur von 55°C im Heizkreis (BEG EM – Anforderung)
- Spreizung von maximal 10 Kelvin
- Errechnete Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe anhand der WOLF CHA Monoblock Wärmepumpe von mindestens 3,5 (VDI 4650 Blatt1: 2019-03)¹⁸

Sofern die ersten beiden Kriterien erreicht werden, wird eine Berechnung der Jahresarbeitszahl durch den JAZ-Rechner des Bundesverband Wärmepumpe e. V. nach dem Verfahren der VDI 4650 Blatt1: 2019-03 durchgeführt.¹⁹ Die Betriebsweise ist hierbei bivalent (parallel), d. h. neben der eigentlichen Wärmepumpe ist eine zweite Zusatzheizung in Form eines elektrischen Heizstabes zur Abdeckung von Spitzenlasten verbaut. Da Verdichter und elektrischer Heizstab (Zusatzheizung) mit Strom betrieben werden, ist der Betrieb monoenergetisch.

¹⁴ (Thiel, 2024)

¹⁵ (WOLF, o. J.)

¹⁶ (Thiel, 2024)

¹⁷ (OVUM, o. J.)

¹⁸ (VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2019)

¹⁹ (VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2019)

Die verschiedenen Pumpenkreise werden in der gewählten Betrachtung durch einen Trennspeicher funktionell voneinander getrennt, um eindeutige Zuordnungen sicherstellen und gegenseitige Beeinflussungen ausschließen zu können.

Die Gebäudesimulationen wurden mit dem Programm „Optimus“ des Herstellers Hottgenroth durchgeführt. Das Programm wurde vorrangig zur Berechnung des hydraulischen Abgleichs, der raumweisen Heizlast und der durch die Heizfläche bereitgestellten Wärmeabgabe entwickelt. Das Programm beruht auf der OPTIMUS-Studie der Ostfalia Hochschule Wolfenbüttel.

Ebenfalls ist anzumerken, dass die hier gewählten Kriterien unter dem Aspekt eines möglichst effizienten Betriebes sowie möglicher Fördergelder ausgewählt wurden. Der Einsatz einer Wärmepumpe (betrieben mit dem natürlichen Kältemittel Propan) ist heutzutage mit einer Vorlauftemperatur von bis zu 70°C grundsätzlich möglich. Allerdings ist anzumerken, dass mit jedem Grad Betriebs-Temperaturanstieg die Effizienz der Wärmepumpe sinkt, d. h. Betriebstemperaturen über 55°C sind grundsätzlich möglich, aber der Betrieb gilt im allgemeinen dann als weniger wirtschaftlich.

1.3 Methodik

Bei den in der Masterarbeit aufgeführten Ergebnisse handelt es sich bei den anlagentechnischen Parametern um berechnete Werte auf Basis des Softwareprogramms Optimus des Softwareherstellers Hottgenroth. Hierbei wird das Objekt mittels einer CAD-Unterstützung erfasst. In der Erfassung werden die Leistungen der Heizflächen anhand der Bauart und Abmessung manuell bestimmt und Bauteile mit den dazugehörigen energetischen Eigenschaften angelegt. Zusätzlich wird durch das Programm Optimus mittels eines Add-Ons des Softwarepakets „TGA Heizung“ des Herstellers Hottgenroth eine raumweise Heizlastberechnung durchgeführt. Im Folgeschritt errechnet das Programm die erforderlichen Vor- bzw. Rücklauftemperaturen die notwendig sind, um mit der jeweils vorhandenen Heizflächen, die für den entsprechenden Raum oder Raumverbund notwendige Heizlast sicherstellen zu können.

Hierbei ist zu beachten, dass jeder Raum oder Raumverbund aufgrund von Größe und Lage im Gebäude bzw. in der Gebäudehülle unterschiedliche Heizflächen und somit unterschiedliche Wärmemengen/Heizlasten benötigt. Aus den unterschiedlichen Wärmebedarfsmengen - abhängig von der raumweisen Heizlast sowie der Bauart und der Abmessung der Heizfläche- resultieren unterschiedliche Vor- und Rücklauftemperaturen der einzelnen Heizflächen.

Während die Vorlauftemperatur des Gesamtsystems in der Optimus Software durch den Heizkörper mit der höchsten notwendigen Vorlauftemperatur bestimmt wird, ist die Rücklauftemperatur ein gemittelter Wert aller Rücklauftemperaturen.

So gibt es im Heizsystem bei einer Gesamtrücklauftemperatur von z. B. 40°C durchaus einige Heizflächen mit Rücklauftemperaturen von deutlich über 40°C und einige Heizflächen mit Rücklauftemperaturen von deutlich unter 40°C. Ein derart gemittelter Gesamtwert für die Rücklauftemperatur eines Bestandswohngebäudes kann in der weiteren Berechnung der Jahresarbeitszahl zu Problemen führen.

Ein Sonderfall stellen Bestandswohngebäude dar, die sowohl Heizkörper als auch eine Fußbodenheizung als Heizflächen verbaut haben.

In diesen Fällen wird die Rücklauftemperatur durch die Software anhand der Massenströme der Fußbodenheizung und der Heizkörper gemittelt. Da grundsätzlich Heizkörper, aufgrund der räumlich bedingten Heizfläche, mit höheren Vorlauftemperaturen als eine Fußbodenheizung betrieben werden, erhält man in der Regel höhere Differenzwerte (Spreizung). Die Spreizung ergibt sich aus der Differenz der höchsten Vorlauftemperatur sowie der gemittelten Rücklauftemperatur.

Die Berechnung einer Jahresarbeitszahl mit dem JAZ-Rechner des Bundesverbands Wärmepumpe e. V. nach dem Verfahren der VDI 4650 Blatt1: 2019-03 setzt eine maximale Spreizung

von 10 Kelvin voraus. Da diese Forderung im Allgemeinen bei Bestandswohngebäuden mit Heizkörpern und Fußbodenheizung nicht erfüllt werden kann, ist folglich die Berechnung einer Jahresarbeitszahl unter Berücksichtigung beider Heizflächenarten nicht möglich.

Um letztlich auch bei solchen Bestandswohngebäuden mit einer Spreizung von über 10 Kelvin eine Jahresarbeitszahl berechnen zu können, wurde ein konservativer Ansatz auf Basis der vorhandenen Heizkörperkreisläufe gewählt, d. h. es wurde ausschließlich die Vor- und Rücklauftemperatur des Heizkörperkreislaufes berücksichtigt.

Ziel dieser Masterarbeit war es, anhand festgelegter anlagentechnischer Kriterien bei geringstmöglichem finanziellem Aufwand aufzuzeigen, wie im Einzelfall eine Wärmepumpe noch wirtschaftlich betrieben werden kann. Die dabei erzielten Ergebnisse beruhen auf einer Simulation mit der Optimus Software der Firma Hottgenroth.

In der Folge können die Ergebnisse nicht abschließend im Hinblick eines Optimums gesehen und bewertet werden, da die simulierten, objektbezogenen Sanierungsmaßnahmen letztlich die minimalen Anforderungen für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe darstellen.

Objektbezogene Sanierungsmaßnahmen über diesen Minimalstandard hinaus würden bei nahezu allen, teils nur geringfügig oder noch gar nicht sanierten Bestandswohngebäuden, zu deutlich besseren Ergebnissen führen.

2. Bestandsbetrachtung

2.1 Objekt 1: MFH 71131 Jettingen

2.1.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem ersten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Gebäude mit drei Wohneinheiten, das momentan von 2 Familien bewohnt wird. Das Objekt befindet sich in Jettingen (Postleitzahl 71131) und wurde 1991 errichtet.



Abb. 3: Gebäudeansichten Objekt 1

Die Wohnfläche beläuft sich gemäß Bauantrag auf ca. 340 m² und erstreckt sich auf ein beheiztes Kellergeschoss mit Einliegerwohnung, ein beheiztes Erdgeschoss sowie ein ausgebautes Dachgeschoss. Zusätzlich ist noch ein ausgebauter Dachboden vorhanden, der nicht über Heizkörper verfügt. Das Kellergeschoss grenzt einseitig an Außenluft. Das Gebäude wurde in massiver Bauweise errichtet.

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht größtenteils dem Baujahr, wobei einzelne Elemente bereits bei der Errichtung verbessert ausgeführt wurden.

Die Bodenplatte zu beheizten Flächen besteht aus einer 10 cm starken Kiesschüttung, auf welcher eine 20 cm starke Stahlbetonplatte liegt. Auf dieser ist eine 5 cm starke EPS-Platte (WLG 030) aufgebracht und mit einem 5 cm starken Zementestrich überdeckt. Der U-Wert der Bodenplatte beträgt somit ca. $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Kellerwände gegen Erdreich bestehen aus 30 cm starken Betonschalsteinen, die auf der Innen- und Außenseite verputzt sind. Der U-Wert für die Kellerwände gegen Erdreich beträgt ca. $2,44 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Außenwände gegen Außenluft bestehen aus 30 cm starken Hinse-Füllsteinen (innenliegend 8 cm Styropordämmung; Füllraum mit Beton ausgegossen) und einer außenliegenden 4 cm starken Dämmung aus Mineralwolle WLG 040. Die Außenwände sind beidseitig entsprechend verputzt und führen zu einem U-Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Fenster sind überdurchschnittlich gut; eingebaut wurden Holzfenster mit einer Zweischeiben-Isolierverglasung und einer Glasflächen-Silberbedampfung (U_g -Wert von $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$). Große Glasflächenanteile führen somit zu U_w -Werten von $1,40 - 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das Dach wurde als Kalt-dach ausgeführt. Die Sparrenstärke beträgt 16 cm, wovon 12 cm als Dachaufbau genutzt wurden. Der Zwischensparrenraum wurde mit einer EPS-Dämmplatte WLG 030 gedämmt. Der hieraus resultierende U-Wert beträgt ca. $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Haustüre wurde im Jahr 2020 getauscht (U_d -Wert von $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Ebenfalls wurden alle 6 Dachfenster des beheizten Dachgeschosses gegen neue, dreifach verglaste Dachfenster getauscht (U_w -Wert von $1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (Viessmann Rexola biferral Niedertemperaturkessel mit einer Leistung $Q_N 25,00 \text{ kW}$; Baujahr 1991). Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es ist kein Pufferspeicher vorhanden und der Trinkwarmwasserspeicher der Firma Viessmann (Hori-Cell; Volumen 350 Liter) entspricht ebenfalls dem Baujahr der Gasheizung. Es wurde bereits für die Fußbodenheizung die ursprüngliche Umwälzpumpe gegen eine Effizienzpumpe getauscht; die restlichen Pumpen entsprechen dem Baujahr 1991 bzw. 2010 und sind dementsprechend überdimensioniert. Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 35.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser. Zusätzlich ist ein Kachelofen vorhanden (Warmluft-Kachelofen mit Leda Heizeinsatz (10 kW), der pro Jahr mit zusätzlichen 5 Raummetern befeuert wird (ca. 9.000 kWh).



Abb. 4: Anlagentechnik Objekt 1

Das Gebäude verfügt im Erdgeschoss zum Teil über Fußbodenheizung (Anteil Gesamtgebäude ca. 30%). Die restlichen Räume werden mittels Kompaktheizkörpern beheizt. Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Wohnraum	2000	10 Stk	Glieder Heizkörper	2370	3,2
Schlafzimmer	500	1800	Typ 11	1454	1,4
Küche	500	800	Typ 11	646	2,3
Hobbyraum	900	1200	Typ 22	2826	2,2
Flur	900	500	Typ 11	762	5,4
Flur	900	700	Typ 22	1871	5,4
Flur	500	600	Typ 11	548	1,6
Badezimmer	500	900	Typ 21	978	4,4
Abstellraum	600	1200	Typ 22	2303	2,5
Erdgeschoss					
WC-Raum	500	500	Typ 11	404	1,7
Schlafzimmer	500	1800	Typ 11	1454	1,9
Bürozimmer 1	500	1800	Typ 11	1454	2,9
Badezimmer	400	1400	Typ 22	1517	3,0
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1200	Typ 21	1687	1,3
Kinderzimmer 1	350	1600	Typ 21	1464	1,4
Kinderzimmer 2	600	700	Typ 11	660	2,2
Kinderzimmer 3	350	1600	Typ 21	1464	1,9
Büroraum 1	600	1600	Typ 22	2710	2,3
Büroraum 2	600	1600	Typ 11	1509	1,4
Badezimmer	600	900	Typ 21	1135	2,8

Tabelle 3: Objekt 1 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

Über den Einbau der Fußbodenheizung liegen keine genauen Daten vor. Aus diesem Grund wurde die Fußbodenheizung mit folgenden Daten angesetzt:

- Estrichüberdeckung: 45 mm
- Innendurchmesser 15 mm
- Bodenbelag: Fliesen
- Verlegeabstand: 20 cm

Der mit Fußbodenheizung beheizte Bereich erstreckt sich ausschließlich auf Teilflächen im Erdgeschoss in den Räumen Wohn-/Esszimmer, Küche, Bad, Flur und Eingangsbereich.

2.1.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der Unterlagen war gut. Es waren vollständige Planunterlagen vorhanden. Die Planunterlagen beinhalteten jedoch keine Fensteröffnungsmaße. Diese wurden manuell als Exceltabelle nach Geschoss und Orientierung bereitgestellt. Die Heizkörperdimensionierung wurde manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Die Bauteilaufbauten waren sehr genau und detailliert beschrieben. Der U-Wert der Fenster wurde durch Hinweise im Abstandhalter und einer vorliegenden Rechnung ermittelt. Da das Gebäude vom Eigentümer selbst erbaut wurde, lagen insgesamt sehr viele detaillierte Informationen vor. Die Bauteile samt den verwendeten Materialien konnten sehr genau benannt werden. Zum Teil liegen sogar Fotos von der Errichtung des Gebäudes vor. Aus den vorliegenden Daten lassen sich viele Parameter sehr genau bestimmen.

2.1.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 14,4 kW.²⁰ Die Normaußentemperatur gemäß DIN EN 12831-2017 für den Objektstandort Jettingen beträgt -12,0°C.²¹ Die spezifische Heizlast beträgt 34 W/m² und erstreckt sich auf eine Nettogrundfläche von 423 m². Die niedrige spezifische Heizlast lässt sich anhand der großen Nettogrundfläche erklären. Die Heizlast gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 mit 14,4 kW hingegen ist groß, jedoch für ein Gebäude dieser Größe nicht außergewöhnlich. Die berechnete Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 65°C und im Rücklauf 39°C. Die momentan vorherrschende Spreizung ist mit 26 Kelvin deutlich zu groß. Gleiches gilt für die hohe Vorlauftemperatur.

²⁰ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020)

²¹ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2017)

Der Volumenstrom beträgt 1.044 l/h. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

2.1.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Da das Gebäude während des Gültigkeitszeitraums der Wärmeschutzverordnung 1982/84 erbaut wurde, ist der Mindestwärmeschutz an dem Gebäude gewährleistet. Lediglich im Bereich der beheizten Kelleraußenwände ohne Außendämmung ans Erdreich wurde die Wärmeschutzverordnung 1982/84 vermutlich nicht eingehalten. Da die Heizlast mit den genannten Parametern als hoch anzusetzen ist, wird in einem ersten Schritt versucht, die Heizlast abzusenken. Aus diesem Grund werden die ungedämmten Kelleraußenwände gegen Erdreich mit einer 6 cm starken Innendämmung der Wärmeleitgruppe 024 gedämmt. Dies führt zu einer Verbesserung der ungedämmten Kellerwände von einem ursprünglichen U-Wert von 2,44 W/m²K auf einen deutlich niedrigeren U-Wert von 0,34 W/m²K. Zusätzlich wird ein Austausch der 33 Jahre alten Fenster vorgenommen. Die neuen dreifach verglasten Fenster werden mit einem U_w-Wert von 0,80 W/m²K angesetzt. Die beiden Maßnahmen führen dazu, dass die berechnete Vorlauftemperatur auf 62°C und der Rücklauf auf 38°C sinkt. Der Volumenstrom verringert sich auf 835 l/h.

Die benötigte Heizlast nach den beiden genannten Sanierungsmaßnahmen beträgt dann für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 noch 11,4 kW bei einer spezifischen Heizlast von 27 W/m².²² Die im Zuge der Sanierungsvariante 1 erzielten Werte (Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur und Spreizung) sind nach wie vor – bezogen auf die gewählten Kriterien für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe – zu hoch und erfüllen auch nicht die Eingangsparameterkriterien der JAZ-Rechenprogramme für die Berechnung einer Jahresarbeitszahl. Aus diesem Grund müssen in Variante 2 weitere Optimierungsmaßnahmen, hier Anlagentechnik, vorgenommen werden.

Variante 2

Zusätzlich zu den zuvor genannten Sanierungsmaßnahmen an der Hüllfläche sollten in dieser Variante einzelne Heizkörperflächen ausgetauscht werden, mit dem Ziel die Vorlauftemperatur und die Spreizung in einen für eine Wärmepumpe geeigneten Bereich zu bringen. Um die Vorlauftemperatur im Heizkörperkreislauf auf eine Temperatur vom 50°C bringen zu können, müssen insgesamt 6 von 19 Heizkörpern ausgetauscht werden. Zusätzlich wird ein Heizkörper im Flur im Keller entfernt, da die Heizlast im Verhältnis zur Heizleistung der beiden Heizkörper deutlich zu gering ist.

²² (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020)

Die ausgetauschten Heizkörper im Vergleich zum IST-Zustand sind in der Tabelle „fett“ markiert. Folgender Austausch wird gemäß Simulation empfohlen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Wohnraum	2000	10 Stk	Glieder Heizkörper	2370	5,6
Schlafzimmer	500	1600	Typ 21	1939	2,5
Küche	500	800	Typ 11	646	2,9
Hobbyraum	900	1200	Typ 22	2826	2,6
Flur	500	500	Typ 12	601	2,1
Flur	900	700	Typ 22	1871	4,6
Badezimmer	500	900	Typ 21	978	4,4
Abstellraum	600	1200	Typ 22	2303	3,2
Erdgeschoss					
WC-Raum	500	500	Typ 12	532	2,7
Schlafzimmer	500	1800	Typ 11	1454	2,3
Büroraum 1	500	1800	Typ 11	1454	3,5
Badezimmer	400	1300	Typ 12	1044	2,4
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 33	2461	2,4
Kinderzimmer 1	350	1600	Typ 21	1464	2,3
Kinderzimmer 2	600	700	Typ 11	660	2,5
Kinderzimmer 3	400	1600	Typ 22	1931	2,3
Büroraum 1	600	1600	Typ 22	2710	3,0
Büroraum 2	600	1600	Typ 11	1509	2,5
Badezimmer	600	900	Typ 21	1135	3,0

Tabelle 4: Objekt 1 Auflistung Heizkörper Variante 2

Durch die oben beschriebenen Maßnahmen kann die Vorlauftemperatur auf 50°C abgesenkt werden. Die Rücklauftemperatur verändert sich auf 40°C. Für die Fußbodenheizung wird eine Vorlauftemperatur von 35°C und eine Rücklauftemperatur von 28°C benötigt. Die Vorlauftemperatur für die gesamte Heizungsanlage beträgt 50°C im Vorlauf und aufgrund der Fußbodenheizung im Rücklauf 35°C.

Da eine 15 Kelvin Spreizung mit dem JAZ-Rechner des Bundesverband Wärmepumpe e.V. nicht berechnet werden kann, wird der konservative Ansatz für die Berechnung der Jahresarbeitszahl gewählt, und die Jahresarbeitszahl für den Heizkreis mit den höheren Vorlauftemperaturen berechnet.

Der Volumenstrom erhöht sich leicht von ursprünglich 957 l/h im IST-Zustand auf 997 l/h im sanierten Zustand in Variante 2.

2.1.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde entsprechend den oben benannten Parametern angepasst und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl mit Backup (JAZ) mit der Wärmepumpe CHA-10/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in Variante 2 im Heizbetrieb beträgt in diesem Fall inklusive Backup (Zweiter Wärmeerzeuger = elektrischer Heizstab) 4,6 und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung inkl. Backup 4,0. Die daraus resultierende Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage beträgt 4,5. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 99 %. Die Heizleistung der Wärmepumpe bei -12°C Außentemperatur beträgt ca. 8,50 kW.

Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.1.6 Schlussbemerkung

Die erreichte Gesamtjahresarbeitszahl nach den energetischen Sanierungen an der Gebäudehülle sowie dem Austausch von 6 Heizkörpern von 4,5 in Variante 2 stellt ein sehr gutes Ergebnis dar mit einem vergleichbar akzeptablen Aufwand. Der Austausch der Fensterflächen steht innerhalb der nächsten 5 Jahre grundsätzlich an, weshalb diese Sanierungsmaßnahme nicht als zwingende Voraussetzung für den Einbau einer Wärmepumpe anzusehen ist. Eine weitere Optimierung (z.B. durch den Austausch weiterer Heizflächen) kann mit einem finanziell vertretbaren Aufwand nicht erreicht werden.

Betrachtet man den sowieso bevorstehenden Austausch der Fenster durch die Eigentümerfamilie, so sind die notwendigen zusätzlichen Investitionskosten als gering zu betrachten und das daraus resultierende Ergebnis als wirklich gutes Ergebnis einzuordnen. Das Gebäude ist daher für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

2.2 Objekt 2: EFH Lonsee

2.2.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem zweiten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Wohngebäude mit einer Wohneinheit. Das Objekt befindet sich in Lonsee (Postleitzahl 89173) und wurde 2000 errichtet. Die Wohnfläche beläuft sich gemäß Bauantrag auf ca. 126 m² und erstreckt sich auf ein teilweise beheiztes Kellergeschoss, ein beheiztes Erdgeschoss sowie ein beheiztes Dachgeschoss. Das Gebäude wurde ab dem Erdgeschoss als Holztafelbauweise errichtet.



Abb. 5: Gebäudeansichten Objekt 2

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht dem Baujahr, wobei im Jahr 2023 die vorhandenen Fenster ausgetauscht sowie die vorhandenen Rollladenkästen gedämmt wurden.

Die Bodenplatte der zu beheizten Flächen besteht aus einer Kiesschüttung, auf der eine 20 cm starke Stahlbetonplatte liegt. Auf dieser ist eine 4 cm starke EPS-Platte (WLG 030) aufgebracht und mit einem 3,5 cm starken Zementestrich überdeckt. Der U-Wert der Bodenplatte beträgt somit ca. 0,62 W/m²K. Die Kellerwände gegen Erdreich bestehen aus 20 cm starkem Stahlbeton, und sind auf der Innenseite verputzt. Außenseitig auf den Kellerwänden sind 8 cm

Perimeterdämmung der WLG 040 (Annahme, da lediglich die Dämmdicke, jedoch nicht das exakte Dämmmaterial mit Eigenschaften bekannt ist). Der U-Wert für die Kellerwände gegen Erdreich betragen somit ca. $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Außenwände gegen Außenluft bestehen aus 28 cm starken Holztafelelementen, bestehend aus 3 cm Fermacell, 18 cm mit Mineralwolle WLG 040 ausgedämmtes Ständerwerk, gekapselt durch eine Fermacell-Platte und einer außenliegenden 5 cm starken Dämmplatte der WLG 040.

