



FH Salzburg

BACHELORARBEIT

**ABLUFTANLAGE MIT WÄRMERÜCKGEWINNUNG IN KOMBINATION MIT
ABWASSERWÄRMERÜCKGEWINNUNG AM BEISPIEL DES
FORSCHUNGSPROJEKTES ZeCARE II**

**ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN GRADES
„BACHELOR OF SCIENCE IN ENGINEERING“**

**VERFASSERIN: ELISABETH WIEDER
1610731046**

Vorgelegt im April 2019
BegutachterIn: Dipl.-Ing. Markus Leeb

Bachelorstudiengang:
Smart Building - Energieeffiziente Gebäudetechnik und Nachhaltiges Bauen
Fachhochschule Salzburg GmbH

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Weiters 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.

25.04.2019

.....
Datum



.....
Unterschrift

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Gebäudetechnikkonzept des Forschungsprojektes Zero Carbon Refurbishment II, bestehend aus einer Pelletsheizung, Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung durch Wärmepumpen, einer E-Patrone und einer Photovoltaik (PV)-Anlage am Dach. Ziel der Arbeit ist die Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie aus Abluft und Abwasser, die Einsparung der Wärmeenergie aus Pellets, sowie der Strombedarf für die Gebäudetechnik. Das Gebäudetechnikkonzept wird vier weiteren Konzepten gegenübergestellt und auf Primärenergieebene und hinsichtlich CO₂ verglichen. Die vier Varianten sind Biomasse + Abluftwärmerückgewinnung + E-Patrone + PV, Biomasse + Abwasserwärmerückgewinnung + E-Patrone + PV, Biomasse + E-Patrone + PV und Fernwärme (ohne PV). Simulationen mit dem Simulationsprogramm IDA ICE ergaben bei der Kombination aus Abwasser- und Abluftwärmerückgewinnung eine Deckung von 74 % des jährlichen Wärmebedarfes durch zurückgewonnener Wärmeenergie. An Tagen in denen kein Wärmebedarf für die Raumwärme besteht, ist eine Deckung des Wärmebedarfs für das Warmwasser nur mit Abluftwärme und der Wärmeenergie aus der E-Patrone oder nur mit der Abwasserwärme und der Wärmeenergie aus der E-Patrone möglich. Bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung entsteht im Betrieb der geringste Primärenergiebedarf und der zweithöchste CO₂-Ausstoß. Den höchsten CO₂ Ausstoß und den höchsten Primärenergiebedarf weist die Variante mit Fernwärme aus einem Heizwerk (nicht erneuerbar) auf. Den niedrigsten CO₂-Ausstoß weist die Variante mit nur Biomasse und PV auf. Das Kapitel Fazit und Ausblick enthalten Optimierungsmöglichkeiten des Gebäudetechnikkonzeptes und die Vorgehensweise für eine weitere Detailierung des Gebäudetechnikkonzeptes im Zuge des Forschungsprojektes ZeCaRe II

Schlüsselwörter: Sanierung, CO₂-Einsparung, Primärenergie, Gebäudesimulation, Komponentensimulation

Abstract

The Topic of this bachelor thesis is the building technology of the Zero Carbon Refurbishment II research project, consisting of a biomass heating system, heat pumps for heat recovery from exhaust air and drain water, a heating rod, and photovoltaic (PV). The aim of this thesis is the determination of the recoverable thermal energy, the reduction of the thermal energy from biomass and the electricity demand for the building technology system by using the simulation program IDA ICE. The building technology system was compared to four further systems namely Biomass + exhaust air heat recovery + heating rod + PV, Biomass + drain water heat recovery + heating rod + PV, Biomass + heating rod + PV and district heating. The results show that 74 % of the annual heating demand can be covered by the recovered energy from drain water and exhaust air. On days without space heating demand the thermal energy demand for hot water can be covered by drain water heat recovery in combination with the heating rod or exhaust air heat recovery in combination with the heating rod. The building technology system with exhaust air and drain water heat recovery shows the lowest primary energy demand and the second highest carbon output in operation. The district heating system has the highest primary energy demand and the highest carbon output in operation. The system with biomass and PV only has the lowest carbon output. The chapter conclusion and outlook describes possibilities for optimizing the building technology system and further steps for detailing the simulation of the building technology system.

Key words: renovation, carbon reduction, primary energy, building simulation, simulation of components

Danksagung

Ein herzlicher Dank gilt meinem Betreuer Dipl.-Ing Markus Leeb für seine laufende Unterstützung bei der Erstellung meiner Bachelorarbeit und der Unterstützung im Forschungsprojekt.

Besonders möchte ich mich auch bei Michael Bayer bedanken, der bei Fragen zu IDA ICE und vor allem beim Abbilden der Gebäudetechnik im IDA ICE jederzeit unterstützend zur Seite stand.

Wie auch schon bei der ersten Bachelorarbeit unterstützte mich mein Onkel Gilbert Jaros durch Korrekturlesen meiner Bachelorarbeit, ein herzlicher Dank dafür.

Schlussendlich möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken für die Unterstützung während des Studiums und bei meinen Brüdern Peter und Oliver für ihre Hilfe bei Fragen zu Gebäudetechnik die im Laufe des Studiums immer wieder auftauchten.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung und Hintergrund	1
1.1.1. Zero Carbon Refurbishment II	2
1.1.2. CO ₂ -Emissionen der Gebäudetechnik	3
1.2. Zielsetzung und Fragestellung	5
1.3. Methode	5
1.3.1. Simulation Referenzgebäude	6
1.3.2. Simulation Gebäudetechnik	6
1.4. Abgrenzung	6
2. Stand der Technik	7
2.1. Abluftwärmerückgewinnung	7
2.2. Abwasserwärmerückgewinnung	14
3. Randbedingungen und Konzeptbeschreibung	18
3.1. Referenzgebäude	18
3.1.1. Gebäudekörper	19
3.1.2. Interne Gewinne	19
3.1.3. Lüftung	20
3.1.4. Warmwasserbedarf	21
3.1.5. Abwasser	21
3.2. Gebäudetechnik	21
4. Ergebnisse	29
4.1. Ergebnisse Simulation Gebäudetechnik	29
4.1.1. Zurückgewinnbare Wärmeenergie	29
4.1.2. Stromverbrauch	33
4.1.3. PV-Strom	33
4.2. Primärenergiebedarf und CO ₂ -Ausstoß im Betrieb	37
4.2.1. Primärenergiebedarf im Betrieb	37
4.2.2. CO ₂ -Ausstoß im Betrieb	38

5. Fazit und Ausblick	40
5.1. Ausblick	41
5.1.1. Milieustudien	41
5.1.2. Pufferspeicher	41
5.1.3. Detaillierung der Wärmeverluste	41
5.1.4. Ausrichtung der PV	42
5.1.5. Detaillierung Gebäudetechniksimulation	42
5.1.6. Optimierung der Regelschemen	42
5.1.7. Optimierung der Abluftwärmerückgewinnung	43
5.1.8. Simulation des gesamten Siedlungsbereiches	43
5.1.9. Monitoring	43
 Abbildungsverzeichnis	 44
 Tabellenverzeichnis	 45
 Literaturverzeichnis	 46
 Abkürzungsverzeichnis	 49
 Anhang	 1
 Bauteile	 1
 Zusätzliche interne Massen	 17
 Abluftvolumenströme in den Ablufträumen:	 20

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Gebäudetechnik des Forschungsprojektes Zero Carbon Refurbishment II (ZeCaRe II). Dieses Kapitel gibt einen Überblick über das Forschungsprojekt ZeCaRe II, dem Hintergrund der Projektinitiative sowie dem Projektziel und erläutert die Entscheidungsgrundlage für das Gebäudetechnikkonzept. Es folgt die Beschreibung der Zielsetzung und Fragestellung dieser Bachelorarbeit sowie eine Beschreibung der Vorgehensweise und Abgrenzung.

1.1. Problemstellung und Hintergrund

Die vom Mensch verursachten Treibhausgasemissionen sind eine treibende Kraft für den Klimawandel. Um das Ziel einer Begrenzung der Klimaerwärmung auf 2 °C des 2015 in Paris beschlossenen Klimaschutzabkommens zu erreichen, ist eine stufenweise Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 notwendig. *(Umweltbundesamt GmbH, 2019)*

Die größten Treibhausemissionen fallen in Österreich auf die Bereiche Energie und Industrie, Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft, wobei im Jahr 2017 der Verkehr 29 % und der Gebäudesektor 10 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Österreich verursachten. *(Umweltbundesamt GmbH, 2019)*. Weltweit verursacht der Gebäudesektor 40 % des weltweiten Energieverbrauches und in Europa ein Drittel der Treibhausemissionen *(Habert & Schlueter, 2016, S. 280)*. Die 2018 verfasste Energiestrategie Österreich sieht im Gebäudebestand ein großes Einsparpotential *(Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus & Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2018, S. 28)*. Die Sanierungsrate in Österreich liegt mit 1,5 % *(Böhm & Getzner, 2017, S. 97)* unter dem von der Regierung gesteckten Ziel von 3 % *(Institut für Immobilien, Bauen und Wohnen GmbH, 2013, S. 6)*.

Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bei Neubau und Sanierung, erfordert eine umfassende Sichtweise. Es müssen die Treibhausgasemissionen der Gebäude im Betrieb, beim Bau und die Treibhausgasemissionen durch die Materialwahl über die Lebensdauer des Gebäudes betrachtet werden.

Der vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) entwickelte Klimaaktiv Gebäudestandard hat das Ziel klimafreundliche Neubauten und Sanierungen voranzutreiben und eine rasche Markteinführung und Verbreitung klimafreundlicher Dienstleistungen und Technologien. Neben den im Mittelpunkt stehenden Kriterien der Energieeffizienz und erneuerbare Energien werden die Themen Gesundheit, Komfort, Standort, Mobilität und Umweltverträglichkeit der Baustoffe betrachtet. *(Schrattenecker, Trebut & Lubitz-Prohaska, 2019)* Der Klimaaktiv Gebäudestandard ermöglicht eine umfassende Bewertung des geplanten Gebäudes über ein Punktesystem.

