

Sascha Zitzler, B.Sc.

Außenluft-Wärmepumpen in bivalenten Heizungssystemen für den Nachrüstmarkt

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. Dr. techn. Richard Heimrath
Institut für Wärmetechnik

Beurteiler

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Renè Rieberer
Institut für Wärmetechnik

Graz, im Juni 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG *AFFIDAVIT*

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

KURZFASSUNG

Titel: Außenluft-Wärmepumpen in bivalenten Heizungssystemen für den Nachrüstmarkt

Autor: Sascha Zitzler

1. Stichwort: Betriebsartenvergleich
2. Stichwort: energetisch/ökologisch
3. Stichwort: ökonomisch

In dieser Arbeit werden Verbesserungspotentiale von Bestandsgebäuden und deren Heizungssystemen mittels bivalenter Heizungssysteme simulationstechnisch untersucht. Für das bivalente Heizungssystem wird neben dem Bestandskessel, eine Außenluft-Wärmepumpe als zweiter Wärmeerzeuger in Betracht gezogen und hinsichtlich ihrer Effizienz, Umweltbelastung sowie Kosten analysiert.

“Ältere“ Gebäude (1945 – 1980) werden mit Standardölkessel und “neuere“ Gebäude (1981 – 2000) werden mit modulierenden Kessel den Energieträgern Gas, Öl, sowie Pellets angenommen, woraus sich mit der “Nachrüst-„ Wärmepumpe drei mögliche bivalente Betriebsarten (alternativ, parallel und teilparallel) ergeben.

Diese werden mittels thermischer Gebäude- und Anlagensimulation energetisch bewertet. Weiters wurde der Endenergieverbrauch mit Konversions- bzw. CO₂-Faktoren umgerechnet und so der Primärenergiebedarf, sowie die CO₂-Emissionen bestimmt. Zuletzt wurde in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 mittels Annuitätenmethode ein Kostenvergleich durchgeführt.

Aus dieser Untersuchung ergab sich, dass die alternative Betriebsart hinsichtlich der Jahresarbeitszahlen die bessere Variante ist, da bei der parallelen sowie der teilparallelen Variante die Wärmepumpe bei niedrigeren Außenlufttemperaturen betrieben wird.

Im Hinblick auf eine geringere Umweltbelastung ist jedoch die parallele Betriebsart vorzuziehen, da der Kessel mit weniger Energie zur Wärmebereitstellung beiträgt. Hingegen wäre, unter der Annahme eines mitlernen österreichischen Stommix und der damit verbundenen CO₂-Emissionen, eine Einbindung einer Wärmepumpe in ein bivalentes Heizungssystem mit einem Pelletskessel eher weniger sinnvoll, da dieser Energieträger quasi CO₂ neutral ist.

Bei der wirtschaftlichen Betrachtung zeigt sich, dass die Gesamtannuität bei der parallelen Variante die niedrigsten sind, wobei alle drei bivalenten Betriebsmodi annähernd gleich abschnitten.

Für die Energieträger Gas und Öl würde sich unter den getroffenen Annahmen eine thermische und heizungstechnische Sanierung lohnen, für den Energieträger Pellets hingegen würde sich nur eine thermische Sanierung des Gebäudes rentieren.

ABSTRACT

Title: Air source heat pumps in bivalent heating systems for the aftermarket

Author: Sascha Zitzler

1st keyword: operating mode comparison

2nd keyword: energetic/ecological

3rd keyword: economic

This thesis deals with a comparison of existing buildings and their heating systems and with renovated buildings and a bivalent heating system. The focus is on an energetic, ecological and an economic comparison of two existing buildings. The first existing building belongs to the period from 1945 to 1980 and the second belongs to the period from 1980 to 2000, which will be renovated in this work as well. For both bivalent heating systems an air source heat pump will be used and for the first existing building an oil boiler. For the second building there will be used a gas, oil or a pellets boiler. Together with a boiler and a heat pump there are three different operating modes possible (alternative, parallel, partially parallel). That means in sum there are 16 systems.

Those 16 systems were energetically evaluated with the software Polysun®. Furthermore the primary energy demand was calculated with conversion factors as well as the CO₂ emission was calculated with CO₂ factors. The heating systems also evaluated by their costs according to the VDI 2067 annuity method.

The energetic comparison showed that the alternative mode is the most favorable operation method concerning the seasonal performance factor.

From the ecological view the parallel mode arose view as the best option, because the boiler provides less energy for the heat supply.

The economic investigation showed similar results like the ecological, but all three bivalent operation modes were roughly the same.

VORWORT

Die Arbeit entstand am Institut für Wärmetechnik an der Technischen Universität Graz.

Hiermit möchte ich mich bei allen Bedanken die zu Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Vielen Dank gebührt der Werner Hochegger Forschungsstiftung, die diese Masterarbeit erst ermöglicht hat.

Besonders möchte ich mich auch bei meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Richard Heimrath bedanken, der mich sowohl fachlich, als auch moralisch stets unterstützt hat und wesentlich dazu beigetragen hat, dass diese Arbeit verwirklicht wurde.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch meiner Lebensgefährtin Corinna, die mich in den teilweise sehr schweren Monaten immer wieder moralisch unterstützt und aufgebaut hat.

Auch möchte Ich meinen Eltern, Inge und Arnold von Herzen danken, die mich in allen Lebensentscheidungen gestützt und unterstützt haben und dadurch den eingeschlagenen Weg, bis hin zur Masterarbeit damit geebnet haben.

Graz, 17.05.2016

Sascha Zitzler

INHALTSVERZEICHNIS

1	<u>EINLEITUNG</u>	1
1.1	Motivation für diese Arbeit	1
1.2	Einflussfaktoren auf den Energiebedarf des Gebäudebestands	3
1.3	Ziel der Arbeit, Aufbau und Vorgehen	5
2	<u>GRUNDLAGEN</u>	6
2.1	Begriffsdefinition	6
a)	Primärenergiebedarf	6
b)	Endenergiebedarf	6
c)	Heizenergiebedarf	6
d)	Heiztechnikenergiebedarf	6
e)	Heizwärmebedarf (Nutzenergiebedarf)	7
2.2	Heizsysteme	8
2.2.1	Kennzahlen	8
2.2.2	Ölkessel	9
2.2.3	Gaskessel	9
2.3	Wärmepumpen	10
2.3.1	Einteilung von Wärmepumpen	11
2.3.2	Thermodynamische Grundlagen	12
2.3.3	Kennzahlen	17
2.3.4	Kompressionswärmepumpe	19
2.3.5	Betriebsarten	21
3	<u>BESCHREIBUNG DER REFERENZ-GEBÄUDE UND -SYSTEME</u>	24
3.1	Definition der Referenzgebäude	24
3.2	Bestimmung der Gebäudeheizlast und des Heizwärmebedarfs	27
a.	Ermittlung der Gebäudeheizlast und des Heizwärmebedarfs	28
3.3	Thermische Anlagen- und Gebäudesimulation mittels Polysun®	29
a.	Modellierung und Annahmen in Polysun®	29
4	<u>ENERGETISCHER VERGLEICH</u>	37
4.1	Energetische Ergebnisse des Referenzgebäudes EFH1	37
4.2	Energetische Ergebnisse des Gebäudes EFH3 (saniertes EFH1)	40
4.3	Energetische Ergebnisse des Referenzgebäudes EFH2	52
4.4	Energetische Ergebnisse des Gebäudes EFH4 (saniertes EFH2)	57
4.5	Vergleich des Endenergieverbrauchs und des Primärenergieverbrauchs	69
4.6	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse	71
5	<u>ÖKOLOGISCHER VERGLEICH</u>	82
5.1	Ökologische Ergebnisse EFH1 und EFH3	82
5.2	Ökologische Ergebnisse EFH2 und EFH4	83

5.3	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse	88
6	ÖKONOMISCHER VERGLEICH	92
6.1	Preisrecherche und Randbedingungen	92
6.2	Ökonomische Ergebnisse	94
6.2.1	Ökonomische Ergebnisse EFH1 & EFH3	94
6.2.2	Ökonomische Ergebnisse EFH2 und EFH4	95
6.2.3	Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse	100
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN	110
	LITERATUR	114
	ANHANG A – KENNZAHLEN UND PREISBERECHNUNG	117
	ANHANG B – VDI BERECHNUNGSBLÄTTER EFH1 UND EFH3 ÖL	118
	ANHANG C – VDI BERECHNUNGSBLÄTTER EFH2 UND EFH4 GAS	134

1 EINLEITUNG

1.1 Motivation für diese Arbeit

Täglich werden wir mit der Problematik der globalen Erwärmung bzw. des Klimawandels medial konfrontiert. Einen wesentlichen Anteil am sogenannten Treibhauseffekt hat unter anderem auch der notwendige Energiebedarf für Heizungs- bzw. Kühlanlagen, weil dieser überwiegend durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gedeckt wird.

Abbildung 1-1 zeigt den energetischen Endverbrauch für die verschiedenen Verbraucher und die Aufschlüsselung welche Energieträger dafür verwendet werden. Rund 30 % des Energiebedarfs in Österreich wird für die Raumheizung, Klimaanlage und Warmwasserbereitung benötigt und der damit einhergehende CO₂-Ausstoß kurbelt den Treibhauseffekt zusätzlich an.

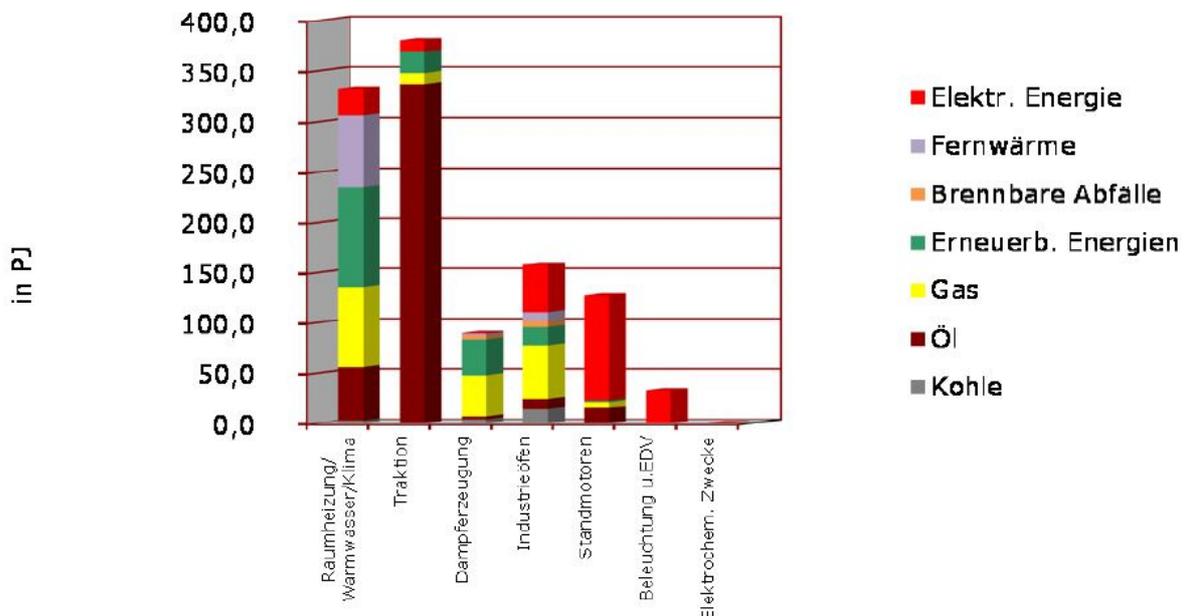


Abbildung 1-1: Energetischer Endverbrauch nach Verbrauchszwecken 2013 (Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, 2015)

In Abbildung 1-2 ist veranschaulicht, dass in Österreich CO₂ den größten Beitrag zu den Treibhausgasgesamtemissionen bildet, gefolgt von Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O) und Flurierte Gase (F - Gase). CO₂ ist somit hauptverantwortlich für den anthropogenen Treibhauseffekt.

Anteil der THG an den Gesamtemissionen 2013

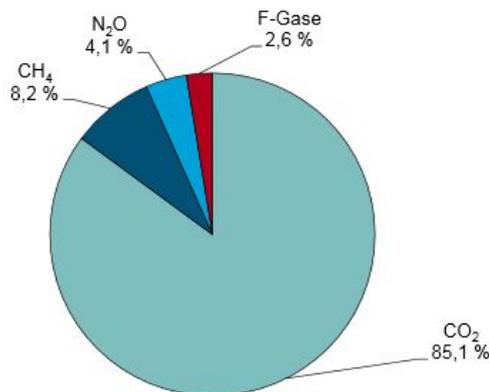


Abbildung 1-2: Anteil der Treibhausgase (THG) an den Gesamtemissionen in Österreich 2013 (Anderl et al., 2015)

Die Größenordnung des verursachten CO₂ - Ausstoßes nach Sektoren wird in Abbildung 1-3 dargestellt. Die vier Größten und mit 99,5 % fast ausschließlich für die CO₂ - Emissionen verantwortlich sind die Industrie (36,3 %), Verkehr (33,4 %), Energieversorgung (16,9 %) und der Kleinverbrauch (13 %). Die konventionellen Heizungsanlagen für private Haushalte werden hierbei im Sektor der Kleinverbraucher geführt und würden somit nur einen kleinen Anteil ausmachen. Hierbei darf jedoch nicht vergessen werden, dass auch die Förderung, Verarbeitung, sowie der Transport der Brennstoffe und auch die Energieversorgung der Fernwärmekraftwerke noch zu berücksichtigen sind, die aber jeweils in anderen Sektoren einfließen.

CO₂-Verursacher 2013

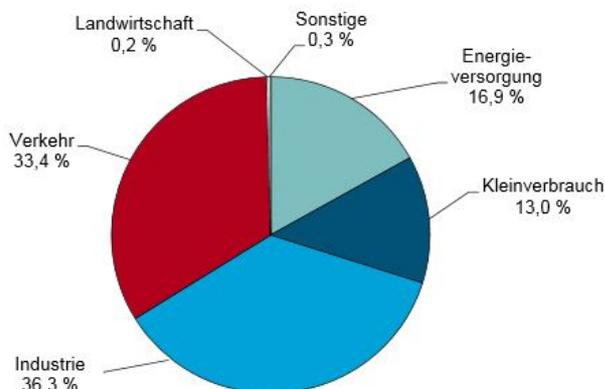


Abbildung 1-3: Österreichische CO₂-Emissionen nach Sektoren 2013 (Anderl et al., 2015)

Aufgrund des durch die CO₂-Emissionen mitverursachten Klimawandels wurden nationale, sowie europäische Klimaziele und -strategien entwickelt, welche vor allem auf den Einsatz regenerativer Energieträger, die weitestgehend CO₂ - neutral sind, setzen.

Eine Möglichkeit zur Reduzierung der CO₂ - Emissionen in der Heizungstechnik bietet die Wärmepumpe, welche zu größten Teil die frei verfügbare Umgebungswärme als Energiequelle nutzt. Vor allem bei Bestandsgebäuden bietet sich im Zuge von Sanierungstätigkeiten eine Integration von Luft/Wasser - Wärmepumpe an. Durch die Eingliederung einer Wärmepumpe ins Heizungssystem entstehen sogenannte bivalente Heizungssysteme (Wärmepumpe und Öl-/Gaskessel). Die Wärmepumpe zeichnet sich vor allem durch vergleichsmäßig geringe Investitionskosten, sowie geringen Platzbedarf bei unbegrenzter Energiequelle (Außenluft) aus.

Laut Biermayr et al. (2015) erfährt die Luft/Wasser - Wärmepumpe, als Heizungswärmepumpe seit 2004 einen starken Aufwärtstrend, der auch im Vergleich der Jahre 2014 zu 2013 mit einem

Plus von 11,8 % weiter anhält. Die Summe der Heizungswärmepumpen am Inlandsmarkt hält 2014 bei 14293 Stück, wobei 8976 Stück davon Luft/Wasser-Wärmepumpen sind und somit einen Anteil von 62,8 % halten. Die Abbildung 1-4 zeigt den Marktanteil von verschiedenen Heizungswärmepumpen mit den unterschiedlichen Wärmequellen. Auch hier ist ersichtlich, dass die Luft/Wasser - Wärmepumpe zu der führenden Heizungswärmepumpe geworden ist.

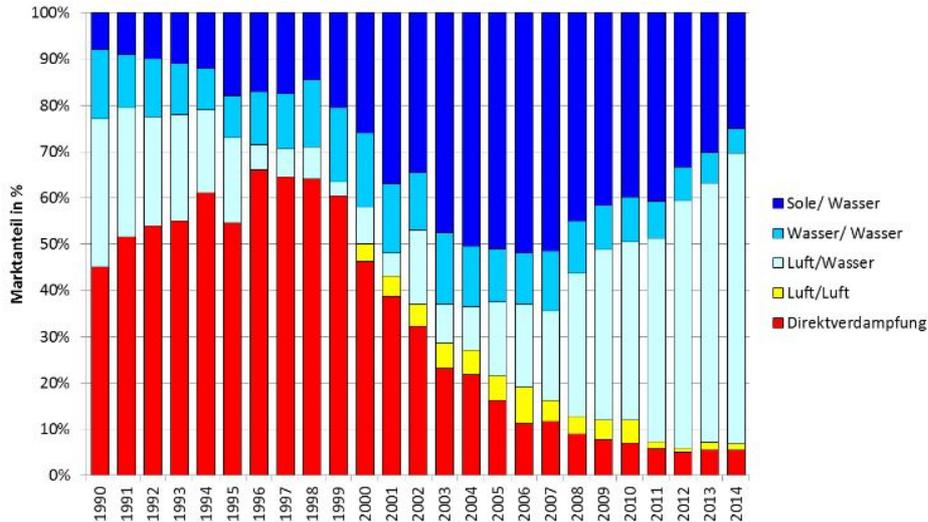


Abbildung 1-4: Marktanteil Wärmepumpen nach Wärmequellen (Biermayr et al., 2015)

1.2 Einflussfaktoren auf den Energiebedarf des Gebäudebestands

Der Energiebedarf bzw. der Energieverbrauch zum Beheizen eines Gebäudes hängt zumeist von mehreren Faktoren ab, unter anderem zum Beispiel dem Verhalten des jeweiligen Nutzers. Der Nutzer eines Gebäudes wiederum unterliegt ebenso mehreren Einflussfaktoren, wie in Abbildung 1-5 dargestellt ist und kann somit laut Bednar und Korjenic (2013) aufgrund seiner Lebensweise und seines Nutzerverhaltens den Energieverbrauch um den Faktor drei erhöhen.

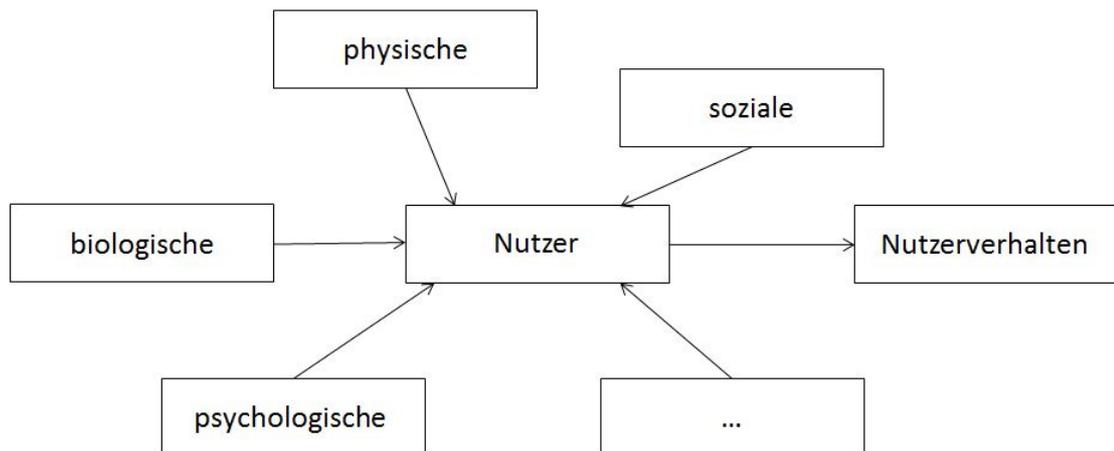


Abbildung 1-5: Einflussfaktoren auf das Nutzerverhalten (Bednar und Korjenic, 2013)

Einen weiteren, sehr bedeutenden Einflussfaktor für den zum Heizen benötigten Energieverbrauch stellt der angesprochene Klimawandel dar. Laut Biermayr et al. (2010) wurde

durch Untersuchungen im Projekt Heizen 2050, anhand von drei IPCC - Szenarien festgestellt, dass sich der Energiebedarf für Heizung und Brauchwassererwärmung, verursacht durch den Temperaturanstieg aufgrund des Klimawandels, bis 2050 um etwa 8 - 15 % senken wird. In Abbildung 1-6 sind die Prognosen aufgrund der drei IPCC - Szenarien dargestellt.

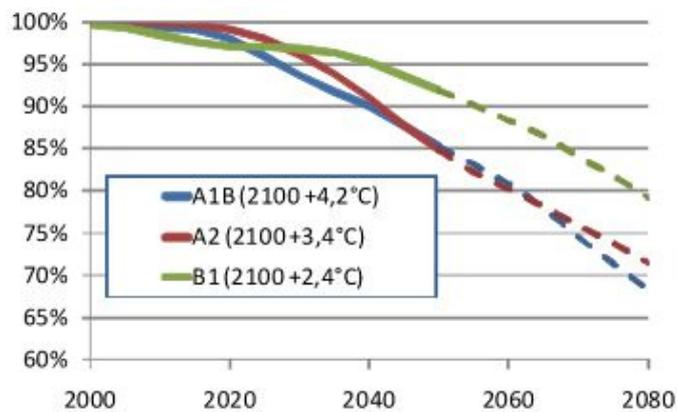


Abbildung 1-6: Einfluss der globalen Klimaerwärmung auf den Energiebedarf für Heizung und Brauchwassererwärmung (Biermayr et al., 2010)

Auch ist in der derzeit gültigen OIB - Richtlinie 6 (März, 2015) die Normaußentemperatur $t_{\text{au, Norm}}$ beispielsweise für Graz bereits von -12 °C auf $-10,5\text{ °C}$ hinaufgesetzt worden. Diese Aufstufung der Normaußentemperatur ist ein Indikator für die Klimaerwärmung und nimmt somit direkt Einfluss auf die Heizlast bzw. den Heizwärmebedarf, da die Normaußentemperatur für die Berechnung dieser Werte herangezogen wird.

1.3 Ziel der Arbeit, Aufbau und Vorgehen

Der methodische Aufbau dieser Arbeit ist in mehrere Schritte gegliedert. Der erste Schritt ist der Aufbau eines Referenzgebäudes, welcher durch eine Literaturrecherche gestützt wird. Im Falle der vorliegenden Arbeit werden zwei Bestandsgebäude untersucht. Das erste Referenzgebäude (EFH1) wird für die Bauperiode von 1945 - 1980, mit den entsprechenden thermischen Kennzahlen dieser Bauperiode und der typischen Heizungstechnik versehen. Das zweite Referenzgebäude (EFH2) repräsentiert die Bauperiode von 1980 - 2000 und wird ebenso mit den thermischen Kennzahlen der dafür typischen Heizungstechnik versehen.

Beide Referenzgebäude EFH1 und EFH2 werden mit den spezifischen Bauteilkennzahlen, und der Angabe des Heizungssystems mit der Berechnungssoftware GEQ der Firma Zehentmayr (2016) berechnet, um damit die spezifischen Energiekennzahlen der jeweiligen Bestandsgebäude zu erhalten.

Der zweite Schritt besteht darin, die Referenzgebäude und deren Energiekennzahlen in den Gebäudekatalog der Simulationssoftware Polysun® der Firma Vela Solaris AG (2014) zu integrieren. Gleichzeitig werden in diesem Schritt die Bestandsgebäude thermisch saniert, was wiederum mit der Berechnungssoftware GEQ, unter Zuhilfenahme typischer Bauteilkennzahlen aus der Literatur, berechnet wird. Im Folgenden werden die Bestandsgebäude in Polysun® mit den neu berechneten Energiekennzahlen hinterlegt und als saniertes Bestandsgebäude EFH3 (EFH1 saniert) bzw. EFH 4 (EFH2 saniert) integriert.

Im dritten Schritt werden in Polysun® die Heizungstechnik mit den dazugehörigen Regelstrategien implementiert. Dabei sollen für die sanierten Bestandsgebäude EFH3 und EFH4 bivalente Heizungsanlagen, ausgestattet mit einer Luft/Wasser- Wärmepumpe der Firma Toshiba, berücksichtigt werden. Die Wärmepumpe wird durch die Leistungskennlinie gemäß den Angaben des Herstellers in Polysun® hinterlegt. Die Wärmepumpe wird dabei am Auslegungspunkt (A7/W35) für den maximalen Heizleistungsbedarf dimensioniert. Dabei ergibt sich ein Schnittpunkt des Heizleistungsbedarfs mit der Leistungskennlinie (abgegebenen Leistung) der Wärmepumpe, die auch als Wärmepumpenkennlinie bezeichnet wird, der den Bivalenzpunkt darstellt.

Im vierten und letzten Schritt erfolgt nach abgeschlossener Implementierung und Auslegung der Heizungstechnik, sowie der Gebäudedaten, die Simulation in Polysun®.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, mittels der aus Schritt Vier erhaltenen Simulationsergebnisse die Bestandsgebäude untereinander zu vergleichen. Hierbei soll ein energetischer, sowie ökologischer Vergleich erstellt werden und in weiterer Folge durch Sensitivitätsanalysen überprüft werden. Auch soll aufgrund der Ergebnisse eine ökonomische Betrachtung in Anlehnung an die VDI 2067 (Verein Deutscher Ingenieure, 2012) erstellt werden und ein Vergleich der Annuitäten stattfinden.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Begriffsdefinition

In Abbildung 2-1 ist eine Übersicht dargestellt, welche den Energiebedarf eines Gebäudes aufschlüsselt. In weiterer Folge wird gemäß Rally et al. (2013) näher auf die Begriffe eingegangen.

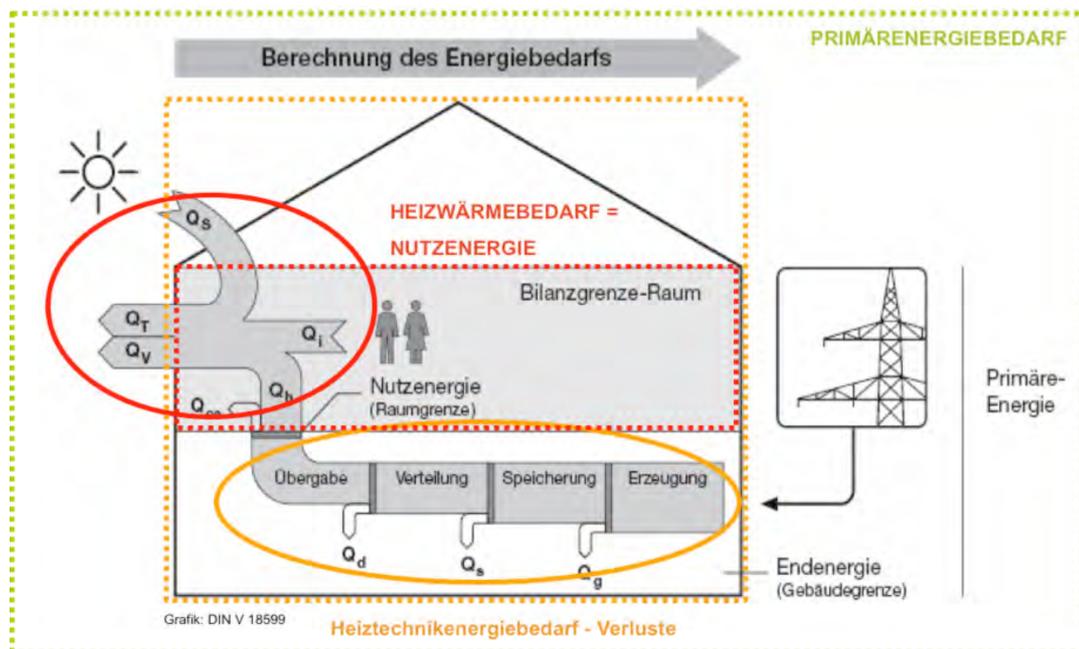


Abbildung 2-1: Übersicht des Energiebedarfs (Rally et al., 2013)

a) Primärenergiebedarf

Das ist die Energie der Energieträger (Kohle, Rohöl, Erdgas,...), die noch keiner Umwandlung unterworfen sind, d. h. jene Energiemenge die benötigt wird, um nach Gewinnung, Umwandlung und Transport den Endenergiebedarf zu decken.

b) Endenergiebedarf

Darunter versteht man jene Energiemenge, die zur Deckung des Heizwärme-, Warmwasserwärme- und Kühlbedarfs, inklusive aller Verluste des Heizungssystems, benötigt wird.

c) Heizenergiebedarf

Das ist jene Energiemenge, die zur Deckung des Heizwärmebedarfes, Warmwasserwärmebedarfes und die Verluste der Heizung, sowie die Verluste der Warmwasserbereitung, benötigt wird.

d) Heiztechnikenergiebedarf

Damit ist die Wärmemenge, die zur Deckung der Verluste der Heizung und der Warmwasserbereitung zur Verfügung stehen muss, gemeint.

e) Heizwärmebedarf (Nutzenergiebedarf)

Der Heizwärmebedarf ist die Wärmemenge, die vom Heizsystem (Heizkörper) an den Raum bzw. das Gebäude abgegeben werden muss, um die entsprechende Raumlufttemperatur aufrecht zu erhalten.

2.2 Heizsysteme

In diesem Kapitel wird näher auf Wärmeerzeuger für die Raumheizung und Warmwasserbereitung eingegangen. Als Erstes wird schematisch auf konventionelle Wärmeerzeuger wie Öl- und Gaskessel, sowie den wichtigsten zugehörigen Kennzahlen eingegangen. Im Weiteren wird im Detail auf die Wärmepumpe, im speziellen auf die Luft/Wasser- Wärmepumpe eingegangen

2.2.1 Kennzahlen

Der Brennwert (früher oberer Heizwert) ist die Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung des Brennstoffes frei wird. Es wird zwischen Brennwert und Heizwert (früher unterer Heizwert) differenziert. Der Unterschied liegt in der Berücksichtigung der Verdampfungswärme des Wassers, welche beim Brennwert berücksichtigt wird und beim Heizwert nicht. Der Brennwert wird nach Schramek (2003) nach folgender Formel berechnet.

$$H_o = H_u + r * \frac{9h + w}{100} \quad \text{Gl 2-1}$$

H_o Brennwert [kJ/kg]

H_u Heizwert [kJ/kg]

r Verdampfungsenthalpie des Wassers $r = 2500$ kJ/kg

w Wassergehalt des Brennstoffes [%]

h Wasserstoffgehalt des Brennstoffes [%]

Wirkungsgrad und Nutzungsgrad

Der Kesselwirkungsgrad η_K ist definiert als die nutzbare Wärme (=Kesselleistung) in Relation zur zugeführten Leistung (= Feuerungsleistung)

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_N}{B * H_i} \quad \text{Gl 2-2}$$

\dot{Q}_N Kesselleistung [kW]

\dot{Q}_F Feuerungsleistung [kW]

B Brennstoffmenge [kg/s]

H_i Heizwert [kJ/kg]

Der Nutzungsgrad η_N ist das Verhältnis der jährlich abgegebenen Heizwärme zur jährlich zugeführten Feuerungswärme. Im Vergleich zum Kesselwirkungsgrad, der unter stationären Nennbedingungen ermittelt wird, treten beim Nutzungsgrad, aufgrund des Teillastbetriebes, neben Abgas-, Rohrleitungs- und Kesselverlusten, auch noch Stillstandsverluste auf. Durch diese Stillstandsverluste ist der Nutzungsgrad immer geringer als der Kesselwirkungsgrad.

$$\eta_N = \frac{Q_H}{Q_F} \quad \text{Gl 2-3}$$

Q_H ... jährlich abgegebene Heizwärme [kWh]

Q_F ... jährlich zugeführte Feuerungswärme [kWh]

2.2.2 Ölkessel

Der aktuelle Stand der Technik von Öl-Kessel ist der Öl-Brennwertkessel, welcher die Kondensationswärme des im Rauchgas vorhandenen Wassers nutzt und einen Kesselwirkungsgrad von über 100 % erreicht. Dies wird dadurch erreicht, da der Kesselwirkungsgrad per Definition den Heizwert als Bezug heranzieht. (vgl. Gl 2-2).

In Gebäuden der Bauperiode von 1980 bis 2000 werden sehr häufig Niedertemperaturkessel eingesetzt, die die Kondensationswärme des Wassers nicht nutzen. Mit diesen Kesseln und dem geeigneten Wärmeabgabesystem sind Vorlauftemperaturen bis 55 °C typisch.

In der Literatur sind Ölkessel früherer Bauperioden als Standardkessel bezeichnet und weisen einen deutlich geringeren Nutzungs- bzw. Kesselwirkungsgrad als Brennwert- oder Niedertemperaturkessel auf. Für solche Systeme wurden häufig Vorlauftemperaturen von bis zu 75 °C oder 90 °C gewählt.

2.2.3 Gaskessel

Auch bei Gaskesseln verhält es sich ähnlich wie bei Öl-Kesseln. Es werden je nach Bauperiode Brennwert-, Niedertemperatur- oder Standardkesseln verwendet. Der wesentliche Unterschied zum Ölkessel liegt beim Energieträger selbst, da Erdgas unter allen fossilen Energieträgern die geringste spezifische CO₂-Emission aufweist. In Abbildung 2-2 ist ein schematischer Aufbau eines Gas-Brennwertkessels dargestellt.

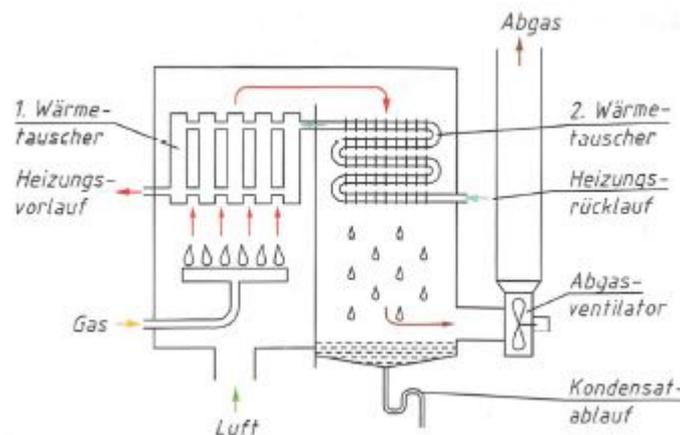


Abbildung 2-2: Prinzipielle Funktionsweise eines Gas-Brennwertkessels (Schlagintweit und Wagner, 2006)

2.3 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe ermöglicht, unter Aufwendung von Arbeit in einem Kreisprozess, der Umgebung Wärme zu entziehen und auf einem höheren Temperaturniveau, die Wärme wieder abzugeben, die dann für Heizzwecke genutzt wird.

Die Wärmepumpe nützt im Prinzip den gleichen thermodynamischen Kreisprozess wie eine Kältemaschine, nur mit dem Unterschied, dass die Kältemaschine dem zu kühlenden Medium Wärme entzieht und bei einem höheren Temperaturniveau wieder an die Umgebung abgibt. Die Abbildung 2-3 zeigt den Unterschied zwischen einer Wärmepumpe und Kältemaschine.

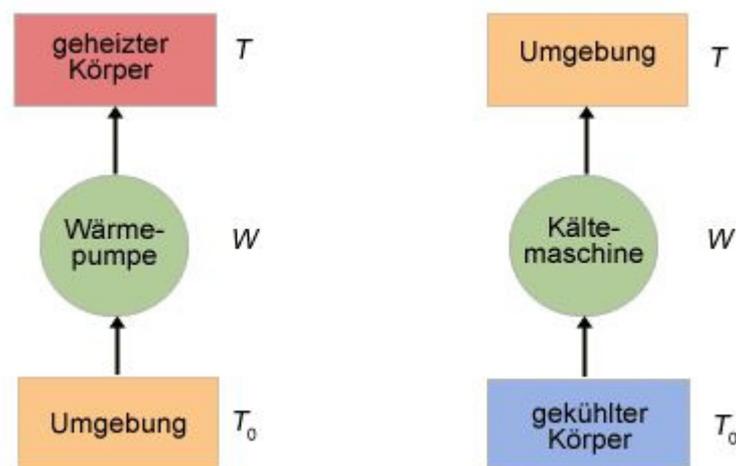


Abbildung 2-3: Prinzip der Wärmepumpe und der Kältemaschine im Vergleich (Thermodynamische Maschinen - Chemgapedia, 2016)

2.3.1 Einteilung von Wärmepumpen

Wärmepumpen können anhand verschiedenster Charakteristiken unterteilt werden. Eine Möglichkeit der Einteilung nach Rieberer (2014) ist nach der Art des zu Grunde liegenden Verfahrens, der Wärmequelle bzw. der Wärmesenke, der Möglichkeit der Wärmenutzung oder nach der Betriebsweise.

Tabelle 2-1: Einteilung der Wärmepumpen nach verschiedenen Charakteristiken

Verfahren	Wärmequelle	Wärmesenke	Wärmenutzung	Betriebsmodus
Kompression	Außenluft	Wasser	Heizen	Monovalent
Sorption (Absorption, Adsorption)	Abluft	Luft	Warmwasser	Monoenergetisch
Dampfstrahl-Wärmepumpe	Grundwasser			Bivalent-
Stirling-Wärmepumpe	Oberflächenwasser			-alternativ
Peltier-Effekt	Erdwärme			-parallel
Magnetokalorischer Effekt	Abwärme von industriellen Anlagen			-teilparallel
Thermoakustischer Effekt	Abwasserwärmereückgewinnung Solarthermie			

In dieser Arbeit wird nur auf die in Fettdruck hervorgehoben Charakteristiken von Wärmepumpen näher eingegangen.

Wichtige Komponenten einer Kompressions-Wärmepumpe sind (vgl. Abb. 2-4):

- Kompressor
- Kondensator
- Drossel
- Verdampfer
- Arbeitsmedium (Kältemittel)

Das Arbeitsmedium (Kältemittel) tritt im dampfförmigen Zustand in den Kompressor ein und wird dort auf höheren Druck und höhere Temperatur verdichtet (Kompressor). Nach der Kompression wird das Arbeitsmedium durch Wärmeabgabe auf hohem Temperaturniveau vollständig kondensiert (Kondensator) und anschließend in der Drossel entspannt (Druck und Temperatur wird abgebaut). Im darauf folgenden Verdampfer wird durch Zufuhr von Umgebungswärme auf tiefem Temperaturniveau das Kältemittel vollständig verdampft und dem Kompressor zugeführt, womit der Kreislauf geschlossen wird. In Abbildung 2-4 ist das Funktionsprinzip der Wärmepumpe dargestellt.

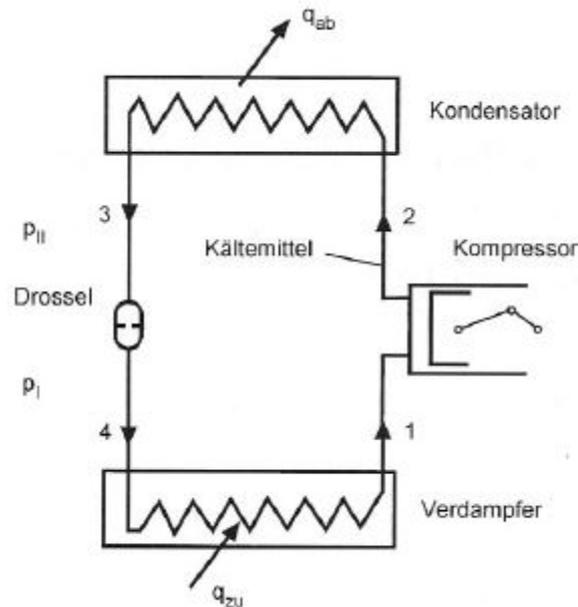


Abbildung 2-4: Funktionsprinzip der Wärmepumpe (Eichlseder und Sturm, 2014)

2.3.2 Thermodynamische Grundlagen

Wie bereits erwähnt, nutzt die Wärmepumpe einen thermodynamischen Kreisprozess um der Umgebung auf niedrigerem Temperaturniveau Wärme zu entziehen und mittels Zufuhr von Energie (mechanischer, thermischer oder elektrischer), Wärme auf höherem Temperaturniveau wieder abzugeben. Als theoretische Grundlage dient hierzu der Carnot - Vergleichsprozess.

Theoretische Vergleichsprozess

Der linkslaufende Carnot'sche Kreisprozess stellt für die Wärmepumpe den theoretisch – idealen Kreisprozess mit dem geringsten Arbeitsaufwand zur Wärmeerzeugung dar. Abbildung 2-5 zeigt den linkslaufenden Carnot-Prozess im T - s -Diagramm.

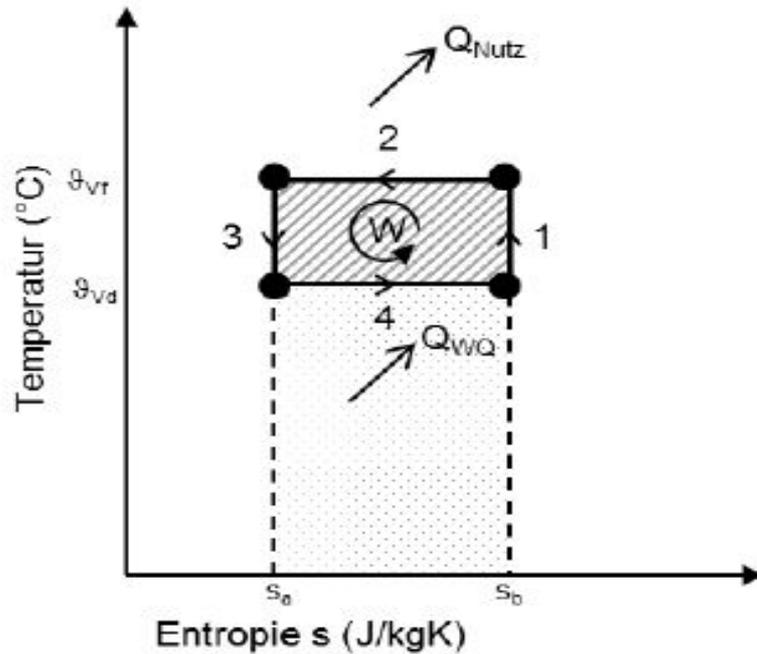


Abbildung 2-5: Linkslaufender Carnot-Prozess im T - s -Diagramm (Schmidt et al., 2010)

Die folgenden vier Prozessschritte werden dabei ausgeführt:

- 1) Isentrope Verdichtung unter Zufuhr von Arbeit W
- 2) Isotherme Verflüssigung unter Abfuhr von Wärme Q_{Nutz}
- 3) Isentrope Expansion
- 4) Isotherme Verdampfung unter Zufuhr von Wärme Q_{WQ}

Die eingeschlossene Fläche 1-2-3-4 stellt den Arbeitsaufwand (W) für den Temperaturhub der Wärmepumpe dar. Die abgegebene Wärme entlang des Wegs 2 (Q_{Nutz}) stellt den Nutzen für die Wärmepumpe dar, die entlang des Wegs 4 die aufgenommene Wärme (Q_{WQ}), die der Umgebung entzogen wird.

Praktischer Vergleichsprozess

Die Verwirklichung des Carnot-Kreisprozesses ist technisch nur mit hohem Aufwand zu bewerkstelligen. So lässt sich vor allem die Verdichtung und Expansion im Zweiphasengebiet (Kältemittel, flüssig-dampfförmig, dampfförmig-flüssig) nur begrenzt oder gar nicht bewerkstelligen. Für die Expansion wird eine Turbine benötigt, die aber für das flüssige Kältemittel nur eine geringe Arbeitsausbeute ergibt und daher durch eine Drossel ersetzt wird. Damit ist der Kreisprozess nicht mehr reibungsfrei und dadurch nicht mehr reversibel. Daher versucht man in der Realität, sich dem praktischen Vergleichsprozess oder auch dem Perkin-Evans-Prozess (Rieberer, 2014), wie in Abbildung 2-6 zu sehen, anzunähern.

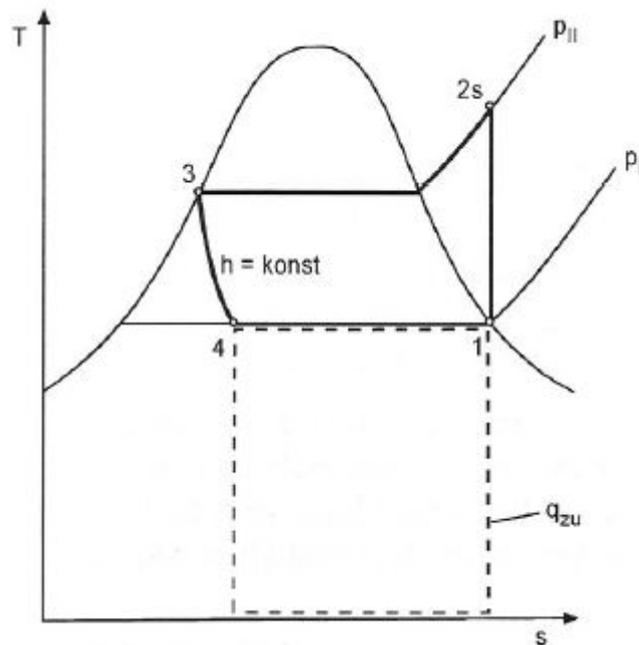


Abbildung 2-6: Perkin-Evans-Prozess im T-s-Diagramm (Eichlseder und Sturm, 2014)

1 - 2s: isentrope Verdichtung:

Das Kältemittel wird von p_I nach p_{II} isentrop verdichtet und stellt den Aufwand für die Wärmepumpe dar

$$w = w_v = h_{2s} - h_1 \quad \text{wobei } h_1 = h''(p_I) \quad \text{Gl. 2-4}$$

2s - 3: isobare Enthitzung mit anschließender Kondensation:

Das Kältemittel wird vom Punkt 2s bis zur oberen Grenzkurve isobar enthitzt und kondensiert. Anschließend bis zur unteren Grenzkurve (Punkt 3). Während des Vorganges von 2s-3 wird Wärme abgegeben und stellt den Nutzen (Q_{Nutz}) der Wärmepumpe dar.

$$q_{ab} = q_{\text{Nutz}} = h_{2s} - h_3 \quad \text{wobei } h_3 = h'(p_{II}) \quad \text{Gl. 2-5}$$

3 - 4: isenthalpe Drosselung:

Das Kältemittel wird adiabat von p_{II} nach p_I gedrosselt.

$$h_4 = h_3 \quad \text{Gl. 2-6}$$

4 - 1: isobare Verdampfung:

Das Kältemittel wird vom Punkt 4 bis zur oberen Grenzkurve (Punkt 1) vollständig verdampft, die dabei aufgenommene Wärme entspricht der Umgebungswärme (Q_{WQ}).

$$q_{zu} = q_{WQ} = h_1 - h_4 \quad \text{Gl. 2-7}$$

Realer Arbeitsprozess

Der reale Arbeitsprozess einer Wärmepumpe weicht in der Regel von dem praktischen Vergleichsprozess ab, obwohl man stets bemüht ist, den Arbeitsprozess an den Carnot- bzw. Perkin-Evans-Prozess anzupassen.

Abweichungen bzgl. des Perkin-Evans-Prozesses gibt es im Kompressor der Wärmepumpe. Beim praktischen Vergleichsprozess geht man von einer isentropen Verdichtung aus. Dies ist beim realen Kompressor nicht der Fall, d. h. der Kompressor ist reibungsbehaftet und stellt im T - s -Diagramm eine Entropiezunahme dar. Weiters kann beim Eintritt in den Kompressor das Kältemittel an der oberen Grenzkurve (vgl. Abb. 2-5 Punkt 1) teilweise noch in flüssiger Form vorliegen. Dabei kann es im Kompressor zu Flüssigkeitsschlägen kommen, da sich Flüssigkeiten kaum verdichten lassen. In den Rohrleitungen, sowie im Kondensator und Verdampfer treten Druckverluste auf, die eine zusätzliche Abweichung vom praktischen Vergleichsprozess darstellen.

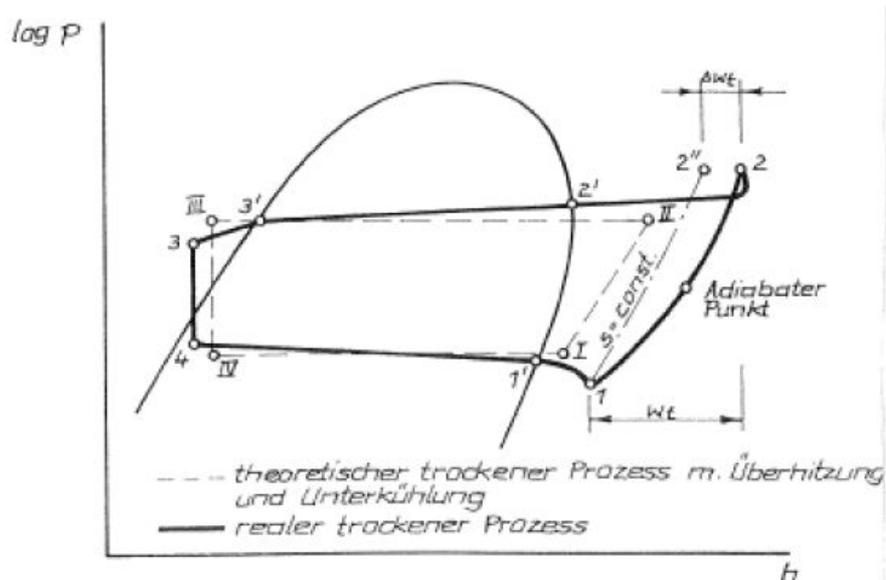


Abbildung 2-7: Realer Arbeitsprozess der Wärmepumpe im log p-h-Diagramm (Rieberer, 2014)

In Abbildung 2-7 ist der reale Arbeitsprozess einer Wärmepumpe dargestellt wobei im Diagramm ersichtlich ist, dass das Kältemittel im Verdampfer überhitzt wird (von 1' - 1), um so Flüssigkeitsschläge vom Verdampfer fernzuhalten. Ebenso wird das Kältemittel im Kondensator unterkühlt (von 3' - 3), um damit die nutzbare Enthalpiedifferenz (Wärme Q_{Nutz}) im Verdampfer zu erhöhen. Eine derartige Effizienzsteigerung kann mittels eines internen Wärmetauschers erreicht werden, wie in Abbildung 2-8 gezeigt wird. Dabei wird dem Kältemittel nach dem Kondensator Wärme entzogen (Δh), siehe Abbildung 2-9, welche zum Überhitzen des Kältemittels nach dem Verdampfer genutzt wird.

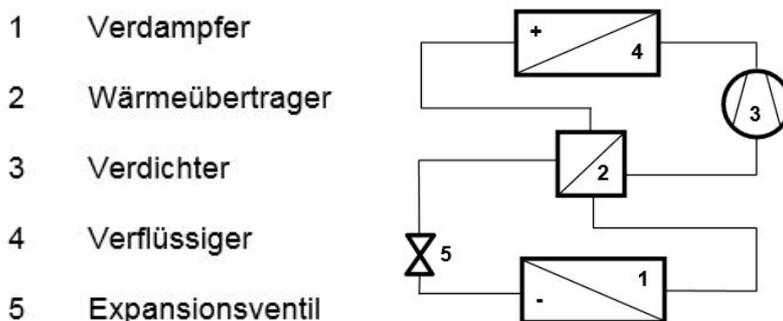


Abbildung 2-8: Interner Wärmetauscher zum Überhitzen bzw. Unterkühlen des Kältemittels

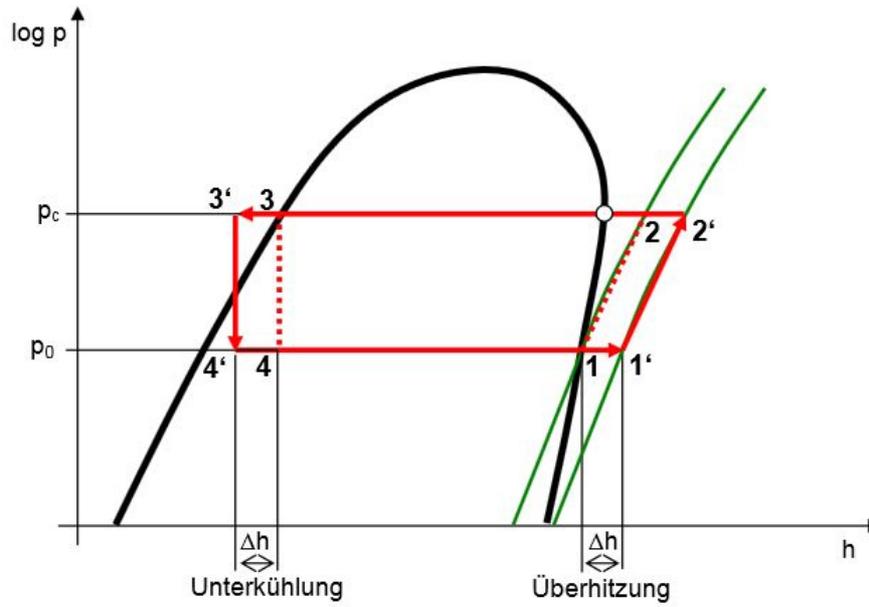


Abbildung 2-9: Log p - h -Diagramm für Wärmepumpen mit internem Wärmetauscher (Kunz, 2007)

2.3.3 Kennzahlen

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Kennzahlen einer Wärmepumpe erläutert, die zur energetischen Bewertung eines Wärmepumpensystems von Bedeutung sind.

Leistungszahl (COP)

Die Leistungszahl, oder auch oft Coefficient of Performance (COP) genannt, ist als der Wirkungsgrad der Wärmepumpe zu verstehen. Im Allgemeinen ist der Wirkungsgrad als Nutzen zu Aufwand definiert und nimmt einen Wert unter 1 an. Die Leistungszahl der Wärmepumpe ist genauso als Nutzen durch Aufwand definiert, jedoch nimmt aufgrund des höheren Nutzens gegenüber dem benötigten Aufwand die Leistungszahl einen Wert über 1 an.

$$COP = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{P_v} \quad \text{Gl 2-8}$$

COP	Leistungszahl
Q_{Nutz}	momentan abgegebene Wärmeleistung am Kondensator [kW]
P_v	momentan aufgenommene elektrische Leistung am Verdichter [kW]

Die Leistungszahl des theoretischen Vergleichsprozesses bzw. Carnot-Prozess stellt für die Wärmepumpe die maximal zu erreichende Leistungszahl dar.

$$COP_{th} = \frac{T}{T - T_u} = \frac{T}{\Delta T} \quad \text{Gl 2-9}$$

COP_{th}	Theoretische Leistungszahl
T	Temperatur bei der die Wärme an das Medium abgegeben wird [K]
T_u	Umgebungstemperatur [K]
ΔT	Temperaturhub [K]

Aus Gleichung (Gl 2-9) lässt sich erkennen, dass sich eine hohe Temperatur bei der Wärmeabgabe negativ auf die Leistungszahl auswirkt. Aufgrund dieser Tatsache werden für Heizungswärmepumpen, vor allem im Neubau, Flächenabgabesysteme mit geringen Vorlauftemperaturen eingesetzt.

Die Leistungszahlangaben werden von den Herstellern und Prüfzentren mit der Quelltemperatur und Senkentemperatur angegeben. Als Beispiel für die Bezeichnung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe sei

A2/W35: COP 3,35 (Quelle Luft (Air) mit $t_{\text{ein}} = 2 \text{ °C}$, Senke Wasser (Water) mit $t_{\text{aus}} = 35 \text{ °C}$)

angeführt. Aus diesem Beispiel lässt sich erkennen, dass die Leistungszahl eine Momentaufnahme bei definierten Randbedingungen ist. Es wird hierbei die zum gemessenen Zeitpunkt abgegebene Wärmeleistung mit der zum Zeitpunkt aufgenommenen Verdichterleistung ins Verhältnis gesetzt.

Jahresarbeitszahl (SPF)

Im Gegensatz zur Leistungszahl (COP) betrachtet die Jahresarbeitszahl, oder auch Seasonal Performance Factor (SPF), nicht die momentane Leistungsabgabe zur momentanen Leistungsaufnahme, sondern setzt die abgegebene Leistung zur aufgenommenen elektrischen

Energie während eines gewissen Zeitraumes ins Verhältnis. Dieser Zeitraum beträgt meistens ein Jahr und ist somit ein Maß für die Effizienz einer Wärmepumpe.

$$SPF = \frac{Q_{Nutz,a}}{W_{v,a}}$$

Gl 2-10

SPF Jahresarbeitszahl
 $Q_{Nutz,a}$ jährlich abgegebene Wärme [kWh]
 $W_{v,a}$ jährlich aufgenommene elektrische Energie [kWh]

Für die Jahresarbeitszahl ist es wichtig immer die in Betracht gezogene Bilanzgrenze anzugeben, um Jahresarbeitszahlen vergleichen zu können.

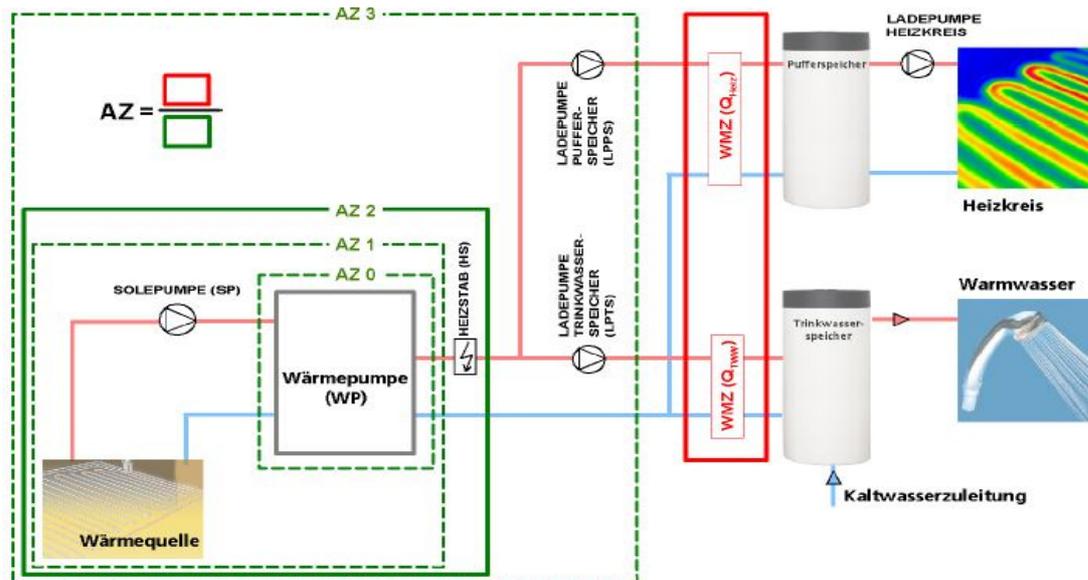


Abbildung 2-10: Schematische Darstellung einer Wärmepumpenanlage mit verschiedenen Bilanzgrenzen zur Bestimmung der Arbeitszahl (Miara et al., 2011)

Die Abbildung 2-10 zeigt verschiedene Möglichkeiten wie Bilanzgrenzen zur Bestimmung der Arbeitszahl gezogen werden können. So kann die Bilanzgrenze nur über die Wärmepumpe gezogen werden (vgl. Abb. 2-10, AZ0) oder im Vergleich dazu über die im gesamten Heizungssystem befindlichen elektrischen Verbraucher (Solepumpe, Heizstab, Ladepumpen) (vgl. Abb. 2-10, AZ3) bis hin zu den Speichern. Im Folgenden wurden in dieser Arbeit die Jahresarbeitszahlen für die Darstellungen mit SPF bezeichnet. So wurden die Jahresarbeitszahlen nach der Vorlage aus Abbildung 2-10 für die Wärmepumpe mit SPF0 und für die zusätzliche Betrachtung einschließlich der Umwälzpumpen und der E-Patrone mit SPF3 bezeichnet. Die Arbeitszahlen auf monatlicher Basis wurden wie bei den Jahresarbeitszahlen, für die Wärmepumpe mit AZ0 und für das System mit AZ3 bezeichnet und die Leistungszahlen mit COP0 (Wärmepumpe) und COP3 (System).