Die Außenwände sind beidseitig entsprechend verputzt und führen zu einem U-Wert von $0,189 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da über die Innenwände wenig bekannt ist, wurden die Innenwände im Keller gemäß Typologie angenommen (U-Wert). Die Innenwände aus Holz wurden mit 12 cm Stärke angenommen (außen beplankt mit Gipskartonplatten; 62,5 cm Sprungmaß, 6 cm Ständer, Mineralwolle WLG 040).

Die Fenster wurden im Jahr 2023 gegen dreifach verglaste Fensterelemente getauscht. Die neuen verbauten Fenster wurden als Kunststofffenster (U_g -Wert von $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$) hergestellt und besitzen somit einen U_w -Wert von $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zusätzlich wurden die vorhandenen Rollladenkästen im Zuge des Fenstertausches gedämmt und besitzen nun einen ungefähren U-Wert von $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Haustüre entspricht dem Baujahr und wurde noch nicht getauscht (U_d -Wert von $1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Das Dach wurde als Kaltdach ausgeführt. Die Sparrenstärke beträgt 18 cm, wovon 14 cm als Dämmebene mit 14 cm Mineralwolle WLG 040 gedämmt wurden. Zusätzlich wurde eine 24 Millimeter starke Installationsebene vorgesehen, welche durch eine 1 cm starke Fermacell-Platte verschlossen wurde. Der hieraus resultierende U-Wert beträgt ca. $0,258 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das Kehlgebälk zum unbeheizten Dachboden wurde mit 18 cm starken Balken ausgeführt, welche vollständig mit 18 cm Mineralwolle WLG 040 gedämmt wurden. Zusätzlich wurde eine 24 Millimeter starke Installationsebene vorgesehen, die durch eine 1 cm starke Fermacell-Platte verschlossen wurde. Der hieraus resultierende U-Wert beträgt ca. $0,252 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Dachflächenfenster wurden noch nicht getauscht und entsprechen dem Baujahr (U_d -Wert von $1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (PARADIGMA Modula, Brennwerttechnik, mit einer Leistung Q_N 11,00 kW; Baujahr 2000). Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es ist kein Pufferspeicher vorhanden und der bivalente Trinkwarmwasserspeicher der Firma Delphins (Delphins-therm Typ S2-300; Volumen 290 Liter) entspricht ebenfalls dem Baujahr der Gasheizung. Die vorhandene Pumpe für den Heizkreis (Umwälzpumpe) entspricht dem Baujahr (Grundfos UPS 25-60) und ist einstellbar (3 Stufen). Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 10.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser. Zusätzlich ist ein Kaminofen vorhanden (Stückholz), welcher pro Jahr mit zusätzlichen 2,5 Raummeter befeuert wird (ca. 4.500 kWh).

Zur Erzeugung von Trinkwarmwasser sind zwei Solarthermie-Module mit 6,3 m² aus dem Baujahr vorhanden (keine weiteren Angaben vorhanden). Ebenfalls aus dem Baujahr ist eine PV-Anlage zur Stromerzeugung mit 4,62 kWp auf dem Dach verbaut.



Abb. 6: Anlagentechnik Objekt 2

Das Gebäude verfügt in allen Geschossen ausschließlich über Heizkörper. Der Kaminofen befindet sich im Wohnzimmer und unterstützt die vorhandenen Heizflächen.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 } ^\circ\text{C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 22	1694	2,9
Wohnraum	900	1000	Typ 22	2355	2,0
Erdgeschoss					
Küche	900	700	Typ 11	942	2,1
WC-Raum	500	900	Typ 11	727	2,5
Wohnzimmer	2000	16 Glieder	Glieder Heizkörper	2240	2,3
Wohnzimmer	600	900	Typ 22	1525	2,3
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	600	1200	Typ 11	1132	1,8
Kinderzimmer 1	600	1400	Typ 11	1320	1,7
Kinderzimmer 2	600	1200	Typ 11	1132	1,7
Badezimmer	600	800	Typ 22	1215	1,9

Tabelle 5: Objekt 2 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.2.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der Unterlagen war sehr gut. Es waren vollständige Planunterlagen vorhanden (inklusive Fensteröffnungsmaße). Zusätzlich lag die Wärmeschutzberechnung vor, die mit dem Bauantrag eingereicht wurde. Allerdings ist diese teilweise fehlerhaft, sodass vereinzelt Abweichungen möglich sind. Der U_w -Wert der Fensterflächen konnte der Rechnung entnommen werden. Die Heizkörperdimensionierung wurde manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik.

2.2.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 5,65 kW.²³ Die Normaußentemperatur gemäß DIN EN 12831-2017 beträgt -12,80°C.²⁴ Die spezifische Heizlast beträgt 33 W/m² und erstreckt sich auf eine beheizbare Nettogrundfläche von 173 m². Die simulierte Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 63°C und im Rücklauf 40°C. Die daraus resultierende Spreizung und auch die Vorlauftemperatur sind mit 23 Kelvin deutlich zu groß. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

2.2.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Da die Gebäudehülle beim vorliegenden Objekt bereits als gut angesehen werden kann, wurde bei der Betrachtung der Sanierungsoptionen lediglich eine Optimierung der Kellerdecke in Erwägung gezogen. Die Kellerdecke zu unbeheizten Flächen würde im Sanierungsfall mit 10 cm PU-Hartschaum der Wärmeleitgruppe 024 saniert. Aufgrund der besonders hohen Spreizung im IST-Zustand würde zusätzlich noch ein Austausch folgender Heizkörperflächen (Fett markiert in der Tabelle) empfohlen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 22	1694	2,9
Wohnraum	900	1200	Typ 22	2826	2,3
Erdgeschoss					
Küche	900	900	Typ 21	1765	4,0
WC-Raum	500	800	Typ 11	646	2,2

²³ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2020)

²⁴ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2017)

Wohnzimmer	2000	16 Glieder	Glieder Heizkörper	2240	2,3
Wohnzimmer	600	900	Typ 22	1525	2,3
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	750	1400	Typ 33	2065	3,1
Kinderzimmer 1	750	1600	Typ 12	2360	3,0
Kinderzimmer 2	750	1400	Typ 12	2065	3,1
Badezimmer	900	900	Typ 33	2670	4,2

Tabelle 6: Objekt 2 Auflistung Heizkörper Variante 1

Durch die oben beschriebenen Maßnahmen kann die Vorlauftemperatur von 63°C auf 50°C abgesenkt werden. Die Rücklauftemperatur verändert sich von 40°C vor Sanierungsbeginn auf 41°C nach Sanierungsbeginn. Die Spreizung wird somit von 23 Kelvin auf 9 Kelvin verringert. Durch diese Maßnahmen erhöht sich jedoch der Volumenstrom von 262 l/h auf 638 l/h

2.2.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde nach den oben benannten Parametern angepasst und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl mit Backup (JAZ) mit der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb beträgt in diesem Fall 4,3, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,9 und die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage inklusive Backup 4,2. Die Trinkwarmwasserbereitung wurde hierbei für die Berechnung vollständig durch die Wärmepumpe bereitgestellt und die Solarthermie vernachlässigt. Die Heizleistung der Wärmepumpe bei den genannten Rahmenbedingungen bei -12,80°C Außentemperatur beträgt ca. 5,50 kW. Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.2.6 Schlussbemerkung

Die nach der Sanierung berechnete Gesamtjahresarbeitszahl von 4,2 kann als ein sehr gutes Ergebnis betrachtet werden. Eine weitere Erhöhung der JAZ wäre nur durch den Einsatz eines deutlich höheren Investitionsvolumens möglich. Da in dieser Masterarbeit der Fokus auf die Wärmepumpentauglichkeit bei Bestandswohngebäuden gelegt wird und die Maßnahme wirtschaftlich vertretbar sein muss, ist das Ergebnis als sehr gut einzuordnen. Eine weitere Optimierung wird daher nicht empfohlen.

Berücksichtigt man die geringe Investitionssumme in Form einer Kellerdeckendämmung sowie dem Austausch von 7 Heizkörpern, kann die erreichte Jahresarbeitszahl von 4,2 als Erfolg verbucht und das Gebäude als wärmepumpentauglich deklariert werden.

2.3 Objekt 3: EFH Mittelbiberach

2.3.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem dritten Objekt in dieser Betrachtung handelt es sich um ein Gebäude mit zwei Wohneinheiten, das momentan von einem Ehepaar bewohnt wird. Das Objekt befindet sich in Mittelbiberach (Postleitzahl 88441) und wurde 1991 errichtet. Die Wohnfläche erstreckt sich auf ein teilweise beheiztes Kellergeschoss mit Einliegerwohnung, ein beheiztes Erdgeschoss sowie ein ausgebautes Dachgeschoss. Die thermische Hüllfläche endet mit einer gedämmten Kehlbalkenlage. Der Dachboden ist nicht ausgebaut und dient lediglich als Lager- und Abstellraum. Das Kellergeschoss grenzt einseitig an Außenluft.



Abb. 7: Gebäudeansichten Objekt 3

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht dem Baujahr. Es wurden bis jetzt keine Bauteile energetisch ertüchtigt. Im Zuge eines möglichen Heizungstausches sollen gegebenenfalls die Fenster getauscht werden.

Die Gründung des Gebäudes erfolgt mittels eines Streifenfundaments und einer 10 cm starken Bodenplatte (gemäß Typologie sind es $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$). Die Stärke der Perimeterdämmung ist nicht

bekannt. Die Kelleraußenwände und die Kellerinnenwände zu unbeheizten Flächen wurden mit einer 5 cm starken Innenwanddämmung (nach vor Ort Termin: Annahme EPS WLG 035) verbessert, was zu einem U-Wert von 0,54 W/m²K bzw. 0,56 W/m²K führt (gemäß Typologie max. sind es 0,60 W/m²K).

Die Außenwände im EG und OG sind gemauert (HLZ B 0,8/12; 30 cm Isoliermörtel). Da jedoch keine weiteren Angaben vorhanden sind (z. B. ob Perlite enthalten sind) muss für die Außenwand die Typologie von 1984-1994 mit einem U-Wert von 0,60 W/m²K angesetzt werden (entspricht dem Gültigkeitszeitraum der WSchV 1982).²⁵

Die Fenster wurden für die damalige Zeit überdurchschnittlich gut als Zweischeiben-Isolierverglasung (U_g-Wert von 1,20 W/m²K) ausgeführt und besitzen somit einen ungefähren U_w-Wert von 1,80 W/m²K. Die Rollladenkästen sind leicht gedämmt (ca. 2 cm Styropor vorhanden) und werden daher mit einem U-Wert von 2,00 W/m²K angesetzt.

Das Dach wurde als Warmdach ausgeführt. Die Sparrenstärke beträgt 18 cm. Der Zwischensparrenraum wurde mit einer Mineralwolle WLG 040 gedämmt. Der lichte Sparrenabstand beträgt 67 cm und die Sparren sind 8/18 cm stark. Der daraus resultierende U-Wert des Dachs beträgt somit 0,264 W/m²K. Das Kehlgebälk ist ebenfalls mit 18 cm Mineralwolle WLG 040 im Zwischenraum des Gebälks gedämmt.

Die Haustüre entspricht dem Baujahr und wurde aufgrund mangelnder Unterlagen gemäß Typologie angesetzt (U_d-Wert von 3,50 W/m²K). Gleiches gilt für die Dachfenster (U_w-Wert von 3,00 W/m²K).

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Öl-Zentralheizung beheizt (Viessmann Vitola-uniferral-e, Niedertemperaturkessel mit einer Leistung Q_N 21,00 kW; Baujahr 1991). Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Die Heizkreispumpe (Umwälzpumpe) ist eine dreistufig einstellbare Pumpe des Herstellers Wilo (Wilo Star-RS25/4). Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 20.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser. Diese niedrigen Werte beruhen auf einer nur teilweisen Nutzung der beheizten Wohnraumfläche. So sind die komplette Einliegerwohnung und die vorhandenen Kinderzimmer unbenutzt und unbeheizt. Weitere Heizsysteme sind nicht vorhanden.

²⁵ (WärmeschutzV 1982)



Abb. 8: Anlagentechnik Objekt 3

Das gesamte Gebäude wird durch Kompaktheizkörper beheizt. Eine Fußbodenheizung ist nicht vorhanden. Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK/qr}}$
Untergeschoss					
Wohnungsflur	400	900	Typ 22	1086	1,8
Schlafzimmer	600	1400	Typ 21	1968	2,8
Küche	600	700	Typ 22	1186	2,8
Bad	600	800	Typ 21	1008	2,0
Erdgeschoss					
Wohnungsflur	600	900	Typ 22	1525	5,2
Wohnzimmer	600	800	Typ 21	1125	1,8
Wohnzimmer	600	700	Typ 22	1186	1,8
Wohnzimmer	600	1600	Typ 22	2710	1,8
Wohnzimmer	600	800	Typ 21	1125	1,8
WC	600	600	Typ 21	844	2,4
Küche	2000	10	Glieder Heizkörper	1890	1,6
Bürraum	600	1400	Typ 22	2372	1,9
Dachgeschoss					
Wohnungsflur	400	1000	Typ 22	1207	2,1
Schlafen	600	800	Typ 33	1969	1,7
Kinderzimmer	600	800	Typ 33	1969	2,5
Kinderzimmer 2	600	1200	Typ 22	2033	1,4
Badezimmer	500	1400	Typ 22	1835	1,8

Tabelle 7: Objekt 3 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.3.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der Unterlagen war in Ordnung. Es waren vollständige Planunterlagen vorhanden. Die Planunterlagen beinhalteten sogar Fensteröffnungsmaße. Die bauphysikalische Berechnung zur genauen Ermittlung der U-Werte war nicht mehr vorhanden. Der U-Wert der Fenster wurde durch Hinweise im Abstandhalter und einer vorliegenden Rechnung ermittelt. Die Innenwanddämmung sowie die U-Werte der Kehlbalkendecke und des Dachs wurden mittels Typologie ermittelt. Der U-Wert des Dachs sowie des Kehlgebälks wurde vor Ort aufgenommen und ermittelt. Die Heizkörperdimensionierungen wurden manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik.

2.3.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 11,7 kW.²⁶ Die Normaußentemperatur gemäß DIN EN 12831:2017 beträgt -13,0°C.²⁷ Die spezifische Heizlast beträgt 61 W/m² und erstreckt sich auf eine beheizbare Nettogrundfläche von 193 m². Die Kompaktheit des Gebäudes kann als mäßig betrachtet werden (viele Versprünge, teilbeheizter Keller, ...)

Die simulierte Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 64°C und im Rücklauf 44°C. Die errechnete Spreizung mit 20 Kelvin sowie die Vorlauftemperatur sind deutlich zu groß. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

2.3.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Da das Gebäude während des Gültigkeitszeitraums der Wärmeschutzverordnung 1982/84 erbaut wurde, ist ein Mindestwärmeschutz an dem Gebäude gewährleistet. Der Einsatz einer Wärmepumpe soll mit geringstmöglichen Investitionen sichergestellt werden. Aus diesem Grund wurde in einem ersten Ansatz eine Sanierungsvariante gewählt, in der die Gebäudehülle unberührt bleibt und lediglich die Heizkörper getauscht werden. Hierfür muss ein Großteil der Heizkörper getauscht werden (in der Tabelle fett markiert). Der Austausch der Heizkörper sorgt dafür, dass die Vorlauftemperatur auf 55°C abgesenkt werden kann bei einer dann vorhandenen Spreizung von 10 Kelvin.

²⁶ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020)

²⁷ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2017)

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 } ^\circ\text{C}}$	$q_{\text{HK/qr}}$
Untergeschoss					
Wohnungsflur	500	800	Typ 22	1169	1,9
Schlafzimmer	500	1200	Typ 12	1276	1,8
Küche	600	700	Typ 22	1186	2,8
Bad	900	800	Typ 21	1407	22,9
Erdgeschoss					
Wohnungsflur	600	900	Typ 22	1525	5,2
Wohnzimmer	600	600	Typ 21	844	2,0
Wohnzimmer	900	1200	Typ 22	2826	2,0
Wohnzimmer	600	1200	Typ 22	2033	2,0
Wohnzimmer	600	600	Typ 21	844	2,0
WC	600	600	Typ 21	844	2,4
Küche	900	900	Typ 22	2120	2,0
Büroraum	600	1400	Typ 22	2372	1,9
Dachgeschoss					
Wohnungsflur	400	1000	Typ 22	1207	2,1
Schlafen	900	1200	Typ 33	1969	3,5
Kinderzimmer	900	1200	Typ 22	2826	1,9
Kinderzimmer 2	600	900	Typ 22	1525	1,9
Badezimmer	600	1400	Typ 22	2126	2,1

Tabelle 8: Objekt 3 Auflistung Heizkörper Variante 1

Durch den beschriebenen Heizkörpertausch kann die Vorlauftemperatur von 64°C auf 55°C abgesenkt werden. Die Rücklauftemperatur erhöht sich von 44°C vor Sanierungsbeginn auf 45°C nach Sanierungsbeginn. Die Spreizung wird somit deutlich auf 10 Kelvin verringert. Durch diese Maßnahmen verändert sich jedoch der Volumenstrom von 566 l/h auf 1.106 l/h.

Variante 2

Da der energetische Standard der Bauteile dem Baujahr entspricht, wird als Alternative zu Variante 1 eine energetische Sanierung einzelner Bauteile mit einem anschließenden Heizkörpertausch entsprechend der dann erforderlichen Heizleistungen in Ansatz gebracht (Basis Ist-Zustand). Nach Rücksprache mit den Eigentümern steht in den nächsten 12 Monaten voraussichtlich ein Fenstertausch an. Daher werden in dieser Variante die vorhandenen Fenster gegen dreifach verglaste Kunststofffenster mit einem Standardwert von $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ getauscht. Des Weiteren wird eine 10 cm starke Dämmung der Kellerdecke (zu unbeheizten Flächen) sowie eine 10 cm starke Dämmung der Innenwände (zu unbeheizten Flächen) angesetzt. Als Dämmstoff wurde ein PU-Dämmstoff der WLG 024 gewählt.

Durch die genannten energetischen Ertüchtigungen kann die Heizlast von 11,7 kW auf 10,2 kW gesenkt werden. Die spezifische Heizlast beträgt nun 53 W/m^2 .

Im Anschluss müssen die Heizkörper auf die neue, sanierte Ausgangslage, angepasst werden. Die ausgetauschten Heizkörper im Vergleich zum IST-Zustand sind in der Tabelle fett markiert. Folgender Austausch wird gemäß Simulation empfohlen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm} 75/65 °C	q _{HK/qr}
Untergeschoss					
Wohnungsflur	500	1000	Typ 22	1461	2,4
Schlafzimmer	600	1400	Typ 21	1968	3,5
Küche	600	700	Typ 22	1186	2,9
Bad	600	800	Typ 21	1008	2,6
Erdgeschoss					
Wohnungsflur	500	600	Typ 21	727	3,2
Wohnzimmer	600	800	Typ 21	1125	2,6
Wohnzimmer	600	700	Typ 22	1186	2,6
Wohnzimmer	600	1600	Typ 33	2710	2,6
Wohnzimmer	600	800	Typ 21	1125	2,6
WC	600	600	Typ 21	844	2,4
Küche	900	1000	Typ 33	3315	3,4
Bürraum	600	1200	Typ 33	2953	2,6
Dachgeschoss					
Wohnungsflur	400	1000	Typ 22	1207	2,1
Schlafen	600	1000	Typ 33	1969	2,4
Kinderzimmer	600	800	Typ 33	1969	2,9
Kinderzimmer 2	600	1400	Typ 22	3297	2,4
Badezimmer	500	1200	Typ 33	2283	2,5

Tabelle 9: Objekt 3 Auflistung Heizkörper Variante 2

Durch die oben beschriebenen Maßnahmen kann die Vorlauftemperatur von 64°C auf 50°C abgesenkt werden. Die Rücklauftemperatur verändert sich von 44°C vor Sanierungsbeginn auf 40°C nach Sanierungsbeginn. Die Spreizung wird somit von 20 Kelvin auf 10 Kelvin verringert. Durch diese Maßnahmen erhöht sich jedoch der Volumenstrom von 566 l/h auf 1.026 l/h.

2.3.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde entsprechend den oben benannten Parametern angepasst und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl mit Backup (JAZ) mit der Wärmepumpe CHA-10/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die berechnete Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in Variante 1 im Heizbetrieb beträgt in diesem Fall inklusive Backup 4,0 und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,9. Die daraus resultierende Gesamtjahresarbeitszahl inklusive Backup der Wärmepumpenanlage beträgt 4,0. In der zweiten Variante (energetische Sanierung

und Heizkörperaustausch) beträgt die Jahresarbeitszahl mit Backup der Wärmepumpe im Heizbetrieb 4,5 und für die Trinkwassererwärmung 4,1. Die kombinierte Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage inklusive Backup beträgt 4,4. Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.3.6 Schlussbemerkung

Die berechnete Gesamtjahresarbeitszahl inkl. Backup von 4,4 in Variante 2 ist ein sehr gutes Ergebnis mit einem akzeptablen Aufwand. Eine weitere Optimierung kann mit einem finanziell vertretbaren Aufwand nicht erreicht werden.

Betrachtet man den sowieso bevorstehenden Austausch der Fenster durch die Eigentümerfamilie, so sind die notwendigen zusätzlichen Investitionskosten als gering zu betrachten.

2.4 Objekt 4: MFH in Ulm

2.4.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem vierten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Gebäude mit drei Wohneinheiten, das aktuell von 2 Familien bewohnt wird. Das Objekt befindet sich in Ulm (Postleitzahl 89075) und wurde 1946 errichtet. Die beheizten Wohnflächen erstrecken sich auf ein beheiztes Erd-, Ober- und Dachgeschoss. Der Kellerbereich sowie das Treppenhaus sind unbeheizt. Zusätzlich ist noch ein teilweise ausgebauter Dachspitz als unbeheizter Lagerraum vorhanden. Das Kellergeschoss grenzt einseitig an Erdreich und ist in den Hang gebaut.