1.1.1. Zero Carbon Refurbishment II

Das Forschungsprojekt Zero Carbon Refurbishment II (ZeCaRe II) ist ein Umsetzungsprojekt und verfolgt das Ziel einer CO₂-neutralen Siedlungssanierung. Der CO₂-Ausstoß durch den Umbau, die eingesetzten Materialien und die Nutzung des Gebäudes werden auf einen Zeitraum von 100 Jahren betrachtet. Anstoß für das Forschungsprojekt ZeCaRe II war die geplante umfassende Sanierung der Siedlung in der Friedrich Inhauserstraße im Salzburger Stadtteil Aigen. Bei der bestehenden Wohnanlage aus dem Jahr 1985 mit 75 Wohnungen besteht Sanierungsbedarf beim Feuchteschutz, Wärmeschutz und den gesamten Installationen. Problempunkte der Siedlung sind der geringe Schallschutz zur angrenzenden Bahn und der Blumaustraße, die geringe natürliche Belichtung der Räume und die fehlende Barrierefreiheit. Im Zuge der Sanierungsmaßnahme wird eine Nachverdichtung des Gebietes in Form einer Aufstockung von zwei Geschossen mit 24 Wohnungen durchgeführt. Das Sanierungskonzept berücksichtigt eine gesamtheitliche Betrachtung der Themen Energie, Mobilität, soziale Struktur und der Ökonomie im sozialen Wohnbau. Ein Monitoring nach Abschluss der Umbauarbeiten kontrolliert die Ergebnisse der Sanierungsmaßnahmen und liefert Informationen über Effizienzsteigerungspotenzial des Konzeptes. Nach Abschluss des Projektes soll das entwickelte Sanierungskonzept auf andere Wohnanlagen übertragen werden. Die Entwicklung der Ziele und Konzepte des Forschungsprojektes erfolgte im Zuge des Sondierungsprojekt ZeCaRe. Die Siedlung, ein sozialer Wohnbau, soll ein leistbares Wohnen ermöglichen (*Klima- und Energiefonds, 2018*). Eine Kostenreduktion im Wohnbau ermöglicht eine Unterstützung einkommensschwächerer Wohnungssuchender (*Korab, Romm & Schönfeld, 2010, S. 7*).

Gestaltung

Die Bauplatzfläche des Siedlungsgebietes beträgt 8.605 m², die Bruttogeschossfläche 10.223 m² und die Wohnfläche der 99 Wohnungen in Summe 10.223 m². Der bestehende Baukörper verfügt über zwei Vollgeschosse und ein ausgebautes Dachgeschoß. Im Zuge der Sanierung ersetzt eine Aufstockung das ausgebaute Dachgeschoß. Die neuen Geschosse grenzen sich durch eine Holzfassade von den bestehenden Geschossen mit Putzfassade ab. Durch eine Nachbildung der ehemaligen Giebelwand durch eine Putzfassade ist das ehemalige Erscheinungsbild der Siedlung ablesbar. Für eine Auflockerung der Architektur wechselt das geplante Gebäude zwischen vier und fünfstöckigen Bereichen. Die geplanten Photovoltaikpaneele (PV-Paneele) befinden auf den Dächern der fünfstöckigen Bereiche. Das Freiraumkonzept beinhaltet Erschließungsflächen, Privatgärten, Bereiche für Gemeinschaftsaktivitäten, Erholungsflächen und Kinderspielplatzflächen.

Bauweise

Für die thermische Sanierung der bestehenden Außenwände aus Mantelbeton und als Dämmung für die Massivholzwände der Aufstockung ist eine Zelluloseeinblasdämmung und als Putzträger sind Holzfaserplatten geplant. Der aktuelle Planstand sieht bei der Aufstockung Stahlbetondecken vor. Die neuen thermisch getrennten Balkone ersetzen die bestehenden Balkone.

Mobilität

Das Mobilitätskonzept mit einem verringertem Stellplatzschlüssel von 0,8 für Autos zielt auf die verstärkte Nutzung von Fahrrädern und den öffentlichen Verkehrsmitteln ab. Für die 99 Wohnungen sind 79 Autostellplätze vorhanden, davon 68 in der bestehenden Tiefgarage. Pro Wohnung sind vier Fahrradabstellplätze vorgesehen.

Soziales

Der Absiedelungsprozess folglich des Ausmaßes der Sanierung, die aktive Beteiligung und Information der Bewohnerinnen und Bewohner und die Wiederbesiedelung des Gebietes erfolgt unter sozialwissenschaftlicher Begleitung durch Dr. Rosemarie Fuchshofer.

Projektpartner:

- Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen
- Heimat Österreich gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H.
- Stadtgemeinde Salzburg
- Stadt Land Berg – Dr. Rosemarie Fuchshofer
- FH- Salzburg - Smart Building und Smart City

1.1.2. CO₂-Emissionen der Gebäudetechnik

Die Auswahl des Gebäudetechnikkonzeptes und des Energieträgers hat einen wesentlichen Einfluss auf die CO₂-Emissionen eines Gebäudes und ist in der CO₂-Bilanz eines Gebäudes zu erfassen.

Für eine ganzheitliche Betrachtung ist der Energieverbrauch im Betrieb und die graue Energie für die Herstellung und Entsorgung der Gebäudetechnik zu berücksichtigen (*Suárez, 2017, S. 57*). Die Einreichung des Bauvorhabens in der Friedrich Inhauserstraße als Neubau, erfordert den Einbau einer Lüftungsanlage. Ein Vergleich zwischen Komfortlüftung und Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung hinsichtlich Treibhausgasemissionen, Vor- und Nachteile in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit und Kosten, bildet die Grundlage für die Entwicklung des Lüftungskonzeptes für das Forschungsprojekt ZeCaRe II.

Der Vergleich zeigt durch einen höheren Materialaufwand bei der Herstellung und einen höheren Strombedarf im Betrieb, höhere Treibhausgasemissionen bei der Lüftung mit Zu- und Abluft mit Wärmerückgewinnung. Unter Berücksichtigung der durch die Wärmerückgewinnung entstehenden Energieeinsparungen (Zeitraum: 100 Jahren; Bilanzgrenze 3) weist die Komfortlüftung gegenüber der Abluftanlage, abhängig vom Energieträger, geringere Treibhausgasemissionen auf. Die Abbildung 1 zeigt die Gegenüberstellung der Lüftungssysteme mit einer Wärmepumpe (47,5 g CO₂-eq./kWh) und Biomasse für die Wärmebereitstellung. Eine Fensterlüftung ist die Basis der im Diagramm dargestellten Energieeinsparung. Der im Zeitraum auf Grund der Lebensdauer notwendige Tausch der Komponenten wurde berücksichtigt. Eine detaillierte Beschreibung über die Vorgehensweise und die Ergebnisse des Vergleiches erfolgt in einem im Zuge des Forschungsprojektes erstellten Bericht.

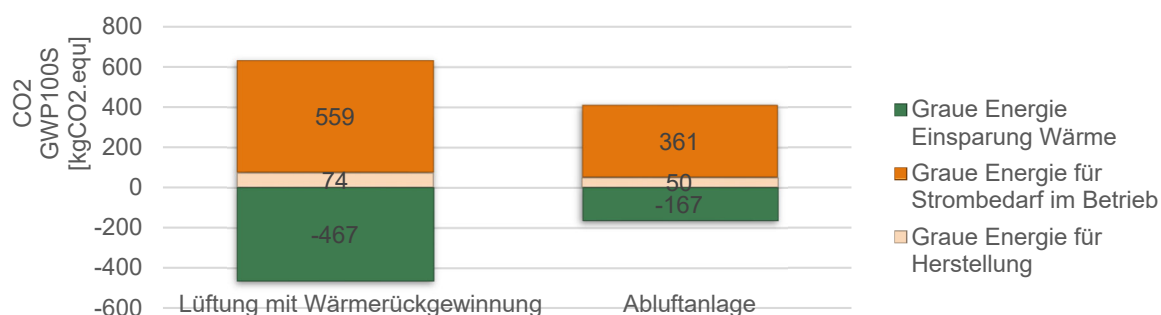


Abb. 1: Vergleich CO₂ Haus 11- inkl. Strombedarf und Einsparung (Eigene Darstellung)

Die beim Forschungsprojekt geplante Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, kombiniert die Vorteile beider Systeme. Der im Zuge von ZeCaRe II bereits beschriebene durchgeführte Vergleich der Lüftungssysteme zeigt bei einem Entfall der Zuluftrohre einen reduzierten CO₂-Impact in der Herstellung. Beim geplanten Gebäudetechnikkonzept für das Forschungsprojekt wird Wärmeenergie aus der Abluft mittels Luft– Wasserwärmetauscher zurückgewonnen und in einen Pufferspeicher eingespeist. Der zusätzliche Materialaufwand wie beispielsweise Wärmetauscher oder die mit Glykol gefüllten Rohre, müssen in weiterer Folge bei der CO₂-Bilanz berücksichtigt werden. Das Gebäudetechnikkonzept für ZeCaRe II hat eine Reduktion des CO₂-Impact bei der Erzeugung der Wärmeenergie zum Ziel. Das Abwasser bietet neben der Abluft eine Möglichkeit zur Wärmerückgewinnung. Die fehlende Wärmeenergie wird durch Biomasse bereitgestellt. Das Ziel des Gebäudetechnikkonzeptes von ZeCaRe II ist eine Minimierung des CO₂-Impact und ein maximaler Deckungsgrad der notwendigen Wärmeenergie durch zurückgewinnbare Wärmeenergie. Wärmepumpen heben das Temperaturniveau der zurückgewonnenen Wärmeenergie. Der im Vorhinein nicht abschätzbare Strombedarf für die im Gebäudetechnikkonzept eingesetzten Wärmepumpen und der entstehende CO₂-Impact wird mit der Gebäudesimulationssoftware IDA ICE 4.8 ermittelt.

1.2. Zielsetzung und Fragestellung

Im Zuge der Literaturrecherche wurde kein Forschungsprojekt mit einer Kombination aus Abluftwärmerückgewinnung und Abwasserwärmerückgewinnung, in der Form wie sie für ZeCaRe II geplant ist, vorgefunden. Somit ist eine Einschätzung des Einsparungspotentials durch Wärmerückgewinnung schwierig. IDA ICE Simulationen ermöglichen die Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie und des Energiebedarfes für den Betrieb der Gebäudetechnik. Ziel dieser Arbeit ist die Analyse der Simulationsergebnisse, eine Gegenüberstellung zu alternativen simulierten Gebäudetechnikkonzepten, sowie die Ermittlung von Optimierungsmaßnahmen und Problempunkte des Gebäudetechnikkonzeptes.

In der Bachelorarbeit werden beim Gebäudetechnikkonzept folgende Aspekte analysiert:

- Wieviel Wärmeenergie kann bei der Abluftwärmerückgewinnung, der Abwasserwärmerückgewinnung bzw. deren Kombination zurückgewonnen werden?
- Welchen Strombedarf weisen die fünf simulierten Varianten auf?
- Wieviel des Photovoltaik (PV) Stromes kann genützt werden, bzw. wieviel des erzeugten Stroms wird mit der E-Patrone für die Wärmeerzeugung genutzt?
- Wie schneiden die einzelnen Varianten bei einer Betrachtung auf Primärenergieebene und hinsichtlich CO₂-Emissionen im Betrieb ab?