Gütegrad

Als letzte Kennzahl der Wärmepumpe wird auf den Gütegrad näher eingegangen. Dieser gibt an wie nahe der reale Prozess der Wärmepumpe am theoretischen Vergleichsprozess ist. Der Gütegrad ist definiert als das Verhältnis der Leistungszahl des realen Prozesses zur Leistungszahl des Carnot-Prozesses.

$$\eta_{WP} = \frac{COP}{COP_{th}}$$

Gl 2-11

$\eta_{WP...}$ Gütegrad der Wärmepumpe [-]
 $COP_{...}$ Leistungszahl der realen Wärmepumpe [-]
 $COP_{th...}$ Leistungszahl des Carnot-Prozesses [-]

2.3.4 Kompressionswärmepumpe

In diesem Kapitel wird näher auf die Kompressionswärmepumpe, eine Außenluft/Wasser-Wärmepumpe der Firma Toshiba mit ihren Komponenten eingegangen, da diese für die Simulationen herangezogen wird. Die prinzipielle Funktionsweise dieser Wärmepumpe ist gleich der, wie in Kapitel 2.3.1 besprochen und wird somit hier nicht mehr näher behandelt. Es wird eher auf firmenspezifische Details detaillierter eingegangen. Die Wärmepumpe der Firma Toshiba ist ein Split-Gerät, siehe Abbildung 2-11. Dies bedeutet, dass der Verdampfer außerhalb des Gebäudes und das Wärmeabgabesystem (inkl. Kondensator) im Inneren des Gebäudes aufgestellt wird.

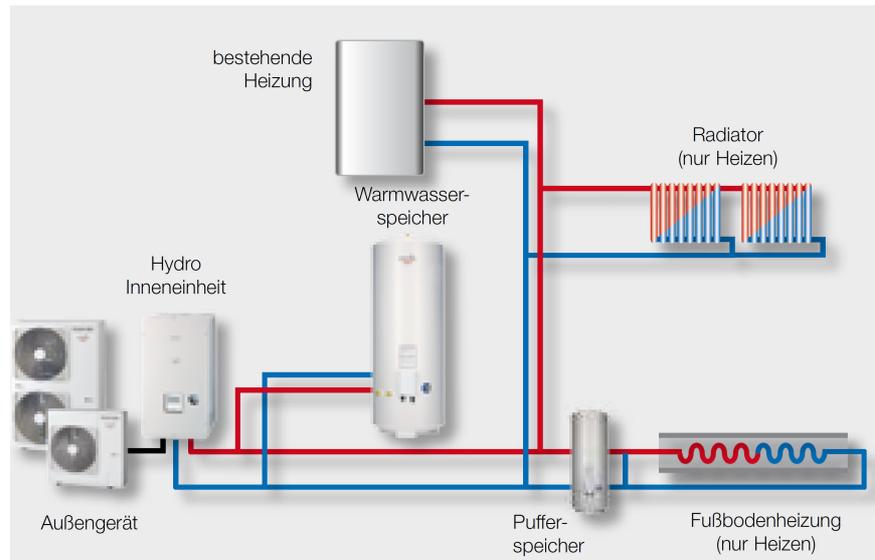


Abbildung 2-11: Schematische Darstellung eines Heizungssystems mit einer Toshiba-Wärmepumpe (Toshiba, 2015)

Kompressor

Die Kompressorereinheit befindet sich im Außengerät und ist als Doppelrollkolben-Kompressor ausgeführt, wie in Abbildung 2-12 dargestellt



Abbildung 2-12: Doppelrollkolben-Kompressor der Firma Toshiba (Toshiba, 2009)

Aufgrund des Doppelrollkolben soll es, laut der Firma Toshiba, zu keinen Vibrationen im Vergleich zu einfachen Rollkolben-Kompressoren kommen und ist daher deutlich leiser. Um die Wärmepumpenkennlinie der Heizlastkennlinie anzunähern wird die Kompressorereinheit drehzahl geregelt. Diese Drehzahlregelung wird durch eine Invertertechnologie realisiert. Dem

Inverter wird ein Umformer vorgeschaltet, welcher den Wechselstrom in Gleichstrom umformt. Anschließend wandelt der Inverter den Gleichstrom in einen künstlichen Dreiphasenstrom um und führt Frequenz und Amplitude dem Gleichstrom-Kompressor zu. Aufgrund der zugeführten Amplitude und Frequenz passt der Kompressor seine Drehzahl der benötigten Leistung an, (Toshiba **[Jahr ermittelt fehlt!]**).

Kondensator

Der Kondensator befindet sich in der Hydro-Inneneinheit (vgl. Abb. 2-10) und ist im Wesentlichen ein Plattenwärmetauscher. In diesem Plattenwärmetauscher wird die gewonnene Energie des Außengerätes an das Heizungssystem abgegeben.

Verdampfer

Der Verdampfer sitzt im Außengerät und enthält einen großflächigen Wärmetauscher in gebogener Ausführung. Der großflächige Wärmetauscher wird durch einen Ventilator mit Luft angeströmt. Dieser Ventilator besteht aus einem drehzahlgeregelten Gleichstrommotor (DC) und großflächigen Ventilatorflügeln, wodurch der Hersteller einen niedrigen Geräuschpegel einzuhalten verspricht. In Abbildung 2-13 wird das gesamte Außengerät der Toshiba-Wärmepumpe dargestellt.

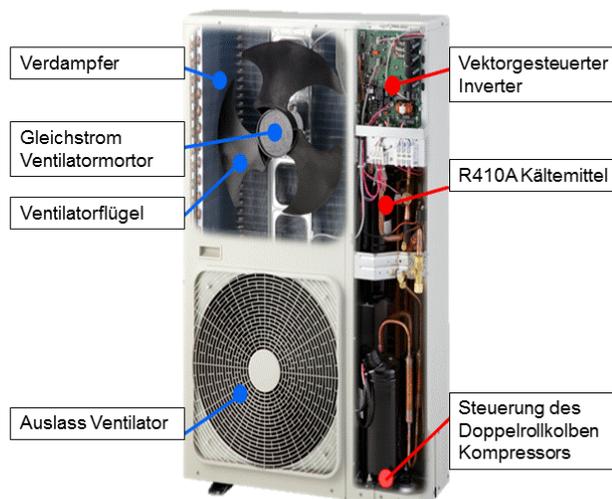


Abbildung 2-13: Außengerät der Toshiba Wärmepumpe (estia - blog, 2016)

Vereisungsschutz

Bei bestimmten Bedingungen in Abhängigkeit von der Temperatur und Feuchtigkeit der Außenluft kann es zu Tauwasser und gegebenenfalls zur Eisbildung am Außengerät kommen. Von dieser Problematik ist der Wärmetauscher in der Verdichtereinheit betroffen. Die Firma Toshiba wirkt diesem mit einer Vereisungsschutzleitung entgegen, um weniger bzw. kürzere Abtauzyklen zu erreichen. Das vom Innengerät kommende Kältemittel wird noch vor dem Venturirohr, das als Drossel verwendet wird, in einer Schleife am Boden um den Wärmetauscher gelegt, um danach durch das Venturirohr in den Wärmetauscher (Verdampfer) zu gelangen. Durch diese Schleife am Boden des Wärmetauschers bleibt der untere Bereich der Lamellen eisfrei. Es werden zudem auch die Temperatur und der Druck des Wärmetauschers im Außengerät gemessen, damit der eigentliche Abtauprozess nur bei Bedarf gestartet wird.

2.3.5 Betriebsarten

Im Allgemeinen können Wärmepumpen in verschiedenen Betriebsmodi, wie in Tabelle 2-1 dargestellt, betrieben werden. In diesem Punkt sollen nun die verschiedenen Betriebsarten detailliert erläutert werden.

Monovalent

Bei dieser Betriebsart ist die Wärmepumpe alleiniger Wärmeerzeuger im Gebäude. Dies bedeutet, dass die benötigte Wärme von der Wärmepumpe alleine zur Verfügung gestellt werden muss, wie in Abbildung 2-14 zu sehen ist.

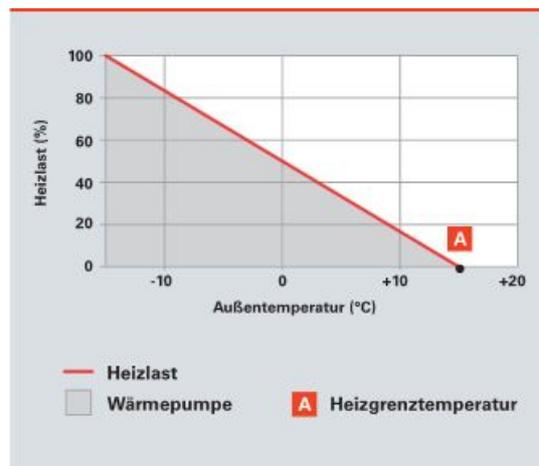


Abbildung 2-14: Monovalente Betriebsweise (Viessmann, 2011)

Die monovalente Betriebsart ist für Außenluft/Wasser-Wärmepumpen aufgrund der geringen Temperaturen der Außenluft im Winter nur begrenzt geeignet. Des Weiteren ist aus Abbildung 2-14 zu sehen, dass 100 % der Heizlast bei der tiefsten Außentemperatur benötigt wird und somit hier ein großer Temperaturhub notwendig wird. Aus dem Carnot-Prozess ist ersichtlich, dass bei einem hohen Temperaturhub, die Leistungszahl der Wärmepumpe sinkt und ein wirtschaftlicher Einsatz der Wärmepumpe fraglich ist, bzw. zu einer „Überdimensionierung“ für den Betrieb bei höheren Außenlufttemperaturen führt.

Monoenergetisch

Bei der monoenergetischen Betriebsweise erzeugt die Wärmepumpe bis zu einer gewissen Außentemperatur alleine die benötigte Wärmemenge. Ab dieser definierten Außentemperatur schaltet sich ein zweiter Wärmeerzeuger der gleichen Energieart (elektrischer Heizstab) hinzu.

Bivalent parallel

Die bivalent-parallele Betriebsart entspricht im Wesentlichen der der monoenergetischen. Der Unterschied liegt darin, dass für die parallele Betriebsart auch andere Energieträger zur Wärmeerzeugung in Frage kommen.

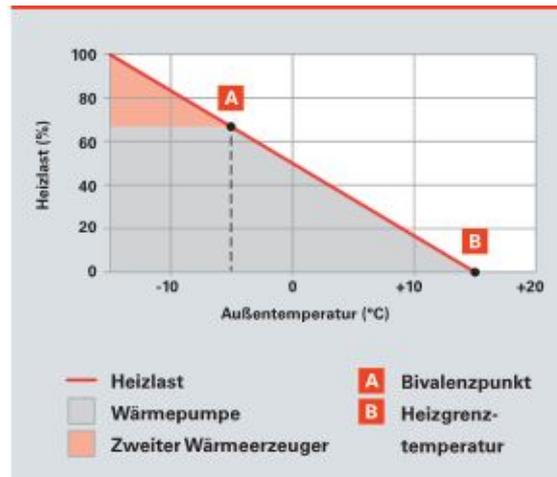


Abbildung 2-15: Bivalent-parallele Betriebsweise (Viessmann, 2011)

Die „Zusatzheizung“ schaltet sich bei der Außenlufttemperatur, die in Abbildung 2-15 mit A bezeichnet ist, ein. Bei dieser, üblicherweise als Bivalenzpunkt bezeichneten, Außenlufttemperatur laufen die Wärmepumpe und der zweite Wärmeerzeuger parallel.

Bivalent-teilparallel

Der bivalent-teilparallele Betrieb ist eine Mischform des parallelen und alternativen Betriebes. Bei dieser Betriebsweise erzeugt die Wärmepumpe bis zum Bivalenzpunkt die benötigte Wärme alleine. Ab dem Bivalenzpunkt schaltet sich der zweite Wärmeerzeuger dazu. Bei weiterem Absinken der Außenlufttemperatur, ab dem Zeitpunkt bei dem die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung nicht mehr ausreicht schaltet diese ab. Von jetzt an übernimmt der zweite Wärmeerzeuger den vollen Heizleistungsbedarf, siehe Abbildung 2-16.

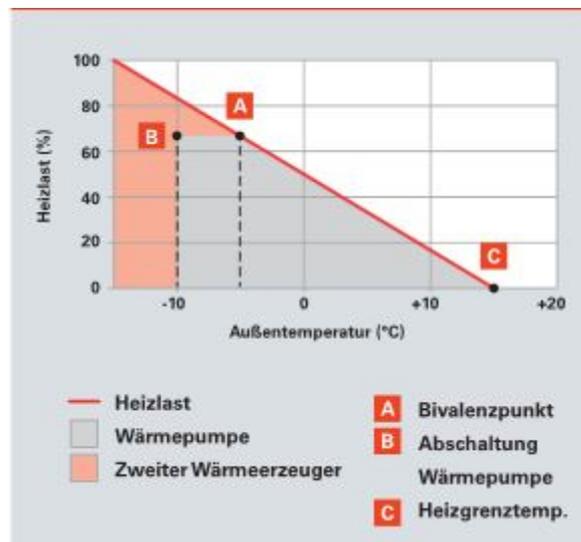


Abbildung 2-16: Bivalent-teilparallele Betriebsweise (Viessmann, 2011)

Bivalent-alternativ

Bei der bivalent-alternativen Betriebsweise deckt die Wärmepumpe die volle Heizlast bis zum Bivalenzpunkt. Ab diesem Zeitpunkt schaltet die Wärmepumpe ab, der zweite Wärmeerzeuger ein und übernimmt den gesamten Heizleistungsbedarf, siehe Abbildung 2-17.

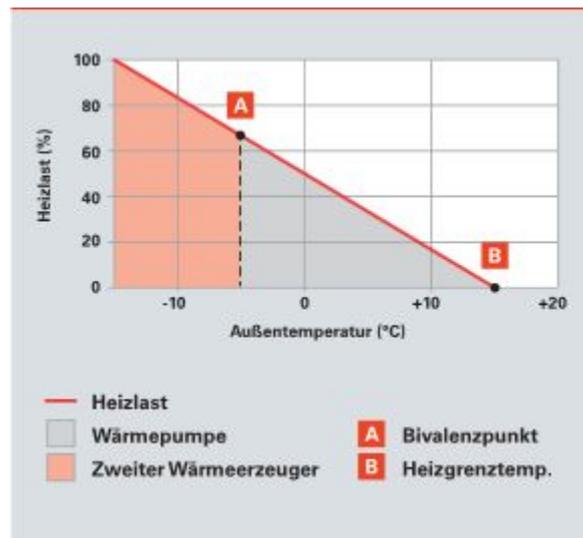


Abbildung 2-17: Bivalent-alternative Betriebsweise (Viessmann, 2011)

3 BESCHREIBUNG DER REFERENZ-GEBÄUDE UND -SYSTEME

3.1 Definition der Referenzgebäude

Als Referenzgebäude werden die zur Simulation herangezogenen Gebäude bezeichnet, die der Realität entsprechen und in weiterer Folge auch als Bestandsgebäude beschrieben werden. Im Zuge dieser Arbeit wurde der Schwerpunkt auf Einfamilienhäuser gelegt.

Im ersten Schritt zur Beschreibung der Bestandsgebäude wurden potentielle Sanierungsperioden, aus der Literatur (Biermayr et al., 2010) erarbeitet. Daraus ließen sich zwei Sanierungsperioden ableiten. Der aktuelle Sanierungsbedarf besteht für Gebäude, die zwischen 1945 und 1980 errichtet wurden und eine darauf folgende Sanierungsperiode für jene Gebäude, die zwischen 1981 und 2000 erbaut wurden. Einen Übersicht dieser erarbeiteten Sanierungsperioden wird in Tabelle 3-1 dargestellt.

Tabelle 3-1: Baujahre der Gebäude für die jeweiligen Sanierungsperioden

Sanierungsperiode 1	1945-1980
Sanierungsperiode 2	1981-2000

Das Gebäude der Sanierungsperiode 1 wurde mit EFH1 bezeichnet. Dabei bezieht sich „EFH“ auf Einfamilienhaus und die Zahl 1 auf die jeweilige Sanierungsperiode. Gleiches gilt auch für das Gebäude der zweiten Sanierungsperiode und wurde mit EFH2 bezeichnet.

In Abbildung 3-1 ist der prinzipielle Aufbau der Referenzgebäude dargestellt, wobei die Bezeichnung *A* der Länge, *B* der Breite und *C* der Geschoßhöhe entspricht. Die Bezeichnung *D* in der Abbildung ist als Gebäudeausrichtung definiert und wird als Winkel zur Himmelsrichtung (siehe Abb. 3-1, Kompass) angegeben.

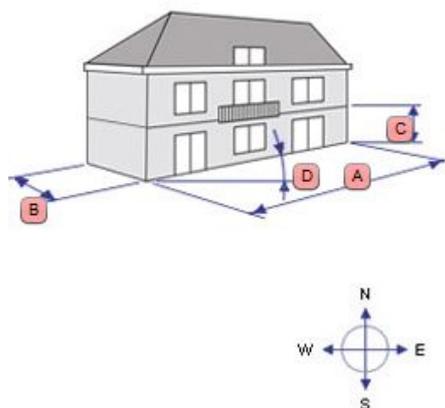


Abbildung 3-1: Aufbau Referenzgebäude (Polysun®, 2015)

Für die Referenzgebäude wurde eine einfache Geometrie gewählt und als Rechteck (siehe Abbildung 3-2) konzipiert, mit einer Länge von 10,7 m und einer Breite von 7 m. Jedes der Referenzgebäude, besteht aus einem Erdgeschoß und einem Obergeschoß, sowie einem unbeheizten Keller. Die Stockwerkshöhe wurde für beide Gebäude mit 2,5 m angenommen. Die Gebäudeausrichtung *D* wurde mit 0° angenommen und bedeutet, dass die Langseite des Gebäudes nach Süden bzw. Norden weist

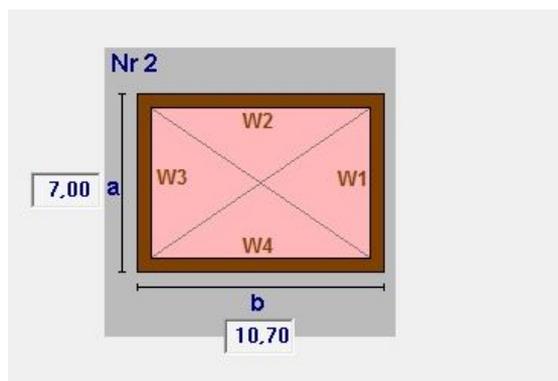


Abbildung 3-2: Grundform Referenzgebäude (GEQ, 2016)

Aufgrund der getroffenen Annahme ergibt sich für die Referenzgebäude (Abbildung 3-2) eine konditionierte Bruttogeschoßfläche von 149,8 m² sowie Wandflächen W2 und W4 von 62 m², bzw. W1 und W3 von 40,57 m².

Im nächsten Schritt wurden für die Bauteilkomponenten der Bestandsgebäude Referenzwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten (*U*-Wert) der jeweiligen Sanierungsperioden aus der Österreichisches Institut für Bautechnik (2015) entnommen. Die in Tabelle 3-2 dargestellten Werte dienen als Referenzwerte und wurden aufgrund der langen Zeitspanne (35 bzw. 19 Jahre) über die Jahre gemittelt.

Tabelle 3-2: Wärmedurchgangskoeffizient verschiedener Bauteile (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015)

Bauperiode	U-Werte [W/(m ² K)]						<i>g</i>
	KD	OD	AW	DF	FE	AT	
1945-1980	1,48	0,95	1,48	0,93	2,20	2,10	0,67
1981-2000	0,55	0,45	0,55	0,35	1,50	2,00	0,55

KD...Kellerdecke, OD... Oberste Geschoßdecke, AW... Außenwand, DF...Dachfläche, FE... Fenster, AT... Außentür, *g*...Gesamtenergiedurchlassgrad (für Fenster)

Unter Zuhilfenahme des Web Tools „Tabula“, für Österreich nach Amtmann und Altmann-Mavaddat (2014), welches eine statistische Erhebung von Gebäudetypologien verschiedener Länder darstellt, wurde eine Abschätzung der Fenster-/Türflächen und deren Aufteilung vorgenommen. Das Ergebnis dieser Abschätzung liefert für das Gebäude EFH1 und EFH2 einen Fensterflächenanteil von 12,6 % der Gesamtaußenwandfläche.

Zusammenfassend sind die Ergebnisse der jeweiligen Referenzgebäude in Tabelle 3-3 dargestellt und die Angaben der jeweiligen Ausrichtung, Nord(N), Ost(O), Süd(S) und West (W) zugeordnet.

Tabelle 3-3: Gebäudeflächen je Himmelsrichtung

	Außenwand Fläche [m ²]					Fenster-/Türfläche [m ²] (12,6 %)					Bruttogeschosßfläche [m ²]
	Ges	N	O	S	W	Ges.	N	O	S	W	
EFH1	205,15	62,00	40,57	62,00	40,57	26,35	5,22	7,22	8,70	5,22	149,80
EFH2	205,15	62,00	40,57	62,00	40,57	26,35	5,22	7,22	8,70	5,22	149,80

Anmerkend sei erwähnt, dass bei der Aufteilung nur eine Türfläche von 2 m² berücksichtigt und der Himmelsrichtung Ost zugeordnet wurde. Diese Tür wird als Außentür (vgl. Tabelle 3-2) angenommen und dient als Eingangstür. Alle weiteren möglichen Türen (Balkon, etc.) werden in Form von Fensterfläche berücksichtigt. Für die Bodenfläche ergab sich, aus der gewählten Rechteckform mit der dazugehörigen Länge und Breite, eine Größe von 74,9 m². Auch wurde für die folgende Berechnung die Annahme getroffen, dass der Dachraum unbeheizt ist. Durch den unbeheizten Dachraum erfolgte die Berechnung mit der Oberstengeschoßdecke, die analog zum Boden ebenfalls 74,9 m² ergab.

3.2 Bestimmung der Gebäudeheizlast und des Heizwärmebedarfs

Zur Auslegung der Wärmeerzeuger wurde die Gebäudeheizlast benötigt. Im Verlauf dieser Arbeit wurde die Gebäudeheizlast dazu verwendet, sowohl die Bestandskessel als auch die Wärmepumpe zu dimensionieren.

Um sowohl einen energetischen als auch ökologischen Vergleich zu ermöglichen, wurde der Heizwärmebedarf benötigt. Dieser ist nach Kapitel 2.1.5 jene Wärmemenge, die benötigt wird um die Raumlufttemperatur konstant auf Raumluftsoltemperatur zu halten. Aus einem konstanten Heizwärmebedarf folgt, dass jeder eingesetzte Wärmeerzeuger die gleiche Energie zur Verfügung stellen muss, um die Raumluftsoltemperatur konstant zu halten. Je nach Wirkungsgrad bzw. Leistungszahl ergibt sich daraus für die Wärmeerzeuger ein unterschiedlicher Brennstoff- bzw. Stromverbrauch, wodurch sich die verschiedenen Wärmeerzeugersysteme in Relation setzen und der energetische sowie der ökologische Vergleich anstellen lassen.

Aus einer ersten Literaturrecherche ergaben sich nach Simader et al. (2011) erste Anhaltswerte für die jeweiligen Bestandsgebäude, welche in Tabelle 3-4 dargestellt sind.

Tabelle 3-4: Heizwärmebedarf Richtwerte (Simader et al., 2011)

Gebäudetyp	Bauperiode	BGF [m ²]	HWB [kWh/(m ² a)]
EFH1	1945 – 1980	146,6	264
EFH2	1980 – 2000	149,9	122

BGF...Bruttogeschoßfläche

In weiterer Folge wurden die beiden Bestandsgebäude thermisch saniert angenommen, um so einen effizienten Einsatz einer Wärmepumpe zu gewährleisten. Aus der OIB – Richtlinie 6 (2015) wurden Richtwerte für den Heizwärmebedarf entnommen. Für den sanierten Fall des ersten Bestandsgebäude (EFH1) handelt es sich um das ältere Gebäude und damit um eine schlechte Bauweise. Für diesen Fall wurde laut OIB - Richtlinie 6 (2015) ein maximal zulässiger Heizwärmebedarf einer größeren Sanierung herangezogen. Für das zweite Bestandsgebäude wurde aufgrund der deutlich besseren Bauweise (vgl. Tabelle 3-4) der Heizwärmebedarf für einen Neubau als Zielwert herangezogen. Auch werden beide Sanierungsfälle der Bestandesgebäude (EFH1 und EFH2) nun neu bezeichnet, alle diesbezüglichen Bezeichnungen und Werte werden in Tabelle 3-5 dargestellt.

Tabelle 3-5: Zielwerte für den sanierten Fall (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015)

Gebäudetyp	Bezeichnung im sanierten Fall	HWB _{max,Ref,RK} in [kWh/m ² a]
EFH1	EFH3	87,5
EFH2	EFH4	54,4

a. Ermittlung der Gebäudeheizlast und des Heizwärmebedarfs

Zur Bestimmung der Gebäudeheizlast und des Heizwärmebedarfs wurde das Berechnungsprogramm GEQ der Firma Zehentmayr (2016) herangezogen. Dieses Berechnungsprogramm ermöglicht es auf eine einfache Art einen Energieausweis zu erstellen. Die Berechnungsgrundlagen im Berechnungsprogramm für den Heizwärmebedarf beruhen im Wesentlichen auf der Österreichisches Institut für Bautechnik (2015), sowie bei der Heizlastberechnung auf der ON EN 12831.

Für die Berechnung wurden als Standardparameter für die Gebäudeart ein Einfamilienhaus, mit einer sehr schweren Bauweise, welche laut Programm der Standard für Bestandsgebäude ist, und eine Innentemperatur (Raumluft Solltemperatur) von 20 °C angegeben.

Als weiterer Schritt wurde im Programm die Grundform des Gebäudes festgelegt und die Bauteile mit den thermischen Kennzahlen (U - Werte, g - Werte) versehen. Für die thermischen Kennzahlen wurden dabei die in einer Datenbank hinterlegten Werte des Programms herangezogen und darauf geachtet, dass diese annähernd den Werten der Literaturrecherche (siehe Tab.3-2) entsprechen.

Als letzter Schritt wurden noch Angaben bezüglich des Heizungssystems, wie auch zur Warmwasserbereitung getroffen. Hierbei wurde der Energieträger, das Heizgerät (Standardkessel, Niedertemperaturkessel,...), der Standort des Kessels, sowie die Betriebsweise und das Baujahr des Kessels festgelegt.

Anhand dieser getroffenen Annahmen wurden nun die Gebäudeheizlast und der Heizwärmebedarf beider Bestandsgebäude berechnet. Weiters wurden beide Gebäude im Berechnungsprogramm virtuell thermisch saniert. Auch hier wurden Werte aus der hinterlegten Datenbank entnommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die thermischen Kennzahlen dem Stand der Technik (vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2015) entsprechen.

Mit diesen gewählten Daten und Annahmen wurden die Ergebnisse, der Tabelle 3-6 ermittelt.

Tabelle 3-6: Ergebnisse aus GEQ

Gebäudetyp	Gebäudeheizlast in [kW]	Kesselleistung gewählt in [kW]	HWB in [kWh/m²a]
EFH1	15,2	20	274,3
EFH2	8,5	10	114,7
EFH3	6,3	8	86,7
EFH4	5,4	8	54,8

Aufgrund der erhaltenen Werte wurde für das Bestandsgebäude EFH1 ein Ölkessel mit einer Nennleistung von 20 kW gewählt. Für das Bestandsgebäude EFH2 wurde für den jeweils eingesetzten Energieträger eine Nennleistung von 10 kW angesetzt. Die ausgeführte Kesselleistung wurde um rund 20 % größer gewählt, als die berechnete Gebäudeheizlast.

Für die beiden sanierten Fälle (EFH3 und EFH4) wurde für das bivalente Heizungssystem jeweils eine 8 kW Wärmepumpe von Toshiba eingesetzt, wobei sich die Heizleistung von 8 kW auf den Auslegungspunkt (A7/W35), sprich bei einer Außentemperatur von +7 °C, und einer Vorlauftemperatur von 35 °C bezieht.

3.3 Thermische Anlagen- und Gebäudesimulation mittels Polysun®

In der Software Polysun® wurden beide Referenzgebäude und die daraus resultierenden sanierten Fälle modelliert und simuliert. Polysun® ist eine Simulationssoftware der Firma Vela Solaris AG (2014), mit welcher sich verschiedenste Systeme (Solarthermie, Photovoltaik und Wärmepumpen) planen und simulieren lassen.

a. Modellierung und Annahmen in Polysun®

Für die Simulation wurde der Standort der Referenzgebäude in Graz angenommen und mit einem in der Software hinterlegten Wetterdatensatz für Graz berechnet. In diesem Datensatz ist die Normaußentemperatur (t_{auNorm}) für Graz mit -13 °C hinterlegt und wird für die Steuerung sowie für die Simulation in Polysun herangezogen. Diese Normaußentemperatur ist ein fix hinterlegter Wert und kann durch den Benutzer nicht verändert werden.

Die Modellierung der Hydraulikschaltung für beide Referenzgebäude (EFH1 und EFH2) basiert auf einer Standardvorlage der Software. In beiden Fällen entspricht der Ausgangszustand der in Abbildung 3-3 dargestellten Hydraulikschaltung, einer Beimischschaltung (Rieberer, 2013). Der Unterschied zwischen den beiden Fällen besteht einerseits im eingesetzten Wärmeerzeuger und andererseits in der Leistung der eingesetzten Wärmeerzeuger.

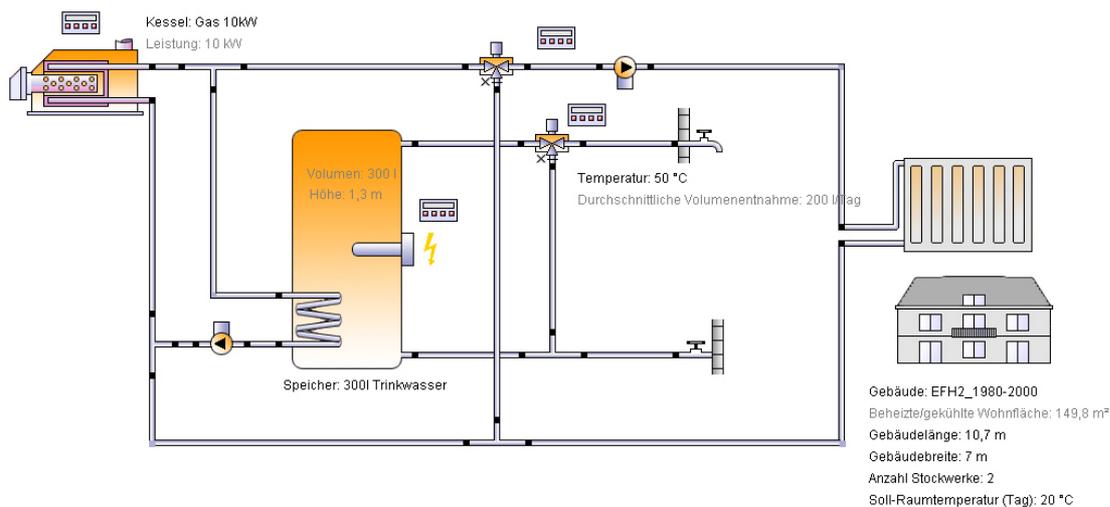


Abbildung 3-3: Anlagenschema für die Referenzgebäude (Vela Solaris AG, 2014)

Für das Gebäude EFH1 wurde, ausgehend von Diefenbach et al. (2002), ein nicht modulierender Ölkessel (Standardkessel, $\eta=0,85$) mit einer Leistung von 20 kW eingesetzt und für das Gebäude EFH2 wurde ein Gas- ($\eta=0,90$), Öl- ($\eta=0,85$) und Pelletskessel ($\eta=0,82$), jeweils mit einer Leistung von 10 kW, sowie in modulierender Betriebsweise angenommen.

Für beide Gebäude wurde zur Warmwasserbereitung ein 300 l Warmwasserspeicher benutzt, der auch als Standardwert von Polysun® vorgegeben wurde. Zusätzlich zum jeweiligen Kessel ist der Warmwasserspeicher mit einer E-Patrone ausgestattet, mit der die Warmwasserbereitung zur Not, sprich wenn die Kesselleistung nicht zur Deckung des Heizleistungs-, bzw. Warmwasserleistungsbedarf ausreicht, übernommen werden kann. Als Warmwassersolltemperatur (t_{WWSOLL}) wurde die voreingestellte Temperatur auf 50 °C belassen, wie auch die tägliche Warmwasser Volumenentnahme bei 200 l/d.

Für die Raumheizung gelten für beide Gebäude unterschiedliche Verbrauchswerte. So wurden für das Gebäude EFH 1, 13 Radiatoren mit je 1000 W und einer Sollvorlauftemperatur (t_{LSOLL1})

3 Beschreibung der Referenz-Gebäude und -Systeme

Eine detaillierte Zusammenfassung aller angenommenen bzw. durch Polysun© vorgegebenen Verbrauchswerte ist in den Tabellen 3-7 bis 3-9 dargestellt

Tabelle 3-7: Randbedingungen zur Wärmeerzeugung in Polysun©

Gebäudetyp	Kesselart	Leistung	Betriebsart	Vorlauftemperatur (@ t _{au} NORM)	Rücklauftemperatur (@t _{au} NORM)
EFH1	Öl	16 kW	Nicht modulierend	75 °C	65 °C
EFH2	Gas	10 kW	modulierend	70 °C	55 °C
	Öl	10 kW			
	Pellets	10 kW			

Tabelle 3-8: Randbedingungen des Warmwasserspeicher in Polysun©

Gebäudetyp	Warmwasserspeicher	Solltemperatur	Kessel ein	Kessel aus	E-Patrone ein/aus
EFH1	300 l Edelstahl	50 °C	WS 9 = 50 °C	WS 4 = 55 °C	WS O = 50 °C
EFH2	300 l Edelstahl	50 °C	WS 9 = 50 °C	WS 4 = 55 °C	WS 9 = 55 °C

Tabelle 3-9: Randbedingungen für das Abgabesystem in Polysun©

Gebäudetyp	Abgabesystem	Anzahl	Raumsolltemperatur	Kessel ein	Kessel aus
EFH1	Radiator	13	20 °C	19,5 °C	20,5 °C
EFH2	Radiator	8	20 °C	19,5 °C	20,5 °C

Für die sanierten Gebäude wurde ein auf dem Ausgangszustand basierendes Anlagenschema erarbeitet. Dieses Anlagenschema sieht vor, dass als primärer Wärmeerzeuger die Außenluftwärmepumpe eingesetzt wird, dann aber je nach Betriebsart der Bestandskessel die Wärmeerzeugung übernimmt oder unterstützt.

Das Anlagenschema für die Gebäude EFH3 und EFH4 wurde anhand der bivalent-alternative Betriebsweise, ausgehend vom Anlagenschema des Referenzgebäudes nach Abbildung 3-3, erarbeitet.

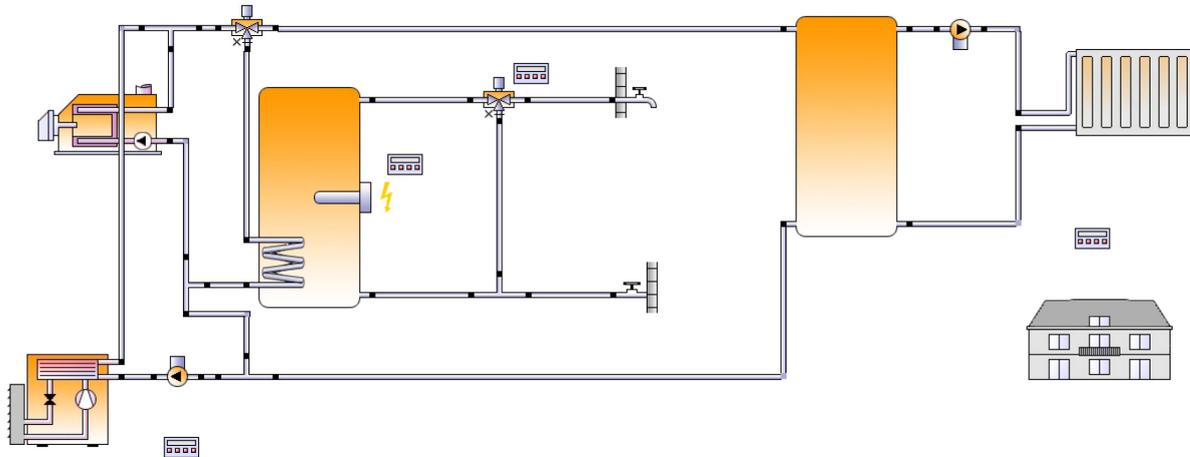


Abbildung 3-5: Bivalentes Anlagenschema in Polysun® (Vela Solaris AG, 2014)

In der Literatur (Schramek, 2003) ist angegeben, dass die Wärmepumpe sowohl in serieller, als auch in paralleler Anordnung zum Kessel möglich ist. Für den tatsächlichen Sanierungsfall wurde eine parallele Anordnung der Wärmepumpe gewählt, um eine einfachere Darstellung der Hydraulik in der Simulationumgebung zu ermöglichen.

Ebenfalls sollte ein Pufferspeicher in die Hydraulik mit eingebunden werden. Dieser fungiert als hydraulische Weiche und wird für die Entkopplung des Wärmeerzeugungs- und Wärmeabgabesystem benötigt. Dieses Anlagenschema wurde für alle Betriebsmodi herangezogen um einen Vergleich dieser zu ermöglichen. Hierbei werden die Komponenten die bereits im Ausgangssystem vorhanden waren, wieder verwendet. Im Vergleich zum Referenzschema (vgl. Abb. 3-3) wurde die Beimischrohrleitung entfernt und das Dreiwegeventil als Regelventil für entweder eine Wärmeanforderung bzw. eine Warmwasseranforderung verwendet und als neue Komponenten wurden die Außenluftwärmepumpe sowie ein 150 l Pufferspeicher hinzugefügt.

Die Regelung dieses Heizungssystems erfolgte ähnlich wie im unsanierten Fall. Nur konnte diese nicht durch eine standardisierte Regelung realisiert werden. Für den sanierten Fall wurde daher eine programmierbare Steuerung in Polysun® entworfen (siehe Abbildung 3-6).

3 Beschreibung der Referenz-Gebäude und -Systeme

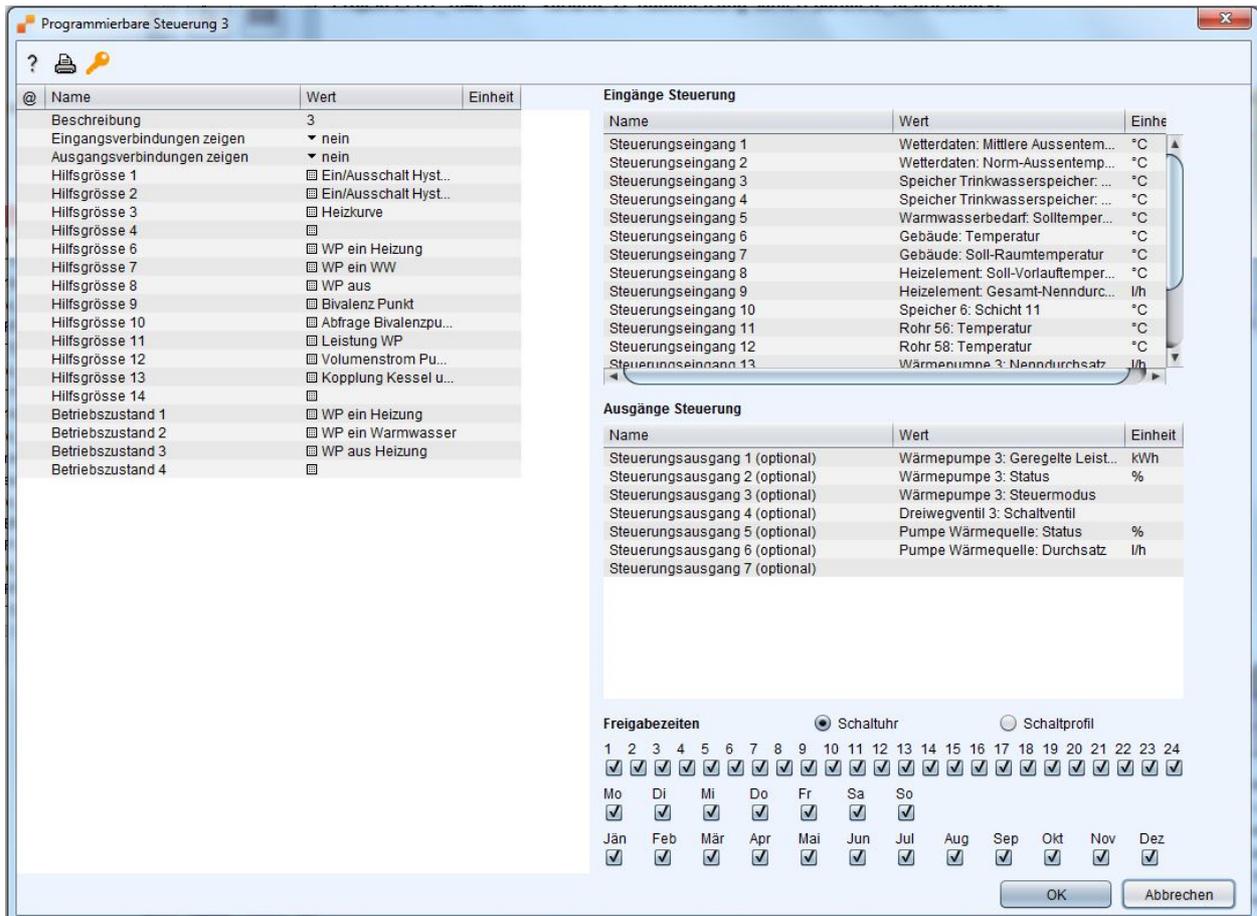


Abbildung 3-6: Oberflächenmaske der programmierbaren Steuerung in Polysun® (Vela Solaris AG, 2014)

Auch für diese Regelung wurde wieder eine Warmwasservorangsschaltung realisiert. Die programmierbare Steuerung in Polysun® ist im Wesentlichen einfach zu parametrisieren. Als Erstes werden die Steuerungseingänge definiert, wie z. B. der Wetterdatensatz. Mit diesen Steuerungseingängen erhält die Steuerung die Startwerte, die für weitere Berechnungen oder zum Vergleichen zweier Werte herangezogen werden. Im folgenden Schritt können Hilfsvariablen (maximal 16) definiert werden. Diese dienen dazu, Zwischenergebnisse zu berechnen bzw. Konstanten zu definieren. Mit diesen Hilfsvariablen können Betriebszustände definiert werden, mit denen die Komponenten, wie die Wärmepumpe, Kessel und Umwälzpumpen angesteuert werden können.

Im Fall des bivalenten Anlagenschemas wurden nach dem Definieren der Eingangsparameter als Erstes die Hilfsvariablen für die Einschalt- bzw. Ausschalthysterese, sowohl für die Raumheizung (ΔT_{HZ2}), als auch für die Warmwasserbereitung (ΔT_{WW2}) definiert. Diese wurden wie im Ausgangszustand gleich gehalten und dementsprechend für die Raumheizung mit $\pm 0,5$ K, sowie für die Warmwasserbereitung mit 5 K definiert. Im Unterschied zum Referenzsystem wurde für die Wärmeerzeuger ein verändertes Einschalt- bzw. Ausschaltkriterium ($\Delta TWZ = 8$ K) festgelegt, da das Wärmeerzeugungssystem entkoppelt vom Wärmeabgabesystem ist und die Wärmeerzeuger nicht mehr über die Raumlufttemperatur gesteuert wird.

Als Nächstes wurde eine Heizkurve in der Steuerung definiert (siehe Abbildung 3-7). Dies war notwendig, um sowohl Kessel als auch die Wärmepumpe wärme- bzw. temperaturgeführt regeln zu können, um so vor allem die Wärmepumpe im Heizbetrieb drehzahlregelt betreiben zu können. Die maximale Vorlauftemperatur des Wärmeerzeugersystems wurde bei Normaußentemperatur (= -13 °C in Polysun®) mit der maximalen Vorlauftemperatur der Wärmepumpe (55 °C) gleichgesetzt.

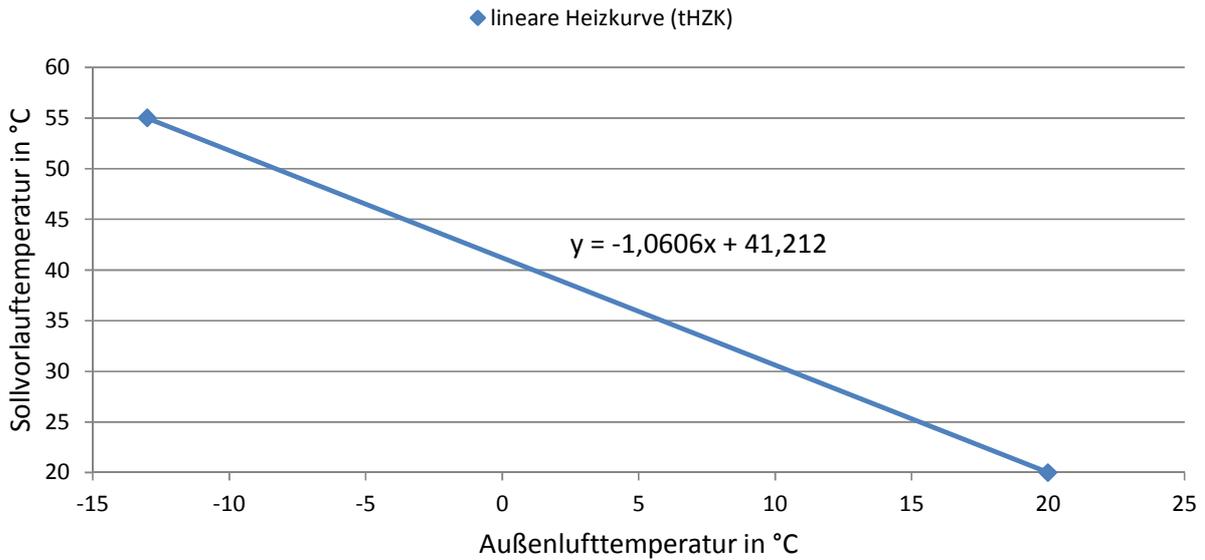


Abbildung 3-7: Angenommene Heizkurve für die Regelung in Polysun®

Als eine erste Annahme für den Bivalenzpunkt, sowie für den Abschaltpunkt wurde eine Temperatur für den Bivalenzpunkt von -2 °C und für den Abschaltpunkt -4 °C angenommen. Diese Annahme beruht darauf, dass eine Warmwassersolltemperatur ($t_{\text{WWSOLL}} = 50\text{ °C}$) erreicht werden muss und die Wärmeerzeuger dadurch den Warmwasserspeicher mit einer höheren Vorlauftemperatur beladen müssen. Die Wärmeleistungsabgabe der Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 55 °C , kann aus den Degenblättern des Wärmepumpenherstellers (Toshiba, 2015) für eine Außenlufttemperatur bis -2 °C erreicht werden. In Abbildung 3-8 sind die nach Hersteller erreichbaren Leistungszahlen (COP) über die Verdampfeintrittstemperatur (T_{verd}) und bei verschiedenen Leistungsstufen (n) dargestellt.

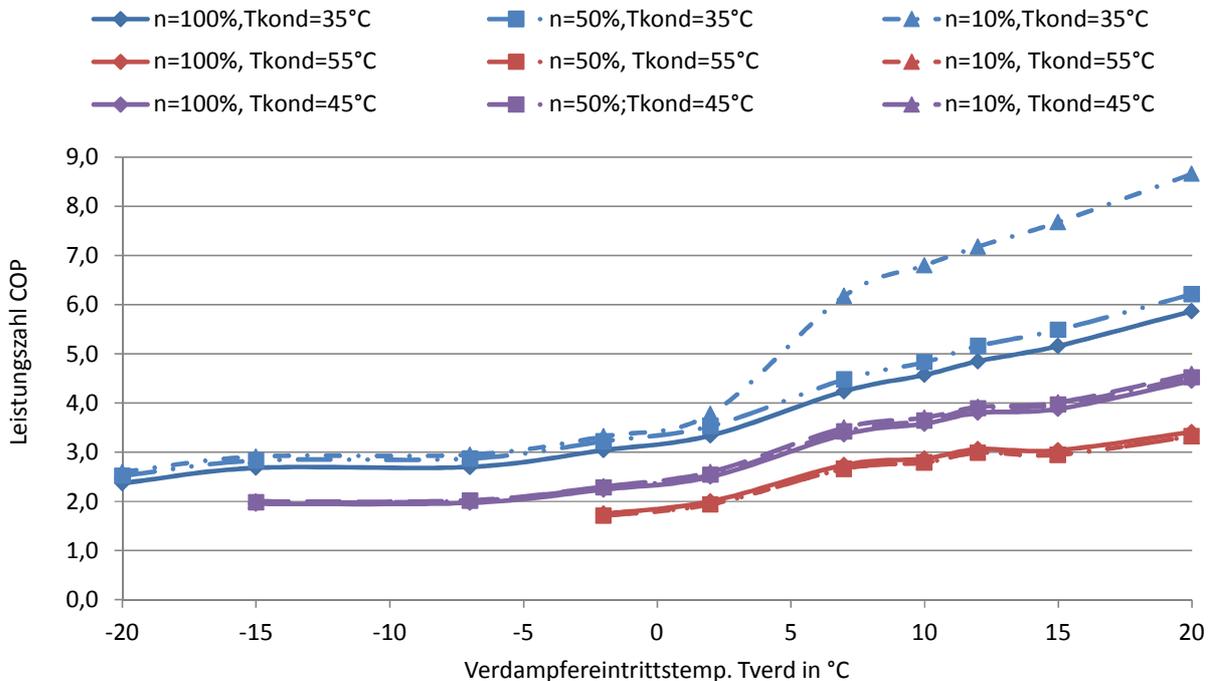


Abbildung 3-8: Leistungszahlen der Wärmepumpe bei variablen Leistungsstufe nach Toshiba (2015)

Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass für eine Warmwasservorlauftemperatur (T_{kond}) von 55 °C die Leistungszahlen erst bei einer Verdampfeintrittstemperatur von -2 °C starten und somit erst bei dieser Temperatur eine Wärmeleistungsabgabe der Wärmepumpe stattfindet

Mit dieser Annahme konnte für jeden der drei verschiedenen Betriebsmodi (siehe Kap 2.3.5) eine Wärmeanforderung, als auch eine Warmwasseranforderung für Kessel und Wärmepumpe definiert werden, wobei die Wärmeanforderungen über den Pufferspeicher (P) und die Warmwasseranforderung, wie beim Referenzsystem über den Warmwasserspeicher (W) geregelt werden. Wie auch zuvor der Warmwasserspeicher im Referenzsystem, ist auch der Pufferspeicher in Polysun® in 12 Schichten (=Layer, vgl. Abb. 3-4) aufgebaut.

Für die Wärmepumpe wurde die Wärmeanforderung so definiert, dass wenn die Schicht 11 des Pufferspeichers (PS 11) 3 K unter die Heizkurventemperatur (t_{HZK}) fällt, soll der Pufferspeicher solange beladen werden bis die Schicht 5 (PS 5) auf 5 K über t_{HZK} liegt. Gleiches gilt für den Kessel wobei hier andere Schichten des Pufferspeichers gewählt wurden und zwar die Schicht 9 (PS 9) und die Schicht 3 (PS 3). Auch im 150 l Pufferspeicher ist die Anordnung der Schichten gleich wie in Abbildung 3-4. Der Kessel läuft bei jeder Betriebsart erst unterhalb des gewählten Bivalenzpunktes. Die Wärmepumpe läuft für den alternativen Fall nur oberhalb des Bivalenzpunktes, für den parallelen Betrieb zu jeder Zeit und für den teilparallelen Betrieb auch unterhalb des Bivalenzpunktes bis zum Abschaltpunkt.

Für den Warmwasserbedarf gilt Ähnliches wie für den Wärmebedarf, nur wurden die andere Schichten im Trinkwasserspeicher für die Wärmeerzeuger gewählt. So wurde für den Kessel die oberste Schicht (WS 0) und Schicht 5 (WS 5) gewählt und für die Wärmepumpe die Schicht 11 (WS 11) und die Schicht 4 (WS 4). Für den Kessel wurde, wie im Ausgangszustand definiert, dass, falls die oberste Schicht eine Temperatur kleiner oder gleich 50 °C aufweist, der Kessel einschaltet und den Trinkwasserspeicher solange belädt bis die Schicht 5 (WS 5) auf 55 °C aufgeheizt ist. Für die Wärmepumpe wurden andere Temperaturen gewählt, da diese mit 55 °C begrenzt ist. Für die Wärmepumpe wurde die Warmwasseranforderung so definiert, dass, wenn die Schicht 11 (WS 11) unter 48 °C fällt, der Trinkwasserspeicher solange beladen wird, bis die Schicht 4 (WS 4) auf 53 °C aufgeheizt ist.

Für den parallelen sowie den teilparallelen Betrieb wurde eine Zusatzfunktion implementiert. Sobald einer der beiden Wärmeerzeuger eine Wärmeanforderung bzw. eine Warmwasseranforderung aufweist und die Außenlufttemperatur unter dem Bivalenzpunkt bzw. für den teilparallelen Betrieb über dem Abschaltpunkt liegt auch der jeweils andere Wärmeerzeuger diese Anforderung haben sollte und einschaltet. Ohne diese Zusatzfunktion würde es sonst aufgrund der verschieden definierten Schichten und für die Warmwasseranforderung bzw. Wärmeanforderung dazu kommen, dass entweder nur der Kessel oder nur die Wärmepumpe einschaltet und es dann per Definition kein paralleler bzw. teilparalleler Betrieb mehr wäre.

Für das Abgabesystem wurde eine Hysterese ΔT_{HZZ} von 0,5 K, sowohl über als auch unter der Raumluftsoltemperatur, definiert. Dies wurde dadurch realisiert, dass die Umwälzpumpe einschaltet, wenn die Raumlufttemperatur kleiner als 19,5°C ist bzw. wiederum abschaltet, wenn diese größer als 20,5°C ist. Der Vorlauf des Wärmeabgabesystems wird aus der obersten Schicht des Pufferspeichers bezogen, sowie der Rücklauf in die unterste Schicht (PS U) zurückgespeist.

Zusammenfassend sind alle Verbrauchswerte und Parameter in den Tabellen 3-10 bis 3-12 dargestellt, wobei die Werte für die Kessel, Umwälzpumpen und das Abgabesystem den Werten aus Tabelle 3-7 bis Tabelle 3-9 entsprechen.

Tabelle 3-10: Wärmepumpen Parameter in Polysun®

Gebäudetyp	Bivalenzpunkt	Abschaltpunkt	Wärmepumpe	Wärmepumpen Regelung
------------	---------------	---------------	------------	----------------------

3 Beschreibung der Referenz-Gebäude und -Systeme

			Leistung @ 7/35	
EFH3	-2 °C	-4 °C	8 kW	drehzahl geregelt
EFH4	-2 °C	-4 °C	8 kW	drehzahl geregelt

Tabelle 3-11: Regelparameter Wärmeerzeugersystem in Polysun®

Gebäude- typ	Wärme- erzeuger	Einschalt- kriterium Heizung	Ausschalt- kriterium Heizung	Einschalt- kriterium Warmwasser	Ausschalt- kriterium Warmwasser
EFH3	Kessel	PS 9 \leq $t_{HZK} - 3 \text{ K}$	PS 3 \geq $t_{HZK} + 5 \text{ K}$	WS O \leq 50 °C	WS 5 \geq 55 °C
	Wärmepumpe	PS 11 \leq $t_{HZK} - 3 \text{ K}$	PS 5 \geq $t_{HZK} + 5 \text{ K}$	WS 11 \leq 48 °C	WS 4 \geq 53 °C
EFH4	Kessel	PS 9 \leq $t_{HZK} - 3 \text{ K}$	PS 3 \geq $t_{HZK} + 5 \text{ K}$	WS O \leq 50 °C	WS 5 \geq 55 °C
	Wärmepumpe	PS 11 \leq $t_{HZK} - 3 \text{ K}$	PS 5 \geq $t_{HZK} + 5 \text{ K}$	WS 11 \leq 48 °C	WS 4 \geq 53 °C

Tabelle 3-12: Regelparameter Abgabesystem in Polysun®

Gebäudetyp	Pufferspeicher	Einschaltkriterium Umwälzpumpe	Ausschaltkriterium Umwälzpumpe	Abgabesystem	Anzahl
EFH3	150 l	$t_{RIST} \leq 19,5 \text{ °C}$	$t_{RIST} \geq 20,5 \text{ °C}$	Radiator	13
EFH4	150 l	$t_{RIST} \leq 19,5 \text{ °C}$	$t_{RIST} \geq 20,5 \text{ °C}$	Radiator	8

4 ENERGETISCHER VERGLEICH

In diesem Kapitel werden die energetischen Ergebnisse für die 4 Gebäude dargestellt und miteinander verglichen. Im ersten Teil dieses Kapitels wird auf die Ergebnisse der Referenzgebäude und der dazugehörigen sanierten Fälle näher eingegangen. Im zweiten Teil werden aufgrund veränderter Parameter sogenannte Sensitivitätsanalysen durchgeführt und wiederum mit den Referenzgebäuden verglichen.

4.1 Energetische Ergebnisse des Referenzgebäudes EFH1

In Abbildung 4-1 ist der Heizwärmebedarf für das Referenzgebäude EFH1 aus der Simulation dargestellt. Dieser Heizwärmebedarf unterscheidet sich zu dem errechneten Heizwärmebedarf aus GEQ von 274,3 kWh/m²a um rund 3 kWh/m²a. Diese Abweichung kommt aufgrund der unterschiedlichen Betrachtungsweisen beider Programme zustande. In Polysun® wurde der Heizwärmebedarf aus der abgegebenen Wärmeleistung der Radiatoren berechnet, wohingegen das Berechnungsprogramm GEQ ein standardisiertes Verfahren zur Berechnung des Heizwärmebedarfes nach OIB - Richtlinie (2015) nutzt.

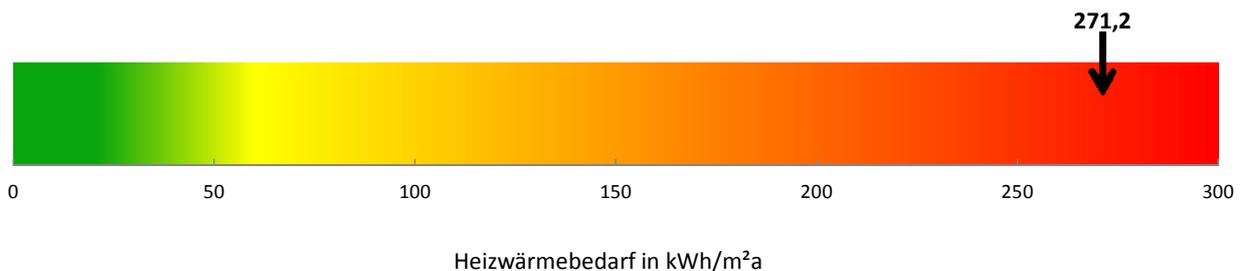


Abbildung 4-1: Heizwärmebedarf EFH1

In der Abbildung 4-2 sind die wesentlichen Temperaturen wie die Raumlufttemperatur, die Kesselvorlauf-, sowie die Heizkreisvorlauf- und Rücklauftemperaturen über die Außenlufttemperatur dargestellt. Es zeigte sich, dass die Raumlufttemperatur von 20 °C eingehalten wurde und nur bei sehr niedrigen Außenlufttemperaturen minimal unter 20 °C lag. Die Heizkreisvorlauf- und -rücklauftemperaturen zeigten einen für die Beimischschaltung aus Abbildung 3-6 typischen Verlauf. Außerdem sollte in der Theorie ab der Heizgrenztemperatur die Vorlauf- wie auch die Rücklauftemperatur bei 20 °C liegen. Die Heizgrenztemperatur ist jene Temperatur, wo eine Beheizung des Gebäudes aufgrund der hohen Außenlufttemperaturen nicht mehr notwendig ist. Aufgrund der vereinfachten Annahme, dass auch in den Sommermonaten eine Wärmeabgabeleistung möglich, wenn die Raumlufttemperatur kleiner als 19,5 °C ist, liegt die Heizgrenztemperatur bei rund 25 °C. Auch ist in der Abbildung 4-2 der Wirkungsgrad des Ölkessels über die Außenlufttemperatur dargestellt. Hier zeigt sich, dass während der Heizperiode ein annähernd konstanter Verlauf des Wirkungsgrades (=0,81) zustande kommt. Hingegen bei der Warmwasserbereitung, wo sich der Kessel im Teillastbetrieb befindet, nimmt der Wirkungsgrad ab und fällt dabei teilweise auch auf 0,5 ab.