Abb. 9: Gebäudeansichten Objekt 4

Hüllfläche

Die Außenwände bzw. Innenwände zu unbeheizten Flächen entspricht größtenteils dem Baujahr. Der U-Wert von $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ wurde daher gemäß Typologie gewählt. Weitere Informationen zu den Außen- und Innenwänden sind nicht vorhanden. Die Geschossdecke zwischen Kellergeschoss und Erdgeschoss zu beheizten Flächen wurde bereits unterseitig mit ca. 10 cm starker Dämmung der Wärmeleitgruppe 035 gedämmt. Der U-Wert der Kellerdecke beträgt somit ca. $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Fenster wurden im Erd- und Obergeschoss in den Jahren 2010-2012 gegen

neue Kunststofffenster getauscht und weisen einen U_w -Wert von ca. $1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Die Fenster im beheizten Dachgeschoss sind ca. 40 Jahre alte Holzfenster mit einem U_w -Wert gemäß Typologie von ca. $2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Rollladenkästen wurden im Jahr 2023 in Eigenleistung gedämmt und werden daher gemäß Typologie mit einem U-Wert von ca. $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt. Das Dach ist mit ca. 6 cm Mineralwolle WLG 035 im Zwischensparrenbereich gedämmt, woraus ein U-Wert von ca. $0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$ resultiert. Die Gaubenfront und Gaubenbacken werden als ungedämmte Holzkonstruktion gemäß Typologie mit einem U-Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (Buderus GB 142-24 (Brennwerttechnik) mit einer Leistung Q_N 24,00 kW; Baujahr 2004). Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es ist kein Pufferspeicher vorhanden und der Trinkwarmwasserspeicher der Firma Buderus entspricht dem Baujahr der Gasheizung. Die Heizkreispumpe des Herstellers Wilo (Umwälzpumpe) ist dreistufig einstellbar (Wilo Star-RS25/4). Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem aktuellen Stand der Technik gedämmt (in Eigenleistung durch die Bauherren).

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 38.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser.



Abb. 10. Anlagentechnik Objekt 4

Das Gebäude wird in allen Räumen ausschließlich mittels Kompaktheizkörpern beheizt. Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 } ^\circ\text{C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Erdgeschoss					
Wohnraum	600	2000	Typ 22	3388	1,7
WC-Raum	600	500	Typ 21	703	3,7
Schlafen	600	1600	Typ 22	2710	1,6
Küche	900	900	Typ 22	2120	1,4
Esszimmer	600	1600	Typ 21	2250	3,3
Büroraum	600	1200	Typ 22	2033	1,4
Badezimmer	600	1800	Typ 21	2269	4,0
Obergeschoss					
Wohnraum	500	1400	Typ 33	2974	1,6
WC-Raum	500	600	Typ 11	495	2,9
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	2033	1,3
Küche	500	1200	Typ 22	1753	1,4
Esszimmer	500	1200	Typ 22	1753	2,8
Büroraum	2000	3-gliedrig, 10 Glieder	Gliederheizkörper	1890	1,4
Badezimmer	2000	3-gliedrig, 8 Glieder	Gliederheizkörper	1356	2,5
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 33	2461	2,3
WC-Raum	400	400	Typ 11	270	1,9
Schlafzimmer	600	900	Typ 33	2215	3,8
Küche	600	500	Typ 22	847	1,3
Büroraum	400	900	Typ 21	784	1,2
Badezimmer	400	900	Typ 22	843	1,1

Tabelle 10: Objekt 4 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.4.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der Unterlagen war sehr unterschiedlich. Die bereitgestellten Planunterlagen waren teilweise unvollständig. Sie beinhalteten beispielweise keine Fensteröffnungsmaße. Diese wurden manuell als Exceltabelle nach Geschoss und Orientierung bereitgestellt. Die neu eingebauten Fenster konnten dank vorliegender Rechnungen sehr genau bestimmt und eingruppiert werden. Die Heizkörperdimensionierung wurde manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Die restlichen Bauteilaufbauten waren dem Besitzer nicht bekannt. Ersichtliche Bauteile (zum Beispiel im Bereich der Dachsparren oder die Kellerdeckendämmung) wurden vor Ort aufgenommen und die daraus resultierenden U-Werte selbst ermittelt.

2.4.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 17,7 kW.²⁸ Die spezifische Heizlast beträgt 70 W/m² und erstreckt sich auf eine beheizbare Grundfläche von

²⁸ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2020)

253 m². Es ergeben sich zum Teil sehr hohe raumweise Heizlasten, die aus dem schlechten energetischen Zustand des Gebäudes und den besonders hohen Decken (teilweise über 3,00 Meter) resultieren. Die Normaußentemperatur beträgt gemäß DIN EN 12831.2017 -12,50°C.²⁹ Die spezifische Heizlast beträgt 70 W/m² und erstreckt sich auf eine beheizbare Nettogrundfläche von 253 m². Die berechnete Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 71°C und im Rücklauf 46°C. Die momentan vorherrschende Spreizung sowie Vorlauftemperatur sind mit 25 Kelvin deutlich zu groß. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet. Ebenso ist die vorhandene Heizlast sehr hoch. Diese wäre in einem ersten Sanierungsschritt zu senken.

2.4.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

In einer ersten Variante wird versucht, die Heizlast des Gebäudes durch energetische Sanierungsmaßnahmen zu senken.

Als Sanierung wird das Anbringen eines WDVS vorgeschlagen. Die Außenwände werden in der Simulation mit 18 cm WLG 035 gedämmt. Dadurch verringert sich die Heizlast von 17,7 kW auf 8,6 kW bzw. 34 W/m². Dies entspricht einer Halbierung der Heizlast. Zusätzlich müssten im Dachgeschoss zwei Heizkörper getauscht werden (beide Heizkörper würden bei Verbleib dafür sorgen, dass die Vorlauftemperatur von 65°C aufrecht erhalten werden müsste bei einer dann vorhandenen Spreizung von 31 Kelvin). Die beiden getauschten Heizkörper sind in der unten aufgeführten Tabelle fett markiert. Durch das Anbringen des WDVS und den Austausch der zwei Heizkörper kann die Vorlauftemperatur auf 53°C im Vorlauf und 33°C im Rücklauf abgesenkt werden. Die im Zuge der Sanierungsvariante 1 erzielten Werte (Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur und Spreizung) sind nach wie vor – bezogen auf die gewählten Kriterien für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe – zu hoch und erfüllen auch nicht die Eingangsparameterkriterien der JAZ-Rechenprogramme für die Berechnung einer Jahresarbeitszahl. Aus diesem Grund müssen in Variante 2 weitere Optimierungsmaßnahmen, hier Anlagentechnik, vorgenommen werden.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm 75/65 °C}	q _{HK} /q _r
Erdgeschoss					
Wohnraum	600	2000	Typ 22	3388	1,7
WC-Raum	600	500	Typ 21	703	3,7
Schlafen	600	1600	Typ 22	2710	1,6
Küche	900	900	Typ 22	2120	1,4

²⁹ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2017)

Esszimmer	600	1600	Typ 21	2250	3,3
Bürraum	600	1200	Typ 22	2033	1,4
Badezimmer	600	1800	Typ 21	2269	4,0
Obergeschoss					
Wohnraum	500	1400	Typ 33	2974	1,6
WC-Raum	500	600	Typ 11	495	2,9
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	2033	1,3
Küche	500	1200	Typ 22	1753	1,4
Esszimmer	500	1200	Typ 22	1753	2,8
Bürraum	2000	3-gliedrig, 10 Glieder	Gliederheizkörper	1890	1,4
Badezimmer	2000	3-gliedrig, 8 Glieder	Gliederheizkörper	1356	2,5
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 33	2461	2,3
WC-Raum	400	400	Typ 11	270	1,9
Schlafzimmer	600	900	Typ 33	2215	3,8
Küche	600	500	Typ 22	847	1,3
Bürraum	400	1000	Typ 22	1207	2,7
Badezimmer	600	900	Typ 22	1265	2,6

Tabelle 11: Objekt 4 Auflistung Heizkörper Variante 1

Variante 2

In einem nächsten Schritt wird versucht, die Spreizung auf ein für die Wärmepumpe vernünftiges Maß zu beschränken. Eine kleinere Spreizung kann erreicht werden, indem die Heizkörper knapper bemessen und auf die Bedürfnisse des Raums ausgelegt werden. Hierfür müssten zusätzlich, zu den bereits getauschten Heizkörpern der vorherigen Variante weitere Heizkörper getauscht werden. Hierdurch erhöht sich der Volumenstrom. Die Heizlast des Gebäudes bleibt durch diese Maßnahme selbstverständlich unberührt.

Folgende Heizkörper (in der unten angehängten Tabelle fett markiert) müssten getauscht werden, um die Vorlauftemperatur auf 49°C im Vorlauf und 39°C im Rücklauf abzusenken. Da die Spreizung nun 10 Kelvin beträgt, kann die JAZ der Wärmepumpe berechnet werden. Die Sanierungsvarianten sind damit für dieses Objekt abgeschlossen.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Erdgeschoss					
Wohnraum	600	2000	Typ 22	3388	3,4
WC-Raum	600	500	Typ 10	342	5,2
Schlafen	600	800	Typ 33	1969	2,5
Küche	900	900	Typ 22	2120	1,4
Esszimmer	600	800	Typ 21	1125	3,3
Bürraum	600	1200	Typ 22	2033	1,4
Badezimmer	500	800	Typ 21	869	2,6
Obergeschoss					

Wohnraum	500	1200	Typ 33	2549	2,6
WC-Raum	400	400	Typ 11	279	3,4
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	2033	1,3
Küche	500	800	Typ 22	1169	2,5
Esszimmer	500	800	Typ 22	1169	3,1
Büroraum	600	800	Typ 22	1355	2,4
Badezimmer	600	800	Typ 21	1008	3,3
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 21	1406	2,4
WC-Raum	400	400	Typ 11	270	3,4
Schlafzimmer	500	600	Typ 21	638	2,5
Küche	600	500	Typ 22	847	2,5
Büroraum	400	1000	Typ 22	1207	2,7
Badezimmer	600	900	Typ 22	1265	2,8

Tabelle 12: Objekt 4 Auflistung Heizkörper Variante 2

2.4.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde nach den oben benannten Parametern angepasst und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl (JAZ) mit Backup mit der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb beträgt inklusive Backup in diesem Fall 4,2, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,8 und die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage inklusive Backup 4,1. Die Trinkwarmwasserbereitung wurde hierbei für die Berechnung vollständig durch die Wärmepumpe bereitgestellt. Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.4.6 Schlussbemerkung

Die nach der Sanierung berechnete Gesamtjahresarbeitszahl mit 4,1 kann als ein sehr gutes Ergebnis, unter Beachtung des Baualters, betrachtet werden. Eine weitere Erhöhung der JAZ wäre nur durch den Einsatz eines deutlich höheren Investitionsvolumens möglich. Da in dieser Masterarbeit der Fokus auf die Wärmepumpentauglichkeit der Bestandswohngebäude gelegt wird und dieser wirtschaftlich vertretbar sein muss, ist dies ein sehr gutes Ergebnis und eine weitere Optimierung wird daher nicht empfohlen.

Die notwendigen Investitionskosten zur Erreichung des Ergebnisses können als hohe Investitionen betrachtet werden. Durch die besonders schlechten Außenwände und der nachträglichen Dämmung wird ein nachträglicher Austausch fast sämtlicher Heizkörperflächen notwendig. Dies gilt insbesondere für das Obergeschoss, bei dem die Verluste über die Außenwände überwiegen. Beim Erd- bzw. Dachgeschoss ist der Anteil der Verluste über die Außenwände aufgrund der vorhandenen Dachdämmung bzw. der vorhandenen Dämmung der Kellerdecke geringer,

weshalb hier weniger Heizkörper getauscht werden müssen. Schlussendlich ist das erzielte Ergebnis zufriedenstellend.

2.5 Objekt 5: EFH in Eberhardzell

2.5.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem fünften Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Gebäude mit zwei Wohneinheiten, das momentan von einem Ehepaar bewohnt ist und daher nur teilweise beheizt wird. Das Objekt befindet sich in Eberhardzell (Postleitzahl 88436) und wurde 1991 errichtet. Die Wohnfläche erstreckt sich auf ein beheiztes Kellergeschoss, ein beheiztes Erdgeschoss sowie ein beheiztes Dachgeschoss. Zusätzlich ist noch ein nicht ausgebauter Dachboden als Lagerfläche vorhanden. Das Kellergeschoss grenzt einseitig an Außenluft und ist in eine Böschung gebaut.



Abb. 11: Gebäudeansichten Objekt 5

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht größtenteils dem Baujahr, wobei viele Elemente deutlich besser gedämmt wurden als notwendig. Die Bodenplatte zu beheizten Flächen besteht aus einer Kies-schüttung, auf der eine 30 cm starke Stahlbetonplatte liegt. Auf dieser ist eine 5 cm starke EPS-Platte (WLG 040) aufgebracht und mit einem 4,5 cm starken Anhydrit-Estrich überdeckt. Der U-Wert der Bodenplatte beträgt somit ca. $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Kellerwände gegen Erdreich bestehen aus 24 cm starkem Stahlbeton, der auf der Außenseite mit einer 6 cm starken Dämmung der

Wärmeleitgruppe 0,40 gedämmt sind. Der U-Wert für die Kellerwände gegen Erdreich beträgt ca. $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Kellerwände gegen Außenluft bestehen aus einem 30 cm starken Mauerwerk und einer zusätzlichen 6 cm starken Außendämmung der WLG 040. Hieraus lässt ein U-Wert von ca. $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ ermitteln.

Die Außenwände gegen Außenluft im Erdgeschoss bestehen aus einer 6 cm massiven Holzblockwand mit einem 16 cm starken, außenliegenden Ständerwerk aus Holz. Der Zwischenbereich ist mit Zellulose der Wärmeleitgruppe 040 gedämmt und mit einer 16 mm starken Pressspanplatte und einer 10 mm starken Gipsfaserplatte gekapselt. Der daraus resultierende U-Wert beträgt $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Außenwände im Dachgeschoss inkl. Gaubenbacken und Gaubenfront sind aus einer 20 cm starken Holztafelwand hergestellt. Der Zwischenbereich ist mit Zellulose WLG 040 gedämmt. Innenseitig ist das Element mit einer 10 mm starken Gipsfaserplatte und einer 16 mm starken Pressspanplatte gekapselt. Außenseitig ist eine Holzverschalung vorhanden. Der U-Wert beträgt ca. $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Fenster wurden gut als Zweischeiben-Isolierverglasung als Sprossenfenster mit Silberbedampfung (U_g -Wert von $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$) ausgeführt und besitzen somit einen U_w -Wert von ca. $1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Haustüre entspricht dem Baujahr und wird daher mit einem U_d -Wert von $2,90 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ angesetzt.

Das Dach wurde als Warmdach ausgeführt. Die Sparrenstärke beträgt 16 cm. Der Zwischensparrenraum wurde mit Zellulosefasern der Wärmeleitgruppe WLG 040 gedämmt. Innenseitig wurde der Aufbau erneut mit einer Gipskartonplatte sowie einer Pressspanplatte gekapselt. Auf der kalten Außenseite geschieht dies durch eine Bretterschalung. Der hieraus resultierende U-Wert beträgt ca. $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Geschossdecke zwischen unbeheizter Garage und Obergeschoss wurde als Balkendecke mit einer 5 cm starken EPS-Dämmung der Wärmeleitgruppe 040 gedämmt. Der Anhydrit-Estrich beträgt 4,5 cm. Der hieraus ermittelte U-Wert wird mit $0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.

Anlagentechnik

Momentan wird das Gebäude zentral durch eine Scheitholzanlage (De Dietrich Spezialholzkessel CF 144 mit einer Leistung Q_N 22,00 kW; Baujahr 1995) mit einer Nachverbrennung sowie einer Öl-Heizung (Weishaupt Thermo mit einer Leistung Q_N 31,00 kW; Baujahr 1995) mit Gebläse-Brenner versorgt. Das Trinkwarmwasser wird durch eine Trinkwarmwasser-Wärmepumpe sichergestellt. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt vorwiegend durch Scheitholz.

Das Gebäude verfügt im Erdgeschoss zum Teil über Fußbodenheizung (Anteil Gesamtgebäude ca. 25%). Die restlichen Räume werden durch Kompaktheizkörper beheizt. Der jährliche

Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 35.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser, wovon 22 % auf die Ölheizung und 78 % auf den Scheitholzkessel entfallen.

Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es ist ein Pufferspeicher für den Scheitholzkessel mit 750 Litern vorhanden. Es wurden bereits geregelte Effizienz-Umwälzpumpen für die Fußbodenheizung sowie für die Heizkörperflächen eingebaut (Wilo Stratos PICO 25/1-6). Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr gedämmt. Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen.

Die Trinkwarmwasser-Wärmepumpe der Firma Brötje (BTW S) mit dem Kältemittel R134a besitzt einen Trinkwarmwasserspeicher mit 265 Liter Inhalt.



Abb. 12: Anlagentechnik Objekt 5

Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	q_{HK}/q_r
Untergeschoss					
WC-Raum	500	500	Typ 10	293	1,2
Treppenraum	900	700	Typ 22	1871	3,8
Hobbyraum	600	1200	Typ 22	2033	1,3
Hauswirtschaftsraum	600	800	Typ 12	1113	2,9
Bürraum	600	800	Typ 12	983	2,8
Bürraum	600	800	Typ 12	983	2,8
Erdgeschoss					
Wohnraum	400	800	Typ 22	966	2,3
Wohnraum	400	900	Typ 22	1086	2,3
Wohnraum	400	800	Typ 22	966	2,3
WC-Raum	500	500	Typ 12	532	4,5
Schlafzimmer	600	1800	Typ 22	3049	5,0

Dachgeschoss					
Wohnraum	600	900	Typ 12	1106	1,5
Wohnraum 2	600	700	Typ 12	860	1,4
Wohnraum 2	600	700	Typ 12	860	1,4
Wohnraum 3	600	900	Typ 12	1106	1,3
Fitnessraum	600	2300	Typ 22	4309	1,4
Badezimmer	600	1800	Typ 22	2734	5,5
Abstellraum	600	800	Typ 12	1113	8,0

Tabelle 13: Objekt 5 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

Über den Einbau der Fußbodenheizung liegen keine genauen Daten vor. Aus diesem Grund wurde die Fußbodenheizung mit folgenden Daten angesetzt:

- Estrichüberdeckung: 45 mm
- Innendurchmesser 15 mm
- Bodenbelag: bei diesem Objekt Fliesen
- Verlegeabstand: 20 cm

Der mit Fußbodenheizung beheizte Bereich erstreckt sich ausschließlich auf Teilflächen im Erdgeschoss in den Räumen Wohnzimmer, Küche, Bad, Flur und Eingangsbereich.

2.5.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die vorhandenen Unterlagen waren sehr gut. Da die aktuellen Eigentümer auch die Bauherren waren, konnten sehr detaillierte Aussagen über den Aufbau der Gebäudesubstanz gemacht werden. Die Gebäudehülle sowie die verwendeten Materialien waren genau bekannt und konnten entsprechend eingruppiert werden. Die Heizkörperdimensionierung wurden manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Der genaue Verlege-Abstand der Fußbodenheizung konnte im Nachhinein nicht ermittelt werden.

2.5.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 13,5 kW.³⁰ Die Normaußentemperatur beträgt -13,50°C gemäß DIN EN 12831 2017.³¹ Die spezifische Heizlast beträgt 38 W/m² und erstreckt sich auf eine Nettogrundfläche von 358 m². Die berechnete Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 67°C und im Rücklauf 46°C. Die momentan

³⁰ (Deutsche Institut für Normung e.V, 2020)

³¹ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2017)

vorherrschende Spreizung beträgt 21 Kelvin. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist anhand des JAZ-Rechners des Bundesverband Wärmepumpe e. V. nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet. Da die energetische Qualität des Gebäudes bereits sehr gut ist, wird in dieser Betrachtung auf eine energetische Optimierung der Hüllfläche verzichtet. Die besonders guten U-Werte sind auf die Konstruktionsweise aus Holzbau zurückzuführen. Stattdessen wird eine Optimierung der Heizflächen vorgenommen.

2.5.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Aufgrund vom Herstelljahr des Gebäudes fällt dieses in den Gültigkeitszeitraum der Wärmeschutzverordnung 1982/84. Da es sich jedoch um ein Holzhaus handelt, ist der Mindestwärmeschutz an diesem Gebäude deutlich übererfüllt. Selbst im Bereich der beheizten Kelleraußenwände wurde eine außenliegende Dämmung angebracht. Aus diesem Grund wird eine Verbesserung der Hüllfläche nicht angestrebt und der Austausch einzelner Heizflächen, um die Vorlauftemperatur und die Spreizung in ein für eine Wärmepumpe geeigneten Bereich zu bringen, präferiert. Um die Vorlauftemperatur im Heizkörper-Kreislauf auf ein für die Wärmepumpe geeignete Vorlauftemperatur vom 50°C bringen zu können, müssen insgesamt 9 von 18 Heizkörpern ausgetauscht werden. Die ausgetauschten Heizkörper im Vergleich zum IST-Zustand sind in der Tabelle fett markiert. Folgender Austausch wird gemäß Simulation empfohlen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm} 75/65 °C	q _{HK} /q _r
Untergeschoss					
WC-Raum	750	700	Typ 12	1032	4,4
Treppenraum	900	700	Typ 22	1871	3,8
Hobbyraum	600	1600	Typ 33	3938	2,5
Hauswirtschaftsraum	600	800	Typ 12	1113	2,9
Büroraum	600	800	Typ 12	983	2,8
Büroraum	600	800	Typ 12	983	2,8
Erdgeschoss					
Wohnraum	400	800	Typ 22	966	2,3
Wohnraum	400	1000	Typ 22	1207	2,3
Wohnraum	400	800	Typ 22	966	2,3
WC-Raum	500	500	Typ 12	532	4,5
Schlafzimmer	600	1800	Typ 22	3049	5,0
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1000	Typ 22	1694	2,3
Wohnraum 2	600	700	Typ 12	860	2,5
Wohnraum 2	600	900	Typ 33	2215	2,5
Wohnraum 3	600	900	Typ 33	2215	2,7

Fitnessraum	600	2600	Typ 33	7082	2,3
Badezimmer	600	800	Typ 22	1215	2,8
Abstellraum*	600	800	Typ 12	1113	8,0
* Negative Heizlast; Heizfläche ist zur Deckung der Heizlast nicht notwendig					

Tabelle 14: Objekt 5 Auflistung Heizkörper Variante 1

Durch die oben beschriebenen Maßnahmen kann die Vorlauftemperatur im Heizkreis der Heizkörper auf 50°C abgesenkt werden. Die Rücklauftemperatur verändert sich auf 40°C. Für die Fußbodenheizung wird eine Vorlauftemperatur von 35°C und eine Rücklauftemperatur von 29°C benötigt. Die Vorlauftemperatur für die gesamte Heizungsanlage beträgt 50°C im Vorlauf und aufgrund der Fußbodenheizung im Rücklauf 37°C.