Nach Analyse der Simulationsergebnisse und einer Gegenüberstellung der Ergebnisse auf Primärenergieebene und hinsichtlich CO₂, erfolgt eine Beschreibung von Optimierungsmöglichkeiten und ein Aufzeigen von Problempunkten des Gebäudetechnikkonzeptes vom Forschungsprojekt ZeCaRe II.

1.3. Methode

Die Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie und des Strombedarfes erfolgte in zwei Schritten bzw. zwei Simulationen. Der erste Schritt beinhaltet die Simulation des Referenzgebäudes, der zweite Schritt die Simulation der Gebäudetechnik inklusiv alternativer Gebäudetechnikkonzepten. Der Simulation folgt eine Gegenüberstellung und Analyse der Simulationsergebnisse.

1.3.1. Simulation Referenzgebäude

Die zurückgewinnbare Wärmeenergie aus Abluft und Abwasser ist abhängig von Randbedingungen wie der Größe und dem Baustandard des Gebäudes, den internen Lasten durch Geräte und Beleuchtung, der Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner und deren Nutzungsverhalten und den solaren Gewinnen. Nach Festlegung dieser Randbedingungen erfolgte die Abbildung des Hauses 9 als Referenzgebäude im IDA ICE. Nach der ersten Simulation folgte eine Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse durch einen Vergleich mit dem Ergebnis aus dem Energieausweis und aus dem Passivhaus Projektierungs-Paket (PHPP) sowie eine Umrechnung der Ergebnisse auf den gesamten Siedlungsbereich. Die Ergebnisse beinhalten den Wärmeenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser, den Haushaltsstrom sowie die Abluftvolumenströme und dienten als Eingangsparameter für die zweite Simulation.

1.3.2. Simulation Gebäudetechnik

Die Simulation der Gebäudetechnik mit der Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie und des Energiebedarfes für den Betrieb der Gebäudetechnik des gesamten Siedlungsgebietes erfolgte im zweiten Schritt. Weiters erfolgten Simulationen alternativer Gebäudetechniksysteme.

Die insgesamt fünf simulierten Varianten sind:

1. Biomasse (Pellets) mit Abwasserwärmerückgewinnung und Abluftwärmerückgewinnung (Konzept ZeCaRe II)
2. Biomasse (Pellets) mit Abluftwärmerückgewinnung
3. Biomasse (Pellets) mit Abwasserwärmerückgewinnung und Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung
4. Biomasse (Pellets) mit Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung
5. Fernwärme mit Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung

1.4. Abgrenzung

Diese Arbeit beschreibt eine erste Simulation des Gebäudetechnikkonzeptes und mögliche Optimierungsmaßnahmen und Problempunkte des Gebäudetechnikkonzeptes. Die ermittelten Optimierungen werden in weiterer Folge im Zuge des Forschungsprojektes durchgeführt und sind nicht Teil dieser Arbeit. Die Prüfung der Übertragbarkeit des Gebäudetechnikkonzeptes auf ähnliche Projekte sowie die Auslegung der PV-Anlage sind nicht Teil dieser Arbeit.

2. Stand der Technik

Energieknappheit und Umweltverschmutzung erfordern eine effiziente Nutzung der vorhandenen Energien. Zur Entwicklung zukunftsfähiger und nachhaltiger Energiesysteme befassen sich Forschungsprojekte neben der Einzelnutzung erneuerbarer Energiequellen mit hybrider oder integrierter Nutzung von mehreren erneuerbaren Energiesystemen. (Hepbasli, Biyik, Ekren, Gunerhan & Araz, 2014, S. 701)

Die Wärmepumpe wird weltweit als umweltfreundliches und energieeffizientes Heiz- und Klimagerät in Bereichen wie Wohnungen, Geschäften, Krankenhäusern oder Bürogebäuden eingesetzt (Shen, Lei, Wang, Zhang & Yao, 2018, S. 140). Wärmepumpen nutzen verschiedene Energiequellen wie Luft, Wasser und Erdwärme (Hepbasli et al., 2014, S. 702). Die Verwendung von Wärmepumpen zur Abwärmerückgewinnung wirkt sich auf Energieeinsparung bei Gebäuden und somit auf den Umweltschutz aus. Die Wärmepumpentechnologie entwickelte sich schnell und es entstanden verschiedenste Arten von Wärmepumpen. (Liu, Fu & Jiang, 2010, S. 1476)

Die primären Komponenten des Gebäudetechnikkonzeptes von ZeCaRe II sind die Wärmerückgewinnung aus der Abluft und dem Abwasser mit Hilfe von Wärmepumpen.

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Frage, welche Gebäudetechniksysteme mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination mit Wärmepumpen im Rahmen eines Forschungsprojektes untersucht wurden.

2.1. Abluftwärmerückgewinnung

Dichte Gebäudehüllen machen eine mechanische Belüftung der Räume für die Gewährleistung des Mindestluftwechsels notwendig (Häkämies et al., 2015, S. 9). Die Anlage 1 des Salzburger Bautechnikgesetzes legt den Einbau einer Lüftungsanlage beim Wohnungsneubau ab fünf Wohneinheiten fest (Salzburger Landesregierung, 2016). Aufgrund der Investitionskosten und den in den Medien immer wieder kommunizierten möglichen Gesundheitsrisiken von Lüftungen mit Wärmerückgewinnung dominiert die Abluftanlage den Wohnraumlüftungsmarkt in der gemäßigten Klimazone Westeuropas (Laverge & Janssens, 2012, S. 315). Die immer besser gedämmten Gebäudehüllen heben die Relevanz der Lüftungsverluste bei der Energiebilanz und die Thematik der Luftwärmerückgewinnung (Fracastoro & Serraino, 2010, S. 1283). Die Wärmerückgewinnung kann mit Wärmetauschern (Rotations- oder Plattenwärmetauscher) oder mit Hilfe von Wärmepumpen erfolgen.

Abluftwärme weist günstige Temperaturen für Wärmepumpen auf, wodurch die Abluftwärmepumpe von allen Wärmepumpen einen der höchsten Wirkungsgrade aufweist. Die Abluftwärmepumpe wird in nordeuropäischen Ländern wie Schweden oder Deutschland eingesetzt, da

eine herkömmliche Wärmepumpe aufgrund der Außentemperaturen dieser Länder einen geringeren Wirkungsgrad aufweist. (*Fracastoro & Serraino, 2010, S. 1283*)

Fracastoro und Serraino unterteilen Abluftwärmepumpen in zwei Arten. Luft-Luft Wärmepumpen erwärmen oder kühlen mit der entzogenen Wärmeenergie die Zuluft. Luft-Wasser Wärmepumpen nutzen die entzogene Wärmeenergie für Warmwasser und Raumwärme. (*Fracastoro & Serraino, 2010, S. 1283*)

In der Literaturrecherche dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt im Bereich der Forschung. Ziel der Literaturrecherche war es, einen Überblick über die im Rahmen von Forschungsprojekten bereits untersuchten Gebäudetechniksysteme mit Abluftwärmerückgewinnung. Mehrere Forschungsprojekte befassen sich mit der Frage, wie die Wärmeenergie aus der Abluft mit einer Wärmepumpe zurückgewonnen werden kann und in ein Gebäudetechnikkonzept eingebunden werden kann.

Dimitra Sakellari und Per Lundqvist führten eine Simulation einer direkt an die Fußbodenheizung angeschlossenen Abluftwärmepumpe durch. Eine Luft-Sole Wärmepumpe entzieht der Abluft verdampferseitig die Wärmeenergie und erwärmt damit kondensatorseitig den Rücklauf der Fußbodenheizung. Der geringe Energiebedarf gedämmter Gebäude ermöglicht den Einsatz von Niedertemperaturheizungen in Kombination mit Fußbodenheizungen. Weiters wurde untersucht wie die internen Gewinne und die solaren Gewinne das Heizsystem und den Komfort beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einfluss der solaren Gewinne höher ist als der Einfluss der internen Gewinne und die solaren Gewinne einen Einfluss auf das Raumklima und die Energieeffizienz des Gebäudes haben. Die möglichen schnellen Änderungen der solaren Gewinne stehen dem trägeren Heizsystem gegenüber und stellen eine Herausforderung für die Dimensionierung und Steuerung von Niedertemperatur-Heizsystemen dar. (*Sakellari & Lundqvist, 2005, S. 1048-1056*)

Lei Wang, Guoyuan Ma, Anna Ma, Feng Zhou und Fuping Li untersuchten eine Wärmepumpe mit einem Triplex-Kreislauf wie in Abbildung 2 dargestellt. Bei diesem System entziehen drei unabhängige Wärmepumpenkreisläufe der Abluft die Wärmeenergie und erwärmen schrittweise die Zuluft. Untersucht wurden die Heizleistung, der Coefficient of Performance (COP) und die Temperaturverteilungen im Gerät. Die Untersuchungen zeigen gute Ergebnisse des Triplex-Kreislaufs unter Winterverhältnissen. Die Heizleistung und der COP nehmen mit sinkenden Außenlufttemperatur zu. Ab einer Außenlufttemperatur über 2,5 °C entspricht der COP in etwa dem COP einer herkömmlichen Wärmepumpe, unter 2,5 °C verbessert sich der COP der Wärmepumpe gegenüber herkömmlichen Systemen und erreicht bei einer Außentemperatur von -20 °C einen COP von 9,33. (*Wang, L., Ma, Ma, Zhou & Li, 2018, S. 384-392*)