4 Energetischer Vergleich

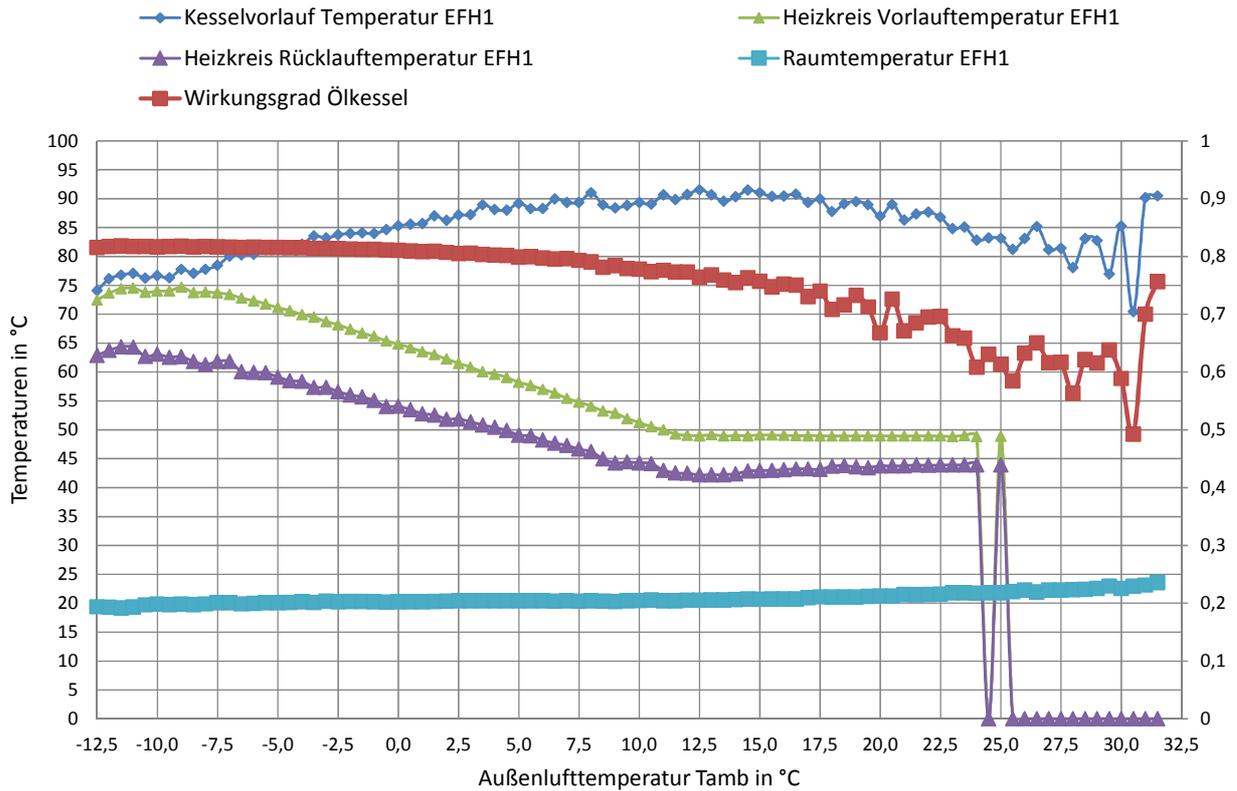


Abbildung 4-2: Systemtemperaturen EFH1

In Abbildung 4-3 ist die Abhängigkeit der Kesselleistung und des Brennstoffleistung von der Außenlufttemperatur dargestellt. Auffällig bei dieser Darstellung ist, dass die Kesselleistung ab einer Außenlufttemperatur von + 7,5 °C abnimmt. Diese Abnahme hängt mit dem Auskühlen der thermischen Massen während des Stillstandes und den Ein- und Ausschaltzyklen des Heizkessel für die Warmwasserbereitung ab einer Außenlufttemperatur von 7,5 °C zusammen und entsprechen im Wesentlichen Verluste.

4 Energetischer Vergleich

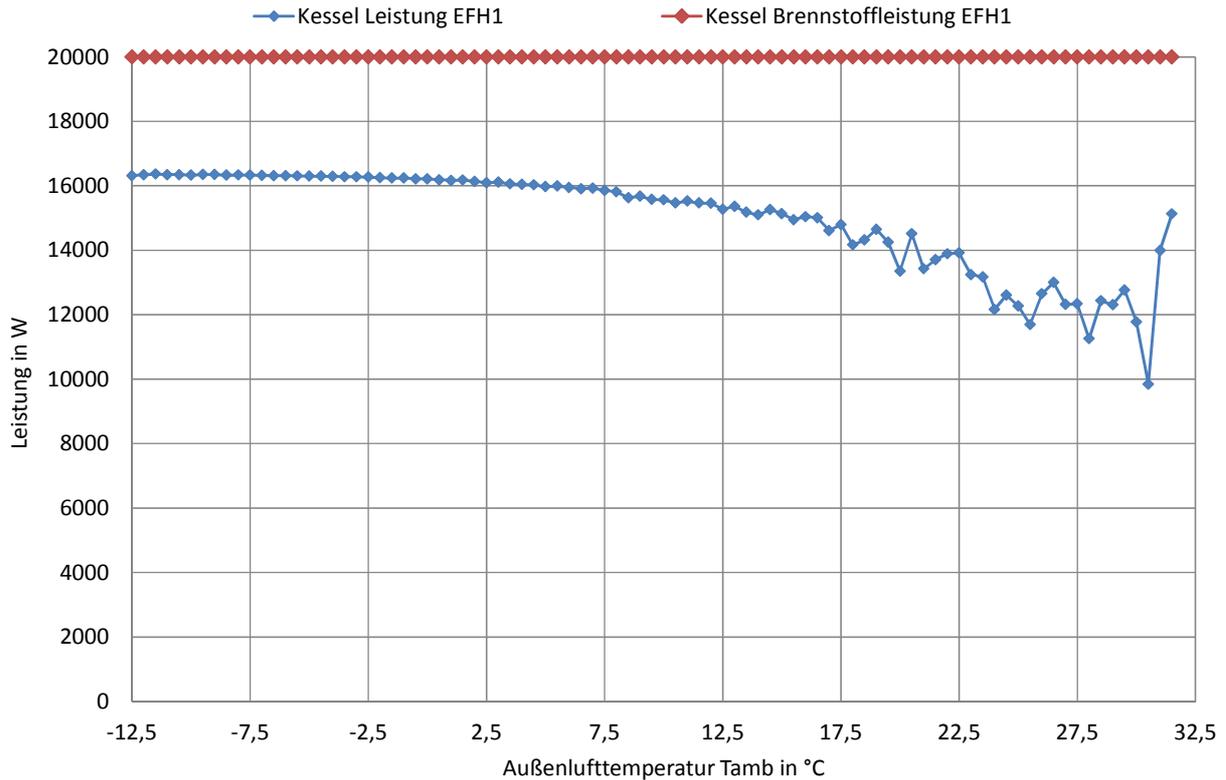


Abbildung 4-3: Kessel Leistung und Brennstoffverbrauch EFH1

In Abbildung 4-4 sind der Heizwärmebedarf (HWB), der Warmwasserbedarf (WWB), sowie die vom Kessel gelieferte Energie, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche (BGF), auf Monatsbasis dargestellt. Es zeigt sich, dass jedes Monat eine konstante Wärmemenge zur Warmwasserbereitung, von rund 2 kWh/m², benötigt wird. Auch lieferte die Simulation einen typischen Verlauf für den Heizwärmebedarf, welcher in den Wintermonaten am höchsten und in den Sommermonaten am geringsten ist. Eigentlich sollte sich in den Sommermonaten ein Heizwärmebedarf von 0 kWh/m² ergeben. Dies wird in der Simulation aufgrund der schlechten Bauweise des Gebäudes und dem damit einhergehenden schnellen Auskühlen des Gebäudes nicht erreicht. Aufgrund dieses Effektes und den teilweise auftretenden Außenlufttemperaturen von unter 20 °C in den Sommermonaten kam es zu einem Heizwärmebedarf von rund 1,5 kWh/m². Der in der Abbildung gezeigte Verlust wurde aus der vom Kessel bereit gestellten Energie abzüglich des benötigten Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser errechnet und spiegeln die auftretenden Verluste in den Rohrleitungen sowie des Warmwasserspeichers (Wärmeverluste) wider.

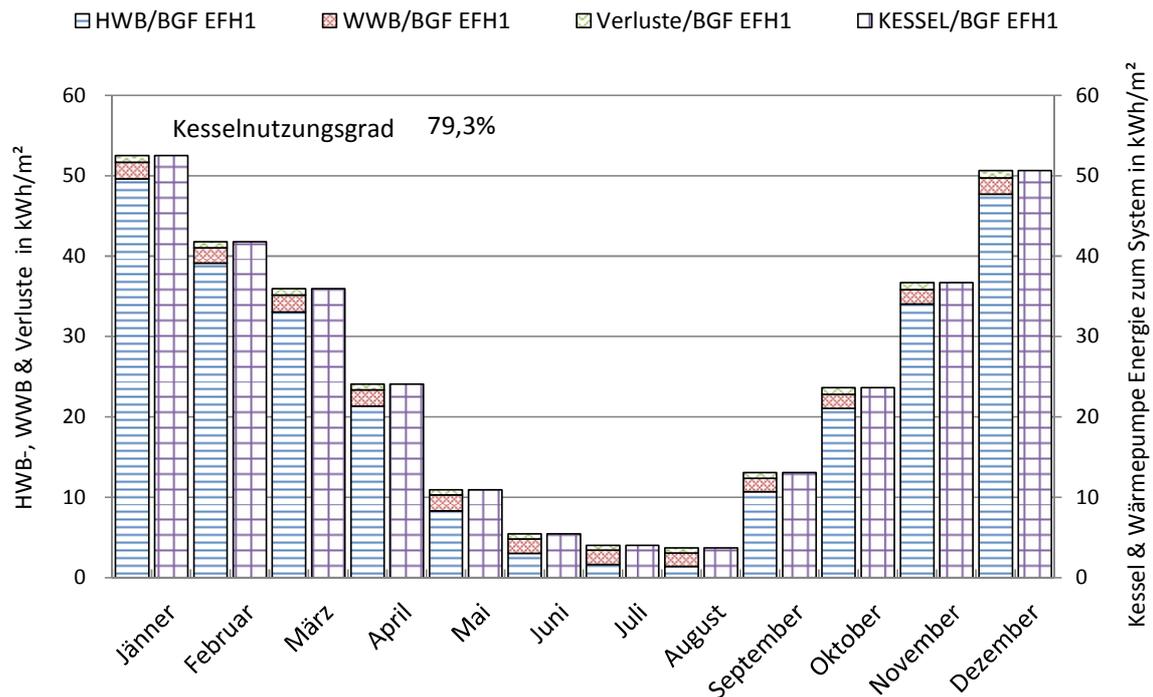


Abbildung 4-4: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis EFH1

Die sich aus dieser Betrachtung ergebenden Endenergieverbräuche, Primärenergieverbrauch sowie der jährliche Heizöl- und elektrische Energieverbrauch, ist für alle Gebäude im Kapitel 4.5 ersichtlich.

4.2 Energetische Ergebnisse des Gebäudes EFH3 (saniertes EFH1)

In weiterer Folge wurde, wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, das Referenzgebäude EFH1 thermisch saniert angenommen und in den drei verschiedenen Betriebsmodi simuliert. Aus dieser Simulation ergibt sich für das Gebäude EFH3 ein Heizwärmebedarf von 90,9 kWh/m²a wie in Abbildung 4-5 dargestellt.

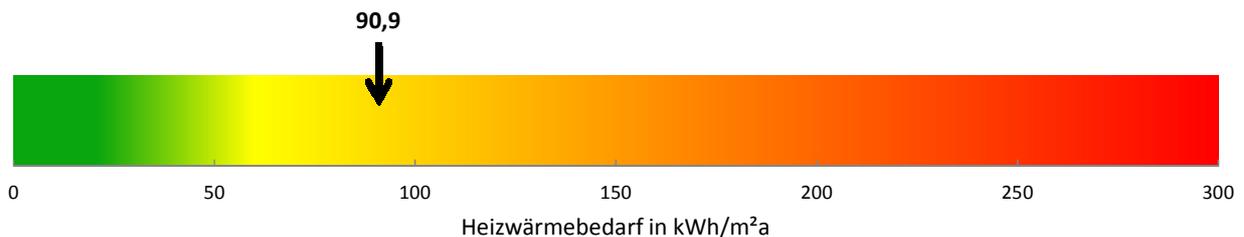


Abbildung 4-5: Heizwärmebedarf des Gebäudes EFH3

Auch hier zeigte sich, dass der berechnete Heizwärmebedarf aus GEQ von der Simulation in Polysun® abweicht. Nach Tabelle 3-5 galt es einen HWB von 87,5 kWh/m²a zu erreichen. Diese Abweichung von 3,4 kWh/m²a lässt sich durch eine unveränderliche Normaußentemperatur von -13 °C in Polysun® erklären. Außerdem errechnete sich das Ergebnis für den Heizwärmebedarf in Polysun® aus der abgegebenen Heizleistung der Radiatoren, welche sich einfach durch eine Veränderung der Anzahl von Radiatoren beeinflussen lässt.

In Abbildung 4-6 ist die Heizleistung für das Gebäude EFH3 für den alternativen Betriebsmodus und der Raumluft Solltemperatur von 20 °C (EFH3 alt. RT20) über der Außenlufttemperatur dargestellt. Zusätzlich zur Heizleistung wurden auch noch die Leistungsangaben der Toshiba

Wärmepumpe mit einer Leistung von 8 kW bei Vollast und den jeweiligen Warmwasservorlauftemperaturen (35 °C, 45 °C, 55 °C) angegeben. Weiters wurde eine lineare Heizleistungskennlinie angenommen. Die Heizleistung ist jene Leistung, die vom Wärmeerzeuger bei der jeweiligen Außenlufttemperatur abgegeben werden muss, um den geforderten Wärmebedarf (Heizwärme und Warmwasser) zu decken. Ersichtlich aus der Abbildung ist, dass sich aus der Simulation ergebende lineare Heizleistungsbedarfskennlinie mit den Wärmepumpenkennlinien bei einer Außenlufttemperatur von etwa -7 °C schneidet und dieser Schnittpunkt den tatsächlichen Bivalenzpunkt darstellt. Der tatsächlichen Bivalenzpunkt ist jener Punkt am dem die Wärmepumpe die geforderte Heizleistung noch alleine abdecken könnte. Durch die Wahl des Bivalenzpunktes bei einer Außenlufttemperatur bei -2 °C ergibt sich im Vergleich zum tatsächlichen Bivalenzpunkt für das Gebäude EFH3 ein geringerer Wärmepumpenanteil an der gelieferten Energie.

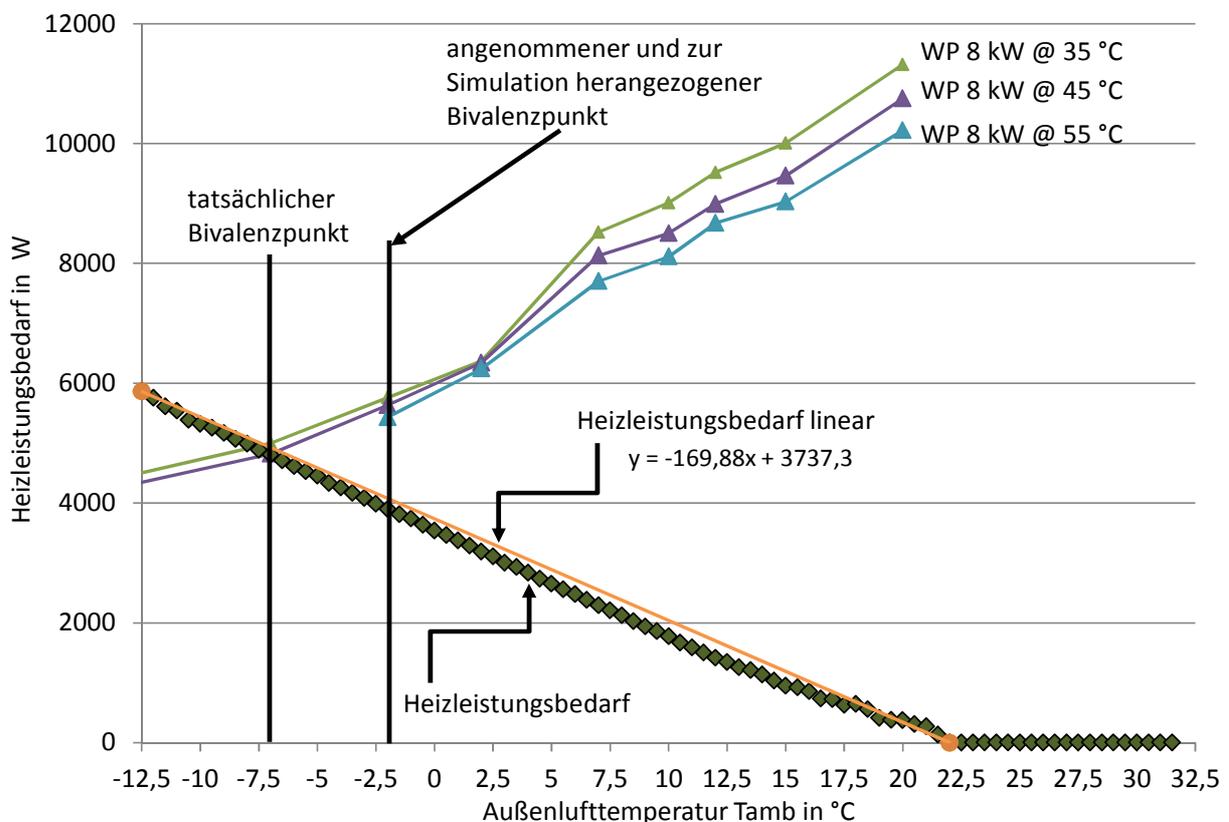


Abbildung 4-6: Heizlast und Heizleistungsbedarf über Außenlufttemperatur für EFH3 alternativ RT20

Aus der Abbildung 4-7 ist der Heizwärmebedarf, sowie der Warmwasserbedarf für das Gebäude EFH3 im Betriebsmodus bivalent-alternativ und einer Raumlufttemperatur von 20 °C, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche, dargestellt. Auch ist die von der Wärmepumpe, sowie die vom Kessel bereitgestellte Energie, wieder bezogen auf die BGF, dargestellt. Wie schon in Abbildung 4-4 sind die Verluste auch in dieser Abbildung aus der Differenz der bereitgestellten Energie der Wärmeerzeuger und dem Energiebedarf für Warmwasser und Heizung berechnet worden. Diese stellen wiederum die Wärmeverluste der Rohrleitungen, des Warmwasserspeichers, sowie nach Abbildung 3-8, des neu integrierten Pufferspeichers dar. Auf den ersten Blick lässt sich erkennen, dass der Kesselnutzungsgrad im Vergleich zum Referenzgebäude EFH1 von 79,3 % auf 81,4 % ansteigt. Dieser lässt sich durch eine geringere Nutzung des Kessels erklären wodurch die Stillstandsverluste geringer werden und sich nach Gl. 2-2 ein höherer Nutzungsgrad ergibt.

4 Energetischer Vergleich

Weiters scheint, dass der Warmwasserbedarf in Abbildung 4-7 im Vergleich zur Abbildung 4-4 gestiegen ist. Dieser ist jedoch in allen Fällen konstant. Aufgrund der thermischen Sanierung des Gebäudes wurde der Heizwärmebedarf sowie die benötigte Energie der Wärmeerzeuger verringert und daher eine Veränderung der Skalierung vorgenommen. Zusätzlich wurde durch die thermische Sanierung erreicht, dass für das Gebäude in den Sommermonaten kein Heizwärmebedarf mehr vorhanden ist.

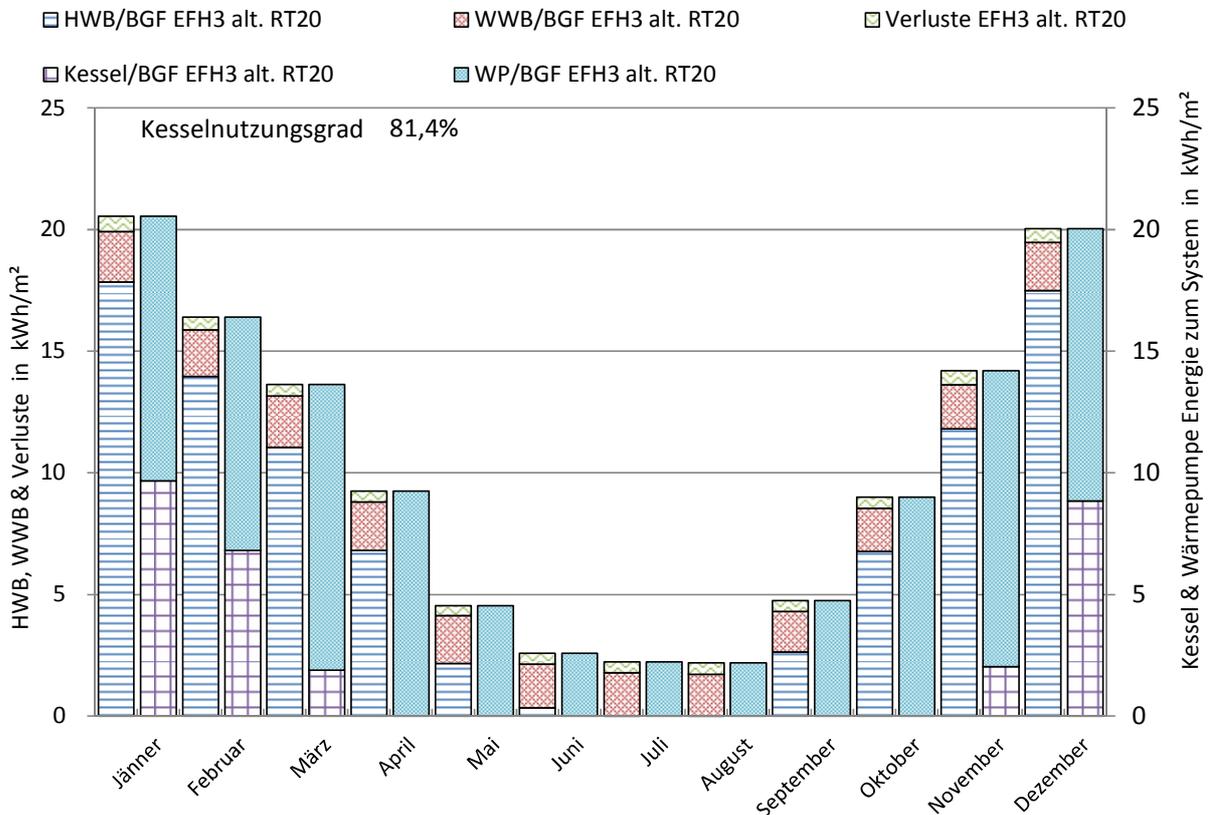


Abbildung 4-7: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis EFH3 alternativ RT20

Im Allgemeinen ist ersichtlich, dass durch die Eingliederung der Wärmepumpe und des festgelegten Bivalenzpunktes bei -2 °C der Kessel nur mehr 5 Monate im Jahr in Betrieb sein muss. Für diesen Fall liefert die Wärmepumpe einen Anteil von 75,49 % der benötigten Energie. Der Kesselanteil wurde dabei auf 24,51 % reduziert. Eine grafische Darstellung der monatlichen Verhältnisse ist in Abbildung 4-8 dargestellt.

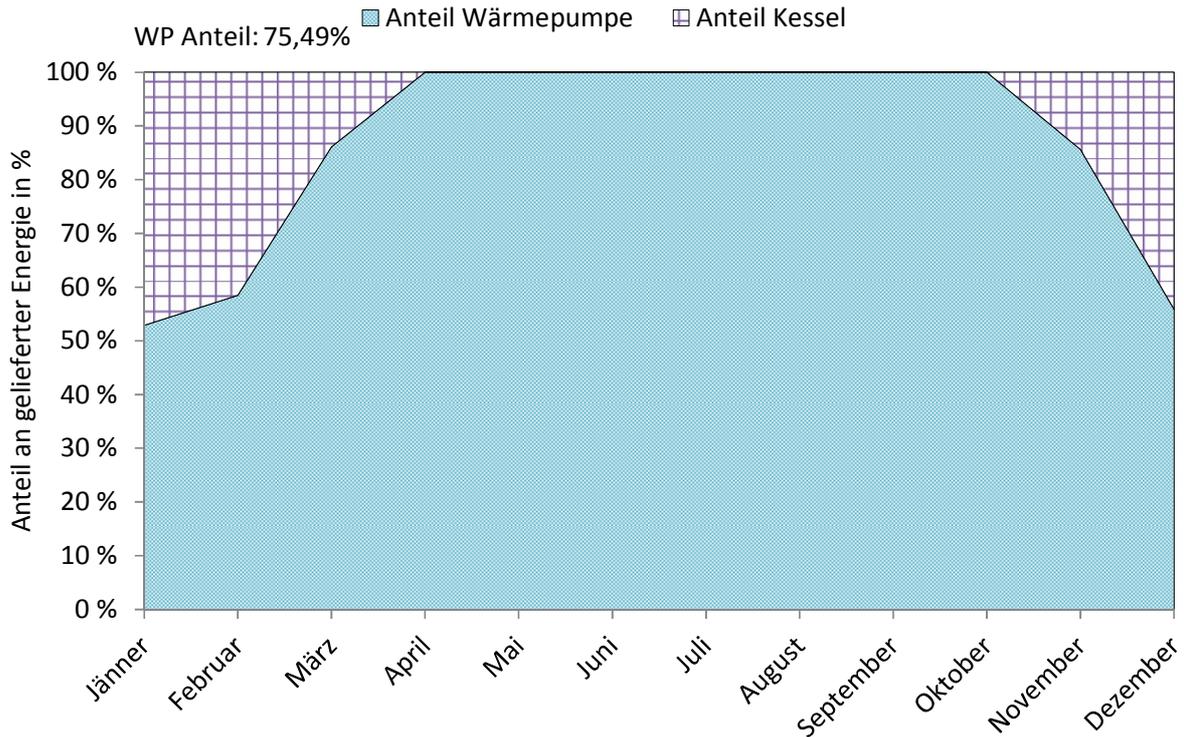


Abbildung 4-8: Anteil der gelieferten Energie für EFH3 alternativ RT20

Aus dieser Darstellung zeigt sich, dass die Wärmepumpe sogar im Jänner knapp über 50 % der benötigten Energie zur Verfügung stellt. Für die Wärmepumpe wurde die Effizienz nach Gl. 2-8 berechnet und über die Monate in Abbildung 4-9 dargestellt. Es wurde einerseits die Arbeitszahl der Wärmepumpe berechnet, andererseits auch die Arbeitszahl des Systems. Als Ansatz für die Bestimmung der Leistungszahl bzw. in weiter Folge der Arbeitszahl wurde jener nach Miara (2011) (vgl. Abbildung 2-8) gewählt.

Die Abbildung 4-9 zeigt erwartungsgemäß, dass die Arbeitszahlen in den Wintermonaten niedriger sind als im Frühling oder Sommer. Zur Bewertung für SPF3 wurden noch zusätzlich die beiden Umwälzpumpen, sowie die E-Patrone, die zusätzlich zum Kessel und der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung (vgl. Abb. 2-9) dient, hinzu. Aus dieser Betrachtungsweise ergab sich für die Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl (SPF0) von 3,41 und durch den zusätzlichen Stromverbrauch der Umwälzpumpen kam es zu einer Jahresarbeitszahl für SPF3 von 3,34. Aufgrund der Parameterfestlegung für die Regelung in Polysun® wurde die E-Patrone für die Warmwasserbereitung nicht benötigt.

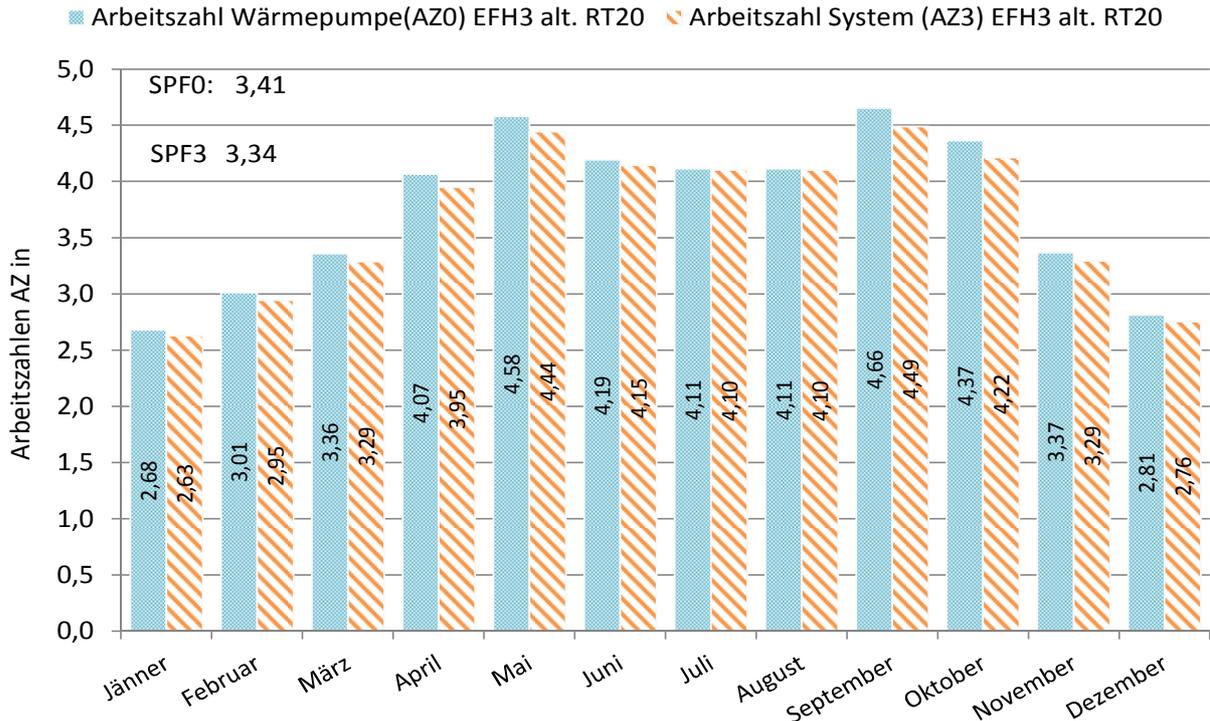


Abbildung 4-9: Arbeitszahlen für EFH3 alternativ RT20

Auffällig ist auch, dass die Arbeitszahlen im Juni, Juli und August geringer waren als jene im Mai und September. Dies beruhte darauf, dass sowohl im Mai als auch im September noch bzw. schon ein Heizwärmebedarf für das Gebäude auftrat (vgl. Abb. 4-7), die Wärmepumpe für den Heizbetrieb eine Drehzahlregelung vorsah und die Warmwasserbereitung bei voller Leistung und einer höheren Vorlauftemperatur bewerkstelligt wurde, welches auch in Abbildung 4-10 ersichtlich ist.

Wie erwähnt ist aufgrund der Warmwassersolltemperatur in dieser Abbildung 4-10 zu sehen, dass die Wärmepumpenvorlauftemperatur ab einer Außenlufttemperatur von 20 °C knapp 50 °C angehoben wurde. In diesem Bereich der Außenlufttemperatur war nur mehr ein Energiebedarf für die Warmwasserbereitung nötig. Durch die höhere Abgabtemperatur der Wärmepumpe an das System und die maximale Leistung führten dies nach Gl. 2-8 dazu, dass die Arbeitszahlen der Wärmepumpe, wie auch für SPF3, in den Sommermonaten geringer waren. Weiters sind in dieser Abbildung die Kesselvorlauftemperatur, sowie die Heizkreisvorlauftemperatur (Heizkreis VL-Temp. EFH3 alt. RT20), als auch die Heizkreisrücklauftemperatur (Heizkreis RL-Temp. EFH3 alt. RT20) und die Raumlufttemperatur dargestellt. Hier ist ersichtlich, dass bei etwa 18 °C Außenlufttemperatur die Raumlufttemperatur und Heizkreisvorlauf- und -rücklauftemperatur annähernd gleich sind. Dies stellt sich aufgrund solarer Gewinne dar, mit der damit verbundenen Anhebung der Raumlufttemperatur und dem daraus resultierenden Wärmeeintrag in die Radiatoren. Außerdem handelt es sich hierbei nach wie vor um den nicht modulierenden Kessel (vgl. EFH1), d.h. dass hierbei die Kesselvorlauftemperatur wieder ähnlich der Abb. 4-2 sein müsste, jedoch wurde vereinfacht für den Kessel angenommen, dass die Vorlauftemperatur auf 55 °C herabgesetzt werden kann. Auch müsste die Kesselvorlauftemperatur konstant sein, durch die Mittelung über den gesamten Betrachtungszeitraum (Jahr) der Temperaturwerte wurden jedoch Auskühlvorgänge der Rohrleitungen mit berücksichtigt, wodurch sich die variablen Vorlauftemperaturen ergaben.

4 Energetischer Vergleich

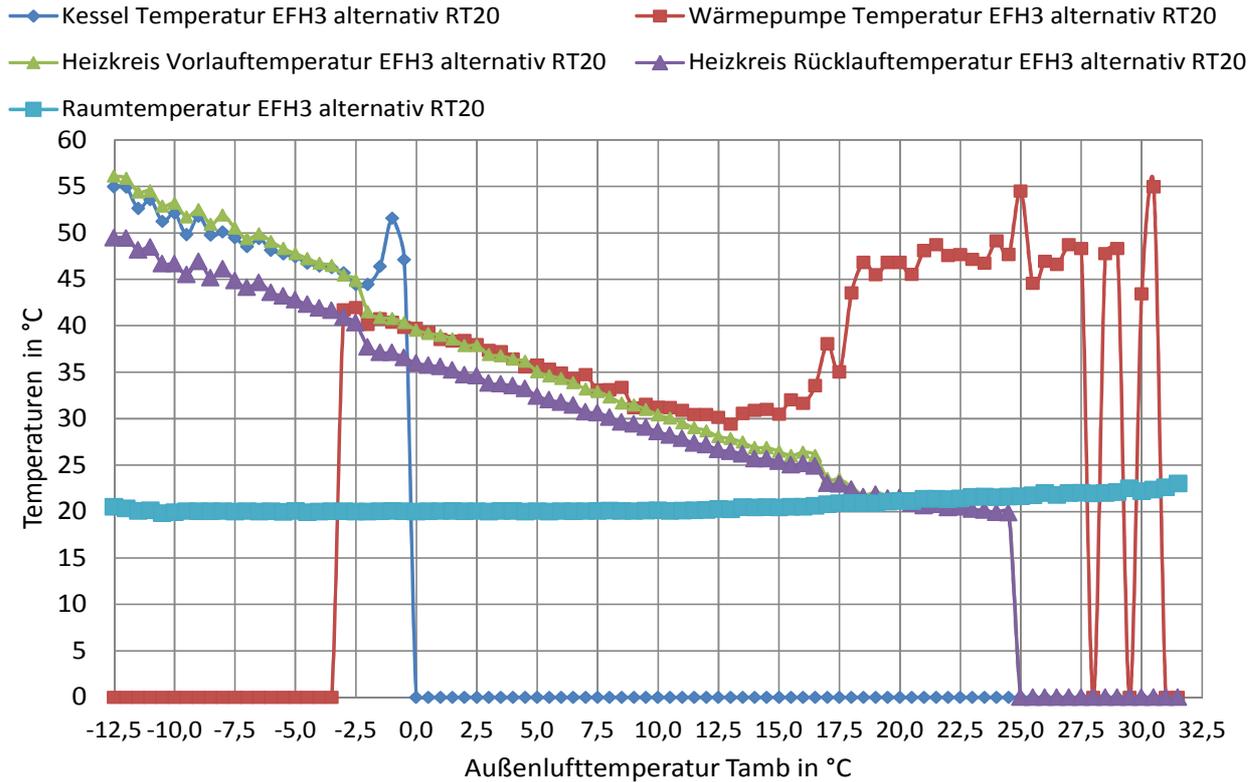


Abbildung 4-10: Systemtemperaturen für EFH3 alternativ RT20

Die Abbildung 4-11 zeigt einen beispielhaften Wochenverlauf und das Zusammenspiel zwischen Wärmepumpe und Kessel. Für diese Darstellung wurde eine Woche ausgewählt, in der die Außenlufttemperatur sowohl unterhalb als auch oberhalb des Bivalenzpunktes liegt.

Die Abbildung zeigt, dass sowohl Kessel als auch Wärmepumpe entsprechend der Eingabe der Regelparameter reagierten. So liefert der Kessel nur Energie unterhalb des Bivalenzpunktes von -2 °C und die Wärmepumpe nur oberhalb dieses Bivalenzpunktes. Auch wurde festgestellt, dass es Überschneidungen gab, wo sowohl der Kessel als auch die Wärmepumpe dem System Wärmeleistung zuführt, da die Außenlufttemperatur gerade knapp unter den Bivalenzpunkt fiel.

Aus der Abbildung ist erkennbar, dass die Wärmepumpe im Heizmodus dem Heizleistungsbedarfsverlauf folgt. Dies hängt mit der Drehzahlregelung der Wärmepumpe zusammen und der daraus resultierenden individuellen Leistung. Auch sind für die Wärmepumpenleistung einzelne Spitzen zu sehen, die die Warmwasserbereitung darstellen und daher eine höhere Leistung zu Folge haben. Für den Kessel ergibt sich eine konstante Leistungszufuhr, sowohl für den Heizbetrieb, als auch für die Warmwasserbereitung. Kleinere Abweichungen der Kesselleistung in der Abbildung ergeben sich durch die Gewichtung der variablen Zeitschritte mit der dort vorherrschenden Kesselleistung. Auch scheint es laut Abbildung 4-11 so, als ob der Kessel zum Beispiel von 31.01.2016 um ca. 18 Uhr bis 01.02.2016 um ca. 12 Uhr einen dauerhaften Betrieb aufweist. Jedoch ist dies nicht der Fall. Der Grund hierfür liegt an der Mittelung und der gleichzeitigen Gewichtung der Werte. Es handelt sich hierbei um Stundenmittelwerte (Schrittweite), sprich, der Betrachtungszeitraum der Mittelung betrug eine Stunde. Für den Kessel wurden die Werte mit dem aktiven Zeitschritt (Kessel in Betrieb) des Kessel multipliziert und durch die Summe der aktiven Zeitschritte dividiert. Die Summe der aktiven Zeitschritte des Kessel waren kleiner als der Betrachtungszeitraum, d.h. dass nur ein aktiver Betrieb des Kessels herangezogen wurde. Diese Betrachtung war notwendig, da bei einer Division durch eine volle Stunde für die Kesselleistung keine konstanten Werte (Bestandskessel EFH3 nicht modulierend) zustande kommen würden. Es würde vielmehr ein variabler Verlauf der Kesselleistung auftreten, was auf einen modulierenden Kessel schließen lassen würde.

4 Energetischer Vergleich

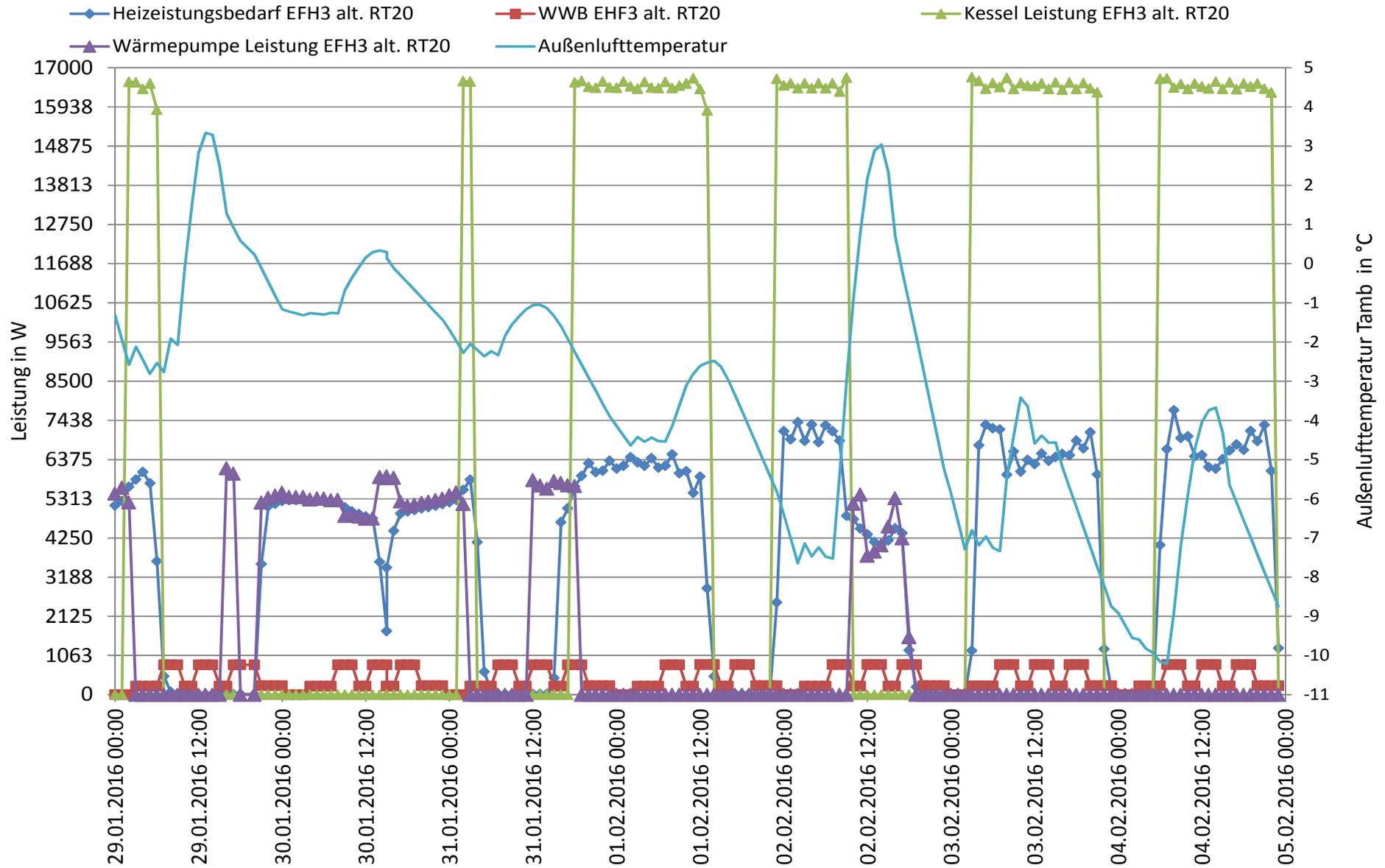


Abbildung 4-11: Beispielhafter Wochenverlauf (29.01 – 05.02) Heizleistungsbedarf und Bereitstellung für EFH3 alt. RT20 (Stundenschnittweite)

4 Energetischer Vergleich

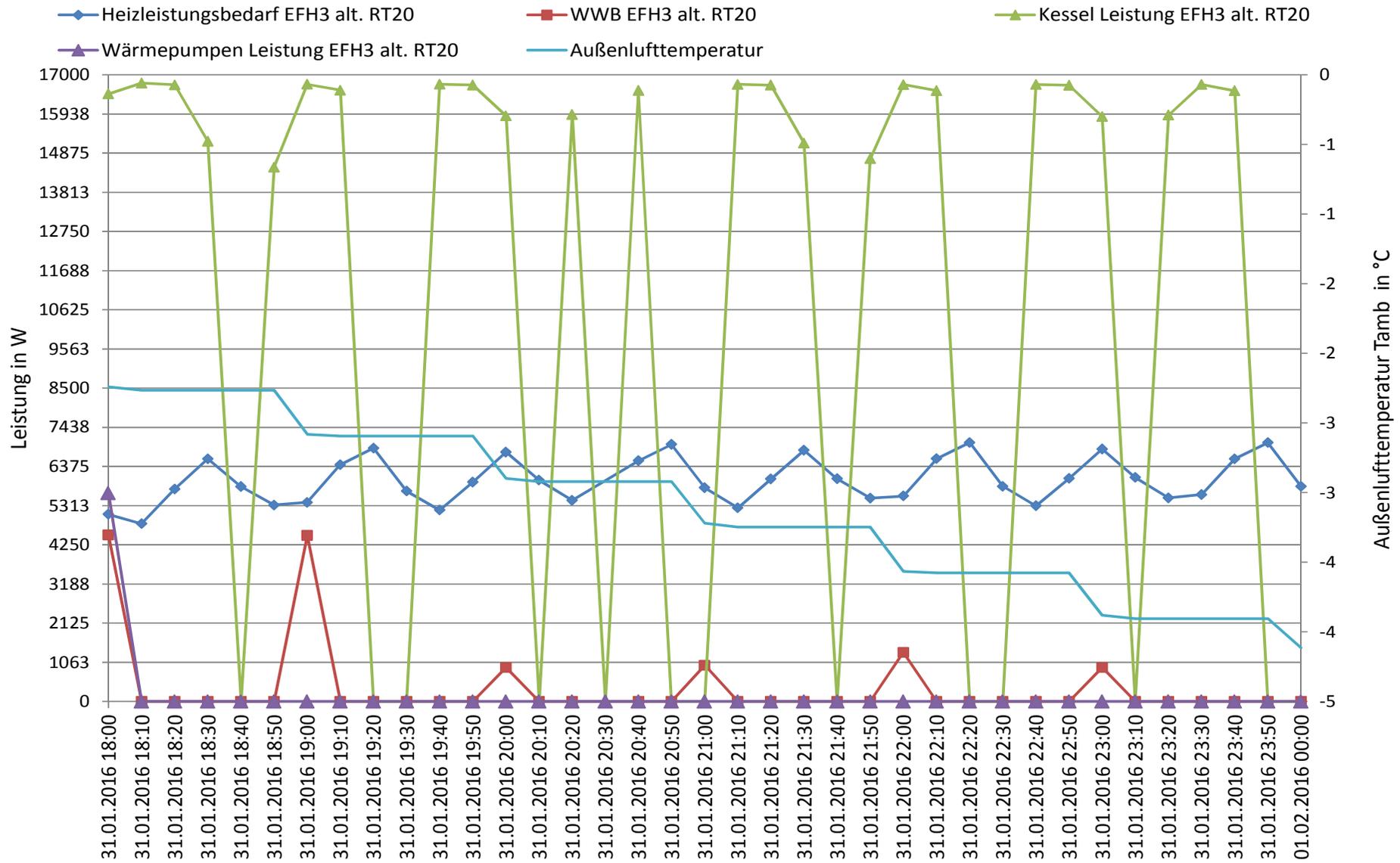


Abbildung 4-12: Ausschnitt (31.01 18:00 bis 01.02 00:00) aus beispielhaftem Wochenverlauf für EFH3 alt. RT20 (10 Minuten Schrittweite)

Aus Abbildung 4-12 ist erkennbar, dass der Kessel maximal 40 Minuten in Betrieb war. Diese Darstellung entspricht prinzipiell jener von Abbildung 4-11, jedoch wurde hier anstatt einer Stundenmittelung, eine zehn Minuten Mittelung bzw. als 10 Minuten Schrittweite der Werte durchgeführt.

Weiterführend wurden in den folgenden Abbildungen die Ergebnisse für das Gebäude EFH3 für die Betriebsmodi parallel und teilparallel dargestellt, wobei hier auf die Diagramme über die Außenlufttemperatur verzichtet wurde, da diese ähnliche Ergebnisse auch bei der alternativen Betriebsweise lieferten. Vielmehr wurde der Fokus auf die Ergebnisse der Arbeitszahlen sowie den Energiebedarf und Bereitstellung auf Monatsbasis gelegt.

In Abbildung 4-13 sind der Heizwärmebedarf, der Warmwasserbedarf, sowie die Verluste, als auch die Kessel- und Wärmepumpen-Energiebereitstellung, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche, für die parallele Variante dargestellt. Prinzipiell zeigte sich für diese Abbildung ein ähnliches Bild wie in Abbildung 4-7, mit Ausnahme, dass die gelieferte Kesselenergie etwas geringer war. Die weitere Abnahme der gelieferten Energie des Kessels von 24,51 % (EFH3 alternativ) auf 22,63 % wurde durch den parallelen Betrieb der Wärmepumpe unterhalb des Bivalenzpunktes ($=-2\text{ °C}$) erreicht. Dadurch stieg der Anteil der Wärmepumpe von 75,49 % auf 77,53 %.

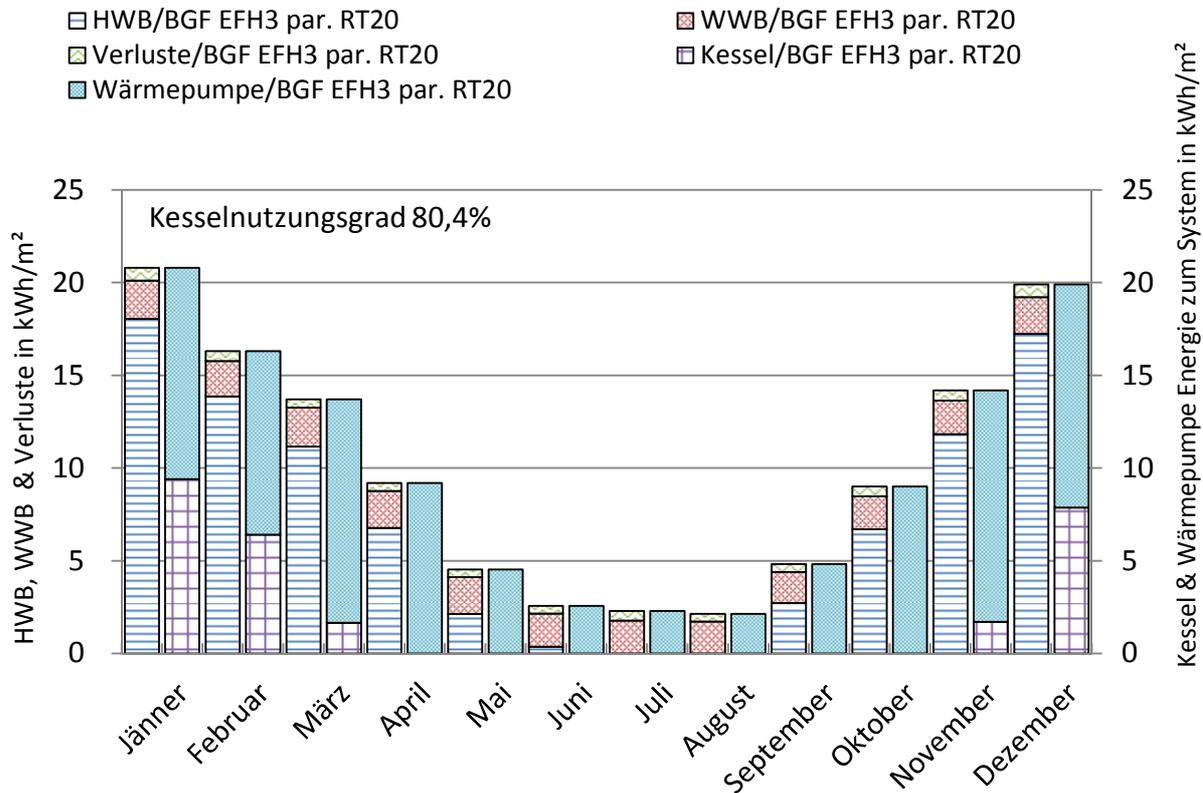


Abbildung 4-13: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH3 parallel RT20

Einen detaillierten Aufschluss über den jeweiligen Anteil an gelieferter Energie liefert die Abbildung 4-14.

Im Vergleich zur Abbildung 4-8 zeigt Abbildung 4-14, dass bereits im Jänner die Wärmepumpe einen höheren Anteil an der bereitgestellten Energie lieferte. Auch hier wird wieder klar, dass der Kessel nur von Jänner bis März und dann erst wieder von Oktober bis Dezember zur Energiebereitstellung beiträgt.

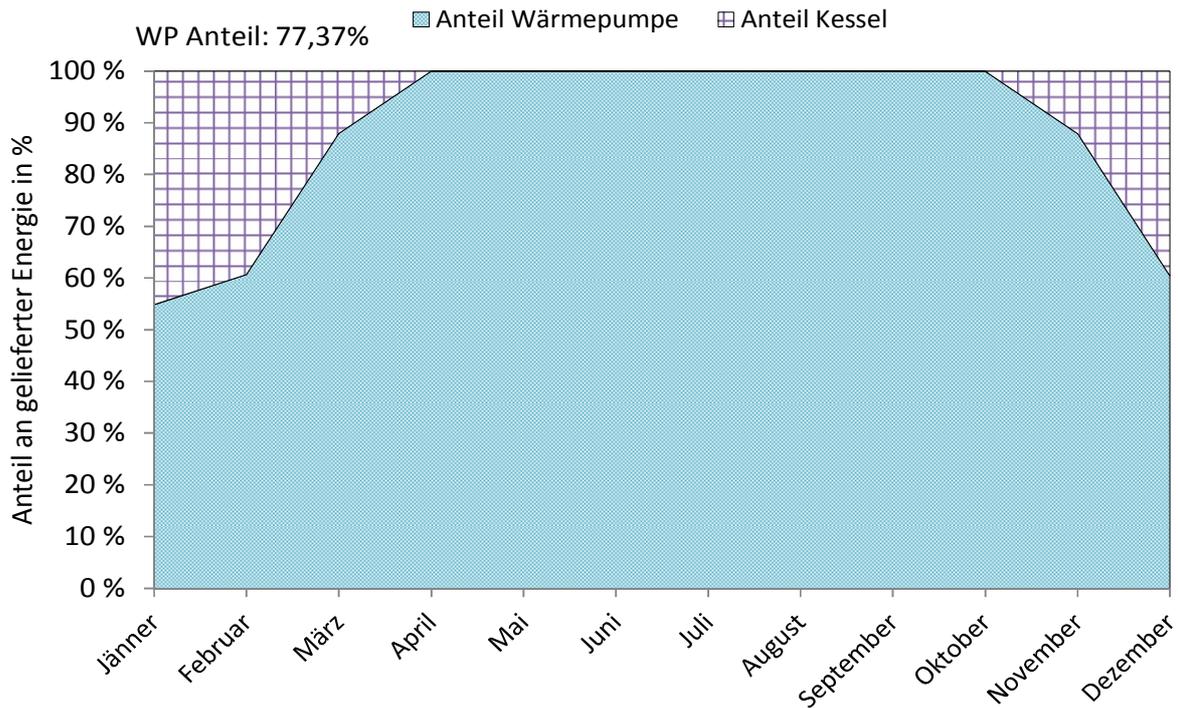


Abbildung 4-14: Anteil an gelieferter Energie für EFH3 parallel RT20

Die Abbildung 4-15 zeigt die Arbeitszahlen sowohl für die Wärmepumpe (AZ0) alleine als auch wieder für AZ3 wie vorher bereits erwähnt (vgl. Abbildung 4-9). Auch für diese Betriebsweise wurden für die Arbeitszahlen AZ3 die beiden im Anlageschema vorhandenen Umwälzpumpen, sowie die E-Patrone, zur Warmwasserbereitung bilanziert. Ebenfalls war hier aufgrund der Regelung die benötigte Energiemenge der E-Patrone wieder gleich Null. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie in Abbildung 4-9 vor allem in den Sommermonaten (Juni, Juli und August). Deutlich zeigt sich jedoch, dass die Arbeitszahlen sowohl für die Wärmepumpe, als auch für AZ3 wesentlich geringer sind. Selbiges Bild zeigte sich gleicherweise für die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, die mit 3,34, sowie für SPF3, die mit 3,26 im Vergleich deutlich geringer sind. Diese Verringerung der Arbeitszahlen bzw. Jahresarbeitszahlen ist Folge der Tatsache, dass die Wärmepumpe auch bei tieferen Außenlufttemperaturen in Betrieb ist und dadurch einen größeren Temperaturhub benötigt, was sich in einem Mehraufwand für den Kompressor (Leistungsaufnahme Wärmepumpe) niederschlägt.

4 Energetischer Vergleich

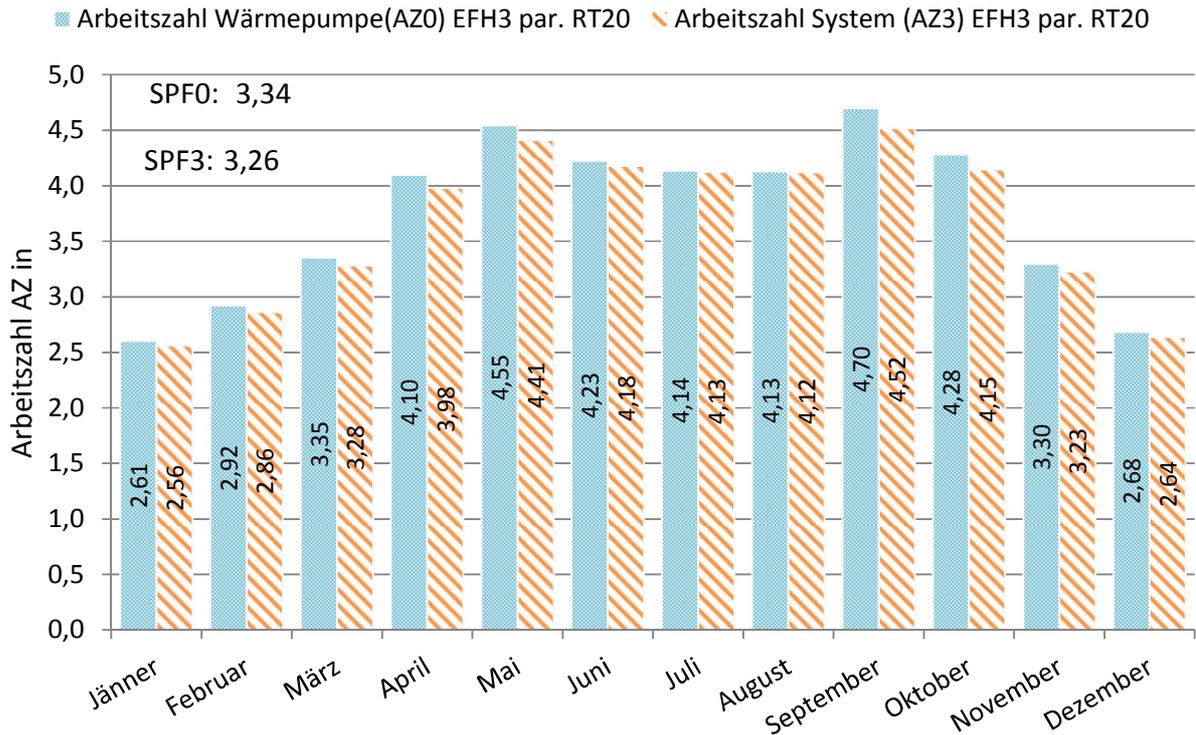


Abbildung 4-15: Arbeitsszahlen für EFH3 parallel RT20

Für den teilparallelen Fall, wo die Wärmepumpe beim Abschaltzeitpunkt von -4 °C außer Betrieb geht, ähneln sich die Ergebnisse im Vergleich zu den beiden anderen Fällen, wie in Abbildung 4-16 dargestellt. Es geht hervor, dass der Kessel einen niedrigeren Anteil zur Energiebereitstellung liefert als im alternativen Betrieb, jedoch einen höheren Anteil im Vergleich zum parallelen Betrieb aufweist. Dieses Ergebnis wurde über den Kesselnutzungsgrad ersichtlich welcher sich für den teilparallelen Fall mit 80,8 % ergibt und somit um 0,4 % höher als beim parallelen Betrieb, jedoch um 0,6 % niedriger als beim alternativen Betrieb liegt.