Da die Jahresarbeitszahl bei einer 13 Kelvin Spreizung mit dem JAZ-Rechner des Bundesverband Wärmepumpe e.V. nicht berechnet werden kann, wird der konservative Ansatz für die Berechnung der Jahresarbeitszahl gewählt und die Jahresarbeitszahl für den Heizkreis mit den höheren Vorlauftemperaturen berechnet. Somit wird der Heizkreis für die Heizkörper mit einer Vorlauftemperatur von 50°C und einer Rücklauftemperatur von 40°C betrachtet und simuliert.

Der Volumenstrom erhöht sich deutlich von ursprünglich 698 l/h im IST-Zustand auf 1.192 l/h im sanierten Zustand der Variante 1.

2.5.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde nach den oben benannten Parametern durchgeführt und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl mit Backup (JAZ) mit der Wärmepumpe CHA-10/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in Variante 1 mit Heizbetrieb beträgt in diesem Fall inklusive Backup 4,0 und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung inkl. Backup 3,8. Die daraus resultierende Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage beträgt inklusive Backup 4,0. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 98 %. Da die vorhandene Trinkwarmwasser-Wärmepumpe defekt ist und nur bedingt Trinkwarmwasser erzeugt (Erzeugung über Heizstab), wird in der Simulation eine Trinkwarmwasser-Erwärmung auf Basis der neuen Wärmepumpe zugrunde gelegt. Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.5.6 Schlussbemerkung

Aufgrund der guten Bausubstanz kann das Gebäude mit einem überschaubaren Aufwand die Anforderungen an eine Wärmepumpentauglichkeit erreichen. Lediglich der Austausch von 9 Heizkörperflächen ist hierfür notwendig. Die im Vergleich zu den anderen Objekten etwas schlechtere Gesamtjahresarbeitszahl lässt sich durch die hohe Normaußentemperatur erklären. Das Gebäude besitzt sehr gute Voraussetzungen, um den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe zu gewährleisten.

2.6 Objekt 6: EFH in Bad Saulgau

2.6.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem sechsten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Gebäude mit zwei Wohneinheiten, das momentan von einer Familie bewohnt wird. Das Objekt befindet sich in Bad Saulgau (Postleitzahl 88348) und wurde 1987 errichtet. Die beheizte Wohnfläche erstreckt sich auf ein beheiztes Kellergeschoss (als Einliegerwohnung abgrenzbar), ein beheiztes Erdgeschoss sowie ein bewohntes Dachgeschoss. Das Kellergeschoss grenzt einseitig an Außenluft und ist in einen Hang gebaut.



Abb. 13: Gebäudeansichten Objekt 6

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht größtenteils dem Baujahr. Vereinzelt Fensterflächen wurden aufgrund baulicher Mängel bereits ertüchtigt.

Die Bodenplatte zu beheizten Flächen besteht aus einer Kiesschüttung, auf der eine 20 cm starke Stahlbetonplatte liegt. Der genaue Fußbodenaufbau ist nicht bekannt. Der durch die Typologie anzusetzende U-Wert beträgt $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da das Gebäude 2013 im Zuge eines

Eigentümerwechsels einen neuen Fußbodenaufbau im beheizten Untergeschoss in Form einer Fußbodenheizung erhalten hat, kann die Bodenplatte mit einem U-Wert von $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt werden.

Die Außenwände im Keller wurden in massiver Bauweise errichtet. Der genaue Aufbau ist hier ebenfalls nicht bekannt. Da das Gebäude jedoch besser als der gesetzliche Mindeststandard errichtet wurde, wird anstelle der Typologie mit einem U-Wert von $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ ein U-Wert von $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt.

Die Geschossdecke zwischen Keller- und Erdgeschoss besteht aus einer 20 cm starken Stahlbetonplatte, auf der eine 4 cm starke Hartschaumplatte der Wärmeleitgruppe 040 angebracht wurde. Auf dieser Hartschaumplatte befindet sich ein 4 cm starker Zementestrich. Der errechnete U-Wert beträgt $0,646 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zwischen dem Erd- und Dachgeschoss wurde eine Holzbalkendecke angebracht, welche mit 20 cm starken Balken realisiert wurde. Die Balken sind mit 10 cm Mineralwolle der Wärmeleitgruppe 040 ausgedämmt und unterseitig durch eine Gipskartonplatte verschlossen. Oberseitig wurde eine Fichteschalung mit einem entsprechenden Estrich angebracht. Der hieraus resultierende U-Wert beträgt $0,328 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Außenwände im Erd- und Dachgeschoss bestehen aus 12 cm starken Holzständern (ausgedämmt mit Mineralwolle WLG 040), die außenseitig mit einer verputzbaren PU-Hartschaumplatte der Wärmeleitgruppe 040 versehen wurden. Die Holzständer sind beidseitig mit einer Spanplatte gekapselt. Innenseitig ist eine 10 mm starke Gipskartonplatte vorhanden. Der angegebene U-Wert beträgt $0,255 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Das Sparrendach wurde als Kaltdach ausgeführt und ist 18 cm stark, wovon 10 cm mit Mineralwolle der Wärmeleitgruppe 040 gedämmt sind. Innenseitig ist das Sparrendach mit einer Gipskartonplatte verschalt. Der errechnete U-Wert beträgt $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die alten Fenster sind überdurchschnittlich gut und als Zweischeiben-Isolierverglasung und mit einem U_w -Wert von $1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingebaut worden. Die bereits erneuerten Fenster haben auch eine Zweischeiben-Isolierverglasung mit einem U_w -Wert von $1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Haustüre wurde ebenfalls bereits getauscht und wird mit einem U_d -Wert von $1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ angesetzt. Ebenfalls wurden die vorhandenen Dachfenster gegen neue, dreifach verglaste Dachfenster getauscht (U_w -Wert von $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Anlagentechnik

Die alte Ölheizung wurde im Jahr 2013 gegen ein neues, mit Gas betriebenes, mikro-Blockheizkraftwerk (ecoPOWER 1.0 HS 1) der Firma Vaillant mit 14,3 kW getauscht.

Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es sind ein Pufferspeicher und ein Trinkwarmwasserspeicher vorhanden. Beide entsprechen dem Baujahr des mikro-Blockheizkraftwerks. Auch wurde im Zuge der

Heizungsumstellung eine Effizienzpumpe (Umwälzpumpe) verbaut. Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr der Heizung gut gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 37.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser. Zusätzlich ist ein Kachelofen vorhanden. Der genaue Verbrauch an Stückholz ist jedoch nicht bekannt. Der Kachelofen wurde ebenfalls im Jahr 2013 errichtet.



Abb. 14: Anlagentechnik Objekt 6

Das Gebäude verfügt im Kellergeschoss über Fußbodenheizung. Zusätzlich wird im Dachgeschoss das Badezimmer mit Fußbodenheizung beheizt (Anteil am Gesamtgebäude ca. 35-40%). Die restlichen Räume werden mittels Kompaktheizkörpern beheizt. Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 } ^\circ\text{C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Erdgeschoss					
Badezimmer	500	1200	Typ 21	1304	2,6
Flur	600	600	Typ 21	956	2,2
Flur	500	1200	Typ 21	1647	15,7
Gästezimmer	600	1000	Typ 21	1406	3,7
WC-Raum	600	600	Typ 21	844	4,0
Wohnzimmer	500	1200	Typ 21	1454	2,3
Wohnzimmer	500	1200	Typ 21	1454	2,3
Wohnzimmer	500	1200	Typ 21	2424	2,3
Wohnzimmer (Kaminzimmer)	500	1400	Typ 22	2045	2,3
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	600	1200	Typ 21	1687	2,5
Schlafzimmer 2	600	800	Typ 21	1125	1,9
Umskleideraum	600	1000	Typ 21	1261	1,0

Tabelle 15: Objekt 6 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.6.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der bereitgestellten Unterlagen war sehr gut und sehr aussagekräftig. Es lag eine zum Großteil vollständige bauphysikalische Berechnung vor, trotz eines vor ca. 10 Jahren stattgefundenen Eigentümerwechsels. Zusätzlich waren sämtliche Unterlagen zu zwischenzeitlich durchgeführten Sanierungsmaßnahmen vorhanden, sodass diese entsprechend berücksichtigt werden konnten. Ebenfalls waren vollständige Planunterlagen vorhanden. Diese beinhalteten bereits die Öffnungsmaße der Fenster und Türen. Die Heizkörperdimensionierung wurden manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Die Bauteilaufbauten waren sehr genau und detailliert beschrieben.

2.6.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 14,1 kW.³² Die Normaußentemperatur beträgt gemäß DIN EN 12831-2017 -12,60°C.³³ Die spezifische Heizlast beträgt 42 W/m² und erstreckt sich auf eine Nettogrundfläche von 336 m². Die berechnete Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 74°C und im Rücklauf 39°C. Die momentan vorherrschende Spreizung ist für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe deutlich zu hoch. Ebenfalls ist die Heizlast hoch. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist anhand des JAZ-Rechners des Bundesverband Wärmepumpe e. V. nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

2.6.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Das Gebäude wurde während des Gültigkeitszeitraums der Wärmeschutzverordnung 1982/84 erstellt. Da das Gebäude ab dem Erdgeschoss als Holzständerbauweise errichtet wurde, ist der energetische Standard deutlich über der Wärmeschutzverordnung 1982/84 anzusetzen und wurde nach den mitgelieferten Bauteilaufbauten simuliert. Das einzige Bauteil, das energetisch ein deutliches Optimierungspotential besitzt, sind die Fensterflächen. Aus diesem Grund wurde in der Variante 1 ein Austausch der Fensterflächen vorgenommen. Die neuen Fenster werden mit einem U_w -Wert von 0,80 W/m²K angesetzt. Dadurch verringert sich die Heizlast von ursprünglich 14,1 kW auf 12,4 kW bzw. von 42 W/m² auf 37 W/m². Die Vorlauftemperatur des Gesamtsystems bleibt allerdings weiterhin bei hohen 73°C bei einer Spreizung von 35 Kelvin. Die im Zuge der Sanierungsvariante 1 erzielten Werte (Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur und Spreizung) sind nach wie vor – bezogen auf die gewählten Kriterien für den wirtschaftlichen Betrieb

³² (Deutsche Institut für Normung e.V, 2020)

³³ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2017)

einer Wärmepumpe – zu hoch und erfüllen auch nicht die Eingangsparameterkriterien der JAZ-Rechenprogramme für die Berechnung einer Jahresarbeitszahl. Aus diesem Grund müssen in Variante 2 weitere Optimierungsmaßnahmen, hier Anlagentechnik, vorgenommen werden.

Variante 2

Zusätzlich zum genannten Fenstertausch in Variante 1 ist Austausch einzelner Heizflächen notwendig, um die Vorlauftemperatur und die Spreizung in einen für eine Wärmepumpe geeigneten Bereich zu bringen. Um die Vorlauftemperatur im Heizkörperkreislauf auf eine für die Wärmepumpe geeignete Vorlauftemperatur im Gesamtsystem, also inkl. Fußbodenheizung, von 45°C und einer Rücklauftemperatur von 35°C bringen zu können, müssen insgesamt 4 von 12 Heizkörper ausgetauscht werden.

Die ausgetauschten Heizkörper im Vergleich zum IST-Zustand sind in der Tabelle fett markiert. Folgender Austausch wird gemäß Simulation empfohlen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm 75/65 °C}	q _{HK} /q _r
Erdgeschoss					
Badezimmer	500	1200	Typ 21	1304	3,3
Flur	600	600	Typ 21	956	8,6
Flur	500	1200	Typ 21	1647	4,2
Gästezimmer	500	900	Typ 12	957	3,2
WC-Raum	600	600	Typ 21	844	5,3
Wohnzimmer	500	1200	Typ 21	1454	3,1
Wohnzimmer	500	1200	Typ 21	1454	3,1
Wohnzimmer	500	1200	Typ 21	2424	3,1
Wohnzimmer (Kaminzimmer)	500	1400	Typ 22	2045	3,1
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	2033	3,1
Schlafzimmer 2	600	1000	Typ 22	1694	2,9
Umkleieraum	600	1800	Typ 33	3968	3,4

Tabelle 16: Objekt 6 Auflistung Heizkörper Variante 2

2.6.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde entsprechend den oben genannten Parametern angepasst und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl mit Backup (JAZ) mit der Wärmepumpe CHA-10/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in Variante 2 im Heizbetrieb beträgt dann inklusive Backup 4,5 und die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung inkl. Backup 3,9. Die daraus resultierende Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage beträgt inklusive Backup 4,4. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 98 %.

Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.6.6 Schlussbemerkung

Die errechnete Gesamtjahresarbeitszahl nach dem Austausch der Fensterflächen sowie dem Austausch von 4 Heizkörpern von 4,4 in Variante 2 ist ein sehr gutes Ergebnis. Der hierfür notwendige Aufwand zur Erzielung des Ergebnisses kann als gering betrachtet werden, da die ca. 37 Jahre alten Fenster zeitnah sowieso ausgetauscht werden müssen (Ende der Lebensdauer). Diese Maßnahmen sind somit nicht direkt der Wärmepumpe zuzuordnen, obwohl dieser Fenstertausch den Einsatz der Wärmepumpe aufgrund der geringen Heizlast begünstigt. Das Gebäude ist daher mit einem geringen finanziellen Aufwand für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

2.7 Objekt 7: EFH in Neu-Ulm

2.7.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem siebten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Gebäude mit einer Wohneinheit. Das Objekt befindet sich in Neu-Ulm (Postleitzahl 89231) und wurde 1995 errichtet. Die 112 m² Wohnfläche erstrecken sich auf ein teilweise beheiztes Kellergeschoss, ein beheiztes Erdgeschoss sowie ein ausgebautes Dachgeschoss. Zusätzlich ist noch ein nicht ausgebauter Dachboden vorhanden.



Abb. 15: Gebäudeansichten Objekt 7

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht größtenteils dem Baujahr, wobei einzelne Bauteile bereits in Eigenleistung verbessert wurden.

Die Bodenplatte zu beheizten Flächen besteht aus einer Kiesschüttung (genaue Stärke unbekannt), auf der eine 15 cm starke Stahlbetonplatte liegt. Auf dieser Stahlbetonplatte ist eine 6 cm starke PUR Dämmplatte (WLG 020) aufgebracht und mit einem 5 cm starken Anhydrit-Estrich überdeckt. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass Dämmstoffe mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 020 heutzutage nur noch sehr selten vorhanden sind (z. B. Vakuumdäm-

mung, Aerogele, Aerowolle oder Resol Hartschaumplatten) und diese sehr teuer sind. Ob diese vor ca. 30 Jahren bereits auf dem Baustoffmarkt vorhanden waren, darf stark bezweifelt werden. Da diese und noch weitere Angaben in der Wärmeschutzberechnung gemacht wurden, jedoch als unplausibel gelten, wurden am Baustoff entsprechende Anpassungen vorgenommen.

Die PUR-Hartschaumplatte wurde somit mit einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,28 angenommen. Der U-Wert der Bodenplatte beträgt somit ca. $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Betonkellerwände sind 25 cm stark und außenseitig mit einer 5 cm starken Styrodur Dämmung der Wärmeleitgruppe 040 gedämmt. Innenseitig ist ein 2 cm starker Putz angebracht. Gemäß Wärmeschutznachweis besitzt das verbaute Styrodur erneut einen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,20, was unplausibel ist. Der U-Wert der Kelleraußenwände beträgt mit den angepassten Wärmeleitzahlen somit ca. $0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Decke zwischen Erd- und Obergeschoss besteht aus einer 16 cm starken Stahlbetonplatte mit einer 10 cm starken Dämmschicht der Wärmeleitgruppe 035 und einem 35 Millimeter starken Estrich. Die Unterseite der Decke ist verputzt. Durch die 10 cm starke Dämmschicht ergibt sich ein guter U-Wert von $0,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Die Schicht ist jedoch nur bedingt relevant für die Betrachtung.

Die Außenwände gegen Außenluft im Erd- und Obergeschoss bestehen aus 36,5 cm starken Poroton-Mauerwerksziegeln. Der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit beträgt gemäß Datenblatt $0,19 \text{ W/(mk)}$. Da in Deutschland lediglich mit dem Bemessungswert und nicht mit dem Rechenwert gerechnet werden darf, wird der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit auf $0,20 \text{ W/(mk)}$ angepasst. Die Mauerwerksziegel sind beidseitig verputzt. Der U-Wert der Außenwand gegen Außenluft beträgt somit ca. $0,44 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Die Fenster wurden als Holzfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung ausgeführt. Da hierfür keine weiteren Daten bekannt sind, wird somit ein U_w -Wert von $2,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ angesetzt. Der schlechte U-Wert lässt sich zusätzlich damit begründen, dass die Fenster aus einem tropischen Holz mit enger Faserung hergestellt wurden. Die enge Faserung und die dadurch resultierende hohe Rohdichte sorgen für einen besonders guten Wärmedurchgang und bedingen einen schlechten U-Wert.

Im Obergeschoss sind drei aus dem Baujahr verbaute Dachfenster vorhanden, die einen U_w -Wert von $3,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ aufweisen (gemäß Typologie). Der Zwischensparrenbereich des Sparrendachs wurde mit 12 cm Mineralwolle WLG 035 ausgedämmt. Innenseitig wurde eine 1,5 cm starke Nut- und Federschälung und auf der Oberseite des Sparrens eine 1,5 cm starke Bretterschalung zur Aussteifung angebracht. Das Dach wurde vermutlich als Kaltdach ausgeführt, da 12 cm starke Dachsparren für die Statik des genannten Objekts nicht ausreichend wären. Eine genaue Feststellung ist aufgrund der innenseitig geschlossenen Schalung leider nicht möglich.

Der genannte Dachaufbau hat folglich einen U-Wert von $0,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Die Kehlbalkendecke sollte ursprünglich mit 5 cm Mineralwolle der Wärmeleitgruppe 035 ausgedämmt werden. Da

diese Arbeiten allerdings durch den Voreigentümer in Eigenleistung erbracht wurden, konnte bei der Begehung des Dachbodens die vollflächige Ausdämmung des Kehlgebälks mit 22 cm Mineralwolle der Wärmeleitgruppe 035 nachgemessen werden. Oberseitig ist das Gebälk mit einer begehbaren Holzplatte verschlossen. Unterseitig ist eine Gipskartonplatte auf einer Unterkonstruktion angebracht.

Durch die stärkere Dämmung des Kehlgebälks resultiert ein sehr guter U-Wert von $0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Haustüre stammt aus dem Baujahr mit einem U_d -Wert von $3,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Gleiches gilt für die ungedämmten Rollladenkästen mit einem U-Wert von $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (Viessmann Atola Niedertemperaturkessel mit einer Leistung Q_N 17,00 kW; Baujahr 1995).

Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Die verbaute Pumpe entspricht dem Baujahr 1995 (Grundfos UPS 25-40) und ist dementsprechend überdimensioniert. Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) wurden nachträglich gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 25.000 kWh inkl. Trinkwarmwassererwärmung. Es ist zu beachten, dass das Haus momentan von zwei Erwachsenen genutzt wird. Dementsprechend sind nicht alle Räume dauerhaft beheizt. Zusätzlich ist ein Kachelofen vorhanden. Die genaue Leistung des Kachelofens sowie der jährliche Verbrauch ist nicht bekannt.



Abb. 16: Anlagentechnik Objekt 7

Die berechnete Heizlast für das Gebäude beträgt gemäß DIN EN 12831-2017 12,3 kW. Die spezifische Heizlast beträgt $47 \text{ W}/\text{m}^2$ und erstreckt sich auf eine Grundfläche von 261 m^2 .

Es resultieren zum Teil hohe raumweise Verluste zu unbeheizten Kellerflächen. Ebenfalls ist im Kellergeschoss lediglich ein Raum vorhanden, der aufgrund der Lage an fünf von möglichen sechs Seiten an unbeheizte Flächen oder Erdreich grenzt. Die aufgenommenen Heizflächen setzen sich wie folgt zusammen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Kellergeschoss					
Hobbyraum	600	1200	Typ 22	2033	1,4
Erdgeschoss					
Wohnzimmer	600	800	Typ 22	1355	1,5
Wohnzimmer	600	1600	Typ 22	2710	1,5
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	1687	2,5
Küche	2000	10 Stück	Gliederheizkörper	1890	1,5
Kinderzimmer	600	1400	Typ 11	1320	1,2
Badezimmer	600	700	Typ 22	1063	1,4
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1400	Typ 22	2372	2,0
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,0
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,0
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,0
Treppenraum	900	1000	Typ 11	1524	1,2
Kinderzimmer	600	800	Typ 22	1355	1,5
Büroraum	600	900	Typ 22	1525	1,6
Badezimmer	600	1000	Typ 22	1519	2,3

Tabelle 17: Objekt 7 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.7.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der Unterlagen war unterschiedlich je Betrachtungsfall. Die bereitgestellten Planunterlagen waren größtenteils vollständig. Sie beinhalteten bereits Fenster- und Türöffnungsmaße. Die Heizkörperdimensionierung wurde manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Ein Teil der Bauteilaufbauten war dem Eigentümer leider nicht bekannt bzw. es gab keine genauen Unterlagen hierzu. Ersichtliche Bauteile (zum Beispiel im Bereich des Kehlgebälks) wurden vor Ort ermittelt und die daraus resultierenden U-Werte errechnet. Der Eigentümer konnte keine Auskunft über sonstige energetische Ertüchtigungen geben, da der jetzige Eigentümer nicht der Bauherr war.

2.7.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 12,3 kW.³⁴ Die Normaußentemperatur beträgt -11,6°C gemäß DIN EN 12831 2017.³⁵ Die spezifische Heizlast beträgt 47 W/m² und erstreckt sich auf eine Nettogrundfläche von 261 m². Die berechnete Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 71°C und im Rücklauf 46°C. Die momentan vorherrschende Spreizung beträgt 25 Kelvin. Eine Berechnung der JAZ für den Einbau einer Wärmepumpe mit den Heizkörpern ist nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet. In einer ersten Variante wird versucht, eine Wärmepumpentauglichkeit durch den Austausch von Heizkörpern zu erreichen.

Da die Eigentümer mit einem möglichen Fenstertausch liebäugeln, wird in einem zweiten Sanierungsschritt versucht, die Heizlast zu senken und zusätzlich einzelne Heizkörper auszutauschen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass ein WDVS für den Besitzer des Hauses keine Option wäre und somit nicht weiter berücksichtigt wird.