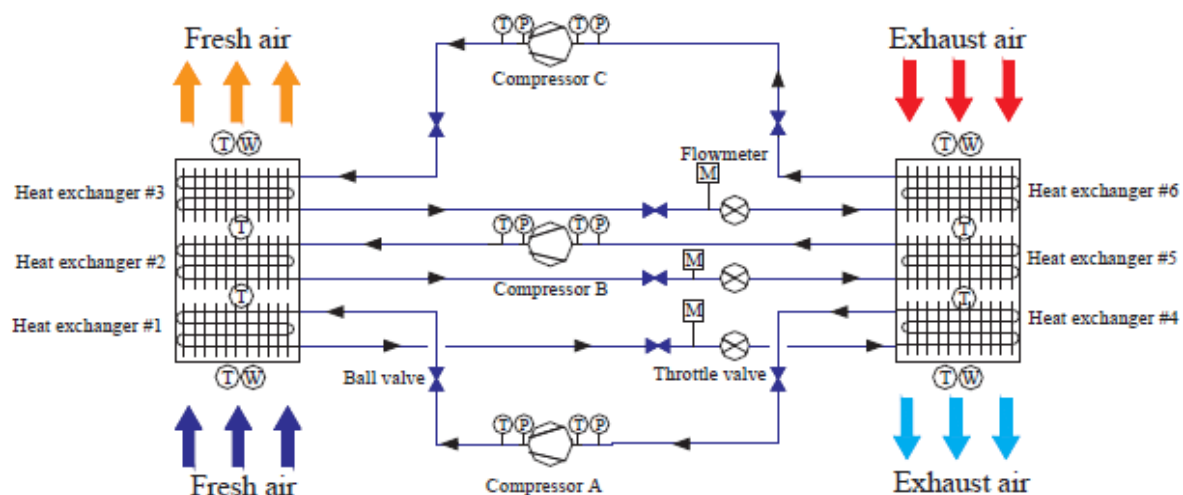
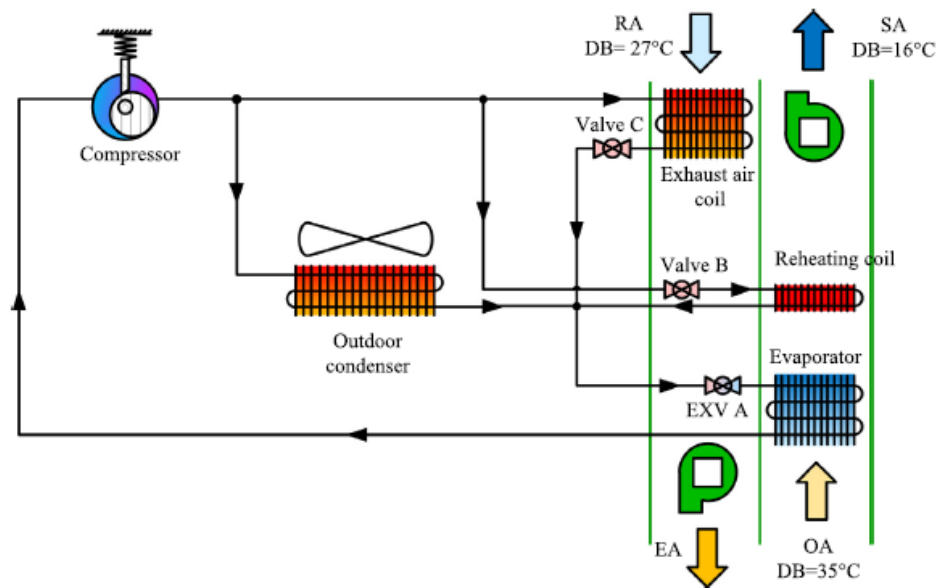


Abb. 2: Wärmepumpe mit einem Triplex-Kreislauf (Wang, L. et al., 2018, S. 384-392)

Gian Vincenzo Fracastoro und Matteo Serraino führten eine Energieanalyse von Gebäuden mit Abluftwärmepumpen durch und geben einen Überblick über verschiedene Einsatzmöglichkeiten und Funktionsweisen der Abluftwärmepumpe. Dabei wurden Abluftwärmepumpen zur Kühlung und Heizung auf deren Primärenergiebedarf und COP untersucht. Es wurde ein Monitoring einer Abluftwärmepumpe durchgeführt und die Ergebnisse von Simulationen aus mehreren Simulationsprogrammen gegenübergestellt, wobei bei den einzelnen Simulationen die Abweichungen hinsichtlich Spitzenlast und der durchschnittlichen Heizleistung unter 10 % lagen. (Fracastoro & Serraino, 2010, S. 1283-1289)

Zi-Yang Zhang, Chun-Lu Zhang, Mei-Cai Ge und Yue Yu entwickelten ein System mit drei Kondensatoren und einem Verdampfer im Kühlmodus. Im Heizmodus sind ein Kondensator und zwei Verdampfer in Betrieb (der dritte ist nicht in Betrieb).

Im **Kühlmodus** entzieht ein Verdampfer der Zuluft die Wärmeenergie, die Wärme wird über einen Kondensator an die Außenluft, über den zweiten Kondensator an die Abluft der Lüftung abgegeben. Der dritte Kondensator dient als Nachheizregister, und sorgt gemeinsam mit dem Verdampfer für eine Luftentfeuchtung. (Zhang, Z.-Y., Zhang, Ge & Yu, 2018, S. 1041-1050) Die Abbildung 3 zeigt das entwickelte Konzept im Kühlmodus mit den drei Kondensatoren und dem einen Verdampfer für die Kühlung der Zuluft.



(OA- outdoor air; SA- supply air; RA- return air; EA- exhaust air)

Abb. 3: System im Kühlmodus (Zhang, Z.-Y. et al., 2018, S. 1041-1050)

Im **Heizmodus** wird das System umgekehrt, ein Kondensator sorgt für die Erwärmung der Zuluft, ein Verdampfer an der Außenluft und ein Verdampfer in der Abluft entziehen der Luft die Wärmeenergie. Das im Kühlmodus als Nachheizregister verwendete Element ist im Heizmodus nicht im Betrieb. (Zhang, Z.-Y. et al., 2018, S. 1041-1050)

Abbildung 4 zeigt das entwickelte Konzept im Heizmodus mit den zwei Verdampfern und dem einen Kondensator für die Erwärmung der Zuluft.

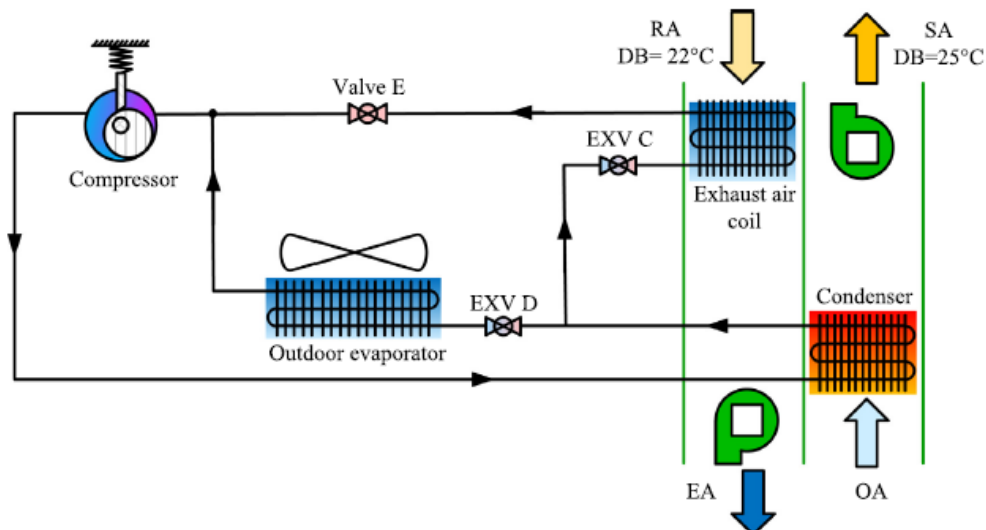


Abb. 4: System im Heizmodus (Zhang, Z.-Y. et al., 2018, S. 1041-1050)

Martin Thalfeldt, Jarek Kurnitski und Eduard Latõšov führten einen Vergleich verschiedener Einbindungsvarianten bei dem in Abbildung 5 dargestellten Gebäudetechnikkonzept mit einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung durch Luft-Luftwärmetauscher und einer Abluftanlage mit einer Abluftwärmepumpe bei sanierten Wohngebäuden durch. Die Wärmeenergie aus der Abluftwärmepumpe wird in den Pufferspeicher und direkt in den Heizkreis eingespeist. Die direkte Einspeisung in den Heizkreis führt zu einer Anhebung der Rücklauftemperatur. Im Zuge dessen wurden drei Varianten für die Einbindung der Wärmeenergie aus der Abluftwärmepumpe in den Heizkreis entwickelt, mit Hilfe von IDA ICE simuliert und Rücklauftemperaturen und Energieverbräuche verglichen. Die Rücklauftemperaturen betragen je nach Anschlussart 32 °C bis 37 °C, die unterschiedlichen Anschlusstypen ergaben bei der Simulation keinen wesentlichen Einfluss auf die Jahresarbeitszahl (Thalfeldt, Kurnitski & Latõšov, 2018, S. 402-414)

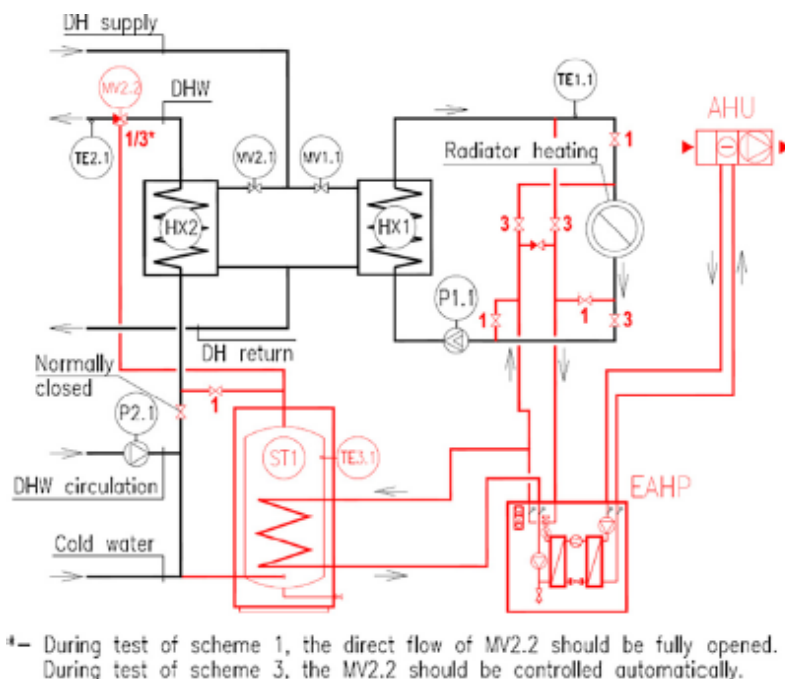


Abb. 5: Gebäudetechnikkonzept mit Lüftung mit Wärmerückgewinnung und Abluftanlage (Thalfeldt et al., 2018, S. 402-414)

Jevgeni Fadejev, Raimo Simson, Jarek Kurnitski und Jyrki Kesti führten eine Simulation eines in Abbildung 6 dargestellten Gebäudetechnikkonzept mit Abluftwärmerückgewinnung in Kombination mit einer Wärmepumpe und Energiepfähle für die Wärmespeicherung mit IDA ICE durch. Bei dem Konzept wird die Abluftwärme zuerst mit einem Luft-Luft-Wärmetauscher für die Erwärmung der Zuluft verwendet, anschließend wird mit einem Luft-Sole Wärmetauscher der Abluft weitere Wärmeenergie entzogen und über eine Wärmepumpe in den Erdwärmespeicher eingespeist. Die Simulationen mit einer Laufzeit von 20 Jahren ergeben, dass die saisonale Wärmespeicherung den Energieertrag durch Erdwärme um ca. 25 % erhöhen. Die speicherbare Wärmeenergie ist begrenzt durch die Ablufttemperatur und durch die maximale Temperatur auf die der Boden erwärmt werden kann. (Fadejev, Simson, Kurnitski & Kesti, 2016, S. 478-488)