Der Kesselbetrieb im Verhältnis zur gelieferten Energie ergibt sich erwartungsgemäß etwas höher als jener des parallelen Betriebs mit 23,9 % jedoch geringer als für den alternativen Betrieb (24,5 %). Analog ergab sich daraus für die Wärmepumpe ein höherer Anteil im Vergleich zum parallelen und ein niedrigerer Anteil im Vergleich zum alternativen Betrieb.

4 Energetischer Vergleich

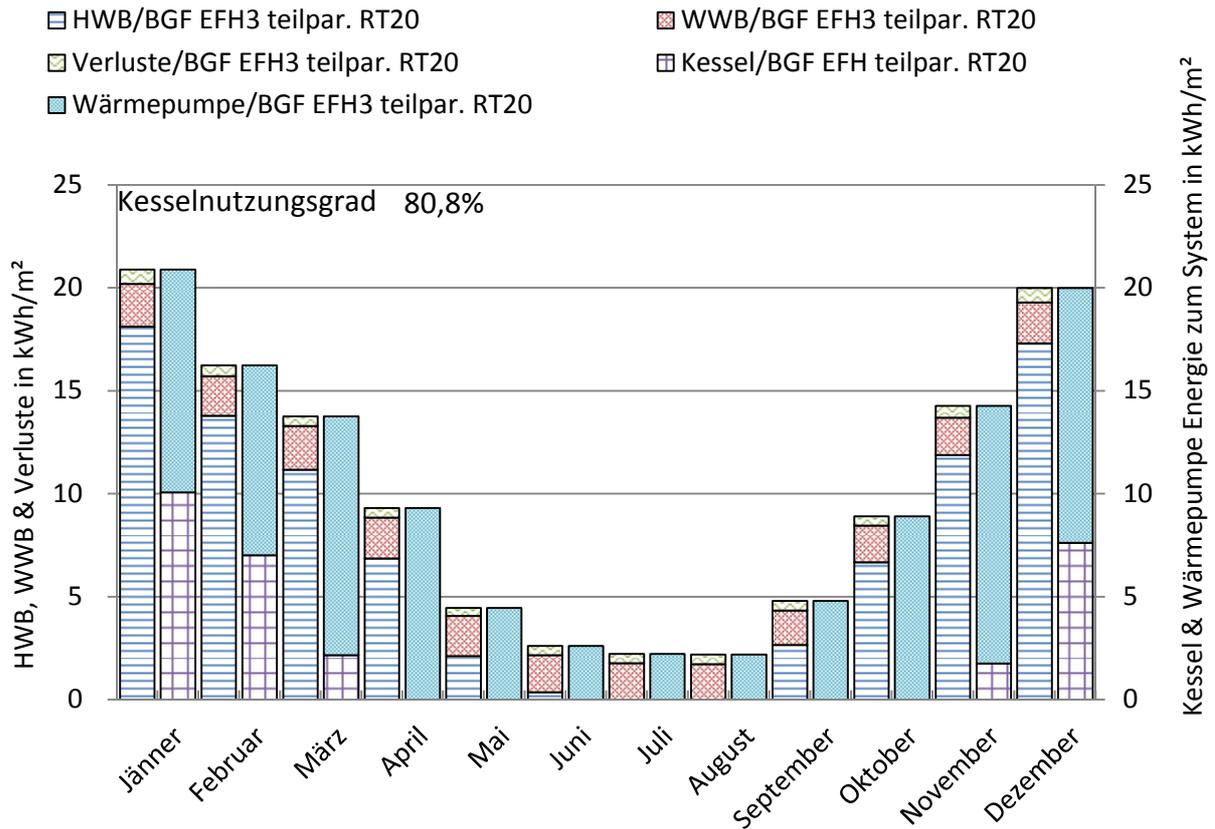


Abbildung 4-16: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH3 teilparallel RT20

Für die Arbeitszahlen kommt ein ähnliches Bild zustande. Diese liegen im Vergleich zum parallelen Betrieb höher, jedoch für den Vergleich zum alternativen Betrieb niedriger, wie in Abbildung 4-17 dargestellt.

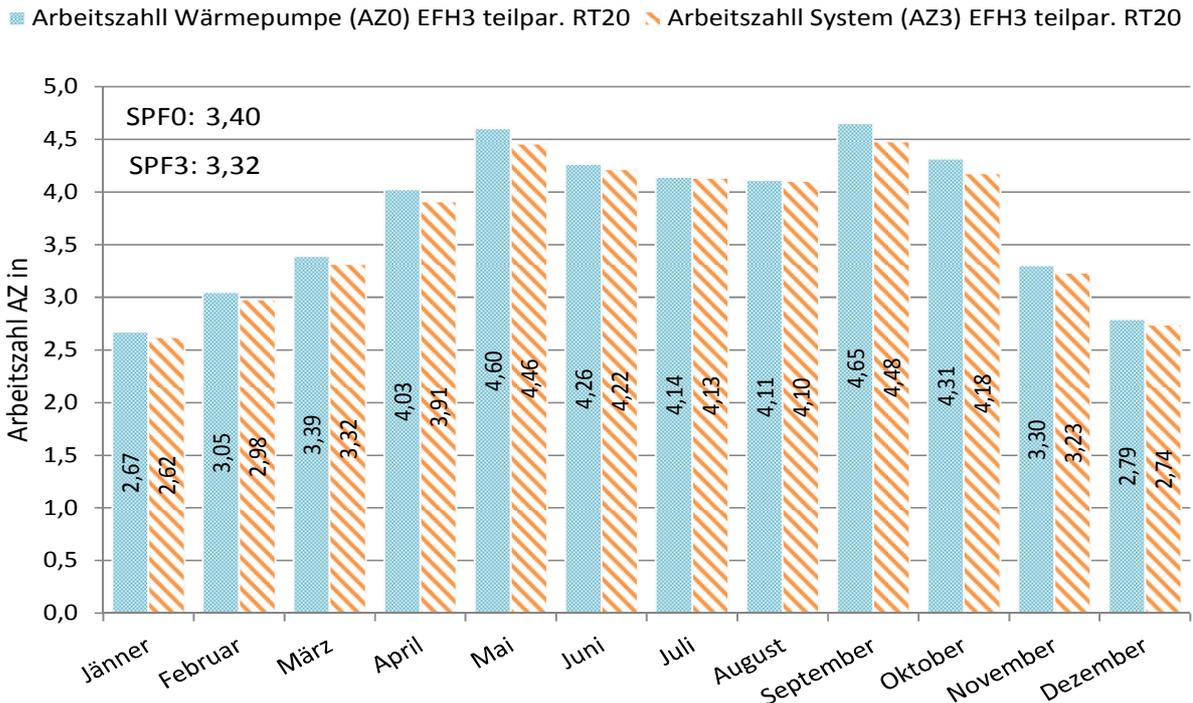


Abbildung 4-17: Arbeitszahlen für EHF3 teilparallel RT20

Für die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe (SPF0) als auch für SPF3, mit analoger Betrachtungsweise wie für den alternativen bzw. parallelen Betrieb, ergeben sich 3,40 für die Wärmepumpe und 3,32 für SPF3. Daraus ist ersichtlich, dass die Jahresarbeitszahlen des teilparallelen Betriebs zwischen den beiden anderen Fällen liegen.

4.3 Energetische Ergebnisse des Referenzgebäudes EFH2

Für das zweite Referenzgebäude (EFH2) wurden die Auswertungen analog vorgenommen, wobei hier nach Kap. 3.3.1 das Referenzgebäude jeweils mit einem modulierenden Kessel betrachtet wurde und drei verschiedene Energieträger (Gas, Öl, Pellets) zum Einsatz kamen. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Referenzgebäudes und dessen sanierten Fälle (EFH4) diskutiert und ein Vergleich, sowohl mit dem Referenzgebäude EFH1, sowie dem sanierten Fall EFH3, als auch untereinander angestellt.

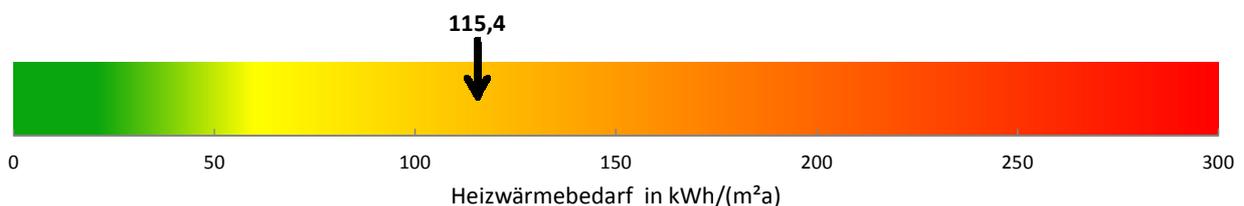


Abbildung 4-18: Heizwärmebedarf für EFH2

Aus der Simulation in Polysun® ergab sich aus der Berechnung der Mittelwerte des Heizleistungsbedarfs ein Heizwärmebedarf von 115 kWh/m²a, der deutlich geringer ist als für das Bestandsgebäude EFH1 (271 kWh/m²a) und im Vergleich zur Berechnung aus GEQ etwas höher, als der berechnete Wert liegt (+0,6 %). Diese Abweichung des HWB im Vergleich zur Berechnung von GEQ basiert wieder auf der unterschiedlichen Normaußentemperatur beider Programme und der Tatsache, dass in Polysun® der Heizleistungsbedarf der abgegebenen Leistung der Radiatoren entspricht.

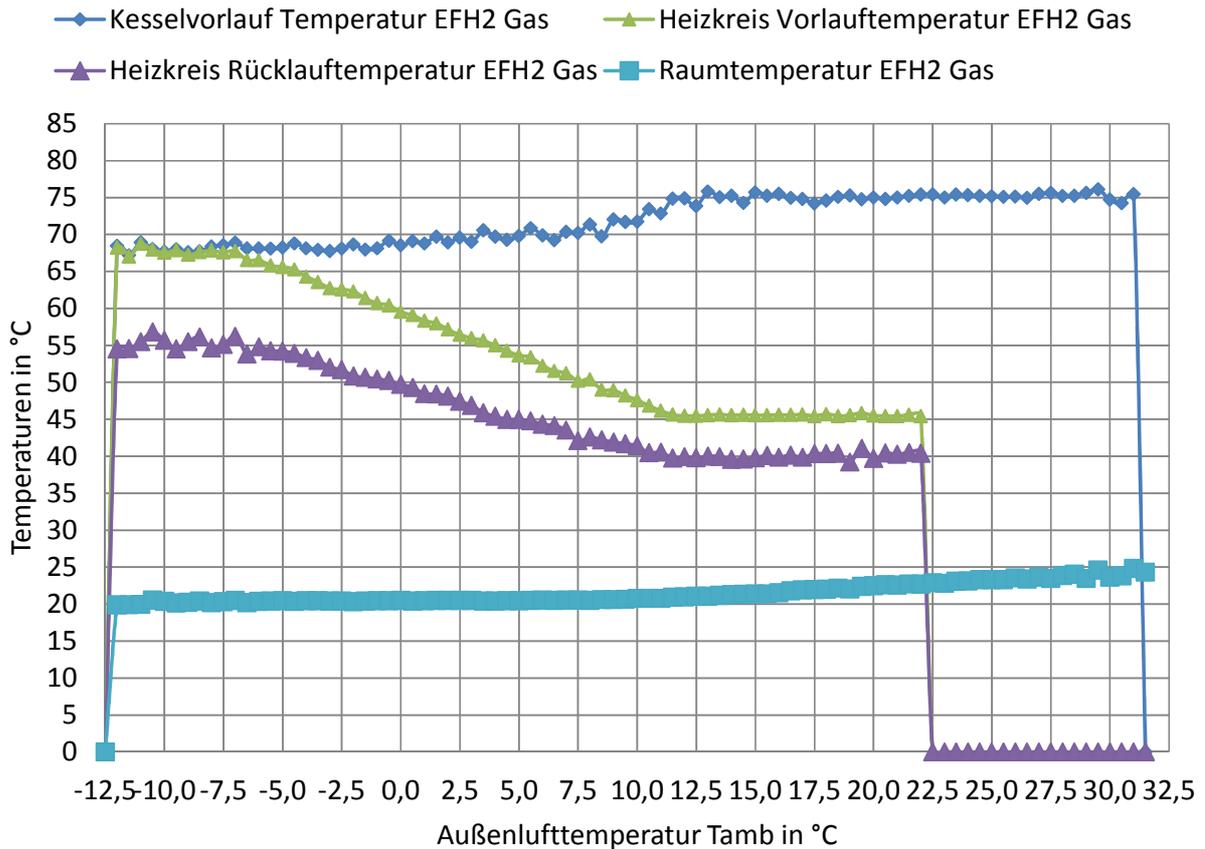


Abbildung 4-19: Systemtemperaturen für EFH2 Gas RT20

Grundsätzlich zeigt sich ein ähnliches Bild im Vergleich zum Referenzgebäude EFH1. Auch zeigen die Ergebnisse, dass das Gebäude EFH2 erst zu einem späteren Zeitpunkt beheizt werden muss.

Aus der Abbildung 4-19 ist ersichtlich, dass für den Kessel eine Sollvorlauftemperatur von 70 °C angegeben wird. Auch in dieser Abbildung ist die Heizgrenztemperatur ersichtlich, welche im Vergleich zum EFH1 (vgl. Abb. 4-2, 25 °C) schon bei etwa 22,5 °C erreicht wird. Dies liegt an der besseren Bauweise des Bestandsgebäudes EFH2 und der damit verbundenen besseren thermischen Speicherung solarer Gewinne.

Für die beiden anderen Fälle EFH2 Öl RT20 und EFH2 Pellets RT20 ergeben sich ähnliche Verläufe für die Systemtemperaturen und unterscheiden sich nicht wesentlich, weshalb auf eine Darstellung verzichtet wurde.

Im Vergleich zum Gebäude EFH1 unterscheiden sich die Verläufe der zugeführten Kesselleistung und der benötigte Brennstoffverbrauch wesentlich. Die Verläufe der unterschiedlichen Energieträger für das Gebäude EFH2 waren jedoch ähnlich. In Abbildung 4-20 sind als Beispiel der Verlauf der Kesselleistung und des Brennstoffverbrauchs für das EFH2 Gas RT20 dargestellt.

4 Energetischer Vergleich

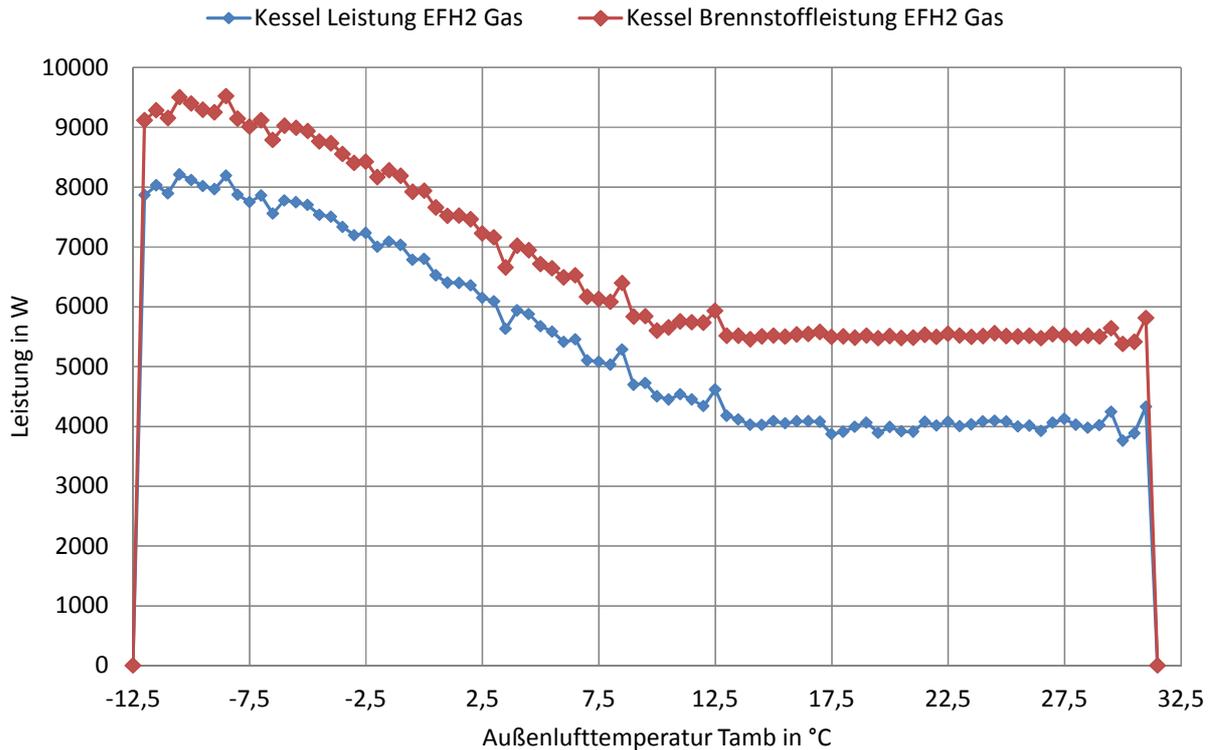


Abbildung 4-20: Verlauf der Kessel Leistung und Brennstoffleistung für EFH2 Gas RT20

Der Verlauf zeigt deutlich, dass die benötigte Kesselleistung, wie auch die Brennstoffleistung im Gegensatz zum Ölkessel des EFH1, je nach Leistungsbedarf abnimmt. Dies wird durch die modulierende Betriebsweise des Gaskessels erreicht. Im Allgemeinen gilt für Kessel, dass bei Nennleistung ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden kann, als im Teillastbetrieb oder bei Vollast, was auch gemäß Literatur (z.B. Diefenbach et al., 2002) bekannt ist. Für die Warmwasserbereitung ist aus Abbildung 4-20 erkennbar, dass der Kessel im Bereich der Außenlufttemperatur von rund 12,5 °C im Teillastbetrieb ist, wodurch sich vermuten lässt, dass hier schlechtere Wirkungsgrade zustande kommen.

Aus Abbildung 4-21 zeigt sich deutlich, dass während des Betriebes zur Deckung der Heizleistung ein annähernd konstanter Wirkungsgradverlauf für den Gaskessel ergibt. Im Bereich, wo der Kessel nur mehr zur Deckung des Warmwasserbedarfs (Teillastbetrieb) eingesetzt wird. (vgl. Abb. 4-21, Außenlufttemperatur 12,5 °C) sinkt der Wirkungsgrad des Gaskessel vom rund 0,88 auf 0,72. Im Vergleich zum Gebäude EFH1 (vgl. Abb. 4-2) sind die Wirkungsgrade sowohl im Heizbetrieb, als auch bei der Warmwasserbereitung, sprich im Teillastbetrieb höher.

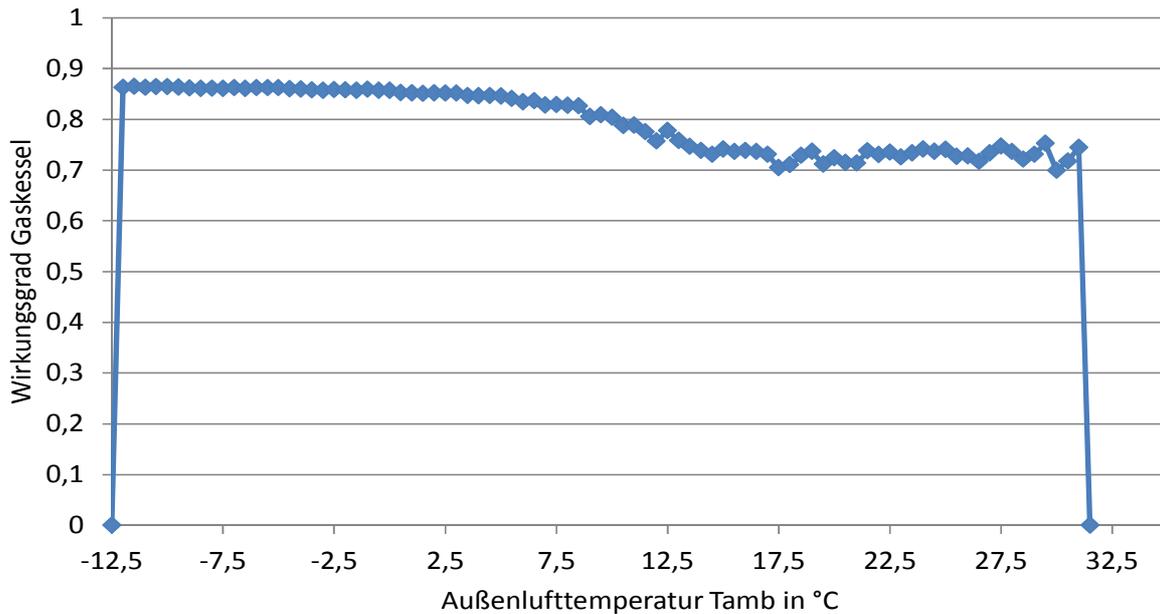


Abbildung 4-21: Wirkungsgrad Gaskessel EFH2

Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich für den Kesselnutzungsgrad der einzelnen Energieträger des Referenzgebäudes EFH2, welche in den folgenden Abbildungen dargestellt sind.

In Abbildung 4-22 sind der Heizwärmebedarf, der Warmwasserwärmebedarf, die Verluste, sowie die bereitgestellte Energie des Kessel, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche, dargestellt. Im Vergleich zum ersten Gebäude (EFH1) zeigt sich ein deutlicher Unterschied der benötigten Energie für die Heizung und die Warmwasserbereitung, was auch erwartet wurde. Der Warmwasserbedarf für beide Gebäude ist, wie bekannt, gleich groß. Der ersichtliche Unterschied im Vergleich zu Abbildung 4-4 ergibt sich aus einer unterschiedlichen Skalierung. Die Verluste wurden analog wie vorher berechnet und stellten wieder die Wärmeverluste von Rohrleitung und Warmwasserspeicher dar.

4 Energetischer Vergleich

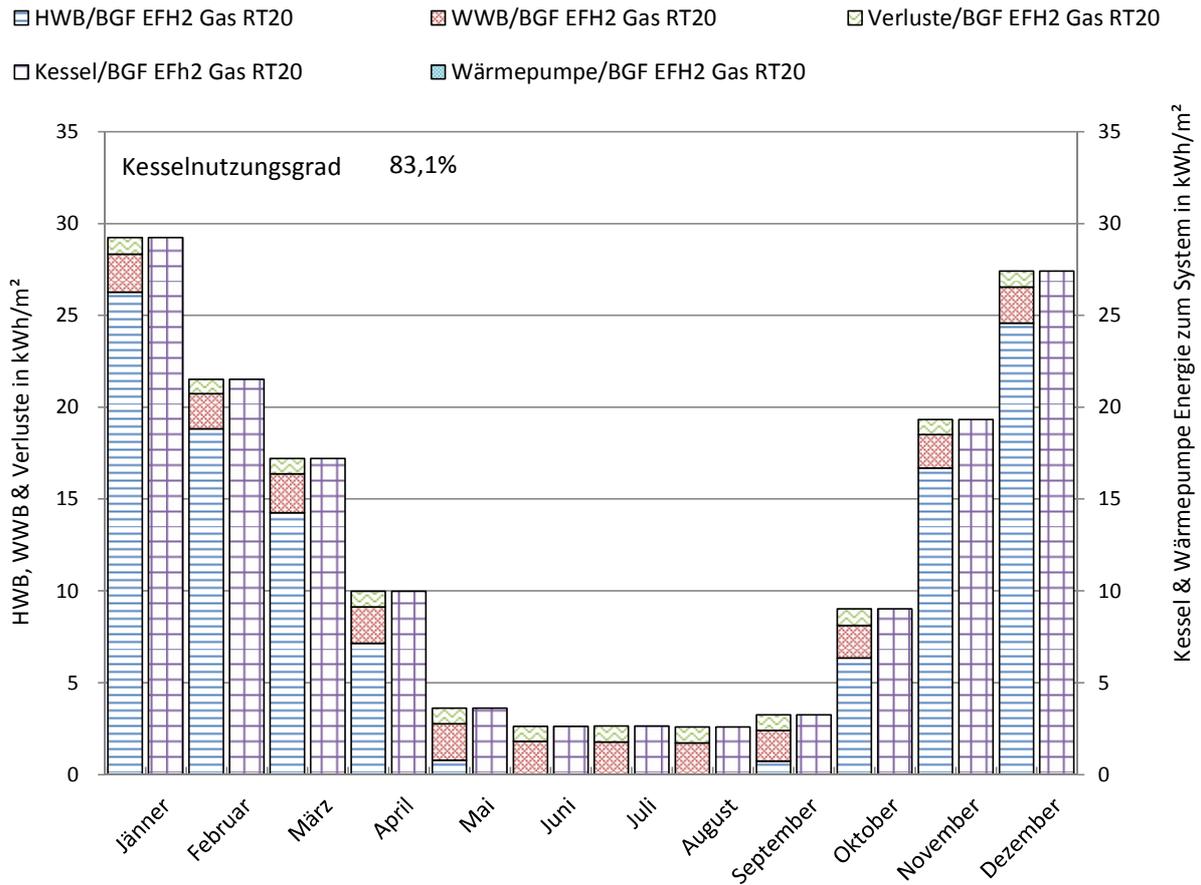


Abbildung 4-22: Energiebedarf und Bereitstellung auf Monatsbasis für EFH2 Gas RT20

Ersichtlich wurde auch, dass der Gaskessel im Gebäude EFH2 einen deutlich höheren Nutzungsgrad (83,1 %) aufweist als der nicht modulierende Ölkessel im EFH1 (79,3 %). Dieser Unterschied lag einerseits an dem verwendeten Energieträger (vgl. Abbildung 4-23) wie auch an einem besseren Standard des benutzten Kessels in der Simulation.

4 Energetischer Vergleich

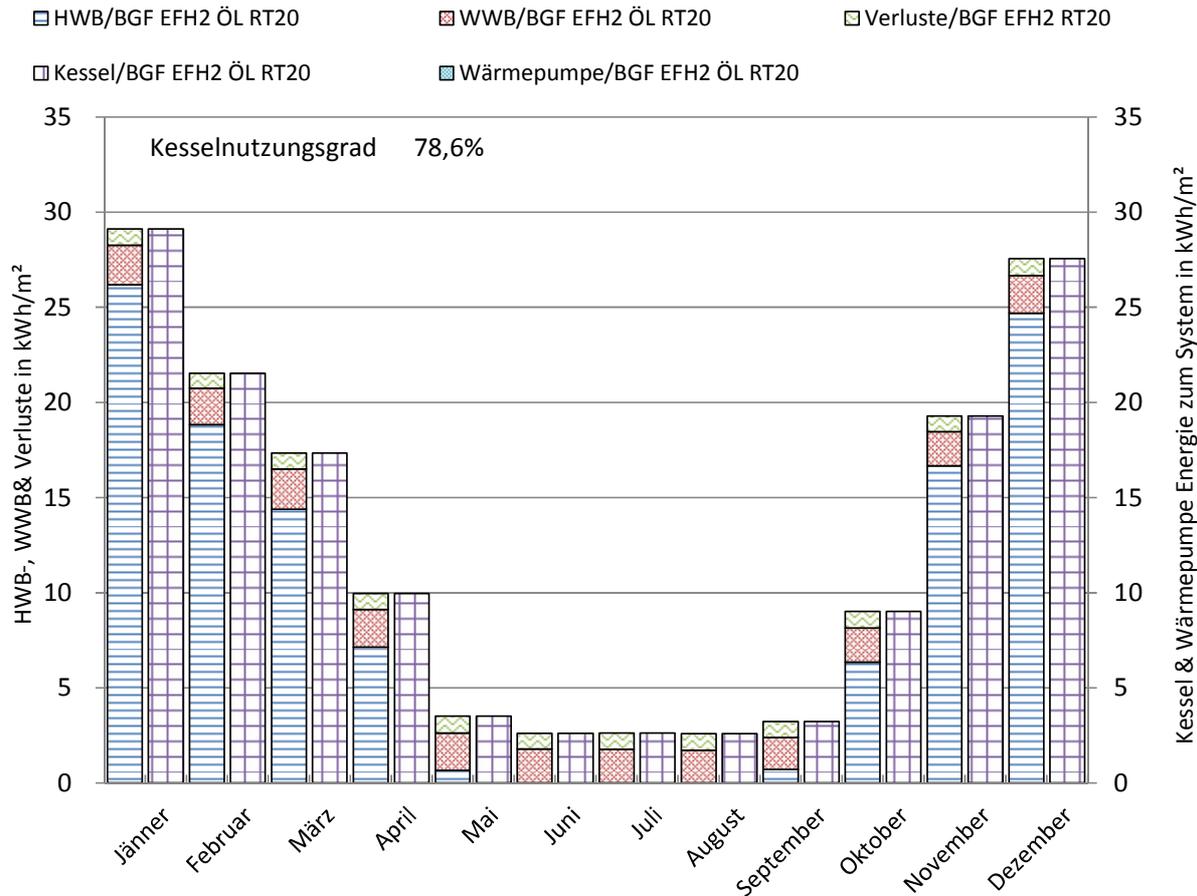


Abbildung 4-23: Energiebedarf und Bereitstellung auf Monatsbasis für EFH2 Öl RT20

Abbildung 4-23 zeigt prinzipiell dieselbe Darstellung wie Abbildung 4-21, da für dasselbe Gebäude bei gleicher Normaußentemperatur der Heizwärmebedarf gleich groß sein muss. Auch ist der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung gleich groß. Bemerkbar war jedoch der Unterschied bezüglich der Energieträger und den dazugehörigen Kesseln. Es zeigte sich, dass der modulierende Ölkessel nur einen Nutzungsgrad von 78,6 % im Vergleich zu 83,1 % des Gaskessels und damit einen um 4,6 %-Punkte geringeren Nutzungsgrad aufweist. Der Nutzungsgrad des Pelletskessel sank im Vergleich zum Ölkessel noch einmal auf 74 %. Wie bereits erwähnt liegt dieser Unterschied nicht an anders gewählten Regelparametern oder unterschiedlichen Leistungsbereichen der verschiedenen Kessel, sondern an den gewählten Energieträgern und deren Ausnutzung im Kessel.

4.4 Energetische Ergebnisse des Gebäudes EFH4 (saniertes EFH2)

Auch für den sanierten Fall des Referenzgebäudes EFH2, dem Gebäude EFH4, wurde wieder der Heizwärmebedarf, der in Abbildung 4-24 dargestellt ist, berechnet.

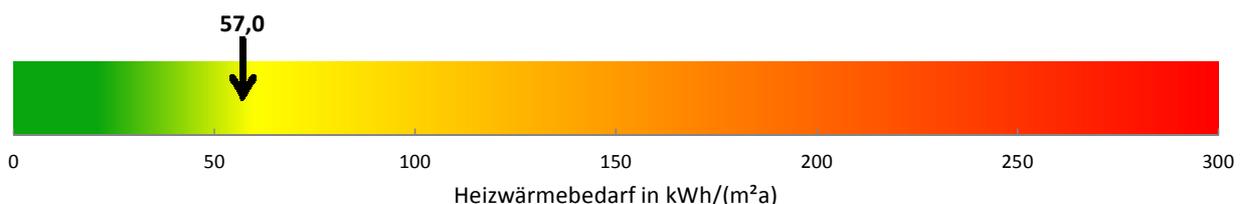


Abbildung 4-24: Heizwärmebedarf für EFH4

Aus der Berechnung ergab sich der Heizwärmebedarf des Gebäudes EFH4 mit 57 kWh/m²a. Dieser Wert liegt über dem Wert der Recherche von 54,5 kWh/m²a und dem Wert aus der

Berechnung in GEQ 54,8 kWh/m²a. Die Erklärung hierfür liegt wiederum in der unveränderlichen Normaußentemperatur und der Tatsache, dass der Heizwärmebedarf in Polysun® aus der abgegebenen Heizleistung der Radiatoren berechnet wird .

Die Abbildung 4-25 zeigt die Heizleistung über der Außenlufttemperatur für den Fall des Referenzgebäudes EFH4 mit modulierendem Gaskessel und der Wärmepumpe im alternativen Betrieb für eine Raumluftsollltemperatur von 20 °C mit dem Energieträger Gas (EFH4 Gas alternativ RT20). Auch sind die vom Hersteller angegebenen Leistungsdaten für die Wärmepumpe bei einer Warmwasservorlauftemperatur von 35 °C, 45 °C und 55 °C und bei Volllast (WP 8 kW @ 35 °C, WP 8 kW @ 45 °C, WP 8 kW @55 °C) dargestellt. Außerdem wurde eine lineare Heizleistungsbedarfskennlinie angenommen. Es zeigte sich aus der Simulation, dass der Schnittpunkt (tatsächlicher Bivalenzpunkt) der Wärmepumpenkennlinie und der Heizleistung bei rund -6 °C liegt. Auch zeigt sich, dass ab einer Außenlufttemperatur von 15 °C eine höhere Heizleistung benötigt werden würde. Dies kann jedoch nicht der Fall sein und ist auf die Mittelung der Werte und einer variablen Zeitschrittweite zurückzuführen.

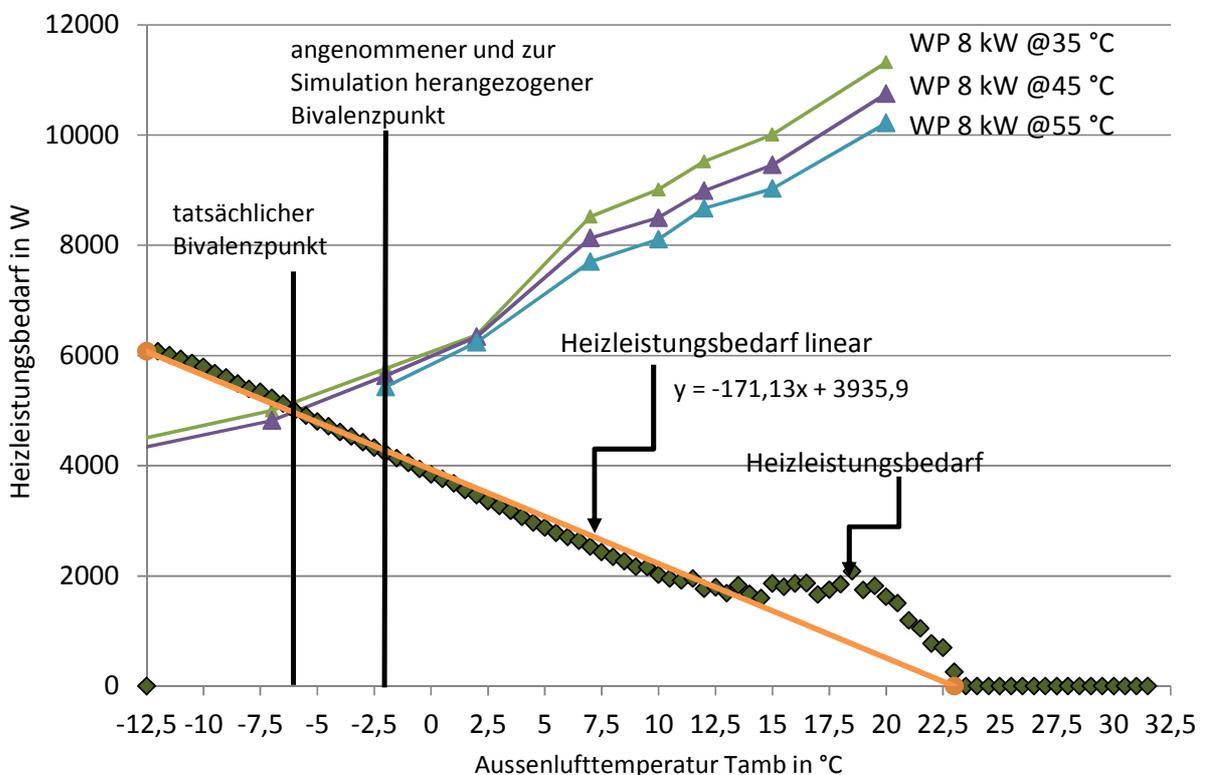


Abbildung 4-25: Heizlast und Heizleistungsbedarf über Außenlufttemperatur für EFH4 Gas alternativ RT20

Für alle anderen Varianten (parallel, teilparallel sowie Öl, Pellets) zeigt sich ein ähnliches Bild des Heizleistungsbedarfs, weshalb auf eine weitere grafische Darstellung verzichtet wird.

Die Abbildung 4-26 zeigt den Heizwärmebedarf, den Warmwasserbedarf, die Verluste, sowie die zugeführte Energie des Kessel und der Wärme, bezogen auf die Bruttogeschoßfläche, für die Variante EFH4 alternativ, wobei auch hier der Kessel bei einer Außenlufttemperatur von -2 °C einschaltet und die Wärmepumpe außer Betrieb geht. Auch hier liegt derselbe Warmwasserbedarf vor wie bei allen anderen Varianten und aufgrund des geringeren Heizwärmebedarfs wurde die Skalierung geändert. Durch die thermische Sanierung des Gebäudes EFH2 zum EFH 4 zeigt sich ein deutlich geringerer Energiebedarf von 26715 auf 6693 kWh/a.

4 Energetischer Vergleich

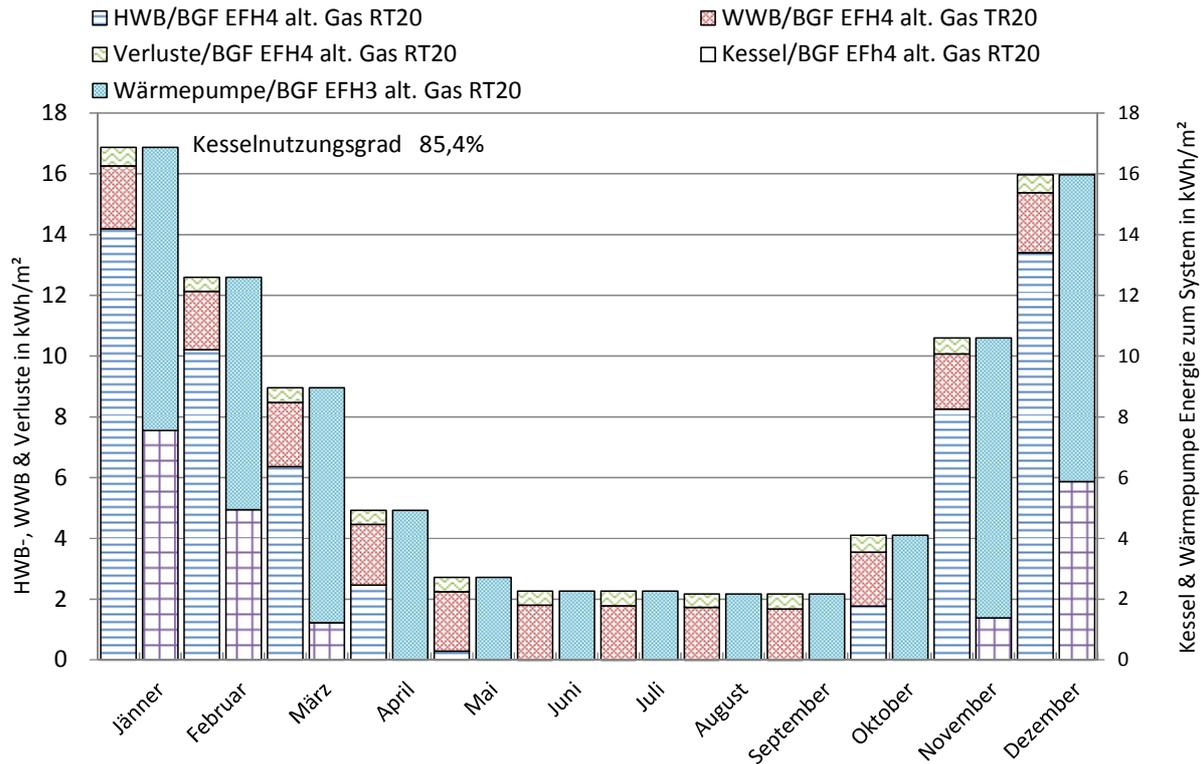


Abbildung 4-26: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH4 alt. Gas RT20

Es zeigt sich, dass die Wärmepumpe bereits im Jänner knapp über 50 % des benötigten Energiebedarfs zur Verfügung stellt. Unterschiedlich im Vergleich zu den anderen Gebäuden ist, dass für das Gebäude EFH4 nur mehr im Monat Mai ein geringer Heizwärmebedarf vorherrscht und in den restlichen Sommermonaten keiner mehr. Die Verluste in der Abbildung 4-26 stellen die Wärmeverluste für die Rohrleitungen, den Warmwasserspeicher und den neu integrierten Pufferspeicher dar.

Aus der Abbildung 4-27 geht hervor, dass die Wärmepumpe den Großteil des Energiebedarfs zur Verfügung stellt. Jedoch verändern sich die prozentuellen Anteile nur unwesentlich im Vergleich zur Variante EFH3 alternativ RT20. So lieferte die Wärmepumpe 75,48 % und der Kessel 24,52 % des benötigten Energiebedarfs pro Jahr. Dies bedeutet, dass der Anteil der Wärmepumpe im Vergleich zum alternativen Fall von EFH3 um vernachlässigbare 0,01 % geringer ausfällt.

Aufgrund der Integration der Wärmepumpe kommt es für den Kessel mit 85,4 % zu einem höheren Kesselnutzungsgrad als in der Ausgangssituation mit 83,1 %. Für die monatlichen Anteile verändern sich die Werte ebenfalls nur unwesentlich, wie in Abbildung 4-27 dargestellt.

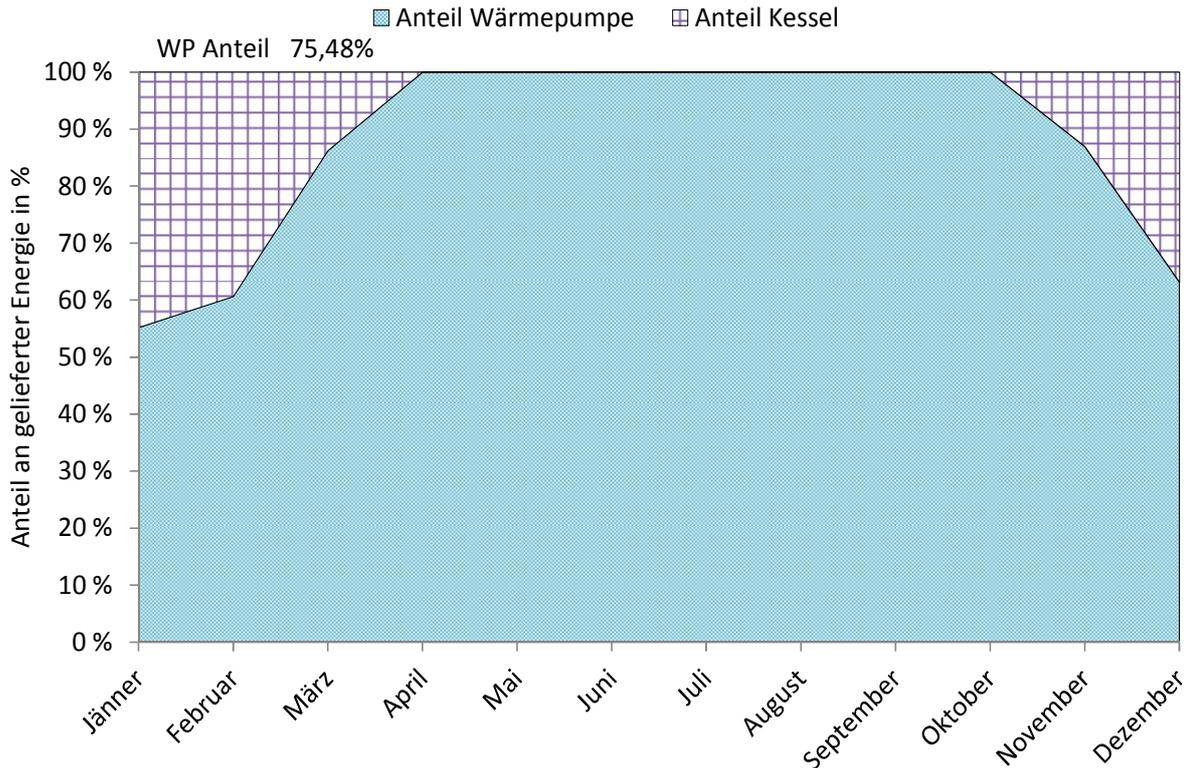


Abbildung 4-27: Anteil an gelieferter Energiebedarf für EFH4 alternativ Gas RT20

In Abbildung 4-28 sind die Arbeitszahlen für die Wärmepumpe SPF0 und SPF3 für EFH4 alternativ mit einer Raumlufthtemperatur von 20 °C und dem Energieträger Gas dargestellt. Prinzipiell verlaufen die Arbeitszahlen ähnlich dem alternativen Fall des Gebäudes EFH3, wobei sich Unterschiede vor allem in den Monaten Mai, September und Oktober ergeben. Im Vergleich zum EFH3 alternativ RT20 ergeben sich in diesen Monaten geringere Arbeitszahlen, da, wie schon in Abbildung 4-25 erkannt, der Heizwärmebedarf deutlich geringer ist und auch bei diesem Gebäude (EFH4) im Allgemeinen die Warmwasserbereitung bei Vollast und einer höheren Vorlauftemperatur bereitgestellt wird. Aus diesem Grund fällt auch die Jahresarbeitszahl für die Wärmepumpe (SPF0) und SPF3 deutlich geringer aus. Im Vergleich 3,42 (EFH3 alternativ RT20) zu 3,22 (EFH4 alternativ RT 20) für die Wärmepumpe. Für SPF3, wobei auch hier wieder die E-Patrone keine Energie zur Warmwasserbereitung liefert, 3,34 (EFH3 alternativ) zu 3,14 (EFH4 alternativ).

■ Arbeitszahl Wärmepumpe (AZ0) EFH4 alt. Gas RT20 ▨ Arbeitszahl System (AZ3) EFH4 alt. Gas RT20

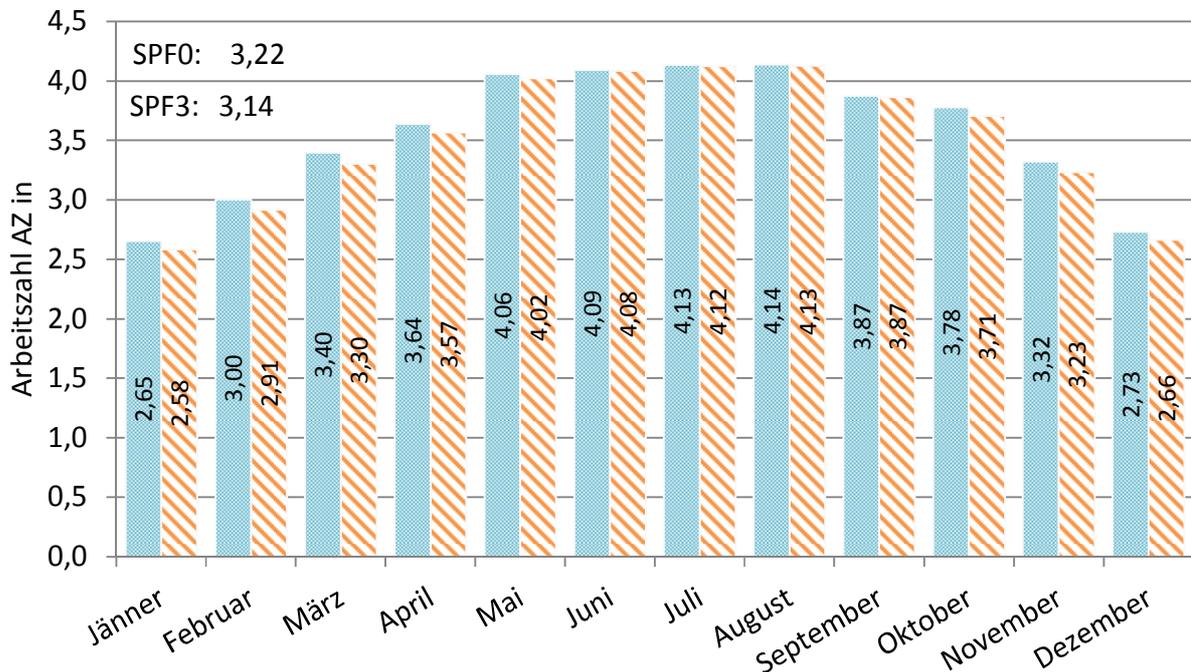


Abbildung 4-28: Wärmepumpen-Arbeitszahlen für EFH4 alt. Gas RT20

Auch für dieses Gebäude zeigt sich in Abbildung 4-29, dass die Wärmepumpe ab einer Außenlufttemperatur in Betrieb geht und im drehzahlgeregelten Heizbetrieb nahtlos die Vorlauftemperatur des Kessels annimmt. Im Gegensatz zum Heizbetrieb steigt die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe für die Warmwasserbereitung auf die maximale Vorlauftemperatur der Wärmepumpe an. Bei der Raumlufttemperatur wird die Solltemperatur bei tiefen Außenlufttemperaturen eingehalten. Im Vergleich zum EFH3 liegt die Raumlufttemperatur bei Außenlufttemperaturen ab 25 °C aber höher. Für dieses Gebäude beträgt die Raumlufttemperatur rund 25 °C. Für das Gebäude EFH3 dagegen liegt bei gleicher Außenlufttemperatur die Raumlufttemperatur bei 23 °C. Diese Erhöhung der Raumlufttemperatur ergab sich durch die bessere Bauweise des Gebäudes EFH4. Auch zeigte sich wieder, dass die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur des Heizkreises aufgrund des Wärmeaustausches, während der Sommermonate wieder auf die Raumlufttemperatur angehoben wird. Auch zeigte sich, dass der Kessel bis zu einer Außenlufttemperatur von 0 °C in Betrieb ist, was sich wieder aus der Auswertung der Simulation ergab, da es hierbei wieder Überschneidungen gab, sprich dass in der Simulation eine Außenlufttemperatur von knapp unter -2 °C vorherrschte, jedoch aufgrund eines sehr kurzen Zeitschritt diese Werte bei höheren Außenlufttemperaturen eingetragen wurden.

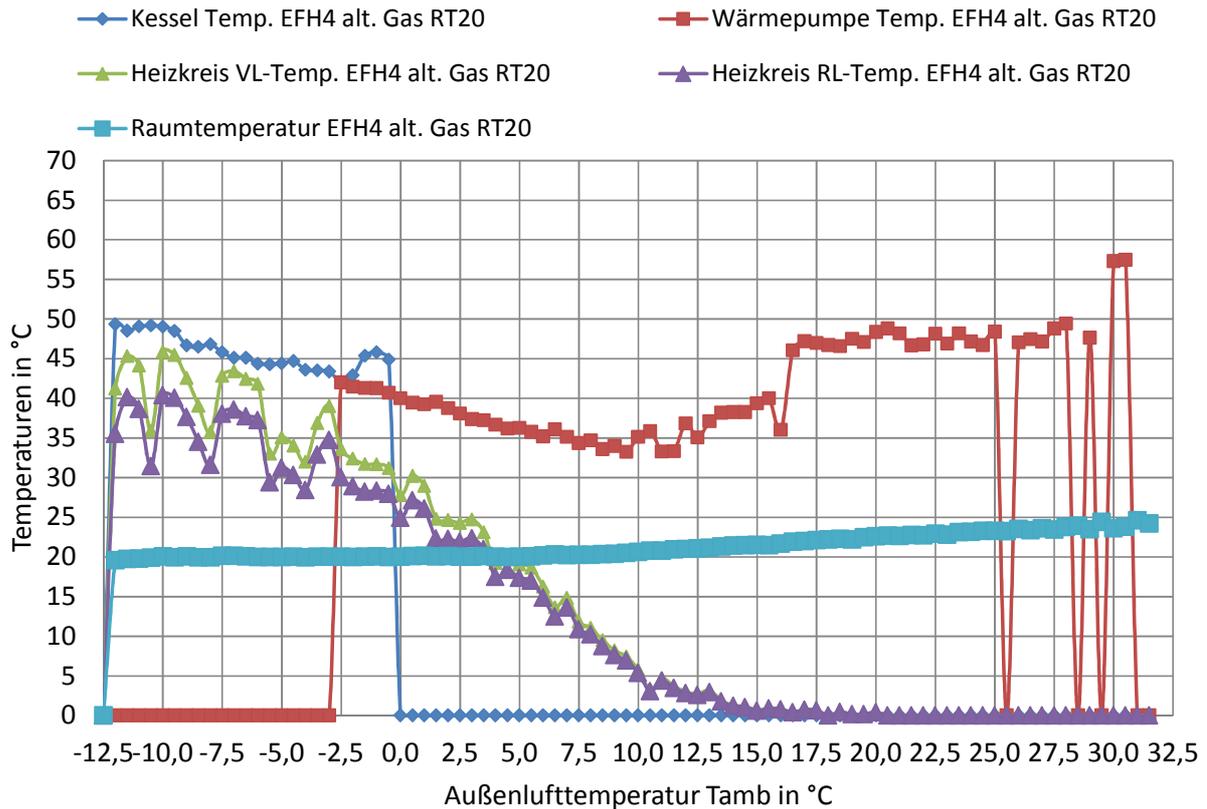


Abbildung 4-29: Systemtemperaturen für EFH4 alt. Gas RT20

In weiterer Folge wird auf die Darstellung über der Außenlufttemperatur, sowohl für die Energieträger Öl und Pellets als auch für die parallele und teilparallele Varianten verzichtet, da diese ähnliche Verläufe zeigen und keine weiteren Erkenntnisse liefern. Auch wird die Darstellung der alternative Betriebsart der beiden Energieträger Öl und Pellets vorgezogen gegenüber der parallelen und teilparallelen Variante des Energieträger Gas. Somit wird ein Überblick der Energieträger zueinander geschaffen und wird in weiterer Folge in diesem Kapitel auch für die parallele und teilparallele Betriebsart so gehandhabt.

Abbildung 4-30 zeigt wieder den Energiebedarf und die Bereitstellung der Energie des Gebäudes EFH4. Der wesentliche Unterschied in diesem Diagramm, im Vergleich zur Abbildung 4-27, ist der Kesselnutzungsgrad für den Ölkessel, der sich im Vergleich zum Ausgangszustand (EFH2) wiederum erhöhte (von 78,6 % auf 80,4 %). Jedoch liegt auch dieser Wert im Vergleich zum Gaskessels aus Abbildung 4-22 (mit 83,1 %) niedriger.

4 Energetischer Vergleich

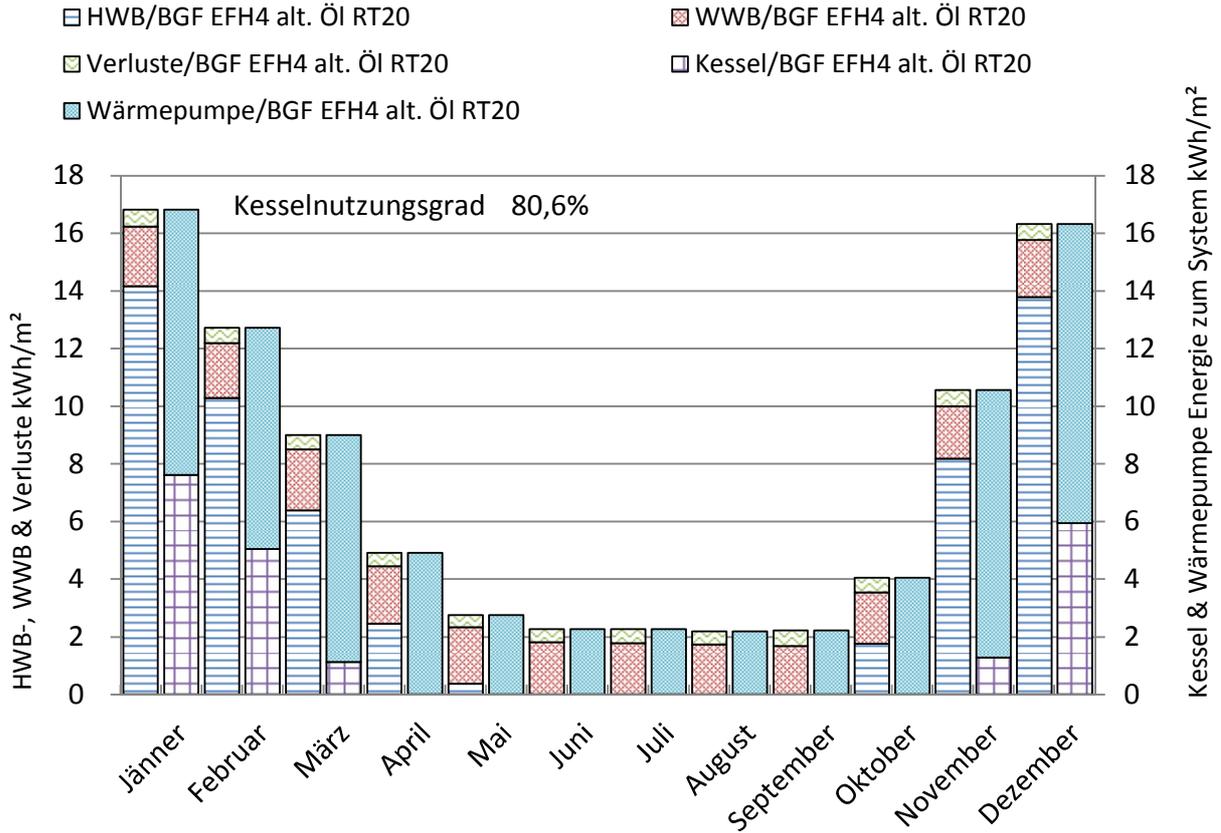


Abbildung 4-30: Energiebedarf und Bereitstellung auf Monatsbasis für EFH4 alternativ ÖI RT20

Weiters bleibt der Anteil der Energiebereitstellung für den Ökessel annähernd gleich und verändert sich nur um 0,1 % von 24,5 % auf 24,4 %. Aus dieser Tatsache ergibt sich, dass die Wärmepumpe einen Jahresanteil an bereitgestellter Energie von 75,6 % liefert.

