



FH Salzburg

BACHELORARBEIT

**Erarbeitung von Effizienzsteigerungs-Maßnahmen für eine gebäudetechnische Anlage
anhand einer Einzelfallstudie der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“**

ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES

»BACHELOR OF SCIENCE IN ENGINEERING«

Florian Graf

2110731024

Vorgelegt im August 2024

Begutachter: DI Dr. Klaus Prenninger

Bachelorstudiengang:

Smart Building - Energieeffiziente Gebäudetechnik und Nachhaltiges Bauen

Fachhochschule Salzburg GmbH

**Technik
Gesundheit
Medien**

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Des Weiteren versichere ich hiermit, dass ich die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission weder im In- noch im Ausland vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

02.08.2024

Datum

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Gud Flo', written over a dotted line.

Unterschrift

Kurzfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit werden Effizienzsteigerungsmaßnahmen für die Gebäudetechnische Anlage der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“ in Salzburg, basierend auf einer Einzelfallstudie erarbeitet. Dabei werden vorhandene Monitoring Daten aus dem Jahr 2023 analysiert, um Optimierungspotenziale zu identifizieren. Es werden auch die Monitoring Daten aus dem Jahr 2023 mit jenen aus dem Jahr 2022 verglichen. Die Arbeit ist Teil des Forschungsprojekts ZeCaRe III, das auf den vorangegangenen Forschungsprojekt ZeCaRe II aufbaut.

Die Untersuchung konzentriert sich auf die Analyse der Energieeffizienz verschiedener Anlagenkomponenten der gebäudetechnischen Anlage, einschließlich der Abwasser Wärmepumpe, Abluft Wärmepumpe, des Pelletkessels, der Photovoltaik Anlage sowie der E-Patrone.

Die Untersuchungen und Analysen ergaben, dass die Abwasser Wärmepumpe eine konstante Energieproduktion über das ganze Jahr aufweist. Bei der Abwasser Wärmepumpe können aktuell keine klaren Effizienzsteigerungsmaßnahmen gefunden werden. Bei einer tiefergehenden Analyse der Monitoring Daten der Abwassertemperaturen könnten noch Potentiale zur Effizienzsteigerung gefunden werden. Die Abluft Wärmepumpe weist vor allem in den Sommer Monaten eine geringe Energieerzeugung auf, da in diesen Monaten der Großteil der benötigten Energie von der Abwasser Wärmepumpe erzeugt wird. Durch den Einsatz des Außenluft Bypasses könnte die Abluft Wärmepumpe vor allem im Sommer noch effizienter betrieben werden. Beim Pelletskessel lassen sich keine direkten Optimierungspotentiale finden. Beim Ersatz des Pelletskessels durch eine effizientere erneuerbare Heizungsanlage wie einer Sole/Wasser Wärmepumpe oder einer Wasser/Wasser Wärmepumpe kann die Effizienz der gesamten Gebäudetechnischen Anlage erhöht werden. Die Photovoltaikanlage erzeugte weniger Strom als erwartet, was eine Ursachenanalyse nach sich ziehen könnte. Beim Betrieb der E-Patrone mit dem überflüssigen Photovoltaik Strom könnte die gebäudetechnische Anlage noch effizienter betrieben werden und der Eigenverbrauch am Strom der Photovoltaik Anlage kann auch noch erhöht werden.

In der Arbeit werden sowohl die bereits sehr effizient funktionierenden Systeme als auch diejenigen mit Optimierungspotenzial aufgezeigt. Ziele sind die Reduzierung des Energieverbrauchs der weniger effizienten Systeme und die Steigerung der Gesamteffizienz der Anlage.

Abstract

In this bachelor thesis, efficiency improvement measures for the building services system of the "Friedrich-Inhauser-Straße" residential complex in Salzburg are developed based on a single case study. Existing monitoring data from 2023 are analyzed in order to identify optimization potential. The monitoring data from 2023 are also compared with those from 2022. The work is part of the ZeCaRe III research project, which builds on the previous ZeCaRe II research project.

The study focuses on the analysis of the energy efficiency of various system components of the building services system, including the wastewater heat pump, exhaust air heat pump, pellet boiler, photovoltaic system and electric rod.

The investigations and analyses showed that the wastewater heat pump has a constant energy production throughout the year. No clear efficiency improvement measures can currently be found for the wastewater heat pump. A more in-depth analysis of the monitoring data of the wastewater temperatures could reveal further potential for increasing efficiency. The exhaust air heat pump has a low energy production, especially in the summer months, since the majority of the energy required is generated by the wastewater heat pump during these months. By using the outside air bypass, the exhaust air heat pump could be operated even more efficiently, especially in summer. No direct optimization potential can be found for the pellet boiler. By replacing the pellet boiler with a more efficient renewable heating system such as a brine/water heat pump or a water/water heat pump, the efficiency of the entire building technology system can be increased. The photovoltaic system generated less electricity than expected, which could lead to a root cause analysis. By operating the electric rod with the surplus photovoltaic electricity, the building technology system could be operated even more efficiently and the self-consumption of electricity from the photovoltaic system could also be increased.

The work shows both, the systems that already function very efficiently and those with optimization potential. The objectives are to reduce the energy consumption of the less efficient systems and to increase the overall efficiency of the system.

Danksagung

Ich möchte meinen Dank an meinen Betreuer, Herrn DI Dr. Klaus Prenninger, aussprechen. Seine wertvolle Unterstützung und Geduld haben mich während der gesamten Dauer meiner Bachelorarbeit begleitet.

Durch seine Expertise und konstruktiven Anregungen konnte ich neue Perspektiven gewinnen und meine Arbeit erheblich verbessern. Die präzisen Rückmeldungen und das fundierte Fachwissen von Herrn DI Dr. Prenninger haben mir geholfen, meine Arbeit auf ein höheres Niveau zu heben.

Besonders schätze ich das Engagement und die Zeit, die er in die Betreuung investiert hat. Seine Unterstützung war entscheidend für die Fertigstellung meiner Bachelorarbeit.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung.....	2
1.2 Forschungsfrage	2
1.3 Methodik.....	2
1.4 Abgrenzung.....	2
2 Grundlagen	3
2.1 Untersuchungsobjekt.....	4
2.2 Abwasserwärmepumpe.....	7
2.3 Abluftwärmepumpe.....	8
2.4 Energiemonitoring.....	9
2.5 Regelungsbeschreibung	10
2.6 Heizgradtag Bereinigung	11
3 Hauptteil	16
3.1 Vorgehensweise und Rahmenbedingungen	16
3.2 Auswertung der Daten des permanenten Energiemonitorings im Jahr 2023	16
3.3 Vergleich der Daten des permanenten Energiemonitorings im Jahr 2022 und 2023.....	39
3.4 Analyse der Optimierungspotentiale	45
4 Fazit / Conclusio	52
5 Ausblick.....	54
Abbildungsverzeichnis	55
Formelverzeichnis	56
Tabellenverzeichnis.....	57
Literaturverzeichnis.....	58

1 Einleitung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Erarbeitung von Effizienzsteigerungsmaßnahmen für eine Gebäudetechnische Anlage anhand einer Einzelfallstudie der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“. Bei der Bachelorarbeit ist geplant die vorhandenen Monitoring Daten auszuwerten und auf Basis dieser, Optimierungspotentiale und Effizienzsteigerungsmaßnahmen der Gebäudetechnischen Anlage auszuarbeiten, um die Effizienz dieser Anlage zu steigern. Anfangs werden in einem Grundlagen Kapitel die wichtigsten Bestandteile der Gebäudetechnischen Anlage erklärt. Es werden auch die Grundlagen der Heizgradtage und der Heizgradtage Bereinigung beschrieben. Folglich wird die bestehende Regelstrategie der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“ beschrieben. Anschließend werden die Daten aus dem permanenten Energiemonitoring für das Jahr 2023 ausgewertet und analysiert.

Die geplante Bachelorarbeit widmet sich dem Forschungsprojekt ZeCaRe III, welches das umfassende Gebäudetechnische Monitoring der Wohnsiedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße in 5026 Salzburg behandelt. Das Vorprojekt ZeCaRe II sah die Generalsanierung und Nachverdichtung der Wohnsiedlung vor, nachdem diese zuvor komplett abgesiedelt worden war. Das Ergebnis ist eine Erweiterung der bestehenden 75 Wohnungen auf insgesamt 99 Einheiten.

Im Rahmen des Forschungsprojekts ZeCaRe II wurde ein thermisches Gebäudesimulationsmodell erstellt, basierend auf den Ausführungsplänen der Wohnsiedlung. Die Erstellung dieses Modells erfolgte mithilfe der dynamischen Multizonen-Simulationsanwendung IDA ICE, entwickelt von der renommierten Firma EQUA Solutions. In einer vorherigen Bachelorarbeit von Herrn Markus Lerchner ist dieses Simulationsmodell anhand der Monitoringsdaten vom Jahr 2022 validiert worden.

Im Zuge der umfassenden Sanierung wurden nicht nur die bestehenden Strukturen erneuert, sondern auch die Heizungsanlage wurde modernisiert, und eine Photovoltaik-Anlage mit einer Leistung von 87 kWp wurde installiert. Die Wärmeerzeugung erfolgt nun durch eine Abluftwärmepumpe, eine Abwasserwärmepumpe, einem Pelletskessel für die Spitzenlasten und einer E-Patrone. Ein zusätzliches Element zur Entlastung der Stellplatzsituation für PKWs wurde in Form eines "Mobility Points" implementiert. Dieser beinhaltet eine E-Ladestation für Autos, ein hauseigenes Car-Sharing-System sowie die Möglichkeit zur Ausleihe von Lastenfahrrädern, E-Bikes und ähnlichem.

Parallel dazu wurde ein Monitoring-System für die gesamte Gebäudetechnische Anlage, einschließlich des Mobility Points, konzipiert. Das Hauptziel dieses Monitorings besteht darin, die Anlage der Wohnsiedlung durch ein iteratives Verfahren zu optimieren. Hervorzuheben ist,

dass die Regelungsstrategie der Gebäudetechnik zu Beginn des Projekts definiert wurde und seither nicht weiter untersucht wurde.

1.1 Zielsetzung

Diese Arbeit setzt sich das Ziel, anhand der erfassten Monitoring Daten eine umfassende Analyse der Effizienz der Gebäudetechnischen Anlage durchzuführen und Optimierungsmaßnahmen auszuarbeiten, mit welchen die Effizienz der Gebäudetechnischen Anlage der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“ steigen sollte. Dabei liegt der Schwerpunkt insbesondere auf der Effizienz der verbauten Abluftwärmepumpe und der Abwasserwärmepumpe. Sowie die Betrachtung der restlichen Energieerzeuger, um Effizienzsteigerungs-Maßnahmen der gesamten Gebäudetechnischen Anlage zu erarbeiten.

1.2 Forschungsfrage

Wie muss die Regelstrategie angepasst werden, um die Effizienz der Abluftwärmepumpe und der Abwasserwärmepumpe zu maximieren?

Welche Optimierungspotentiale für die Gebäudetechnische Anlage ergeben sich durch die Analyse der vorhandenen Monitoring Daten?

1.3 Methodik

Die Methodik dieser Arbeit stützt sich auf die sorgfältige Auswertung von vorliegenden Monitoring Daten der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“ im Bereich des permanenten Energiemonitorings und der Regelung der Gebäudetechnischen Anlage. Im Verlauf dieser Forschungsarbeit werden die Daten aus dem Energiemonitoring nicht nur ausgewertet, sondern auch einer eingehenden Analyse unterzogen. Um anschließend Optimierungspotentiale der Gebäudetechnischen Anlage ausarbeiten zu können.

1.4 Abgrenzung

In dieser Arbeit werden die Monitoring Daten aller Energieerzeugenden Komponenten der Gebäudetechnischen Anlage der Siedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße untersucht. Dazu zählen die Abluft Wärmepumpe, Abwasser Wärmepumpe, Pelletskessel, die Photovoltaik Anlage und die E-Patrone. Zusätzlich werden noch die Monitoring Daten diverser Systemtemperaturen untersucht. Zu diesen Temperaturen zählen die Vorlauftemperaturen und Rücklauftemperaturen aller Energieerzeuger sowie die Vor- und Rücklauftemperaturen des Gesamtsystems.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird zuerst das Projekt „Friedrich-Inhauser-Straße“ beschrieben.

Es werden auch die verwendeten Energieerzeuger zur Deckung des thermischen Energiebedarfs näher beschrieben.

Bei der Renovierung der Siedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße wurde die gesamte Gebäudetechnische Anlage mit einem permanenten Energiemonitoring ausgestattet, welches im Kapitel 2.4 Energiemonitoring gesondert beschrieben wird. Im Kapitel 2.5 Regelungsbeschreibung wird die grundlegende Funktionsweise der Regelung in der Friedrich-Inhauser-Straße erläutert. Im Kapitel 2.6 Heizgradtag Bereinigung werden die Grundlagen zur Heizgradtag Bereinigung beschrieben. Dies dient in der Folge zur besseren Vergleichbarkeit der Monitoring Daten aus den Jahren 2022 und 2023.

2.1 Untersuchungsobjekt

In diesem Kapitel wird das Untersuchungsobjekt in der Friedrich-Inhauser-Straße beschrieben.

2.1.1 Beschreibung des Objektes

In den 1980er Jahren ist in der Friedrich-Inhauser-Straße eine Wohnsiedlung errichtet worden. Damals sind im Zuge der Errichtung der Wohnsiedlung 75 Wohneinheiten entstanden. Diese 75 Wohneinheiten sind auf 8 Wohngebäude aufgeteilt. Diese Wohnsiedlung ist damals von einer Gas-Zentralheizung mit Wärme versorgt worden. Nach diesen vielen Jahren des Wohnbetriebs entspricht diese Wohnsiedlung bei weitem nicht mehr den heutigen Standards. Dies trifft vor allem bei dem bauphysikalischen und energetischen Zustand der Wohnsiedlung zu. Dadurch entschloss sich der Eigentümer der Wohnsiedlung die Heimat Österreich gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H. im Jahr 2015 dazu diese Wohnsiedlung zu generalsanieren und zu nachverdichten. Dabei entschloss sich die Heimat Österreich auch dazu im Zuge dieser Generalsanierung eine vorbildhafte Gebäudesanierung im Sinne des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung zu realisieren. Die bauliche Umsetzung erfolgte von 2021 bis 2022. In der Abbildung 1 ist die Wohnsiedlung der Friedrich-Inhauser-Straße vor Beginn der der Sanierungsmaßnahmen ersichtlich.



Abbildung 1: Die Siedlung der Friedrich-Inhauser-Straße vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen (Heimat Österreich gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H., 2022)

Im Zuge der Sanierung sind die bestehenden 75 Wohneinheiten auf 99 Wohneinheiten erweitert worden. Diese 99 Wohnungen verfügen über 36 bis 112 Quadratmetern Wohnnutzfläche. Dadurch verfügt die gesamte Wohnsiedlung über eine Wohnnutzfläche von 6767,3 Quadratmetern. In der Abbildung 2 ist die Wohnsiedlung nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen ersichtlich.



Abbildung 2: Die Siedlung der Friedrich-Inhauser-Straße nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen (Karbun, 2022)

Aus Architektonischer Sicht war der Umgang mit dem Bestand einer der zentralen Punkte. Um einen Bezug zum Bestand zu erhalten sind die Dachschrägen der Bestandsgebäude in das architektonische Konzept eingearbeitet worden. Der Erhalt dieser Dachschrägen ist in der Abbildung 2 ersichtlich. Die Errichtung der neuen Struktur der Gebäude erfolgte in Holz-Hybridbauweise und die Außenwände sind mit einer Holzfassade ausgestattet worden.

Für die Sanierung der Wohnsiedlung ist eine Sanierungskonzept erstellt worden, mit welchem auch die Pariser Klimaziele von 2023 eingehalten werden. Um diese Ziele zu erreichen war es ausschlaggebend die Gebäudetechnische Anlage so zu planen, dass diese möglichst ökologisch betrieben werden kann. Dadurch ist hier auch der Fokus auf die Rückgewinnung von nicht vermeidbaren Energieverlusten gefallen. Da der Einbau einer kontrollierten Wohnraumlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung nicht möglich war, ist beim Lüftungskonzept auf eine bedarfsgeregelte Abluftanlage mit Außenluftnachströmung gesetzt worden. Zusätzlich zu die-

ser Abluftanlage ist auch eine Abluft Wärmepumpe geplant worden. Welche die sonst verlorene Energie, welche in der Abluft steckt, wieder nutzbar macht, indem diese Energie für die Produktion von Wärme genutzt wird. Ein weiteres großes Potential zur Rückgewinnung von sonst verlorener Energie stellt das Abwasser im Wohnbau dar. Dadurch ist auch eine Abwasser Wärmepumpe geplant worden, um die Energie aus dem Abwasser in Wärme umzuwandeln und diese nutzbar zu machen. Für jene Tage im Jahr bei denen die Wärme von der Abwasser Wärmepumpe und der Abluft Wärmepumpe nicht ausreicht ist ein Pelletskessel geplant worden. Dieser ist dazu da, um die Spitzenlasten abzudecken und einen reibungsfreien Betrieb und Wärmeversorgung der Siedlung sicherzustellen. Es ist auch eine Photovoltaik Anlage mit einer Gesamtleistung von 87,1 kWp errichtet worden. Diese Photovoltaik Anlage ist auf 5 der 8 Gebäude jeweils am Flachdach installiert. Die Wärme welche von der Abluft Wärmepumpe, der Abwasser Wärmepumpe und dem Pelletskessel produziert wird, wird in einem Pufferspeicher mit einem Volumen von 25.000 Litern gespeichert. Als letzte Komponente zu Wärmeproduktion ist noch eine E-Patrone installiert worden, welche direkt das Wasser in dem zuvor erwähnten Pufferspeicher erwärmt.

Die Energieversorgungsanlage wird über ein permanentes Online-Monitoring überwacht, optimiert und entsprechend dokumentiert. Die wissenschaftliche Begleitung erfolgt durch die FH Salzburg, unter der Leitung von DI Dr. Markus Leeb.“ (Heimat Österreich gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H., 2022)

2.2 Abwasserwärmepumpe

Wie im Kapitel 2.1 bereits erklärt, wird bei diesem Projekt versucht das Potential der Rückgewinnung von sonst verlorener Energie möglichst gut auszunutzen. Dazu wird unter anderem mittels einer Abwasser Wärmepumpe die Energie aus dem Abwasser genutzt, um diese in nutzbare Wärme umzuwandeln. Hierzu ist ein Schmutzwassertank mit einem Volumen von etwa 30.000 Litern errichtet worden. In diesem Schmutzwassertank wird das gesamte Grauwasser und Schwarzwasser der Wohnsiedlung eingeleitet. Ungewünschte Feststoffe, welche nicht in den nutzbaren Teil des Abwassertanks gelangen sollten, werden nach Eintritt des Abwassers durch einen Filter ausgefiltert. Dieser Filter wird zudem einmal pro Tag durchgespült, um einen langen und reibungsfreien Betrieb der Abwasser Wärmepumpe sicherzustellen. Um durchgehend den gewünschten Füllstand des Abwassertanks zu erreichen ist ein Ablauf-Rohr im Abwassertank verbaut. Dieses dient zudem auch als Überlauf.

Die Hauptkomponente, welche es ermöglicht die Energie aus dem Abwasser nutzbar zu machen ist der verbaute Wärmetauscher. In diesem Fall handelt es sich um einen Plattenwärmetauscher. Dieser Plattenwärmetauscher überträgt die Energie aus dem Abwasser an eine Soleleitung. Die Sole in der Soleleitung dient als Wärmeträgermedium und dient dazu die Wärme aus dem Abwassertank bis zur Sole-Wasser Wärmepumpe (Abwasser Wärmepumpe) im Technikraum zu befördern. Die Abwasserwärmepumpe nutzt die Wärme aus dem Abwassertank, um Wasser auf ein höheres für die Heizung nutzbares Temperaturniveau zu heben. In der Abbildung 3 ist der Abwassertank und seine Komponenten schematisch dargestellt. In der Abbildung 3 ist noch eine Injektorpumpe zu sehen. Diese wird genutzt um das Abwasser ab einer Abwassertemperatur von 8°C in den Plattenwärmetauscher zu pumpen. Das wird gemacht, um nochmals den Wärmeübertragungsgrad am Plattenwärmetauscher zu erhöhen und um dadurch nochmals eine Erhöhung der Effizienz zu erzielen.

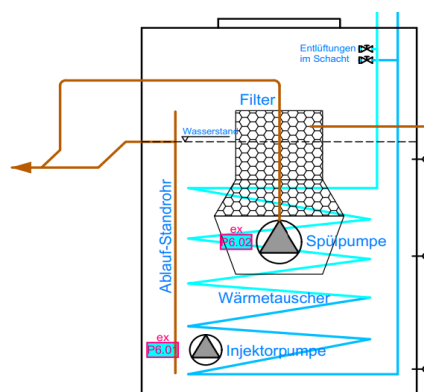


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Schmutzwassertanks (TB Stampfer - Ingenieurbüro für Gebäudetechnik, 2019)

Für weitere Informationen kann im Abschlussbericht ZeCaRe II Bericht Energiesystem nachgelesen werden. (Eitzinger-Lange et al., 2022)

2.3 Abluftwärmepumpe

Wie im Kapitel 2.1 bereits erwähnt, sind alle Gebäude der Wohnsiedlung mit einer bedarfsge-regelte Abluftanlage mit Außenluftnachströmung ausgestattet. Über diese Abluftanlage werden die Bäder, Toiletten und Küchen der Wohneinheiten entlüftet. Um diese Abluft nicht unge-nutzt nach außen zu leiten, wird die Energie aus der Abluft genutzt, um eine Abluft Wärmepumpe zu betreiben.