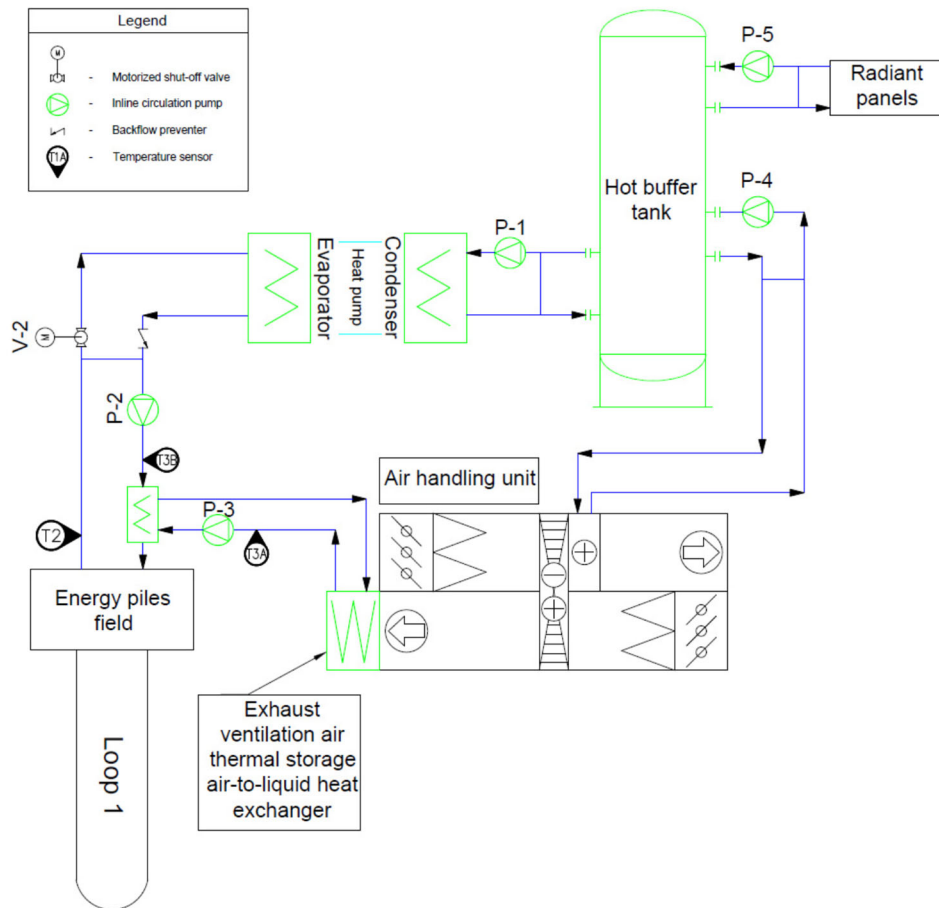


Abb. 6: Gebäudetechnikkonzept mit Abluftwärmerückgewinnung in Kombination mit einer Wärmepumpe und Energiepfählen (Fadejev et al., 2016, S. 478-488)

J.Kensby, A. Trüschel und J.O.Dalenbäck beschreiben eine Methode zur Heizkosteneinsparung bei einem Wohnbau mit Fernwärme und Abluftwärmepumpe. Bei diesem System wird abwechselnd die Fernwärme oder die Abluftwärmepumpe zur Wärmeherzeugung genutzt. Es wird jeweils das Heizsystem mit den im Moment geringeren Betriebskosten genutzt. Die stündlichen Stromkosten und Fernwärmekosten müssen dafür bekannt sein. Die Ergebnisse zeigen bei einem Mehrfamilienhaus eine Heizkosteneinsparung von 3,2 %. (*Kensby, Trüschel & Dalenbäck, 2017, S. 470-480*)

Kuan Wang, Nianping Li, Jinqing Peng und Yingdong He untersuchten die Optimierung eines Systems mit Abluftwärmerückgewinnung, Solaranlagen, Erdwärmespeicher und eine Erdwärmepumpe. Der Optimierungsvorschlag berücksichtigt die Temperatur der Abluft und die solaren Gewinne des nächsten Tages. Bei dem System wird die Wärmeenergie mittels Wärmetauscher aus der Abluft gemeinsam mit den Gewinnen aus der Solaranlage in den Erdwärmespeicher eingespeist. (*Wang, K., Li, Peng & He, 2017, S. 1-19*)

Georgios Dermentzis, Fabian Ochs und Wolfgang Feist entwickelten eine Kombination aus einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung und einer Wärmepumpe. Bei dem in Abbildung 7 dargestellten Konzept wird im ersten Schritt die Wärme mit einem Luft-Luft-Wärmetauscher zurückgewonnen, anschließend wird die Zuluft mit Hilfe einer Wärmepumpe weiter erwärmt. Der Verdampfer der Wärmepumpe entzieht der Abluft nach dem Luftwärmetauscher Wärmeenergie, der Kondensator erwärmt die Zuluft weiter. Das Gesamtsystem soll kostengünstig und kompakt für eine Integration in eine vorgefertigte Holzfassade sein. (Dermentzis, Ochs & Feist, 2017, S. 1-11)

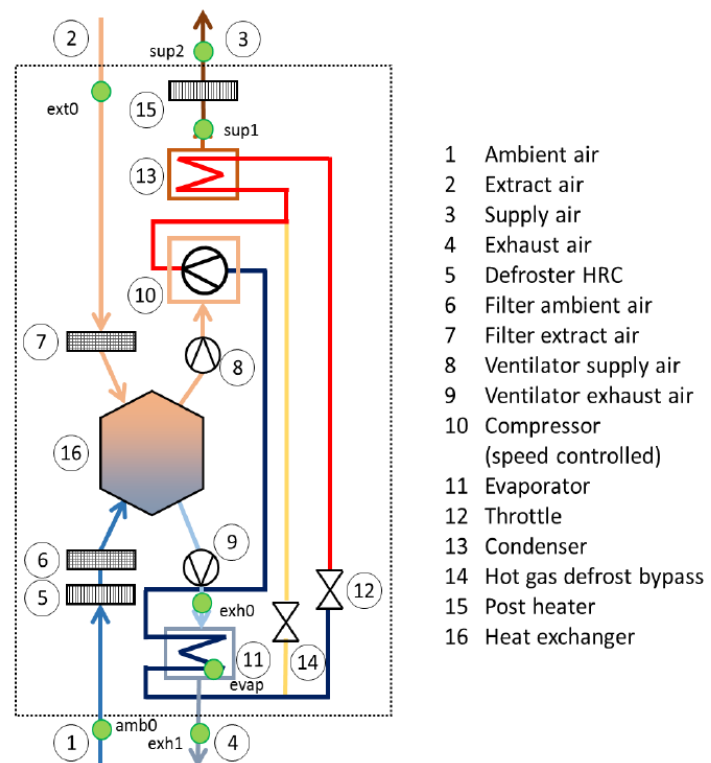


Abb. 7: Wärmerückgewinnung mit Luftwärmetauscher und Wärmepumpe (Dermentzis et al., 2017, S. 1-11)

Die in diesem Kapitel beschriebenen Forschungsprojekte sehen in der Abluft ein hohes Wärmepotential und durch die Temperatur der Abluft gute Möglichkeiten für die Nutzung von Wärmepumpen. Mehrere Ansätze zur Wärmerückgewinnung aus Abluft und die Einbindung von Abluftwärmerückgewinnung in ein Gebäudetechnikkonzept wurden entwickelt. Bei den Forschungsprojekten steht neben der Entwicklung neuer Konzepte, die Erhöhung des COPs sowie eine Kostensenkung im Vordergrund der Untersuchungen. Das tatsächliche Potential zur Wärmerückgewinnung aus Abluft und die Deckung des Wärmebedarfes des Gebäudes durch die Abluftwärmerückgewinnung stand nicht im Fokus der Forschungen.

2.2. Abwasserwärmerückgewinnung

Das täglich anfallende Abwasser enthält eine große Menge an Wärmeenergie. 40 % der produzierten Wärmeenergie in Städten werden in das Kanalsystem geleitet. (Hepbasli et al., 2014, S. 701-702) Dieses Wärmepotential im Abwasser ermöglicht aufgrund des Temperaturniveaus eine Wärmerückgewinnung und dadurch eine Energieeinsparung (International Conference on Renewable Energies for Developing Countries & REDEC, 2014, S. 118), insbesondere bei Heizen und Kühlen über Wärmepumpen (Postrioti et al., 2016, S. 961). Das gegenüber der Außenluft im Winter höhere und im Sommer niedrigere Temperaturniveau des Abwassers ermöglicht eine Kühlung im Sommer und eine Heizung im Winter (Hepbasli et al., 2014, S. 701). Wasser bzw. Abwasser weist auf Grund der höheren Wärmekapazität als Luft, eine bessere Wärmeübertragung und folglich bessere Eigenschaften für die Wärmerückgewinnung auf (Ramadan, Murr, Khaled & Olabi, 2018, S. 1010).

Die Simulation von Abwasserwärmerückgewinnung ist aufgrund der notwendigen Eingangsdaten schwierig. Es gibt wenig Statistiken zum Temperaturniveau von Abwasser, folglich wird ein vom Warmwasserverbrauch abhängiger Eingangsparameter verwendet. Statistiken über den Warmwasserverbrauch sind oft nicht in einem für die Simulation von Abwasserwärmerückgewinnung erforderlichen Detaillierungsgrad vorhanden. Für eine Bestimmung des Wärmepotentials im Abwassers ist ein Verbraucherprofil inklusiv der jeweiligen Abwassertemperatur notwendig. (Meggers & Leibundgut, 2011, S. 880)

Um 1980 wurden in Norwegen die ersten Abwasserwärmepumpen entwickelt (Shen et al., 2018, S. 140). Seitdem befassen sich Forschungsprojekte immer wieder mit diesem Thema.

Dieser Teil der Literaturrecherche befasst sich mit Forschungsprojekten bei denen Systeme mit Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination mit Wärmepumpen untersucht wurden. Forschungsprojekte mit Abwasserwärmerückgewinnung ohne Wärmepumpen, beispielsweise bei der Dusche zur Vorwärmung des Leitungswassers mit Wärmetauschern, oder die Wärmerückgewinnung außerhalb des Grundstückes (z.B. bei Kläranlagen) werden nicht behandelt.

Die folgenden drei Paper geben einen Überblick über Forschungsprojekte mit Abwasserwärmerückgewinnung. Anschließend werden vier Beispiele für Forschungsprojekte im Bereich Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination mit Wärmepumpen erläutert.