2.7.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Da das Gebäude „erst“ 1995 errichtet wurde, ist ein Mindestwärmeschutz des Gebäudes gewährleistet. Dies sieht man insbesondere an den akzeptablen U-Werten der Außenwände. Der Einsatz einer Wärmepumpe soll mit der geringstmöglichen Investition sichergestellt werden. Aus diesem Grund wurde in einem ersten Schritt eine Sanierungsvariante gewählt, in der die Gebäudehülle unberührt bleibt und lediglich die Heizkörper getauscht werden. Hierfür muss ein Großteil der Heizkörper getauscht werden (in der Tabelle fett markiert). Der Austausch der Heizkörper sorgt dafür, dass die Vorlauftemperatur auf 55°C abgesenkt werden kann und eine Spreizung von 10 Kelvin erreicht wird.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm 75/65 °C}	q _{HK} /q _r
Kellergeschoss					
Hobbyraum	900	1200	Typ 22	2033	1,9
Erdgeschoss					
Wohnzimmer	600	800	Typ 22	1355	1,8
Wohnzimmer	600	1400	Typ 33	3445	1,8
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	1687	2,5
Küche	600	1000	Typ 33	2461	2,0
Kinderzimmer	600	1400	Typ 22	2372	2,2

³⁴ (Deutsche Institut für Normung e.V, 2020)

³⁵ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2017)

Badezimmer	600	700	Typ 33	1543	2,1
Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1400	Typ 22	2372	2,0
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,0
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,0
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,0
Treppenraum	900	1000	Typ 22	2673	2,1
Kinderzimmer	600	1200	Typ 22	2033	2,2
Büroraum	600	1200	Typ 22	2033	2,2
Badezimmer	600	1000	Typ 22	1519	2,3

Tabelle 18: Objekt 7 Auflistung Heizkörper Variante 1

Variante 2

In einer zweiten Variante wird nun der kombinierte Ansatz aus der energetischen Ertüchtigung einzelner Bauteile einerseits und dem zusätzlichen Austausch einzelner Heizkörper andererseits gewählt. Die Eigentümer des Gebäudes spielen mit dem Gedanken, die vorhandenen Fenster zu tauschen. Das Anbringen eines WDVS ist jedoch keine Option. Aus diesem Grund wurde ein Austausch der vorhandenen Holzfenster gegen neue Kunststofffenster mit einem U_w -Wert von $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ gewählt. Dies entspricht einer Dreifachverglasung und ist somit Stand der Technik. Zusätzlich wurde eine Dämmung der Kellerdecke und die Dämmung des beheizten Kellerraums zu unbeheizten Flächen mit jeweils 10 cm PU-Hartschaum der Wärmeleitgruppe 024 angesetzt. Die zusätzlich zu einem Fenstertausch in Ansatz gebrachten Sanierungsmaßnahmen sind sehr gering und können auch gut in Eigenleistung erbracht werden.

Durch die genannten energetischen Sanierungsmaßnahmen kann die Heizlast von $12,3 \text{ kW}$ auf $9,6 \text{ kW}$ gesenkt werden, was eine spezifische Heizlast von 37 W/m^2 bedeutet.

Auf diesen Zielzustand werden nun die Heizkörper ausgetauscht. Die in dieser Variante ausgetauschten Heizkörper im Vergleich zum IST-Zustand sind in der Tabelle 19 fett markiert. Folgender Austausch wird gemäß Simulation empfohlen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Kellergeschoss					
Hobbyraum	600	1400	Typ 22	2372	2,4
Erdgeschoss					
Wohnzimmer	600	1200	Typ 22	2033	2,4
Wohnzimmer	600	1600	Typ 22	2710	2,4
Schlafzimmer	600	1200	Typ 22	1687	2,8
Küche	600	1200	Typ 33	2461	2,4
Kinderzimmer	600	1400	Typ 22	2372	2,6
Badezimmer	600	700	Typ 33	1543	3,1

Dachgeschoss					
Wohnraum	600	1400	Typ 33	3445	2,7
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,7
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,7
Wohnraum	600	800	Typ 22	1355	2,7
Treppenraum	900	1000	Typ 22	2673	2,1
Kinderzimmer	600	800	Typ 33	1969	2,3
Büroraum	600	900	Typ 33	2215	2,4
Badezimmer	600	1000	Typ 22	1519	3,5

Tabelle 19: Objekt 7 Auflistung Heizkörper Variante 2

2.7.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung wurde nach den oben benannten Parametern angepasst und auf dieser Basis die Jahresarbeitszahl mit Backup (JAZ) mit der Wärmepumpe CHA-10/400V des Herstellers Wolf berechnet.

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb in der Variante 1 beträgt inkl. Backup/ zweiter Wärmeerzeuger 4,2, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,9 und die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage inklusive Backup 4,1. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 99 %.

In Variante 2 wurden zusätzlich energetische Sanierungsmaßnahmen angesetzt, die eine Absenkung der Heizlast zur Folge haben. Zusätzlich konnte die Vorlauftemperatur auf 50°C abgesenkt werden. Die Simulation der Jahresarbeitszahl wurde entsprechend den Sanierungsparametern angepasst. Die Jahresarbeitszahl (JAZ) inkl. Backup mit der Wärmepumpe CHA-10/400V des Herstellers Wolf beträgt in der Variante 2 im Heizbetrieb inkl. Backup/ zweiter Wärmeerzeuger in diesem Fall 4,7, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 4,1 und die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage inklusive Backup 4,5. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 100 %.

2.7.6 Schlussbemerkung

Die erzielten Ergebnisse in Variante 1 mit dem Einsatz der CHA-10-400V kann als gut betrachtet werden. Durch kleinere Sanierungsmaßnahmen, wie in Variante 2 ersichtlich, verbessert sich die Gesamtjahresarbeitszahl nochmals deutlich.

2.8 Objekt 8: EFH in Dossenheim

2.8.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem achten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um eine einseitig angebaute Doppelhaushälfte mit einer Wohneinheit. Die Doppelhaushälfte wurde 1988 errichtet und befindet sich in Dossenheim (Postleitzahl 69221). Der Wohnbereich erstreckt sich auf ein teilweise beheiztes Kellergeschoss (Hobbyraum und Treppenbereich), ein beheiztes Erdgeschoss, ein beheiztes Obergeschoss sowie ein ausgebautes Dachgeschoss. Über dem Dachgeschoss ist zusätzlich noch ein nicht ausgebauter Dachboden vorhanden. Das Kellergeschoss besitzt einen außenliegenden Treppenaufgang im Bereich des Hobbyraums.



Abb. 17: Gebäudeansichten Objekt 8

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht größtenteils dem Baujahr. Einzelne Bauteile wurden durch Fachfirmen oder in Eigenleistung bereits saniert und entsprechen daher dem energetischen Stand eines späteren Baujahrs.

Der Aufbau der Bodenplatte ist nicht bekannt. Lediglich anhand der Grundrisspläne kann aus dem Unterschied des Rohfußboden- bzw. Fertigfußbodenmaßes ein Bodenaufbau mit 6 cm

ermittelt werden. Aus diesem Grund wird für die Bodenplatte der U-Wert gemäß Typologie angenommen, der in den Baujahren von 1984-1994 mit $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ anzusetzen ist. Die Kelleraußenwände gegen Erdreich bestehen aus Stahlbeton. Weitere Informationen liegen hier ebenfalls nicht vor, weshalb hier nochmals auf die Typologie zurückgegriffen werden muss, die für erdbe-rührende Außenwände gegen Erdreich einen U-Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vorsieht. Die Kellerdecke besteht ebenfalls aus Stahlbeton mit einem entsprechenden Fußbodenaufbau. Auch hierfür liegen keine weiteren Dokumente vor, weshalb der U-Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aus der Typologie entnommen wurde.

Für die Innenwände in sämtlichen Geschossen wurde pauschal ein U-Wert von $1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Die Außenwände ab Oberkante Kellerdecke bestehen aus Poroton-Hochlochziegeln und sind beidseitig entsprechend verputzt. Genauere technische Daten zu den Mauerziegeln liegen nicht vor. Aus diesem Grund wurde aus der Typologie der Aufbau „Massivwand auf Hochlochziegel“ im Baujahrbereich 1984 – 1994 gewählt. Der U-Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wurde daher für die Außenwände angesetzt. Die Fenster wurden im Jahr 2015 durch neue, folierte, dreifach verglaste Kunststofffenster mit einem U_g -Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ersetzt. Der auf der Rechnung ausgewiesene U_w -Wert für das Normfenster beträgt $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Während des Fenstertauschs wurden die alten Rollladenkästen nachträglich gedämmt (U-Wert ca. $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Die Fenster im Hobbyraum im Keller wurden belassen (U_w -Wert von ca. $2,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die Haustüre wurde im Zuge des Fenstertauschs ebenfalls getauscht (U_d -Wert $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Die Außentüre über den Kellerabgang wurde ebenfalls getauscht. Der U_d -Wert beträgt ca. $1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Das Dach wurde als Kaltdach errichtet und im Bereich der Zwischensparren mit 10 cm Steinwolle durch den Eigentümer gedämmt. Die genaue Sparrenstärke ist leider nicht bekannt, kann allerdings aufgrund der Kaltdachausbildung mit 16 cm angesetzt werden.

Das Sparrendach besitzt somit einen U-Wert von ca. $0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, bei der Annahme eines durchschnittlichen Sparrenfelds von ca. 62 cm.

Das Kehlgebälk wurde mit 12 cm Steinwolle der Wärmeleitgruppe 040 gedämmt. Durch den Eigentümer wurde im Nachgang eine 12 cm starke, begehbare, Styropordämmung aufgebracht, was zu einem sehr guten U-Wert von ca. $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ führt.

Die vorhandenen Dachfenster wurden innerhalb der letzten fünf Jahre gegen neue Dachflächenfenster getauscht (U_w -Wert von $1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (Buderus GB 212-22 Brennwerttechnik mit einer Leistung Q_N 22,30 kW; Baujahr 2017). Die Auslegung der Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C . Es ist ein Trinkwarmwasserspeicher gleichen Baujahrs vorhanden. Es wurde bereits eine Effizienzpumpe

(Umwälzpumpe – Grundfos ALPHA1 25-40) im Zuge der Heizungssanierung verbaut. Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr nur bedingt gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 23.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser. Ein zusätzlicher Wärmeerzeuger ist nicht vorhanden.



Abb. 18: Anlagentechnik Objekt 8

Die Doppelhaushälfte verfügt in keinem Geschoss über eine Fußbodenheizung und wird komplett mittels Kompaktheizkörpern beheizt. Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt vor Ort aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Hobbyraum	600	1400	Typ 33	3445	3,5
Treppenaufgang	900	1000	Typ 11	1345	1,7
Erdgeschoss					
Wohnungsflur	500	900	Typ 11	727	3,5
Wohnzimmer	600	1200	Typ 22	2033	2,5
Wohnzimmer	350	1800	Typ 22	1984	2,5
WC-Raum	400	600	Typ 11	418	3,1
Küche	600	900	Typ 11	849	2,3
Obergeschoss					
Kinderzimmer 1	600	700	Typ 21	984	2,4
Kinderzimmer 2	600	800	Typ 22	1355	1,6
Schlafzimmer	900	800	Typ 21	1569	1,3
Badezimmer	600	1000	Typ 11	857	1,7
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	600	900	Typ 22	1525	1,8

Büroraum	600	1200	Typ 33	2953	2,2
Badezimmer	600	900	Typ 21	1135	1,4

Tabelle 20: Objekt 8 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.8.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der Unterlagen war sehr unterschiedlich. Wie bei einem Großteil der anderen Gebäude kann auch hier keine genaue Aussage bezüglich der einzelnen Bauteile getroffen werden. Eine bauphysikalische Berechnung ist ebenfalls nicht vorhanden, trotz der Notwendigkeit der Einhaltung der Wärmeschutzverordnung 1982/84. Aus diesem Grund wird für Bauteile, an denen keine energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, die Typologie in Ansatz gebracht. Dieser pauschale Ansatz führt selbstverständlich zu einer gewissen Unschärfe.

Es waren vollständige Grundrisspläne vorhanden. Die Planunterlagen beinhalteten bereits Fensteröffnungsmaße, sodass diese nicht vor Ort am Objekt aufgenommen werden mussten. Die Heizkörperdimensionierung wurde manuell vor Ort aufgenommen. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Der Dachaufbau bzw. der Aufbau des Kehlgebälks ist nicht mehr einsehbar und wurde daher im Gespräch mit dem Eigentümer ermittelt. Die U_w -Werte der Fenster und U_d -Werte der Türen wurden der vorgelegten Rechnung entnommen.

2.8.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 8,4 kW.³⁶ Die Normaußentemperatur beträgt $-10,40^\circ\text{C}$ gemäß DIN EN 12831 2017.³⁷ Die spezifische Heizlast beträgt 39 W/m^2 und erstreckt sich auf eine Nettogrundfläche von 216 m^2 , aufgeteilt auf vier Geschosse. Die niedrige spezifische Heizlast ist auf die bereits durchgeführten Sanierungsmaßnahmen sowie die einseitig angebaute Außenfläche (zu einem beheizten Gebäude) zum Nachbargebäude zurückzuführen.

Die berechnete Vorlauftemperatur im Auslegungsfall beträgt 66°C und im Rücklauf 44°C . Die momentan vorherrschende Spreizung beträgt 22 Kelvin. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl für den Einbau einer Wärmepumpe im jetzigen IST-Zustand ist nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe mit den festgelegten Parametern geeignet.

Aufgrund des bereits durchgeführten Fenstertauschs wird in einer ersten Variante versucht die Vorlauftemperatur sowie die Spreizung allein durch den Heizkörpertausch auf ein für die Wärmepumpe geeignetes Niveau zu bringen.

³⁶ (Deutsche Institut für Normung e.V, 2020)

³⁷ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2017)

In einer weiteren Variante wird zusätzlich durch energetische Maßnahmen in Kombination mit dem Austausch einzelner Heizkörper versucht, die Effizienz des Systems weiter zu steigern.

2.8.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Gemäß dem Baujahr wurde der energetische Mindestschutz bereits eingehalten. Ebenso wurden durch Eigenleistung und Fachfirmen diverse energetische Sanierungsmaßnahmen bereits durchgeführt, weshalb die meisten weiteren Sanierungsmaßnahmen nur mit einem erheblichen Aufwand und Mehrkosten umsetzbar wären.

Der Einsatz der Wärmepumpe soll mit der geringstmöglichen Investition sichergestellt werden, damit der Einsatz einer Wärmepumpe massentauglich ist. Aus diesem Grund wurden 9 Heizkörper in der ersten Variante getauscht, um eine Absenkung der Vorlauftemperatur auf 55°C zu erreichen. Die Spreizung beträgt 10 Kelvin. Der Volumenstrom hat sich durch diese Maßnahme auf 866 Liter erhöht und damit fast verdoppelt. Die in der nachfolgenden Tabelle fett markierten Heizkörper wurden in der ersten Variante getauscht.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Hobbyraum	600	1200	Typ 22	2033	2,0
Treppenaufgang	900	1200	Typ 11	1614	2,1
Erdgeschoss					
Wohnungsflur	500	900	Typ 11	727	3,5
Wohnzimmer	600	1200	Typ 11	1132	1,9
Wohnzimmer	350	1800	Typ 22	1984	1,9
WC-Raum	400	600	Typ 11	418	3,1
Küche	600	900	Typ 11	849	2,3
Obergeschoss					
Kinderzimmer 1	600	700	Typ 21	984	2,3
Kinderzimmer 2	600	1000	Typ 22	1694	2,0
Schlafzimmer	900	1000	Typ 22	2355	2,0
Badezimmer	600	1000	Typ 21	1261	2,5
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	600	1000	Typ 22	1694	2,0
Büroraum	600	1000	Typ 33	2461	1,9
Badezimmer	900	900	Typ 21	1582	1,9

Tabelle 21: Objekt 8 Auflistung Heizkörper Variante 1

Variante 2

In der zweiten Variante wurde zunächst versucht, die Heizlast durch energetische Sanierungsmaßnahmen zu reduzieren und anschließend auf dieser Basis die neuen Heizkörper auszulegen. Dazu wurde außenseitig auf die Außenwände ein 18 cm starkes Wärmedämmverbundsystem der Wärmeleitgruppe 035 aufgebracht. Zusätzlich wurde die Kellerdecke gegen unbeheizte Flächen mit 10 cm starken PU-Dämmplatten der Wärmeleitgruppe 035 gedämmt.

Diese beiden Maßnahmen haben zur Folge, dass die Heizlast auf 6,7 kW (spez. Heizlast 31 W/m²) gesenkt werden kann. Auf dieser Basis wurden die neuen Heizkörper ausgelegt (siehe nachfolgende Tabelle; ausgetauschte Heizkörper sind fett markiert).

In Summe mussten 6 Heizkörper ausgetauscht und 8 Heizkörper konnten belassen werden. Nach den genannten Maßnahmen konnte die Vorlauftemperatur auf 48°C gesenkt werden. Die Rücklauftemperatur beträgt 38°C.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm} 75/65 °C	q _{HK} /q _r
Untergeschoss					
Hobbyraum	600	1400	Typ 33	3445	3,7
Treppenaufgang	750	1300	Typ 12	1918	2,5
Erdgeschoss					
Wohnungsflur	500	900	Typ 11	727	3,8
Wohnzimmer	600	1200	Typ 22	2033	3,2
Wohnzimmer	350	1800	Typ 22	1984	3,2
WC-Raum	400	600	Typ 11	418	4,9
Küche	600	900	Typ 11	849	3,2
Obergeschoss					
Kinderzimmer 1	600	700	Typ 21	984	2,8
Kinderzimmer 2	600	700	Typ 33	1723	3,0
Schlafzimmer	600	1000	Typ 33	2461	2,6
Badezimmer	750	1100	Typ 12	1453	3,5
Dachgeschoss					
Schlafzimmer	900	900	Typ 22	2120	3,5
Büroraum	600	1200	Typ 33	2953	2,6
Badezimmer	900	1000	Typ 22	2108	3,2

Tabelle 22: Objekt 8 Auflistung Heizkörper Variante 2

2.8.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung der Jahresarbeitszahl wurde nach den oben benannten Parametern durchgeführt und auf Basis der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb in der Variante 1 beträgt inkl. Backup 4,3, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,8.

Die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage beträgt 4,2. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 99 %. Dieses Ergebnis lässt sich allein schon durch den Tausch einzelner Heizkörper erreichen.

Die Jahresarbeitszahl der zweiten Variante mit dem kombinierten Ansatz, also energetische Sanierungen kombiniert mit dem Austausch einzelner Heizkörperflächen, verbessert die Jahresarbeitszahl inkl. Backup auf 4,8, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung auf 3,9 und die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage auf 4,6. Die Berechnung wurde erneut mit der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf durchgeführt.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt in der zweiten Variante aufgrund der verringerten Heizlast 100 %. Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.8.6 Schlussbemerkung

Die berechneten Ergebnisse, insbesondere in Variante zwei, können als eine sehr gute Gesamtjahresarbeitszahl für eine Luft/Wasser Wärmepumpe betrachtet werden. Durch die einseitige Anbauung an ein beheiztes Nachbargebäude sowie die bereits durchgeführten energetischen Sanierungen ist der Aufwand für den Einbau einer Wärmepumpe ohne energetische Sanierungsmaßnahmen überschaubar. Das Ergebnis wäre in diesem Fall als gut anzusehen. Zusätzlich ist bei diesem Objekt die niedrigere Normaußentemperatur anzumerken, die dem Einsatz einer Wärmepumpe natürlich „in die Karten spielt“.

Entschlüsse sich der Eigentümer zur Montage einer Kellerdeckendämmung und zusätzlich, zum ggf. aufgrund des Baualters notwendigen neuen Streichens/Verputzen des Gebäudes zum Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems, könnte das Ergebnis nochmals deutlich gesteigert werden. Das Gebäude ist in jedem Fall mit einem geringen Aufwand für den Einsatz einer Wärmepumpe geeignet.

2.9 Objekt 9: DHH in Schriesheim

2.9.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem neunten Objekt in der Betrachtung handelt es sich um ein Reihenmittelhaus (beidseitig angebaut) mit einer Wohneinheit. Das Objekt befindet sich in Schriesheim (Postleitzahl 69198) und wurde 1997 errichtet. Die Wohnfläche erstreckt sich über vier beheizte- bzw. teilweise beheizte Geschosse. Die Nettogrundfläche beträgt ca. 184 m² und erstreckt sich auf ein teilweise beheiztes Kellergeschoss, ein beheiztes Erdgeschoss, ein beheiztes Obergeschoss und ein ausgebauten Dachgeschoss. Zusätzlich ist noch ein unbeheizter Dachboden vorhanden. Dieser ist aus dem Gebäudeinneren nicht begehbar, da es keine Dachluke oder einen sonstigen Zugang gibt.



Abb. 19: Gebäudeansichten Objekt 9

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht größtenteils dem Baujahr. Es wurden bisher noch keine energetischen Sanierungen durchgeführt.

Da die jetzigen Eigentümer nicht die Bauherren sind, sind viele Informationen zur baulichen Qualität des Gebäudes unvollständig. Aus diesem Grund müssen die meisten Bauteile gemäß

Typologie angenommen werden. Dies bedeutet für die Bodenplatte einen U-Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Baujahr ab 1995). Die Kelleraußenwände (bestehen aus Stahlbeton) gegen Erdreich sowie die Außenwände gegen Außenluft (bestehend aus Mauerwerk) besitzen gemäß Typologie-Zuordnung einen U-Wert von $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die Kellerdecke besteht ebenfalls aus Stahlbeton mit einem entsprechend geringen Fußboden-aufbau mangels Fußbodenheizung. Auch hierfür liegen keine weiteren Dokumente vor, weshalb der U-Wert von $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aus der Typologie entnommen wurde. Die Höhe des Fußboden-aufbaus ist ebenfalls nicht bekannt und kann auch nicht den Planunterlagen entnommen werden. Für die Innenwände in Erd-, Ober-, und Dachgeschoss wurde pauschal ein U-Wert von $1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Für die Innenwände im Kellergeschoss (bestehend aus Stahlbeton) wurde hingegen pauschal ein U-Wert von $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen.

Die Holzfenster wurden im April 1997 als Zweifachverglasung gefertigt. Der angesetzte U_w -Wert gemäß Typologie beträgt $2,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Ebenso sind ungedämmte Rollladenkästen mit einem U-Wert von ca. $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vorhanden. Die Fenster im Hobbyraum im Keller wurden mit einem U_w -Wert von ca. $4,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt (einfach verglast).

Die Haustüre entspricht ebenfalls dem Baujahr (U_d -Wert von $3,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Da der Dachboden nicht begehbar ist wurden das Sparrendach mit einem U-Wert von $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und das Kehlgebälk mit einem U-Wert von $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt, was sich ebenfalls aus der Typologie ableiten lässt. Die im Dachgeschoss vorhandenen Dachfenster stammen noch aus dem Baujahr und wurden daher mit einem U_w -Wert von ca. $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfasst.

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (Viessmann Vitodens 200-W Brennwerttechnik mit einer Leistung Q_N 25,00 kW; Baujahr 2023). Vor ca. 6 Monaten hat die bisherige Gasheizung plötzlich ihre Funktion eingestellt, was das junge Alter der jetzigen Gasheizung erklärt. Die Gasheizung wird gemäß Erfüllungsoption EWärmeG BaWü mit 10% Biogas betrieben.