Um die Energie der Abluft zur Abluft Wärmepumpe zu befördern, wird der Abluft ihre Energie mittels eines Kälteregisters entzogen und gleichzeitig an eine Sole übertragen. Diese Sole wird über die Soleleitung an die Sole-Wasser-Wärmepumpe (Abluft Wärmepumpe) geleitet. Welche wiederum diese Energie nutzt, um Heizungswasser auf ein höhere nutzbares Tempera-turniveau zu heben.

Für weitere Informationen kann im Abschlussbericht ZeCaRe II Bericht Energiesystem nach-gelesen werden. (Eitzinger-Lange et al., 2022)

2.4 Energiemonitoring

Bei der Erstellung des Konzepts für das Energiemonitoring der Wohnsiedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße stellte sich zu Beginn die Frage welche Ziele über das Energiemonitoring erreicht werden sollten. Bei der Erstellung des Konzepts ergaben sich folgende Ziele beziehungsweise Zwecke für das Energiemonitoring:

- Ermittlung der Energieströme
- Gegenüberstellen von Prognose, Bedarf und Verbrauch
- Überwachung von Kennzahlen und Komfort
- Diagnose von Fehlern, Problemen oder Ineffizienzen
- Ermitteln von Optimierungspotentialen
- Validierung des Gebäudesimulationsmodells der Siedlung
- Diverse weitere Erkenntnisse für die Wohnbauforschung, zum Beispiel in Bezug auf das Nutzerverhalten
- Erhöhung der Multiplizierbarkeit des gesamten Energiesystems bzw. Teile davon. (Eitzinger-Lange et al., 2021)

Grundsätzlich dient das Monitoring der Wohnsiedlung einem Energieverbrauchsmonitoring. Dieses ist da, um Auswirkungen und Funktionalität der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen ersichtlich und greifbar zu machen. Zusätzlich dient es der Optimierung der Effizienz der gebäudetechnischen Anlage. Diese sollte über eine laufende Analyse der Energieverbrauchsdaten sowie durch die Identifikation von diversen Fehlern und Abweichungen im System fortlaufend erhöht werden.

Das Energiemonitoring wird von der Firma ECA betrieben. Für die Langzeit-Datenaufzeichnung und eine übersichtliche und schnelle Webbasierte Visualisierung der Datenpunkte wird das Programm EMAS (Energy Management & Analysis System) verwendet. Dieses Programm wurde speziell für das Energiemonitoring der Firma ECA entwickelt.

Für weitere Informationen kann im Abschlussbericht ZeCaRe II Monitoring Konzept nachgelesen werden. (Eitzinger-Lange et al., 2021)

2.5 Regelungsbeschreibung

Um die gebäudetechnische Anlage der Siedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße möglichst effizient betreiben zu können ist es wichtig diese Anlage dementsprechend zu regeln. Im Zuge der Sanierung ist von der Firma ECA eine Regelung festgelegt worden. Diese ist in der dementsprechenden Regelungsbeschreibung festgehalten worden. Diese Regelungsbeschreibung ist auch erstellt worden, um nach der Inbetriebnahme der Anlage einen Überblick über alle Schaltpunkte und Schaltkriterien der Anlage zu erhalten. Nach der Regelungsbeschreibung ist die Abwasser Wärmepumpe der primäre Wärmeerzeuger. Nach dieser folgt die Abluft Wärmepumpe. Der Pelletskessel ist der tertiäre Wärmeerzeuger gefolgt von der E-Patrone.

Anhand der Soll-Werte wie zum Beispiel Vorlauftemperaturen, Systemdrücke oder Puffertemperaturen können in Kombination mit dem Energiemonitoring gewisse Fehlzustände oder fehlerhafte Komponenten entdeckt werden. Die Freigabebedingungen, welche bei der Inbetriebnahme der Anlage festgelegt worden sind, können auch verwendet werden, um neue Freigabebedingungen auszutesten, um mögliche Effizienzsteigerungsmaßnahmen zu finden.

Die Regelstrategie basiert ausschließlich auf ökonomischen Parametern. Durch die definierte Reihenfolge der Freigabe von den einzelnen Energieerzeugern wird versucht, die bereits vorhandene Energie im Abwasser und in der Abluft rückzugewinnen. (Lerchner, 2023)

Für weitere Informationen kann im Abschlussbericht ZeCaRe II Monitoring Konzept nachgelesen werden. (Eitzinger-Lange et al., 2021)

2.6 Heizgradtag Bereinigung

Die sogenannte Heizgradtag Bereinigung bildet eine Möglichkeit für einen fairen Vergleich von Energieverbräuchen. Heizgradtage dienen als Indikator für den Energiebedarf zur Raumheizung und sind somit ein zentrales Element bei der Bewertung der thermischen Performance von Gebäuden. Um genaue und zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, ist es entscheidend, die Normen und Standards des Österreichischen Normungsinstituts (ÖNORM) zu berücksichtigen, insbesondere die ÖNORM B 8110-5. In diesem Kapitel wird die Bedeutung der Bereinigung von Heizgradtagen in der Klimaanalyse unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Norm der ÖNORM B 8110-5 beschrieben.

2.6.1 Grundlagen der Heizgradtage gemäß der ÖNORM B 8110-5

Die ÖNORM B 8110 behandelt den Wärmeschutz im Hochbau. Der für diese Arbeit und die Heizgradtage relevante Teil 5 der ÖNORM B 8110 behandelt die Themen Klimamodell und Nutzungsprofile.

Der Anwendungsbereich der ÖNORM B 8110-5 ist in der Norm wie folgt definiert.

Im vorliegenden Dokument werden die Randbedingungen zur Berechnung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs gemäß ÖNORM B 8110-6-1 festgelegt.

Dieses Dokument legt ein Verfahren zur Ermittlung standortabhängiger Normaußentemperaturen fest, wobei die Daten der Datei „OIB-Richtlinie 6, NAT Excel“, die das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) auf seiner Homepage zur Verfügung hält, zugrunde zu legen sind.

Außerdem legt das vorliegende Dokument ein Verfahren zur Ermittlung von Außenlufttemperaturen mit einer Überschreitungshäufigkeit von 130 Tagen in 10 Jahren fest, wobei die Daten der Datei „OIB-Richtlinie 6, NAT-T13 Excel“, die das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) auf seiner Homepage zur Verfügung hält, zugrunde zu legen sind. (Austrian Standards International, 2024)

Die Berechnung der Heizgradtage ist im Kapitel 5.2.3 der ÖNORM B 8110-5 definiert.

$$HGT_{22/14} = \sum_j (\theta_{i,h} - \theta_{e,j}) \text{ für } \theta_{e,j} \leq 14^\circ\text{C}$$

Formel 1: Formel für die Berechnung der Heizgradtage nach der ÖNORM B 8110-5:2024 (Austrian Standards International, 2024)

Die Erläuterung der in der Formel 1 verwendeten Formelzeichen ist in der Tabelle 1 ersichtlich.

Formel-Zeichen	Einheit	Erläuterung
$HGT_{22/14}$	Kd/a	Heizgradtage
$\theta_{i,h}$	°C	Solltemperatur des konditionierten Raumes im Heizfall
$\theta_{e,j}$	°C	Mittlere Außentemperatur im Monat j

Tabelle 1: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 1 (Austrian Standards International, 2024)

In der Formel 1 ist zu erkennen, dass in der aktuell gültigen Norm der ÖNORM B 8110-5:2024 für die Solltemperatur des konditionierten Raumes im Heizfall 22°C angenommen werden und ein Tag als Heiztag gilt, wenn dessen mittlere Außentemperatur $\leq 14^\circ\text{C}$ beträgt.

In der ÖNORM B 8110-5:2011, welche eine Vorgängerversion der aktuell gültigen Norm ist, werden die Heizgradtage wie in der folgenden Formel 2 berechnet.

$$HGT_{20/12} = \sum_i (\theta_{i,h} - \theta_{e,i}) * d_i$$

Formel 2: Formel für die Berechnung der Heizgradtage nach der ÖNORM B 8110-5:2011 (Austrian Standards Institute, 2011)

Die Erläuterung der in der Formel 2 verwendeten Formelzeichen ist in der Tabelle 2 ersichtlich.

Formel-Zeichen	Einheit	Erläuterung
$HGT_{20/12}$	Kd/a	Heizgradtage
$\theta_{i,h}$	°C	Mittlere Innentemperatur gemäß (Austrian Standards Institute, 2011)
$\theta_{e,i}$	°C	Mittlere Außentemperatur im jeweiligen Monat
d_i	d	Monatstage, wenn $\theta_{e,i} < 12^\circ\text{C}$

Tabelle 2: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 2 (Austrian Standards Institute, 2011)

Die Formel 2 ist für diese Arbeit relevant da bei der Berechnung der Heizgradtage die $HGT_{20/12}$ verwendet wurde.

2.6.2 Grundlagen der Heizgradtag Bereinigung

Um den Energieeinsatz bzw. die Energiekennzahl für Raumwärme bestimmter Gebäude qualitativ vergleichen zu können, ist eine Heizgradtagbereinigung sinnvoll. Der Einfluss der Tagesmittel der Außentemperatur auf den Energieeinsatz fällt dabei weg. Erfolgt diese Bereinigung nicht, so liefert die Energiekennzahl keine gebäudespezifische Aussage. So hätte ein warmer Winter zur Folge, dass die Energiekennzahl im Vergleich zum Vorjahr günstigere Werte aufweist, obwohl unter Umständen der heizgradtagbereinigte Verbrauch gestiegen ist.

Eine Bereinigung mit den Heizgradtagen weist jedoch nur eine bedingte Genauigkeit auf, da die Faktoren wie Windverhältnisse, Sonneneinstrahlung, mikroklimatische Einflüsse etc. unberücksichtigt bleiben.

Die Durchführung der Bereinigung hängt von der Beschaffenheit des vorhandenen Datenmaterials ab. Beim Vergleich von Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzerverhalten kann die Heizgradtag Bereinigung so vorgenommen, dass der monatliche und der jährliche Verbrauch (in kWh) der einzelnen Gebäude durch die jeweilige Anzahl der Heizgradtage in dem entsprechenden Zeitraum dividiert wird. Die Formel für diese Berechnung ist in der Formel 3 ersichtlich. Dadurch sind Ablesefehler des Anlagenpersonals oder z.B. die manuelle Abschaltung der Heizung in der Übergangszeit schnell ersichtlich. (Schöngrundner, 2002)

$$\text{spez. ber. Verbrauch} = \frac{\text{gemessener Verbrauch eines bestimmten Zeitraumes}}{\text{Heizgradtage eines bestimmten Zeitraumes}}$$

Formel 3: Formel für Heizgradtag Bereinigung für den Vergleich bei unterschiedlichen Nutzerverhalten (Schöngrundner, 2002)

Die Erläuterung der in der Formel 3 verwendeten Formelzeichen ist in der Tabelle 3 ersichtlich.

Formel-Zeichen	Einheit
<i>spez. ber. Verbrauch</i>	kWh/Kd
<i>gemessener Verbrauch eines bestimmten Zeitraumes</i>	kWh
<i>Heizgradtage eines bestimmten Zeitraumes</i>	Kd

Tabelle 3: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 3 (Schöngrundner, 2002)

Ein anderes Modell zur Klimabereinigung ist der Vergleich eines Jahres mit einem sogenannten Referenzjahr bzw. Referenzzeitraum. Das Referenzjahr kann nur dann gewählt werden, wenn das Nutzerverhalten des Gebäudes gleichgeblieben ist und keine Sanierungen stattgefunden haben. Deshalb sind exakte Kenntnisse vom Gebäude nötig, um das Referenzjahr zu

bestimmen. Bei stark schwankenden Verbrauchsdaten führt die Verwendung eines Referenzjahres bzw. Referenzzeitraumes zu den aussagekräftigsten Werten.

Die Heizgradtag Bereinigung bei der Verwendung eines Referenzzeitraumes erfolgt mit der folgenden Formel 4.

$$Verbrauch_{HGT \text{ bereinigt}} = \frac{Verbrauch_{Jahr \ x}}{HGT_{Jahr \ x}} * HGT_{langjährig}$$

Formel 4: Formel für die Heizgradtag Bereinigung (Energieinstitut Vorarlberg, 2024)

Die Erläuterung der in der Formel 4 verwendeten Formelzeichen ist in der Tabelle 4 ersichtlich.

Formel-Zeichen	Einheit	Erläuterung
<i>Verbrauch_{HGT bereinigt}</i>	kWh/a	Heizgradtage bereinigter Jahresverbrauch
<i>Verbrauch_{Jahr x}</i>	kWh/a	Heizenergieverbrauch im Jahr x
<i>HGT_{Jahr x}</i>	Kd	Heizgradtage im Jahr x
<i>HGT_{langjährig}</i>	Kd	Heizgradtage – 30-jähriger Durchschnitt

Tabelle 4: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 4 (eigene Tabelle)

Bei der Heizgradtag Bereinigung ist wichtig das folgende Punkte beachtet werden.

- Die HGT-Bereinigung funktioniert nur, wenn der Zeitraum der HGTs identisch ist mit dem Zeitraum der Energiemessung. Hat man also den Energieverbrauch von 1. November bis 31. Oktober vorliegen, müssen die HGTs dieser Periode verwendet werden. Ansonsten macht man unter Umständen große Fehler bei der Korrektur.
- Hat man zwei Heizungen (z.B. Fernwärme und eine eigene Gasheizung zur Spitzenlastabdeckung), so müssen die Verbräuche von beiden Heizungen über dieselbe Periode vorliegen. Zum Beispiel Fernwärme vom 1. November bis 31. Oktober und Gasverbrauch vom 1. Jänner bis 31. Dezember können nicht gemeinsam HGT korrigiert werden.
- Auch eine rechnerische Verschiebung der beiden Monate November und Dezember (zwei zwölftel des Jahresverbrauchs ins andere Jahr schieben) ist zu ungenau und macht das Ergebnis unbrauchbar.

- Das HGT-Bereinungsverfahren ist in Niedrigenergie- bzw. Passivhäusern nicht geeignet. In diesen Gebäuden hängt die Entscheidung ob geheizt werden muss oder nicht (also die Frage, ob ein Heiztag vorliegt) vorwiegend von der Sonneneinstrahlung und den Windverhältnissen ab, aber nicht von der Außentemperatur.
- Sollten sich die beheizte Fläche in den einzelnen Jahren verändern, z.B. vergrößern, so ist es auch normal, mehr Energie zu verbrauchen. In solchen Fällen vergleicht man die Heizenergie pro m² über die beobachteten Jahre/Perioden. (Energieinstitut Vorarlberg, 2024)

3 Hauptteil

In diesem Kapitel werden die ausgewerteten Daten des permanenten Energiemonitorings aus dem Jahr 2022 (Lerchner, 2023) sowie die ausgewerteten Daten des permanenten Energiemonitorings aus dem Jahr 2023 (ECA energy consulting austria gmbh, 2024) sämtlicher Energieerzeuger dargestellt. Durch eine Gegenüberstellung der Daten sowie die Analyse verschiedenster Sensoren werden Abweichungen und in weiterer Folge Optimierungspotentiale der gebäudetechnischen Anlage der Siedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße aufgezeigt.

3.1 Vorgehensweise und Rahmenbedingungen

Vor Beginn der Auswertung sind alle für die Auswertung der Daten relevanten Messpunkte gesammelt worden. Dazu ist die Regelungsbeschreibung der Friedrich-Inhauser-Straße aus der Bachelorarbeit von Markus Lerchner zur Hilfe genommen worden. (Lerchner, 2023)

Anschließend sind für diese Datenpunkte die jeweiligen Daten aus dem Energy Management & Analysis System (ECA energy consulting austria gmbh, 2024) für das Jahr 2023 abgerufen worden. Je nach Datenpunkt und Auswertungsziel sind Tagesdurchschnittswerte und Tagesmaximalwerte abgerufen worden. Für die Heizgradtage Bereinigung sind die Tagesdurchschnittstemperaturen der Jahre 2022 und 2023 sowie auch dem Monat Jänner 2024 abgerufen worden. Dabei sind Dateien mit dem Dateityp .csv entstanden.

Diese .csv Dateien sind mithilfe des Programms Microsoft Excel der Firma Microsoft Corporation ausgewertet worden. Dazu sind die Monitoring Daten zuerst sortiert und anschließend richtig formatiert worden. Mit diesen richtig formatierten Daten sind anschließend die fertigen Auswertungen gemacht worden. Diese Auswertungen und Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

3.2 Auswertung der Daten des permanenten Energiemonitorings im Jahr 2023

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Auswertung des permanenten Energiemonitorings vorgestellt. Es werden die Ergebnisse der Abwasser Wärmepumpe, Abluft Wärmepumpe, Pelletskessel und der Photovoltaik Anlage dargestellt. Es wird auch die Energiebilanz aller Erzeuger vorgestellt. Zudem werden noch die Vorlauftemperaturen und Rücklauftemperaturen des Pelletskessels und des Gesamtsystems vorgestellt und analysiert.

Der analysierte Zeitraum der Abwasser Wärmepumpe, Abluft Wärmepumpe und des Pelletskessels ist jeweils vom Februar 2023 bis Jänner 2024. Aufgrund einer folglich besseren Vergleichbarkeit der Monitoring Daten aus dem Jahr 2022 ist dieser Zeitraum gewählt worden.

3.2.1 Abwasser Wärmepumpe

Abbildung 4 zeigt die Monatsbilanz des Energiemonitorings der Abwasser Wärmepumpe. Es ist erkennbar, dass das Verhältnis zwischen der verdampferseitigen Quellenergie (WP-Abwasser Verdampfer) und dem Strominput der Wärmepumpe (WP-Abwasser Strom) konstant bleibt. Dieses Verhältnis bildet die Jahresarbeitszahl ab, die auf den gemessenen Energiedaten basiert und einen Wert von 3,2 erreicht.

Weiterhin zeigt Abbildung 4, dass die monatlich erzeugte Energie der Abwasser Wärmepumpe das ganze Jahr über zwischen 16.904 kWh und 23.991 kWh liegt. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass die Abwasser Wärmepumpe das gesamte Jahr über in Betrieb ist und keine monatlichen Stillstandzeiten aufweist.

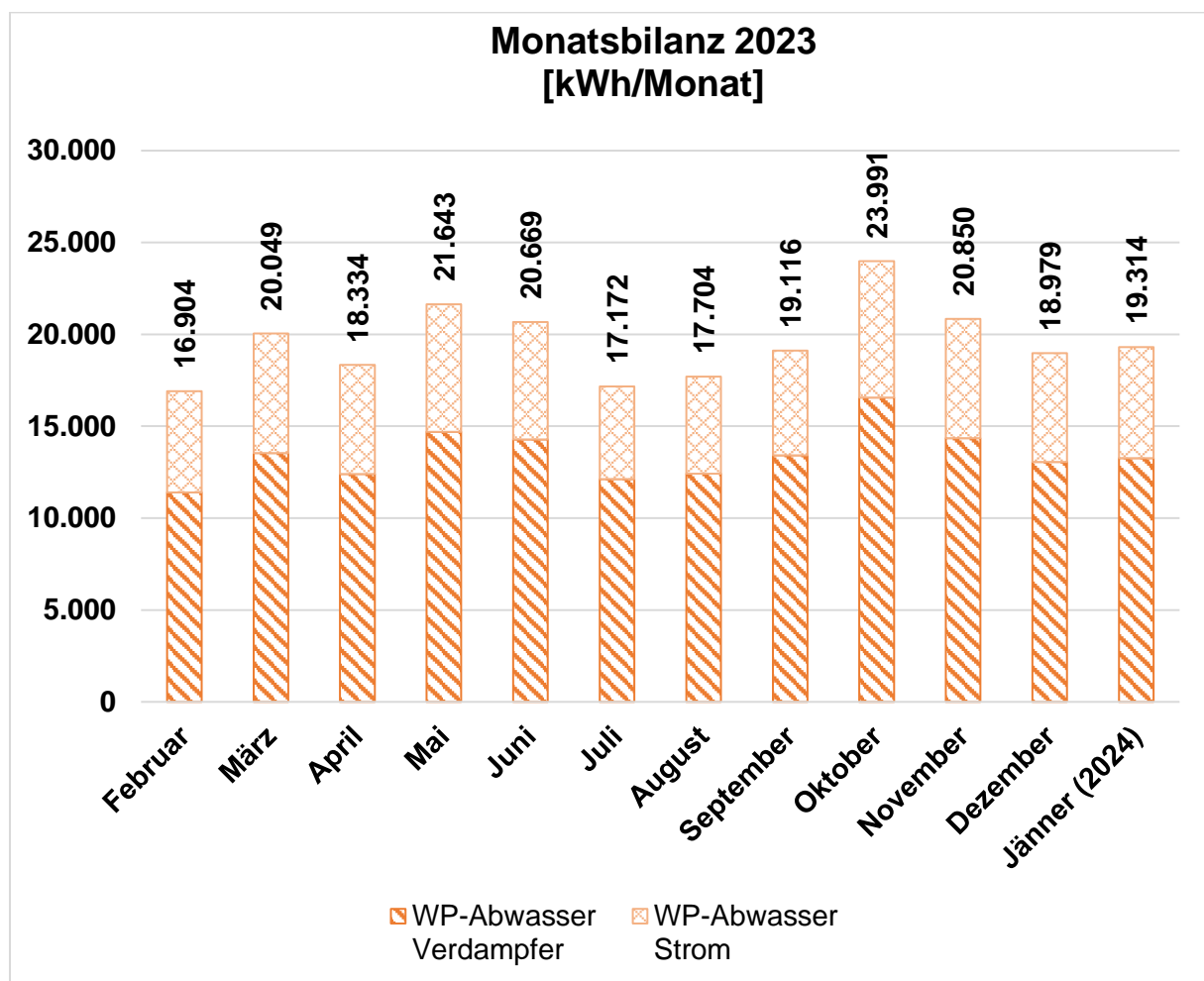


Abbildung 4: Energiemonitoring – Monatsbilanz von 2023 der Abwasser Wärmepumpe

Abbildung 5 zeigt die jährlich erzeugte Energie der Abwasser Wärmepumpe, die eine thermische Gesamtenergie von insgesamt 234.725 kWh pro Jahr erreicht. Davon werden 161.518 kWh, was 69 % der Gesamtenergie entspricht, durch die Quellenergie aus dem Abwassertank (WP-Abwasser Verdampfer) bereitgestellt. Die verbleibenden 73.207 kWh, also 31 % der Gesamtenergie, resultieren aus dem Strominput der Wärmepumpe (WP-Abwasser Strom).