Arif Hepbasli, Emrah Biyik, Orhan Ekren, Huseyin Gunerhan und Mustafa Araz geben in ihrem 2014 veröffentlichten Paper eine Übersicht über 33 Forschungsprojekte mit Abwasserwärmepumpen und beurteilen die entwickelten Abwasserwärmepumpensysteme bezüglich Energie, Exergie, Ökonomie und Umweltverträglichkeit. (Hepbasli et al., 2014, S. 700-722)

2018 veröffentlichten **Chao Shen, Zhuoyu Lei, Yuan Wang, Chenghu Zhang und Yang Yao** ein Paper mit einem Überblick über nur in Chinesisch veröffentlichten Forschungen und Anwendung der Abwasserwärmepumpen in China. (Shen et al., 2018, S. 140-156)

Oguzhan Culha, Huseyin Gunerhan, Emrah Biyik, Orhan Ekren und Arif Hepbasli geben eine Übersicht über verschiedene Wärmetauscher für die Abwasserwärmerückgewinnung mit Wärmepumpen. (Culha, Gunerhan, Biyik, Ekren & Hepbasli, 2015, S. 215-232)

Lanbin Liu, Lin Fu und Yi Jiang untersuchten ein in Abbildung 8 dargestelltes Gebäudetechniksystem mit einer Kombination aus Abwasserwärmerückgewinnung mit einer Wärmepumpe und einer Solaranlage hinsichtlich Effizienz und Ökonomie. Untersucht wird das System für öffentliche Duschen mit großen anfallenden Wassermengen und einer hohen Auslastung aufgrund eingeschränkter Öffnungszeiten. Die Solarkollektoren erwärmen das Duschwasser, danach wird das Abwasser gesammelt, eine Wärmepumpe gewinnt die Wärme zurück und erwärmt damit das Leitungswasser. Bei einer Kollektorfläche von 35 m³ wird aus ökonomischer Sicht das beste Ergebnis erzielt. Das System wurde hinsichtlich den Anschaffungskosten und den Betriebskosten einer Kohle-, einer Gas-, einer Ölheizung, einer elektrischen Heizung und einer Heizung mit nur Solaranlage gegenübergestellt. Die Anschaffungskosten sind bei dem System mit nur einer Solaranlage am höchsten, die höchsten Betriebskosten fallen bei der Ölheizung an. Beim untersuchten System mit Solaranlage und Wärmerückgewinnung durch die Wärmepumpe fallen die zweithöchsten Anschaffungskosten und die niedrigsten Betriebskosten an. (Liu et al., 2010, S. 1476-1481)

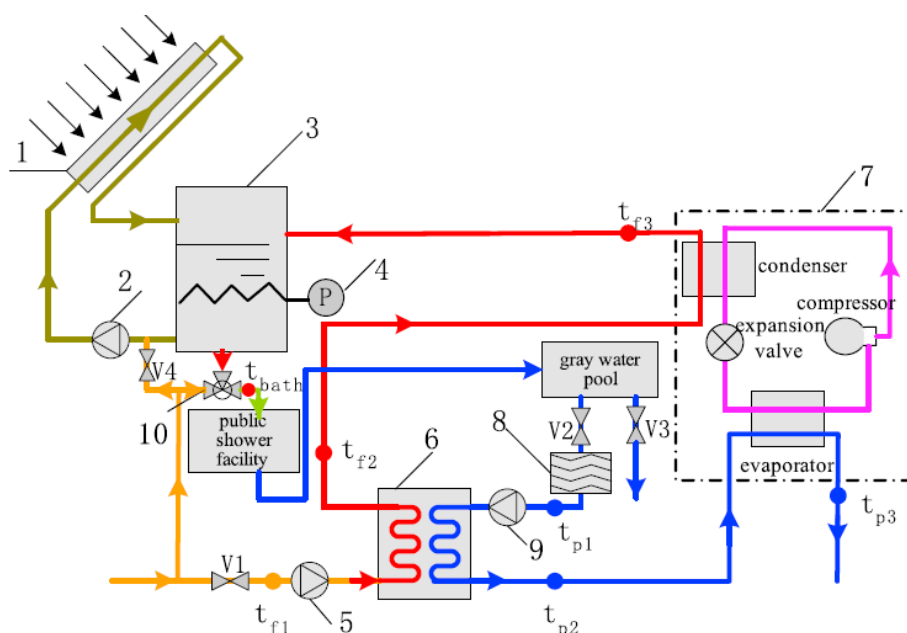


Abb. 8: Kombination aus Abwasserwärmerückgewinnung mit Wärmepumpe und Solaranlage (Liu et al., 2010, S. 1476-1481)

- 1-solar collector; 2-pump for collector; 3-heat storage tank; 4-electric heater;
5-water pump; 6-water-water heat exchanger; 7-water-water heat pump; 8-filter;
9-wastewater pump; 10-tee joint mixing valve;

Mohamad Ramadan, Rabih Murr, Mahmoud Khaled und Abdul Ghani Olabi

vergleichen 2017 drei verschiedene Möglichkeiten der Abwasserwärmenutzung für die Erwärmung der Zuluft. Bei den drei Varianten wurde die aus dem Abwasser gewonnene Energie ermittelt sowie die mögliche Erhöhung des COPs der Wärmepumpe durch diese Systeme und gegenübergestellt. Bei der ersten Variante in Abbildung 9 wärmt das Abwasser die Zuluft mittels Luft-Wasserwärmetauscher vor, anschließend erwärmt eine Luft- Luft-

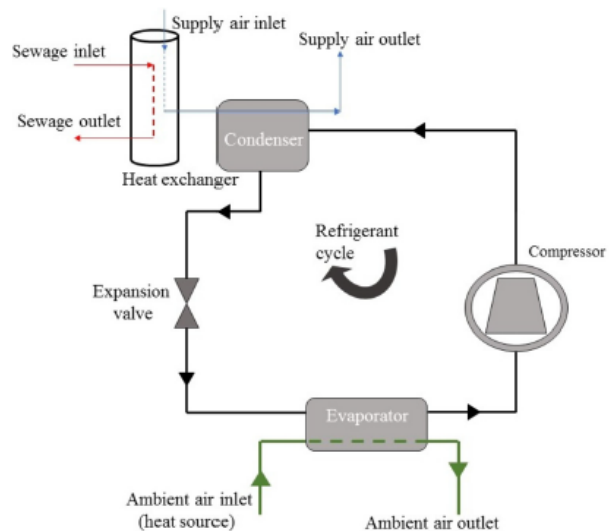


Abb. 9: Variante 1 (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)

wärmepumpe die Zuluft auf die gewünschte Temperatur. Bei der zweiten Variante in Abbildung 10 erwärmt eine Luft-Wasserwärmepumpe die Zuluft. Verdampferseitig bildet das Abwasser die Wärmequelle. Die dritte Variante in Abbildung 11 ist eine Kombination der ersten und zweiten Variante. Das Abwasser wärmt mittels Luft-Wasserwärmetauscher die Zuluft vor, anschließend dient das Abwasser als Wärmequelle für die Luft-Wasserwärmepumpe, zur weiteren Erwärmung der Zuluft. Die größte Verbesserung des COPs sowie die größte Energiereduktion und Kostenersparnis und CO₂-Reduktion im Betrieb, konnte bei der Variante 3 festgestellt werden. (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)

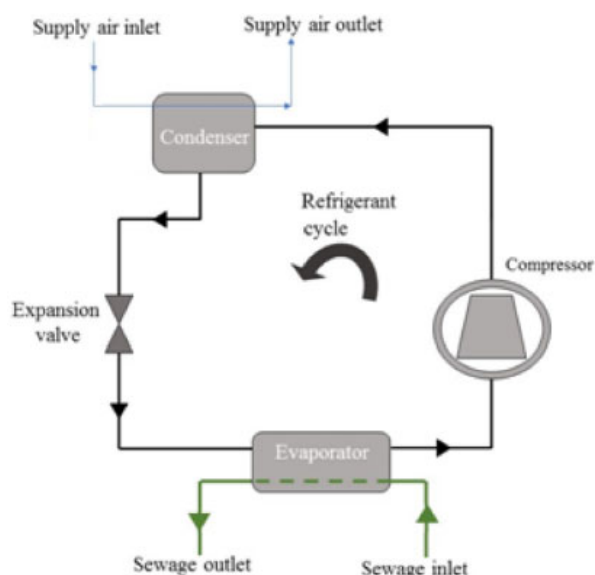


Abb. 10: Variante 2 (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)

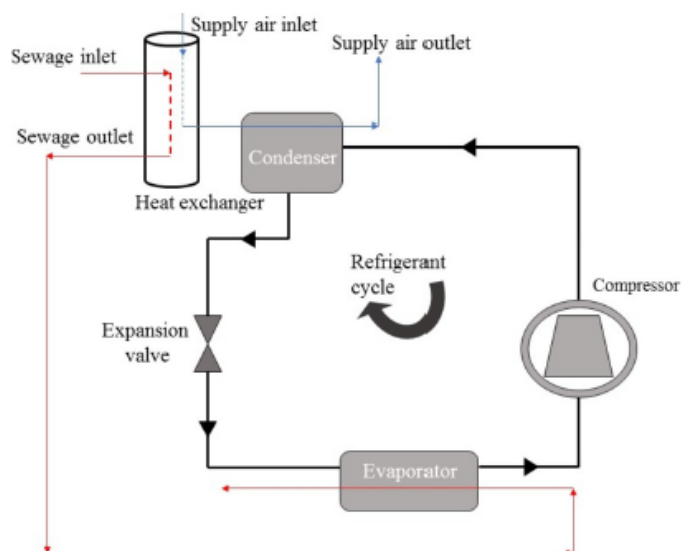
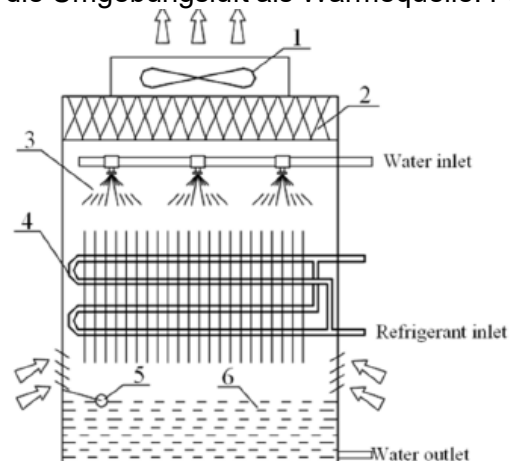


Abb. 11: Variante 3 (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)