Die Heizungsanlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es ist kein Pufferspeicher vorhanden und der Trinkwarmwasserspeicher der Firma Viessmann (Volumen ca. 300 Liter) entspricht ebenfalls dem Baujahr 2023. Somit wird das Trinkwarmwasser zentral erzeugt. Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem aktuellen Standard gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch gemäß Verfahren A abgeglichen. Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt pro Jahr ca. 15.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser (Tendenz aufgrund der Umstellung von Niedertemperaturkessel auf Brennwerttechnik fallend). Der besonders niedrige Verbrauch lässt sich durch die beidseitige Angrenzung an beheizte Nachbargebäude erklären.



Abb. 20: Anlagentechnik Objekt 9

Das Gebäude wird ausschließlich mittels Kompaktheizkörpern beheizt. Andere Wärmeabgabeflächen sind nicht vorhanden. Die Kompaktheizkörper wurden vor Ort am Objekt wie folgt erfasst:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Hobbyraum	900	700	Typ 22	1648	2,1
Treppenraum*	600	800	Typ 22	1535	7,3
Erdgeschoss					
WC-Raum	500	500	Typ 21	606	2,4
Wohnraum*	500	1600	Typ 22	2645	7,3
Wohnraum*	900	700	Typ 33	2634	7,3
Küche	600	800	Typ 21	1125	1,8
Obergeschoss					
Schlafzimmer	500	1200	Typ 22	1753	1,3
Kinderzimmer 1	600	1200	Typ 22	2033	3,3
Badezimmer	500	900	Typ 21	978	1,2
Dachgeschoss					
Gästezimmer	400	1600	Typ 22	1931	1,9
Büroraum	400	1600	Typ 22	1931	2,2
*Über einen Raumverbund ein beheiztes Volumen					

Tabelle 23: Objekt 9 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.9.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der bereitgestellten Unterlagen hängt meistens stark davon ab, ob der jetzige Eigentümer auch der Bauherr des Gebäudes ist, da dann beim Erstellen des Gebäudes Bauteile und Bauabschnitte üblicherweise besser dokumentiert werden (zum Teil sogar durch Fotos).

Da vorliegend die jetzigen Eigentümer nicht die Bauherren waren, ist die Qualität der bereitgestellten Unterlagen „durchwachsen“. Es waren vollständige Planunterlagen aus dem Baugesuch vorhanden, das klassische Baugesuch jedoch nicht. Die Planunterlagen beinhalteten auch keine Fensteröffnungsmaße und wurden daher manuell als Exceltabelle nach Geschoss und Orientierung aufgenommen. Die Heizkörperdimensionierung wurde ebenfalls manuell vor Ort ermittelt. Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Die Bauteilaufbauten mussten ausschließlich über die Typologie bestimmt werden. Dies ist sehr schade, da hierdurch erneut gewisse Unschärfen in der Berechnung entstehen. Das Baujahr der Fenster konnte durch den Hinweis im Abstandshalter im Fenster ermittelt werden.

2.9.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt ca. 6,2 kW.³⁸ Die Normaußentemperatur beträgt für den Standort -10,50°C gemäß DIN EN 12831 2017.³⁹ Die spezifische Heizlast beträgt 34 W/m² auf eine Nettogrundfläche von 184 m². Die Nettogrundfläche verteilt sich auf vier Geschosse. Die niedrige spezifische Heizlast ist auf die besondere Bausituation als Reihenmittelhaus zurückzuführen. Die beidseitigen Hauptaußenflächen grenzen jeweils an ein beheiztes Nachbargebäude.

Die Vorlauftemperatur im Auslegungsfall der Simulation beträgt 70°C und im Rücklauf 45°C. Die momentan vorherrschende Spreizung beträgt 25 Kelvin. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl für den Einbau einer Wärmepumpe im jetzigen IST-Zustand ist mit den vorliegenden Parametern nicht möglich. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parameter geeignet.

Aufgrund der besonderen Situation als Reihenmittelhaus wird auf eine Sanierung der Fassade verzichtet. Gleiches gilt nach Rücksprache mit dem Eigentümer für die Fenster, da diese noch 10-15 Jahre erhalten bleiben sollen.

Aufgrund dieser Tatsache wird in der Simulation versucht, die Vorlauftemperatur sowie die Spreizung allein durch den Austausch von Heizkörpern auf ein für die Wärmepumpe geeignetes Niveau zu verändern.

2.9.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Das Gebäude wurde im Jahr 1997 errichtet und ist damit energetisch auf dem Stand der dritten Wärmeschutzverordnung (trat am 01.01.1995 in Kraft). Somit ist der energetische Zustand des Gebäudes in Ordnung. Da die Eigentümer das Gebäude erst vor ca. 2 Jahren gekauft haben und

³⁸ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2020)

³⁹ (Deutsche Institut für Normung e.V., 2017)

die finanzielle Belastung bereits hoch ist, stehen größere energetische Maßnahmen an der Gebäudehülle zunächst nicht an. Ebenso wäre der Effekt einer energetischen Sanierung aufgrund der beidseitig angebauten Außenwände nur bedingt gegeben und würde ein schlechtes Kosten-Nutzen Verhältnis darstellen.

Aus diesem Grund wurde versucht, die Wärmepumpentauglichkeit ausschließlich über den Austausch von Heizkörperflächen darzustellen. Der Einsatz der Wärmepumpe soll auch bei diesem Objekt mit der geringstmöglichen Investition sichergestellt werden.

Deshalb wurden 6 Heizkörper in der ersten Variante getauscht, um eine Absenkung der Vorlauftemperatur auf 53°C zu erreichen. Die Spreizung beträgt dabei 10 Kelvin. Der Volumenstrom hat sich durch diese Maßnahme auf 620 l/h erhöht und damit fast verdoppelt. Zusätzlich mussten zwei Heizkörper entfernt werden. Dies liegt daran, dass die Heizkörper im Wohnzimmer in einem Raumverbund mit dem offenen Treppenhaus stehen. Die Heizkörper in diesem Raumverbund sind sehr stark überdimensioniert, was zwar eine Absenkung der Vorlauftemperatur begünstigt, jedoch eine Verringerung der Spreizung nicht zulässt. In diesem Raumverbund wird lediglich eine Heizlast von 933 Watt aufgrund der beidseitig angebauten und beheizten Gebäude benötigt. In Summe stellen jedoch drei Heizkörper bei 75/65/20°C eine Leistungsabgabe in Höhe von 6.013 Watt bereit. Durch das Entfernen von zwei der drei Heizkörperflächen sowie das Austausch von 6 Heizkörpern konnte das oben genannte Ergebnis erreicht werden. Hierbei wurde ein besonderes Augenmerk auf die Abmessungen der neuen Heizkörper gelegt, damit diese besonders ähnlich zur Dimensionierung der vorherigen Heizkörper sind, um mögliche Einbauprobleme zu vermeiden. Die in der nachfolgenden Tabelle fett markierten Heizkörper wurden in der ersten Variante getauscht.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm 75/65 °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Untergeschoss					
Hobbyraum	900	700	Typ 22	1648	2,1
Treppenraum*	Wird nicht benötigt und kann daher entfernt werden; Überdimensionierung sorgt für extreme Spreizung				
Erdgeschoss					
WC-Raum	500	500	Typ 21	606	2,4
Wohnraum*	500	1200	Typ 22	1984	2,1
Wohnraum*	Wird nicht benötigt und kann daher entfernt werden; Überdimensionierung sorgt für extreme Spreizung				
Küche	600	800	Typ 22	1355	2,1
Obergeschoss					
Schlafzimmer	500	1400	Typ 33	2974	2,1
Kinderzimmer 1	500	900	Typ 22	1315	2,1
Badezimmer	600	900	Typ 33	1984	2,4
Dachgeschoss					
Gästezimmer	400	1200	Typ 22	1448	2,0

Büroraum	400	1600	Typ 22	1931	2,1
*Über einen Raumverbund ein beheiztes Volumen					

Tabelle 24: Objekt 9 Auflistung Heizkörper Variante 1

Variante 2

In der zweiten Variante wurde versucht, die Vorlauftemperatur weiter abzusenken. Durch den Austausch von ebenfalls 6 Heizkörpern mit einer anderen Dimensionierung konnte die Vorlauftemperatur auf 50°C und auf eine Rücklauftemperatur auf 41°C verringert werden. Die Heizlast bleibt selbstverständlich unverändert. Der Auslegungsvolumenstrom erhöht sich im Vergleich zur vorherigen Variante auf 672 l/h.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm 75/65 °C}	q _{HK/q_r}
Untergeschoss					
Hobbyraum	900	800	Typ 22	1884	2,4
Treppenraum*	Wird nicht benötigt und kann daher entfernt werden; Überdimensionierung sorgt für extreme Spreizung				
Erdgeschoss					
WC-Raum	500	500	Typ 21	606	2,4
Wohnraum*	500	1200	Typ 22	1984	2,1
Wohnraum*	Wird nicht benötigt und kann daher entfernt werden; Überdimensionierung sorgt für extreme Spreizung				
Küche	600	900	Typ 22	1525	2,4
Obergeschoss					
Schlafzimmer	500	1600	Typ 33	3398	2,4
Kinderzimmer 1	500	1000	Typ 22	1461	2,4
Badezimmer	600	1000	Typ 33	2205	2,7
Dachgeschoss					
Gästezimmer	400	1600	Typ 22	1931	2,7
Büroraum	500	1600	Typ 22	2338	2,6
*Über einen Raumverbund ein beheiztes Volumen					

Tabelle 25: Objekt 9 Auflistung Heizkörper Variante 2

2.9.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung der Jahresarbeitszahl wurde nach den oben benannten Sanierungsparametern mit dem JAZ-Rechner des Bundesverbands Wärmepumpe auf Basis der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb in der Variante 1 beträgt inkl. Backup 4,3, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,9. Die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage für Heizbetrieb und Trinkwarmwasser beträgt 4,3. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 100 %. Dieses Ergebnis lässt sich durch ausschließlich durch den Tausch der genannten Heizkörper, jedoch ohne zusätzliche Sanierungsmaßnahmen, erreichen.

Die Jahresarbeitszahl der zweiten Variante - ebenfalls dem Austausch einzelner Heizkörperflächen - verbessert die Jahresarbeitszahl inkl. Backup auf 4,5. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung stagniert auf einer Jahresarbeitszahl von 3,9. Die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage beträgt 4,4. Die Berechnung wurde ebenfalls mit der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf durchgeführt.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe in der zweiten Variante beträgt aufgrund der geringen Heizlast 100 %. Das Berechnungsprotokoll zur jeweiligen Berechnung der Jahresarbeitszahl befindet sich in der Anlage.

2.9.6 Schlussbemerkung

Die bereits akzeptablen U-Werte der Hüllfläche sowie die geringe Hüllfläche gegen Außenluft bzw. gegen Erdreich bewirken eine geringe Heizlast für das Gebäude. Mit den anschließend durchgeführten Optimierungsmaßnahmen in Form eines Austauschs von Heizkörperflächen kann mit einem finanziell vertretbaren Aufwand ein sehr gutes Ergebnis erzielt werden. Eine mögliche weitere Absenkung der Vorlauftemperatur wird nicht mehr empfohlen, da dann die Heizkörper nur noch bedingt warm werden und es müsste eine größere Menge an Heizungswasser zirkulieren, was eine verstärkte Leistung der Pumpe bedeutet. Das betrachtete Objekt ist mit einem überschaubaren Aufwand und einer geringen Investition wärmepumpentauglich.

2.10 Objekt 10: EFH in Grünstadt

2.10.1 Bestandsaufnahme (IST-Zustand)

Bei dem letzten Objekt in der Betrachtung zur Wärmepumpentauglichkeit handelt es sich um ein Gebäude mit zwei Wohneinheiten, welches momentan von einer jungen Familie bewohnt wird. Das Objekt befindet sich in Grünstadt (Postleitzahl 67269) und wurde 1927 errichtet. Der Eigentümerwechsel fand im Jahr 2022/2023 statt.

Die genaue Wohnfläche ist nicht bekannt. Das Erd- und Obergeschoss ist dauerhaft beheizt und bewohnt. Das Dachgeschoss ist grundsätzlich beheizbar, jedoch nicht ausgebaut und wird dementsprechend auch wenig benutzt und in der Betrachtung als unbeheizt angesetzt. Das Kellergeschoss ist nicht beheizt.



Abb. 21: Gebäudeansichten Objekt 10

Hüllfläche

Die Hüllfläche entspricht ausschließlich dem Baujahr. Dies lässt sich insbesondere mit der erhaltenen Außenfassade begründen. Dies ist der Hauptgrund der neuen Eigentümer auf eine Außenfassadendämmung zu verzichten. Lediglich die Rollladenkästen wurden in Eigenleistung gedämmt und abgedichtet.

Da an dem Gebäude seit der Errichtung mit Ausnahme eines Fenstertausches nichts energetisch saniert wurde, werden die meisten Bauteile aus der Typologie entnommen. Die Außenwände (massive Konstruktion aus Vollziegeln) entsprechen einem schlechten U-Wert von $1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Holzhaustüre kann mit einem U-Wert von $2,90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt werden. Weiter Informationen liegen hierzu nicht vor. Die Fenster wurden laut Vorbesitzern zwischen 1980-1990 getauscht. Genauere Informationen liegen auch hier nicht vor (auch nicht im Abstandshalter der Fensterscheiben). Aus diesem Grund werden die Außenfenster mit einem U-Wert von $3,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen. Der gleiche U-Wert wurde für die vorhandenen Dachfenster angesetzt. Die Kellerdecke gegen unbeheizte Flächen wird gemäß der Typologie mit $2,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfasst. Im Bereich des nicht vollständig unterkellerten Erdgeschosses wird der Bodenaufbau mit $1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen. Der Bereich zwischen den Sparren im Dachgeschoss ist ungedämmt. Lediglich eine innenseitige Verschalung und eine teilweise vorhandene Folie sind zum Schutz angebracht. Der U-Wert der Dachkonstruktion wird mit $1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ berücksichtigt. Die Gaubenbacken sowie die Gaubenfront werden mit $2,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Die Rollladenkästen wurden durch den Besitzer in Eigenleistung gedämmt und können daher mit einem U-Wert von $1,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen werden.

Anlagentechnik

Das Gebäude wird momentan mit einer Gas-Zentralheizung beheizt (Viessmann VITODENS 300 Brennwerttechnik mit einer Leistung Q_N 25,00 kW; Baujahr 2013). Die Anlage ist auf eine Vorlauftemperatur von 70°C und eine Rücklauftemperatur von 55°C ausgelegt. Es ist kein Pufferspeicher vorhanden und der Trinkwarmwasserspeicher der Firma Viessmann (VITOCCELL 100-W; Volumen 200 Liter) entspricht dem Baujahr des Heizungstausches. Es wurde bereits eine Effizienzpumpe (Umwälzpumpe) im Zuge der Heizungserneuerung eingebaut. Die Rohrleitungen (Strang-Leitung, Verteiler-Leitung und Anbinde-Leitung) sind entsprechend dem Baujahr der Heizung gedämmt bzw. wurden im Zuge des Eigentümerwechsels durch die neuen Eigentümer in Eigenleistung gedämmt.

Die Regelung findet eigenständig je Einzelraum statt. Das System ist hydraulisch nicht abgeglichen. Im Jahr 2022 wurde ein Großteil der Heizflächen neu ausgelegt und gegen neue Kompaktheizkörper getauscht.

Der jährliche Verbrauch beträgt im Schnitt ca. 35.000 kWh inkl. Trinkwarmwasser. Das Heizverhalten der neuen Eigentümer ist deren Angaben zufolge sehr umweltbewusst.



Abb. 22: Anlagentechnik Objekt 10

Das Gebäude verfügt bewusst in keinem Geschoss über eine Fußbodenheizung, da die neuen Eigentümer den historischen Fußboden „Landhausdielen-Parkett“ erhalten wollten. Sämtliche Räume im Gebäude werden daher mittels Kompaktheizkörpern beheizt. Die Kompaktheizkörper wurden wie folgt vor Ort aufgenommen:

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	$q_{\text{Norm } 75/65 \text{ °C}}$	$q_{\text{HK}}/q_{\text{r}}$
Erdgeschoss					
Wohnzimmer	600	1200	Typ 33	2953	1,4
Wohnzimmer	600	1200	Typ 33	2953	1,4
Küche	600	1200	Typ 22	2033	1,6
WC-Raum	600	600	Typ 22	1016	1,2
Büro	900	700	Typ 33	2320	1,4
Abstellraum*	400	1800	Typ 11	1413	-
Treppenraum	1200	14 Stück	Gliederheizkörper	2331	1,4
Obergeschoss					
Wohnungsflur	600	900	Typ 22	1525	7,5
WC-Raum	500	600	Typ 22	877	1,3
Schlafzimmer	600	1000	Typ 33	2461	1,3
Kinderzimmer	600	1200	Typ 33	2953	1,5
Kinderzimmer 2	600	1400	Typ 33	3445	1,5
Badezimmer	600	1200	Typ 33	2645	1,2
Dachgeschoss					
Treppenaufgang	600	600	Typ 11	640	1,3

*Negative Heizlast; Heizfläche ist zur Deckung der Heizlast nicht notwendig

Tabelle 26: Objekt 10 Auflistung Heizkörper IST-Zustand

2.10.2 Qualität der bereitgestellten Unterlagen

Die Qualität der bereitgestellten Unterlagen war schlecht, aber dem Baujahr und Eigentümerwechsel entsprechend. Zu den Bauteilen konnten keine genaueren Angaben gemacht werden, weshalb diese Angaben ausnahmslos aus der Typologie entnommen werden mussten. Da durch die neuen Eigentümer auch keine energetischen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, konnten diese auch nicht in Ansatz gebracht werden. Die Fenstermaße wurden vor Ort von Hand aufgenommen. Die Deckenhöhe wurde mittels eines LIDAR-Scans mit dem iPhone ermittelt. Ebenfalls waren die Planunterlagen sehr unvollständig. Es liegt lediglich ein bemaßter Grundriss aus dem Erdgeschoss vor. Die restlichen Maße wurden vor Ort ermittelt oder aber mittels Bilderabgleich näherungsweise bestimmt.

Gleiches gilt für die restlichen Parameter der Anlagentechnik. Die Heizkörper wurden vor Ort nach Geschoss und Raumzuordnung ermittelt.

2.10.3 Simulation IST-Zustand Anlagentechnik

Die berechnete Heizlast für das Gebäude beträgt gemäß NA DIN EN 12831-1:2020 beträgt 17,68 kW.⁴⁰ Die spezifische Heizlast beträgt 112 W/m² und erstreckt sich auf eine Nettogrundfläche von 158 m². Die Normaußentemperatur gemäß DIN EN 12831-2017 beträgt für den Standort -10,10°C.⁴¹

Die beheizte und genutzte Wohnfläche verteilt sich hauptsächlich auf das Erd- und Obergeschoss. Das Gebäude ist einseitig an ein beheiztes Nachbargebäude angebaut. Das Gebäude besitzt eine sehr spezielle und aufwendige Außenfassade, was bisher zu einem Verzicht auf den Einsatz eines WDVS geführt hat. Gleiches gilt für den Dachstuhl, der als Sonderform eines Mansarddaches ausgeführt wurde.

Die Vorlauftemperatur im Auslegungsfall der Simulation beträgt 70°C und im Rücklauf 50°C. Die momentan vorherrschende Spreizung beträgt 20 Kelvin. Die Berechnung der Jahresarbeitszahl für den Einbau einer Wärmepumpe im jetzigen IST-Zustand mit den vorliegenden Parametern ist so nicht möglich und aufgrund der hohen Gebäudeheizlast von knapp 18 kW auch nicht empfehlenswert. Das Gebäude ist daher im IST-Zustand nicht für den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe anhand der festgelegten Parametern geeignet.

In einer ersten Variante wird daher versucht, die Heizlast des Gebäudes durch überschaubare Maßnahmen deutlich abzusenken.

Da es sich um ein sehr altes Gebäude mit einer erhaltenswerten Fassade handelt, kommt für die Eigentümer das Anbringen eines außenliegenden Wärmedämmverbundsystems nicht in Frage.

⁴⁰ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2020)

⁴¹ (Deutsches Institut für Normung e.V., 2017)

Ebenfalls ist den Eigentümern der Erhalt des Fußbodens sowie die Wahrung der äußeren Darstellung des Gebäudes sehr wichtig.

In einer zweiten Variante wird versucht, durch den Austausch vereinzelter Heizungsflächen, das Gebäude wärmepumpentauglich zu bekommen.

2.10.4 Sanierungsmaßnahmen zur Effizienzsteigerung (Bauteile & Anlagentechnik)

Variante 1

Das Gebäude wurde im Jahr 1927 errichtet und befindet sich größtenteils im energetischen- und baulichen Zustand des Errichtungsjahres. Lediglich die Heizkörper, die Fenster sowie die Rolllädenkästen wurden im Laufe der Jahre entsprechend angepasst. Aus diesem energetisch schlechten Zustand lässt sich die sehr hohe Heizlast in Höhe von 17,68 kW ableiten.

Aus diesem Grund wird in einer ersten Variante versucht, die Heizlast drastisch zu senken. Da die Fassade erhalten bleiben soll, wird als energetische Sanierungsmaßnahme eine 6 cm starke Innendämmung der Wärmeleitgruppe 024 angesetzt (bestenfalls wäre die Innendämmung mit einer Silikatplatte versehen). In diesem Zuge empfiehlt sich ebenfalls der Austausch der veralteten zweifach verglasten Fenster gegen neue, dreifach verglaste Kunststofffenster mit einem U_w -Wert von ca. $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Zusätzlich sollte der Dachbereich mit 18 cm Mineralwolle WLG 035 gedämmt werden. Die Kellerdecke würde unterseitig, auf der Kaltseite, mit 10 cm PU Hartschaum WLG 024 gedämmt werden. Sämtliche Maßnahmen, mit Ausnahme des Fenstertausches, könnten als Eigenleistung erfolgen. Die genannten Maßnahmen führen zu einer Absenkung der Vorlauftemperatur auf 59°C mit 23 Kelvin Spreizung. Der Volumenstrom verringert sich von 869 l/h auf 376 l/h. Die Heizlast wird von ursprünglichen 17,68 kW (spez. Heizlast $112 \text{ W}/\text{m}^2$) auf 7,7 kW (spez. Heizlast $59 \text{ W}/\text{m}^2$) verringert. Mit den genannten Parametern wurde ein großer Schritt in Richtung Wärmepumpentauglichkeit getan. Die im Zuge der Sanierungsvariante 1 erzielten Werte (Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur und Spreizung) sind nach wie vor – bezogen auf die gewählten Kriterien für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe – zu hoch und erfüllen auch nicht die Eingangsparameterkriterien der JAZ-Rechenprogramme für die Berechnung einer Jahresarbeitszahl. Aus diesem Grund müssen in Variante 2 weitere Optimierungsmaßnahmen, hier Anlagentechnik, vorgenommen werden.