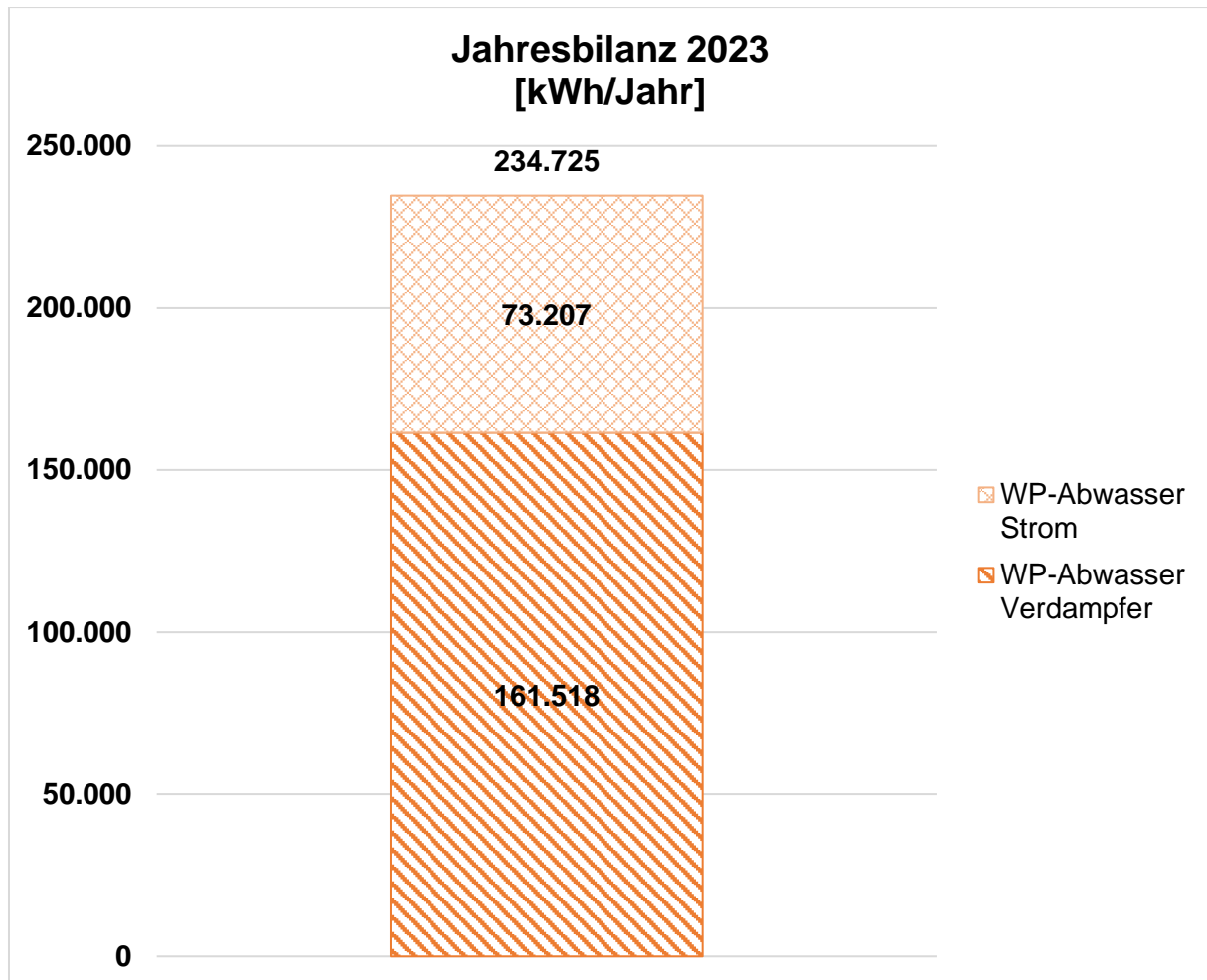


Abbildung 5: Energiemonitoring-Jahresbilanz von 2023 der Abwasser Wärmepumpe

In der Abbildung 6 ist der Monat Februar im Jahr 2023 genauer betrachtet worden. Dabei wird die erzeugte Energie der Abwasser Wärmepumpe im Verhältnis zur mittleren Tagesaußentemperatur betrachtet. Dabei ist zu erkennen, dass die höchste Tagesenergieerzeugung am 03.02.2023 mit 1.014 kWh vorliegt. An diesem Tag gab es eine Tagesmitteltemperatur von 5,4 °C. Die niedrigste Tagesenergieerzeugung gab es im Februar 2023 am 02.02.2023 mit 277 kWh. An diesem Tag gab es eine Tagesmitteltemperatur von 4,9 °C. In der Abbildung 6 ist kein direkter Zusammenhang zwischen der produzierten Energie und der Tagesmitteltemperatur zu erkennen.

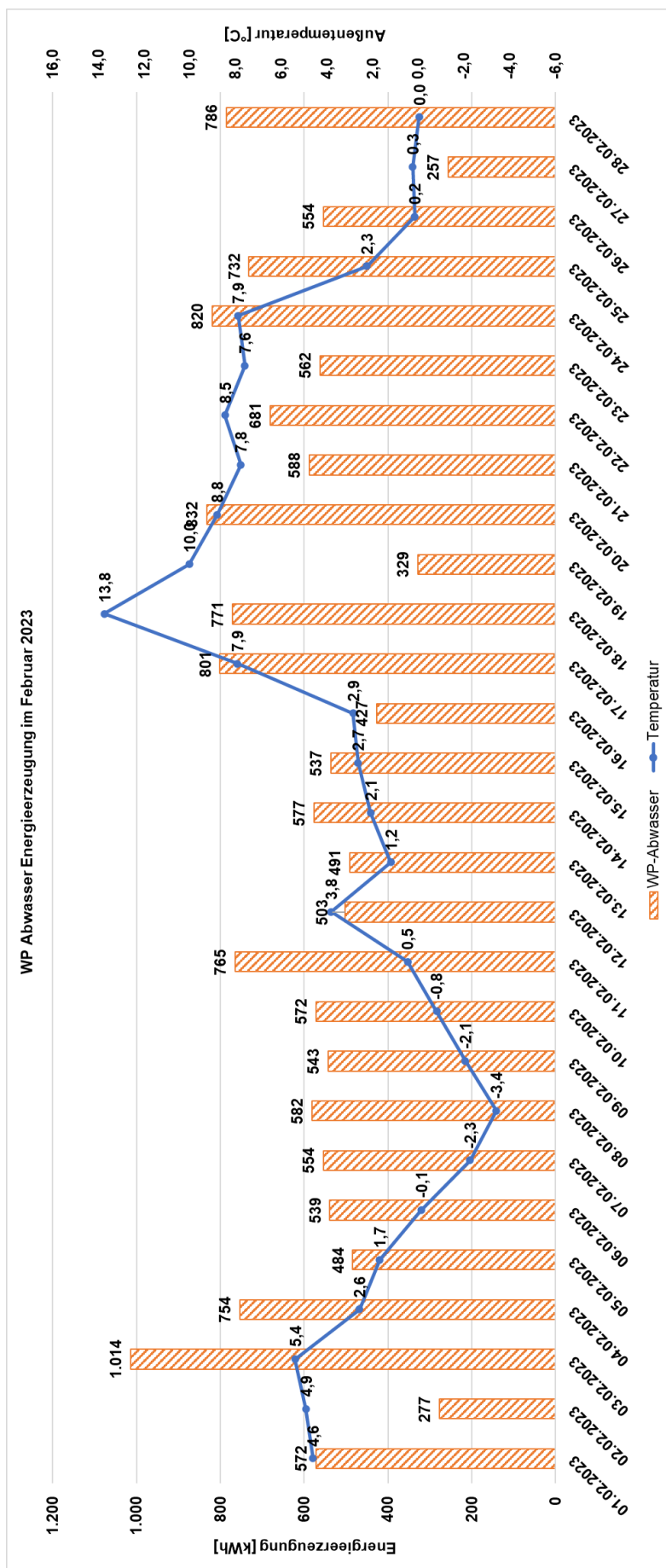


Abbildung 6: Abwasser Wärmepumpe - Energieerzeugung im Februar 2023

3.2.2 Abluft Wärmepumpe

Abbildung 7 zeigt die Monatsbilanz des Energiemonitorings der Abluft Wärmepumpe. Daraus geht hervor, dass ein konstantes Verhältnis zwischen der verdampferseitigen Quellenergie (WP-Abwasser Verdampfer) und dem Strominput der Wärmepumpe (WP-Abwasser Strom) besteht. Dieses konstante Verhältnis spiegelt die Jahresarbeitszahl wider, die auf den gemessenen Energiedaten basiert und einen Wert von 3,6 aufweist.

Die monatlichen Energieerträge erreichen im März ihren Höchstwert mit 21.550 kWh. Im Gegensatz dazu liegt der niedrigste monatliche Energieertrag bei 0 kWh, was in den Monaten Juni und August der Fall ist. Dies deutet darauf hin, dass die Abluft-Wärmepumpe in diesen Monaten Stillstandzeiten aufweist.

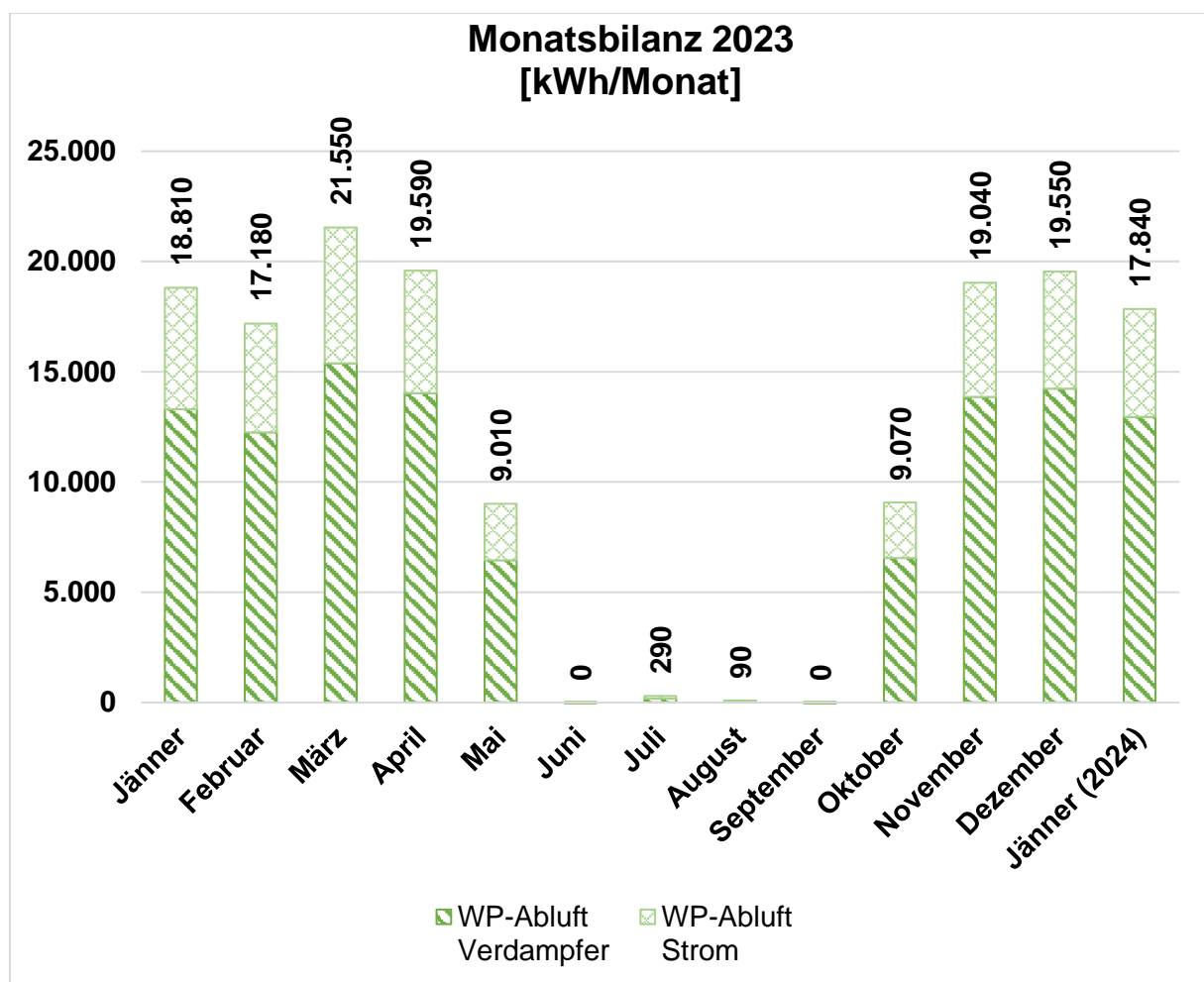


Abbildung 7: Energiemonitoring-Monatsbilanz von 2023 der Abluft Wärmepumpe

Abbildung 8 zeigt die jährlich von der Abwasser Wärmepumpe erzeugte Energie, die sich auf eine thermische Gesamtenergie von 133.210 kWh pro Jahr beläuft. Von dieser Gesamtmenge werden 95.842 kWh, was 72 % der gesamten Energie entspricht, durch die Quellenergie aus der Abluft-Wärmerückgewinnung (WP-Abluft Verdampfer) bereitgestellt. Die verbleibenden 37.368 kWh, also 28 % der Gesamtenergie, werden durch den Strominput der Wärmepumpe (WP-Abluft Strom) erzeugt.

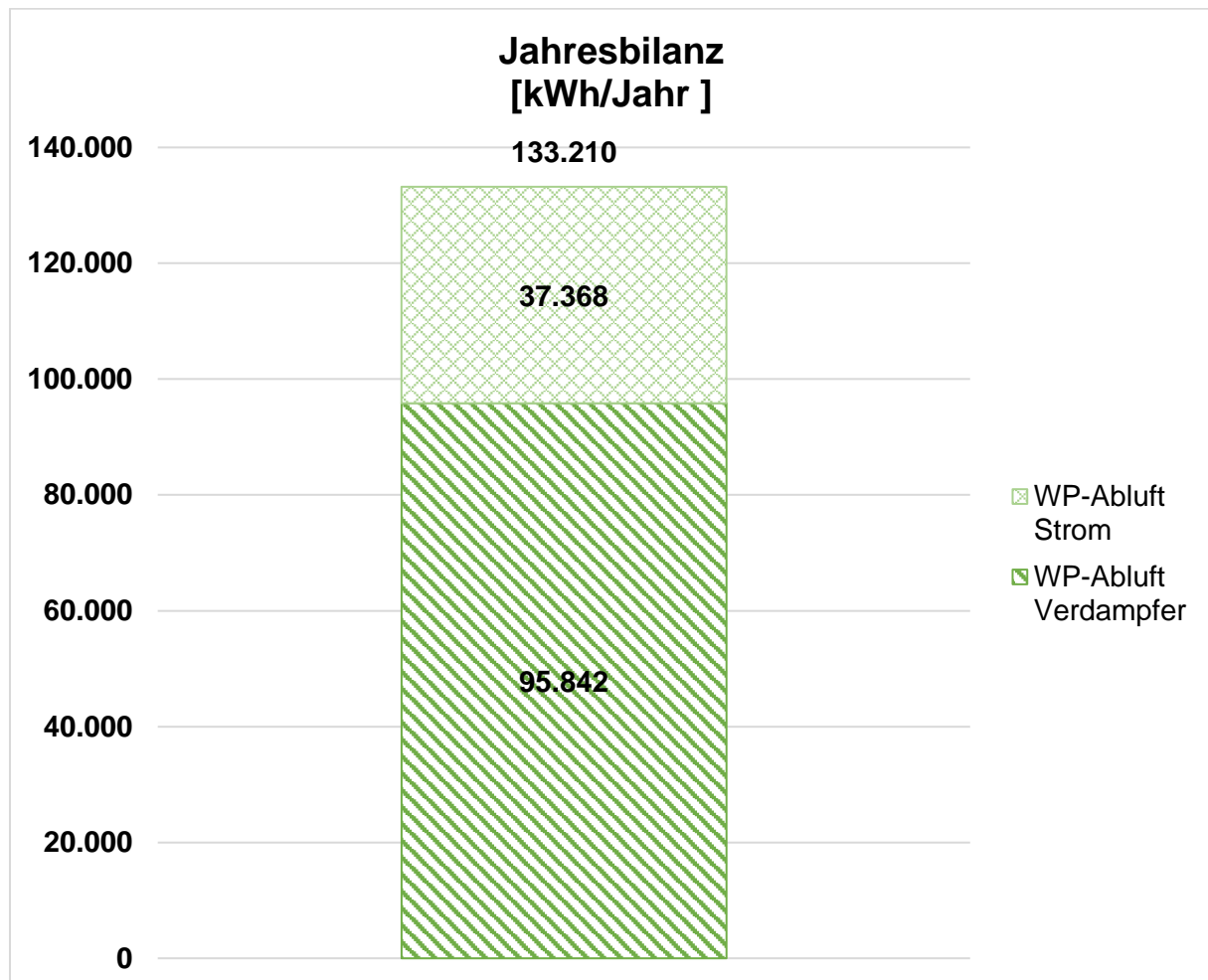


Abbildung 8: Energiemonitoring-Jahresbilanz von 2023 der Abluft Wärmepumpe

In der Abbildung 9 ist der Monat Februar im Jahr 2023 genauer betrachtet. Dabei wird die erzeugte Energie der Abwasser Wärmepumpe im Verhältnis zur mittleren Tagesaußentemperatur betrachtet. Dabei ist zu erkennen, dass die höchste Tagesenergieerzeugung am 17.02.2023 mit 930 kWh vorliegt. An diesem Tag gab es eine Tagesmitteltemperatur von 7,9 °C. Die niedrigste Tagesenergieerzeugung gab es im Februar 2023 am 02.02.2023 mit 350 kWh. An diesem Tag gab es eine Tagesmitteltemperatur von 4,9 °C. Abbildung 9 verdeutlicht einen direkten Zusammenhang zwischen der produzierten Energie und der Tagesmitteltemperatur. Aus der Darstellung geht hervor, dass die erzeugte Energiemenge in Abhängigkeit zur Außentemperatur steht. Konkret bedeutet dies, dass eine höhere Außenlufttemperatur zu

einer gesteigerten Energieproduktion führt. Diese positive Korrelation zwischen Temperatur und Energieerzeugung zeigt, dass wärmere Wetterbedingungen die Effizienz der Energieerzeuger erhöhen, was zu einer höheren Gesamtausbeute an produzierter Energie führt.