Handong Wang, Qin Wang und Guangming Chen untersuchten ein System mit Abwasser und Raumluft (keine Abluft) als Wärmequelle wodurch der Raum gekühlt wird. Durch eine schnelle Warmwasserbereitung ist kein Pufferspeicher erforderlich und macht das System kompakter als herkömmliche Systeme. Es kann in- oder außerhalb des Bades installiert werden. Untersucht wurde der COP bei verschiedene Quell- und Vorlaufttemperaturen. Bei dem System wird das Wasser mittels Wärmetauscher (Abwasser – Frischwasser) vorgewärmt, anschließend wird dem Abwasser weitere Wärmeenergie über die Wärmepumpe entzogen, die Wärmepumpe erwärmt das Frischwasser mit der Wärme aus Abwasser und Raumluft. Die Untersuchungen ergaben eine Verbesserung des COPs um 20 %, der COP variiert bei diesem System zwischen 3,69 und 5,70. (Wang, H., Wang & Chen, 2013, S. 581-589)

Das von **Tianjiao Zhang, Jili Zhang und Liangdong Ma** entwickelte System gewinnt im ersten Schritt die Wärme aus dem Abwasser zurück. Wird weitere Wärmeenergie benötigt dient die Umgebungsluft zur Warmwasserbereitung. Das in Abbildung 12 dargestellten System sprüht das Abwasser auf den Verdampfer, dieser Vorgang wiederholt sich bis das Abwasser eine Temperatur von 8 °C erreicht hat. Danach dient die Umgebungsluft als Wärmequelle. Für eine bessere Wärmeübertragung sind die Rohrleitungen des Verdampfers mit Rippen ausgestattet. Im Zuge des Forschungsprojektes wurde untersucht welcher COP mit diesem System erreicht werden kann. Der COP ist Abhängig von der Menge und der Temperatur des gesprühten Wassers, das Maximum des Systems liegt bei einem COP von 5,2. (Zhang, T., Zhang & Ma, 2017, S. 1920-1926)



1-fan 2-dehydrator 3-spray system 4-heat exchange coil 5-float valve 6-water collection tank.

Abb. 12: Wärmegewinnung aus Abwasser und Umgebungsluft (Zhang, T., Zhang & Ma, 2017, S.

Bei den Forschungsprojekten stehen neben der Konzeptentwicklung vorwiegend die Verbesserung des COPs durch verschiedene Konzepte der Wärmerückgewinnung aus Abwasser und die Kosten im Vordergrund. Zwei Systeme nutzen eine Wärmepumpe für die Wärmerückgewinnung aus der Umgebungsluft und der Abwasserwärme. Diese Systeme wurden für die Wärmebereitstellung des Warmwassers und nicht die Raumwärme entwickelt und sind dadurch mit dem System von ZeCaRe II nicht vergleichbar. Im Zuge der Literaturrecherche konnte kein ZeCaRe II ähnliches Forschungsprojekt entdeckt werden.

3. Randbedingungen und Konzeptbeschreibung

Für die Simulation wurden in Absprache mit den Projektpartnern 298 Bewohnerinnen und Bewohner für die gesamte Siedlung festgelegt. Bei der Personenbelegung wurde von einer Person pro Zimmer bzw. bei kleinen 2- Zimmer Wohnungen eine Person pro Wohnung ausgegangen. Die Simulation erfolgte in zwei Schritten. Dieses Kapitel beschreibt das Referenzgebäude und die Gebäudetechnik sowie die für die Simulation festgelegten Randbedingungen.

3.1. Referenzgebäude

Das Referenzgebäude Haus 9 befindet sich im Nordosten des Siedlungsgebietes und besteht aus 12 Wohnungen auf vier Geschossen. Bei den Gebäuden werden sämtliche Zwischendecken mit einem neuen Fußbodenaufbau versehen, die Decke zum Keller mit entsprechender Dämmung ausgestattet und alle Fenster getauscht bzw. vergrößert, für eine bessere Belichtung der Räume. Bei den zwei unteren Bestandsgeschoßen ist für die Außenwand eine Zellulosedämmung geplant. Bei der Aufstockung in den beiden obersten Stockwerken sind Außenwände in Massivholzbauweise geplant. Aus Brandschutzgründen ist eine Dämmung aus Mineralwolle erforderlich. Die Zwischendecken der Aufstockung sind aus Brandschutzgründen in Stahlbeton geplant. Eine detaillierte Liste mit den Bauteilaufbauten befindet sich im Anhang. Die Bruttogeschosßfläche des Haus 9 beträgt 1227 m² und die Wohnnutzfläche ist mit 833,93 m² geplant. An der Ostseite des Gebäudes befinden sich die Erschließungsflächen mit Stiegenhaus und Lift. Im Kellergeschoß befindet sich die Gebäudetechnik für das gesamte Siedlungsgebiet. Im südlichen Bereich der Ostfassade befindet sich an der Außenseite ein Pufferspeicher mit 30 m³ für das gesamte Siedlungsgebiet. Das Flachdach des Hauses 9 wird einem Beschluss des Gestaltungsbeirates der Stadt Salzburg folgend begrünt und verfügt über keine PV-Anlage.

Grundlage für die Simulation sind der Einreichplan vom 20.12.2018, der erstellte Energieausweis vom 21.12.2018, der Zwischenstand des Gebäudetechnikkonzepts des Ingenieurbüros für Gebäudetechnik TB Stampfer vom 27.02.2019, das SIA Merkblatt sowie Wetterdaten von 2018 am Standort Salzburg (Flughafen). Die angenommene Raumtemperatur für die Simulation beträgt 22 °C.

3.1.1. Gebäudekörper

Die 12 Wohnungen sind wie in Abbildung 14 anhand des Grundrisses vom zweiten Obergeschoß dargestellt, jeweils in eine Abluftzone bestehend aus Bad, WC bzw. Küche, falls diese ein eigener Raum ist, und eine Zuluftzone eingeteilt. Separat eingegebene interne Massen bei der jeweiligen Zone des Simulationsmodells in Abbildung 13 ergänzen die fehlenden internen Massen der Zwischenwände (siehe Anhang). Der Keller ist unbeheizt.

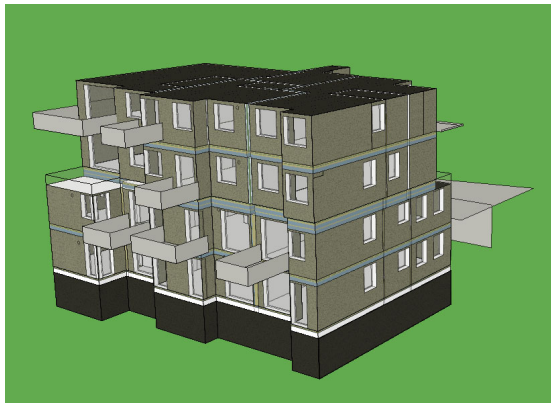


Abb. 13: 3D Modell IDA ICE (Eigene Darstellung)

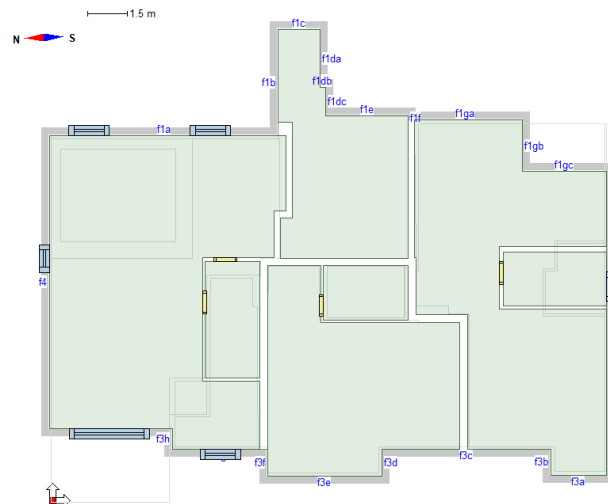


Abb. 14: Modell IDA ICE - 2. OG (Eigene Darstellung)

Die dem Energieausweis entnommenen U-Werte der Außenwände betragen in den bestehenden Geschoßen $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, in den Obergeschoßen $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ bzw. im Bereich des nachgebildeten Giebels $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das Flachdach weist einen U-Wert von $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Die detaillierten Bauteilaufbauten befinden sich im Anhang. Eine Verschattung durch Fensterlaibungen von 30 cm und Balkone ist berücksichtigt. Die Simulation berücksichtigt keine Verschattung durch angrenzenden Gebäude und Vegetation.

3.1.2. Interne Gewinne

Die internen Wärmegewinne von Personen, Beleuchtung und Geräten inklusiv derer Lastgänge sind dem SIA Merkblatt entnommen. Im Zeitraum von 6:30 bis 8:00 und 17:00 bis 22:30 betragen die internen Wärmegewinne durch Beleuchtung $2,7 \text{ W/m}^2$. Die internen Wärmegewinne durch 36 Personen beim Haus 9 berücksichtigen das Personenbelegungsprofil des SIA Merkblatt. Den Gewinnen von 8 W/m^2 durch Geräte und das Nutzungsprofil entsprechen dem SIA Merkblatt. (NORM SIA 2024)

3.1.3. Lüftung

Die Zuluft erfolgt bei der Simulation über eine Undichtigkeit in der westseitigen Fassade und strömt über eine Undichtigkeit oberhalb der Badtür von der Zuluftzone in die Abluftzone. Die dem Lüftungskonzept des Ingenieurbüros für Gebäudetechnik TB Stampfer übernommenen Luftvolumenströme der Abluftanlage betragen in Bad, WC, Küche und Abstellraum in der Grundlüftung jeweils 15 m³/h und in der an den Lichtschalter gekoppelten Bedarfslüftung in Bad und WC 40 m³/h eine Bedarfslüftung in der Küche kann manuell eingeschaltet werden. Der konstante Luftvolumenstrom bei der Simulation beträgt unter Berücksichtigung der Bedarfslüftung 4302,48 m³/h für die gesamte Siedlung. Der konstante Luftvolumenstrom setzt sich aus der Grundlüftung und der Erhöhung durch die Bedarfslüftung zusammen. Die Erhöhung durch die Bedarfslüftung wurde für die Simulation personenbezogen errechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass jede Person in der Frühe ins Bad geht, das Licht bzw. die Bedarfslüftung einschaltet, eine gewisse Zeit im Bad verbringt und danach wieder ausschaltet. Eine Umfrage der Firma Holter im Jahr 2018 ergab, dass in Österreich eine Person am Tag durchschnittlich 18 Minuten in der Früh und 18 Minuten am Abend im Bad verbringt (*Fritz Holter GmbH, o.J.*). Eine weitere Studie zeigt, dass in Europa durchschnittlich 6,5 h pro Woche bzw. 56 Minuten pro Tag gekocht wird. Für die Simulation wurde angenommen, dass eine Person pro Wohnung 56 Minuten in der Küche verbringt (*CHEFS CULINAR GmbH & Co. KG, o.J.*). Diese 56 Minuten verhältnismäßig auf alle Personen umgerechnet, ergibt 18,6 Minuten pro Person und pro Tag in der Küche.

$$\text{Anwesenheit in der Küche} = \frac{56 \text{ Minuten} \times \text{Anzahl der Wohnungen}}{\text{Personenanzahl}}$$

Berechnung der Bedarfslüftung:

$$\text{Bedarfslüftung} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \text{Grundlüftung} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] + \text{Erhöhter Luftvolumenstrom} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

$$\begin{aligned} \text{Erhöhter Luftvolumenstrom} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = \\ \left(\text{Bedarfslüftung} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] - \text{Grundlüftung} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \right) \times \text{Personenanzahl} \times \frac{0,3 [\text{h}] + 0,3 [\text{h}] + 0,31 [\text{h}]}{24 \text{ h}} \end{aligned}$$

Eine detaillierte Liste der Volumenströme befindet sich im Anhang.