4 Energetischer Vergleich

■ Arbeitszahl Wärmepumpe (AZ0) EFH4 alt. Öl RT20 ▨ Arbeitszahl System (AZ3) EFH4 alt. Öl RT20

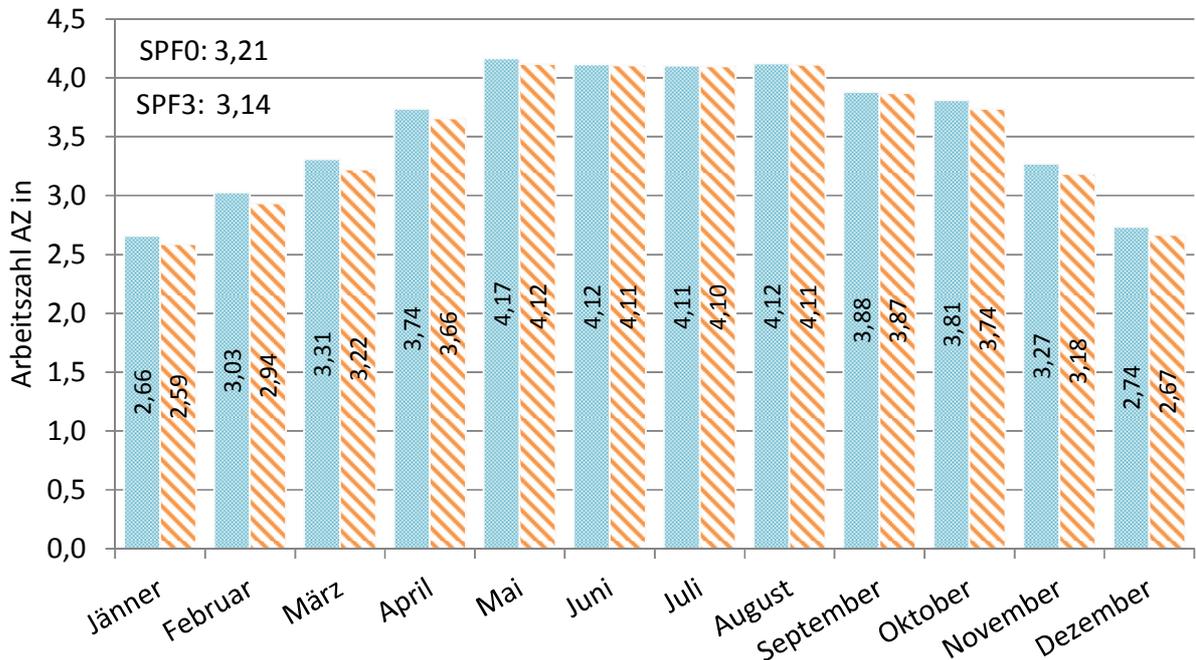


Abbildung 4-31: Wärmepumpen-Arbeitszahlen für EFH4 alt. Öl RT20

Die Arbeitszahlen ähneln jenen der alternativen Variante mit einem Gaskessel. Sowohl für die Wärmepumpe, als auch für AZ3. Zusätzlich ist dies an den Jahresarbeitszahlen ersichtlich, die sowohl für die Wärmepumpe mit 3,21 nahezu und für SPF3 mit 3,14 gleich sind.

Für den Pelletskessel zeigt sich in Abbildung 4-32 ein annähernd gleiches Ergebnis für den Heizwärmebedarf, Warmwasserbedarf und die dem System zugeführten Energien. Der auffälligste Unterschied ist der Nutzungsgrad des Pelletskessel, der im Vergleich zum Ausgangszustand (EFH2) mit 76,6 % höher ausfällt. Im Vergleich zu den beiden anderen Energieträgern (Gas 85,4 % und Öl 80,6 %) aber einen deutlich geringeren Nutzungsgrad aufweist.

4 Energetischer Vergleich

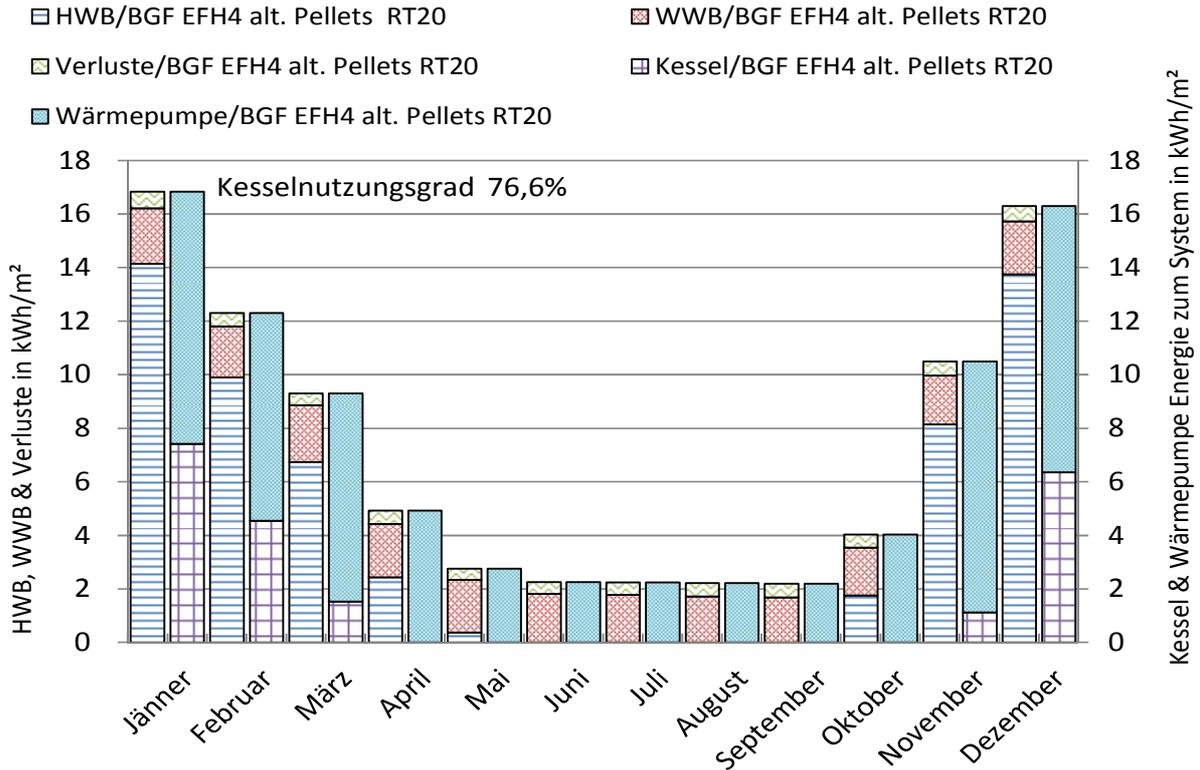


Abbildung 4-32: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH4 alternativ Pellets RT20

Auch für die Arbeitszahlen verändert sich der Verlauf kaum in Bezug auf die Varianten mit Gas und Öl, wie aus Abbildung 4-33 ersichtlich ist. Die Jahresarbeitszahl für Wärmepumpe mit 3,22 und für SPF3 mit 3,14 sind identisch mit den Jahresarbeitszahlen aus EFH4 alternativ Gas RT20.

■ Arbeitszahl Wärmepumpe (AZ0) EFH4 alt. Pellets RT20 ▨ Arbeitszahl System (AZ3) EFH4 alt. Pellets RT20

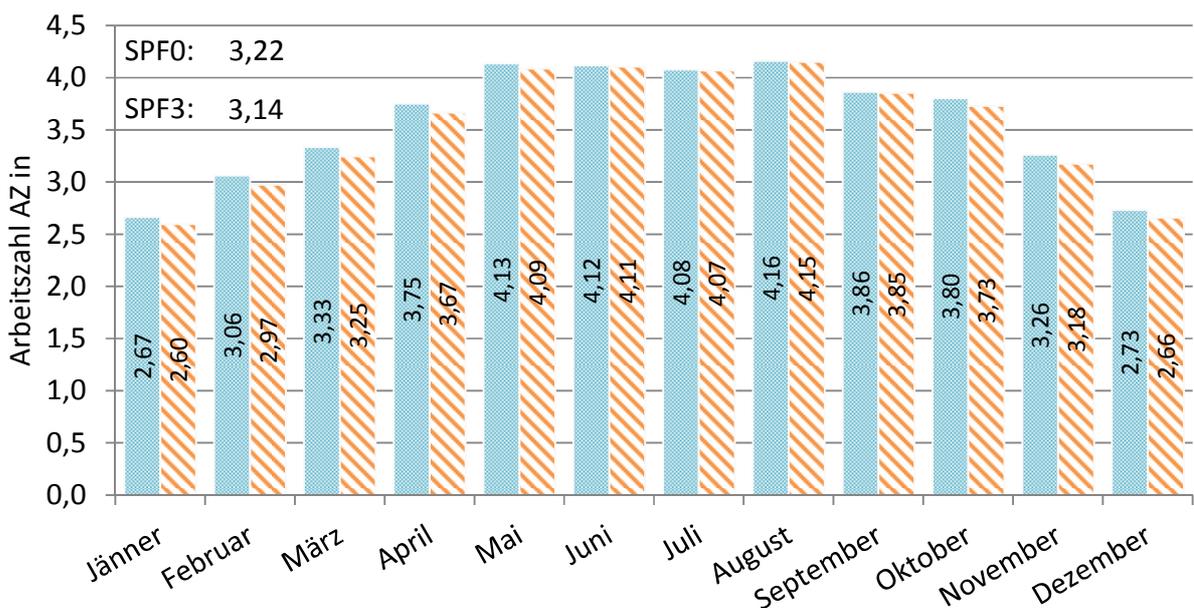


Abbildung 4-33: Arbeitszahlen EFH4 alternativ Pellets RT20

Aus diesen energetischen Vergleichen der drei Varianten lässt sich schließen, dass es für die Wärmepumpe kaum einen Unterschied macht, welcher Kessel als zusätzlicher Wärmeerzeuger zum Einsatz kommt. Auch bei dieser Variante mit dem Pelletskessel liefert der Kessel einen Jahresanteil an benötigter Energie von 24,42 %, was annähernd gleich mit dem Ölkessel und nur geringfügig weniger als beim der Gaskessel ist.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurde in weiterer Folge darauf verzichtet den Energiebedarf und die Energiebereitstellung für die parallelen und teilparallelen Varianten darzustellen. Ebenso wurde für beide Varianten nur mehr der Verlauf der Arbeitszahlen für die Wärmepumpe und als zweiten Wärmeerzeuger den Gaskessel dargestellt und alle weiteren Ergebnisse betreffend Öl- und Pelletskessel in tabellarischer Form zusammengefasst.

Am Verlauf der Arbeitszahlen nach Abbildung 4-34 zeigte sich deutlich, dass beim parallelen Betrieb die Arbeitszahlen im Vergleich zum alternativen Betrieb abnahmen. Dies beruhte darauf, dass im parallelen Betrieb die Wärmepumpe auch bei den tieferen Außenlufttemperaturen eingeschaltet war. Der Betrieb der Wärmepumpe bei niedrigen Außenlufttemperaturen benötigt einen höheren Temperturhub, was zu einer höheren Leistungsaufnahme des Kompressors führt. Aufgrund dieser höheren Leistungsaufnahme ergeben sich nach Gl. 2-8 bzw. nach Gl. 2-10 geringere Arbeitszahlen bzw. Jahresarbeitszahlen. Im Vergleich zum Gebäude EFH4 alternativ Gas RT20 zeigte sich für die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe (SPF0) eine Reduzierung von 3,22 auf 3,05 und bei SPF3 eine Reduzierung von 3,14 auf 2,99.

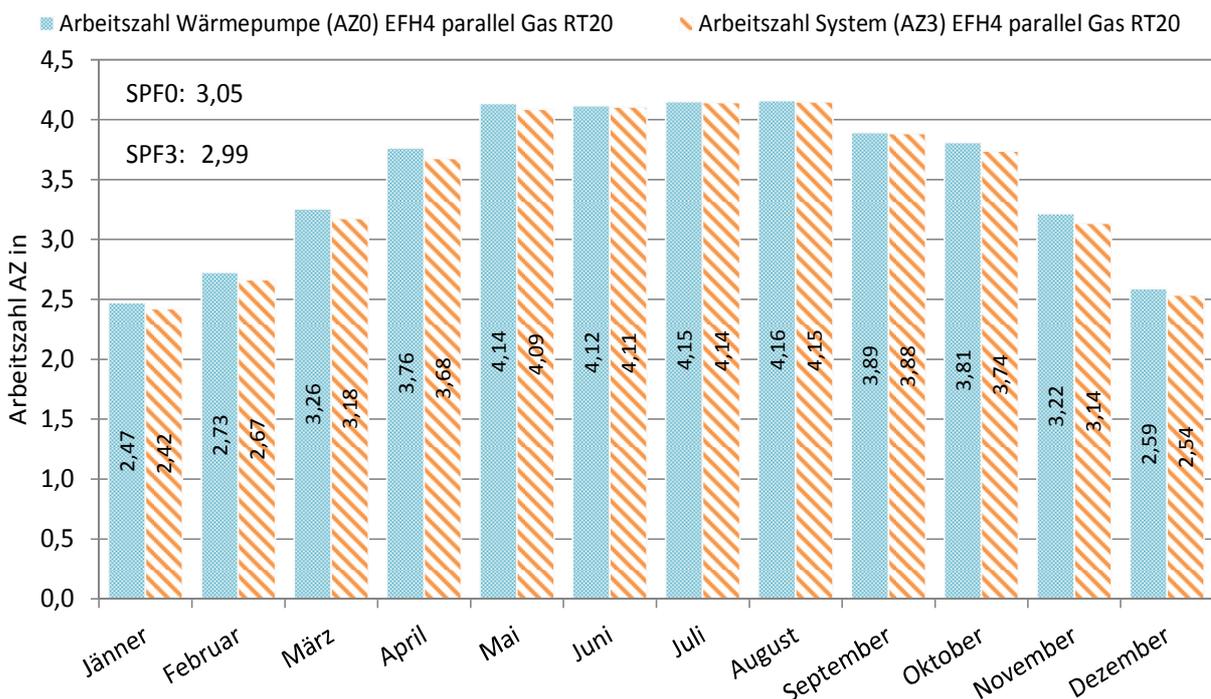


Abbildung 4-34: Arbeitszahlen für EFH4 parallel Gas RT20

Der Anteil der gelieferten Energie des Kessel wurde aufgrund des parallelen Betriebs der Wärmepumpe reduziert und zwar zu einem Jahresanteil von 19,74 %. Folglich steigerte sich der Anteil der Wärmepumpe auf 80,26 %.

Durch die Reduktion des Anteils des Kessels, verschlechterte sich auch der Nutzungsgrad des Kessels von 85,4 % (EFH4 alt. Gas RT20) auf 83,3 %.

4 Energetischer Vergleich

Ähnliche Verläufe zeigen sich, wie oben erwähnt, für die Energieträger Öl und Pellets, deren Ergebnisse in Tabelle 4-1 dargestellt sind.

Tabelle 4-1: Ergebnisse für parallelen Betrieb mit Öl bzw. Pellets

	EFH4 parallel Öl RT20	EFH4 parallel Pellets RT20
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe (SPF0)	3,03	3,03
Jahresarbeitszahl SPF3	2,97	2,97
Nutzungsgrad Kessel	78,50 %	73,80 %
Anteil Wärmepumpe	80,82 %	81,88 %
Anteil Kessel	19,18 %	18,12 %

Der Verlauf für den teilparallelen Betrieb nach Abbildung 4-35 zeigt ebenso das erwartete Ergebnis. Die Arbeitszahlen steigen im Vergleich zum parallelen Betrieb (EFH4 parallel Gas RT20) wieder leicht an. Dieser Anstieg der Arbeitszahlen resultiert aus der Tatsache, dass die Wärmepumpe parallel bis zum Abschaltzeitpunkt (vgl. Kapitel 3.31) mit dem Kessel betrieben wird. Jedoch muss die Wärmepumpe einen höheren Temperaturhub bei den niedrigeren Außenlufttemperaturen gewährleisten, weshalb die Arbeitszahlen noch deutlich geringer sind, als die des alternativen (EFH4 alternativ Gas RT20) Betriebes.

■ Arbeitszahl Wärmepumpe (AZ0) EFH4 teilpar. Gas RT20 ▨ Arbeitszahl System (AZ3) EFH4 teilpar. Gas RT20

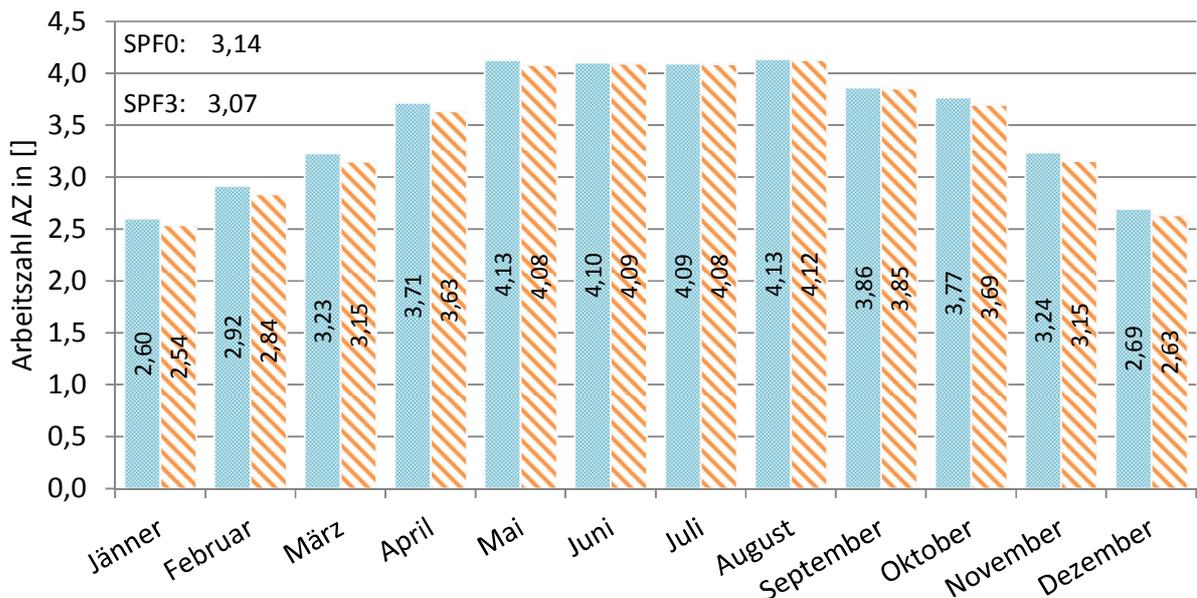


Abbildung 4-35: Arbeitszahlen für EFH4 teilparallel Gas RT20

Durch den teilparallelen Betrieb der Wärmepumpe steigt auch der Anteil der zugeführten Energie des Kessels, wohingegen der Anteil der Wärmepumpe wieder sinkt. Der Anteil des Kessels steigt auf 22,04 % und der Anteil der Wärmepumpe fällt auf 77,96 %. Der teilparallele Betrieb hat Auswirkungen auf den Kesselnutzungsgrad, der auf 84,6 % steigt, da der Kessel den Energiebedarf ab dem Abschaltzeitpunkt alleine stemmt.

Wie auch beim parallelen Betrieb verhalten sich die teilparallelen Verläufe der beiden anderen Energieträger ähnlich der Verläufe des teilparallelen Betriebes für Gas und wurden zusammenfassend in Tabelle 4-2 dargestellt.

4 Energetischer Vergleich

Tabelle 4-2: Ergebnisse für den teilparallelen Betrieb für Öl bzw. Pellets

	EFH4 teilparallel Öl RT20	EFH4 teilparallel Pellets RT20
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe (SPF0)	3,14	3,15
Jahresarbeitszahl SPF3	3,07	3,08
Nutzungsgrad Kessel	79,90 %	75,50 %
Anteil Wärmepumpe	77,65 %	78,54 %
Anteil Kessel	22,35 %	21,46 %

4.5 Vergleich des Endenergieverbrauchs und des Primärenergieverbrauchs

Mit den Ergebnissen aus der Simulation und den oben ausgeführten Erkenntnissen ließ sich auch der Endenergieverbrauch der einzelnen Varianten untereinander vergleichen, welche in Tabelle 4-3 und Tabelle 4-4 dargestellt sind.

Tabelle 4-3: Endenergieverbrauch (HEB), Brennstoffverbrauch(B), Heizöläquivalent(H_{eq}), Stromverbrauch(W_{el}) und Primärenergieverbrauch(PEB) für EFH1 bzw. EFH3

	HEB in kWh/a	B in kWh/a	H_{eq} in l/a	W_{el} in kWh/a	PEB in kWh/a
EFH1	57146	57146	5658	0	70290
EFH3 alternativ RT20	9332	5383	533	3949	14164
EFH3 parallel RT20	9181	5036	499	4144	14111
EFH3 teilparallel RT20	9314	5307	525	4008	14182

Aus der Tabelle 4-3 ist ersichtlich, dass für das Bestandsgebäude EFH1 ein Endenergieverbrauch von 57146 kWh/a benötigt wird, um den Energiebedarf (Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf) abzudecken. Dieser Energieverbrauch, welcher mit dem Energieinhalt (10,1 kWh/l) von Öl umgerechnet wurde, ist äquivalent zu einem Heizölverbrauch von 5658 l/a.

Aus der Tabelle 4-3 ist weiter ersichtlich, dass bei einer Ausführung der Variante EFH3 alternativ RT20 5125 l/a im Vergleich zum Gebäude EFH1 eingespart werden können. Auch für die beiden anderen Varianten kann eine Einsparung von 5159 l/a (EFH3 parallel RT20) sowie 5133 l/a (EFH3 teilparallel RT20) Heizöl erreicht werden. Jedoch ist aus der Tabelle auch ersichtlich, dass ein Stromverbrauch für die Wärmepumpe in allen Varianten für das EFH3 hinzukommt.

Aufgrund des zusätzlichen Strombedarfs der Wärmepumpe können diese Werte jedoch nicht als absolutes Einsparpotential wahrgenommen werden, da diese auch zum Teil durch die Umstellung des Energieträgers erreicht werden. Angesichts dessen, bot sich ein Vergleich der Primärenergieverbräuche an. Der Primärenergieverbrauch, wurde mit den im Anhang hinterlegten Primärenergiefaktoren aus dem Energieverbrauch, entsprechend dem Anteil des Energieträgers (Öl, Gas, Pellets und Strom) berechnet.

Aus dieser Berechnung ergibt sich eine Einsparung des Primärenergiebedarfs von 78,85 % bzw. von 56126, kWh/a für EFH3 alternativ RT20 gegenüber dem Gebäude EFH1. Für die beiden anderen Varianten ergaben sich Einsparungen bezüglich des Primärenergieverbrauches von 56179 kWh/a (79,93 %) für den parallelen Fall und 55384 kWh/a (78,79 %) für den teilparallelen Fall.

Analog wurden auch die Werte für das zweite Gebäude berechnet. Aus Tabelle 4-4 wurde ersichtlich, dass aufgrund des schlechteren Nutzungsgrads des Pelletskessels im Vergleich zum Ölkessel für das Bestandsgebäude (EFH2), der Pelletskessel (EFH2 Pellets) einen um 1657 kWh/a höheren Endenergiebedarf aufweist. Entgegen des Energieverbrauchs zeigte der Primärenergieverbrauch, dass aufgrund des geringeren Primärenergiefaktors von Pellets, das Gebäude mit dem Pelletskessel einen um 2458 kWh/a geringeren Primärenergieverbrauch, als das mit dem Ölkessel hat.

Außerdem zeigte sich wieder ein erhebliches Einsparpotential der sanierten Fälle gegenüber dem Bestandsgebäude, welche beispielhaft für den Energieträger Gas berechnet wurden.

4 Energetischer Vergleich

So ergab sich für den alternativen Betrieb (EFH4 alternativ RT20) eine Ersparnis für den Primärenergiebedarf von 21197 kWh/a für den parallelen Betrieb (EFH4 parallel RT20) eine Ersparnis von 21204 kWh/a und für den teilparallelen Betrieb (EFH4 teilparallel RT20) eine Ersparnis von 21239 kWh/a. In Prozentpunkten würde dies eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs für alle drei Varianten von rund 68 % bedeuten, daraus ließe sich ableiten, dass keine Variante des Gebäudes EFH4 einen relevanten Vorteil hätte.

Tabelle 4-4: Endenergieverbrauch (HEB), Brennstoffverbrauch(B), Heizöläquivalent(H_{eq}), Stromverbrauch(W_{el}) und Primärenergieverbrauch(PEB) für EFH2 bzw. EFH4

	HEB in kWh/a	B in kWh/a	H_{eq} in l/a	W_{el} in kWh/a	PEB in kWh/a
EFH2 Gas	26715	26715	2645	0	31257
EFH2 Öl	28314	28314	2803	0	34826
EFH2 Pellets	29970	29970	2967	0	32368
EFH4 alternativ Gas RT20	6693	3682	365	3011	10059
EFH4 parallel Gas RT20	6446	3053	302	3393	10052
EFH4 teilparallel Gas RT20	6542	3348	332	3194	10018
EFH4 alternativ Öl RT20	6932	3901	386	3031	10588
EFH4 parallel Öl RT20	6583	3145	311	3438	10435
EFH4 teilparallel Öl RT20	6781	3597	356	3184	10505
EFH4 alternativ Pellets RT20	7120	4101	406	3019	10196
EFH4 parallel Pellets RT20	6656	3169	314	3487	10083
EFH4 teilparallel Pellets RT20	6864	3656	362	3208	10076

4.6 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Für alle Varianten wurden in weiterer Folge Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Einflüsse der verschiedenen Parameter zu eruieren. Für die Sensitivitäten wurden folgende Parameter, sowohl für das Gebäude EFH3 als auch für das Gebäude EFH4 verändert. Einerseits wurde die Raumlufftemperatur verändert. Für das Gebäude EFH 3 wurde die Raumlufftemperatur einmal auf 22 °C und einmal auf 24 °C gesetzt. Für das Gebäude EFH4 wurde die Raumlufftemperatur einmal auf 24 °C verändert. Außerdem wurde der Bivalenzpunkt für beide Gebäude verändert, einmal auf -5 °C und einmal auf +2 °C. Gleichzeitig wurde auch der Abschaltpunkt mitverändert. Für das Gebäude EFH3 wurde zusätzlich noch die 8 kW Wärmepumpe durch eine 11 kW Wärmepumpe ersetzt und einmal die Raumlufftemperatur auf 20 °C und andererseits auf 24 °C betrieben. Außerdem sei erwähnt, dass für den angenommenen Fall einer 11 kW Wärmepumpe der 150 l Pufferspeicher im Heizkreis des Anlagenschemas durch einen 400 l Pufferspeicher ersetzt wurde, um so den höheren Volumenstrom der 11 kW Wärmepumpe auszugleichen.

Zusammenfassend wurden die Annahmen in Tabelle 4-5 dargestellt.

Tabelle 4-5: Sensitivitätsannahmen für EFH3 bzw. EFH4

Szenario		EFH3	EFH4
S 0 (Referenz)	WP + Raumtemp.	8 kW / 20°C	8 kW / 20°C
S 1	Raumlufftemperatur	22 °C	-
S 2	Raumlufftemperatur	24 °C	24 °C
S 3	WP + Raumtemp.	11 kW / 20 °C	-
S 4	WP + Raumtemp.	11 kW / 24 °C	-
S 5	Bivalenz- /Abschaltpunkt	+2 °C / -2 °C	+2 °C / -2 °C
S 6	Bivalenz- /Abschaltpunkt	-5 °C / -7 °C	-5 °C / -7 °C

Für die Darstellung der Ergebnisse wird einmalig der Energiebedarf und -bereitstellung jedes Szenario und ein Vergleich aller Wärmepumpenarbeitszahlen gezeigt. Außerdem sei erwähnt, dass die folgenden Ergebnisse zuerst für das Gebäude EFH3 (EFH1 saniert) und in weiterer Folge für das Gebäude EFH4 (EFH2 saniert) dargestellt sind.

Für das Gebäude EFH3 mit einer Raumlufftemperatur von 22 °C (S1, gemäß Tab. 4-5) ein Heizwärmebedarf von rund 101,6 kWh/(m²a), welcher in Abbildung 4-36 dargestellt wurde. Weiters wurde auch für S2 der Heizwärmebedarf berechnet und ergab sich mit 111,5 kWh/(m²a) Durch die Anhebung der Raumlufftemperatur wird ein höherer Energiebedarf für die Heizung benötigt und ergibt somit einen um 11,8 % (S1) und 22,7 % (S2) höheren Heizwärmebedarf gegenüber S0.

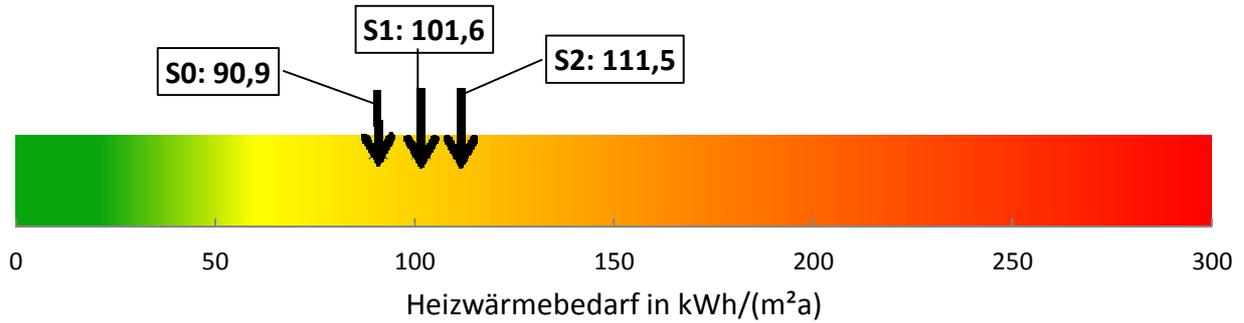


Abbildung 4-36: Heizwärmebedarf für das Gebäude EFH3 für eine Raumlufttemperatur von 22 °C

Auch in Abbildung 3-37 ist der Anstieg des Heizwärmebedarfs vor allem dadurch ersichtlich, dass in den Sommermonaten (Juni, Juli und August) ein Heizwärmebedarf vorhanden war.

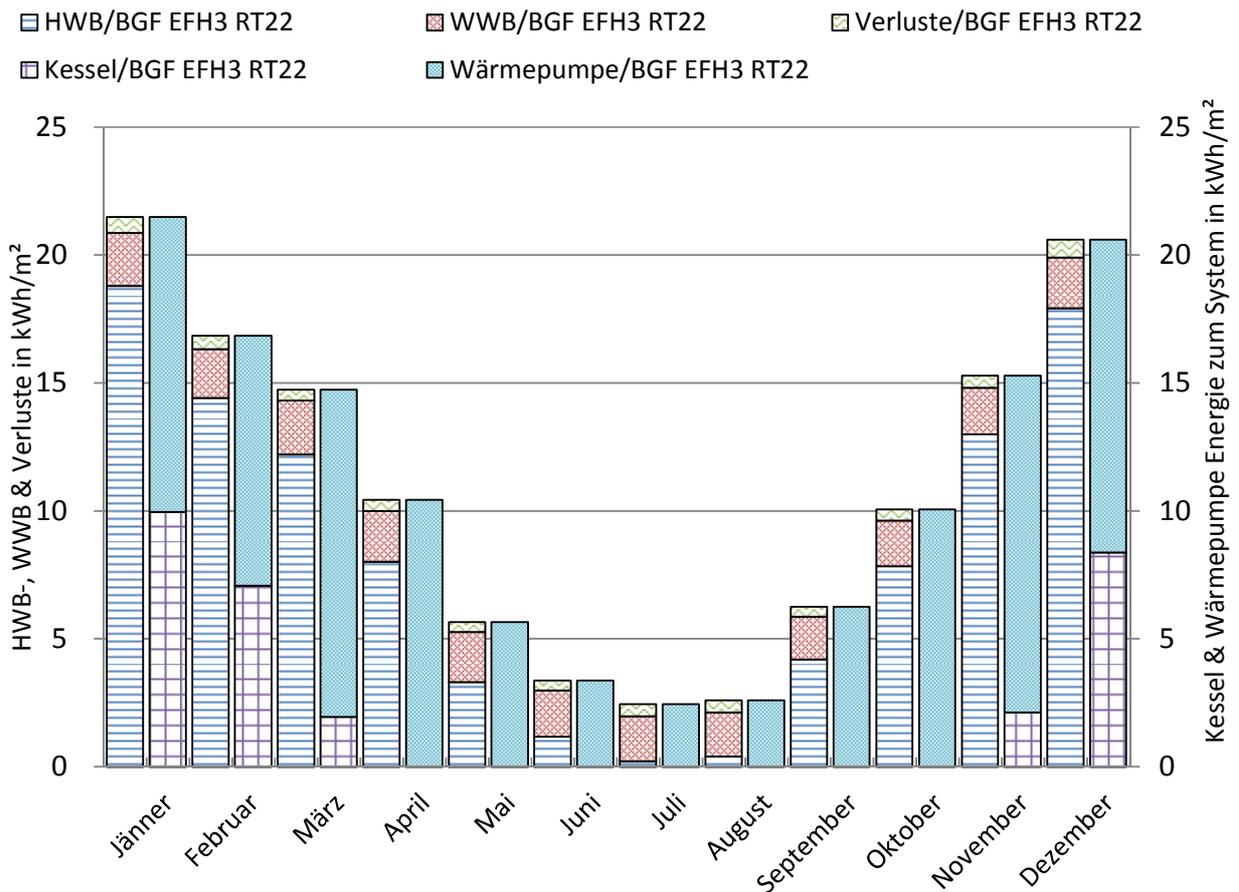


Abbildung 4-37: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH3 RT22 (S1)

So wie in Abbildung 4-37 ist auch der Anstieg des Heizwärmebedarfs in der monatlichen Betrachtung des Energiebedarfs und -bereitstellung für das Gebäude EFH4 bei einer Raumlufttemperatur von 24 °C (S2) in Abbildung 4-39 ersichtlich.

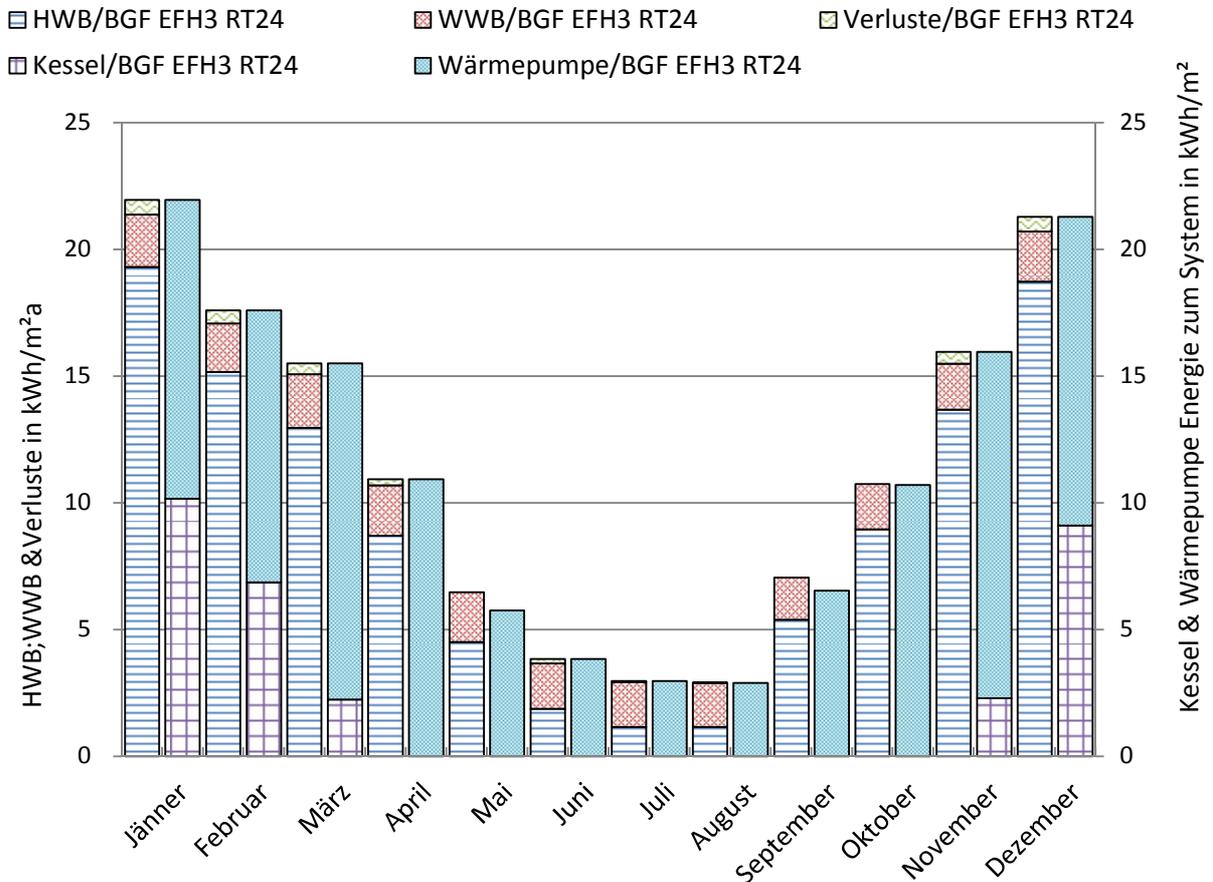


Abbildung 4-38: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH3 RT24 (S2)

Ersichtlich ist aus dieser Abbildung der deutliche Anstieg des Heizwärmebedarfs in den Sommermonaten (Juni, Juli und August). Zusätzlich kann festgestellt werden, dass im Mai, September und Oktober keine Verluste der Rohrleitungen bzw. der Speicher mehr vorhanden sind. Diese bedeutet, dass die Summe der bereitgestellten Energie der Wärmeerzeuger in dieser Zeit kleiner oder gleich der benötigten Energie ist. Aufgrund der Warmwasservorangsschaltung wird sichergestellt, dass der Warmwasserbedarf gedeckt ist, daraus folgt, dass in diesen beiden Monaten der Heizwärmebedarf nicht gedeckt werden kann. In der Realität wird üblicherweise ab der Heizgrenztemperatur, sprich bei einer Außenlufttemperatur von rund 15 °C das Gebäude nicht mehr beheizt, in der Simulation jedoch wurde angenommen, dass das Gebäude immer dann beheizt wird, wenn die Raumlufttemperatur und 19,5 °C fällt. Dies kann auch in den Sommermonaten passieren, da auch hier vor allem in der Nacht oder in der Früh Außenlufttemperaturen unter 20 °C erreicht werden können und somit das Gebäude auskühlt. Trotz nicht erreichbarer Raumlufttemperatur wurde diese Sensitivität nicht aus dem Vergleich der Wärmepumpenarbeitszahl ausgeschlossen.

Für die Szenarien 3, 5 und 6 entspricht der Energiebedarf und die -bereitstellung auf Monatsbasis der Abbildung 4-7, wobei die anteilige Wärmeanbereitzung des Kessels und der Wärmepumpe sich verändern, jedoch die Summe der Energiebereitstellung gleich bleibt, daher wird hier auf eine nochmalige Darstellung verzichtet.

In Abbildung 4-39 sind der Heizwärmebedarf, der Warmwasserbedarf, die Verluste, sowie die bereitgestellte Energie des Kessels und der Wärmepumpe, bezogen auf die

Bruttogeschoßfläche für das Gebäude EFH3, mit der 11 kW Wärmepumpe und einer Raumlufthtemperatur von 24 °C dargestellt.

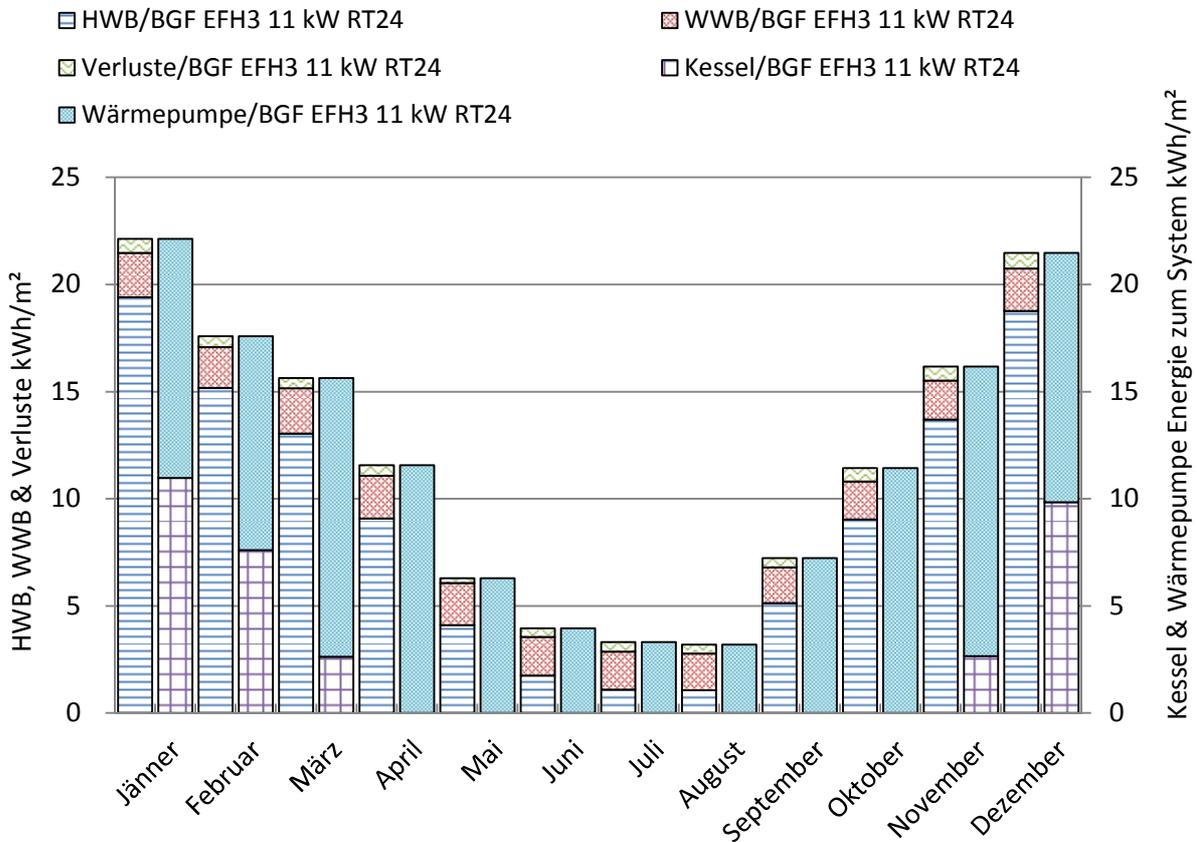


Abbildung 4-39: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH3 11 kW RT24 (S4)

Es zeigt sich im Vergleich zur Variante EFH3 mit der 8 kW Wärmepumpe (vgl. Abb.4-38), dass der Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf gleich bleiben. Hierbei gilt wiederum die Annahme, dass das Gebäude auch in den Sommermonaten beheizt wird, obwohl die Außenlufttemperatur im Regelfall oberhalb der Heizgrenztemperatur liegt, jedoch es in der Nacht oder in den frühen Morgenstunden zum Auskühlen des Gebäudes aufgrund von Außenlufttemperaturen unterhalb der Heizgrenztemperatur kommen kann. Durch den Einsatz der 11 kW Wärmepumpe ist aus der Abbildung 4-39 ersichtlich, dass sowohl im Mai als auch im September und Oktober, Verluste vorhanden sind und somit mehr Energie der Wärmeerzeuger bereitgestellt wird, als vom System angefordert. Damit zeigt sich, dass der Energiebedarf für eine Raumlufthtemperatur von 24 °C (S4) durch die 11 kW Wärmepumpe gedeckt werden kann, was bei der 8 kW Wärmepumpe nicht der Fall war.

Um für die verschiedenen Szenarien die Effizienz der Wärmepumpe bewerten zu können, wurde als Darstellungsart ein Vergleich unter den gleichen Betriebsweisen gewählt. Hierbei werden die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe und der dazugehörige Stromverbrauch der Wärmepumpe dargestellt. Als erstes folgen die Vergleiche der bivalent-alternativen Betriebsweise, weiters folgen die bivalent-parallele und -teilparallele Betriebsweise.

Aus Abbildung 4-40 ist zu erkennen, dass die Arbeitszahlen durch die Parameteränderung der Szenarien mit der Raumlufthtemperaturerhöhung einen leichten Anstieg erfahren. Selbiges zeigt sich auch für den Stromverbrauch der Wärmepumpe, sprich bei einer Raumlufthtemperaturanhebung steigt damit der Strombedarf der Wärmepumpe. Wie bereits erwähnt, wird bei der Variante EFH3 alternativ bei einer Raumlufthtemperatur von 24 °C der Heizwärmebedarf zwar nicht gedeckt, aber trotzdem in die Betrachtung miteinbezogen. Im Vergleich zum Ausgangszustand (EFH3 alternativ RT20, S0) hat die Variante des alternativen Betriebes mit einer Raumlufthtemperatur von 22 °C (S1) nur einen unwesentlichen Anstieg der Arbeitszahl von 0,08 zur Folge. Die Erhöhung der Arbeitszahlen lässt sich aufgrund des Heizbetriebes erklären. Durch die Anhebung der Raumlufthtemperatur kam es zu einem höheren Heizwärmebedarf und damit zu einem längeren Heizbetrieb. Die Regelung der Wärmepumpe sieht für den Heizbetrieb einen drehzahlgeregelten Betrieb, im Gegensatz zur Warmwasserbereitung, wo die Wärmepumpe immer mit maximaler Vorlauftemperatur betrieben wurde, vor. Durch den drehzahlgeregelten Betrieb können bessere Arbeitszahlen erreichen werden. Selbiges Argument gilt auch für den Fall EFH3 alternativ RT24, wobei der höhere Heizwärmebedarf und die damit längere Heizperiode nur eine unwesentliche Verbesserung der Arbeitszahlen erbrachte. Wie bereits erwähnt verhält es sich für die Szenarien wo die Raumlufthtemperatur angehoben wurde ähnlich für den Stromverbrauch wie für die Jahresarbeitszahlen.

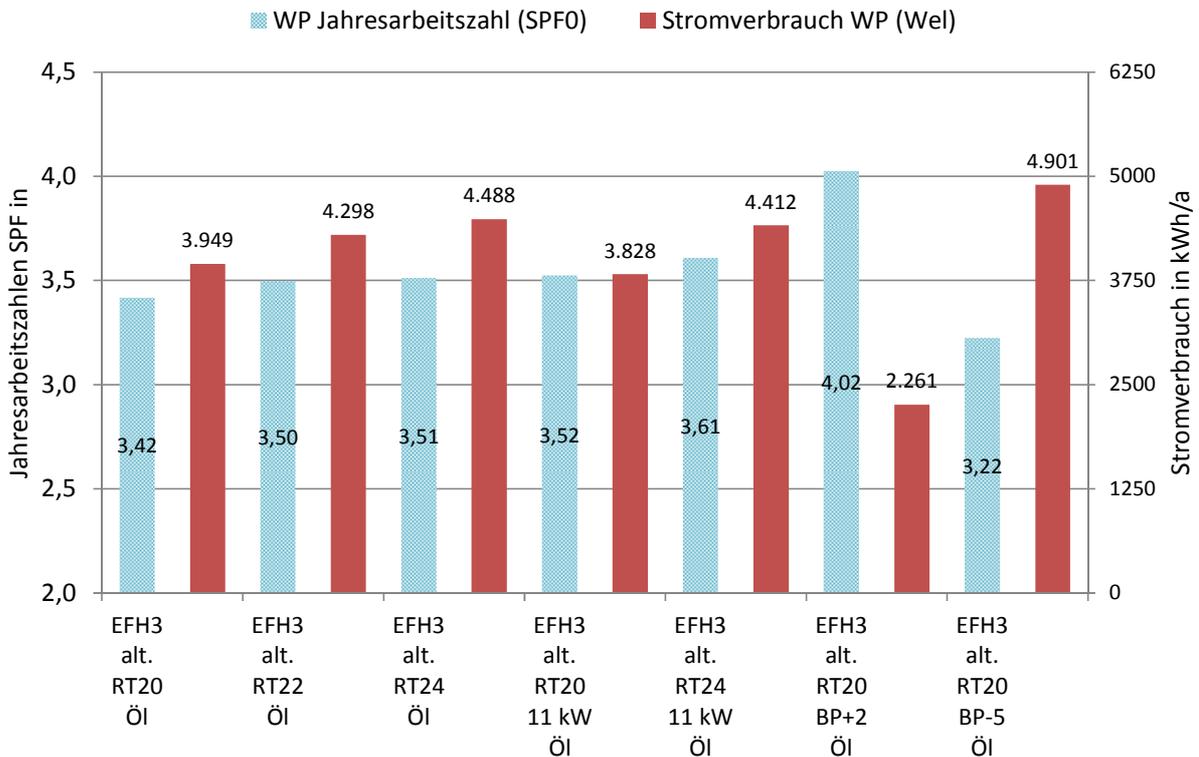


Abbildung 4-40: Vergleich der Jahresarbeitszahlen und des Stromverbrauchs der verschiedenen Szenarien für EFH3 alternativ

Wie bereits erwähnt, wurde für die beiden Varianten mit der 11 kW Wärmepumpe der Pufferspeicher für die Heizung durch einen 400 l Pufferspeicher ausgetauscht. Diese Vergrößerung des Volumens im Heizkreis führt zur Erhöhung der Wärmepumpenarbeitszahl im Fall der EFH3 alternativ 11 kW RT20 (S3), da aufgrund des größeren Volumen des 400 l Pufferspeichers, dieser weniger oft beladen werden muss und sich somit die Einschalt- bzw. Ausschaltverluste verringern

Für die Variante der 11 kW Wärmepumpe bei einer Raumlufthtemperatur mit 24 °C (S4) ergibt sich eine deutlichere Steigerung der Arbeitszahl im Vergleich zur Variante mit der 8 kW (S2)

Wärmepumpe. Diese Steigerung ist einerseits durch den Austausch des Pufferspeichers zu erklären, andererseits durch die Erhöhung der Raumlufttemperatur auf 24 °C und den damit verbundenen Anstieg des Heizwärmebedarfs. Es galt hierbei wieder, dass durch den Anstieg des Heizwärmebedarfs die Wärmepumpe länger im Heizbetrieb ist und durch die Drehzahlregelung die Energiebereitstellung an den Energiebedarf angepasst werden kann, können höhere Jahresarbeitszahlen erreicht werden, als im Betrieb für die Warmwasserbereitung.

Markantere Unterschiede für die Arbeitszahl liefert hierbei die Verschiebung des Bivalenzpunktes. Wie in Abbildung 4-40 erkennbar ist, wurde durch die Verschiebung des Bivalenzpunktes von -2 °C auf +2 °C eine Erhöhung der Arbeitszahlen von 0,6 erreicht. Hingegen musste durch die Verschiebung des Bivalenzpunktes auf -5 °C eine Verminderung der Arbeitszahl von 0,2 hingenommen werden. Die Erhöhung der Arbeitszahl durch die Verschiebung des Bivalenzpunktes kommt dadurch zustande, dass ein geringerer Temperaturhub (geringere Leistungsaufnahme des Kompressors) notwendig ist. Auch zeigt sich für die Verschiebung des Bivalenzpunktes auf +2 °C (S5), dass der Stromverbrauch für die Wärmepumpe deutlich geringer ausfällt. Jedoch sei an dieser Stelle erwähnt, dass der Energiebedarf im Vergleich zu S0 gleichbleibt, d.h. dadurch dass der Kessel bei S5 früher in Betrieb genommen wird, der Ölverbrauch hierbei höher ist. Dies ist auch das erwartete Ergebnis, da die Wärmepumpe bei höheren Außenlufttemperaturen betrieben wird und der Bestandskessel zu einem früheren Zeitpunkt unterstützend wirkt. Für die Verschiebung des Bivalenzpunktes auf -5 °C verhält es sich genau umgekehrt. Dadurch, dass die Wärmepumpe auch bei niedrigeren Außenlufttemperaturen betrieben wird, muss ein größerer Temperaturhub realisiert werden. Das hat zur Folge, dass die Wärmepumpe eine höhere Leistungsaufnahme und eine gleichzeitige Verminderung der Leistungszahlen aufweist. Auch wird durch den längeren Betrieb der Wärmepumpe der Strombedarf dieser erhöht, aber auch hier bedeutet dies nur eine Verschiebung des Endenergieverbrauchs, da dieser wieder gleich ist wie bei S0. Für den Bivalenzpunkt bei -5 °C bedeutet dies somit eine Erhöhung des Stromverbrauchs und gleichzeitig eine Verringerung des Ölverbrauchs.

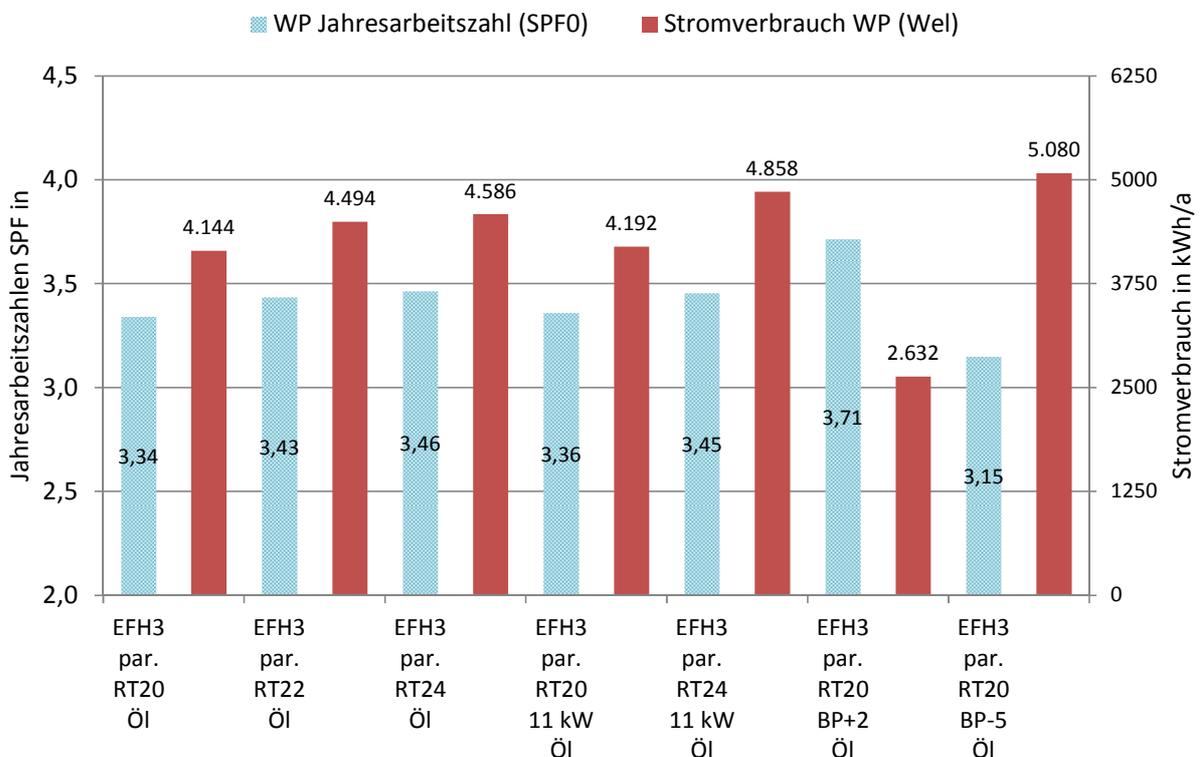


Abbildung 4-41: Vergleich der Jahresarbeitszahlen und des Stromverbrauchs für die verschiedenen Szenarien für EFH3 parallel

Ein etwas verändertes Bild zeigt die Abbildung 4-41. Hier werden etwas stärkere SPFO Anstiege für eine Erhöhung der Raumlufttemperatur sichtbar. Der Grund für den Anstieg ist wiederum die Steigerung des Heizwärmebedarfs. Für den parallelen Betrieb lässt sich auch erkennen, dass der Wechsel zu einer 11 kW Wärmepumpe kaum Vorteile bringt, da die Arbeitszahlen beider Wärmepumpe in etwa gleich waren. Dies gilt sowohl für den Fall mit einer Raumlufttemperatur von 20 °C (S3) als auch für die Variante mit 24 °C (S4). Ähnlich zum alternativen Betrieb, verhalten sich wieder beide Sensitivitäten aufgrund der Verschiebung des Bivalenzpunktes. Die Erhöhung der Arbeitszahl für den Bivalenzpunkt bei +2 °C beträgt aber diesmal nur 0,37 und bei Herabsetzung des Bivalenzpunkts auf -5 °C bleibt sie annähernd gleich bei 0,19. Für den Stromverbrauch der Wärmepumpe blieben die Werte annähernd konstant, auch hier zeigte sich wieder, dass für die Verschiebung des Bivalenzpunktes von -2 °C auf +2 °C der geringste Stromverbrauch ergab. Aber auch hier sei wieder erwähnt, dass es sich nur um eine Verschiebung des Verbrauchs handelt, da durch die Verschiebung des Bivalenzpunktes der Ölkessel früher unterstützend in Betrieb genommen wurde und somit einen höheren Ölverbrauch aufweist.

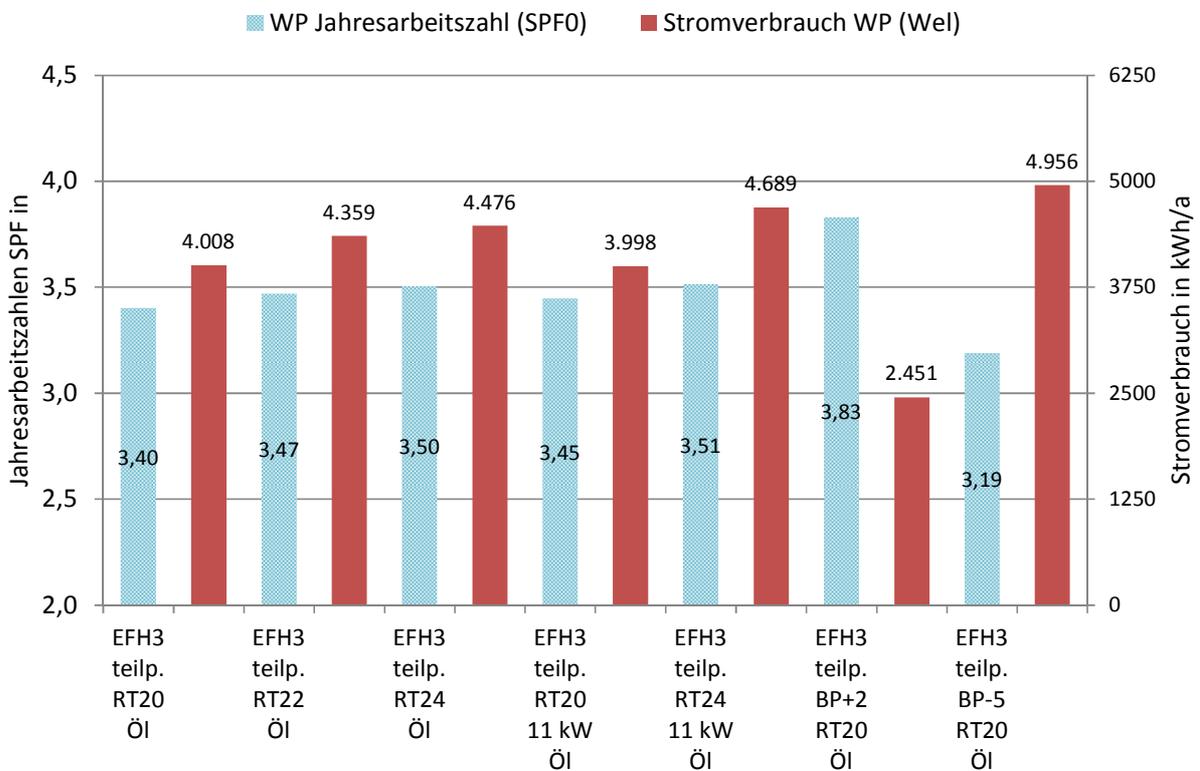


Abbildung 4-42: Vergleich der Jahresarbeitszahlen und des Stromverbrauchs für die verschiedenen Szenarien für EFH3 teilparallel

Für den teilparallelen Betrieb zeichnet sich nach Abbildung 4-42 ein ähnlicher Verlauf wie für die alternative Variante (vgl. Abb. 4-40) ab. Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe liegen etwas unter jenen der alternativen Variante. Grund dafür ist der Wärmepumpenbetrieb auch bei niedrigeren Außenlufttemperaturen. Prinzipiell sind auch hier die bereits erwähnten Gründe für die Veränderung der Arbeitszahlen bzw. Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe analog zur alternativen Variante verantwortlich. Auch für den Stromverbrauch der Wärmepumpe verhält es sich ähnlich wobei hierbei die Stromverbräuche geringfügig höher liegen als bei der alternativen Variante.