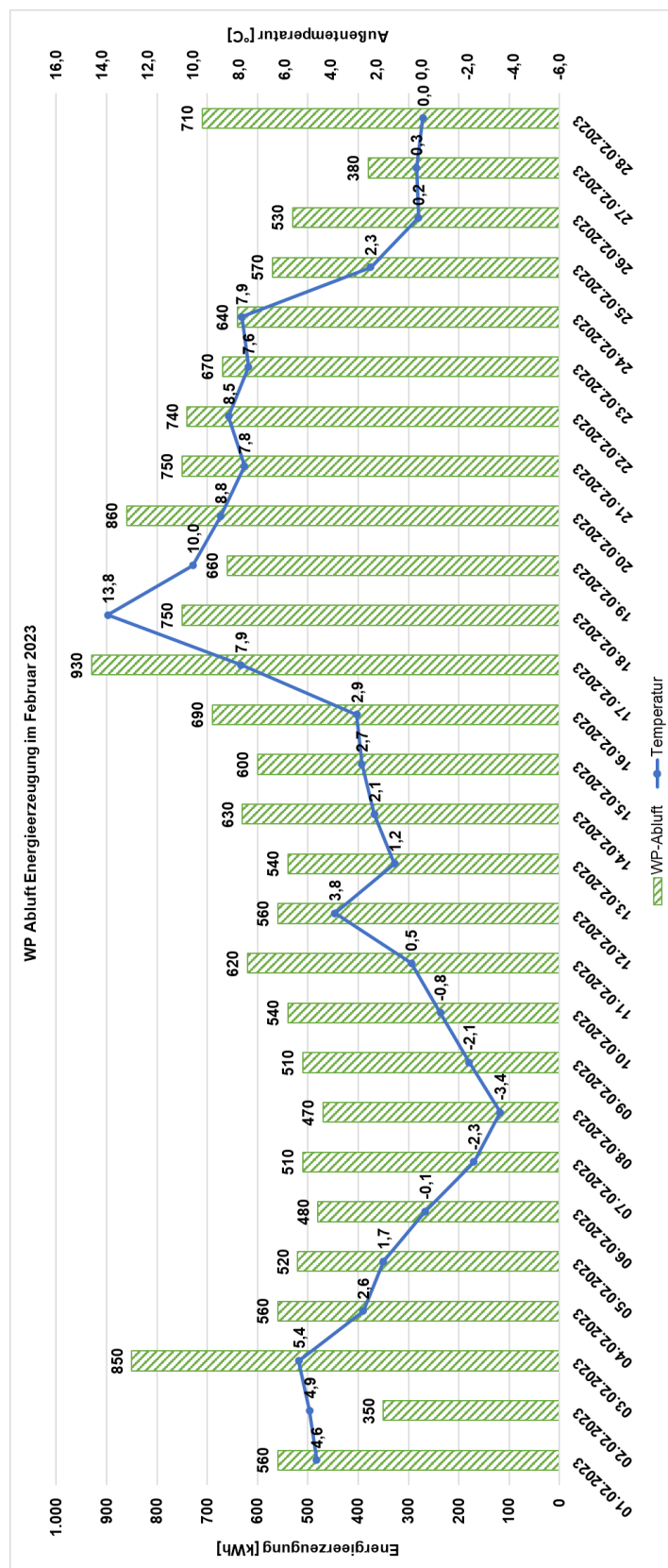


Abbildung 9: Abluft Wärmepumpe - Energieerzeugung im Februar 2023

3.2.3 Pelletskessel

Die Monatsbilanz, dargestellt in Abbildung 10, zeigt die Ergebnisse des Energiemonitorings des Pelletkessels. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass der Pelletkessel im Allgemeinen nur von November bis April in Betrieb ist. Ausnahmen traten in den Monaten Mai und Juli auf, wobei im Mai 30 kWh und im Juli 220 kWh produziert wurden. Die höchste monatliche thermische Energieerzeugung wurde im Januar mit 51.500 kWh erreicht. Im April hingegen lag die erzeugte thermische Energie bei nur 15.790 kWh. Zwischen Mai und Oktober wurde keine thermische Energie mittels des Pelletkessels produziert. Insgesamt beträgt die jährliche Stillstandzeit des Pelletkessels somit sechs Monate.

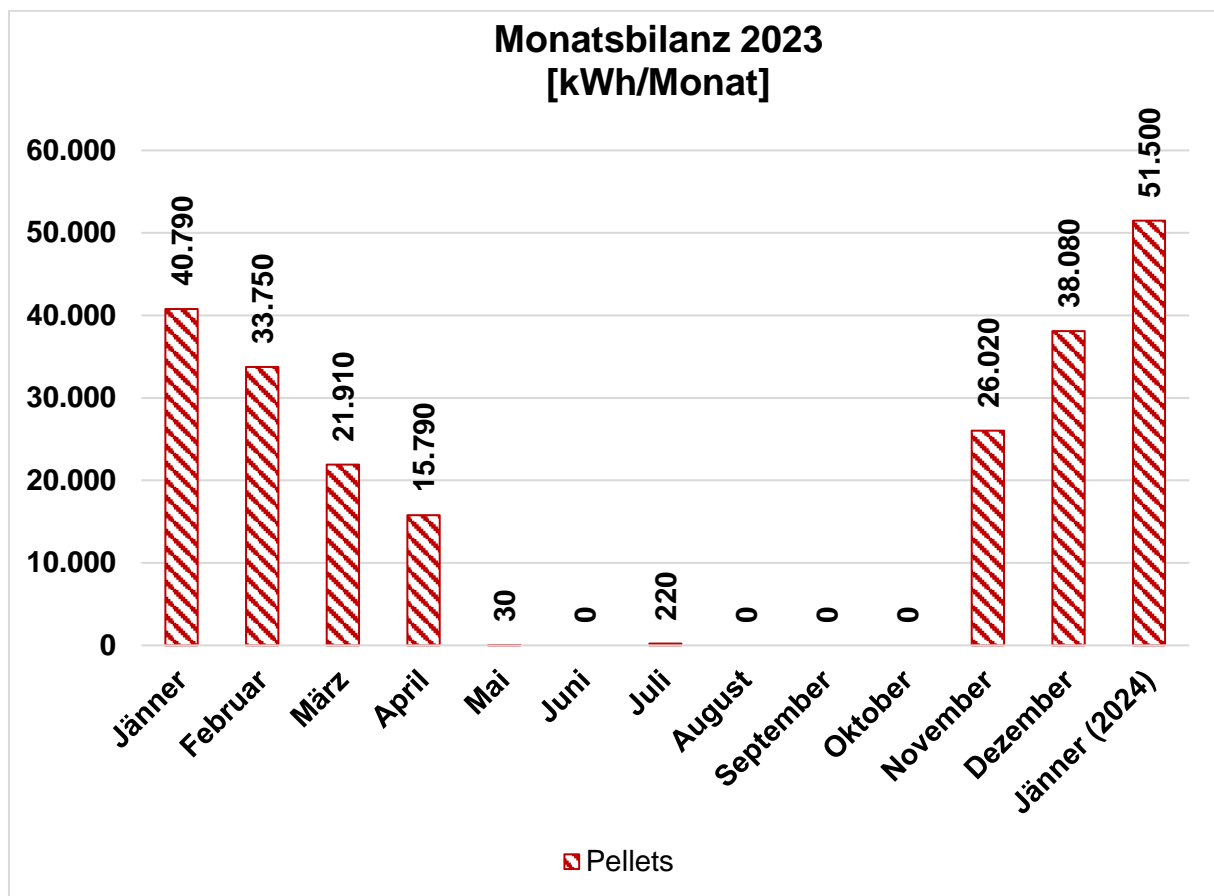


Abbildung 10: Energiemonitoring-Monatsbilanz von 2023 des Pelletkessels

Die jährlich erzeugte Energie des Pelletskessels ist in Abbildung 11 dargestellt. Die jährlich erzeugte Energie des Pelletskessels beträgt 187.300 kWh/Jahr.

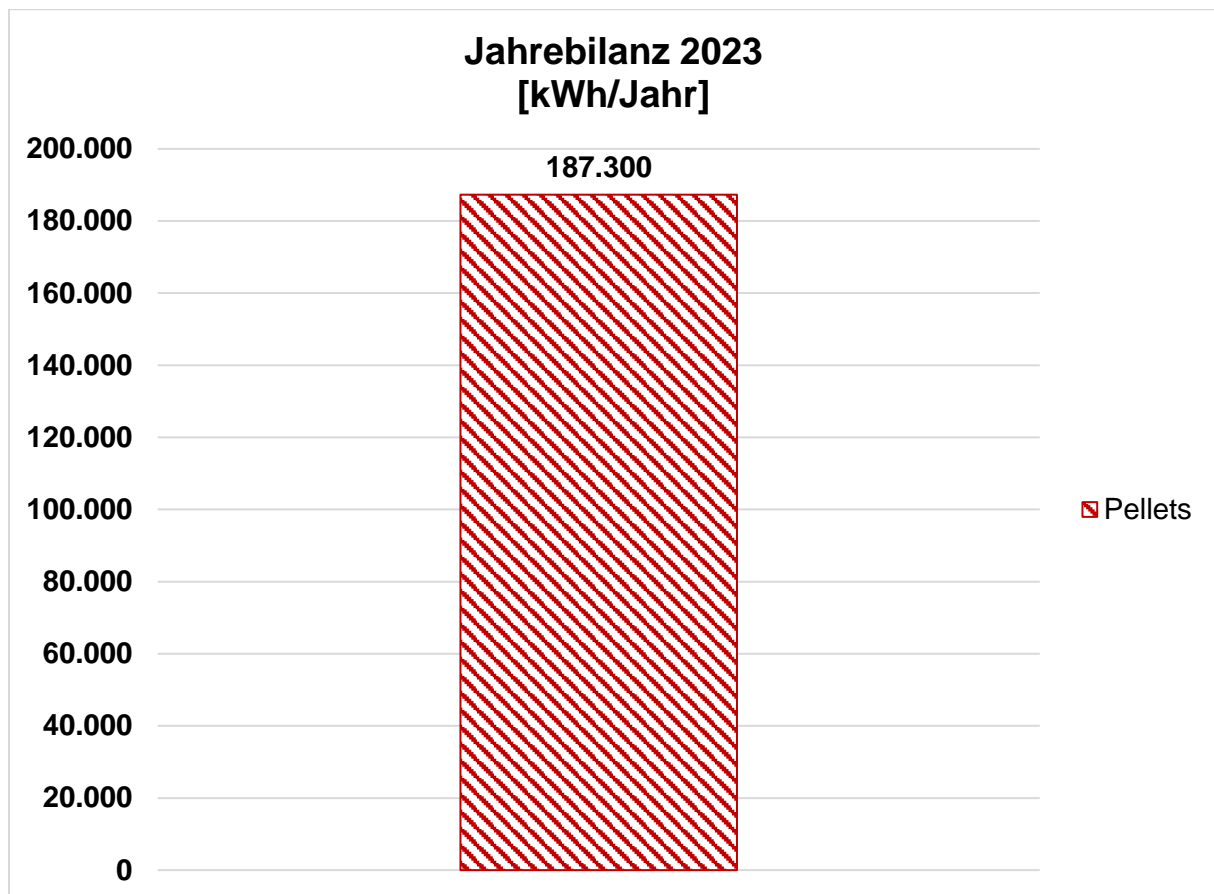


Abbildung 11: Energiemonitoring-Jahresbilanz von 2023 des Pelletskessels

In der Abbildung 12 ist der Monat Februar im Jahr 2023 genauer betrachtet. Dabei wird die erzeugte Energie des Pelletskessels im Verhältnis zur mittleren Tagesaußentemperatur betrachtet. Dabei ist zu erkennen, dass die höchste Tagesenergieerzeugung am 07.02.2023 mit 2.400 kWh vorliegt. An diesem Tag lag es eine Tagesmitteltemperatur von -2,3 °C. Die niedrigste Tagesenergieerzeugung gab es im Februar 2023 am 18.02.2023 mit 290 kWh. An diesem Tag lag es eine Tagesmitteltemperatur von 10 °C. In der Abbildung 12 ist ein Zusammenhang zwischen der produzierten Energie des Pelletskessels und der Tagesmitteltemperatur zu erkennen. Dieser Zusammenhang ergibt, dass bei einer sinkenden Tagesmitteltemperatur die Energieerzeugung steigt und bei einer steigenden Tagesmitteltemperatur die Energieerzeugung sinkt.

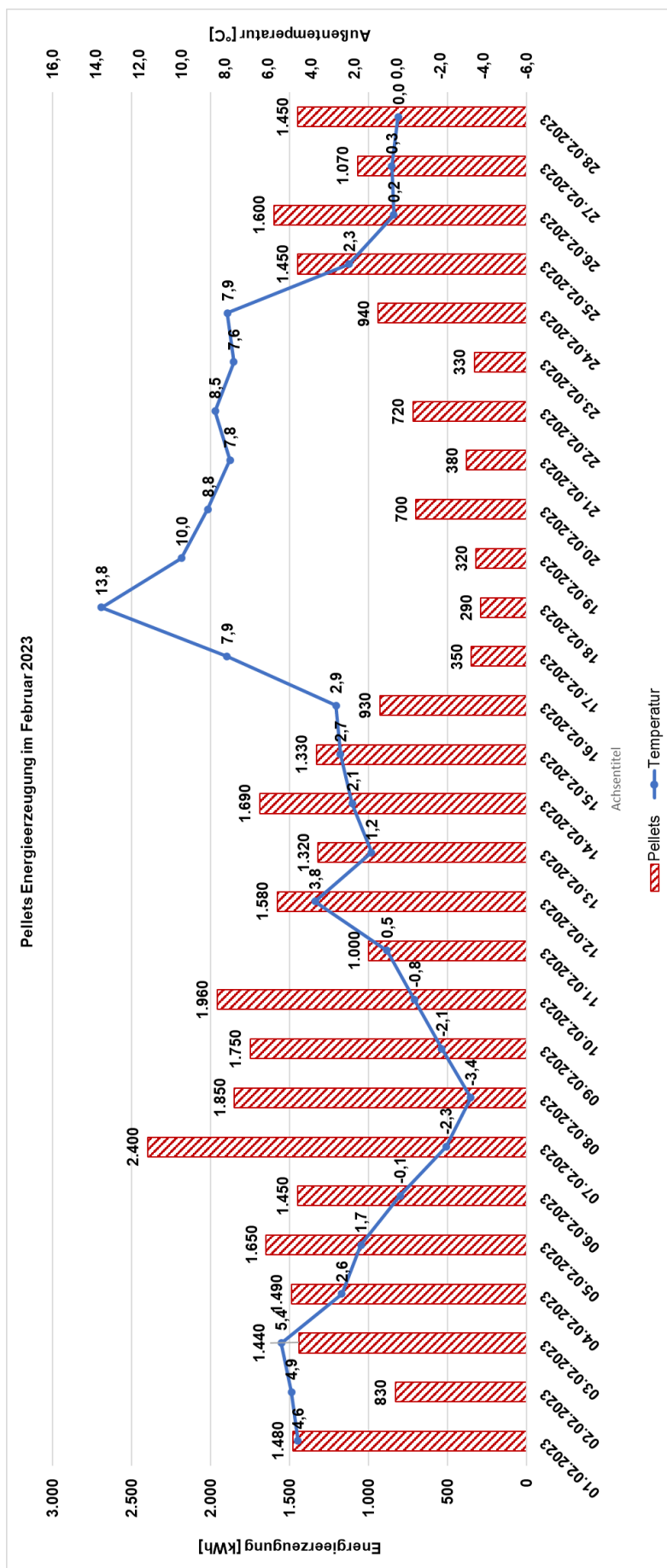


Abbildung 12: Pelletskessel - Energieerzeugung im Februar 2023

3.2.4 Energiebilanz

In Abbildung 13 sind die monatlichen Gesamtenergieerträge der einzelnen Energieerzeuger kumuliert dargestellt. Diese Darstellung verdeutlicht, dass die monatliche Energieerzeugung der Abwasser Wärmepumpe stets im Bereich von etwa 20.000 kWh pro Monat liegt und somit eine konstante Grundabdeckung der Gesamtenergie gewährleistet.

Während der Wintermonate liefert die Abluft-Wärmepumpe nahezu die gleiche Energiemenge pro Monat wie die Abwasser-Wärmepumpe.

Abgesehen von den beiden Ausnahmen in den Monaten Mai und Juli, die in Abbildung 10 sichtbar sind, ist der Pelletkessel der einzige Energieerzeuger, der eine Stillstandzeit von sechs Monaten im Sommer aufweist. Jedoch zeigt Abbildung 13, dass im Dezember etwa 50% der Gesamtenergie durch den Pelletkessel erzeugt wurden. Im Januar erhöhte sich dieser Anteil auf etwa 58% der Gesamtenergieproduktion.

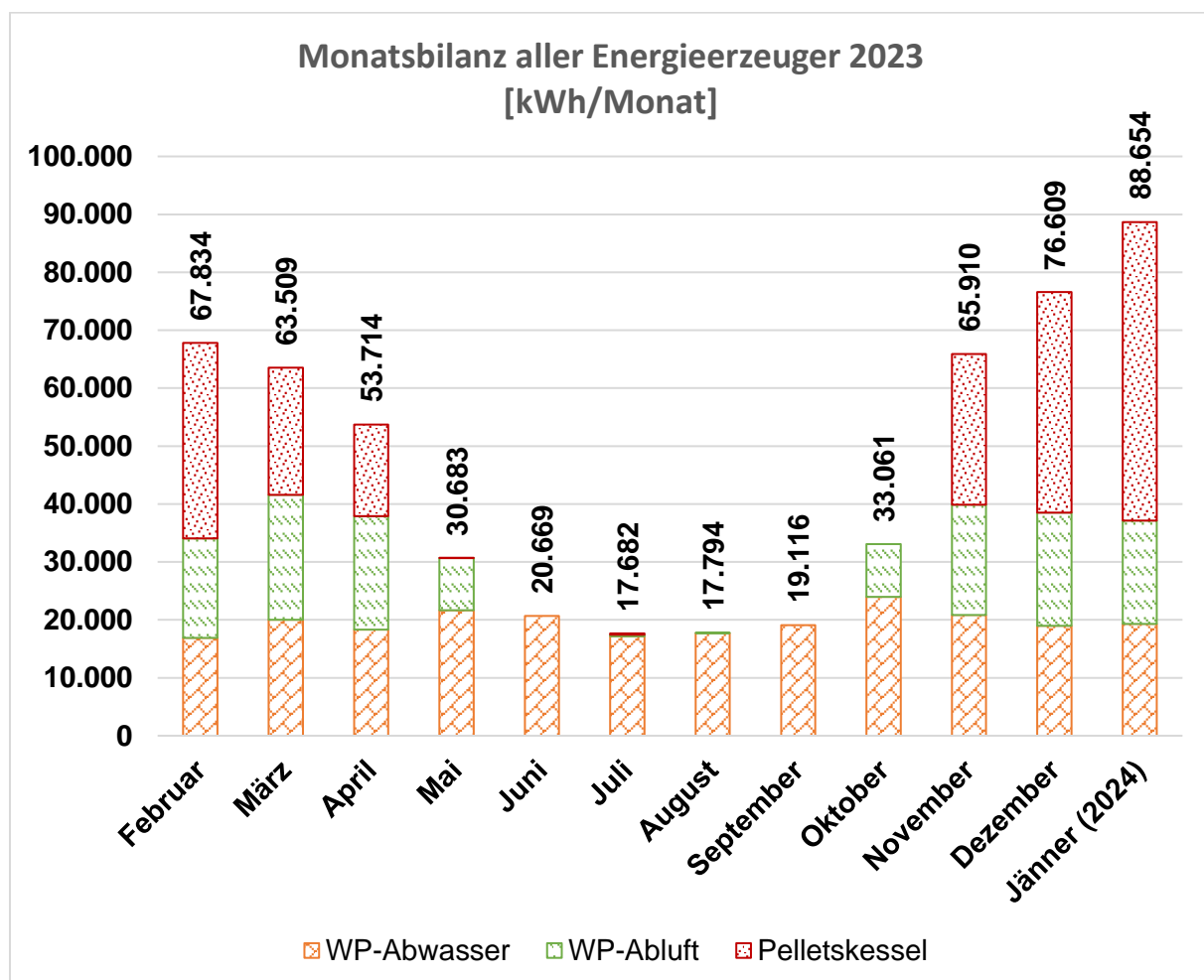


Abbildung 13: Energiemonitoring-Monatsbilanz sämtlicher Energieerzeuger von 2023

In Abbildung 14 wird die jährlich erzeugte thermische Energie aller Energieerzeuger dargestellt, welche insgesamt 555.235 kWh beträgt. Die Abwasser-Wärmepumpe trägt 42 % zur Gesamtenergie bei, während die Abluft-Wärmepumpe 24 % und der Pelletkessel 34 % zur Erzeugung beitragen.