Variante 2

In der zweiten Variante wurde aufbauend auf Variante 1 versucht, die Vorlauftemperatur weiter abzusenken. Durch den Austausch von 6 Heizkörpern mit einer anderen Dimensionierung konnte die Vorlauftemperatur auf 50°C und auf eine Rücklauftemperatur auf 41°C verringert werden. Die

Heizlast bleibt in dieser Variante unverändert. Der Auslegungsvolumenstrom erhöht sich im Vergleich zum IST-Zustand von 869 l/h auf 872 l/h.

Raum	Höhe [mm]	Breite [mm] / Gliederanzahl [Stk]	Typ	q _{Norm} 75/65 °C	q _{HK} /q _r
Erdgeschoss					
Wohnzimmer	600	1200	Typ 33	2953	2,5
Wohnzimmer	600	800	Typ 22	1355	2,5
Küche	500	1000	Typ 22	1461	3,1
WC-Raum	600	600	Typ 22	1016	2,7
Büro	900	700	Typ 33	2320	3,1
Abstellraum*	400	1800	Typ 11	1413	-
Treppenraum	600	500	Typ 22	959	2,4
Obergeschoss					
Wohnungsflur	600	900	Typ 22	1525	7,5
WC-Raum	500	500	Typ 22	730	2,2
Schlafzimmer	600	1000	Typ 33	2461	2,3
Kinderzimmer	600	1200	Typ 33	2953	2,4
Kinderzimmer 2	600	1400	Typ 33	3445	3,1
Badezimmer	600	1600	Typ 33	3527	2,5
Dachgeschoss					
Treppenaufgang	600	600	Typ 11	640	1,3
*Negative Heizlast; Heizfläche ist zur Deckung der Heizlast nicht notwendig					

Tabelle 27: Objekt 10 Auflistung Heizkörper Variante 2

2.10.5 Simulation der Wärmepumpe (Ziel-Zustand)

Die Berechnung der Jahresarbeitszahl wurde nach den oben benannten Sanierungsparametern mit dem JAZ-Rechner des Bundesverbands Wärmepumpe auf Basis der Wärmepumpe CHA-07/400V des Herstellers Wolf berechnet. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe lässt sich lediglich für die Variante 2 berechnen, da die Variante 1 die gestellten Bedingungen für den Einsatz einer Wärmepumpe nicht erfüllt.

Die berechnete Jahresarbeitszahl für die Variante 2 im Heizbetrieb beträgt inkl. Backup/ zweiter Wärmeerzeuger 4,6, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung 3,9. Die Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage für Heizbetrieb und Trinkwarmwasser beträgt 4,5. Der Deckungsanteil der Wärmepumpe beträgt 100 %. Dieses Ergebnis lässt sich jedoch nur dann erreichen, wenn dem Austausch der Heizkörperflächen eine entsprechende energetische Sanierung voran geht.

2.10.6 Schlussbemerkung

Die notwendigen Sanierungsmaßnahmen fallen für dieses Objekt deutlich höher aus als bei den meisten vorherigen Projekten. Wenn man jedoch bedenkt, dass das Gebäude 1927 erbaut wurde

und seit diesem Baujahr keine wirklichen energetischen Sanierungen durchgeführt wurden, dann kann das Ergebnis als sehr gut betrachtet werden. Da die Fenster nach Augenschein und dem vor Ort Termin in den nächsten 5-10 Jahren sowieso auszutauschen wären, kann der notwendige Mehraufwand verkraftet werden. Das Ergebnis kann mit einem größeren, aber vertretbaren Aufwand erreicht werden und ist als sehr gut zu bewerten. Das Gebäude ist nach den benannten Maßnahmen für den Einsatz einer Wärmepumpe geeignet.

3. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde anhand von 10 ausgewählten Bestandswohngebäuden unterschiedlichen Alters, geographischer Lage, Bauart und Bauweise, Wohnfläche und bauphysikalischen Parametern untersucht, ob und/oder unter welchen baulich-technischen Sanierungsschritten und damit verbundener Investitionskosten ein effizienter Einsatz einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden möglich wäre.

Dabei wurden unter dem Gesichtspunkt eines geringstmöglichen Aufwandes (baulich-technisch/finanziell) die dann notwendigen/erforderlichen baulich-technischen Sanierungsschritte eindeutig beschrieben, während die damit verbundenen Investitionskosten aufgrund aktuell sehr instabiler Marktpreise für Material und Ausführung sowie von unausgereiften, sehr kurzfristig veränderlichen Förderprogrammen, nur qualitativ bewertet wurden.

Zur Beurteilung, ob Bestandswohngebäude wärmepumpentauglich sind, wurden im Rahmen dieser Studie folgende Kriterien angewendet:

- Maximale Vorlauftemperatur von 55°C im Heizkreis (BEG EM – Anforderung)
- Spreizung von maximal 10 Kelvin
- Errechnete Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe anhand der WOLF CHA Monoblock Wärmepumpe von mindestens 3,5 (VDI 4650 Blatt1: 2019-03)

Sofern diese Parameter gegeben sind bzw. durch Sanierungsschritte erreicht wurden, wurde eine Berechnung der Jahresarbeitszahl durch den JAZ-Rechner des Bundesverband Wärmepumpe e. V. nach dem Verfahren der VDI 4650 Blatt1: 2019-03 durchgeführt. War die Spreizung aufgrund gleichzeitig vorhandener, unterschiedlicher Wärmeverteilsysteme (Heizkörper/Fußbodenheizung) in einem Objekt größer als 10 Kelvin, wurde der konservative Ansatz für die Berechnung der Jahresarbeitszahl gewählt und diese dann mit der ermittelten Ist-Spreizung berechnet.

Zunächst erfolgte auf Basis vorhandener Bauunterlagen (Bauantrag/Baupläne/Bauteil- und/oder Materialrechnungen), die in ihrer Vollständigkeit und Qualität sehr unterschiedlich waren, eine objektbezogene Bestandsaufnahme, ergänzt um die i.d.R. vor Ort aufgenommenen Parameter wie Abmessungen der vorhandenen Fenster/Haustüren, Leistungsdaten der Heizungsanlagen, Art und ggf. Größe der Heizflächen und bereits durchgeführte energetischen Sanierungen wie z.B. Heizungsanlagen- oder Fenstertausch.

Mit den so erfassten Objektdaten wurde im Ist-Zustand in Abhängigkeit der Normaußentemperatur des jeweiligen Standortes die Heizlast, die spezifische Heizlast und die für den jeweiligen Anwendungsfall sich ergebende Vor- und Rücklauftemperatur errechnet, somit die IST-Spreizung erfasst und der dazugehörigen Volumenstrom ermittelt (vgl. Anlage 17 – Übersicht Projekt-IST-

Zustand). Danach wurde geprüft, ob die Kriterien (s.o.) einer Wärmepumpentauglichkeit erfüllt sind und die Berechnung einer Jahresarbeitszahl (s.o.) möglich ist.

Wie aus der Anlage 17 - Übersicht Projekt-IST-Zustand - zu entnehmen ist, gibt es das Objekt „Bestandswohngebäude“ so nicht; vielmehr ist der Begriff „Bestandswohngebäude“ ein Synonym für eine Vielzahl von heterogenen Gebäudetypen, die in ihrer Bauart, Bauweise, Baugröße, Anlagentechnik, ihrem Baualter, Standort (Normaußentemperatur) und bautechnischen & -physikalischen Standard u. a. derart unterschiedlich sind, dass jedes Bestandswohngebäude für sich bewertet und als Einzelfall betrachtet werden muss. So schwanken die Heizlasten gemäß DIN 12831 zwischen 5,7 KW und 17,7 KW und stehen primär in Relation zum Gebäudestandard (Gebäudehülle) und Gebäudestandort (Normaußentemperatur), während sich die spezifische Heizlast größtenteils zwischen 33 W/m² und 47 W/m² bewegt und in Relation zur Nutzfläche steht. Ausnahmen sind die beiden, deutlich älteren Bestandswohngebäude, die aufgrund größerer Deckenhöhen ein größeres Hüllvolumen (Objekt 4, 10) und entsprechend den heutigen Anforderungen eine energetisch schlechte Gebäudehülle aufweisen. Die Spreizung zwischen Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur weist bei den untersuchten Objekten, relativ unabhängig von den zuvor genannten Randbedingungen, Werte zwischen 20 K und 25 K auf. Ausnahme ist Objekt 6, welches aufgrund der niedrigen Vorlauftemperatur in der Fußbodenheizung einerseits und der knapp bemessenen Heizkörper und den daraus resultierenden höheren Vorlauftemperaturen im Heizkörperkreislauf andererseits, eine deutlich höhere Spreizung aufweist. Die Volumenströme bewegen sich zwischen 250 l/h und 1.000 l/h, je nach erforderlicher Raum-Heizlast. Auch hier ist die Ausnahme Objekt 6 aufgrund des großen prozentualen Anteils der Fußbodenheizung (ca. 40%) an den gesamten Heizflächen.

Allgemein kann festgestellt werden, dass durch einen Anlagentausch allein eine effiziente Wärmepumpentauglichkeit nicht gegeben ist.

In der Anlage 18 – Übersicht Projektvarianten sind nun die erforderlichen „Minimal-Sanierungsmaßnahmen“ gemäß der Aufgabenstellung einer dann effizienten Wärmepumpentauglichkeit für die hier untersuchten Bestandswohngebäude tabellarisch zusammengefasst.

Ziele des ersten Sanierungsschrittes waren dabei i.d.R. die Reduktion der Heizlast durch Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und/oder die Reduktion der Vorlauftemperatur auf 50°C durch den Austausch einzelner Heizkörper. Grundsätzlich wurden zunächst Maßnahmen in Ansatz gebracht, deren Erfordernis aufgrund des Alters sowieso oder in Bälde anstehen würden (z.B. 30 Jahre alte Fenster) oder Maßnahmen, die vom Eigentümer selbst durchgeführt werden können (z.B. Innendämmung). Des Weiteren folgte der Austausch einzelner Heizkörper im Sinne der berechneten Raum-Heizlast zur Reduktion der Vorlauftemperatur und Optimierung des Volumenstromes.

Bei den Objekten, bei denen ein erster Sanierungsschritt nicht ausreichte, um eine effiziente Wärmepumpentauglichkeit zu gewährleisten und eine Berechnung der Jahresarbeitszahl nicht möglich war, wurde immer eine zweite Maßnahme in Ansatz gebracht. Danach erfüllten alle Bestandswohngebäude entsprechend der Aufgabenstellung bzw. den gewählten Prüfkriterien die Voraussetzung einer effizienten Wärmepumpentauglichkeit und es wurden die Jahresarbeitszahlen entsprechend ermittelt.

Unabhängig davon wurde bei einigen Objekten, die eine effiziente Wärmepumpentauglichkeit mit Sanierungsmaßnahme 1 erreicht hatten, versucht, durch einen weiteren, finanziell geringen Aufwand bzw. sowieso in Bälde anstehenden Sanierungsschritten aufzuzeigen, dass eine weitere, deutliche Effizienzsteigerung möglich ist.

Die Ergebnisse der berechneten Gesamtjahresarbeitszahlen nach VDI 4650 Blatt 1 (2019) sind in Abbildung 23 dargestellt (Variante 1 als blauer Punkt und Variante 2 als oranger Punkt).

Sämtliche berechnete Jahresarbeitszahlen liegen über dem festgelegten Grenzwert von 3,5. In 70 % der Fälle ist in Variante 2 eine Jahresarbeitszahl von 4,4 oder höher möglich, was als sehr gutes Ergebnis gewertet werden kann. Die gemittelte Gesamtjahresarbeitszahl der „best of“ Varianten aller untersuchten Bestandswohngebäude, die zwischen 1927 und 2000 errichtet wurden, beträgt 4,36. Es ist zu berücksichtigen, dass aufgrund idealisierter Randbedingungen in der Simulation die realen Ergebnisse vermutlich etwas geringer ausfallen werden.

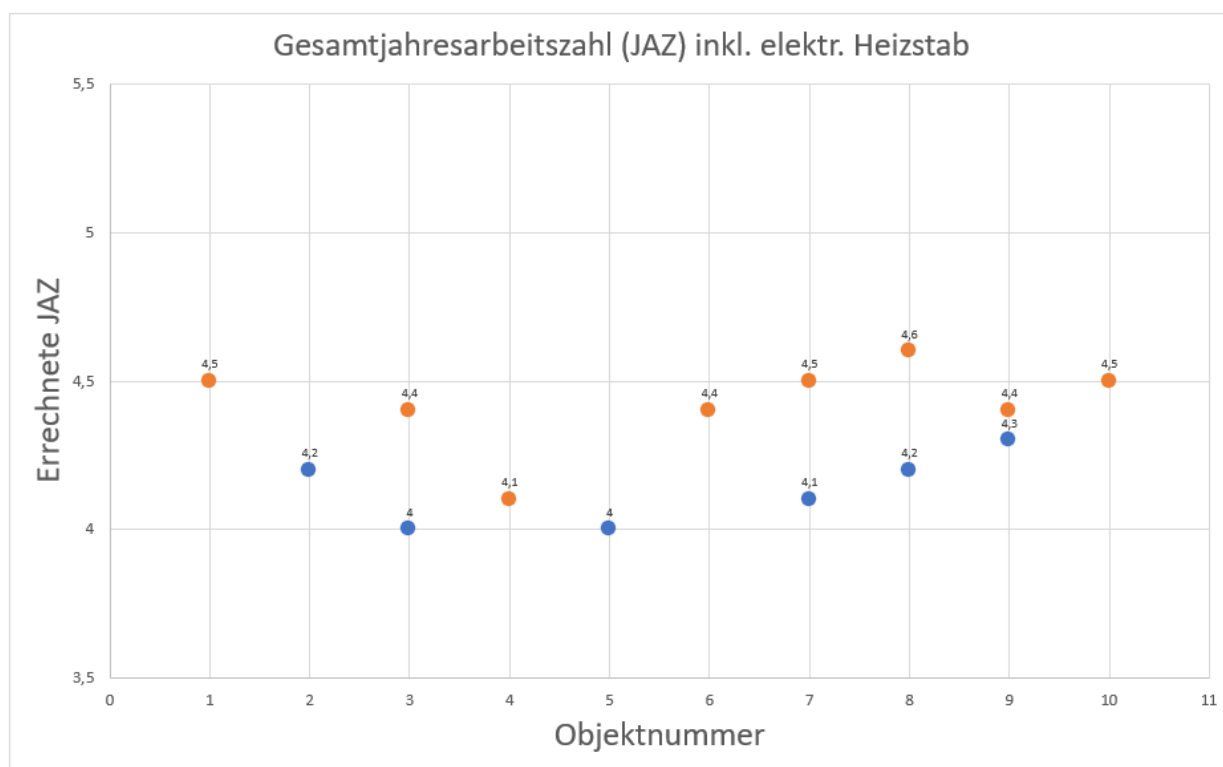


Abb. 23: Übersicht Berechnungsergebnisse JAZ

Als Fazit dieser Masterarbeit kann festgehalten werden, dass für eine Beurteilung von Bestandswohngebäuden bzgl. einer effizienten Wärmepumpentauglichkeit jedes Bestandswohngebäude für sich als Einzelfall betrachtet werden muss.

Es war aber möglich aufzuzeigen, dass jedes Bestandswohngebäude durch Sanierungsmaßnahmen mit geringem bis mittlerem finanziellen Aufwand, in Abhängigkeit des vorhandenen Gebäudestandards und der geographischen Lage des Wohngebäudes, wärmepumpentauglich gemacht werden kann.

4. Ausblick

Der Einsatz von Wärmepumpen in Bestandswohngebäuden mit Vorlauftemperaturen des Heizkreislaufes von $\leq 55^\circ\text{C}$, als eine der Mindestanforderungen für das effiziente Betreiben einer Wärmepumpe in Bestandswohngebäuden, stellt heutzutage kein Problem mehr da.

Durch die teilweise rasante Weiterentwicklung der Wärmepumpentechnologie in den vergangenen 10 Jahren werden sich die Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen weiter erhöhen und somit zunehmend interessanter bzw. attraktiver für einen effizienten Einsatz in Bestandswohngebäuden werden.

Die gemittelte Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlagen bei den untersuchten Bestandswohngebäuden, die zwischen 1927 und 2000 errichtet wurden und – nach überwiegend erfolgten Minimalmaßnahmen für eine Wärmepumpentauglichkeit – beträgt in der Simulation 4,3. Vergleicht man diese Zahl mit den gemessenen mittleren Jahresarbeitszahlen von 3,1, die durch die Feldstudie WP_{SMART} im Bestand vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE durchgeführt wurde, sieht man speziell hier einen deutlichen Effizienzanstieg innerhalb der letzten Jahre.⁴² Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Simulationsergebnisse über den gemessenen Ergebnissen liegen und die simulierten Ergebnisse dieser Masterarbeit in der Praxis etwas niedriger ausfallen würden.

Neue Ansätze bei der Wärmeabgabe (Heizkreislauf/Trinkwarmwasser) von Wärmepumpen, die üblicherweise über einen gemeinsamen Wärmetauscher erfolgt, führen durch Nachschalten eines zusätzlichen Wärmetauschers hinter dem Verdichter dazu, dass Heißgas von mindestens 65°C ausgekoppelt werden kann, bevor es zum Kondensator gelangt. Da Heißgas in jedem Verdichtungsprozess entsteht (je nach Kältemittel bis zu 125°C), macht es Sinn, diesen Auskoppelungsprozess speziell für das TWW zu nutzen. Im Kältekreislauf der Wärmepumpe können dann ca. 10% bis 15% der Leistung auf einem sehr hohen Temperaturniveau genutzt werden. Tests haben gezeigt, dass im Falle von TWW bis zu 35% des Heißgases, im Heizbetrieb jedoch nur wenige Prozent ausgekoppelt werden können. Die Heißgasauskopplung realisiert bei der Trinkwarmwassererwärmung Temperaturen von häufig über 70°C , sodass z. B. das Nachheizen mit einem direktelektrischen Heizstab entfällt. Durch diesen sogenannten HGS-Prozess (Heißgas-Prozess) wird der Wirkungsgrad bei der Ausnutzung bereitgestellter/erzeugter Energie (ähnlich NT zu BWT) und somit die JAZ einer Wärmepumpe erhöht und durch eine ruhigere,

⁴² (Wille-Hausmann, 2020)

betriebschonendere Betriebsweise der Verschleiß des Verdichters vermindert, womit die Lebensdauer der Wärmepumpe steigt.⁴³

Wie sich eine derartige Technologie auswirkt, lässt sich an der Air Cube Baureihe (AC312P und AC417P) der Firma OVUM aus Österreich anschaulich darstellen. Die Wärmepumpenserie ist im Oktober 2022 auf den Markt gekommen und gilt als weltweite effizienteste Wärmepumpenserie der Welt.⁴⁴

Simuliert man exemplarisch die Variante 2 des Objekts 7 und die Variante 1 des Objekts 5, d.h. anstelle der CHA Monoblock Wärmepumpenserie der Firma Wolf mit der Air Cube AC312P des österreichischen Herstellers Ovum, ist nochmals eine deutliche Steigerung der JAZ und somit der Effizienz zu sehen (s. Abb. 24).

Die Gesamtjahresarbeitszahl inkl. Backup erhöht sich für das Objekt 7 Variante 2 von ursprünglich 4,5 auf 5,1 (im Heizbetrieb auf 5,4). Für die Variante 1 des Objekts 5 erhöht sich durch den Austausch der Wärmepumpe die Gesamtjahresarbeitszahl inkl. Backup von ursprünglich 4,0 auf 4,6. Momentan ist die AC312P die effizienteste Wärmepumpe der Welt; vermutlich wird dies aber in naher Zukunft keine Ausnahme mehr sein.

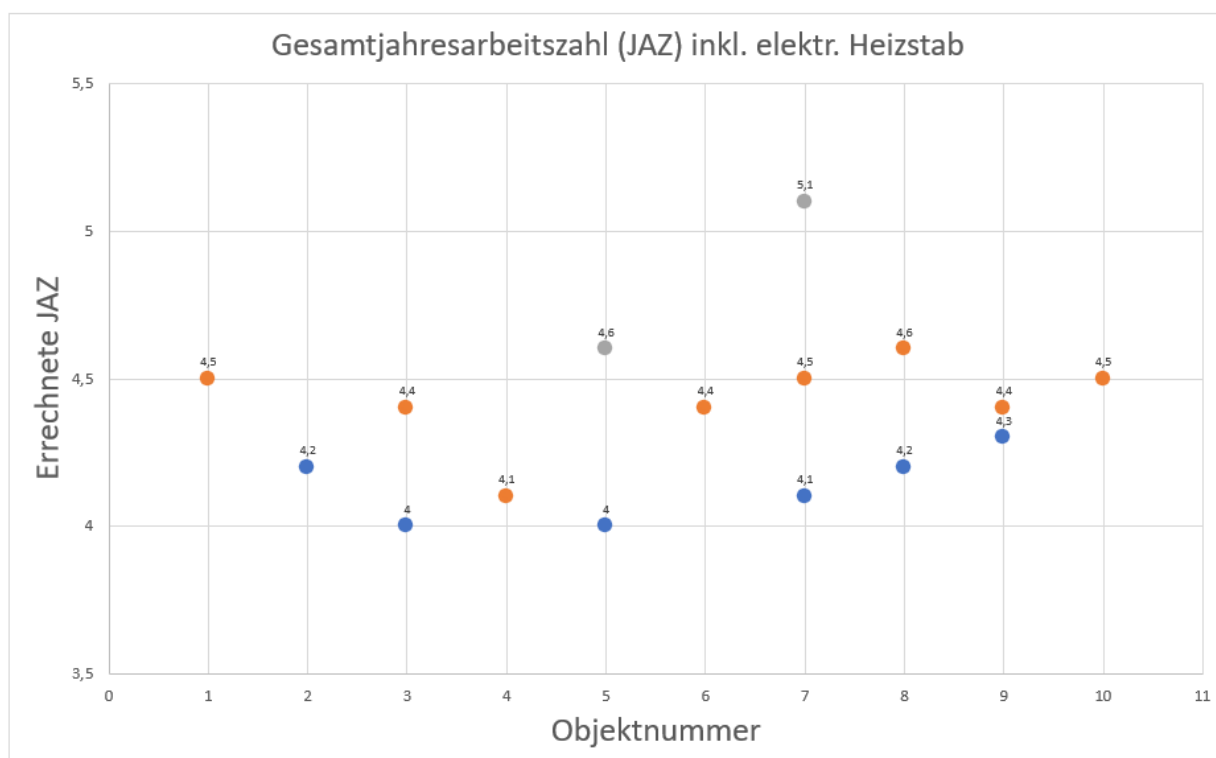


Abb. 24: Ausblick JAZ AC312P

⁴³ (Langheim, 2021)

⁴⁴ (OVUM, o. J.)