Für das Gebäude EFH4 wurde, wie aus Tabelle 4-5 ersichtlich, nur für eine Szenario die Raumlufttemperatur verändert (24 °C), was zu einem höheren Energiebedarf führte. Bezüglich der beiden anderen Sensitivitäten wurde nur der Bivalenzpunkt verschoben. Einmal auf +2 °C

und einmal auf -5 °C. Für beiden Varianten bleibt Summe des Energiebedarf und -bereitstellung nach Abbildung 4-26 gleich.

Bezüglich der Sensitivität, in der die Raumlufttemperatur erhöht wurde, ist der Energiebedarf und die -bereitstellung auf Monatsbasis in Abbildung 4-44 dargestellt.

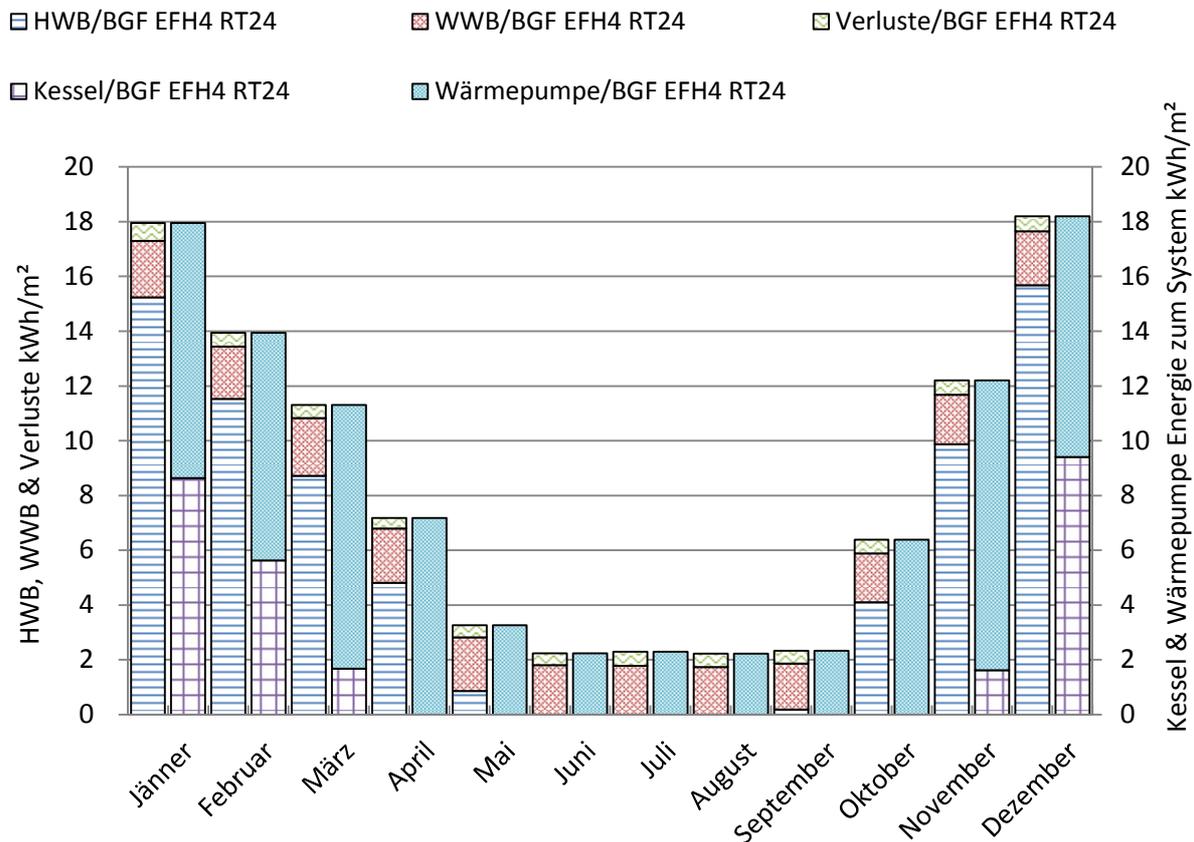


Abbildung 4-43: Energiebedarf und -bereitstellung auf Monatsbasis für EFH4 RT24 (S2)

In der Abbildung 4-45 zeigt sich, wie auch schon bei vorangegangenen, dass durch die Erhöhung der Raumlufttemperatur gleichzeitig eine Erhöhung des Energiebedarfs stattfindet. Im Speziellen kann in den Monaten April, Mai und Oktober eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs festgestellt werden. Für dieses Gebäude (EFH4) kann weiters festgestellt werden, dass bei einer Raumluftsoltemperatur von 24 °C der Energiebedarf gedeckt werden kann, was beim vorherigen Gebäude (EFH3) für die 8 kW Wärmepumpe nicht möglich war.

Durch die getroffenen Annahmen für die Szenarien des Gebäudes EFH4 wurden die im Folgenden beschriebenen Veränderungen für die Jahresarbeitszahl und den Stromverbrauch festgestellt.

4 Energetischer Vergleich

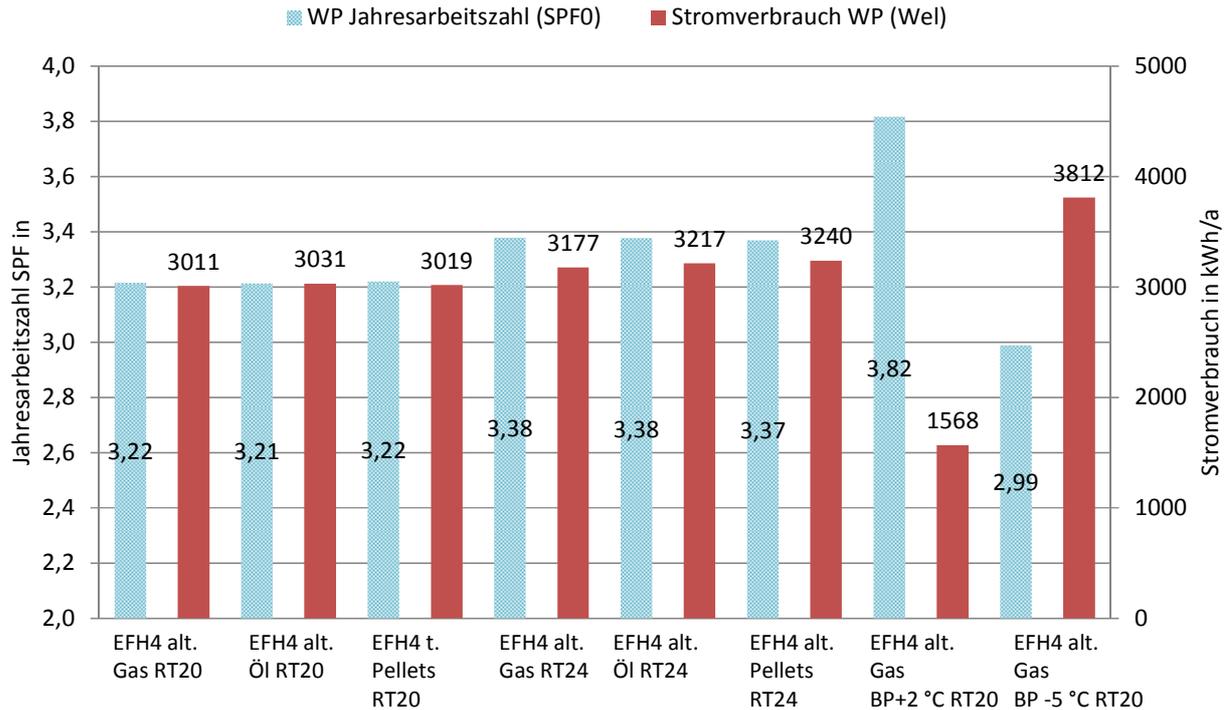


Abbildung 4-44: Vergleich der Jahresarbeitszahlen und des Stromverbrauchs aufgrund verschiedener Szenarien für EFH4 alternativ

Auch im Hinblick auf das Gebäude EFH4 im alternativen Betrieb kann ein ähnlicher SPF-Verlauf wie für das Gebäude EFH3 im alternativen Betrieb festgestellt werden. Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe erhöhten bei einer höheren Raumlufttemperatur. Der Grund dafür liegt wieder im Anstieg des Heizwärmebedarfs und der damit verbundenen längeren Heizperiode. Hierbei gilt wieder, dass die Wärmepumpe drehzahl geregelt betrieben wird, sprich somit die Leistungsabgabe der Wärmepumpe und die Heizleistungsbedarf angepasst wird. Für die Verschiebung des Bivalenzpunktes verhielt es sich ebenso ähnlich, wie im vorherigen Fall. Es wurde eine Steigerung der Jahresarbeitszahl durch die Anhebung des Bivalenzpunktes von -2 °C auf $+2\text{ °C}$ von 0,6 erreicht. Gleichermaßen zeigt die Jahresarbeitszahl für den Bivalenzpunkt bei -5 °C eine Verminderung von 0,23, ähnlich dem Gebäude EFH3. Weiters war feststellbar, dass die Wahl des Energieträgers für den Bestandskessel keinen wesentlichen Einfluss auf die Arbeitszahlen der Wärmepumpe hat. Auch der Stromverbrauch der Wärmepumpe verhält sich wieder, so zeigte sich wieder der geringste Stromverbrauch der Wärmepumpe anhand der Anhebung des Bivalenzpunktes auf $+2\text{ °C}$. Jedoch auch an dieser Stelle ist es wieder eine Verschiebung des Verbrauchs, da wiederum der Kessel früher in Betrieb geht und dadurch einen höheren Ölverbrauch aufweist.

Im Vergleich zum Gebäude EFH3 weisen die Jahresarbeitszahlen SPF0 für den parallelen Fall, in Abbildung 4-45 dargestellt, einen deutlich moderateren Verlauf auf. Ähnlich den vorherigen Verläufen zeigt sich wieder ein leichter Anstieg der Jahresarbeitszahlen in Bezug auf eine höhere Raumlufttemperatur. Verantwortlich dafür zeichnete wieder der gesteigerte Heizwärmebedarf. Zusätzlich ist gut erkennbar, dass das Verschieben des Bivalenzpunktes auf $+2\text{ °C}$ im parallelen Betrieb keine so starken Konsequenzen hatte, als noch beim Gebäude EFH3. Dies ist auf den im Allgemeinen geringeren Energiebedarf des Gebäudes EFH4 zurückzuführen und hat somit auf die frühere Unterstützungswirkung des Bestandskessels keine so großen Auswirkungen. Auch fällt die Verminderung der Jahresarbeitszahl für die Sensitivität, in der der Bivalenzpunkt auf -5 °C verschoben wurde, mit 0,12 etwas geringer aus, als noch beim Gebäude EFH3 oder im Vergleich zum alternativen Betrieb von EFH4. Der Stromverbrauch ist in allen Fällen für die parallele Variante höher als noch bei der alternativen Variante. Der höhere Stromverbrauch im Vergleich zur alternativen Variante liegt an der deutlich längeren Betrieb der Wärmepumpe.

4 Energetischer Vergleich

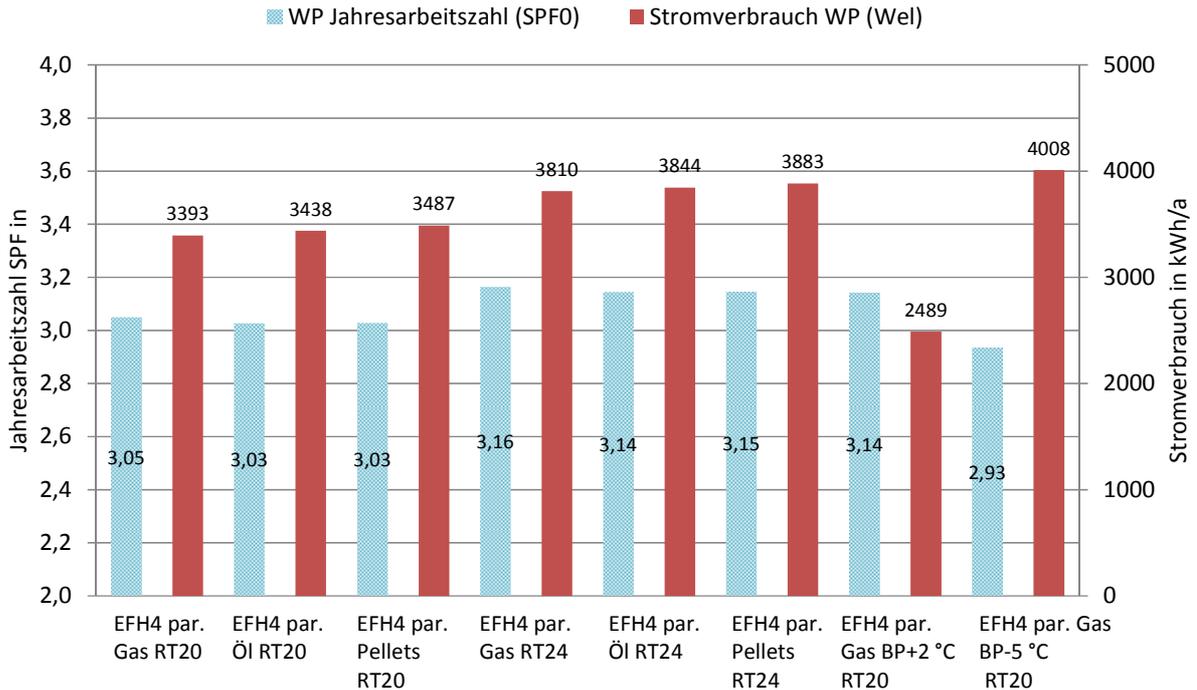


Abbildung 4-45: Vergleich der Jahresarbeitszahlen und Stromverbrauch aufgrund verschiedener Szenarien für EFH4 parallel

Ein ähnliches Bild zeigt auch der teilparallele Anlagenbetrieb für das Gebäude EFH4, siehe Abbildung 4-46. Aufgrund des teilparallelen Betriebes liegen die Jahresarbeitszahlen wiederum etwas höher, als jene im parallelen Durchführungsmodus. Auffällig ist auch, dass die Verschiebung des Bivalenzpunktes dieses Mal einen höheren Einfluss auf die Jahresarbeitszahl hatte als in Abbildung 4-45. Ursache dafür war der Abschaltzeitpunkt, der für den Bivalenzpunkt bei +2 °C, bei $t_{Ab} = -2$ °C liegt, im Gegensatz dazu für den Bivalenzpunkt bei -2 °C bei -4 °C. Der Abschaltzeitpunkt ist jener Punkt, an dem die Wärmepumpe im teilparallelen Betrieb abschaltet und der Kessel alleine die Energiebereitstellung übernimmt. Aus der gewählten Veränderung des Bivalenzpunktes auf +2 °C und der damit verbundenen Verschiebung des Abschaltzeitpunktes auf -2 °C ergibt sich für die Wärmepumpe ein geänderter Betriebsbereich im teilparallelen Betrieb als auch für den alternativen Betrieb (EFH4 alternativ Gas RT20). Zusätzlich wird die Wärmepumpe im Außenlufttemperaturbereich (von +2 °C bis -2 °C) vom Kessel unterstützt, wodurch sich im Vergleich zum alternativen Betrieb (EFH4 alternativ Gas RT20) eine höhere Jahresarbeitszahl für den teilparallelen Betrieb ergibt. Beim gewählten Bivalenzpunkt von -5 °C bleibt die Arbeitszahl annähernd dieselbe verglichen zum parallelen Betrieb, da für diese Variante der Abschaltzeitpunkt bei -7 °C gewählt wurde und die Außenluft diesen Temperatur nur selten unterschreitet.

4 Energetischer Vergleich

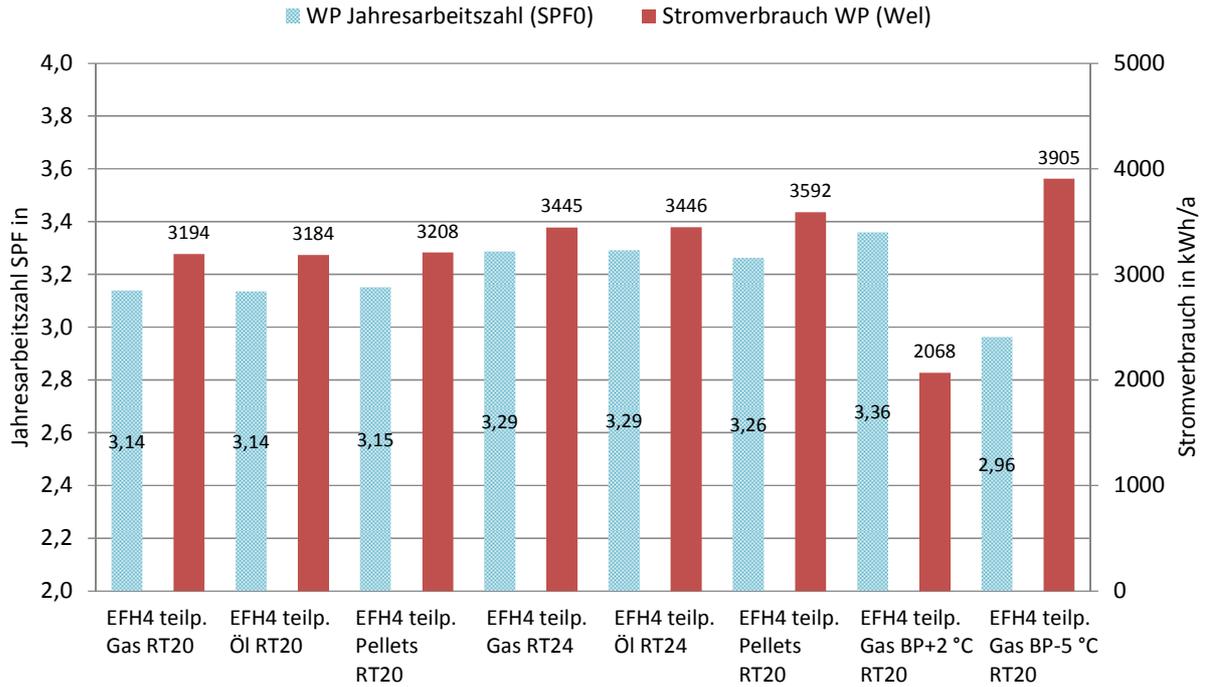


Abbildung 4-46: Vergleich der Jahresarbeitszahlen und Stromverbrauch aufgrund verschiedener Szenarien für EFH4 teilparallel

5 ÖKOLOGISCHER VERGLEICH

Wie in Kapitel 1 bereits dargelegt, zählt die Heizungsanlage, aufgrund ihrer CO₂ - Emissionen und deren Größenordnungen, zu den bedeutendsten Treibhausgasemittenten einer Privatperson. Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel ein Vergleich der CO₂ - Emissionen zwischen den Bestandsgebäuden, im ursprünglichen Zustand einerseits und deren bivalente Ausführungen nach Sanierung andererseits, angestellt, um damit mögliche Einsparungspotentiale zu eruieren.

Anhand des Energieverbrauchs der jeweiligen Wärmeerzeuger lässt sich direkt auf deren CO₂ - Emissionen rückschließen. Die Umrechnung erfolgt mit den Konversionsfaktoren nach OIB - Richtlinie 6 (2015) (siehe Anhang A).

5.1 Ökologische Ergebnisse EFH1 und EFH3

Exemplarisch wurde auch eine rein thermische Sanierung, in der die Energiebereitstellung analog zum Bestandsgebäude mit Ölkessel erfolgt, herangezogen. In Abbildung 5-1 ist diese thermische Sanierung im Vergleich zum Bestandsgebäude und alternativen Wärmepumpenbetrieb (EFH3 alternativ RT20) untersucht und dargestellt.

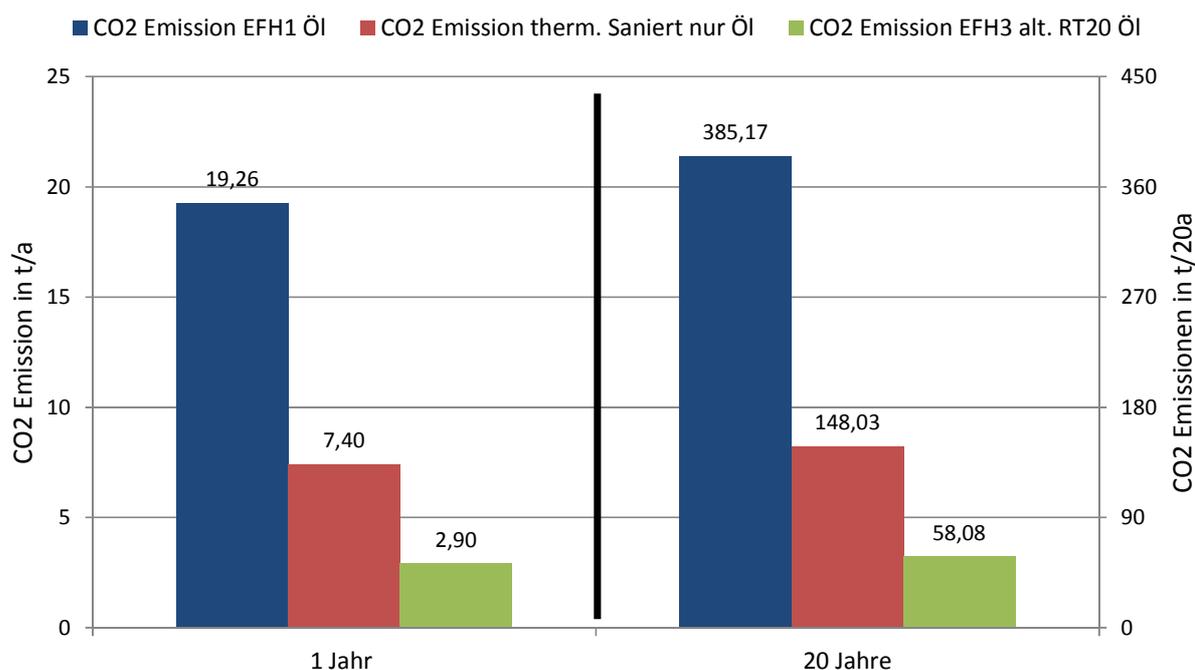


Abbildung 5-1: Vergleich von CO₂ – Emissionen zwischen Bestandsgebäude, termischer Sanierung und alternativen Betrieb

Es zeigt sich, dass durch eine rein thermische Sanierung und Aufrechterhaltung des Heizbetriebs unverändert nur mit dem Bestandskessel schon eine Ersparnis von 11,9 t (62 %) per anno erreicht werden könnte. Wie Abbildung 5-2 darstellt, ließe sich durch den Einsatz einer Wärmepumpe im sanierten Fall jedoch zusätzlich eine Einsparung von 4,5 t CO₂ jährlich realisieren. Das würde einer Reduktion von rund 60 % gegenüber einer rein thermischen Sanierung, entsprechen.

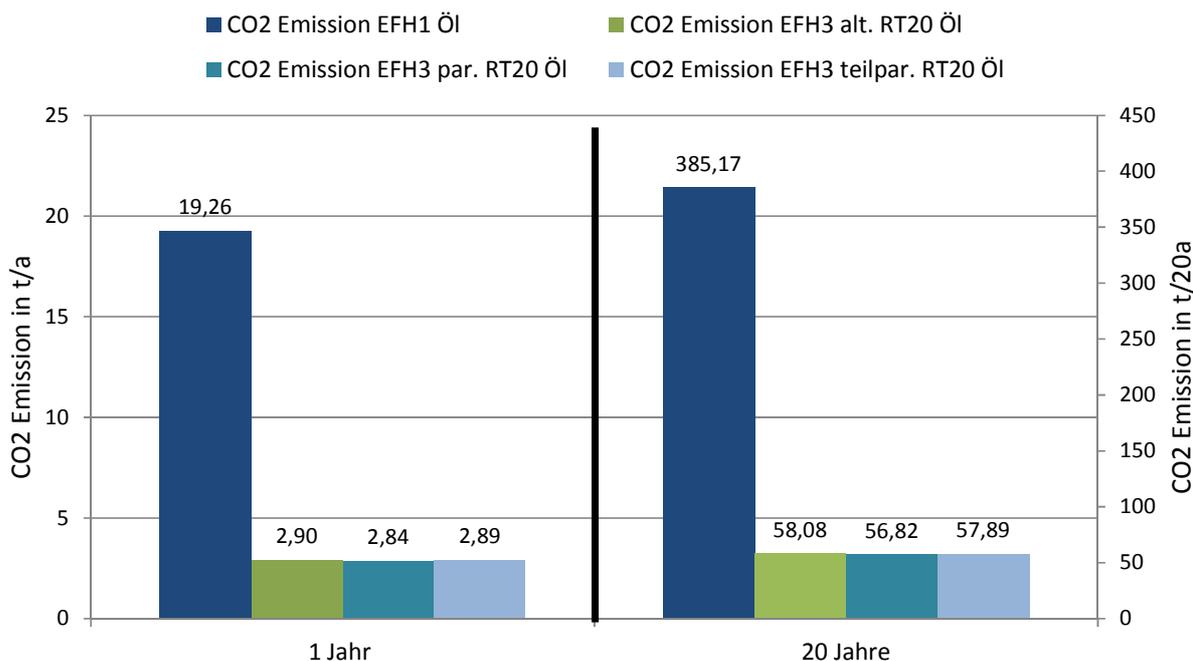


Abbildung 5-2: CO₂ - Emission des Bestandsgebäudes EFH1 und der sanierten Fälle im Vergleich

Aus Abbildung 5-2 ist ersichtlich, dass für das Bestandsgebäude (EFH1) jährlich 19,26 t an CO₂ - Emissionen anfallen. Für die sanierten Fälle EFH3 alternativ RT20 sind es 2,9 t, für den parallele Betrieb (EFH3 parallel RT20) 2,84 t und für den teilparallelen Betrieb (EFH3 teilparallel RT20) 2,89 t CO₂ jährlich. Dies bedeutet für alle drei Varianten eine Reduktion der CO₂ - Emission um rund 85 %. Zusätzlich wurde die Entwicklung für einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren untersucht und diese belegen, dass durch den Einsatz einer Wärmepumpe knapp 330 t an CO₂ - Emissionen eingespart werden können.

5.2 Ökologische Ergebnisse EFH2 und EFH4

Auch für das Bestandsgebäude EFH2, sowie dessen sanierte Fälle, wurde eine gleichartige Analyse durchgeführt. Beim Vergleich von Abbildung 5-3 mit Abbildung 5-2 ist deutlich erkennbar, dass die CO₂ - Emission um einiges geringer sind als im Vergleich zum Bestandsgebäude EFH1 und zwar um rund 13 t CO₂ pro Jahr. Dies liegt einerseits an den gewählten Energieträgern als auch an der Tatsache, dass das Gebäude EFH1 einen höheren Energieverbrauch als das Gebäude EFH2 hat.

Genauso zeigten sich für die bivalenten Varianten mit dem Gaskessel (EFH4 alternativ RT20, EFH4 parallel RT20 und EFH4 teilparallel RT20) wieder große Einsparungspotentiale gegenüber dem Bestandsgebäude. Für alle Varianten ergab sich dabei eine jährliche Ersparnis an CO₂ von rund 4,6 t und damit rund 73 Prozentpunkte weniger. Über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ergab sich eine Reduktion von rund 92 t an CO₂ - Emissionen. Im Vergleich zum Gebäude EFH3 fielen die jährlichen Einsparungswerte beim EFH4 deutlich geringer aus, jedoch sind diese auch hier signifikant.

5 Ökologischer Vergleich

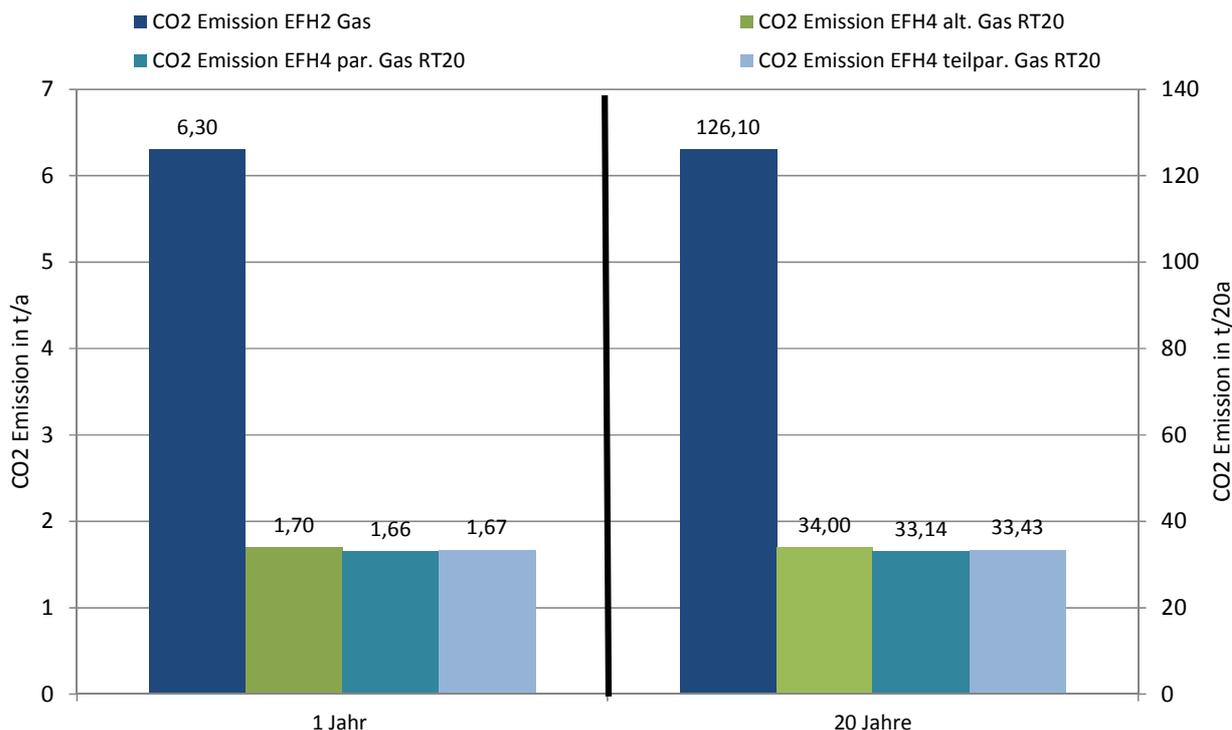


Abbildung 5-3: Emission des Bestandsgebäudes EFH2 und der sanierten Fälle (EFH4) im Vergleich, für den Energieträger Gas

Für den Energieträger Öl hingegen stellte sich erwartungsgemäß ein höherer CO₂ - Ausstoß gegenüber Gas heraus. In Abbildung 5-4 zeigte sich, dass der Ölkessel im Bestandsgebäude EFH2 einen um 3,2 t höheren CO₂ - Ausstoß pro Jahr im Vergleich zu einem Gaskessel hat, begründet durch den schlechteren Nutzungsgrad des Ölkessels.

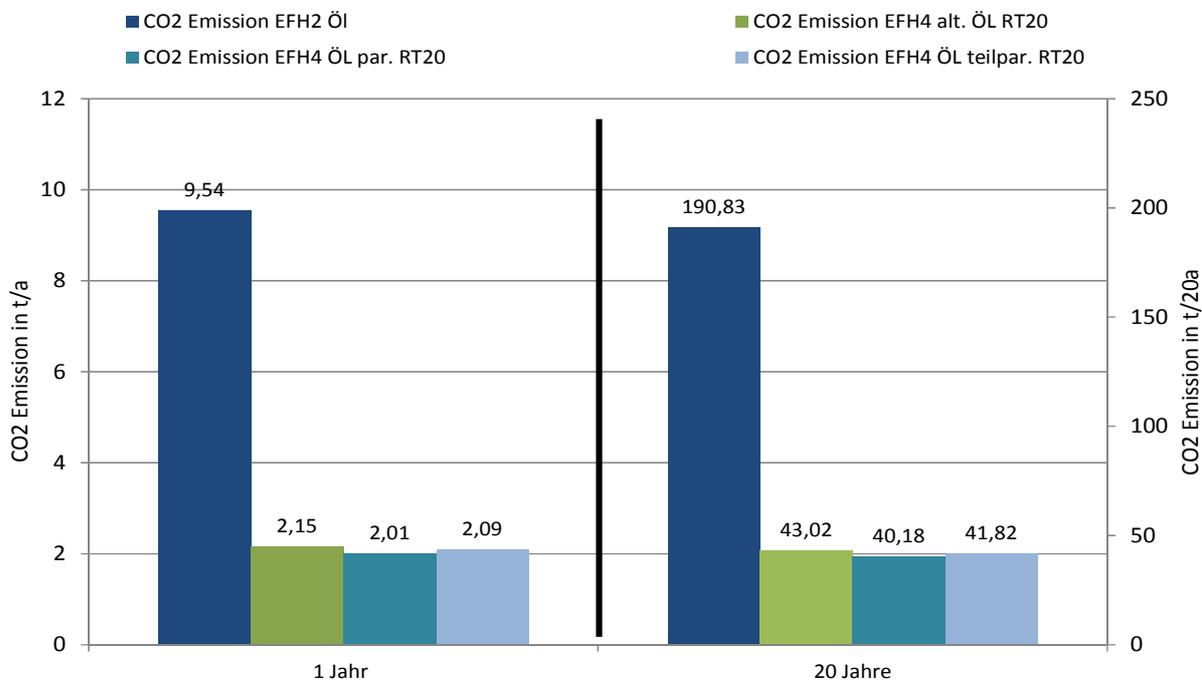


Abbildung 5-4: Emission des Bestandsgebäudes EFH2 und der sanierten Fälle (EFH4) im Vergleich, für den Energieträger Öl

Ähnlich dem Energieträger Gas zeigen sich auch für die sanierten Fälle (EFH4 Öl alternativ RT20, EFH4 Öl parallel RT20 und EFH4 Öl teilparallel RT20) vergleichbare Einsparpotentiale,

die allerdings noch rund 5 Prozentpunkte höher lagen als für den Gaskessel. So wird eine jährliche Reduktion an CO₂-Ausstoß wiederum für alle Varianten ähnlich mit rund 7,4 t bzw. 78 Prozentpunkte erreicht.

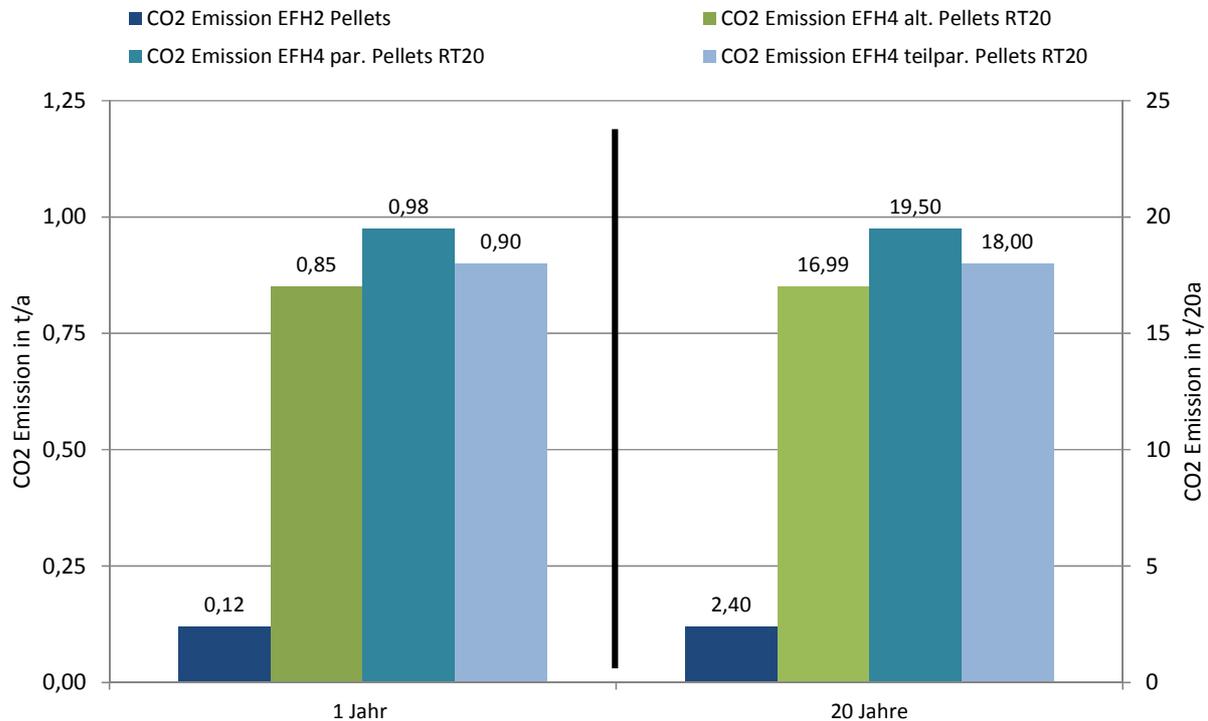


Abbildung 5-5: Emission des Bestandsgebäudes EFH2 und der sanierten Fälle (EFH4) im Vergleich, für den Energieträger Pellets

Ein interessantes Bild liefert die Auswertung der CO₂-Emission für das Bestandsgebäude mit dem Pelletskessel (EFH2 Pellets). In Abbildung 5-5 sind wiederum die Emissionswerte für das Bestandsgebäude jenen der sanierten Fälle gegenübergestellt. In dieser Darstellung wird ersichtlich, dass die sanierten Fälle (EFH4) einen höheren CO₂-Ausstoß aufweisen als das Referenzgebäude. Begründbar ist das durch den Einsatz des Energieträgers Pellets, der quasi CO₂-neutral angenommen wird im Gegensatz zu Strom, Gas und Öl. Mit dem Einsatz einer Wärmepumpe kommt es für den alternativen Betrieb (EFH4 alt. Pellets RT20) zu einer Erhöhung der CO₂-Emissionen um jährlich 0,73 t. Selbiges gilt auch für die beiden anderen sanierten Fälle. So ist für den parallelen Betrieb (EFH4 par. Pellets RT20) eine Erhöhung von 0,86 t jährlich und für den teilparallelen Betrieb (EFH4 teilpar. Pellets RT20) eine Erhöhung von 0,78 t jährlich feststellbar. Aus diesen Ergebnissen ergab sich über einen Zeitraum von 20 Jahren eine Zunahme von rund 15 t für den alternativen Betrieb, sowie 17 t für den parallelen Betrieb.

Wiederum wurde ebenfalls eine Betrachtung des rein thermisch sanierten Falles unternommen und deren Ergebnisse für alle drei Energieträger im alternativen Betrieb dargestellt. In Abbildung 5-6 ist der thermisch sanierte Fall im Vergleich zum alternativen Fall für den Energieträger Gas veranschaulicht.

5 Ökologischer Vergleich

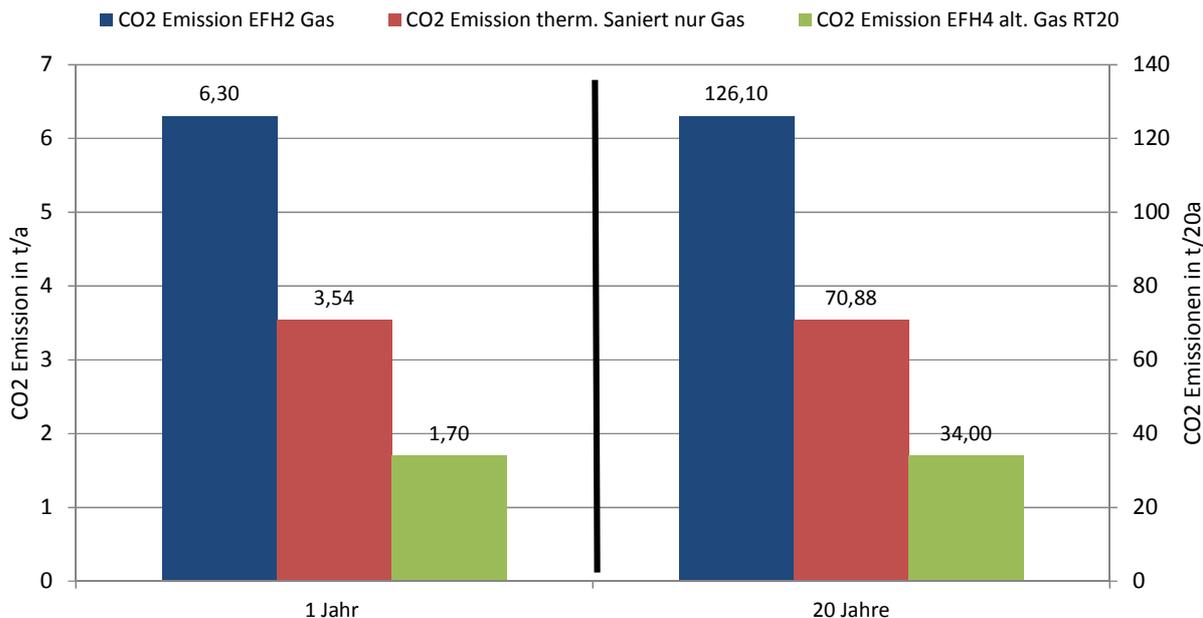


Abbildung 5-6: Vergleich von CO₂ – Emissionen zwischen Bestandsgebäude, thermischer Sanierung und alternativem Betrieb für den Energieträger Gas

Die Abbildung 5-6 zeigt, dass sich allein durch eine rein thermische Sanierung schon ein Einsparungspotential von rund 2,8 t jährlich ergibt, das entspricht 44%. Dieses Resultat macht ersichtlich, dass das Einsparungspotential im Vergleich zum Bestandsgebäude EFH3 für den rein thermisch sanierten Fall etwas geringer ausfällt (siehe Abbildung 5-1 – 62 % Reduktion). Bezogen auf den thermisch sanierten Fall war es mittels Einsatz einer Wärmepumpe nochmals möglich 52 % der CO₂ - Emissionen einzusparen.

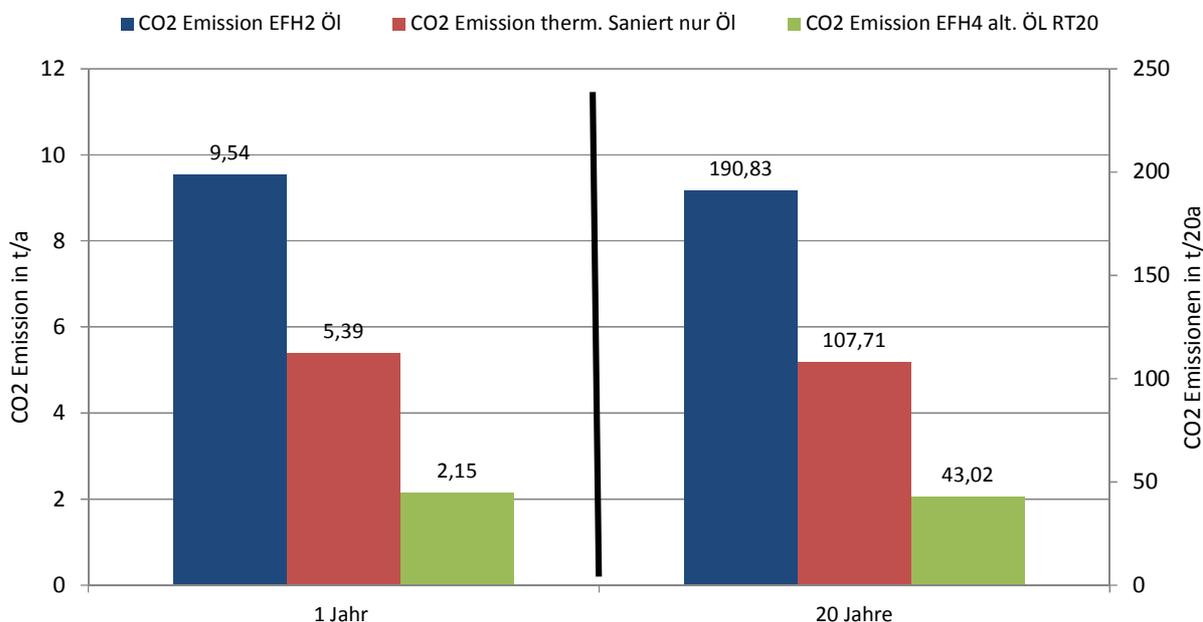


Abbildung 5-7: Vergleich von CO₂ – Emissionen zwischen Bestandsgebäude, thermischer Sanierung und alternativem Betrieb für den Energieträger Öl

Ein ähnliches Bild zeigen wiederum die Ergebnisse für den Energieträger Öl, welche in Abbildung 5-7 dargestellt sind. Die Einsparpotentiale für den thermisch sanierten Fall im Vergleich zum Bestandsgebäude liegen mit 4,15 t jährlich etwas höher als beim Energieträger Gas, da die CO₂-Belastung pro kWh_{Öl} höher ist als jene von Gas. Dies ist ebenfalls auf den erhöhten Brennstoffbedarf des Ölkessels aufgrund seines schlechteren Nutzungsgrades

5 Ökologischer Vergleich

zurückzuführen. Mit Einsatz einer Wärmepumpe ergibt sich ein Plus an jährlichem Einsparungspotential gegenüber dem thermisch sanierten Fall von nochmals 3,24 t, was einer Reduktion von rund 34 % entspricht.

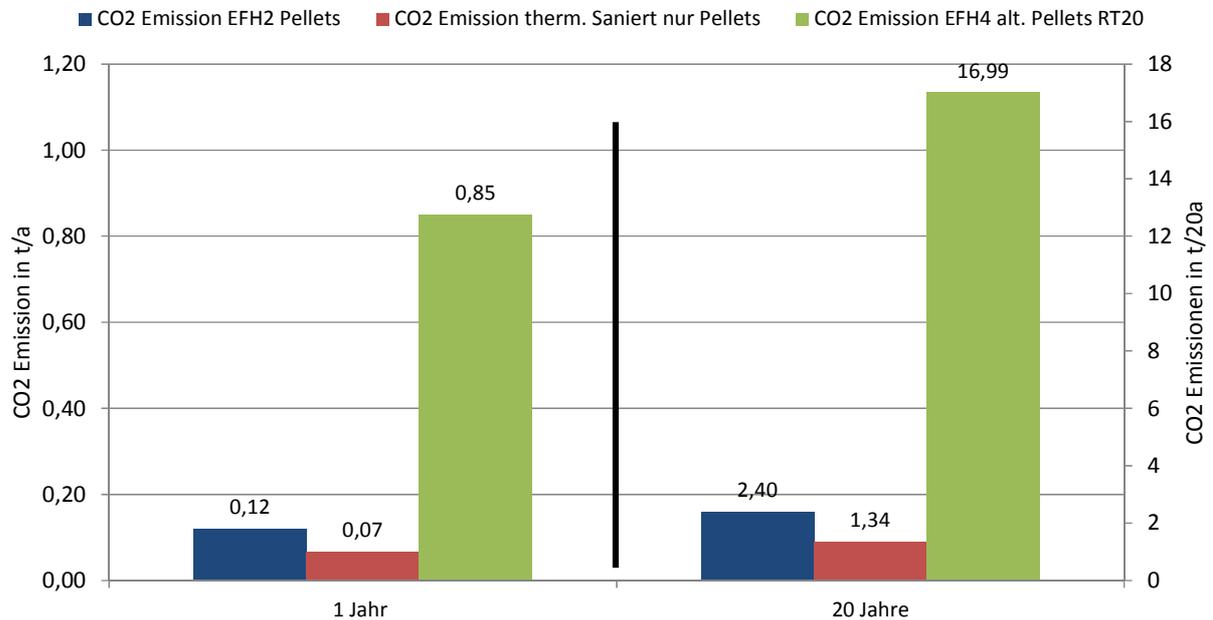


Abbildung 5-8: Vergleich von CO₂ - Emissionen zwischen Bestandsgebäude EFH2, thermischer Sanierung und alternativem Betrieb für den Energieträger Pellets

In Abbildung 5-8 ist der Vergleich zwischen dem Bestandsgebäude, dem thermisch sanierten Fall und dem alternativen Betrieb mit dem Energieträger Pellets dargestellt. Aus dieser Abbildung zeigt sich, dass durch eine thermische Sanierung zusätzlich eine Verbesserung von knapp über 40 % der CO₂ - Emissionen möglich ist. Jedoch wird durch den Einsatz einer Wärmepumpe dieses Einsparungspotential wieder unterlaufen und somit eine Anhebung um 0,78 t CO₂ jährlich in Bezug auf den thermisch sanierten Fall verschuldet.

5.3 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

In weiterer Folge wurden ebenfalls die im Kapitel 4.2 beschriebenen Szenarien einer genaueren Betrachtung bezüglich ihrer CO₂ - Emissionen unterworfen. Als erstes werden wieder die Ergebnisse des Gebäudes EFH3 und danach für EFH4 dargestellt. Die Ergebnisse für das Gebäude EFH3 beziehen sich auf den Energieträger Öl und für das Gebäude EFH4 auf den Energieträger Gas.

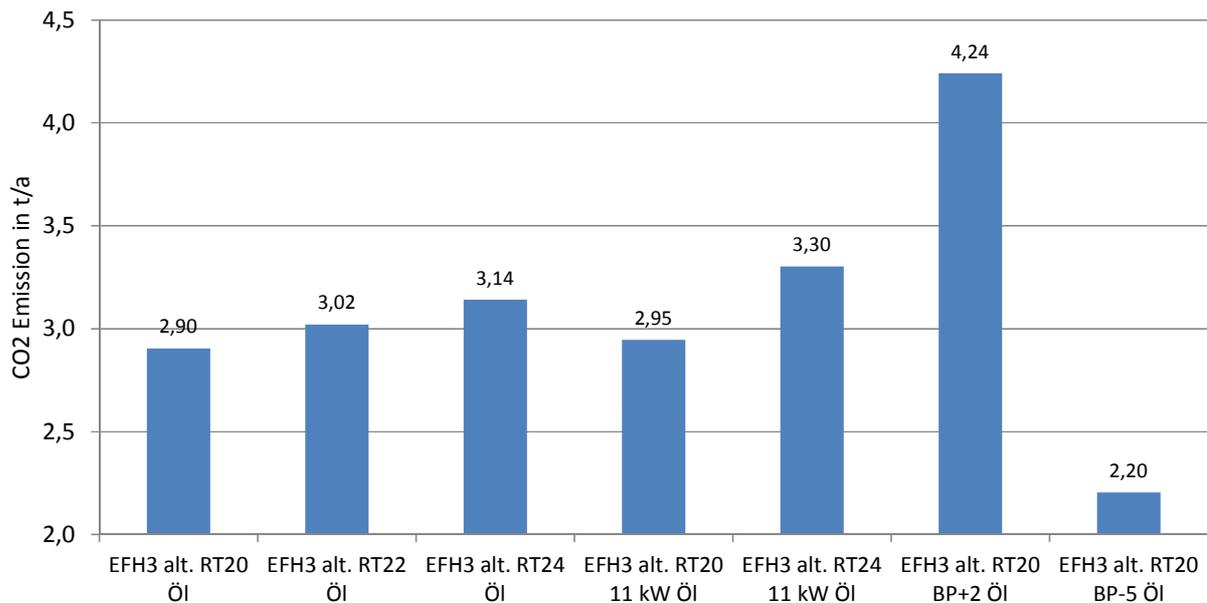


Abbildung 5-9: CO₂ - Emissionen aufgrund der verschiedenen Szenarien für das Gebäude EFH3 im alternativen Betrieb

In Abbildung 5-9 sind die CO₂ - Emissionen für die verschiedenen Szenarien des Gebäudes EFH3 dargestellt. Ersichtlich ist aus dieser Darstellung, dass im Zuge einer Erhöhung der Raumlufttemperatur und dem damit einhergehenden Anstieg des Heizwärmebedarfs folglich daraus der Verbrauch an Brennstoff und damit auch die CO₂ - Emissionen steigen. Für das Szenario S3, wo die 8 kW Wärmepumpe durch die 11 kW Wärmepumpe ausgetauscht wird, die Raumlufttemperatur aber konstant auf 20 °C gehalten wird, lässt sich ein leichter Anstieg der CO₂ - Emissionen um 0,05 t pro Jahr feststellen. Dieser Anstieg der Emissionen ist durch den 400 l Pufferspeicher (hydraulische Weiche) erklärbar, aufgrund des größeren Volumens. Der Kessel muss daher unterhalb des Bivalenzpunktes mehr Energie bereitstellen und somit wird ein höheren Brennstoffverbrauch benötigt, was einem höheren CO₂ - Ausstoß gleichkommt. Auffällig in Abbildung 5-9 ist weiters, dass es für den Bivalenzpunkt bei +2 °C zu einem vergleichsweise gravierenderen Anstieg der CO₂ - Emissionen kommt. Das liegt daran, dass der Kessel bereits ab einem früheren Zeitpunkt für den Heizbetrieb und zur Warmwasserbereitung in Betrieb genommen wird. Dementsprechend gering fiel das Ergebnis des jährlichen CO₂ - Ausstoßes für den Bivalenzpunkt bei -5 °C aus, verursacht durch den deutlich geringeren Anteil des Kesselbetriebs.

5 Ökologischer Vergleich

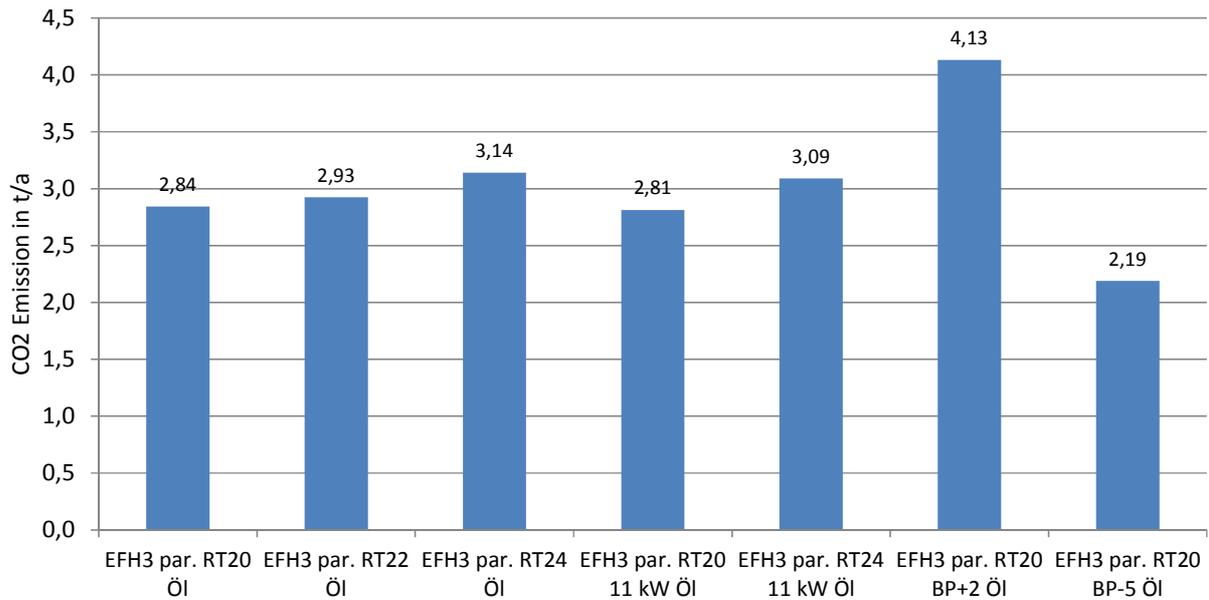


Abbildung 5-10: CO₂ - Emissionen aufgrund verschiedener Szenarien für das Gebäude EFH3 im parallelen Betrieb

Im parallelen Betrieb, zeigt Abbildung 5-10 für das Gebäudes EFH3 einen ähnlichen Verlauf der CO₂ - Emissionen wie für den alternativen Betrieb. Auffälligkeit dieser Variante ist, dass im Zuge der Sensitivität mit 11 kW Wärmepumpe dieses Mal geringfügig weniger CO₂ - Emissionen auftreten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass im parallelen Betrieb der Beitrag der Wärmepumpe zur Energiebereitstellung um einiges höher ist und im Zuge der höheren Effizienz einer Wärmepumpe im Vergleich zum Ölkessel geringere CO₂ - Emission verursacht werden.

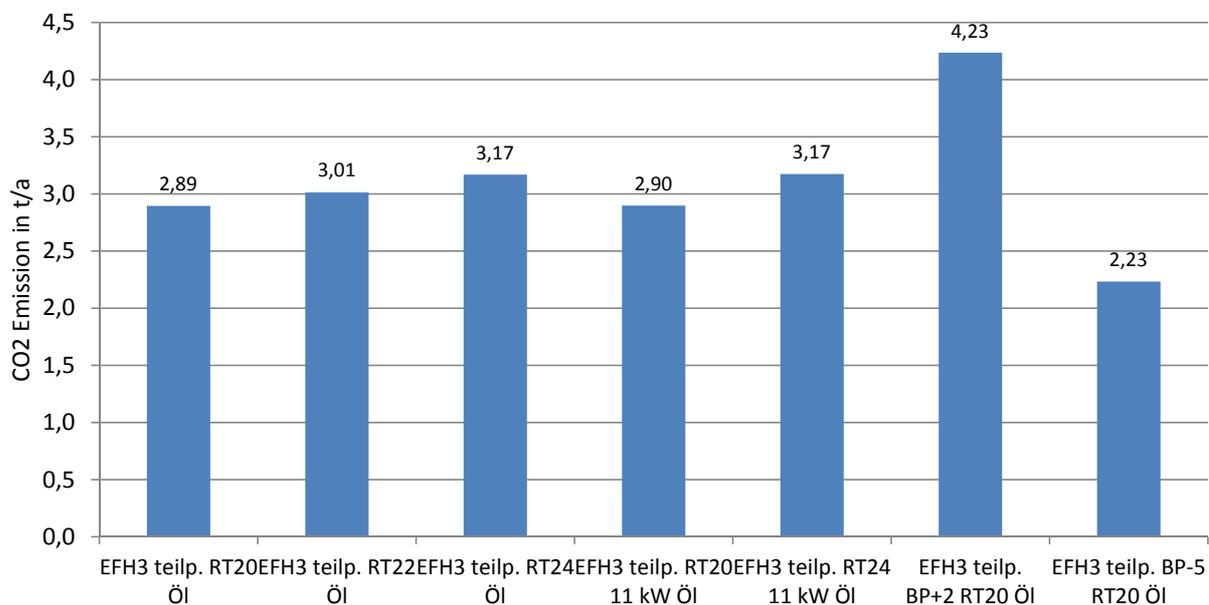


Abbildung 5-11:: CO₂ - Emissionen aufgrund der Sensitivitäten für das Gebäude EFH3 im teilparallelen Betrieb

Im teilparallelen Betrieb des Gebäudes EFH3, Abbildung 5-11, stellt sich ein ähnliches Bild dar wie bei den beiden anderen Betriebsarten (vgl. Abbildung 5-10 und Abbildung 5-9). Auffällig im Vergleich der drei Betriebsarten ist, dass sowohl für die teilparallele Variante bei einer Raumlufttemperatur von 24 °C, als auch für den Bivalenzpunkt bei -5 °C, die CO₂ – Emissionen höher liegen, als bei der alternativen Variante. Diese Tatsache entspricht nicht dem erwarteten

Ergebnis. Veranlasst durch den Bivalenzpunkt von -5 °C geht der Ölkessel erst bei relativ niedrigen Außenlufttemperaturen in Betrieb, sowohl beim alternativen, als beim teilparallelen Betrieb. Im alternativen Betrieb schaltet sich die Wärmepumpe aus, und der Ölkessel stellt die benötigte Energie alleine zur Verfügung, wohingegen beim teilparallelen Betrieb der Kessel bis zum Abschaltzeitpunkt der Wärmepumpe (-7 °C) unterstützend wirkt. Aufgrund dieser Tatsache müsste sich für den Kessel ein höherer Brennstoffverbrauch bei der alternativen Betriebsart ergeben, was aber in der Simulation nicht der Fall war. Ergebnisbezogen lag dieser bei der teilparallelen Variante um rund $0,3\text{ kWh/m}^2\text{a}$ höher. Auch die bereitgestellte Energie der Wärmepumpe war für den teilparallelen Betrieb höher im Vergleich zur alternativen Variante. Dies wiederum entspricht dem erwarteten Ergebnis, da die Wärmepumpe in dieser Variante länger betrieben wird. Aufgrund dieser Ursachen entstanden die höheren CO_2 – Emissionen für den teilparallelen Betrieb. Auch bei einer Raumlufttemperatur von 24 °C ergibt sich für den Ölkessel ein höherer Brennstoffverbrauch im teilparallelen Betrieb verglichen zum alternativen Betrieb. Dies kann nur durch eine höhere Energieanforderung (Heizwärme, Warmwasser) im Bereich zwischen Bivalenzpunkt und Abschaltzeitpunkt erklärt werden. Andernfalls müsste der Brennstoffverbrauch der alternativen Variante höher liegen, weil im teilparallelen Betrieb der Kessel bis zum Abschaltzeitpunkt unterstützend wirkt.