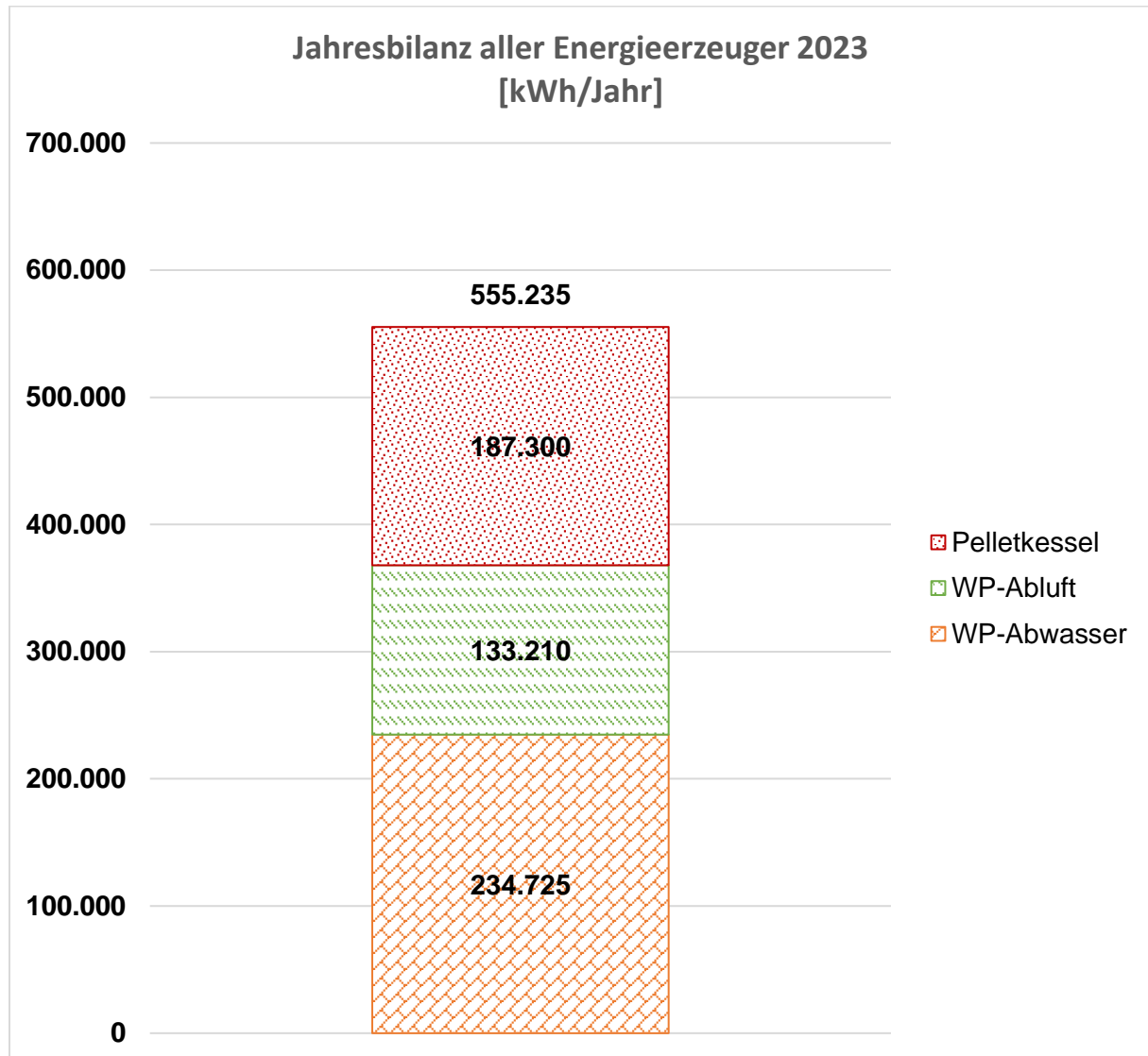


Abbildung 14: Energiemonitoring-Jahresbilanz sämtlicher Energieerzeuger von 2023

In der Abbildung 15 ist der Monat Februar im Jahr 2023 genauer betrachtet. Dabei wird die erzeugte Energie der Abwasser Wärmepumpe, Abluft Wärmepumpe und des Pelletskessels im Verhältnis zur mittleren Tagesaußentemperatur betrachtet. Dabei ist zu erkennen, dass bei Tagesmitteltemperaturen ab etwa 0°C und abwärts der Pelletskessel den Großteil der Energieproduktion übernimmt. Am 20.02.2023 und 22.02.2023 ist das Verhältnis der produzierten Energie auf alle drei Energieerzeuger sehr gleichmäßig aufgeteilt. An diesen beiden Tagen liegt die Tagesmitteltemperatur bei 8,8 °C am 20.02.2023 und bei 8,5 °C am 22.02.2023. Bei einer höheren Tagesmitteltemperatur wie am 18.02.2023 mit 13,8 °C übernehmen die Abwasser Wärmepumpe und die Abluft Wärmepumpe den größeren Teil der Energieproduktion.

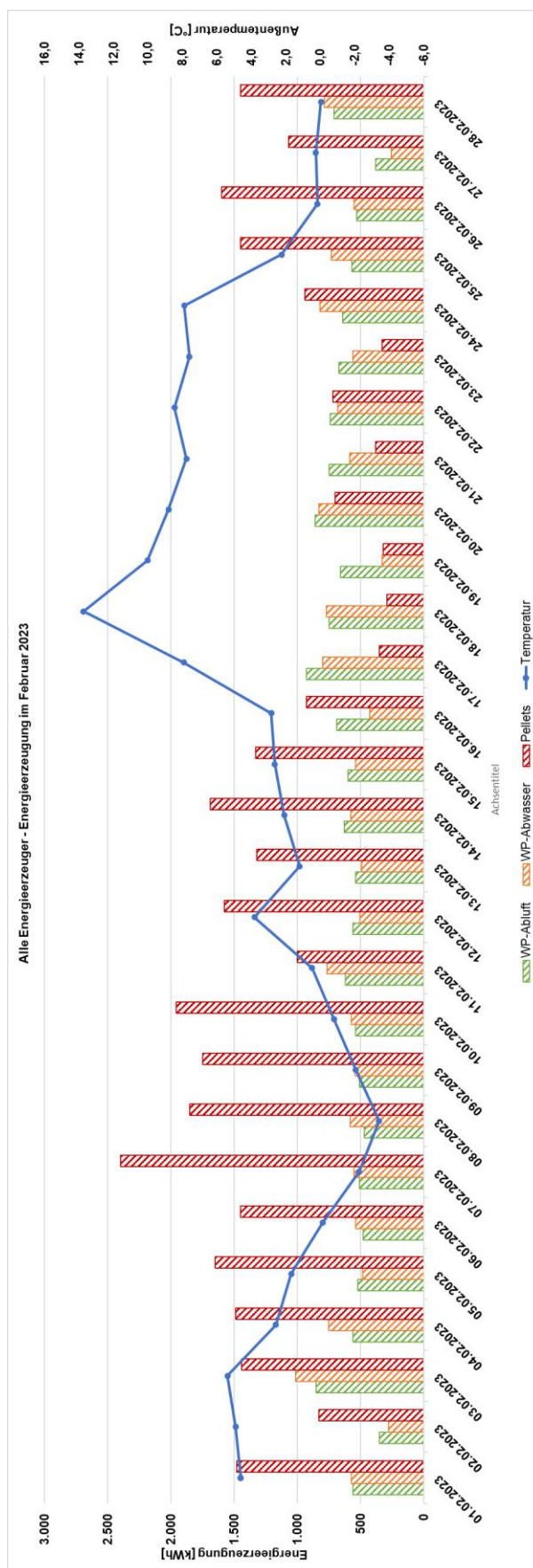


Abbildung 15: Alle Energieerzeuger - Energieerzeugung im Februar 2023

3.2.5 Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur

In der Abbildung 16 sind die maximalen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Pelletskessels aus dem Jahr 2023 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass sich die Vorlauftemperatur zwischen 21,3 °C und 82,5 °C bewegt. Die Rücklauftemperatur bewegt sich im Bereich von 21,3 °C und 66,0 °C. Der Temperaturunterschied zwischen dem Vorlauf und dem Rücklauf liegt zwischen 0,0 °C und 17,4 °C. Aus der Abbildung 16 ist zu erkennen, dass Pelletskessel in den Monaten Mai bis Oktober so gut wie keine Einschaltzeiten aufweist.

Im Juli weist der Pelletskessel eine Aktivität auf. Aus den Daten geht hervor, dass sich der Pelletskessel am 04.07.2023 von 11:00 Uhr bis 16:00 Uhr von 22°C auf 78°C erhitzt hat. Jedoch geht aus den Monitoring Daten nicht hervor, was der Grund für dieses Aufheizen sein kann.

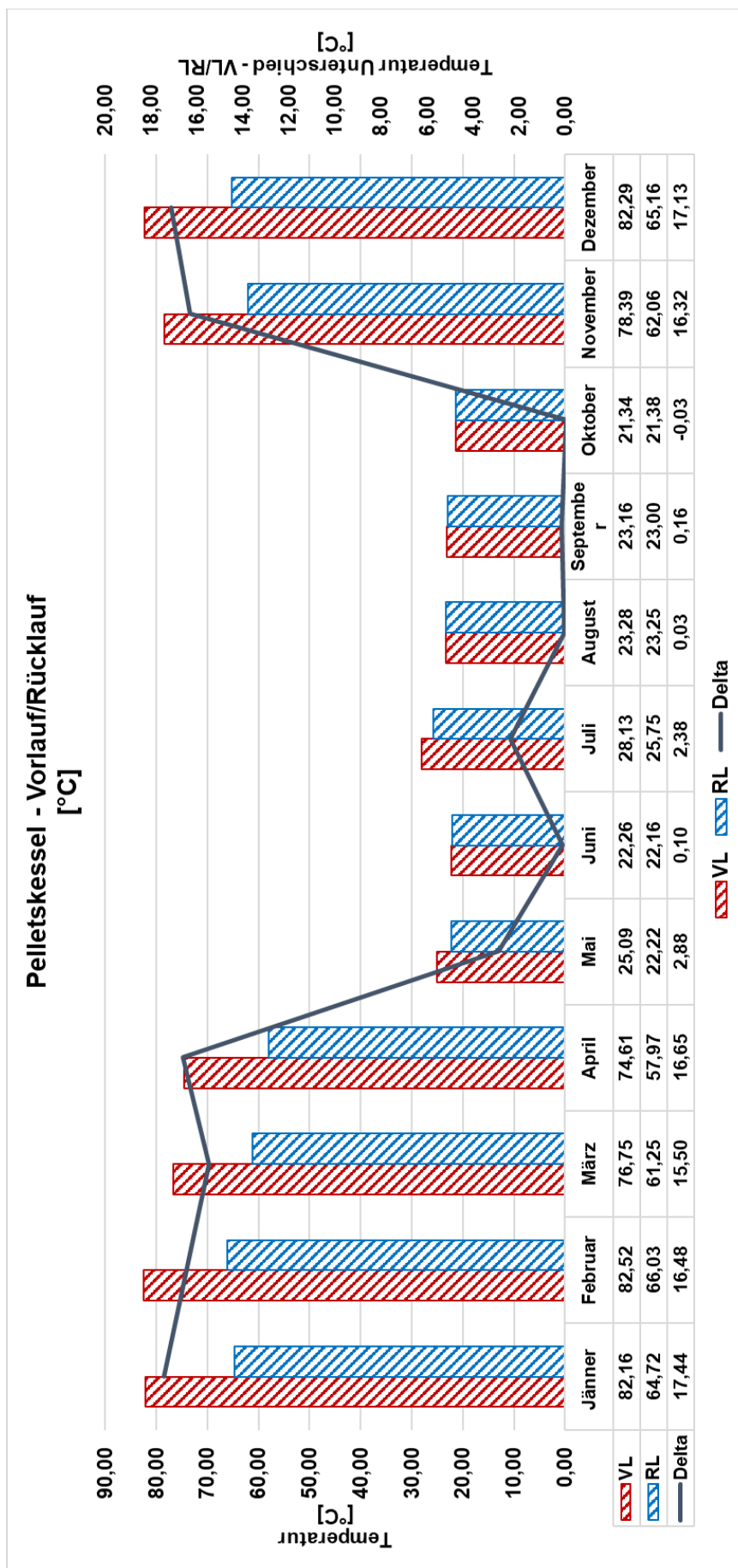


Abbildung 16: Pelletsessel - Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur

In der Abbildung 17 sind die maximalen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Gesamtsystems aus dem Jahr 2023 dargestellt. Mit dem Gesamtsystem sind die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen zwischen der Gebäudezentralen Verteilung und den jeweiligen Wohnungsübergabestationen gemeint. Dabei ist zu erkennen, dass sich die Vorlauftemperatur zwischen 54,3 °C und 56,9 °C bewegt. Die Rücklauftemperatur bewegt sich im Bereich von 32,5 °C und 42,3 °C. Der Temperaturunterschied zwischen dem Vorlauf und dem Rücklauf liegt zwischen 12,6 °C und 24,3 °C.

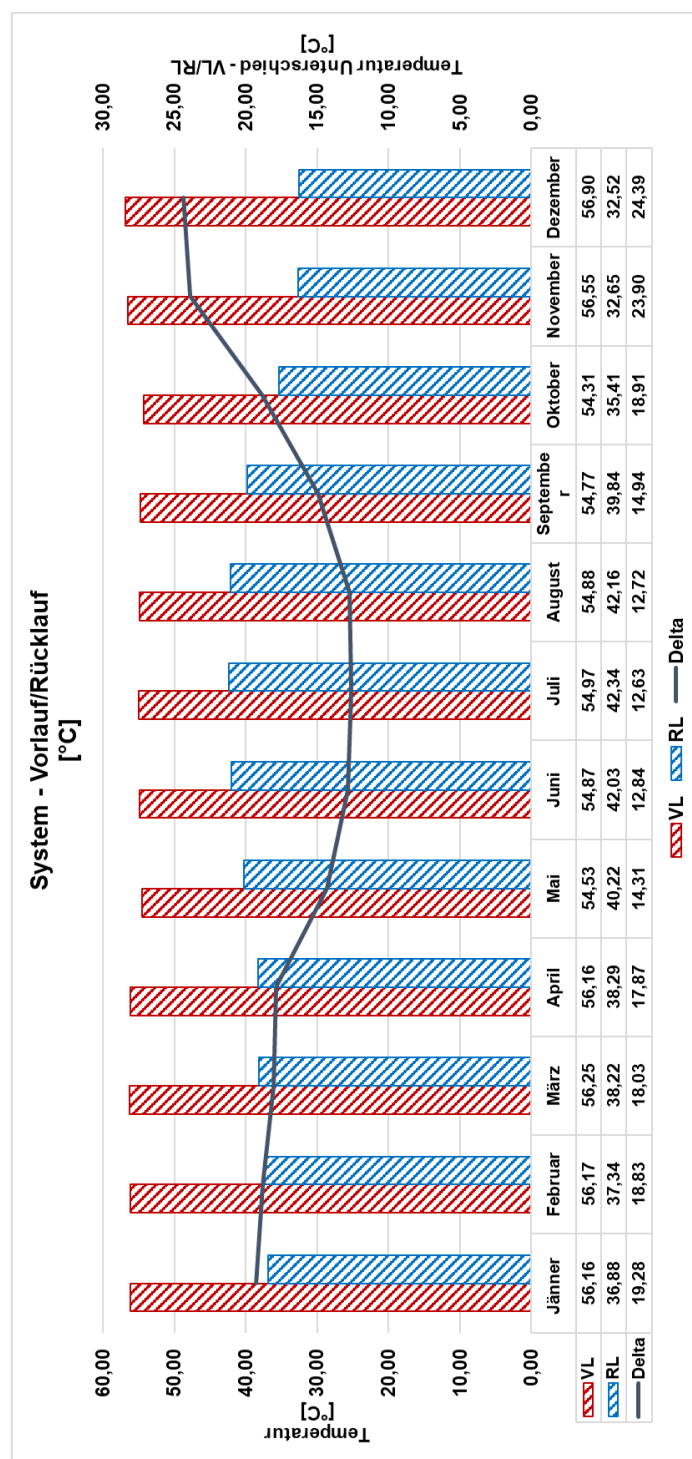


Abbildung 17: System - Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur

3.2.6 Photovoltaik Anlage

In der Abbildung 18 ist die jährliche Stromproduktion der Photovoltaik Anlage eines jeden Gebäudes mit einer Photovoltaik Anlage dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Photovoltaik Anlage des Haus 5 mit 11.765 kWh/Jahr die niedrigste Stromproduktion aufweist. Die Photovoltaik Anlage am Haus 13 hat mit 17.897 kWh/Jahr die höchste Stromproduktion.

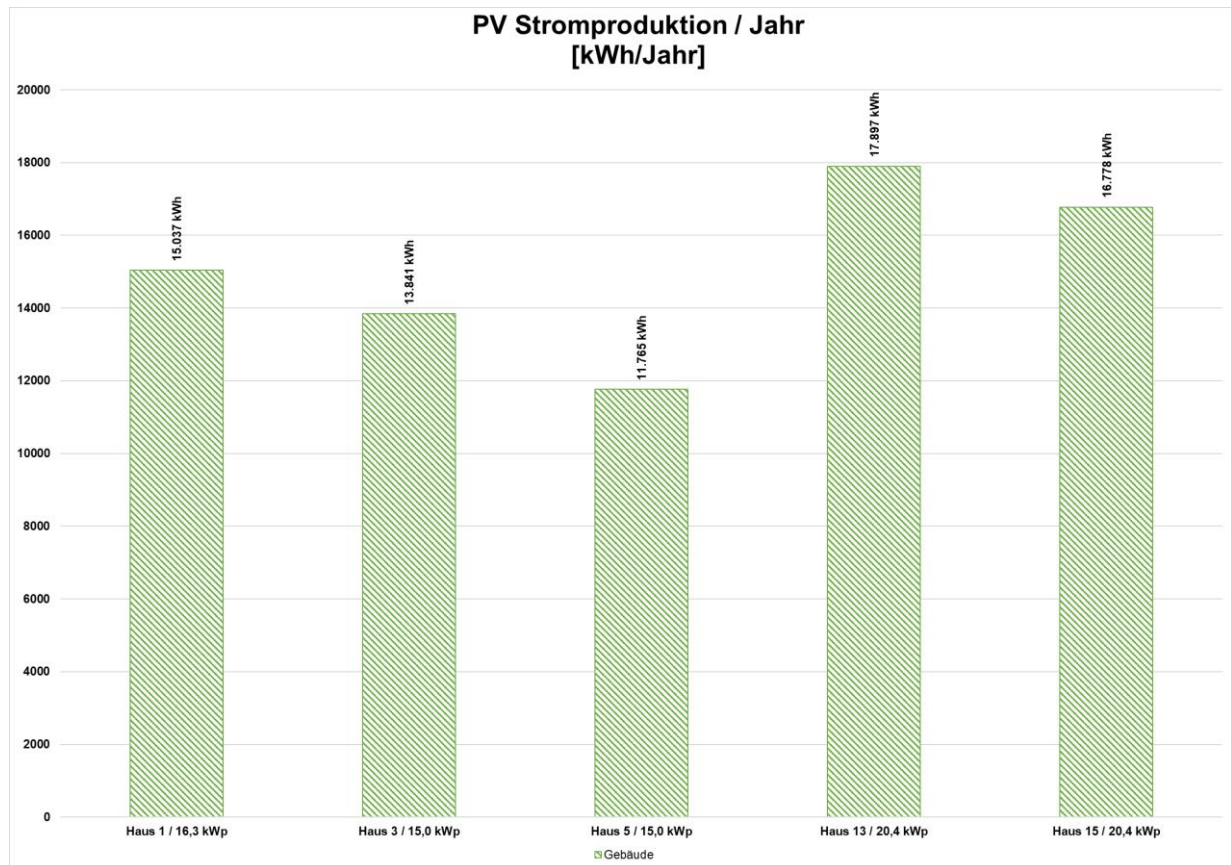


Abbildung 18: Energiemonitoring – Photovoltaik Stromproduktion pro Jahr/Gebäude

In der wird Abbildung 19 das Verhältnis der Anlagen Größe zur produzierten Energie für ein jedes Gebäude mit einer Photovoltaik Anlage dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass die Photovoltaik Anlage am Haus 5 das geringste Verhältnis mit 784,3 kWh/kWp aufweist. Die Photovoltaik Anlage auf den Gebäuden Haus 1 und Haus 2 weisen mit 922,5 kWh/kWp am Haus 1 und 922,7 kWh/kWp das höchste Verhältnis auf. Die gesamte Photovoltaik Anlage der Siedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße weist bei einer Gesamtleistung von 87,1 kWp eine Produktion von 76.368 kWh auf. Damit liegt das Verhältnis der erzeugten Energie zur Anlagengröße in der gesamten Siedlung bei 876,8 kWh/kWp.



Abbildung 19: Photovoltaik - Verhältnis der Anlagengröße zur Stromproduktion

In der Abbildung 20 sind der Eigenverbrauchsanteil und die Netzeinspeisung der Photovoltaik Anlage dargestellt. Dabei ist zu sehen, dass der Eigenverbrauchsanteil bei 63% liegt, das entspricht 47.941 kWh. Der Anteil, welcher in das öffentliche Netzeingespeist wird, liegt bei 37% der Gesamtproduktion, das sind 28.427 kWh.