V Literatur- Quellenverzeichnis

- Bundesverband Wärmepumpe e. V. (o. J.). *Bundesverband Wärmepumpe e. V.* Von Grafiken:
<https://www.waermepumpe.de/presse/mediengalerie/grafiken/> abgerufen
- Calließ, S. (24. 02 2023). *thermondo*. Von
<https://www.thermondo.de/info/waermewende/studien/thermondo-heizstudie/> abgerufen
- DESTATIS. (08. 09 2022). Von Statistisches Bundesamt:
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_N056_311.html
 abgerufen
- Deutsche Institut für Normung e.V. (2020). *DIN/TS 12831-1:2020-04 : Verfahren zur Berechnung der Raumheizlast - Teil 1: Nationale Ergänzungen zur DIN EN 12831-1*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Deutsche Institut für Normung e.V. (2017). *DIN EN 12831:2017*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Deutsche Umwelthilfe e. V. (kein Datum). *Deutsche Umwelthilfe*. Von Ratgeber zur optimalen Einstellung der Wärmepumpe:
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/W%C3%A4rmepumpen/Factsheet_5_Ratgeber_zur_optimalen_Einstellung_der_W%C3%A4rmepumpe.pdf abgerufen
- Deutschlandfunk. (08. 03 2023). *Deutschlandfunk*. Von
<https://www.deutschlandfunk.de/scholz-ab-2024-sollen-500-000-neue-waermepumpen-pro-jahr-eingebaut-werden-100.html> abgerufen
- Eichler, S. (22. 11 2023).
- Krohn, T. (o. J.). *Heizglück*. Von <https://heizglueck.de/neue-heizung/heizungstechnik/heizkessel/brennwertkessel/#:~:text=Bei%20einem%20Konstanttemperaturkessel%20ergeben%20sich,bei%20lediglich%20%20%2D%203%20%25.> abgerufen
- Langheim, B. (05. 11 2021). *IKZ*. Von <https://www.ikz.de/medien/ikz-haustechnik/heftarchiv/jahrgang-2021/ausgabe-14/news/detail/hohe-temperaturen-meistern/> abgerufen
- OVUM. (o. J.). *OVUM*. Von <https://www.ovum.at/produkte/luft-die-koenigsklasse/> abgerufen
- OVUM. (o. J.). *OVUM Wärmepumpen*. Abgerufen am 10. 01 2024 von https://www.ovum.at/wp-content/uploads/2023/05/AC-312_417_-Datenblatt_Druck_einzel.pdf
- Rogatty, W. (2006). *IKZ*. Von <https://www.ikz.de/uploads/media/050.pdf> abgerufen
- SBZMonteur. (17. 02 2021). *SBZMonteur*. Von <https://www.sbz-monteur.de/heizung/brueckentechnologie-gas-brennwert> abgerufen
- Schwarz, S. (01. 09 2022). *taz*. Von <https://taz.de/Energiewende-und-Erdgas!/5824837/> abgerufen

- Thiel, W. (2024). *Planung und Dimensionierung einer hocheffizienten Wärmepumpenanlage - speziell in der Sanierung*. Schulungsunterlage WOLF (Seminar).
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2019). *VDI 4650 Blatt 1:2019-03*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Vilsmeier, D. (28. 02 2023). *Bayrischer Rundfunk*. Von <https://www.br.de/nachrichten/wirtschaft/alternative-zu-oel-und-gas-heizung,T15RoEF> abgerufen
- WärmeschutzV 1982*. (kein Datum). Von info Portal Energieeinsparung: https://www.bbsr-geg.bund.de/GEGPortal/DE/Archiv/WaermeschutzV/WaermeschutzV1982_84/Download/WaermeschutzV8284.pdf?__blob=publicationFile&v=1 abgerufen
- Wille-Hausmann, D. G.-I.-I.-I. (23. 07 2020). *Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE*. (F. ISE, Hrsg.) Abgerufen am 10. 01 2024 von https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BM-Wi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf
- WOLF. (o. J.). *WOLF*. Abgerufen am 01. 10 2024 von <https://www.wolf.eu/de-de/produkte/waermepumpe-cha-und-chc-monoblock>

VI Anlagenverzeichnis

Anlage 1 - Objekt 1 JAZ Berechnung Variante 2	1
Anlage 2 - Objekt 2 JAZ Berechnung Variante 1	3
Anlage 3 - Objekt 3 JAZ Berechnung Variante 1	5
Anlage 4 - Objekt 3 JAZ Berechnung Variante 2	7
Anlage 5 - Objekt 4 JAZ Berechnung Variante 2	9
Anlage 6 - Objekt 5 JAZ Berechnung Variante 1	11
Anlage 7 - Objekt 6 JAZ Berechnung Variante 2	13
Anlage 8 - Objekt 7 JAZ Berechnung Variante 1	15
Anlage 9 - Objekt 7 JAZ Berechnung Variante 2	17
Anlage 10 - Objekt 8 JAZ Berechnung Variante 1	19
Anlage 11 - Objekt 8 JAZ Berechnung Variante 2	21
Anlage 12 - Objekt 9 JAZ Berechnung Variante 1	23
Anlage 13 - Objekt 9 JAZ Berechnung Variante 2	25
Anlage 14 - Objekt 10 JAZ Berechnung Variante 2	27
Anlage 15 - Objekt 5 JAZ Berechnung AC312P	29
Anlage 16 - Objekt 7 JAZ Berechnung AC312P	31
Anlage 17 – Übersicht Projekt-IST-Zustand.....	33
Anlage 18 – Übersicht Projektvarianten.....	34

Anlage 1 - Objekt 1 JAZ Berechnung Variante 2



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 1 - Variante 2
Adresse	, 71131 Jettingen
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 40
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Abtauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -12 °C)	8,50
Gebäudeheizlast in kW	11,40



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-12
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,99

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,6
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,0
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,5

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,7
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,5



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,049 / 0,619 / 0,380

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 2 - Objekt 2 JAZ Berechnung Variante 1



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 2 - Variante 1
Adresse	, 89173 Lonsee
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 41
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -13 °C)	5,50
Gebäudeheizlast in kW	5,65



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-13
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,3
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,2

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,3
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,2


Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)
Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	9,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,041
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,119 / 0,640 / 0,303
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,049 / 0,619 / 0,380

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

 Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 3 - Objekt 3 JAZ Berechnung Variante 1



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 3 - Variante 1
Adresse	, 88441 Mittelbiberach
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	55 / 45
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -13 °C)	7,50
Gebäudeheizlast in kW	11,70



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-13
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,98

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,0
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,0

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,2
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,2



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,131 / 0,679 / 0,315
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,054 / 0,658 / 0,396

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 4 - Objekt 3 JAZ Berechnung Variante 2



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 3 - Variante 2
Adresse	, 88441 Mittelbiberach
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 40
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Abtauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -13 °C)	7,80
Gebäudeheizlast in kW	10,20



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-13
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,5
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,4

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,5
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,4



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,119 / 0,640 / 0,303
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,049 / 0,619 / 0,380

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 5 - Objekt 4 JAZ Berechnung Variante 2



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 4 - Variante 2
Adresse	, 89075 Ulm
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	49 / 39
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungswärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Abtauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -13 °C)	5,70
Gebäudeheizlast in kW	8,60



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-13
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,99

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,2
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,8
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,1

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,3


Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)
Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,117 / 0,633 / 0,301
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,048 / 0,612 / 0,377

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

 Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 6 - Objekt 5 JAZ Berechnung Variante 1



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 5 - Variante 1
Adresse	, 88436 Eberhardzell
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 40
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -14 °C)	7,50
Gebäudeheizlast in kW	13,50



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-14
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,98

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,0
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,8
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,0

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,3



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,119 / 0,640 / 0,303

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 7 - Objekt 6 JAZ Berechnung Variante 2



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 6 - Variante 2
Adresse	, 88348 Bad Saulgau
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	45 / 35
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungsärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -13 °C)	8,00
Gebäudeheizlast in kW	12,40



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-13
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,98

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,5
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,4

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,8
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,6



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,110 / 0,606 / 0,292
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,045 / 0,584 / 0,366

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 8 - Objekt 7 JAZ Berechnung Variante 1



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 7 - Variante 1
Adresse	, 89231 Neu-Ulm
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	55 / 45
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -12 °C)	8,00
Gebäudeheizlast in kW	12,30



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-12
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,99

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,2
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,1

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,3



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,054 / 0,658 / 0,396

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 9 - Objekt 7 JAZ Berechnung Variante 2



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 7 - Variante 2
Adresse	, 89231 Neu-Ulm
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 40
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungsärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-10/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,88 / 4,35 / 5,72
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,75
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -12 °C)	8,30
Gebäudeheizlast in kW	9,60



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-12
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,7
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,5

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,7
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,1
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,5



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,049 / 0,619 / 0,380

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 10 - Objekt 8 JAZ Berechnung Variante 1



Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 8 - Variante 1
Adresse	, 69221 Dossenheim
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	55 / 45
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -10 °C)	6,10
Gebäudeheizlast in kW	8,40



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-10
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,99

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,3
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,8
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,2

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,3



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -10 °C)	0,031 / 0,587 / 0,487

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 11 - Objekt 8 JAZ Berechnung Variante 2



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 8 - Variante 2
Adresse	, 69221 Dossenheim
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	48 / 38
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -10 °C)	6,30
Gebäudeheizlast in kW	6,70



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-10
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,8
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,6

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,8
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,6


Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)
Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -10 °C)	0,027 / 0,537 / 0,458

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

 Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 12 - Objekt 9 JAZ Berechnung Variante 1



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 9 - Variante 1
Adresse	, 69198 Schriesheim
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	53 / 43
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -11 °C)	6,10
Gebäudeheizlast in kW	6,20



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-11
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,3

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,3



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,052 / 0,642 / 0,390
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -10 °C)	0,030 / 0,572 / 0,479

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 13 - Objekt 9 JAZ Berechnung Variante 2



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 9 - Variante 2
Adresse	, 69198 Schriesheim
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 41
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungs-Wärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Ablauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -11 °C)	6,10
Gebäudeheizlast in kW	6,20



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-11
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,5
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,4

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,5
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,4



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	9,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,041
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,049 / 0,619 / 0,380
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -10 °C)	0,028 / 0,550 / 0,466

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 14 - Objekt 10 JAZ Berechnung Variante 2



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 10 - Variante 2
Adresse	, 67269 Grünstadt
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 41
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungswärmepumpe

Hersteller	Wolf
Typenbezeichnung	CHA-07/400V
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	2,73 / 4,24 / 5,47
Abtauverfahren (A2/W35)	Kreislaufumkehr
Korrekturabschlag (A2/W35) (in COP enthalten)	0,3
Nennleistung in kW (A7/W35)	5,15
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -10 °C)	6,20
Gebäudeheizlast in kW	7,70



Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-10
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,6
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,5

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,6
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	3,9
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,5



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	9,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,041
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -10 °C)	0,028 / 0,550 / 0,466

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 15 - Objekt 5 JAZ Berechnung AC312P



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 5 - AC 312 P
Adresse	, 88436 Eberhardzell
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 40
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungsärmepumpe

Hersteller	OVUM Heiztechnik GmbH
Typenbezeichnung	AC312P
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	3,97 / 5,15 / 5,98
Ablauverfahren (A2/W35)	Berücksichtigt in Prüfstandmessungen
Korrekturabschlag (A2/W35)	0,0
Nennleistung in kW (A7/W35)	6,80
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -14 °C)	7,80
Gebäudeheizlast in kW	13,50

Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-14
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	0,98

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	4,7
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,0
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	4,6

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	5,1
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,3
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	5,0

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)
Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -14 °C)	0,119 / 0,640 / 0,303

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

 Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 16 - Objekt 7 JAZ Berechnung AC312P



Bundesverband
Wärmepumpe e.V.

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)

Angaben zum Projekt

Name	Objekt 7 - AC 312 P
Adresse	, 89231 Neu-Ulm
Heizgrenztemperatur in °C	15
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur in °C	50 / 40
Kombigerät	nein

Angaben zur Heizungsärmepumpe

Hersteller	OVUM Heiztechnik GmbH
Typenbezeichnung	AC312P
Leistungszahl COP (A-7/W35 / A2/W35 / A7/W35)	3,97 / 5,15 / 5,98
Ablauverfahren (A2/W35)	Berücksichtigt in Prüfstandmessungen
Korrekturabschlag (A2/W35)	0,0
Nennleistung in kW (A7/W35)	6,80
Leistung Wärmepumpe in kW (bei -12 °C)	8,20
Gebäudeheizlast in kW	9,60

Wärmequelle und Betriebsweise

Wärmequelle	Außenluft
Normaußentemperatur in °C	-12
Betriebsweise	bivalent (parallel), monoenergetisch
Deckungsanteil	1,00

Berechnung mit Backup (für die BAFA-Förderung relevant)

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	5,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,3
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	5,1

Berechnung ohne Backup

Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe im Heizbetrieb	5,4
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe für Trinkwassererwärmung	4,3
Gesamtjahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	5,1

Bestimmung der Jahresarbeitszahl entsprechend VDI 4650 Blatt 1 (2019)
Berechnungsgrundlagen Heizung

Temperaturdifferenz am Verflüssiger im Betrieb in K	10,0
Heizung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,051
Primärtemperatur in °C	-7 / +2 / +7
Korrekturfaktor Heizung (untersch. Betriebsbedingungen bei -12 °C)	0,049 / 0,619 / 0,380

Berechnungsgrundlagen Warmwasser

Art der Trinkwassererwärmung	Heizungswärmepumpe
Anteil Trinkwassererwärmung am Gesamtwärmebedarf in %	18
Trinkwassererwärmung Korrekturfaktor (Verflüssiger)	1,000
Speichertyp	WÜ innenliegend
Korrekturfaktor Warmwasser (untersch. Betriebsbed.)	1,000 / 0,716
Speichertemperatur in °C	50

 Stempel und Unterschrift Fachunternehmer/In / Installateur/In

Anlage 17 – Übersicht Projekt-IST-Zustand

Objekt Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Bauweise	freistehend	freistehend	freistehend	freistehend	freistehend	freistehend	freistehend	freistehend	einseitig angebaut	beidseitig ange- baut	einseitig angebaut
WE/ Anzahl Familien	3/2	1/1	2/1	3/2	2/1	2/1	1/1	1/1	1/1	1/1	2/1
Baujahr	1991	2000	1991	1946	1991	1987	1995	1988	1997	1997	1927
PLZ	71131	89173	88441	89075	88436	88348	89231	69221	69198	69198	67269
Normaußentemperatur [°C]	-12,0	- 12,80	-13,00	-12,50	-13,50	-12,6	-11,60	-10,40	-10,50	-10,50	-10,10
Bauart	Massiv	Holzbauweise	Massiv	Massiv	Holzbauweise	Holzbauweise	Massiv	Massiv	Massiv	Massiv	Massiv
Nettogrundfläche [m²]	423	173	193	253	358	336	261	216	184	158	
Hülle (wesentliche Bauteile)											
Dach [W/m²K]	0,30	0,26	0,26	0,62	0,29	0,37	0,34	0,42	0,30	1,40	
Fassade [W/m²K]	0,35	0,19	0,60	1,40	0,26	0,26	0,44	0,60	0,50	1,50	
Bodenplatte [W/m²K]	0,47	0,62	0,60	0,35*	0,63	0,30	0,41	0,60	0,60	2,10*	
Fenster [W/m²K]	1,50	0,81	1,80	1,50	1,60	1,90	2,70	0,85	2,70	3,00	
Anlagentechnik											
Energieträger	Gas	Gas	Öl	Gas	Öl/Stückholz	Gas/BHKW	Gas	Gas	Gas	Gas	
Brenntechnik	Niedertemperatur	Brennwerttechnik	Niedertemperatur	Brennwerttechnik	NT*** / S-Kessel**	Brennwerttechnik	Niedertemperatur	Brennwerttechnik	Brennwerttechnik	Brennwerttechnik	
Kesselleistung Q _N [kW]	25,00	11,00	21,00	24,00	31,00/22,00	14,3	17,00	22,30	25,00	25,00	
Baujahr	1991	2000	1991	2004	1995	2013	1995	2017	2023	2013	
Heizkörper / FBH [%]	70/30	100/0	100/0	100/0	75/25	40/60	100/0	100/0	100/0	100/0	
Energiebedarf inkl. TWW [kWh]	ca. 35.000	ca. 10.000	ca. 20.000	ca. 38.000	ca. 35.000	ca. 37.000	ca. 25.000	ca. 23.000	ca. 15.000	ca. 35.000	
Kachelofen [kWh]	9.000	4.500	-	-	-	Verbrauch unbe- kannt	Verbrauch unbe- kannt	-	-	-	
Anlagentechn. Kennwerte											
Heizlast gem. DIN 12831-1:2020 [kW]	14,4	5,7	11,7	17,7	13,5	14,1	12,3	8,4	6,2	17,68	
Spez. Heizlast [W/m²]	34,0	33	61	70	38	42	47	39	34	112	
VL-T / RL-T [°C]	65/39	63/40	64/44	71/46	67/46	74/39	71/46	66/44	70/45	70/50	
Spreizung [K]	26	23	20	25	21	35	25	22	25	20	
Volumenstrom[l/h]	1044	262	566	664	804	1421	518	396	256	869	
Wärmepumpengeeignet	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine	
*Kellerdecke **Spezialholzkessel ***Niedertemperatur											

Anlage 18 – Übersicht Projektvarianten

Objekt Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sanierungsvariante 1										
Ziel:	AW KG (Innendämmung) U-Wert 2,44 W/(m²K) => 0,34 W/(m²K) Fenstertausch Uw-Wert 1,50 W/(m²K) => 0,80 W/(m²K)	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 7 Heizkörper von 10 Heizkörper	VL-T HK Kreislauf 55°C Austausch 12 Heizkörper von 17 Heizkörper	AW WDVS U-Wert 1,40 W/(m²K) => 0,17 W/(m²K) Austausch 2 Heizkörper von 20 Heizkörper	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 6 Heizkörper von 18 Heizkörper	Fenstertausch Uw-Wert 1,90 W/(m²K) => 0,80 W/(m²K)	VL-T HK Kreislauf 55°C Austausch 8 Heizkörper von 15 Heizkörper	VL-T HK Kreislauf 55°C Austausch 9 Heizkörper von 14 Heizkörper	VL-T HK Kreislauf 55°C Austausch 6 Heizkörper von 11 Heizkörper	AW (Innendämmung) U-Wert 1,50 W/(m²K) => 0,32 W/(m²K) DK KG U-Wert 2,10 W/(m²K) => 0,22 W/(m²K) Fenstertausch Uw-Wert 3,00 W/(m²K) => 0,80 W/(m²K) Dach U-Wert 1,40 W/(m²K) => 0,17 W/(m²K)
Heizlast [kW]	11,4	5,65	11,7	8,6	13,5	12,4	12,3	8,4	6,2	7,7
spez. Heizlast [W/m²]	27	33	61	34	38	37	47	39	34	49
VI-T/RL-T (HK) [°C]	62/38	50/41	55/45	53/33	50/40	73/44	55/45	55/45	53/43	59/36
VL-T/RL-T (FBH) [°C]	35/23	-	-	-	35/29	40/33	-	-	-	-
Spreizung [K]	24**	9	10	20	10**	35**	10	10	10	23
Volumenstrom [l/h]	835 l/h	638	1106	454	1192	1170	1251	866	620	376
Vorgabe Wärmepumpeneignung erfüllt?	nein	ja	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja	nein
Sanierungsvariante 2										
Ziel:	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 6 Heizkörper von 19 Heizkörper		VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 6 Heizkörper von 19 Heizkörper IW (Innendämmung) U-Wert 0,56 W/(m²K) => 0,17 W/(m²K) DK KG U-Wert 0,60 W/(m²K) => 0,18 W/(m²K) Fenstertausch Uw-Wert 1,80 W/(m²K) => 0,80 W/(m²K)	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 14 Heizkörper von 20 Heizkörper		VL-T HK Kreislauf 45°C Austausch 4 Heizkörper von 12 Heizkörper	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 9 Heizkörper von 15 Heizkörper IW (Innendämmung) U-Wert 1,60 W/(m²K) => 0,21 W/(m²K) DK KG U-Wert 0,32 W/(m²K) => 0,14 W/(m²K) Fenstertausch Uw-Wert 2,70 W/(m²K) => 0,80 W/(m²K)	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 6 Heizkörper von 14 Heizkörper AW WDVS U-Wert 0,60 W/(m²K) => 0,15 W/(m²K) DK KG (Innendämmung) U-Wert 0,60 W/(m²K) => 0,17 W/(m²K)	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 6 Heizkörper von 11 Heizkörper	VL-T HK Kreislauf 50°C Austausch 5 Heizkörper von 14 Heizkörper
Heizlast [kW]	11,4		10,2	8,6		12,4	9,6	6,7	6,2	7,7
spez. Heizlast [W/m²]	27		53	34		37	37	31	34	49
VL-T/RL-T (HK) [°C]	50/40		50/40	49/39		45/38	50/40	48/38	50/41	50/41
VL-T/RL-T (FBH) [°C]	35/28		-	-		40/33	-	-	-	-
Spreizung [K]	15**		10	10		10**	10	10	9	9
Volumenstrom [l/h]	997		1026	805		1403	1088	738	672	872
Vorgabe Wärmepumpeneignung erfüllt?	ja *		ja			ja	ja	ja	ja	ja
Typenbeschreibung Wärmepumpe	CHA-10/400V	CHA-07/400V	CHA-10/400V	CHA-07/400V	CHA-10/400V	CHA-10/400V	CHA-10/400V	CHA-07/400V	CHA-07/400V	CHA-07/400V
Gesamtjahresarbeitszahl	4,5	4,3	4,4	4,2	4,0	4,4	4,5	4,6	4,4	4,5
Jahresarbeitszahl Heizbetrieb	4,6	4,2	4,5	4,1	4,0	3,9	4,7	4,8	4,5	4,6
Jahresarbeitszahl TWW	4	3,9	4,1	3,8	3,8	4,5	4,1	3,9	3,9	3,9
Deckungsanteil [%]	99	100	100	99	98	98	100	100	100	100
Heizleist. WP bei NAT [kW]**	8,5	5,5	7,8	5,7	7,5	8,0	8,3	6,7	6,1	6,2
* Sonderfall Berechnung **Spreizung FBH & HK zusammen ***Heizleistung Wärmepumpe bei Normaußentemperatur [kW]										

VII Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Neu-Ulm, 15.02.2024

.....
Ort, Datum

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sepp Güter', written in a cursive style.

.....
Unterschrift