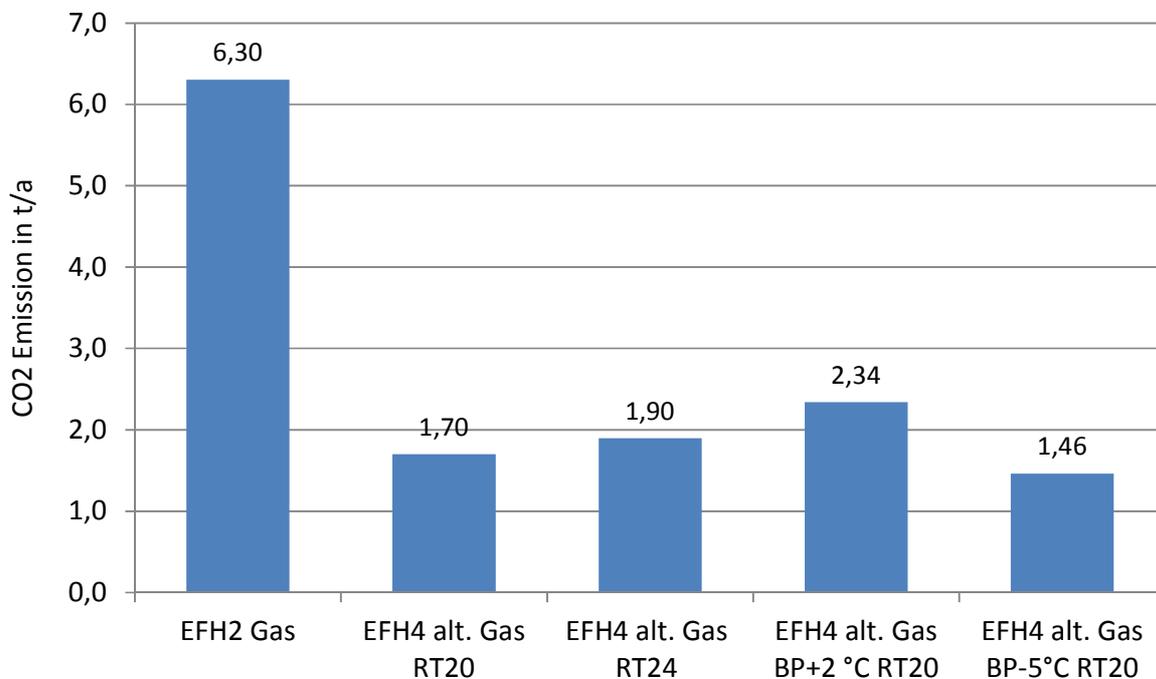


Abbildung 5-12: CO_2 - Emissionen aufgrund verschiedener Szenarien für das Gebäude EFH4 im alternativen Betrieb für den Energieträger Gas

Abbildung 5-12 zeigt den Verlauf der CO_2 - Emission des Gebäudes EFH4 für den alternativen Betrieb. Hier zeigt der Verlauf das erwartete Ergebnis. Durch den Anstieg der Raumlufttemperatur steigt auch gleichzeitig der CO_2 - Ausstoß. Es ergibt sich für einen Bivalenzpunkt bei $+2\text{ °C}$ eine Zunahme und für den Bivalenzpunkt bei -5 °C eine Abnahme der jährlichen CO_2 - Emissionen. Weiters liefern die Ergebnisse für den parallelen und teilparallelen Betrieb des Gebäudes EFH4 keine zusätzlichen Erkenntnisse, wie aus der Abbildung 5-13 und Abbildung 5-14 hervorgeht. Für alle drei Betriebsmodi kann gleichlautend gesagt werden, dass sich die hier erwarteten Ergebnisse auch zeigen: Gereiht liegt die alternative Variante mit den höchsten CO_2 – Emissionen immer an der Spitze, gefolgt von der teilparallelen Variante im Mittelfeld und der parallelen Variante mit der geringsten CO_2 – Emissionen.

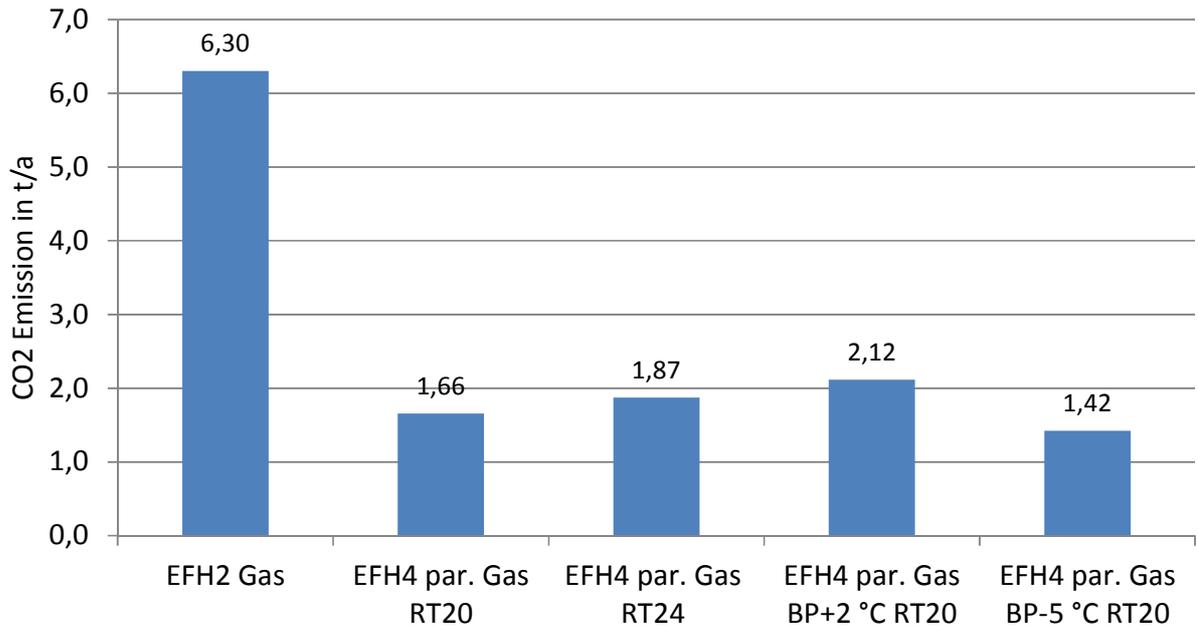


Abbildung 5-13: CO₂ - Emissionen aufgrund verschiedener Szenarien für das Gebäude EFH4 im parallelen Betrieb für den Energieträger Gas

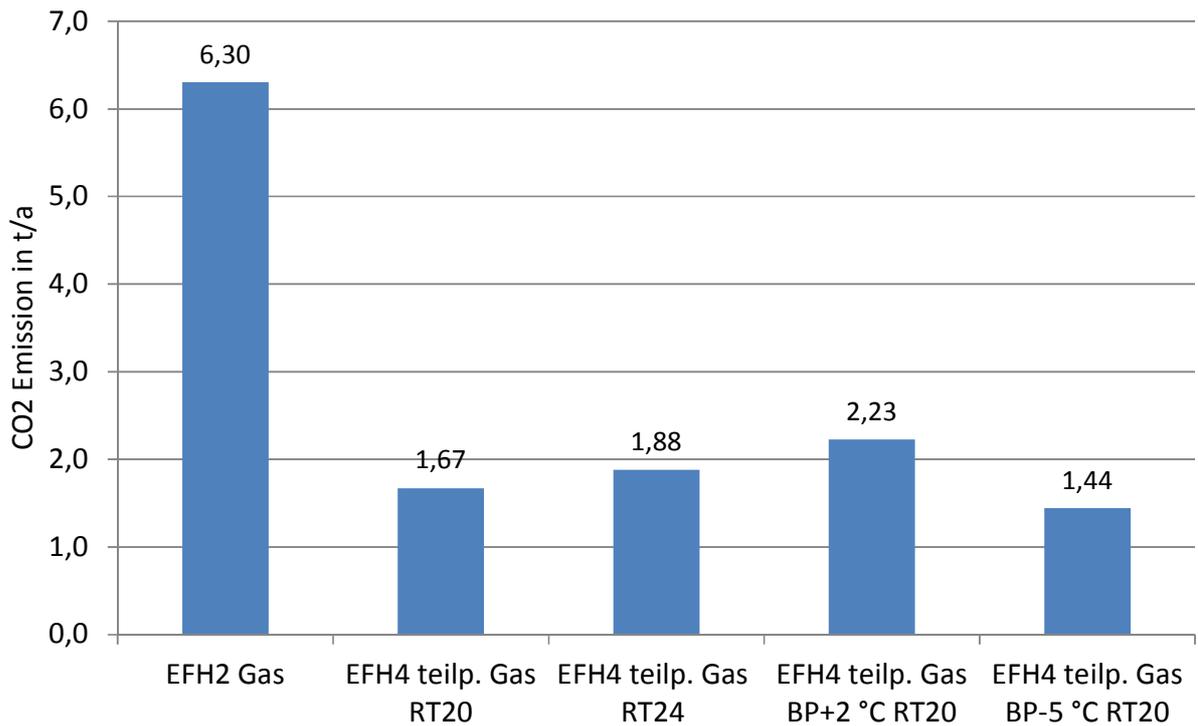


Abbildung 5-14: CO₂ - Emissionen aufgrund verschiedener Szenarien für das Gebäude EFH4 im teilparallelen Betrieb für den Energieträger Gas

6 ÖKONOMISCHER VERGLEICH

Das entscheidendste Kriterium irgendeiner Investition zu tätigen sind für den Investor in erster Linie die Kosten, die dafür in Kauf zu nehmen sind, in Relation zum zu erwartenden eigenen Nutzen. Alle Überlegungen zur Umwelt und zum Allgemeinwohl sind, wenn überhaupt, meist viel weiter hinten angeheftet.

Sehr häufig verhält es sich auch bei den Kostenüberlegungen zu einer Heizungsanlage. Aufgrund solch enormer Bedeutung wird an dieser Stelle ein wirtschaftlicher Vergleich unternommen und diskutiert. Die Abhandlung wird unter Zuhilfenahme der VDI-Richtlinie VDI 2067 (Verein Deutscher Ingenieure, 2012) durchgeführt. In dieser Richtlinie wird mithilfe der Annuitätenmethode die Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen berechnet und bewertet. Bei dieser Vorgehensweise werden alle anfallenden Kostengrößen in einmalige und laufende Kosten unterteilt. Weiters erfolgt eine Aufgliederung in kapitalgebundene, verbrauchsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten (siehe Tabelle 6-1). Im Zuge der Annuitätenmethode werden die Kosten auf einen Barwert abgezinst, addiert (Kapitalwert) und in einen konstanten jährlichen Wert (Annuität) umgerechnet.

Tabelle 6-1: Beispiele für Kostengruppen nach Verein Deutscher Ingenieure (2012)

Kapitalgebundene Kosten	Bedarfsgebundene Kosten	Betriebsgebundene Kosten	Sonstige Kosten
technische Anlagen, z. B. Wärmeerzeuger, Heizkörper, Ventilatoren, Antriebsmotoren usw. bauliche Anlagen, z. B. Technikzentralen und Schornsteine Maßnahmen zum Schall- und Wärmeschutz Anschlusskosten	Energiekosten (Grund- und Arbeitspreis) Kosten für Hilfsenergie Kosten für Betriebsstoffe (Schmierstoffe, Additive, Chemikalien usw.)	Bedienen Reinigen Warten Inspizieren Instandsetzen	Planungskosten Versicherungen Steuern allgemeine Abgaben anteilige Verwaltungskosten Gewinn und Verlust Abbruch- und Entsorgungskosten

6.1 Preisrecherche und Randbedingungen

Da es sich im Zuge dieser Arbeit um eine Bestandsanlage handelt, wurden für die Kosten in erster Linie nur diejenigen Beträge, die zur Adaptierung (vgl. Abb. 3-5) maßgeblich waren, in Betracht gezogen. Die Referenzanlage wurde um eine Wärmepumpe (Toshiba) und einen zusätzlich benötigten Pufferspeicher erweitert. Die beiden Umwälzpumpen, die bereits im Referenzschema vorhanden sind, wurden zusätzlich in der Kalkulation berücksichtigt, da für diese eine kürzere rechnerische Nutzungsdauer vom VDI vorgeschlagen wird, als der betrachtete Berechnungszeitraum ist.

Als Wärmepumpe wurde eine 8 kW Wärmepumpe von Toshiba (HWS-P804HR-E) zu einem Gesamtpreis von 7000 € (exkl. USt.) herangezogen, wobei sich dieser aus der Summe der Teilbeträge für die Außeneinheit und die Hydro Inneneinheit (vgl. Abb. 2-10) zusammensetzt. Für den Pufferspeicher wurde ein Durchschnittswert aufgrund zweier verschiedener Hersteller (Vaillant, Buderus) mit 420 € (exkl. USt.) herangezogen. Für die beiden Umwälzpumpen wurde anhand eines Vergleichsportals (preisvergleich.at, 2016) ein mittlerer Preis von 379 € (exkl. USt.) in Summe ermittelt.

Bei den Montagekosten wurden die Annahmen von Dines (2013) mit 800 € exkl. USt. übernommen. Ebenso wurden auch die Aufwendungen für Reinigung und Instandhaltung durch den Rauchfangkehrer mit 55 €/a unverändert übernommen, da es sich dabei nach wie vor um durchaus realistische Werte handelt. Die Montagekosten für den Austausch der Umwälzpumpen deutlich geringer mit 200 € angesetzt.

Die Preise der jeweiligen Energieträger wurden aufgrund verschiedener Internetrechen einzeln eruiert. Für die Energieträger Gas und Strom über die Plattform E-Control (Tarifkalkulator Anwendung, 2016) wurden unter Angabe des benötigten Energiebedarfs in kWh die Preise, siehe Anhang A, ohne Erstanschlussrabatte oder Mengenrabatte, herausgefiltert. Die Entgelte für Strom und Gas entsprechen wiederum einem Mittelwert des billigsten und des teuersten Anbieters, sowie dem Regionalanbieter (Energie Steiermark).

Zu Heizöl Extra Leicht wurde unter Zuhilfenahme veröffentlichter Preise der Wirtschaftskammer Österreich (2016a) ein Durchschnittswert über die letzten vier Monate ermittelt. Als Pelletespreis wurde mithilfe der Angaben des Instituts für Wärme- und Öltechnik (Erdody, 2016a) ein Mittelwert berechnet und mittels der Heizwertangabe (5 kWh/kg nach AGRAR PLUS (2016)) umgerechnet. Die verwendeten Preise aller Energieträger sind in Tabelle 6-2 aufgelistet, verstehen sich ohne Umsatzsteuer (20 %) und entsprechend dem Stand von 22.04.2016.

Tabelle 6-2: Verwendete Energieträgerpreise Stand 22.04.2016

Energieträger	[€/kWh _{el} bzw. €/kWh _{Hu}]
Strom	0,20640
Gas	0,07220
Heizöl Extra Leicht	0,05463
Pellets	0,04700

Zur Berechnung wurde ein Betrachtungszeitraum, nach Vorgabe von VDI, von 20 Jahren für die Heizungsanlage herangezogen. Der Kalkulationszinssatz wurde aufgrund der Tatsache, dass geheizt werden muss und damit eine Heizungsanlage zwangsweise notwendig ist, mit 0 % festgelegt. Die Preisänderungsrate der kapitalgebundenen Kosten wurde mit 2,2 % angesetzt und entspricht der mittleren Inflation von 1995 – 2015, laut Wirtschaftskammer Österreich (2016c). Die Preisänderungsrate der Löhne und Gehälter wurde aus demselben Betrachtungszeitraum (1995 – 2015) mit 2,89 % entnommen. Dieser Wert ist aus dem Tariflohnindex der Wirtschaftskammer Österreich über den Betrachtungszeitraum berechnet und entspricht einem gemittelten Wert. Die Preisänderungsrate für die Energieträger wurde mit 0 % angenommen. Da diese einer täglichen Schwankung unterliegen, wurden somit im Sinne einer Betrachtungsvereinfachung die Energiepreise fixiert.

Selbstredend wurde auch der wirtschaftliche Vergleich einer Sensitivitätsanalyse unterworfen. Im Speziellen wurde dabei eine jährliche Preisänderung der Energieträger (Preisänderungsrate Energieträger), sowie eine Steigerung des Kalkulationszinssatzes und eine Neuinvestition für die jeweiligen Bestandskessel nach 20 Jahren betrachtet. Die beiden letzten Szenarien wurden nur für die Gebäude EFH2 bzw. EFH4 durchgeführt, da nicht-modulierende Ölkessel nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen und in Folge nicht mehr erhältlich sind. Weiters wurde für das Bestandsgebäude EFH1 bzw. EFH3 auch die 11 kW Wärmepumpe von Toshiba für die Sensitivität mit in Betracht gezogen.

Zusammenfassend werden alle verwendeten Preise für EFH1 und EFH3 sowie für EFH2 und EFH4 in der Tabelle 6-2 dargestellt.

Tabelle 6-3: Verwendete Preise (exkl. USt.)

EFH1 & EFH3	Preis in [€]	EFH2 & EFH4	Preis in [€]
Wärmepumpe 8 kW	7000	Wärmepumpe 8 kW	7000
Pufferspeicher 150 l	420	Pufferspeicher 150 l	420
Wärmepumpe 11 kW	8040	Umwälzpumpen	379
Pufferspeicher 400 l	947	Ölkessel	6397
Umwälzpumpen	379	Gaskessel	2854
		Pelletsessel	11133

Die in der Tabelle 6-2 dargestellten Preise der Kessel für die verschiedenen Energieträger wurden für den Öl- und Gaskessel aufgrund verschiedener Hersteller, für Öl (Buderus, Vaillant

und Viessmann), sowie für Gas (Buderus, Vaillant und Windhager), im Internet recherchiert und gemittelt. Für den Pelletskessel wurde der Preis aufgrund einer von der Internetplattform (Pelletheizungen im Test - Stiftung Warentest | Aktion-Holz, 2016) veröffentlichten Testreihe herangezogen und gemittelt. Die dabei verwendeten Preise beziehen sich auf die Hersteller (Hargassner, KWB und Viessmann).

In Tabelle 6-3 werden die im vorhergehenden Text erwähnten Zinssätze nochmals dargestellt.

Tabelle 6-4: Verwendete Zinssätze zur Bestimmung der Annuitäten

Kalkulationszinssatz q	0,00 %
Preisänderungsrate Löhne und Gehälter	2,89 %
Preisänderungsrate kapitalgebundene Kosten	2,20 %
Preisänderungsrate Energie	0,00 %

Für die Berechnung der Annuitäten wurden nur Kosten betreffend der Heizungstechnik in Betracht gezogen. Es wurden keine Kosten bezüglich der thermischen Sanierung (Gebäudehülle) berücksichtigt.

6.2 Ökonomische Ergebnisse

Im diesem Kapitel werden die Ergebnisse des wirtschaftlichen Vergleichs dargestellt. Dabei wird zuerst wieder auf das Gebäude EFH1 bzw. EFH3, danach auf EFH2 bzw. EFH4 und zum Schluss auf die Sensitivitäten eingegangen.

6.2.1 Ökonomische Ergebnisse EFH1 & EFH3

In Abbildung 6-2 wird der wirtschaftliche Vergleich für das Bestandsgebäude (EFH1) mit dem Öl - Bestandskessel und den sanierten Varianten in den verschiedenen Betriebsarten (EFH3 alternativ, EFH3 parallel und EFH3 teilparallel) gegenübergestellt. Angemerkt sei auch, dass die beiden Umwälzpumpen dem Bestandskessel zugeordnet wurden, da diese in der Referenzanlage vorhanden waren.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Bestandskessel im nicht sanierten Fall eine höhere Annuität aufweist, als jener der drei betriebenen Varianten im sanierten Fall. Dieses deutlich höhere Ergebnis des Bestandskessel liegt, wie aus der Abbildung ersichtlich wird, an den verbrauchsgebundenen Kosten, sprich dem Energieverbrauch.

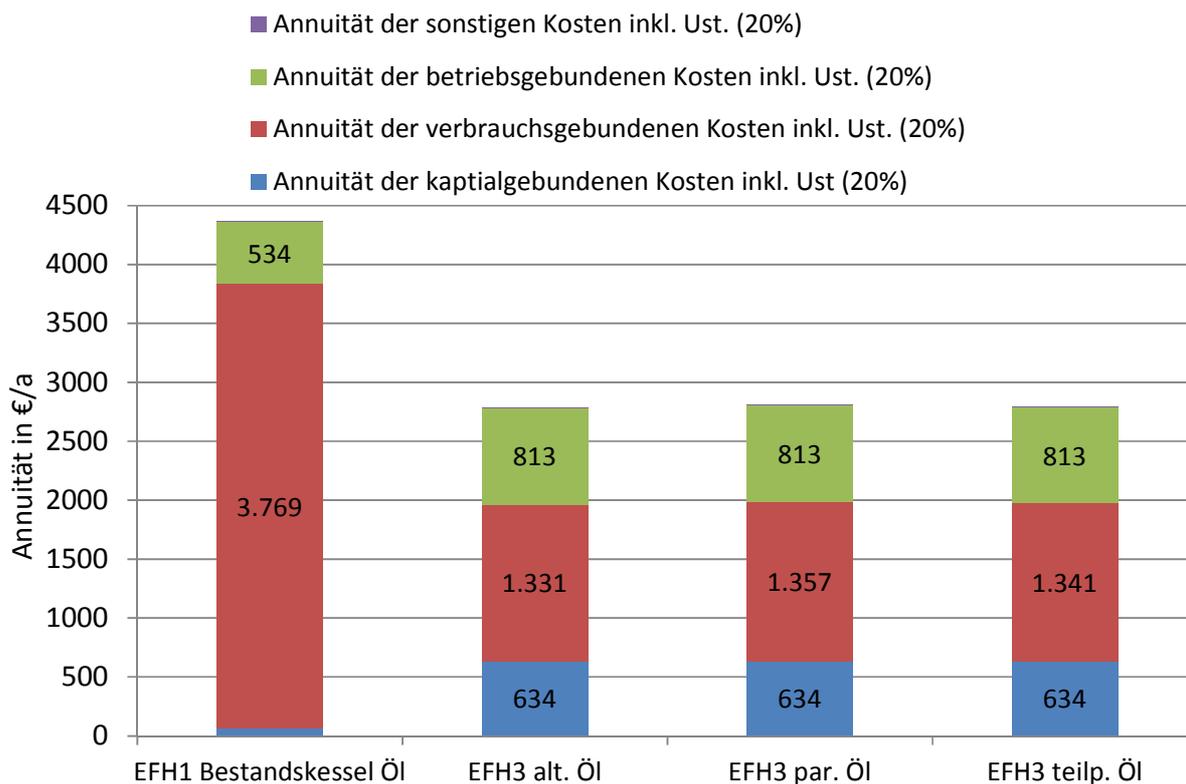


Abbildung 6-1: Vergleich der Annuitäten EFH1 und EFH3

Auffällig ist, dass die kapitalgebundenen (+ 571 €/a) sowie auch die betriebsgebundenen (+ 279 €/a) Kosten, durch die Investition für eine Wärmepumpe in der Variante EFH3, im Vergleich zum Bestandskessel, deutlich gestiegen sind. Im Unterschied dazu, ist die Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten deutlich gesunken, welche trotz einer Zunahme der kapital- und betriebsgebundenen Kosten zu einer Reduktion der Gesamtannuität geführt haben. In Variante EFH3 alternativ sank die Gesamtannuität, im Vergleich zum Bestandskessel, um rund 1700 €/a. In Bezug auf die anderen beiden Varianten verhielt es sich ähnlich. Der Unterschied für das sanierte Gebäude EFH3 und dessen Betriebsarten untereinander fällt gering aus. Der wesentliche Unterschied bei diesen Varianten sind die Annuitäten der verbrauchsgebundenen Kosten, da die restlichen jährlichen Kosten durch die Investition einer Wärmepumpe gleich bleiben. Anhand der Wahl des Betriebsmodus ergibt sich aufgrund des deutlich höheren Strompreises im Vergleich zum Ölpreis (Heizöl Extra Leicht) für die parallele Variante eine um etwa 26 €/a und für die Teilparallele um etwa 10 €/a höhere Annuitäten der verbrauchsgebundene Kosten im Vergleich zur alternativen Variante. Die Gesamtannuität der alternativen Betriebsweise beläuft sich auf 2784 €/a, für die parallele auf 2809 €/a, sowie für die teilparallele Variante auf 2793 €/a.

6.2.2 Ökonomische Ergebnisse EFH2 und EFH4

Die Abbildung 6-3 zeigt die unterschiedlichen Gesamtannuitäten der verschiedenen Energieträger (Gas, Öl und Pellets) im Vergleich. Im Kapitel 4.1 wurde deutlich ersichtlich, dass der Energieverbrauch des Pelletskessels aufgrund des schlechteren Nutzungsgrades, im Vergleich zum Gaskessel, wesentlich höher liegt. Die Gesamtannuitäten verhalten sich dazu genau umgekehrt. Trotz des geringeren Energieverbrauchs und der sonst gleichen Annahmen liegt die Annuität des Bestandskessels für Gas mit 2927 €/a höher als die Gesamtannuität des Ölkessels (2496 €/a) und der des Pelletskessels (2303 €/a). Begründet ist dieses Ergebnis durch die unterschiedlichen Energieträgerpreise (vgl. Tabelle 6-1) und der Tatsache des höheren Gaspreises im Vergleich zu Öl- und Pellets.

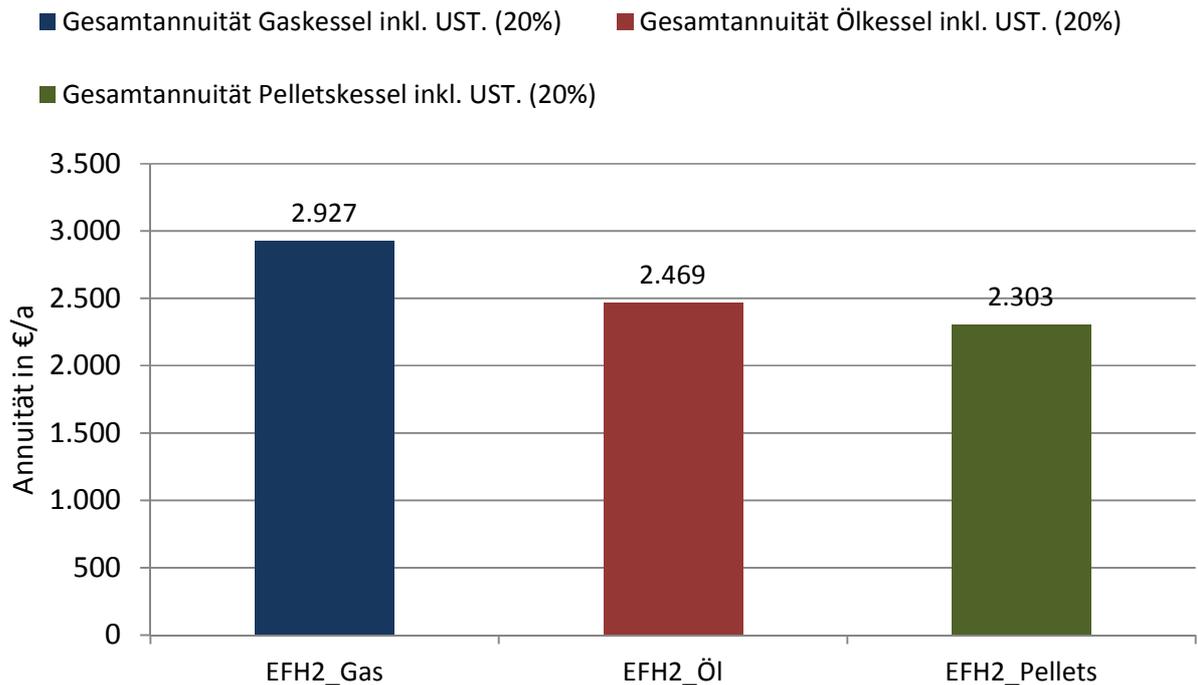


Abbildung 6-2: Vergleich der Gesamtannuität der Bestandskessel unterschiedlicher Energieträger

Abbildung 6-4 zeigt, dass sich die Gesamtannuitäten ähnlich dem Gebäude EFH1 und EFH3 verhalten. Auch beim Energieträger Gas waren die jährlichen Kosten des Bestandskessels höher als jene der sanierten Fälle, jedoch fiel der Unterschied im Vergleich zum älteren Bestandsgebäude (EFH1) deutlich geringer aus. Betrug die Differenz beim älteren Bestandsgebäude noch rund 1700 €/a, so schlägt der Unterschied beim Gebäude EFH2 und EFH4 mit nur mehr knapp 400 €/a zu Buche.

6 Ökonomischer Vergleich

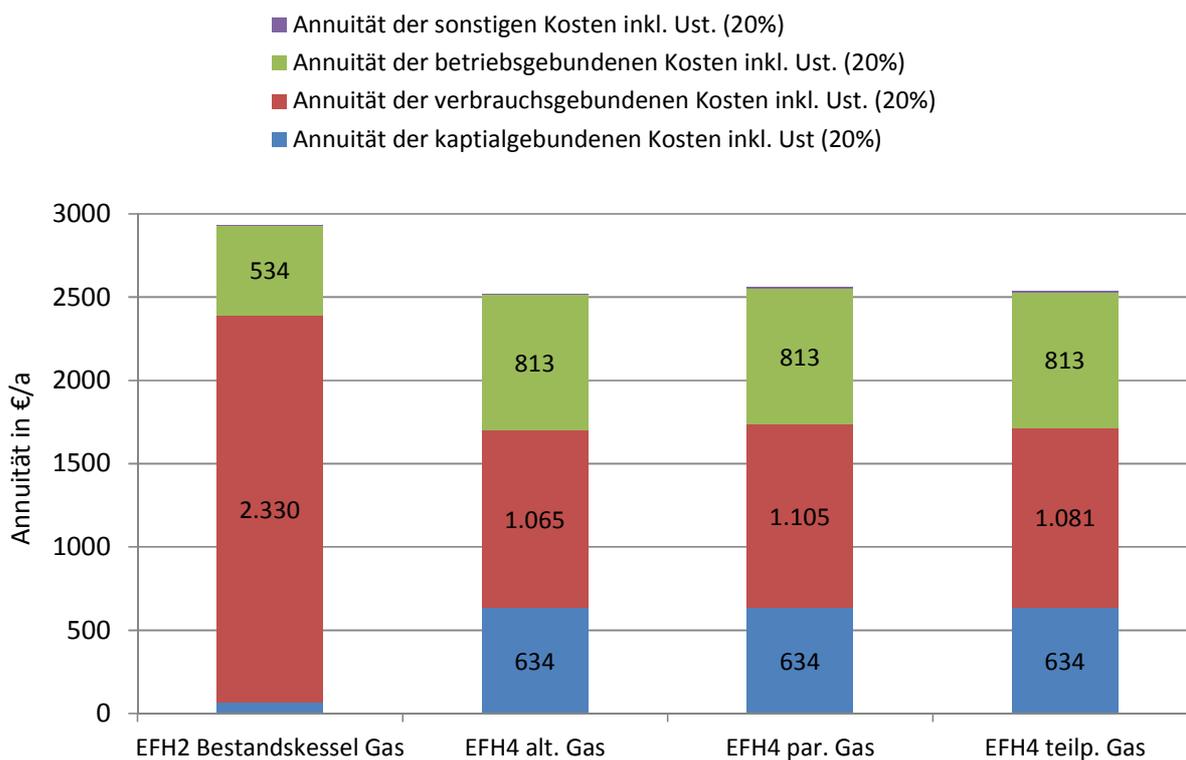


Abbildung 6-3: Vergleich der Annuitäten EFH2 und EFH 4 Energieträger Gas

Die Verringerung der Gesamtannuität für die alternative, parallele und teilparallele Variante (EFH4 alt. Gas, EFH4 par. Gas und EFH4 teilp. Gas) lässt sich trotz einer Steigerung der Annuität der kapital- als auch der betriebsgebundenen Kosten, einzig auf die Reduktion der verbrauchsgebundenen Kosten zurückführen. Aufgrund der Wahl des Betriebsmodus und des höheren Strompreises im Vergleich zum Gaspreis ergaben sich für die parallele (50 €/a) und für die teilparallele (16 €/a) Varianten höhere Annuitäten der verbrauchsgebundenen Kosten im Vergleich zur alternative Variante. Auch lässt sich erkennen, dass aufgrund des höheren Gaspreises, im Vergleich zum Ölpreis (Strompreis für beide Gebäude gleich), die Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten höher lagen im Vergleich zum EFH4 (vgl. Abbildung 6-3 mit Abb. 6-4).

Im Vergleich zum Energieträger Gas wird für den Energieträger Öl des Bestandsgebäudes EFH2 (siehe Abbildung 6-4) ersichtlich, dass aufgrund des geringen Ölpreises die Gesamtannuität des Bestandskessels etwa gleich ausfällt wie jene der bivalenten Varianten. Hieraus lässt sich schließen, dass durch die Investition für eine Wärmepumpe und den notwendigen Komponenten, sich die Mehrkosten für die kapital- und betriebsgebundenen Kosten und die Verringerung der verbrauchsgebundenen Kosten die Waage halten. Als Betrag weist die alternative Variante (EFH4 alt. Öl) eine um 9 €/a geringere Gesamtannuität aus. Die parallele (EFH4 par. Öl) zeigt dagegen eine um 50 €/a und die teilparallele (EFH4 teilp. Öl) Variante eine um 9 €/a höhere Gesamtannuität auf im Vergleich zum Bestandsgebäude.

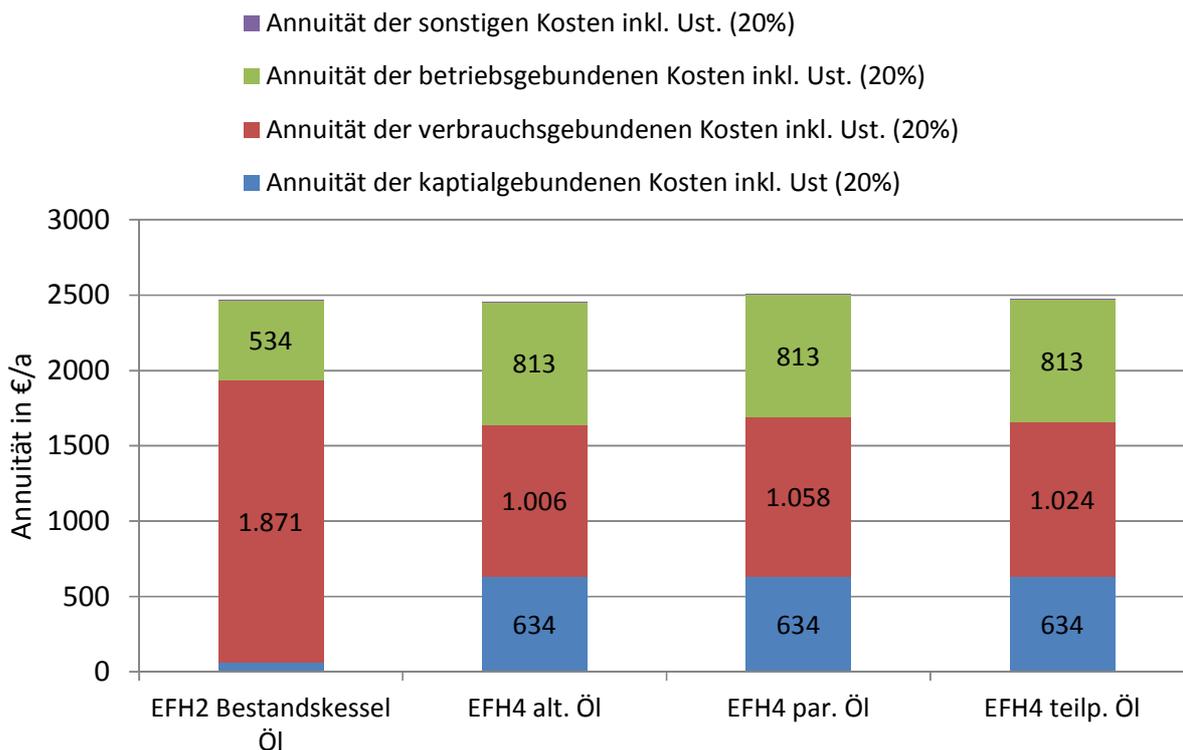


Abbildung 6-4: Vergleich der Annuitäten EFH2 und EFH4 Energieträger Öl

Im Gegensatz zu den beiden anderen Energieträgern steht die Variante die Pellets als Energieträger nutzt, wie in Abbildung 6-6 dargestellt. Da Pellets der kostengünstigste Energieträger in dieser wirtschaftlichen Analyse ist, verhält es sich hier so, dass die Gesamtannuität des Bestandskessels geringer ist, als die der sanierten Fälle. Zwar lassen sich auch hier durch die thermische Sanierung und den Einsatz einer Wärmepumpe die verbrauchsgebundenen Kosten um rund 700 €/a senken, jedoch durch die große Spanne zwischen Pellets- und Strompreis fällt die Reduktion der verbrauchsgebundenen Kosten deutlich geringer aus, als noch bei den beiden anderen Energieträgern. Durch den Mehraufwand für die Annuität der kapital- und betriebsgebundenen Kosten und der deutlich geringeren Einsparung bei den verbrauchsgebundenen Kosten, ergibt sich die höhere Gesamtannuität für die bivalenten Systeme. In Zahlen bedeutet dies, dass für die alternative (EFH4 alt. Pellets) Variante einen Mehraufwand pro Jahr von 129 €/a, für die parallele (EFH4 par. Pellets) von 192 €/a sowie für die Teilparallele (EFH4 teilp. Pellets) von 151 €/a nötig ist.

6 Ökonomischer Vergleich

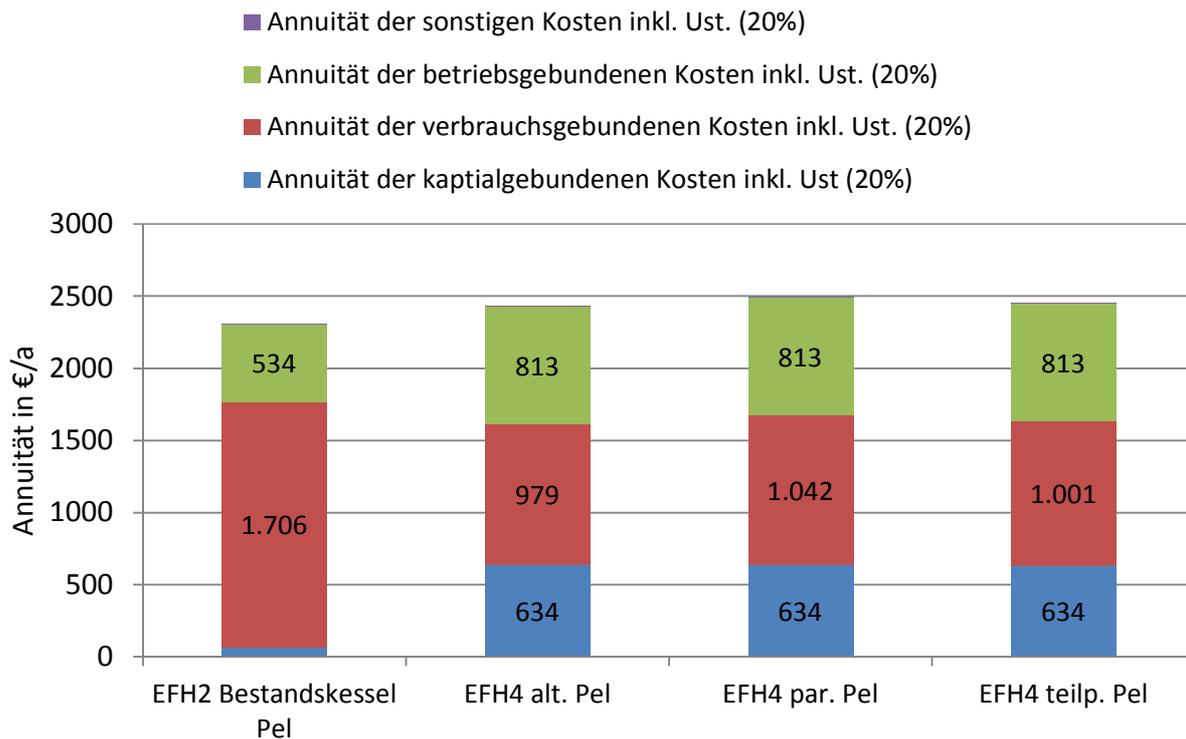


Abbildung 6-5: Vergleich der Annuitäten EFH2 und EFH4 Energieträger Pellets

6.2.3 Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

Wie bereits erwähnt wird der wirtschaftlichen Vergleich auch einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Genauso wie im vorherigen Kapitel 6.2 werden zuerst die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf des Gebäude EFH1 und EFH3 und danach die von EFH2 und EFH4 behandelt.

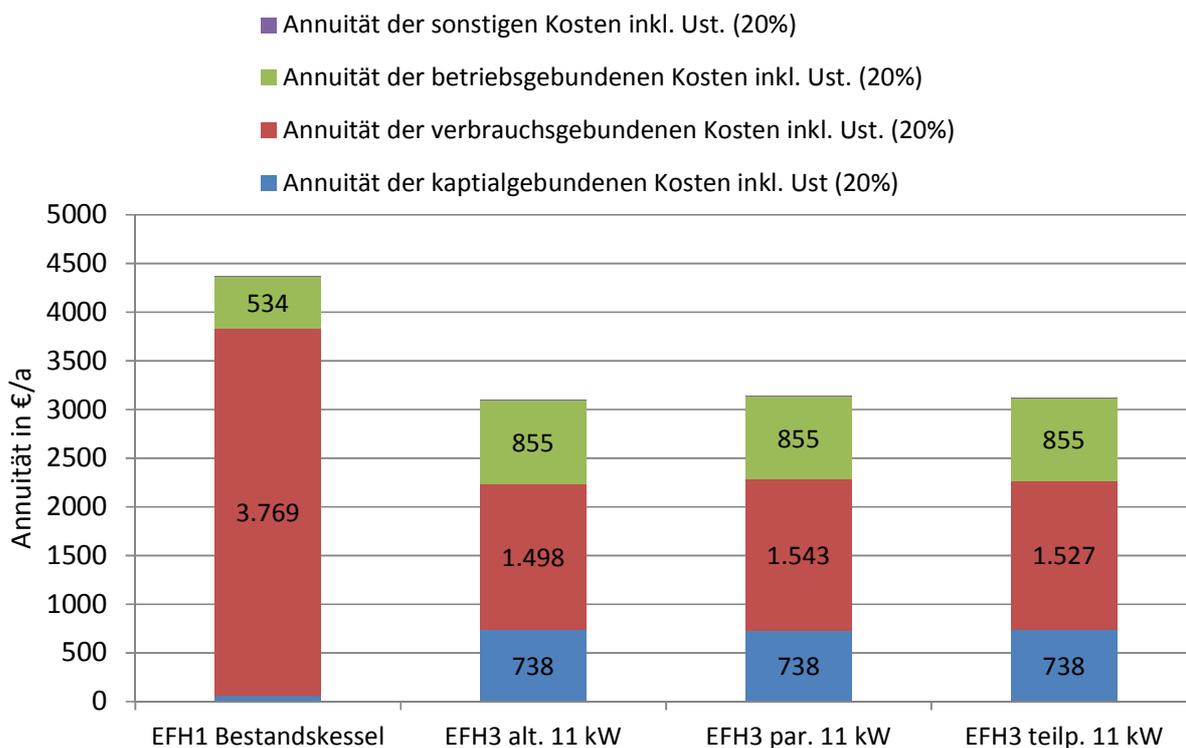


Abbildung 6-6: Vergleich der Annuitäten EFH1 und EFH3 11 kW Wärmepumpe

Wie auch schon beim Ausgangszustand des Gebäudes EFH1 und EFH3 mit der 8 kW Wärmepumpe (siehe Abbildung 6-2) wird die 11 kW Wärmepumpe mit dem Bestandskessel verglichen. Aus der Abbildung 6-7 lässt sich erkennen, dass sich die Annuität der kapitalgebundenen Kosten im Vergleich zur 8 kW Wärmepumpe nochmals von 634 €/a auf 738 €/a um 104 €/a steigerten. Damit direkt verbunden sind auch die Annuität der betriebsgebundenen Kosten die ebenfalls um 42 €/a steigen und nun bei 855 €/a liegen. Durch die höhere Leistungsaufnahme der 11 kW Wärmepumpe ergibt sich wie aus Kapitel 4.2 bekannt, im Vergleich zur 8 kW Wärmepumpe ein höherer Energieverbrauch, wodurch die Annuitäten der verbrauchsgebundenen Kosten für die sanierten Fälle (EFH3 alt. 11 kW, EFH3 par. 11 kW und EFH3 teilp. 11 kW) wieder zunehmen. Aufgrund dieser Steigerung der Annuitäten ergab sich gesamt für die alternative Betriebsweise eine um 1268 €/a, für die parallele eine um 1223 €/a und für die teilparallel eine um 1240 €/a geringer Gesamtannuität bezogen auf den Bestandskessel. Im Vergleich zur Ausgangssituation für die alternative Variante jedoch eine höhere Gesamtannuität pro Jahr von 314 €, für die parallele eine um 334 € und für die teilparallele Variante um 333 €.

6 Ökonomischer Vergleich

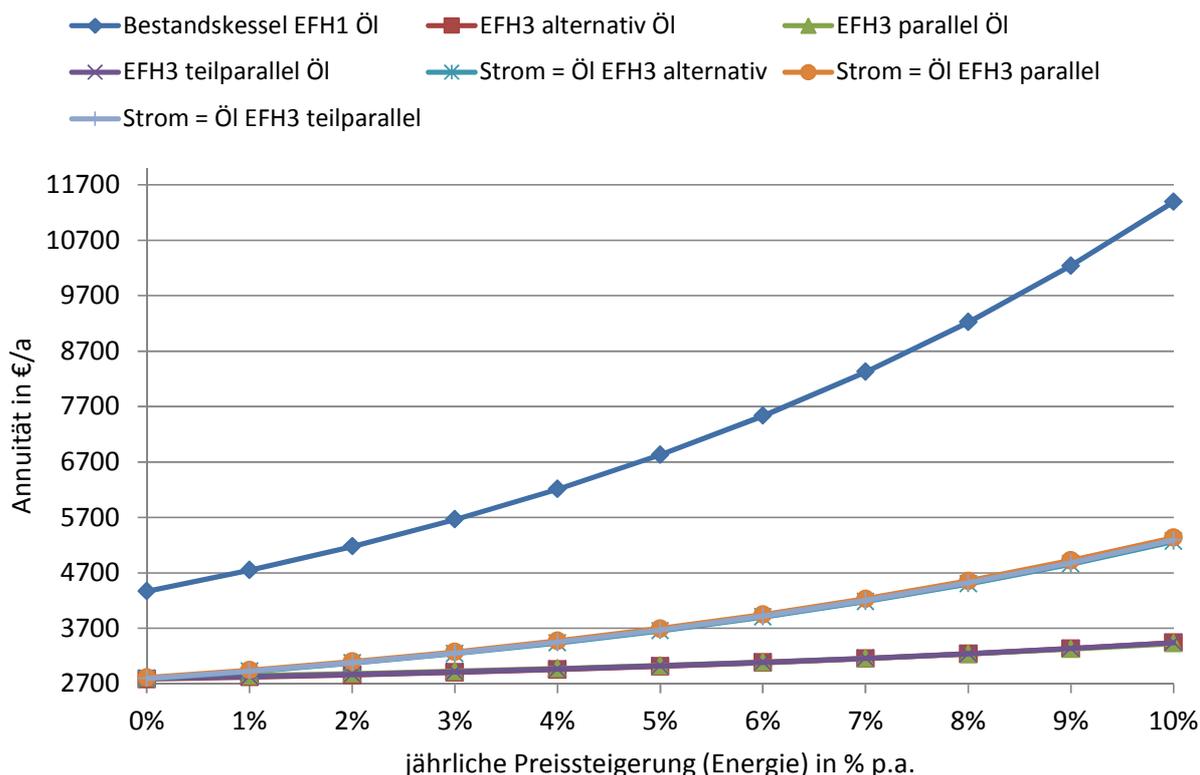


Abbildung 6-7: Vergleich der Gesamtannuität EFH1 und EFH3 in Abhängigkeit der Energiepreissteigerung

Aus Abbildung 6-7 wird die Untersuchung der jährlichen Energiepreissteigerung ersichtlich. Einerseits wurde dabei nur der Ölpreis einer jährlichen Preissteigerung unterworfen (vgl. Abb. 6-6 EFH3 alternativ Öl) und der Strompreis konstant gehalten, andererseits wurde sowohl der Öl- als auch der Strompreis einer jährlichen Steigerung unterworfen (vgl. Abb. 6-8 Strom = Öl EFH3 alternativ). Auf den ersten Blick fällt auf, dass alle drei sanierten Fälle im Zuge der Energiepreissteigerung, für die im Diagramm gewählte Auflösung, nahezu deckungsgleich verlaufen. Begründet ist dieses Ergebnis in den nur sehr geringen Unterschieden der Annuitäten der verbrauchsgebundenen Kosten zueinander. Auffällig ist zudem, dass im Falle einer Ölpreissteigerung der Bestandskessel einen deutlich stärkeren Anstieg verzeichnet (Bestandskessel EFH1) als die bivalenten Heizungssysteme (EFH3 alternativ Öl, EFH3 parallel Öl und EFH3 teilparallel Öl). Auch für den Fall der Öl- und Strompreissteigerung, lässt sich für die bivalenten Varianten (Strom = Öl EFH3 alternativ, Strom = Öl EFH3 parallel, Strom = Öl EFH3 teilparallel) zwar ein stärkerer Anstieg als noch zur reinen Ölpreissteigerung feststellen, jedoch ein geringerer als für den Bestandskessel. Der Verlauf der Bestandskesselkurve im Vergleich zu den beiden anderen Varianten zeigt, dass die Spreizung zueinander steigt, sowohl für eine reine Ölpreissteigerung als auch für die Strom- und Ölpreissteigerung. Diese Darstellung sagt aus, dass im Falle einer Preissteigerung der Energieträger, sich eine Investition jedenfalls lohnen würde, da das Ersparnispotential im Sinne der Gesamtannuität bei jeder weiteren Preissteigerung höher ausfallen würde. Auch verläuft die Steigung für die Strom- und Ölpreissteigerungen steiler als jene der Ölpreissteigerung, jedoch steigt diese deutlich weniger als die der Bestandskesselkurve. Jedenfalls zeigt diese ebenso einen wesentlichen Vorteil des eines Wärmepumpeinsatzes.

Wie bereits erwähnt werden die Sensitivitäten für das Gebäude EFH2 und EFH4 einerseits für eine Neuinvestition für den Kessel (Abb. 6-8 - 6-10), als auch die Erhöhung des Kalkulationszinssatzes untersucht. Für den Kalkulationszinssatz wurde dabei eine Steigerung um von 0 % auf 1 % und von 0 % auf 2 % vorgenommen, da nach dem Bankenrechner der Arbeiterkammern, derzeit ein maximaler Zinssatz von 1,7 % für das Investitionskapitals bei

einmaliger Einzahlung und Bindung des Sparbuches auf 10 Jahre gewährt wird (Arbeiterkammer, 2016).

Eine Investition für den Kessel schlägt sich nur bei den Annuitäten der kapital- sowie betriebsbedingten Kosten nieder und bewirken daher, wie aus den folgenden Abbildung erkennbar, eine Erhöhung der Gesamtannuität. Im Speziellen zeigt Abbildung 6-8 die Erhöhung der Gesamtannuität für den Energieträger Gas. Das Investitionskapital für einen neuen Gaskessel verursacht nur eine geringe Erhöhung der Gesamtannuität. So ergibt sich eine Gesamtannuität von rund 2700 €/a. Im Vergleich dazu ergaben sich die Gesamtannuitäten der sanierten Fällen ohne Investition in einen neuen Kessel zu rund 2500 €/a (vgl. Abb. 6-4) und damit fällt die Belastung bei einer Neuinvestition für den Gaskessel mit nur 200 €/a höher aus.

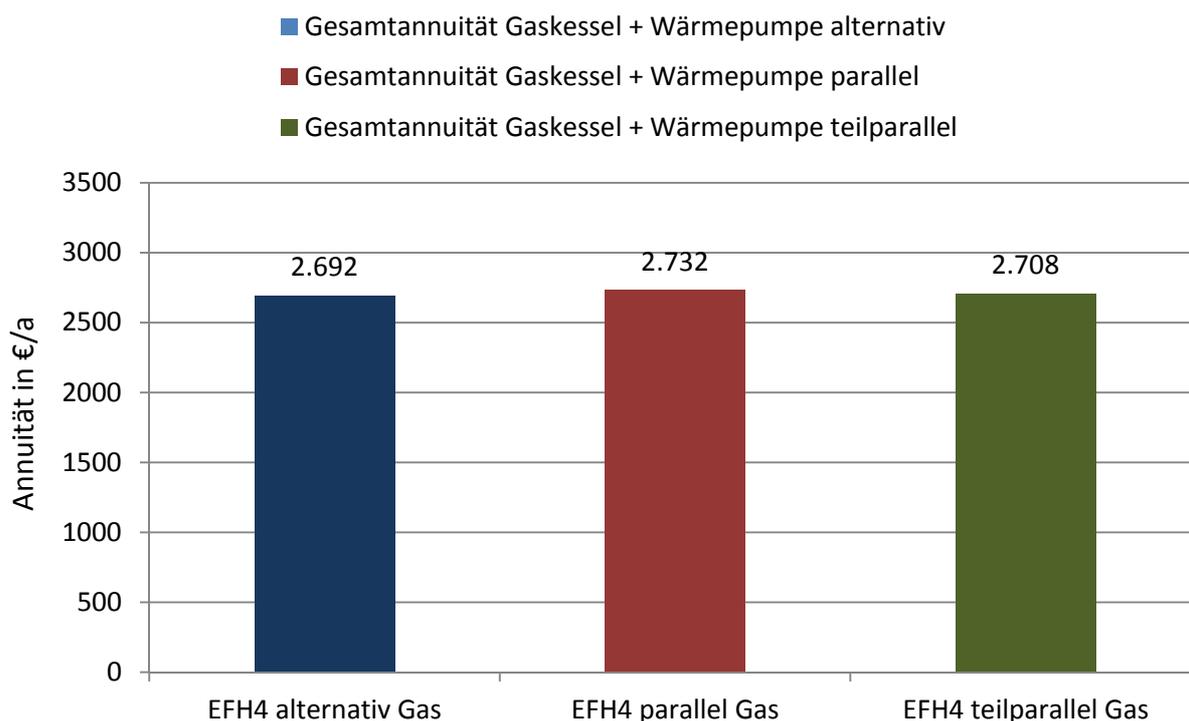


Abbildung 6-8: Vergleich der Annuitäten EFH4 aufgrund einer Neuinvestition des Kessels Energieträger Gas

Ein etwas verändertes Bild dagegen zeigt die Erhöhung der Gesamtannuität des Ölkessels aufgrund einer Neuinvestition (siehe Abbildung 6-9). Wie aus Tabelle 6-3 ersichtlich ist, würde eine Neuanschaffung eines neuen, modulierenden Ölkessels wesentlich teurer kommen, als die eines Gaskessels. Auch hier schlagen sich die Investitionskosten wieder auf den Annuitäten der kapital- und betriebsgebundenen Kosten nieder und bewirken somit eine Erhöhung der Gesamtannuität für alle Varianten (EFH4 alternativ Öl, EFH4 parallel Öl und EFH4 teilparallel Öl) um rund 390 €/a. Im Vergleich zum Energieträger Gas bedeutet das eine Steigerung von rund 189 €/a.

6 Ökonomischer Vergleich

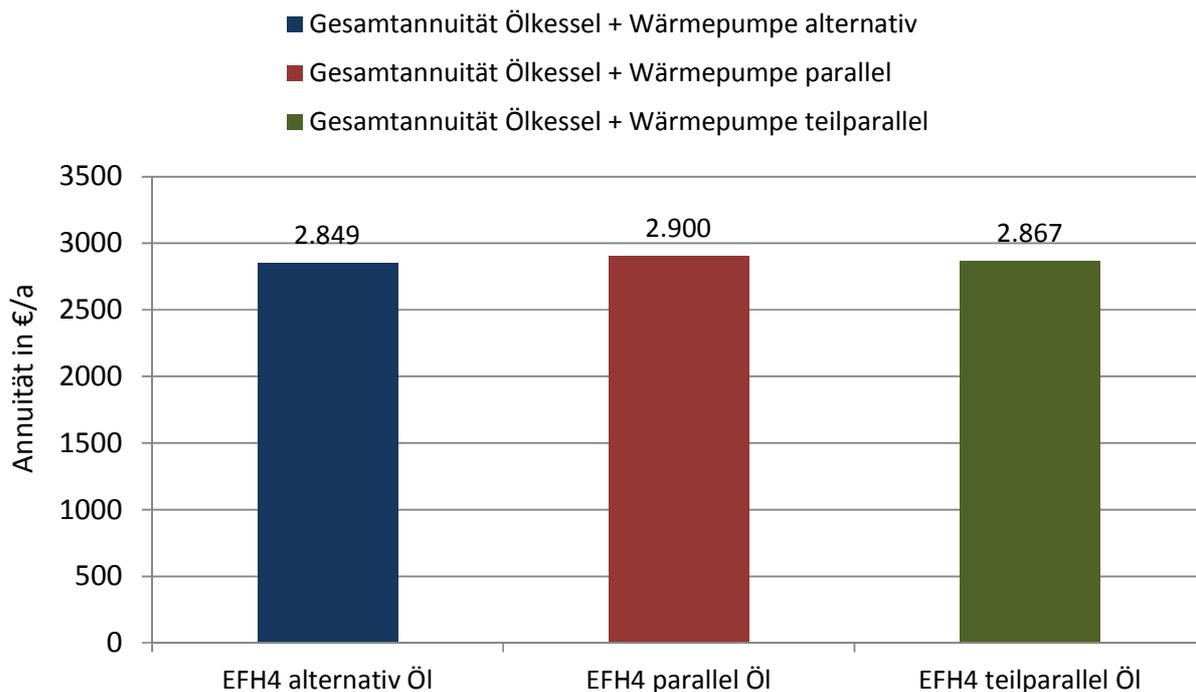


Abbildung 6-9: Vergleich der Annuitäten EFH4 aufgrund einer Neuinvestition des Kessels Energieträger Öl

Einen wesentlich höheren Beitrag liefert die Investition in einen neuen Pelletskessels anstatt des Weiterbetriebs des Pelletsbestandskessels, wie in Abbildung 6-10 gezeigt wird. Die deutliche Erhöhung der Gesamtannuität hängt dabei von der Investitionssumme für den Pelletskessel ab, die mit rund 11333 € nochmals um knapp 5000 € höher liegt gegenüber der für einen modulierenden Ölkessel. Im Vergleich zur Abbildung 6-3 würde bei einer Neuinvestition für alle drei Energieträger nun der Pelletskessel die größte Gesamtannuität aufweisen und der Gaskessel die geringste. Verglichen mit einer nicht getätigten Neuinvestition, würde die Gesamtannuität, wieder bedingt durch den Anstieg der Annuitäten der kapital- und betriebsgebundenen Kosten, für den Fall einer Neuinvestition um 678 €/a ansteigen und somit knapp um das dreifache im Vergleich zum Gaskessel und knapp das doppelte im Vergleich zum Ölkessel ausmachen.