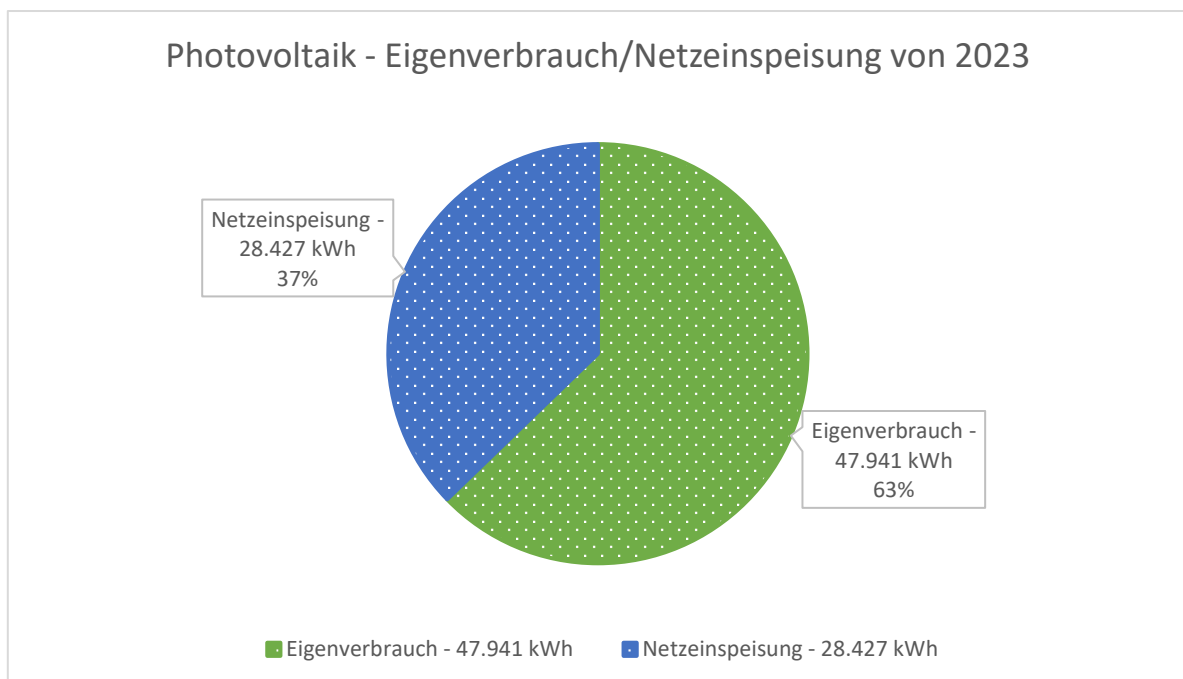


Abbildung 20: Eigenverbrauch und Netzeinspeisung der Photovoltaik Anlage aus dem Jahr 2023

3.2.7 Überschussstrom der Photovoltaik Anlage

Bei der Auswertung der erzeugten Energie durch die E-Patrone ist aufgefallen, dass laut der Daten aus dem Energiemonitoring die E-Patrone keine Energie erzeugt hat.

Dadurch ergab sich die Fragestellung ob es über das Jahr 2023 Zeitpunkte gab, in denen über den überschüssigen Strom der Photovoltaik Anlage eine E-Patrone betrieben werden hätte können. Hierzu sind die Leistungsdaten des überschüssigen Stroms aus der Photovoltaik Anlage ausgewertet worden. Diese Daten sind über den Zeitraum vom 01.01.2023 um 00:00 Uhr bis 01.01.2024 um 00:00 Uhr in Stunden Schritten ausgewertet worden.

Aufgrund von teilweise nicht vorhandenen Stundenwerten ergaben sich bei den vorhandenen Daten eine Stundenanzahl von 7.214 Stunden, welche ausgewertet werden konnten. Bei einer Stundenanzahl von 8.760 Stunden in einem Jahr ergibt, dass einen Anteil von 82,35 % an Daten, welche im Vergleich zu einem vollständigen Jahr vorhanden sind.

Bei der Auswertung der Daten sind drei verschiedene Varianten betrachtet worden. Bei der Variante 1 ist analysiert worden wie viel Energie in kWh über den überschüssigen Strom der Photovoltaik Anlage mit einer E-Patrone, welche eine Leistung von 6 kW hat, genutzt werden könnte. Bei der Variante 2 ist das Ganze mit einer E-Patrone, welche eine Leistung von 9 kW hat, betrachtet worden. In der Variante 3 ist eine E-Patrone mit einer Leistung von 15 kW betrachtet worden. Dies entspricht auch der Leistung der E-Patrone welche aktuell verbaut ist.

In der folgenden Tabelle sind die Anzahl der Stunden ersichtlich in denen die Photovoltaik Anlage eine Überschussleistung von 6 kW, 9 kW und 15 kW aufweist.

Anzahl der Stunden – PV-Leistung über 6 kW	Anzahl der Stunden – PV-Leistung über 9 kW	Anzahl der Stunden – PV-Leistung über 15 kW
1.050 Stunden	835 Stunden	555 Stunden

Tabelle 5: Anzahl der Stunden in denen die Photovoltaik Überschussleistung 6, 9 und 15 kW beträgt

Wie in der Tabelle 5 zu sehen ist, weist die Photovoltaik Anlage einer Überschussleistung von 6 kW in 1.050 Stunden im Jahr 2023 auf. Eine Überschussleistung von 9 kW gab es in 835 Stunden im Jahr 2023 und eine Überschussleistung von 15 kW gab es in 555 Stunden im Jahr 2023.

In der folgenden Tabelle sind die Energiemengen dargestellt, welche bei einer jeden der drei Varianten erzeugt werden könnten, wenn die jeweiligen E-Patronen in den Stunden der Überschussleistung mit voller Last die elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt hätten.

Energie E-Patrone 6 kW	Energie E-Patrone 9 kW	Energie E-Patrone 15 kW
6.300 kWh	7.515 kWh	8.325 kWh

Tabelle 6: Mögliche Energie bei der Verwendung von einer 6 kW, 9 kW und 15 kW E-Patrone

Wie in der Tabelle 6 dargestellt ist hätte mit einer 6 kW E-Patrone eine Energie von 6.300 kWh genutzt werden können. Eine 9 kW E-Patrone hätte 7.515 kWh an thermischer Energie erzeugen könne. Bei der Variante 3 mit einer 15 kW E-Patrone hätte eine thermische Energie von 8325 kWh erzeugt werden können.

Um die möglichen Energiemengen über die E-Patronen in das Verhältnis der gesamt erzeugten Energiemenge der Wohnsiedlung stellen zu können, sind die ausgewerteten Energiemengen noch an die Anzahl der Stunden eines vollen Jahres angepasst worden. Hierzu sind die bereits ausgewertet Energiemengen um 17,65 % erhöht worden. Dies entspricht der Anzahl der Stunden, welche in den Monitoring Daten nicht vorhanden sind.

In der folgenden Tabelle sind die angepassten Energiemengen ersichtlich.

Energie E-Patrone 6 kW (angepasst)	Energie E-Patrone 9 kW (angepasst)	Energie E-Patrone 15 kW (angepasst)
7.412 kWh	8.841 kWh	9.794 kWh

Tabelle 7: Mögliche Energie bei der Verwendung von einer 6 kW, 9 kW und 15 kW E-Patrone (angepasst)

Wie in der Tabelle 7 dargestellt ist hätte mit einer 6 kW E-Patrone eine Energie von 7.412 kWh genutzt werden können. Eine 9 kW E-Patrone hätte 8.841 kWh an thermischer Energie erzeugen könne. Bei der Variante 3 mit einer 15 kW E-Patrone hätte eine thermische Energie von 9.794 kWh erzeugt werden können.

Die in der Tabelle 7 dargestellten Energiemengen ergeben jenen Anteil an der gesamt erzeugten Energiemenge der Wohnsiedlung, welche 555.235 kWh beträgt, wie es in der Tabelle 8 dargestellt ist.

6 kW E-Patrone - Anteil an der Gesamtenergieproduk- tion	9 kW E-Patrone - Anteil an der Gesamtenergieproduk- tion	15 kW E-Patrone - Anteil an der Gesamtenergieproduk- tion
1,33 %	1,59 %	1,76 %

Tabelle 8: Anteil der erzeugten Energie durch die E-Patronen an der Gesamt-Energieproduktion

Wie in der Tabelle 8 ersichtlich ist hätte die 6 kW E-patrone einen Anteil von 1,33 % an der Gesamtenergieproduktion. Die 9 kW E-Patrone hätte einen Anteil von 1,59 % und die 15 kW E-Patrone hätte einen Anteil von 1,76 % an der Gesamtenergieproduktion der Wohnsiedlung.

3.2.8 Außenluft Bypass der Abluft Wärmepumpe

Bei der Abluft Wärmepumpe der Wohnsiedlung in der Friedrich-Inhauser Straße gibt es die Möglichkeit über einen Bypass statt der Abluft die Außenluft der Abluft Wärmepumpe als Wärmequelle zur Verfügung zu stellen. Die Verwendung dieses Bypasses macht aus energetischer Sicht nur Sinn, wenn die Außenluft eine höhere Temperatur aufweist als die Abluft, welche aus den Wohneinheiten abgeführt wird. Denn nur dann kann die Abluft Wärmepumpe mit einer höheren Effizienz arbeiten als im normalen Betrieb, wenn die Abluft als Wärmequelle verwendet wird.

Mit dem Ziel die gebäudetechnische Anlage so effizient wie möglich zu betreiben ergibt sich die Frage wie häufig es in einem Jahr der Fall ist, dass die Außenluft eine höhere Temperatur als die Abluft aus den Wohneinheiten aufweist. Denn erst daraus stellt sich das wahre Potential der Verwendung des Außenluft Bypasses heraus.

Dazu sind die Monitoring Daten aus dem Zeitraum vom 01.01.2023 bis 31.12.2023 der Außenlufttemperatur und der Ablufttemperatur eines jeden Hauses betrachtet worden. Für die Ablufttemperatur ist immer das Mittel aus allen 8 Wohnhäusern gebildet worden. Die Monitoring Daten sind zum einen in Stunden Schritten und auch in Tages Schritten ausgewertet worden. Die Auswertung in Tages Schritten ist in zwei verschiedenen Varianten durchgeführt worden. In einer der beiden Varianten sind die Tagesdurchschnittstemperaturen der Außenluft und Abluft betrachtet worden. In der anderen Variante sind die Tagesmaximaltemperaturen der Außenluft und Abluft betrachtet worden.

Diese Unterscheidung in zwei Varianten ergab sich aus der nicht Vollständigkeit der Monitoring Daten in Stunden Schritten. Um sehen zu können welche Auswirkung, die nicht vollständigen Monitoring Daten auf das Ergebnis haben. Die Anzahl der Monitoring Daten in Stunden Schritten beläuft sich auf 4.771 Stunden. Im Vergleich zu einem vollständigen Jahr mit 8760 Stunden ergibt, dass einen Anteil von 46% an Monitoring Daten welcher nicht vorhanden ist.

In der folgenden Tabelle werden die Anzahl der Stunden dargestellt, in denen die Außenluft eine höhere Temperatur als die Abluft hat.

Anzahl der Stunden – Außenlufttemperatur > Ablufttemperatur (Stundenbasis)	Anzahl der Stunden Außenlufttemperatur > Ablufttemperatur (Tagesbasis - Durchschnitts- temperatur)	Anzahl der Stunden – Außenlufttemperatur > Ablufttemperatur (Tagesbasis - Maximaltem- peratur)
507 Stunden	144 Stunden	1.812 Stunden

Tabelle 9: Anzahl der Stunden im Jahr 2023 in denen die Außenlufttemperatur höher als die Ablufttemperatur war

In der Tabelle 9 ist zu sehen, dass bei einer Auswertung auf Stundenbasis die Außenlufttemperatur in 507 Stunden höher war als die Ablufttemperatur. Bei der Auswertung auf Tagesbasis mit der Verwendung von Tagesmitteltemperaturen war die Außenlufttemperatur in 144 Stunden höher als die Ablufttemperatur. Es ist auch zu sehen, dass bei der Auswertung auf Tagesbasis mit der Verwendung von Tagesmaximaltemperaturen die Außenlufttemperatur in 1812 Stunden höher war als die Ablufttemperatur.

3.3 Vergleich der Daten des permanenten Energiemonitorings im Jahr 2022 und 2023

Im folgenden Kapitel werden die Daten des permanenten Energiemonitorings aus dem Jahr 2022 mit den Daten aus dem Jahr 2023 verglichen.

Die Daten und Ergebnisse aus dem Jahr 2022 sind der Bachelorarbeit von Markus Lerchner entnommen worden. (Lerchner, 2023)

Für eine bessere Vergleichbarkeit der beiden Jahre sind die Jahresverbräuche jeweils von Februar bis Jänner im Folgejahr berechnet worden. Da im Jahr 2022 die Daten aus dem Energiemonitoring erst ab dem 17. Jänner 2022 vollständig sind.

3.3.1 Vergleich Jahresverbrauch 2022/2023

In der Abbildung 21 sind die Gesamtjahresverbräuche aus dem Jahr 2022 und 2023 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass der Jahresverbrauch im Jahr 2023 um 3% niedriger ist als der Jahresverbrauch im Jahr 2022.

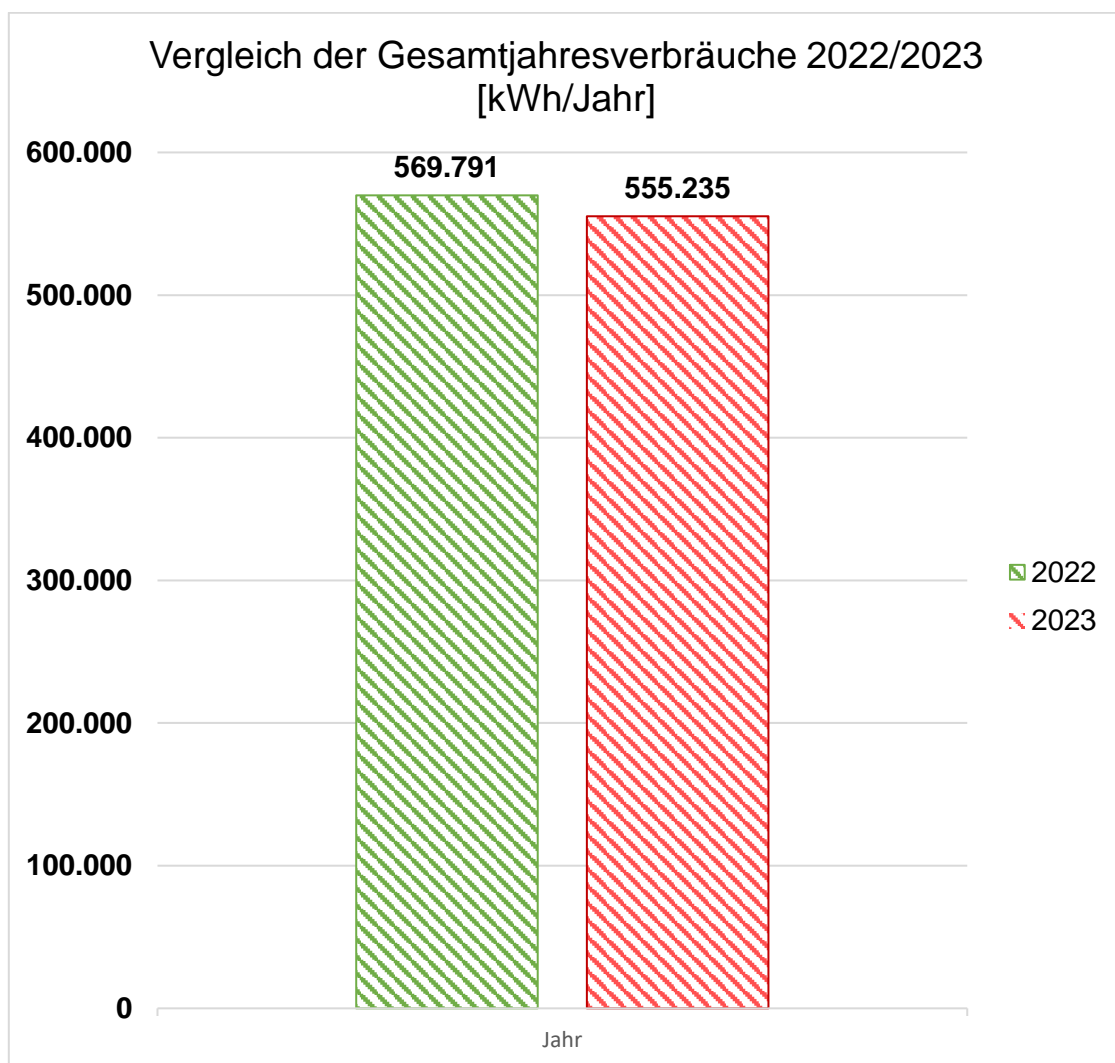


Abbildung 21: Vergleich - Gesamtjahresverbrauch 2022/2023

3.3.2 Heizgradtage Bereinigung

Um eine Vergleichbarkeit der beiden Jahre zu erlangen ist eine Heizgradtage Bereinigung durchgeführt worden. Die Durchführung dieser Bereinigung wird in diesem Kapitel behandelt.

Wie in Kapitel 2.6 bereits angeführt wird der Heizgradtag bereinigte Verbrauch mit folgender Formel 5 durchgeführt.

$$Verbrauch_{HGT\ bereinigt} = \frac{Verbrauch_{Jahr\ x}}{HGT_{Jahr\ x}} * HGT_{langj\ddot{a}hrig}$$

Formel 5: Formel für die Heizgradtag Bereinigung (Energieinstitut Vorarlberg, 2024)

Der Wert für $HGT_{langj\ddot{a}hrig}$ ist dem Dokument klimanormalperiode_1991-2020.xlsx (GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie, 2024) der GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie entnommen worden. Dabei ist der Wert der Wetterstation Salzburg Freisaal verwendet worden. Dadurch ergibt sich für $HGT_{langj\ddot{a}hrig}$ folgender Wert:

$$HGT_{langj\ddot{a}hrig} = 3104.5\text{ Kd}$$

Die Werte $Verbrauch_{Jahr\ 2022}$ und $Verbrauch_{Jahr\ 2023}$ wurde aus den Daten des permanenten Energiemonitorings berechnet. In der Abbildung 22 sind die Außenlufttemperaturen aus dem Jahr 2022 und 2023 ersichtlich. Mit diesen Daten sind auch folglich die Werte $Verbrauch_{Jahr\ 2022}$ und $Verbrauch_{Jahr\ 2023}$ ermittelt worden.

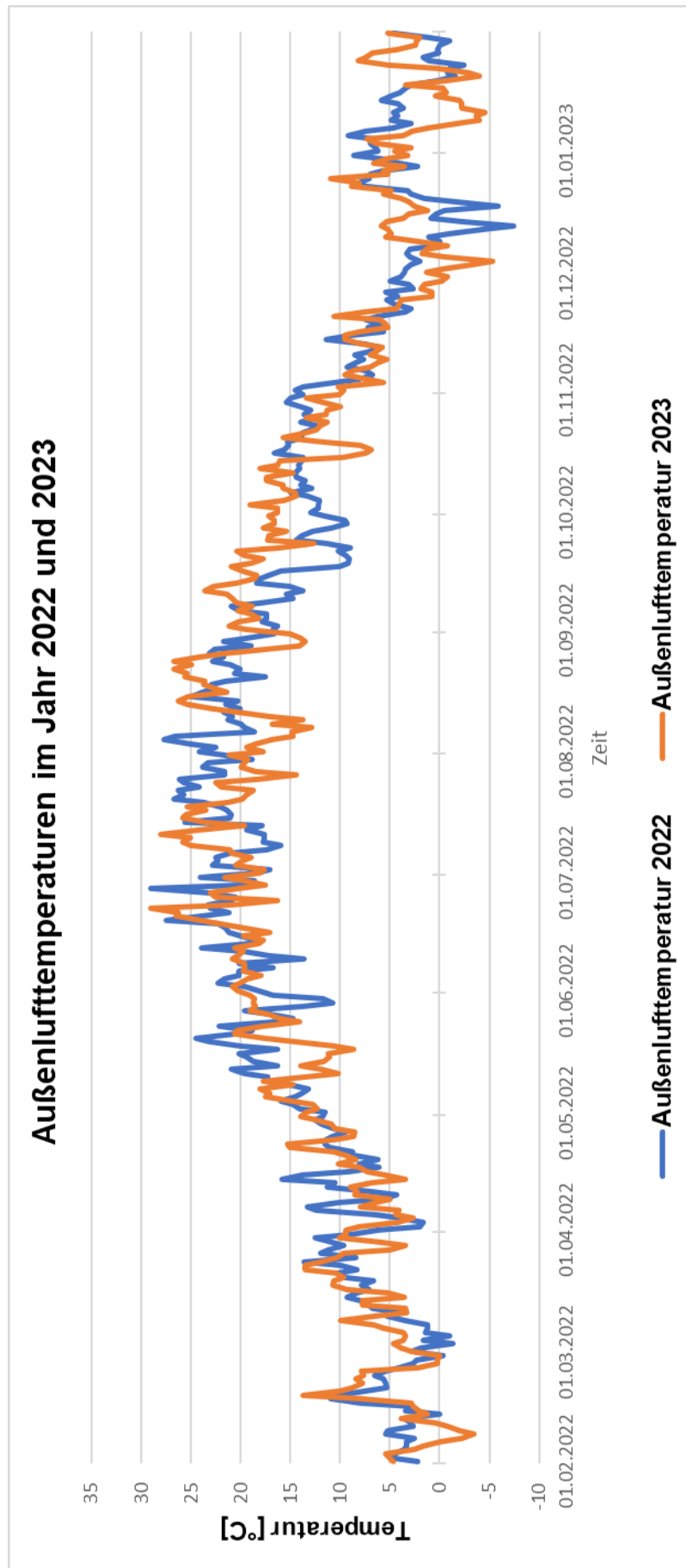


Abbildung 22: Außentemperaturen im Jahr 2022 und 2023

In der Abbildung 22 ist zu erkennen, dass es im Jahr 2023 häufiger niedrigere Temperaturen im Vergleich zum Jahr 2022 gegeben hat.

Daraus ergeben sich für $Verbrauch_{Jahr\ 2022}$ und $Verbrauch_{Jahr\ 2023}$ folgende Werte:

$$Verbrauch_{Jahr\ 2022} = 2724,8\text{ Kd}$$

$$Verbrauch_{Jahr\ 2023} = 2851,5\text{ Kd}$$

Auf Basis dieser Werte wurden $Verbrauch_{HGT\ bereinigt\ 2022}$ und $Verbrauch_{HGT\ bereinigt\ 2023}$ ermittelt.

3.3.3 Vergleich Jahresverbrauch 2022/2023 – HGT-Bereinigt

In der Abbildung 23 sind die Gesamtjahresverbräuche aus dem Jahr 2022 und 2023 nach der Heizgradtage Bereinigung dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass der Jahresverbrauch im Jahr 2023 nach der Heizgradtage Bereinigung um 7% geringer ist als der Jahresverbrauch im Jahr 2022.

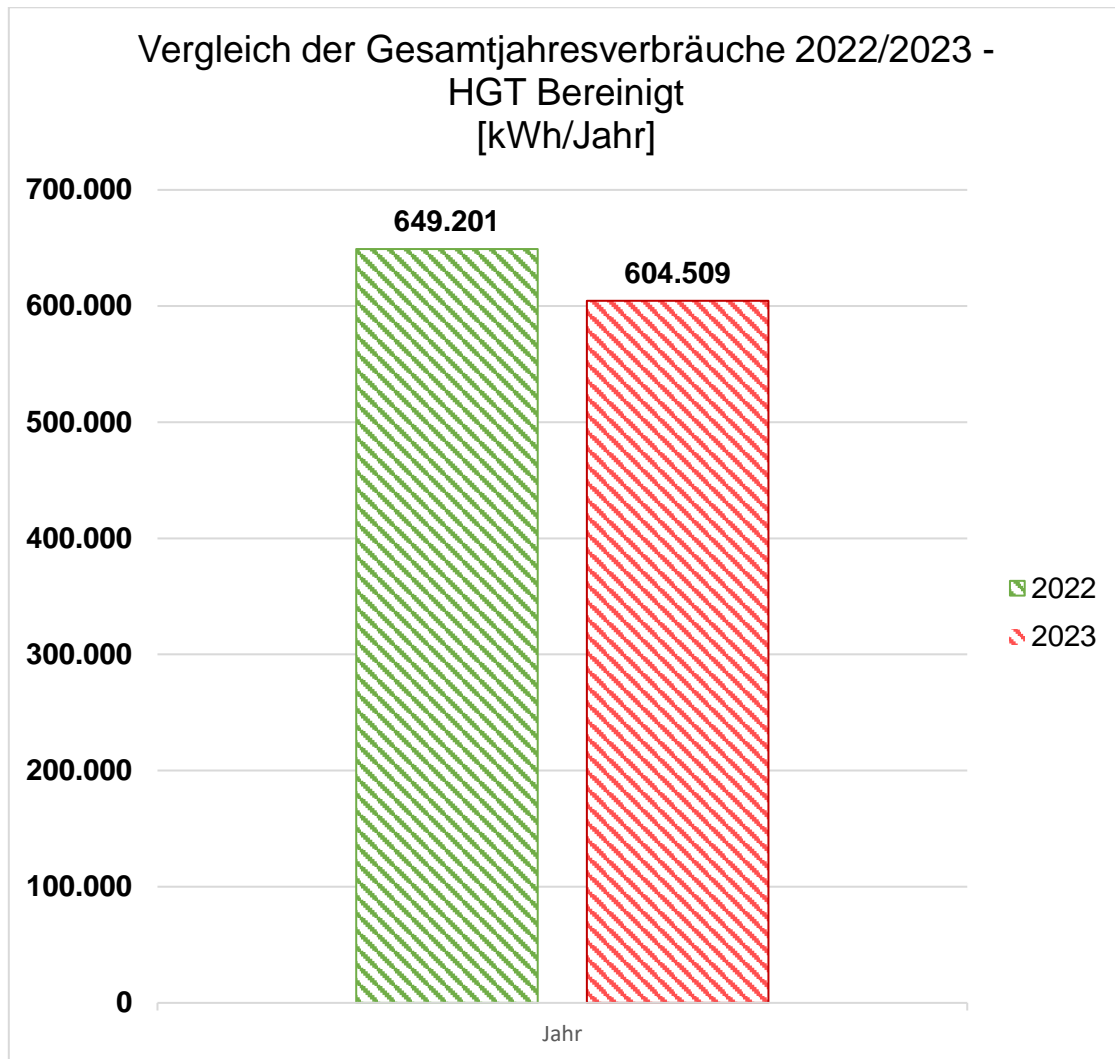


Abbildung 23: Vergleich - Jahresverbrauch 2022/2023 - HGT Bereinigt

3.3.4 Vergleich der Erzeugungsanteile 2022/2023

In der Abbildung 24 sind die Anteile eines jeden Energieerzeugers an der Gesamtenergieerzeugung dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass die Abwasser Wärmepumpe und Abluft Wärmepumpe im Jahr 2022 einen höheren Anteil an der Gesamtenergieerzeugung als im Jahr 2023 hatten. Da die Abwasser Wärmepumpe mit 42,3% an der Gesamtenergieerzeugung im Jahr 2023 um 3,3% geringer ist als jener Anteil im Jahr 2022. Ein ähnlicher Fall ist es bei der Abluft Wärmepumpe, welche im Jahr 2023 mit 24,0% Anteil an der Gesamtenergieerzeugung um 2,7% geringer ist als jener Anteil im Jahr 2022.

Der Pelletskessel hat im Jahr 2023 einen Anteil von 33,7% an der Gesamtenergieerzeugung. Dieser ist im Jahr 2023 um 5,9 % geringer als im Jahr 2022.

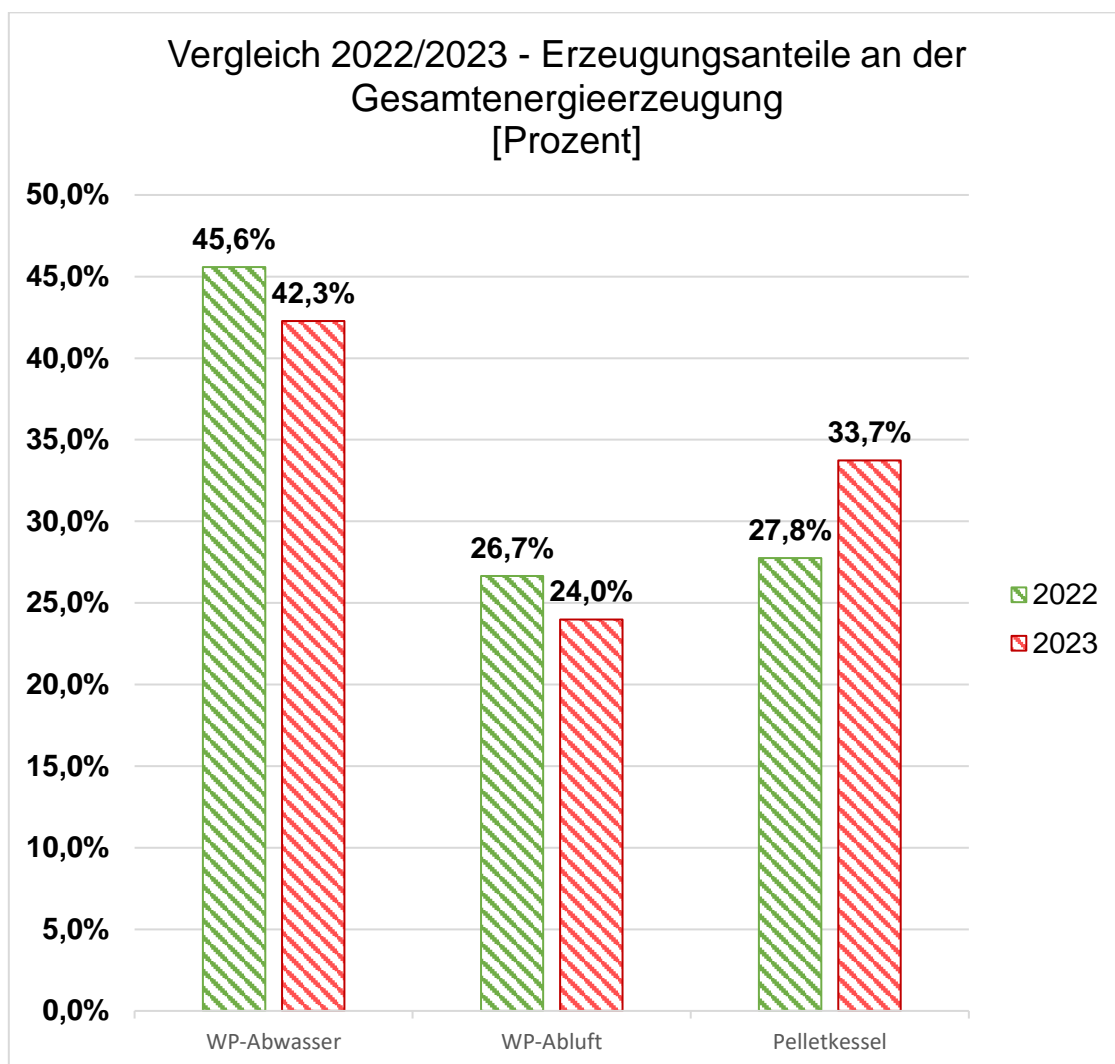


Abbildung 24: Vergleich der Erzeugungsanteile an der Gesamtenergieerzeugung 2022/2023

3.4 Analyse der Optimierungspotentiale

In diesem Kapitel werden alle Optimierungsvorschläge angeführt und beschrieben, die sich aus den Ergebnissen und der Analyse des Energiemonitorings ergeben haben.

3.4.1 Optimierungspotential – Abwasser Wärmepumpe

Die Abwasser Wärmepumpe weist eine konstante Energieproduktion über das gesamte Jahr hinweg auf. Diese gleichmäßige Leistungsfähigkeit deutet darauf hin, dass die Anlage bereits einen recht optimalen Betriebszustand erreicht hat. Infolgedessen lassen sich nur begrenzte Optimierungspotenziale für die Abwasser Wärmepumpe identifizieren. Diese Konsistenz in der Leistung kann auf verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, darunter die Effizienz der Wärmepumpentechnologie, die Temperatur und Qualität des Abwassers sowie die Gestaltung und Dimensionierung des Systems. Die Tatsache, dass die Leistung über das ganze Jahr hinweg stabil bleibt, deutet darauf hin, dass die Anlage gut auf die sich ändernden Umweltbedingungen reagiert und möglicherweise bereits auf einem optimalen Betriebspunkt operiert. Bei der Abwasser Wärmepumpe wird das Abwasser als Energiequelle genutzt. Je höher die Temperatur des Abwassers ist, umso mehr Energie kann auch aus dem Abwasser gewonnen werden.

Die Temperatur der Abwasserströme innerhalb der Gebäude vor dem Einleiten in die Straßenkanalisation beträgt durchschnittlich 23 – 26 °C. (Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, 2013)

Bei der Auswertung der Abwassertemperaturen aus dem permanenten Energiemonitoring ist aufgefallen, dass diese keine realistischen Daten sind. Bei der Auswertung der Abwassertemperaturen im Abwasserschacht sind die Temperaturen aus der Tabelle 10 hervorgegangen.

	Abwasserschacht unten	Abwasserschacht mitte	Abwasserschacht oben
Minimum	0,6 °C	0,6 °C	0,6 °C
Maximum	2,2 °C	2,3 °C	2,5 °C

Tabelle 10: Abwassertemperaturen im Abwasserschacht

Wie in der Tabelle 10 ersichtlich ist, bewegen sich die Abwassertemperaturen über das ganze Jahr zwischen 0,6 °C und 2,5 °C. Wie oben bereits erläutert wurde liegen die Temperaturen für das Abwasser, bevor dieses in die Kanalisation geleitet wird, typischerweise zwischen 23 °C und 26 °C. Da die Abwassertemperaturen aus dem permanenten Energiemonitoring stark von diesen typischen Temperaturen abweichen, ist davon auszugehen, dass die Temperaturen aus dem Energiemonitoring nicht der Realität entsprechen.

Auf dem EMAS Portal, welches das Zentrale Portal für die Monitoring Daten ist, können online über ein Dashboard Diagramme von allen Monitoring Datenpunkten angezeigt werden. Dabei

ist aufgefallen, dass die Daten, welche auf diesem Dashboard ersichtlich sind, durchaus realistische Daten bei den Abwassertemperaturen aufweisen. In der Abbildung 25 ist eine solches Diagramm aus dem Onlinedashboard ersichtlich.

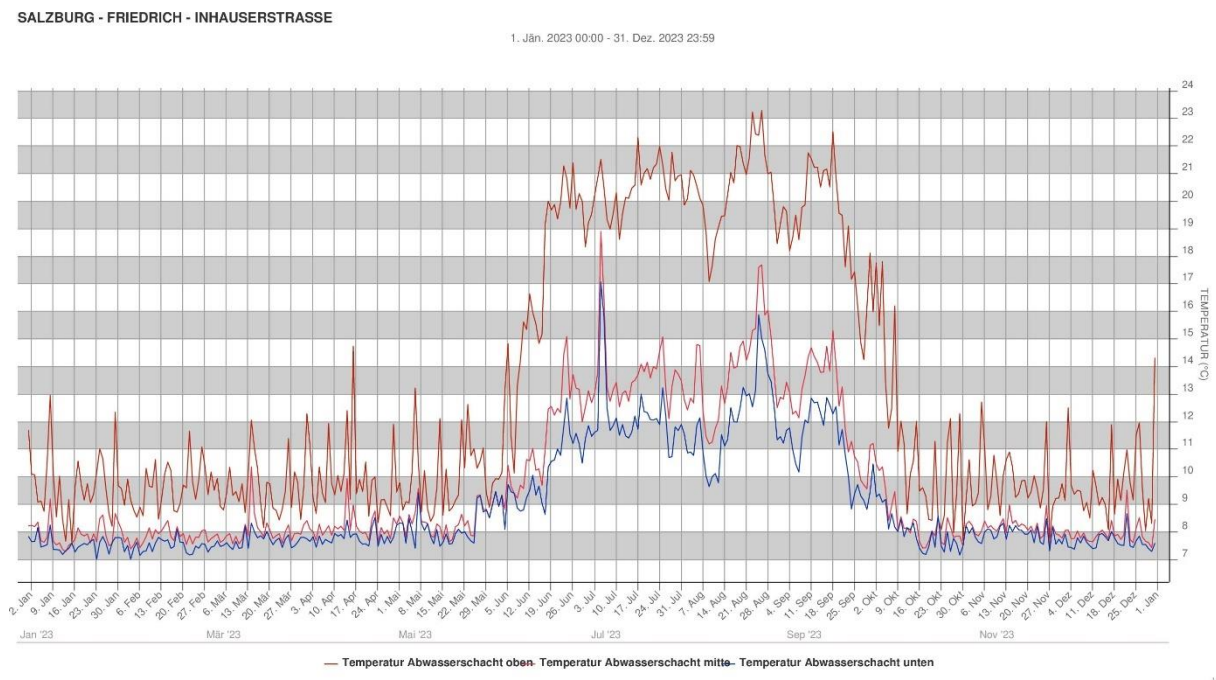


Abbildung 25: Diagramm der Abwassertemperaturen aus dem Onlinedashboard

In der Abbildung 25 ist zu erkennen, dass sich im Onlinedashboard des Energiemonitorings die Abwassertemperaturen zwischen 7 °C und 23 °C bewegen. Dies entspricht etwa dem 10-fachen wie den Temperaturen aus der eigenen Auswertung. Daher ist davon auszugehen, dass bei dem Download beziehungsweise dem Ausspielen der Daten aus dem Onlinesystem ein falscher Umrechnungsfaktor verwendet wird oder ein ähnlicher Fehler im System vorliegt. Die Abwassertemperaturen entsprechen aber doch typischen Werten wie Sie zu erwarten sind.

Bei korrekter Erfassung der Abwassertemperaturen eröffnen sich zusätzliche Optimierungspotenziale für den Betrieb Abwasserwärmepumpe. Diese Potenziale können auf verschiedenen Ebenen angesiedelt sein und sind von entscheidender Bedeutung für die Effizienz und Leistungsfähigkeit des Systems. Im Folgenden werden diese Potenziale genauer erläutert:

Optimierung der Betriebsstrategie: Eine präzisere Kenntnis der realen Abwassertemperaturen ermöglicht es, die Betriebsstrategien der Wärmepumpe zu optimieren. Durch die Anpassung der Betriebszeiten oder die Modulation der Leistung der Wärmepumpe entsprechend den tatsächlichen Abwassertemperaturen kann eine verbesserte Energieausnutzung erreicht werden.

Effizienzsteigerung: Durch genaue Messdaten können Effizienzsteigerungen der Wärmepumpe realisiert werden. Eine präzisere Steuerung der Wärmepumpe in Abhängigkeit von den gemessenen Abwassertemperaturen führt zu einem optimierten Energieverbrauch und somit zu einer höheren Effizienz des Systems.

Die Berücksichtigung und Nutzung richtiger Messdaten stellt somit eine essenzielle Voraussetzung dar, um die genannten Optimierungspotenziale effektiv zu realisieren. Dies trägt maßgeblich zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit von der Abwasserwärmepumpe bei.

Wie oben beschrieben können beim Vorhandensein von richtigen Messdaten für die Abwassertemperaturen noch Optimierungspotentiale gefunden werden.

3.4.2 Optimierungspotential – Abluft Wärmepumpe

Wie in der Abbildung 24 zu erkennen ist, ist der Anteil der Abluft Wärmepumpe an der Gesamtenergieerzeugung im Jahr 2023 geringer als im Jahr 2022. Anhand der Heiztage aus dem Kapitel 3.3.2 Heizgradtage Bereinigung ist zu erkennen, dass das Jahr 2023 mit 2851,5 Heiztagen ein kälteres Jahr als das Jahr 2022 mit 2724,8 Heiztagen ist. Das wird auch der Grund für den höheren Erzeugungsanteil des Pelletskessels im Jahr 2023 sein.

Der Erzeugungsanteil der Abluft Wärmepumpe kann durch einen veränderten Einschaltpunkt erhöht werden. Dadurch kann auch die Gesamteffizienz der Anlage erhöht werden, da die Abluft Wärmepumpe auch bei niederen Temperaturen die benötigte Energie effizienter erzeugt als der Pelletskessel.

In der folgenden Abbildung 26 werden die monatlichen Jahresarbeitszahlen der Abluft Wärmepumpe sowie die monatlichen Jahresarbeitszahlen der Abwasser Wärmepumpe dargestellt.