6 Ökonomischer Vergleich

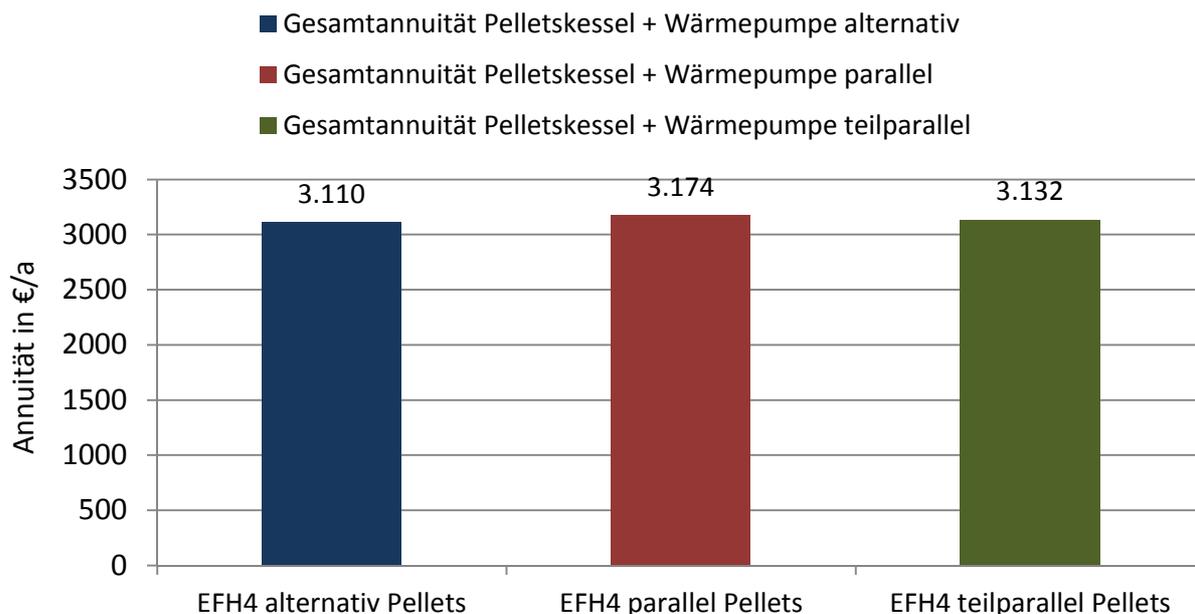


Abbildung 6-10: Vergleich der Annuitäten EFH4 aufgrund einer Neuinvestition des Kessels Energieträger Pellets

Folgend wird der Einfluss einer Erhöhung des Kalkulationszinssatzes betrachtet. Dabei wurde untersucht welche Auswirkungen sich im Zuge einer Neuinvestition für das bivalente Heizungssystem (Wärmepumpe) ergeben. Aufgrund der Tatsache, dass das verwendete Kapital nicht auf einem gebundenen Sparbuch deponiert werden kann und folglich dafür auch keine Zinsen erhalten werden, ergeben sich daraus höhere jährliche Kosten. In Abbildung 6-2 wird der Einfluss des Kalkulationszinssatzes für den Energieträger Gas dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass eine Erhöhung um 1 % einen wesentlich höheren Einfluss hat, als im Vergleich dazu die Erhöhung um 2 %.

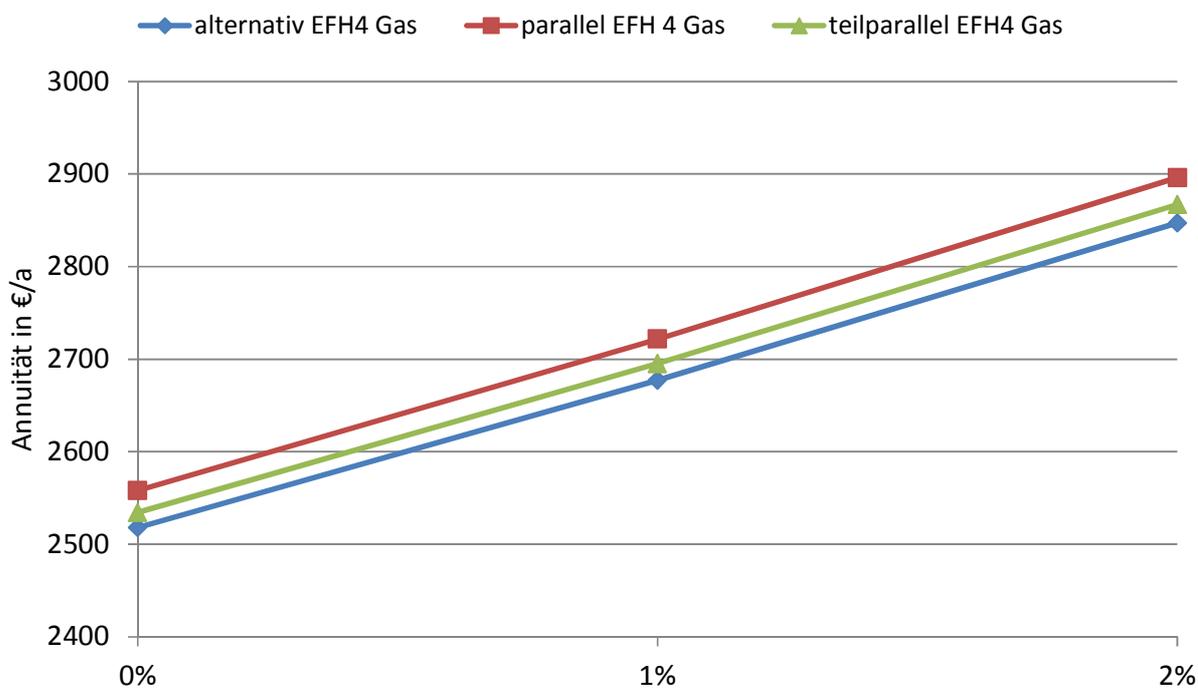


Abbildung 6-11: Vergleich der Annuitäten EFH4 aufgrund einer Steigerung des Kalkulationszinssatzes Energieträger Gas

In Abbildung 6-11 ist der Verlauf in Bezug auf die Erhöhung des Kalkulationszinssatzes für den Energieträger Gas dargestellt. Im Wesentlichen bedeutet die Steigerung des Kalkulationszinssatzes für den Energieträger Gas eine lineare Zunahme der Gesamtannuitäten. Im Falle einer Investition in die Heizungsanlage, anstatt der Bindung des Kapitals bei 1 %, steigt die Gesamtannuität um rund 180 €/a und bei 2 % nochmals rund 160 €/a. Dies bedeutet im Fall einer Entscheidung für die Investition, dass die jährlichen Kosten aufgrund der entgangenen Zinsen zunehmen.

Einen ähnlichen Verlauf zeigt auch die Abbildung 6-12 für den Energieträger Öl, wobei hier die Steigerung bei 1 % Prozent im Vergleich zum Energieträger Gas mit rund 150 €/a etwas geringer ausfällt und die Steigerung um 2 % mit rund 160 €/a gleich bleibt. Im Zuge der unterschiedlichen Kalkulationszinssätze ergeben sich folglich verschiedene Annuitätenfaktoren, die in der Berechnung der einzelnen Annuitäten (Kapital-, Verbrauchs-, Betriebsgebundenen- und Sonstige Kosten) miteinfließen, wodurch sich aufgrund des unterschiedlichen Brennstoffverbrauchs und der ebenso unterschiedlichen Energieträgerpreise ein etwas veränderter Anstieg ergibt.

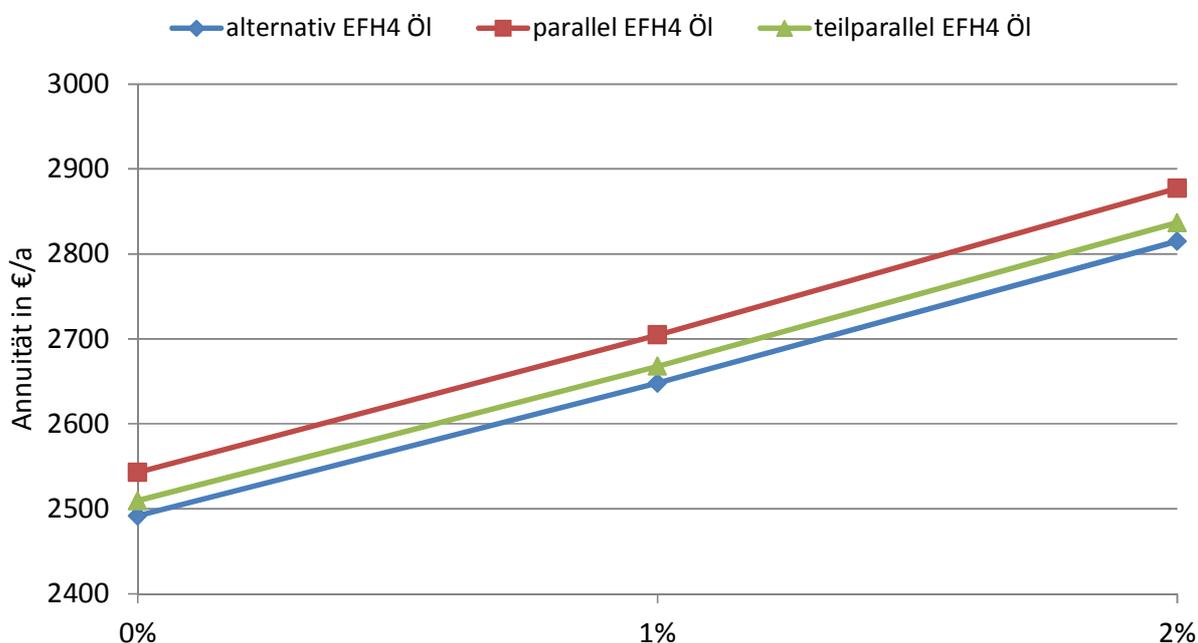


Abbildung 6-12: Vergleich der Annuitäten EFH4 aufgrund einer Steigerung des Kalkulationszinssatzes Energieträger Öl

Auch der Verlauf in Abbildung 6-13, für den Energieträger Pellets, ähnelt den Verläufen der beiden anderen Energieträger. Genauso liegen die Gesamtannuitäten hier etwas niedriger aufgrund des geringeren Energieträgerpreises. In Folge des höheren Brennstoffverbrauchs beim Pelletskessel fallen die Unterschiede im Vergleich zu den beiden anderen Energieträgern, für 1 % Steigerung mit rund 140 € etwas geringer und für 2 % mit 180 € sogar etwas höher aus.

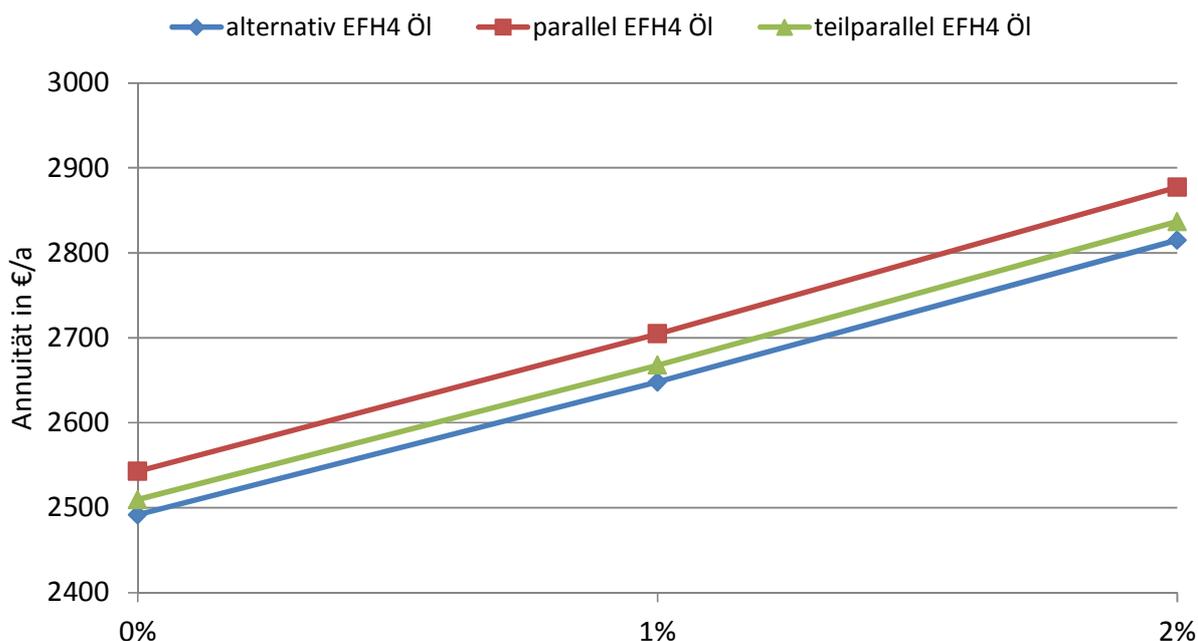


Abbildung 6-13: Vergleich der Annuitäten EFH4 aufgrund einer Steigerung des Kalkulationszinssatzes Energieträger Pellets

Als letzte Szenario wurde wie auch beim Gebäude EFH1 und EFH3 die jährliche Preisänderung der Energieträger für das Gebäude EFH2 und EFH4 genauer betrachtet.

In Abbildung 6-14 ist die jährliche Preissteigerung, sowohl die Gaspreissteigerung, als auch die gleiche Steigerung des Strom- und Gaspreises, dargestellt. Auffällig hierbei ist analog zu den Gebäuden EFH1 und EFH3, dass die alleinige Gaspreissteigerung nahezu deckungsgleich für alle Varianten (EFH4 alternativ Gas, EFH4 parallel Gas, EFH4 teilparallel Gas) verläuft. Ebenso verläuft die Strom- und Gaspreissteigerung deckungsgleich für alle Varianten (EFH4 alternativ Strom = Gas, EFH4 parallel Strom = Gas und EFH4 teilparallel Strom = Gas). Dies beruht darauf, dass die Unterschiede der drei Varianten zueinander nur durch die Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten zustandekommen und diese im Vergleich zur der Gesamtannuität um rund eine Zehnerpotenzen niedriger ist. Deshalb und aufgrund der Auflösung in der Abbildung liegen die verschiedenen Fälle für die jeweilige Preisänderung nahezu übereinander.

Zusätzlich wird aufgrund der Tatsache, dass die Annuität des Bestandskessels (EFH2 Gas) bereits im Ausgangszustand über der Gesamtannuität der sanierten Fälle lag, erkennbar, dass sich sowohl bei einer reinen Gaspreissteigerung als auch bei der Preissteigerung beider Energieträger (Strom und Gas), der Einsatz einer Wärmepumpe gerechtfertigt wäre. Auch wird wieder die Spreizung durch die unterschiedliche Steigung der Kurven zueinander betrachtet und diskutiert. Die Bestandskesselkurve verläuft dabei wieder mit einer deutlich höheren Steigung im Vergleich zur Gaspreissteigerung. Dies bedeutet, dass für den Betrieb im Bestandsgebäude die Gesamtannuität deutlich höher liegt, als jene für den Betrieb einer Wärmepumpe und Bestandskessel bei einer jährlichen Gaspreissteigerung. Für die Energiepreissteigerung von Gas und Strom verläuft die Kurve für die bivalenten Fälle einerseits höher als jene der Preissteigerung für Gas, jedoch noch deutlich geringer als die des Bestandskessels. Die Gesamtannuität fällt dabei zwar auch höher im Vergleich zum Preisanstieg von Gas aus trotzdem aber ist die Spanne zum Bestandskessel alleine noch deutlich größer.

6 Ökonomischer Vergleich

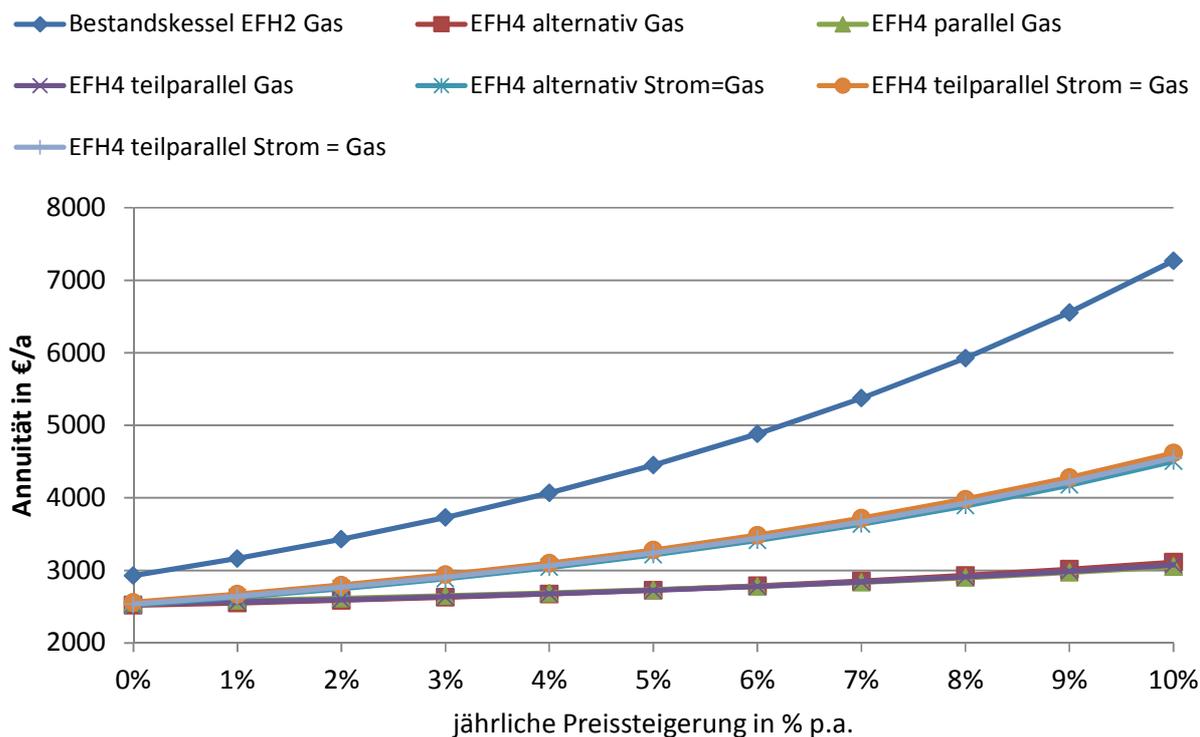


Abbildung 6-14: Vergleich der Gesamtannuität EFH2 und EFH4 aufgrund von Energiepreissteigerung für Energieträger Gas

In Abbildung 6-16 wird die Betrachtung der jährlichen Energiepreissteigerung für den Energieträger Öl durchgeführt. Prinzipiell gilt wie zuvor, dass die Kurve des Bestandskessels, als auch die Kurve für Strom- und Ölpreissteigerung stärker ansteigen als jene für den Fall der Ölpreissteigerung alleine. Ausgehend davon, dass, für den Fall EFH2 und EFH4 Öl die Gesamtannuitäten aller Varianten in etwa gleich groß waren (vgl. Abb.6-5), wurde die Notwendigkeit zu einer Veränderung hin zu einem bivalenten Heizungssystem mit einer Wärmepumpe aus wirtschaftlicher Sicht nicht ersichtlich. Erst bei einer Steigerung der Preise, sowohl von Öl alleine, als auch von Strom und Öl, was realistisch täglich passieren kann, würde sich der Einsatz einer Wärmepumpe bezahlt machen, da dadurch die jährlichen Kosten im Vergleich zum Bestandskessel geringer ausfallen. Gerade jetzt sind die Ölpreise vergleichsweise auf einem Tiefstand. So wurde nach der Wirtschaftskammer Österreich (2016a) ein gemittelter Preis für Heizöl Extra Leicht für das Jahr 2006 von 0,0676 €/kWh errechnet was um rund 19 % teurer ist als im Vergleich zum herangezogenen Berechnungswert. Auch nach Erdody (2016b) stieg der Preis für Heizöl Extra Leicht vom 02.05.2016 bis zum 10.05.2016 um rund 6 % an, wodurch sich schon der Einsatz einer Wärmepumpe bezahlt machen würde.

6 Ökonomischer Vergleich

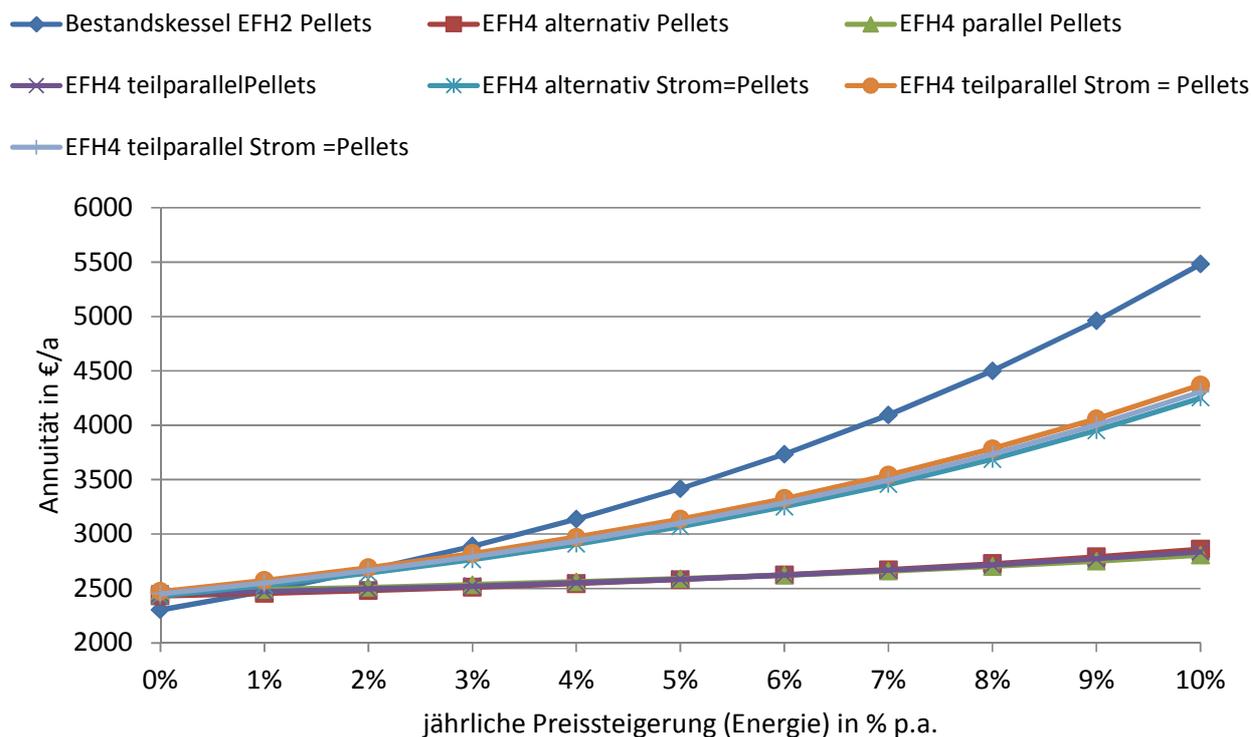


Abbildung 6-15: Vergleich der Gesamtannuität EFH2 und EFH4 aufgrund Energiepreissteigerung Energieträger Öl

In der Abbildung 6-17 ergibt sich ein differenziertes Bild für den Energieträger Pellets. Wie bereits bekannt, war die Gesamtannuität des Bestandskessels geringer, als jene der sanierten Fälle (EFH4 alt. Pellets, EFH4 par. Pellets und EFH4 teilp. Pellets). Aufgrund dieser Tatsache, dass die Kurve des Bestandskessels für eine jährliche Preissteigerung am stärksten, gefolgt von der Kurve für Strom- und Pelletspreissteigerung, ansteigt, ergibt sich, dass der Pelletspreis knapp 1 % steigen muss damit ein bivalentes System nach einer Umrüstung mit Einsatz einer Wärmepumpe die gleiche jährliche Gesamtannuität aufweist. Für den Fall, dass Strom- und Pelletspreis gleichermaßen ansteigen, muss eine Preissteigerung von knapp über 2 % erreicht werden, damit sich eine gleiche Gesamtannuität von Bestandsanlage und bivalenter Anlage ergibt.

6 Ökonomischer Vergleich

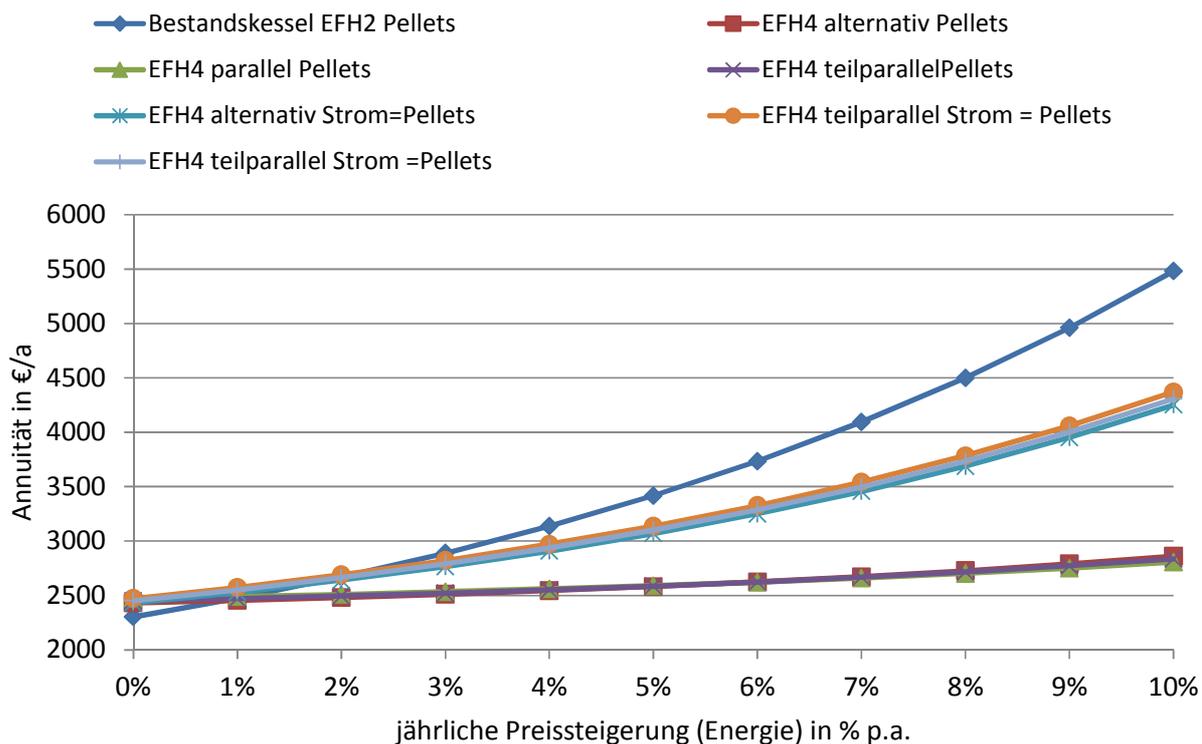


Abbildung 6-16: Vergleich der Gesamtannuität EFH2 und EFH4 aufgrund Enenergiepreissteigerung Energieträger Pellets

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In dieser Arbeit wurden zwei verschiedene Gebäude, den verschiedenen Sanierungsperioden entsprechend, untersucht. Aufgrund der drei verschiedenen Betriebsmodi, sowie der Referenzfälle und der verschiedenen Energieträger für das Gebäude EFH2, ergaben sich daraus 16 Fälle, die untersucht wurden. Anhand von Sensitivitätsanalysen, für Gebäude EFH1 bzw. EFH3 (5) und für das Gebäude EFH2 bzw. EFH4 (3) ergaben sich für den energetischen und ökologischen Vergleich weitere 42 Fälle, die untersucht wurden.

Für den energetischen Bereich zeigte sich sowohl für das Gebäude EFH3 als auch EFH4, aus Polysun, dass der parallele Betrieb von Wärmepumpe und Kessel den geringsten Energiebedarf zur Aufrechterhaltung der Raumtemperatur (20 °C) in der Heizperiode, sowie zur Warmwasserbereitung benötigt. Dies war auch zu erwarten, da die Wärmepumpe einen geringeren Endenergiebedarf verhältnismäßig zu der bereitgestellten Energie aufweist und für die parallele Variante die Wärmepumpe während der kompletten Heizperiode in Betrieb ist. Daher muss der Kessel dahingehend anteilig weniger Energie dem System zuführen. Auch spiegelt sich dieses Ergebnis für den teilparallelen Betrieb im Vergleich zum Alternativen wider. Durch die höheren Betriebsstunden der Wärmepumpe beim teilparallelen Betrieb ergibt sich ein geringerer Energiebedarf für die Gesamtanlage im Vergleich zum alternativen Betrieb.

Dahingegen anders zeigt sich der Primärenergiebedarf, aufgrund der Konversionsfaktoren. Für das Gebäude EFH 3 ergibt durch den höheren Konversionsfaktor für Strom im Vergleich zu Heizöl, zwar auch dass der parallele Betrieb den geringsten Primärenergiebedarf aufweist, jedoch dicht gefolgt vom alternativen Betrieb. Etwas abgeschlagen liegt der teilparallele Betrieb, da im Vergleich zum alternativen Betrieb der Heizölverbrauch annähernd gleich ist, jedoch die Wärmepumpe länger in Betrieb bleibt und somit einen höheren Energiebedarf aufweist. Im Vergleich zum EFH3 verhält sich der Primärenergiebedarf für das Gebäude EFH4 nur für den Energieträger Öl ähnlich, wobei wiederum der parallele vor dem teilparallelen und dem alternativen Betrieb liegt. Grund dafür ist einerseits der Primärenergiefaktor, andererseits der Kesselnutzungsgrad der jeweiligen Betriebsart. Dabei weist die teilparallele Variante einen annähernd gleichen Nutzungsgrad des Ölkessels wie die alternative Variante und einen deutlich besseren als die parallele auf. In Folge der Betriebsstunden des Kessels ergibt sich trotz des wesentlich schlechteren Nutzungsgrades ein geringerer Brennstoffeinsatz beim parallelen Betrieb als bei der teilparallelen und vor allem bei der alternativen Variante, dadurch fiel der Primärenergieverbrauch für alle Varianten annähernd gleich aus. Anders zeigt sich das Bild für die Energieträger Gas und Pellets, da hier die Konversionsfaktoren für Pellets als auch für Gas fast die Hälfte des Konversionsfaktors von Strom sind. Aufgrund der Faktoren ergibt sich für das Gebäude EFH4 sowohl für den Energieträger Gas als auch Pellets, dass der teilparallele Fall den geringsten Primärenergiebedarf aufweist, da hier das Verhältnis der Kesselbetriebszeit zu den Betriebsstunden der Wärmepumpe etwas höher liegt als für den parallelen Betrieb, jedoch geringer ist als jener des alternativen. Den höchsten Primärenergiebedarf forderte wieder, wie auch schon bei den vorangegangenen Variante, die alternative Variante aufgrund des deutlichen Unterschieds der Konversionsfaktoren.

Für den Jahresnutzungsgrad der Kessel zeigten alle Varianten den gleichen Verlauf. Ausgehend vom Referenzfall der nicht sanierten Gebäude (EFH1 und EFH2) steigerten sich die Jahresnutzungsgrade für die alternative Variante deutlich und nahmen für die parallele sowie teilparallele Variante wieder ab. Am schlechtesten fällt der Nutzungsgrad der parallelen Variante für die sanierten Fälle aus. Im Vergleich zur Bestandsanlage sind alle Kesselnutzungsgrade höher, was an der deutlich verringerten Betriebsstundenanzahl des Kessels liegt. Für die sanierten bzw. bivalenten Heizungssystem liegt der Kesselnutzungsgrad am Höchsten bei der alternativen Variante, was an der alleinigen Energiebereitstellung des Kessels unterhalb des Bivalenzpunktes liegt. Das Abfallen des Nutzungsgrades bei der teilparallelen wie auch bei der parallelen Variante liegt ebenfalls daran, dass die Wärmepumpe entweder zum Teil oder während der ganzen Heizperiode parallel zum Kessel betrieben wird.

Somit muss der jeweilige Kessel den Energiebedarf nicht zur Gänze selbst abdecken und befindet sich zusätzlich im Teillastbetrieb, wobei hier schlechtere Nutzungsgrade erzielt werden.

Ähnlich zeigen sich auch die Ergebnisse für die Effizienz der Wärmepumpe. So fallen die Jahresarbeitszahlen für den alternativen Betrieb am Höchsten aus, gefolgt vom teilparallelen und zuletzt vom parallelen Betrieb. Das vergleichsweise schlechte Abschneiden der Arbeitszahlen für den parallelen Betrieb lässt sich wieder anhand der Betriebsweise erklären. So ist bei dieser Variante der Einsatz der Wärmepumpe für die gesamte Heizperiode gegeben und folglich auch bei tieferen Außenlufttemperaturen. Durch diese niedrigen Außenlufttemperaturen wird ein höherer Temperaturhub benötigt und damit einhergehend eine höhere Leistungsaufnahme der Wärmepumpe. Durch die höhere Leistungsaufnahme der Wärmepumpe ergeben sich schlechtere Leistungszahlen, was auch zu niedrigeren Arbeitszahlen führte. Ähnlich verhält es sich auch für den teilparallelen Betrieb. Jedoch ist bei dieser Betriebsweise der Einsatz der Wärmepumpe nicht über den gesamten Außenlufttemperaturbereich nötig, wodurch die Arbeitszahlen wieder angehoben werden.

Die energetischen Vergleiche zeigen vor allem einen wesentlichen Einfluss bei der Verschiebung des Bivalenzpunktes. So werden für die alternativen Varianten deutliche Leistungszahlsteigerungen im Zuge der Verschiebung des Bivalenzpunktes von -2 °C auf $+2\text{ °C}$ festgestellt. Aufgrund der Tatsache, dass bei der alternativen Variante die Wärmepumpe unterhalb des Bivalenzpunktes nicht betrieben wird, ergibt sich durch die höhere Außenlufttemperatur ein geringerer Temperaturhub und daher eine höhere Effizienz der Wärmepumpe. Für die Verschiebung des Bivalenzpunktes auf -5 °C verhält es sich genau umgekehrt, da die Wärmepumpe hier auch im alternativen Betrieb bei niedrigeren Außenlufttemperaturen betrieben wird und somit die Arbeitszahlen sinken. Kaum einen Einfluss hat die Verschiebung des Bivalenzpunktes für die parallele und die teilparallele Variante. Die Verschiebung des Bivalenzpunktes hat für die Wärmepumpe bei der parallelen Variante keinen Einfluss, da diese in der gesamten Heizperiode in Betrieb ist. Jedoch wird aufgrund des höheren bzw. niedrigeren Bivalenzpunkt der Kessel früher bzw. später unterstützend betrieben und dadurch muss die Wärmepumpe die benötigte Energie entweder kürzer oder länger alleine abdecken. Diese Phasen führen dazu, dass sich die Arbeitszahlen etwas verbessern oder verschlechtern, fallen im Vergleich zum alternativen Betrieb jedoch wesentlich geringer aus. Auch für den teilparallelen Betrieb verhält es sich ähnlich, wobei aber die Wärmepumpe hier nur bis zum Abschaltzeitpunkt betrieben wird, der sich auch mit dem Bivalenzpunkt verschiebt. Dadurch kommt es zu einer stärkeren Steigerung der Arbeitszahl im Vergleich zur parallelen Variante.

Für den ökologischen Vergleich fallen die Ergebnisse entsprechend dem Energieverbrauch (Brennstoffverbrauch) und den zugehörigen CO_2 -Faktoren aus. Es zeigen sich deutliche Einsparungspotentiale für alle drei Betriebsmodi, wobei am meisten bei der parallelen Variante eingespart werden konnte. Dies entspricht auch dem erwarteten Ergebnis, da bei der parallelen Variante die kürzeste Kesselbetriebszeit und damit der geringste Brennstoffverbrauch des Bestandskessels erreicht wird. So zeigen sich durch eine thermische Sanierung schon hohe Einsparpotentiale, vor allem bei dem Gebäude EFH1. Für das Gebäude EFH4 mit den Energieträgern Gas und Öl zeigen sich ähnliche Verläufe wie für das Gebäude EFH3, jedoch sind die Einsparpotentiale, sowohl für die thermische Sanierung als auch weiterführend für die bivalenten Systeme etwas geringer, aufgrund der besseren Bausubstanz des Bestandsgebäudes EFH2. Der Energieträger Pellets erweist sich hinsichtlich CO_2 -Emission bei einer Sanierung und des Einsatzes eines bivalenten Systems als keine gute Wahl, da der Energieträger Pellets als quasi CO_2 neutral gehandhabt wird und durch den Einsatz der Wärmepumpe (Energieträger Strom) ein deutlicher Anstieg der CO_2 -Emissionen zu verzeichnen ist.

Hinsichtlich des wirtschaftlichen Vergleichs zeigen sich vor allem für das Bestandsgebäude EFH1 sehr hohe verbrauchsgebundene Kosten, was einerseits auf die schlechte Bausubstanz des Gebäudes, als auch auf den Bestandskessel dieses Gebäudes zurückzuführen ist. Für die sanierten Fälle mit dem bivalenten Heizungssystem (EFH3) zeigen sich daher deutliche

Einsparpotentiale von fast einem Drittel. Gleichzeitig steigen jedoch die kapitalgebunden und betriebsgebundenen Kosten etwas im Vergleich zum Gebäude EFH1 an, wodurch sich die Ersparnisse der verbrauchsgebundenen Kosten nicht zur Gänze auf die Gesamtannuitäten auswirken. Für das Gebäude EFH2 sind die Gesamtannuitäten für den Gaskessel im Vergleich zum Öl- und Pelletskessel am Höchsten, aufgrund des Gaspreises. Auch hier verringern sich die verbrauchsgebundenen Kosten und die kapital- bzw. betriebsgebundenen Kosten erhöhen sich, durch die Integration der Wärmepumpe und einer gleichzeitigen thermischen Sanierung wieder. Der Unterschied zum EFH1 ist das deutlich geringere Einsparpotential hinsichtlich der verbrauchsgebundenen Kosten, wodurch sich für den Gaskessel noch geringere Gesamtannuitäten der bivalenten Varianten ergeben. Für den Ölkessel verhalten sich die Gesamtannuitäten des Bestandsgebäudes und der bivalenten Systeme annähernd gleich, wohingegen für den Pelletskessel aufgrund des deutlichen Unterschieds des Pelletspreises im Vergleich zum Strompreis und der Investitionskosten für die Wärmepumpe, höhere Gesamtannuitäten der bivalenten Systeme als für den Bestandskessel zustande kommen.

Durch eine wirtschaftliche Sensitivität, im Speziellen der Auswirkung jährlichen Energiepreissteigerung, ergibt sich für alle Bestandskessel eine deutliche Steigerung der Gesamtannuitäten. Die jährliche Preissteigerung der Energieträger Gas, Öl und Pellets hat dahingehend für die bivalenten Systeme keine so deutlichen Auswirkungen, was dem erwarteten Ergebnis entspricht, da durch den Einsatz der Wärmepumpe ein deutlich geringerer Verbrauch dieser Energieträger resultiert. Für die kombinierte jährliche Energiepreissteigerung von Strom und des Energieträgers des jeweiligen Bestandskessels werden deutlich höhere Steigungen beobachtet im Gegensatz zur Ölpreissteigerung (Strompreis = konstant), da der Einfluss des höheren Strompreises mehr Bedeutung zukommen würde. Auch diese Ergebnisse werden in dieser Form bestätigt. Jedoch fallen sie geringer aus als jene des Bestandskessels. Einzig für den Pelletskessel zeigen höhere Gesamtannuitäten für das bivalente Heizungssystem, wobei sich der Einsatz einer Wärmepumpe erst ab einer jährlichen Preissteigerung bei Pellets von mindestens 1 % kostentechnisch bezahlt machen würde bzw. für eine jährliche Preissteigerung von Strom und Pellets erst ab knapp über 2 %. Dies liegt am günstigen Energieträgerpreis im Vergleich zu Strom und der Tatsache, dass der Pelletskessel im Bestandsgebäude eine geringere Gesamtannuität aufweist als alle bivalenten Systeme im sanierten Gebäude. Für den Fall einer Neuinvestition und den Austausch des Bestandskessels durch einen neuen ergeben sich deutlich höhere Gesamtannuitäten. Hierbei wird die höchste Gesamtannuität für den Pelletskessel erreicht, da dieser am teuersten ist. Weiters fällt im Vergleich die Gesamtannuität des Gaskessels am geringsten aus, was wiederum an den geringen Investitionskosten liegt.

Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich darauf schließen, dass bei Gebäuden die vor 1980 erbaut wurden eine thermische und heizungstechnische Sanierung sinnvoll wäre. Aufgrund der höheren Effizienz der Wärmepumpe, der geringeren Gesamtannuitäten im Vergleich zu den beiden anderen bivalenten Betriebsarten und der nur unwesentlich höheren CO₂-Emission wäre die alternative Betriebsart den beiden anderen Varianten vorzuziehen. Auch bei Gebäuden die von 1980 bis 2000 erbaut wurden, verhält es sich bei den Energieträgern Gas und Öl gleich. Allein für ein Bestandsgebäude dieser Zeit mit einem Pelletskessel wäre auf eine Sanierung bezüglich der Heizungsanlage zu verzichten, da sich diese weder aus rechnerischer CO₂-Emission noch wirtschaftlicher Sicht rentieren und somit eine rein thermische Sanierung des Gebäudes die sinnvollste Entscheidung darstellen würde.

Abschließend sei erwähnt, dass hinsichtlich der Ausführungen des bivalenten Systems in dieser Arbeit, aufgrund der parallelen hydraulischen Verschaltung der Wärmepumpe zum Kessel, das Potential für die bivalent- parallele und die bivalent-teilparallele Betriebsweise noch nicht voll ausgeschöpft werden und hier sicher noch Verbesserungspotentiale durch eine serielle hydraulische Verschaltung der beiden Wärmeerzeuger vorhanden wäre. Hingegen macht es für die bivalent-alternative Anordnung keinerlei Unterschied welche Anordnung der Wärmeerzeuger gewählt wird, da wie der Name der Betriebsart bereits aussagt, alternativ der Kessel oder die Wärmepumpe in Betrieb ist.

Als Abschluss wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die oben angeführten Ergebnisse von vielen Annahmen (Effizienz, Kosten, Zinssätzen, CO₂-Faktoren, etc.) abhängen und daher nicht als allgemeingültig zu verstehen sind.

LITERATUR

- AGRAR PLUS (2016): Heizwerte und -äquivalente - Faustzahlen, Kennzahlen aus dem Bioenergie- und NAWARO-Bereich, Umrechnungen. Online verfügbar unter <http://www.agrarplus.at/heizwerte-aequivalente.html>, Zugriff am 22.04.2016
- Amtmann, Maria; Altmann-Mavaddat, Naghmeh (2014): Eine Typologie Österreichischer Wohngebäude, Ein Nachschlagewerk mit charakteristischen, energierelevanten Merkmalen von 32 Modellgebäuden-im Bestand und für jeweils zwei Sanierungsvarianten, 1. Auflage. Hg. v. Österreichische Energieagentur, Wien
- Anderl, Michael; Gangl, Marion; Haider, Simone; Mandl, Nicole; Moosmann, Lorenz; Pazdernik, Katja et al. (2015): Emissionstrends 1990-2013, Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich, Datenstand 2015. Hg. v. Umweltbundesamt GmbH, Wien
- Arbeiterkammer (2016): Sparbücher im Test - Bankenrechner der Arbeiterkammern. Online verfügbar unter <https://www.bankenrechner.at/>, Zugriff am 12.05.2016
- Bednar, Thomas; Korjenic, Azra (2013): IEA Energie in Gebäuden und Kommunen, Annex 53: Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden. Technische Universität Wien, Wien
- Biermayr, Peter; Haas, Reinhard; Kranzl, Lukas; Müller, Andreas; Friedl, Günther; Haslinger, Walter et al. (2010): Heizen 2050, Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050. Klima- und Energiefond, Wien
- Biermayr, Peter; Kristöfel, Christa; Enigl, Monika; Strasser, Christoph; Schmidl, Christoph; Leonhartsberger, Kurt et al. (2015): Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2014, Wien
- Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2015): Energiestatus Österreich 2015, Entwicklung bis 2013, Wien
- Diefenbach, Nikolaus; Loga, Tobias; Born, Rolf; Großklos, Marc; Herbert, Carsten (2002): Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand. Hg. v. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, Deutschland
- Dines, Jürgen (2013): Außenluft/Wasser-Wärmepumpen im Vergleich zu anderen Heizungssystemen & Möglichkeiten zu Effizienzsteigerung, Diplomarbeit. Institut für Wärmetechnik, TU Graz. Graz
- Eichlseder, Helmut; Sturm, Peter (2014): Thermodynamik Vorlesung, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung. Institut für Verbrennungskraftmaschinen. TU Graz, Graz, September 2014
- Erdody, Michal (2016a): Energiepreisinformation - IWO-Österreich. Online verfügbar unter <http://www.iwo-austria.at/nc/konsumenten/heizkosten/energiepreisinformation>, Zugriff am 22.04.2016
- Erdody, Michal (2016b): Energiepreisinformation - IWO-Österreich. Online verfügbar unter <http://www.iwo-austria.at/nc/konsumenten/heizkosten/energiepreisinformation>, Zugriff am 12.05.2016
- estia - blog (2016): Teillastbetrieb | Luft Wasser Wärmepumpen. Online verfügbar unter <http://www.estia-blog.de/tag/teillastbetrieb/>, Zugriff am 13.05.2016
- Kunz, Peter (2007): Wärmepumpen und Kältetechnik 2, Grundlagen, 8305 Dietlikon, Schweiz
- Miara, Marek; Günther, Danny; Kramer, Thomas; Oltersdorf, Thore; Wapler, Jeannette (2011): Wärmepumpen Effizienz, Messtechnische Untersuchungen von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. Fraunhofer-Institut für Solare

- Energiesysteme (ISE), Bereich Thermische Anlagen und Gebäudetechnik, Freiburg, Deutschland
- Österreichisches Institut für Bautechnik (2015): OIB-Richtlinie 6. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien
- Pelletheizungen im Test - Stiftung Warentest | Aktion-Holz (2016). Online verfügbar unter <http://www.aktion-holz.at/holzblog/pelletheizungen-im-test>, Zugriff am 22.04.2016
- preisvergleich.at (2016): ▷ Grundfos Heizungspumpe Preis & Vergleich 2016 | PREISVERGLEICH.AT. Online verfügbar unter <http://www.preisvergleich.at/tag/Grundfos-Heizungspumpe.html>, Zugriff am 22.04.2016
- Rally, Helga; Stückler, Heidrun; Mayrhofer, Ingrid (2013): Energieausweise erstellen, Anleitungen - Hinweise - Empfehlungen, 2. Auflage. Hg. v. Landes Energie Verein Steiermark, Graz
- Rieberer, René (2013): Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung. Institut für Wärmetechnik. TU Graz, Graz, Oktober 2013
- Rieberer, René (2014): Wärmepumpentechnik, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung. Institut für Wärmetechnik. TU Graz, Graz, November 2014
- Schlagnitweit, Helmut; Wagner, Harald (2006): Heizungs- und Lüftungsinstallation, 3. Aufl.: Jugend & Volk, Deutschland
- Schmidt, Michael; Arold, Jörg; Klimke, Klaus (2010): Regelstrategien zum Verbessern der Jahresarbeitszahl von Luft- und Wasser - Wärmepumpen. Hg. v. Institut für Gebäude Energetik. Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland
- Schramek, Ernst-Rudolf (Hg.) (2003): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik, 71. Aufl., München, Deutschland: Oldenbourg
- Simader, Günter; Amtmann, Maria; Barth, Thomas; Mitterndorfer, Manuel (2011): Kosten-Nutzen-Analyse von energetischen Gebäudesanierung in Österreich. Hg. v. der Österreichischen Energieagentur. Austrian Energy Agency, Wien
- Tarifkalkulator Anwendung (2016). Online verfügbar unter <https://www.e-control.at/konsumenten/service-und-beratung/toolbox/tarifkalkulator>, Zugriff am 22.04.2016
- Thermodynamische Maschinen - Chemgapedia (2016). Online verfügbar unter <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/thermodyn/anwendung/thermodynmasch.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/thermodyn/anwendung/waermepumpe.vscml.html>, Zugriff am 07.05.2016
- Toshiba: Grundlagen der Invertertechnologie. Online verfügbar unter http://www.toshiba-klima.net/images/content/file/Techniklexikon/INVERTER_allgemeine_Infos.pdf, Zugriff am 23.05.2016
- Toshiba (2009): Estia- Die Luft-Wasser Wärmepumpe, 2009
- Toshiba (2015): Air to Water Heat Pump, Engineering Data Book, 1 Aufl., 2015
- Vela Solaris AG (2014): Polysun, Benutzerdokumentation. Version 8.1.9.21813, 8400 Winterthur, Schweiz
- Verein Deutscher Ingenieure (Hg.) (2012): VDI 2067, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Düsseldorf, Deutschland
- Viessmann (2011): Planungshandbuch Wärmepumpen, 35107 Allendorf (Eder), 2011
- Wirtschaftskammer Österreich (2016a): Preise - WKO.at. Online verfügbar unter <https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Mineraloelindustrie/Preise.html>, Zugriff am 22.04.2016

Wirtschaftskammer Österreich (2016b): Tariflohnindex. Online verfügbar unter <https://www.wko.at/Content.Node/Interessenvertretung/ZahlenDatenFakten/Tariflohnindex.html>, Zugriff am 22.04 2016

Wirtschaftskammer Österreich (2016c): Wirtschaftslage und Prognose - Statistik Austria - Ergebnisse. Online verfügbar unter <http://wko.at/statistik/prognose/inflation.pdf>, Zugriff am 22.04.2016

Zehentmayr (2016): GEQ. Version 2016, 5023 Salzburg, Gewerbehofstraße 24: Zehentmayr Software GmbH

ANHANG A – KENNZAHLEN UND PREISBERECHNUNG

Tabelle A-0-1: Konversionfaktoren und CO₂-Faktoren nach OIB - Richtlinie 6

Energieträger	f _{PE} in [-]	f _{PE,n,ern} in [-]	f _{PE,ern} in [-]	f _{CO2} in [g/kWh]
Heizöl	1,23	1,23	0,01	311
Gas	1,17	1,16	0,00	236
Biomasse	1,08	0,06	1,02	4
Strom (Österreich – Mix)	1,91	1,32	0,59	291

Tabelle A-0-2: Verwendeter Strompreis nach e-contol (inkl. USt.)

Energiebedarf in [kWh]	Niedrigster Strompreis in [€]	Mittlerer Strompreis in [€]	Teuerster Strompreis in [€]	Durchschnitt berechnet in [€]	Preis in [€/kWh]
1000	252,76	332,92	411,11	332,26	0,3323
2000	388,79	507,35	585,84	493,99	0,2470
3000	524,82	681,78	765,61	657,40	0,2191
4000	660,85	855,61	959,75	825,40	0,2064
5000	796,88	1027,04	1157,48	993,80	0,1988
7500	1136,96	1455,62	1667,06	1419,88	0,1893
10000	1469,84	1884,20	2176,64	1843,56	0,1844
Preis gewählt					0,2253

Tabelle A-0-3: Verwendeter Gaspreis nach e-contol (inkl. USt.)

Energiebedarf in [kWh]	Niedrigster Gaspreis in [€]	Mittlerer Gaspreis in [€]	Teuerster Gaspreis in [€]	Durchschnitt berechnet in [€]	Preis in [€/kWh]
5000	310,70	425,30	523,66	419,89	0,0840
10000	576,78	771,78	864,73	737,76	0,0738
15000	815,86	1118,26	1246,06	1060,06	0,0707
20000	1054,92	1464,72	1627,92	1382,52	0,0691
25000	1293,98	1811,18	2009,78	1704,98	0,0682
30000	1533,06	2157,66	2391,66	2027,46	0,0676
Preis gewählt					0,0722

ANHANG B – VDI BERECHNUNGSBLÄTTER EFH1 UND EFH3 ÖL

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Öl EFH1 20 kW			
Kapitalgebunde Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre

Häufigkeit Austausch	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	57146,66	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	92,5	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	3140,74	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		3768,89	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a

Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-3638,61	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-4366,34 €/a	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Wärmepumpe EFH3 alternativ 8 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Wärmepumpe + Zubehör	A0	7000	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Pufferspeicher 150 Liter	A0	420,3	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%

Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	800	€
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	475,97	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		571,17	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	0	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	3949,26	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	815,13	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		978,15	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	175	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	0	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	232,50	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		279,00	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	

Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	4,60	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		5,52	€/a
Gesamtannuität	AN	-1528,20	€/a
Gesamtannuität Wärmepumpe inkl. UST. (20%)		-1833,84	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel ÖL EFH3 alternativ 20 kW			
Kapitalgebunde Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre

Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	5383,16	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	0	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	294,06	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		352,87	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%

Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-791,93	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-950,32	€/a
Gesamtannuität Kessel + WP inkl. UST. (20%)		-2784,16	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Wärmepumpe EFH3 parallel 8 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Wärmepumpe + Zubehör	A0	7000	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Pufferspeicher 150 Liter	A0	420,3	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%

Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	800	€
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	475,97	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		571,17	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	0	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	4144,48	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	855,42	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		1026,50	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	175	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	0	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	232,50	€/a
Annuität der betriebsgebundenen		279,00	€/a

Kosten inkl. Ust. (20%)			
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	4,60	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		5,52	€/a
Gesamtannuität	AN	-1568,50	€/a
Gesamtannuität Wärmepumpe inkl. UST. (20%)		-1882,19	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Öl EFH3 parallel 20 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#

Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	5036,26	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	0	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	275,11	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		330,13	€/a

Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-772,98	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-927,58	€/a
Gesamtannuität Kessel + WP inkl. UST. (20%)		-2809,77	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Wärmepumpe EFH3 teilparallel 8 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Wärmepumpe + Zubehör	A0	7000	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl.	A0	0	€

Heizregister			
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Pufferspeicher 150 Liter	A0	420,3	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	800	€
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	475,97	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		571,17	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	0	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	4007,98	kWh

Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	827,25	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		992,70	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	175	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	0	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	232,50	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		279,00	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	4,60	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		5,52	€/a
Gesamtannuität	AN	-1540,32	€/a
Gesamtannuität Wärmepumpe inkl. UST. (20%)		-1848,39	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Öl EFH3 teilparallel 20 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
EFH3 teilparallel			
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%

Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%

Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	5306,5	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	0	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	289,87	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		347,84	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a

Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-787,74	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-945,29	€/a
Gesamtannuität Kessel + WP inkl. UST. (20%)		-2793,68	€/a

ANHANG C – VDI BERECHNUNGSBLÄTTER EFH2 UND EFH4 GAS

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Gas EFH2 10 kW			
Kapitalgebunde Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
EFH2			
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%

Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	26715,8	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	61,8	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,0722	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	1941,64	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		2329,96	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	

Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-2439,51	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-2927,42	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Wärmepumpe EFH4 alternativ 8 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
alternativ EFH4 Gas			
Wärmepumpe + Zubehör	A0	7000	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Pufferspeicher 150 Liter	A0	420,3	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre

Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	800	€
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	475,97	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		571,17	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	0	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	3011,13	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	621,50	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		745,80	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	175	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	0	

Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	232,50	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		279,00	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	4,60	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		5,52	€/a
Gesamtannuität	AN	-1334,57	€/a
Gesamtannuität Wärmepumpe inkl. UST. (20%)		-1601,49	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Gas EFH4 alternativ 10 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€

Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	3682,08	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	0	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,0722	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh

Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	265,85	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		319,02	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-763,72	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-916,47	€/a
Gesamtannuität Kessel + WP inkl. UST. (20%)		-2517,95	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Wärmepumpe EFH4 parallel 8kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Wärmepumpe + Zubehör	A0	7000	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%

Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Pufferspeicher 150 Liter	A0	420,3	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	800	€
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	475,97	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		571,17	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			

Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	0	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	3392,82	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	700,28	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		840,33	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	175	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	0	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	232,50	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		279,00	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	4,60	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		5,52	€/a
Gesamtannuität	AN	-1413,35	€/a
Gesamtannuität Wärmepumpe inkl. UST. (20%)		-1696,02	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Gas EFH4 parallel 10kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit

EFH4 parallel Gas			
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre

Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	3053,07	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	0	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,0722	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	220,43	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		264,52	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			

Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-718,31	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-861,97	€/a
Gesamtannuität Kessel + WP inkl. UST. (20%)		-2557,99	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Wärmepumpe EFH4 teilparallel 8 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
Wärmepumpe + Zubehör	A0	7000	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Pufferspeicher 150 Liter	A0	420,3	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#

Umwälzpumpe	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	800	€
Lebenserwartung	TN	18	Jahre
Häufigkeit Austausch	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	475,97	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		571,17	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	0	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	3193,74	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,05462518	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh
Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	659,19	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		791,03	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	175	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	0	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%

Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	232,50	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		279,00	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	4,60	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		5,52	€/a
Gesamtannuität	AN	-1372,26	€/a
Gesamtannuität Wärmepumpe inkl. UST. (20%)		-1646,71	€/a

Annuitätenberechnung nach VDI 2067			
Bestandskessel Gas EFH4 teilparallel 10 kW			
Kapitalgebundene Kosten	Kürzel	Werte	Einheit
EFH4 teilparallel Gas			
Bestandskessel	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1,5	%
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Öltank	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	0,5	%
Lebenserwartung	TN	25	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Warmwasserspeicher inkl. Heizregister	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	flnst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der	fW + Insp	1	%

Investitionssumme			
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Umwälzpumpe	A0	379,1	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	2	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	10	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	2	#
Kellerfläche	A0	0	€
Aufwand für Instandsetzung in Prozent der Investitionssumme	fInst	1	%
Aufwand für Wartung in Prozent der Investitionssumme	fW + Insp	1	%
Lebenserwartung	TN	50	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Montage	A0	200	€
Lebenserwartung	TN	20	Jahre
Häufigkeit Austausch in 20 Jahre	n	1	#
Berechnungsgrundlage			
kalkulatorischer Zinssatz	q	0	%
Preisänderungsfaktor (Inflation)	rK	2,2	%
Betrachtungszeitraum	T	20	Jahre
Annuitätenfaktor	a	0,05	
Annuität der kapitalgebundenen Kosten	AN,K	52,52	€/a
Annuität der kapitalgebundenen Kosten inkl. Ust (20%)		63,02	€/a
Bedarfs-/Verbrauchsgebundene Kosten			
Energie			
Energieverbrauch	QHeizen	3348,33	kWh
Stromverbrauch des 1. Jahres	QStrom	0	kWh
Energiekosten des 1. Jahres	PreisHeizen	0,0722	€/kWh
Stromkosten des 1. Jahres	PreisStrom	0,2064	€/kWh

Preisänderungsfaktor (Energie)	rV	0	%
Barwertfaktor (Energie)	bV	20	
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten	AN,V	241,75	€/a
Annuität der verbrauchsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		290,10	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Wartung			
Kosten für Wartung und Instandhaltung	AIN	280	
Kosten für Bedienen und Reinigen	AB	55	
Preisänderungsfaktor (Lohn)	rb	2,89	%
Barwertfaktor (Lohn)	bB,bIN	26,57	
Barwertfaktor (Inflation)		24,79	
Annuität der betriebsgebundenen Kosten	AN,B	445,08	€/a
Annuität der betriebsgebundenen Kosten inkl. Ust. (20%)		534,09	€/a
Sonstige Kosten			
Versicherungsaufwand in Prozent der Investitionssumme		0,05	%
Barwertfaktor (Inflation)	bS	24,79	
Annuität der sonstigen Kosten	AN,S	0,23	€/a
Annuität der sonstigen Kosten inkl. Ust. (20%)		0,28	€/a
Gesamtannuität	AN	-739,63	€/a
Gesamtannuität Kessel inkl. UST. (20%)		-887,55	€/a
Gesamtannuität Kessel + WP inkl. UST. (20%)		-2534,37	€/a