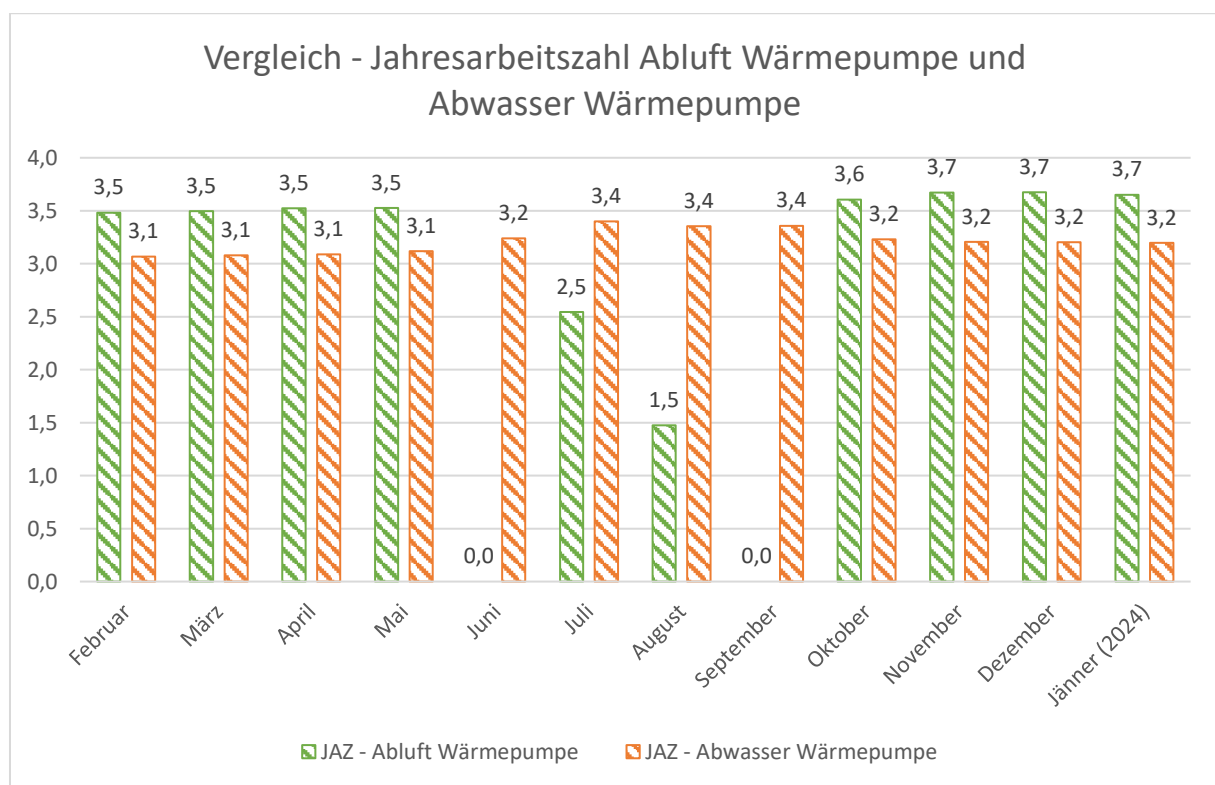


Abbildung 26: Monatliche Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen

Anhand der Abbildung 26 ist zu erkennen, dass die Jahresarbeitszahl der Abluft Wärmepumpe im Jahr 2023 zwischen 0,0 und 3,7 liegt. Die Jahresarbeitszahl der Abwasser Wärmepumpe liegt zwischen 3,1 und 3,4. Dabei fällt auf, dass die Jahresarbeitszahl der Abluftwärmepumpe in den Monaten Juni und September bei 0 liegt und in den Monaten Juli und August mit 2,5 im Juli und 1,5 im August wesentlich niedriger ist als im restlichen Jahr.

Dass lässt darauf schließen, dass die Abwasser Wärmepumpe in diesen Monaten ausreichend Wärmemenge produziert hat, so dass sich die Abluftwärmepumpe nicht einschalten musste. Da die Abluft Wärmepumpe im Durchschnitt eine Jahresarbeitszahl von 3,6 hat und die Abwasser Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 3,2 hat, kann durch einen zusätzlichen Betrieb der Abluft Wärmepumpe in den Sommermonaten die Effizienz des Gesamtsystems erhöht werden.

Im Kapitel 3.2.8 Außenluft Bypass der Abluft Wärmepumpe ist hervorgegangen, dass es noch ein Potential bei der Verwendung des Außenluft Bypasses gibt. Aufgrund der nicht vollständigen Monitoring Daten ist es schwer eine Aussage zu treffen an wie vielen Stunden im Jahr die Außenlufttemperatur höher ist als die Ablufttemperatur. Es ist aber klar, dass wenn die Außenlufttemperatur höher ist als die Ablufttemperatur und dann diese als Wärmequelle bei der Abluftwärmepumpe verwendet wird, die Abluft Wärmepumpe noch effizienter als bisher arbeiten kann.

Beim Vorhandensein von allen Monitoring Daten könnte die Potentialanalyse noch genauer durchgeführt werden. Folglich wäre es auch möglich eine noch konkretere Antwort zu liefern um was für einen Faktor bei der optimalen Nutzung des Außenluft Bypasses die Abluft Wärmepumpe effizienter arbeiten könnte.

3.4.3 Optimierungspotential – Pelletskessel

Eine weiterführende Möglichkeit zur Effizienzsteigerung bietet der Austausch des Pelletskessels durch ein moderneres erneuerbares Heizsystem wie Sole-Wasser- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpen. Diese Wärmepumpen nutzen die konstante Temperatur von Erdboden oder Grundwasser als Wärmequelle, was eine effizientere Heizlösung darstellt. Sole-Wasser-Wärmepumpen entziehen dem Erdreich Wärme durch in den Boden eingelassene Kollektoren, während Wasser-Wasser-Wärmepumpen die thermische Energie des Grundwassers nutzen. Beide Systeme bieten eine hohe Effizienz aufgrund der stabilen Temperatur der Wärmequelle, was zu einem kontinuierlich hohen Wirkungsgrad führt.

Ein Wechsel zu einer dieser Technologien könnte die Betriebseffizienz signifikant erhöhen. Wärmepumpen dieser Art erreichen bei hohen Temperaturen einen Leistungskoeffizienten (COP) von bis zu 3, was bedeutet, dass sie drei Einheiten Wärmeenergie für jede Einheit elektrischer Energie liefern. Dies steht im Gegensatz zu Pelletskesseln, deren Wirkungsgrad durch die Qualität der Pellets und die Effizienz der Verbrennung begrenzt ist.

Zusammengefasst bietet der Austausch des Pelletskessels durch eine Sole-Wasser- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpe ein erhebliches Potential zur Steigerung der Energieeffizienz der Heizungsanlage. Dies stellt eine nachhaltige und zukunftsweisende Alternative dar, die sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile mit sich bringt.

3.4.4 Optimierungspotential - Photovoltaik Anlage

Bei der Analyse der Monitoring Daten der Photovoltaik Anlage der Siedlung in der Friedrich-Inhauser-Straße ist aufgefallen, dass der jährliche Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak zwischen 784,3 kWh/kWp und 922,7 kWh/kWp liegt.

Nach einem Schreiben des Klima- und Energiefonds kann ein jährlicher Stromertrag pro installierte Kilowatt (eine Fläche der Photovoltaikanlage von etwa 6 bis 8 m² entspricht in etwa einer Leistung von einem Kilowatt) von etwa 900 bis 1.100 kWh erwartet werden. (Klima- und Energiefonds, 2016)

Dabei ist zu berücksichtigen, dass der jährliche Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak auch stark von der Himmelsrichtung und Neigung der Module abhängig ist. Die 900 bis 1100 kWh/kWp dienen nur als Richtwert, um eine Einstufung bei den vorliegenden Photovoltaikanlagen durchführen zu können

Demnach liegen die Photovoltaik Anlagen der Häuser 5, 13 und 15 sowie auch die Photovoltaik Anlage der gesamten Wohnsiedlung unter dem erwarteten Wert des Klima- und Energiefonds mit 900 kWh/kWp – 1100 kWh/kWp. Die Photovoltaik Anlage des Haus 5 hat eine Gesamtleistung von 15,0 kWp und weist einen Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak von 784,3 kWh/kWp auf. Die Häuser 13 und 15 haben beide eine Photovoltaik Anlage mit einer Leistung 20,4 kWp. Der jährliche Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak liegt beim Haus 13 bei 877,3 kWh/kWp. Beim Haus 15 liegt der jährliche Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak bei 822,5 kWh/kWp. Der jährliche Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak liegt bei der Photovoltaik Anlage der gesamten Wohnsiedlung, welche eine Gesamtleistung von 87,1 kWp hat, bei 876,8 kWh/kWp.

Daher kann als erstes Optimierungspotential der Photovoltaik Anlage eine Ursachenanalyse des unterdurchschnittlichen Ertrags pro installiertem Kilowatt Peak angesetzt werden.

Bei der Abbildung 20: Eigenverbrauch und Netzeinspeisung der Photovoltaik Anlage aus dem Jahr 2023 ist zu sehen, dass der Eigenverbrauchsanteil des durch die Photovoltaik Anlage produzierten Stroms bei 63 % liegt. Dieser Anteil kann durch einen höheren Strombedarf zu den Produktionszeiten erhöht werden. Dazu kann zum Beispiel der überflüssige Strom als Heizungsunterstützung genutzt werden. Indem mit diesem Strom eine E-Patrone, welche das Wasser im Pufferspeicher erwärmt, betrieben wird.

In der Analyse dieses Potentials im Kapitel 3.2.7 Überschussstrom ist hervorgegangen, dass es energetischer Sicht Sinnvoll ist mit dem überflüssigen Strom der Photovoltaik Anlage eine E-Patrone zu betreiben.

Als Ergebnis ist, herausgekommen, dass zwischen dem Betrieb einer E-Patrone mit einer Leistung von 15 kW, 9 kW oder 6 kW, der Betrieb einer 15 kW E-Patrone das größte Effizienzsteigerungspotential bietet. Beim Betrieb einer 15 kW E-Patrone mit dem überflüssigen Strom der Photovoltaik Anlage hätte im Jahr 2023 eine Energie von etwa 9.794 kWh in nutzbare thermische Energie umgewandelt werden können. Dies entspricht einem Anteil von 1,76 % der gesamten Energieproduktion im Jahr 2023.

3.4.5 Optimierungspotential – Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur

Im Kapitel 3.2.5 Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur sind die Vorlauftemperaturen und Rücklauftemperaturen des Pelletskessels und des Gesamtsystems analysiert worden. Grundsätzlich kann durch eine niedrigere Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur ein geringerer Energieeinsatz erzielt werden. Die Vorlauftemperatur des Gesamtsystems liegt derzeit bei durchschnittlich 55°C. Diese Vorlauftemperatur wird momentan verwendet, um einen reibungslosen Betrieb des Systems mit den Wohnungsübergabestationen sicherzustellen. Allerdings sind die aktuellen 55°C nicht unbedingt erforderlich und stellen keine Mindestanforderung dar. Es besteht die Möglichkeit, dass eine niedrigere Vorlauftemperatur ausreicht. Durch die Implementierung neuerer Technologien könnte die Vorlauftemperatur weiter gesenkt werden, was zusätzliches Einsparpotential hinsichtlich des Energieeinsatzes eröffnen würde. Folglich besteht ein mögliches Optimierungspotential bei den Vorlauftemperaturen und Rücklauftemperaturen.

4 Fazit / Conclusio

Die Erarbeitung von Effizienzsteigerungs-Maßnahmen aller Energieerzeugungsanlagen in der Siedlung der Friedrich-Inhauser-Straße zeigt sowohl Systeme, die bereits sehr effizient funktionieren als auch Systeme mit Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung auf.

Die Abwasser-Wärmepumpe zeigt eine konstante Energieproduktion über das Jahr hinweg auf, was auf einen bereits optimierten Betriebszustand hindeutet. Obwohl begrenzte Optimierungspotenziale vorhanden sind, könnten genauere Daten zu den Abwassertemperaturen weitere Möglichkeiten zur Analyse dieser Temperaturen bieten. Wodurch wiederum Optimierungspotentiale gefunden werden könnten.

Die Abluft-Wärmepumpe verzeichnete einen geringeren Anteil an der Gesamtenergieerzeugung im Jahr 2023, was auf das kältere Wetter zurückzuführen ist. Eine Anpassung des Einschaltpunkts könnte die Effizienz erhöhen, insbesondere bei niedrigen Temperaturen. Da dadurch die Abluft Wärmepumpe noch einen Teil der produzierten Energie des Pelletskessels übernehmen kann. Trotz der niederen Temperaturen im Winter würde die Abluft Wärmepumpe mit einer höheren Effizienz als der Pelletskessel arbeiten. Zudem kann bei der Verwendung des Außenluft Bypasses die Effizienz der Abluft Wärmepumpe erhöht werden. Eine genauere Aussage welchen Einfluss das auf die Effizienz des Gesamtsystems hätte kann erst beim Vorhandensein von vollständigen Monitoring Daten getroffen werden.

Der Pelletskessel zeigt keine offensichtlichen Optimierungspotenziale, aber eine Reduzierung seiner Energieproduktion könnte die Gesamteffizienz der Anlage steigern, indem mehr Energie von den Wärmepumpen produziert wird. Zudem kann beim Ersatz des Pelletskessels durch eine weitere erneuerbare Heizungsanlage wie einer Sole/Wasser Wärmepumpe oder einer Wasser/Wasser Wärmepumpe die Effizienz der gesamten Gebäudetechnischen Anlage erhöht werden. Dieses Konzept könnte bei einem weiteren Projekt verfolgt werden.

Die Photovoltaik-Anlage weist einen unterdurchschnittlichen Stromertrag pro installiertem Kilowatt Peak auf. Eine Ursachenanalyse und die Steigerung des Eigenverbrauchsanteils könnten die Effizienz verbessern, beispielsweise durch die Nutzung überschüssigen Stroms für die Heizungsunterstützung über den Betrieb einer E-Patrone. Beim Betrieb einer E-Patrone mit einer Leistung von 15 kW mit dem überschüssigen Strom der Photovoltaik Anlage könnte dadurch im Fall vom Jahr 2023 ein Anteil von 1,76 % an der gesamten Energieproduktion der Wohnsiedlung von der E-Patrone übernommen werden.

Die Untersuchung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen zeigt, dass die aktuell verwendete Vorlauftemperatur keine Mindestanforderung darstellt. Dadurch kann es sein, dass eine niedrigere Vorlauftemperatur ausreicht, um dennoch einen reibungsfreien Betrieb der Anlage zu

erreichen. Durch die Implementierung neuerer Technologien oder der Verwendung eines anderen Systems sowohl in der Wärmeabgabe als auch in der Wärmeverteilung, könnte die Vorlauftemperatur weiter gesenkt werden, was zusätzliches Einsparpotential hinsichtlich des Energieeinsatzes eröffnen würde. Folglich besteht ein mögliches Optimierungspotential bei den Vorlauftemperaturen und Rücklauftemperaturen.

5 Ausblick

Die identifizierten Optimierungspotenziale bieten Möglichkeiten zur weiteren Effizienzsteigerung und Ressourcennutzung innerhalb der Wohnsiedlung. Zukünftige Arbeiten könnten eine detailliertere Analyse der Abwassertemperaturen im Abwassertank, eine Feinabstimmung der Einschaltpunkte der Wärmepumpen und eine genaue Untersuchung der Photovoltaik Anlage umfassen. Eine genauere Analyse der möglichen Einsätze und Betriebsweise des Außenluft Bypasses bei der Abluft Wärmepumpe kann auch noch weitere Effizienzsteigerungspotentiale aufzeigen.

Es kann auch eine Untersuchung erfolgen bei welcher der Pelletskessel durch eine weitere effiziente erneuerbare Heizungsanlage wie eine Sole/Wasser Wärmepumpe oder eine Wasser/Wasser Wärmepumpe ersetzt wird und diese Heizungsanlage für die Spitzenlasten zuständig ist. Darüber hinaus könnten weitere Technologien oder Maßnahmen zur Steigerung des Eigenverbrauchs von erneuerbarer Energie in Betracht gezogen werden.

Die kontinuierliche Überwachung und Optimierung dieser Systeme sind entscheidend, um langfristig eine nachhaltige und effiziente Energieversorgung sicherzustellen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Siedlung der Friedrich-Inhauser-Straße vor Beginn der Sanierungsmaßnahmen (Heimat Österreich gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H., 2022)	4
Abbildung 2: Die Siedlung der Friedrich-Inhauser-Straße nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen (Karbun, 2022)	5
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Schmutzwassertanks (TB Stampfer - Ingenieurbüro für Gebäudetechnik, 2019)	7
Abbildung 4: Energiemonitoring – Monatsbilanz von 2023 der Abwasser Wärmepumpe	17
Abbildung 5: Energiemonitoring-Jahresbilanz von 2023 der Abwasser Wärmepumpe	18
Abbildung 6: Abwasser Wärmepumpe - Energieerzeugung im Februar 2023.....	19
Abbildung 7: Energiemonitoring-Monatsbilanz von 2023 der Abluft Wärmepumpe.....	20
Abbildung 8: Energiemonitoring-Jahresbilanz von 2023 der Abluft Wärmepumpe.....	21
Abbildung 9: Abluft Wärmepumpe - Energieerzeugung im Februar 2023	22
Abbildung 10: Energiemonitoring-Monatsbilanz von 2023 des Pelletkessels.....	23
Abbildung 11: Energiemonitoring-Jahresbilanz von 2023 des Pelletskessels	24
Abbildung 12: Pelletskessel - Energieerzeugung im Februar 2023	25
Abbildung 13: Energiemonitoring-Monatsbilanz sämtlicher Energieerzeuger von 2023	26
Abbildung 14: Energiemonitoring-Jahresbilanz sämtlicher Energieerzeuger von 2023	27
Abbildung 15: Alle Energieerzeuger - Energieerzeugung im Februar 2023	28
Abbildung 16: Pelletskessel - Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur.....	30
Abbildung 17: System - Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur.....	31
Abbildung 18: Energiemonitoring – Photovoltaik Stromproduktion pro Jahr/Gebäude.....	32
Abbildung 19: Photovoltaik - Verhältnis der Anlagengröße zur Stromproduktion	33
Abbildung 20: Eigenverbrauch und Netzeinspeisung der Photovoltaik Anlage aus dem Jahr 2023	33
Abbildung 21: Vergleich - Gesamtjahresverbrauch 2022/2023.....	39
Abbildung 22: Außentemperaturen im Jahr 2022 und 2023	41
Abbildung 23: Vergleich - Jahresverbrauch 2022/2023 - HGT Bereinigt	43
Abbildung 24: Vergleich der Erzeugungsanteile an der Gesamtenergieerzeugung 2022/2023	44
Abbildung 25: Diagramm der Abwassertemperaturen aus dem Onlinedashboard.....	46
Abbildung 26: Monatliche Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen	48

Formelverzeichnis

Formel 1: Formel für die Berechnung der Heizgradtage nach der ÖNORM B 8110-5:2024 (Austrian Standards International, 2024)	11
Formel 2: Formel für die Berechnung der Heizgradtage nach der ÖNORM B 8110-5:2011 (Austrian Standards Institute, 2011).....	12
Formel 3: Formel für Heizgradtag Bereinigung für den Vergleich bei unterschiedlichen Nutzerverhalten (Schöngrundner, 2002).....	13
Formel 4: Formel für die Heizgradtag Bereinigung (Energieinstitut Vorarlberg, 2024)	14
Formel 5: Formel für die Heizgradtag Bereinigung (Energieinstitut Vorarlberg, 2024)	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 1 (Austrian Standards International, 2024) ..	12
Tabelle 2: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 2 (Austrian Standards Institute, 2011)	12
Tabelle 3: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 3 (Schöngrundner, 2002)	13
Tabelle 4: Erläuterung der Formelzeichen in der Formel 4 (eigene Tabelle)	14
Tabelle 5: Anzahl der Stunden in denen die Photovoltaik Überschussleistung 6, 9 und 15 kW beträgt	34
Tabelle 6: Mögliche Energie bei der Verwendung von einer 6 kW, 9 kW und 15 kW E-Patrone	35
Tabelle 7: Mögliche Energie bei der Verwendung von einer 6 kW, 9 kW und 15 kW E-Patrone (angepasst)	35
Tabelle 8: Anteil der erzeugten Energie durch die E-Patronen an der Gesamt-Energieproduktion	35
Tabelle 9: Anzahl der Stunden im Jahr 2023 in denen die Außenlufttemperatur höher als die Ablufttemperatur war	37
Tabelle 10: Abwassertemperaturen im Abwasserschacht	45

Literaturverzeichnis

- Austrian Standards Institute (1. März 2011). *Wärmeschutz im Hochbau: Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile* (ÖNORM B 8110-5). Austrian Standards plus GmbH. www.austrian-standards.at
- Austrian Standards International (1. März 2024). *Wärmeschutz im Hochbau: Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile* (ÖNORM B 8110-5). Austrian Standards plus GmbH. www.austrian-standards.at
- ECA energy consulting austria gmbh. (2024). *Energy Management and Analysis System*. <https://emas.ecb-consulting.at/login>
- Eitzinger-Lange, L., Heidenthaler, D., Leeb, M. & Wieder, E. (Dezember 2021). *ZeCaRe II Monitoring Konzept*.
- Eitzinger-Lange, L., Leeb, M. & Wieder, E. (2022, 30. März). *ZeCaRe II Bericht Energiesystem*.
- Energieinstitut Vorarlberg. (2024, 10. April). *Heizgradtag Bereinigung*. <https://www.energieinstitut.at/unternehmen/energie-und-umweltwissen/heizgradtag-bereinigung>
- Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau. (2013). *Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser: Abschlussbericht. Bauforschung für die Praxis: Bd. 105*. Fraunhofer-IRB-Verl.
- GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (Hrsg.). (2024, 1. April). *Klimamittelwerte 1991-2020 — ZAMG*. https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/daten-download/copy_of_klimamittel
- Heimat Österreich gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H. (2022). *Friedrich-Inhauser-Straße*.
- Karun, D. (2022, 20. Februar). *Drohnenaufnahme Friedrich-Inhauser-Straße*.
- Klima- und Energiefonds. (Mai 2016). *Photovoltaik-Fibel*.
- Lerchner, M. (2023). *Validierung einer thermischen Gebäudesimulation anhand einer Einzelfallstudie der Wohnsiedlung „Friedrich-Inhauser-Straße“* [Bachelorarbeit]. FH Salzburg, Salzburg.
- Schöngrundner, K. (2002). *HEIZGRADTAGBEREINIGUNG DES HEIZENERGIEEINSATZES* [Diplomarbeit]. FH-Gebäudetechnik, Pinkafeld, Pinkafeld.
- TB Stampfer - Ingenieurbüro für Gebäudetechnik. (2019, 8. Juli). *P-L-Schema*.