Beim Gebäude ist kein außenliegender Sonnenschutz geplant. Eine Nachtlüftung (Fensterlüftung) zwischen 20:00 und 06:30 ab einer Innentemperatur von 25°C verringert die sommerlichen Überwärmung der Räume. Ideale Heizelemente in den Zonen regelt die Raumtemperatur in der Simulation auf die Mindestraumtemperatur von 22°C. Die Allgemeinfläche verfügt über kein Heizelement und keine Lüftung.

3.1.4. Warmwasserbedarf

Laut dem SIA Merkblattes benötigt eine Person täglich 35 Liter Warmwasser mit 55 °C (*NORM SIA 2024*). Bei der Annahme von 298 Bewohnerinnen und Bewohner entspricht das einem täglichen Warmwasserbedarf von 10430 Liter mit 55 °C pro Tag für die gesamte Siedlung.

3.1.5. Abwasser

Insgesamt liegt der Wasserverbrauch (Warm – und Kaltwasser) einer Person bei 140 Liter pro Person, wobei 35 Liter auf Warmwasser und 105 Liter auf Kaltwasser fallen. Bei den Angenommenen 298 Personen entspricht das einer täglichen Abwassermenge von 41720 Liter mit einer Mischtemperatur von 17,5 °C für die gesamte Siedlung. Wärmeverluste in den Abflussrohren und im Abwassertank wurden nicht berücksichtigt.

3.2. Gebäudetechnik

Dieses Kapitel beschreibt das Gebäudetechnikkonzept mit den angenommenen Randbedingungen, sowie die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Daten bzw. den Aufbau der Simulation im IDA ICE.

Das Gebäudetechnikkonzept des Forschungsprojektes umfasst eine Pelletsheizung, zwei Wärmepumpen für die Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung, eine E-Patrone und eine PV-Anlage. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Zweileitersystem (Vorlauf (VL): 55 °C; Rücklauf (RL): 30 °C) mit Wohnungsstationen. Die Ergebnisse aus der Simulation des Referenzgebäudes bilden die Grundlage für die Simulation der Gebäudetechnik. Eine Erhöhung des Wärmeenergiebedarfs für Warmwasser und Raumwärme um 15 % berücksichtigt die Verteilverluste vereinfacht. Die Speicherung der Wärmeenergie für das gesamte Gebiet erfolgt in einem Pufferspeicher mit einer Höhe von 8 m und einem Radius von 0,9 m und einem U-Wert von 0,1 W/m²K. Die Bereitstellungsverluste ergeben sich aus der Simulation der Gebäudetechnik.

Die Ermittlung der nutzbaren Wärmeenergien aus den Wärmepumpen für Abwasser und Abluft erfolgt durch Berechnungen mit Excel und durch Simulationen mit IDA ICE.

Die **Abluftwärmerückgewinnung** erfolgt am Dach bei den insgesamt acht Abluftanlagen mittels Sole-Luftwärmetauschern. Eine im Dauerbetrieb laufende Wärmepumpe mit einem Coefficient of Performance (COP) von 4 hebt die Temperatur auf das erforderliche Temperaturniveau für eine Einspeisung in den Pufferspeicher. Der konstante Abluftvolumenstrom von 4302,48 m³/h beträgt bei der Simulation 22 °C. Der Abluftvolumenstrom wurde, wie im Kapitel 3.1.3. Lüftung beschrieben, aus Grund- und Bedarfslüftung, in Abhängigkeit der Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner errechnet. Die Temperaturspreizungen beim Wärmetauscher betragen in der Abluft (vor- und nach dem Wärmetauscher) 17 K, bei der Sole auf der Quellseite 4 K (4 °C Einlass, 0 °C Auslass) und auf der Abgabeseite zum Pufferspeicher 30 K (60 °C VL, 30 °C RL).

Die **Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie** aus der Abluft erfolgte mit Excel und IDA ICE. Bei der Ermittlung wurde aufgrund der aktuellen Planungsphase und der folglich begrenzt vorhandenen Daten eine vereinfachte Berechnung mit einem COP der Wärmepumpe von 4 angenommen. Die für das Projekt ZeCaRe II geplanten Wärmepumpen wurden bereits beim Bauprojekt Kolpinghaus in Salzburg eingesetzt. Das laufende Monitoring der Anlage durch die ECA energy consulting austria gmbh zeigt, dass der COP von 4 mit dieser Wärmepumpe möglich ist.

Bei der Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie waren als Ausgangsparameter der Abluftvolumenstrom, die Temperatur der Abluft und der COP bekannt. Im Ersten Schritt wurde die für die Wärmepumpe nutzbare Umgebungswärme mit Hilfe von IDA ICE ermittelt. Das in Abbildung 15 dargestellte Wärmetauscherelement errechnet die nutzbare Umweltwärme für die Wärmepumpe aus der Abluft. Durch Eingabe des durchschnittlichen Abluftvolumenstroms und die Ablufttemperatur bei einem in Abbildung 15 dargestellten Wärmetauscherelement wird im Eingabefeld des Wärmetauschers die Umweltwärme (Leistungsaufnahme des Wärmetauschers) ausgegeben.

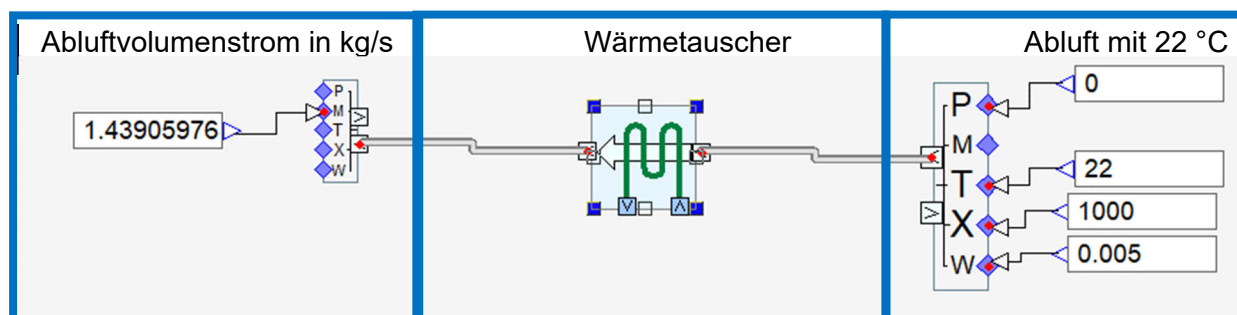


Abb. 15: Wärmetauscher IDA ICE (Eigene Darstellung)

Über den COP der Wärmepumpe und der im IDA ICE ermittelten nutzbaren Umgebungswärme erfolgte die Berechnung der Wärmepumpenleistung (abgegebene Wärmeenergie aus der Wärmepumpe) und anschließend die Berechnung des Massenstromes zwischen Wärmepumpe und Pufferspeicher. Die von der Wärmepumpe abgegebene Wärmeenergie besteht zu drei Viertel aus der Umgebungswärme und einem Viertel Strom.

Berechnung der Wärmepumpenleistung (QH) bei einem COP von 4:

$$Q_H [W] = \frac{\text{Umgebungswärmeleistung [W]}}{3} \times 4$$

$$Q_H [W] = 35381.33 \text{ W}$$

Berechnung Massestrom (ṁ) zwischen Wärmepumpe und Pufferspeicher in kg/s für die Eingabe im IDA ICE:

Die Vorlauftemperatur zwischen Pufferspeicher und Wärmepumpe beträgt 60 °C, die Rücklauftemperatur 30 °C. Im nächsten Schritt wurde der notwendige Massenstrom zwischen Pufferspeicher und Wärmepumpe für die Einspeisung der Wärmeenergie aus der Wärmepumpe in den Pufferspeicher ermittelt.

Spezifische Wärmekapazität (Cp) Wasser = 4.187 kJ/(kg·K)

Temperaturspreizung Abgabeseitig Δt = 30 K

$$\dot{m} = \frac{Q_H}{C_p \text{ Wasser} \times \Delta t \times 1000}$$

$$\dot{m} = 0.281676 \text{ kg/s}$$

Eingabe im IDA ICE:

Abbildung 16 zeigt den Aufbau der Abluftwärmerückgewinnung und die Eingabe der ermittelten Daten im IDA ICE Modell. Das Bauteil [3] multipliziert den Massenstrom [1] in kg/s zwischen Wärmepumpe und Puffer mit der spezifischen Wärmekapazität von Wasser [4] in J/(kg·K) und der bei [2] errechneten Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf [7] und Rücklauf. Das Ergebnis in Watt wird für die Berechnung des Strombedarfs bei [5] durch den COP der Wärmepumpe [6] von 4 dividiert.

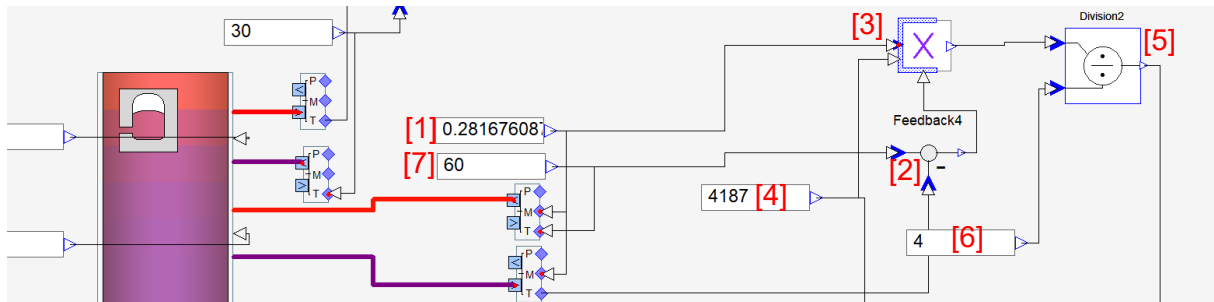


Abb. 16: Abluftwärmerückgewinnung Eingabe IDA ICE (Eigene Darstellung)

Die **Abwasserwärmerückgewinnung** erfolgt während der Nacht, beginnend um 18:00 bis 06:00. Ein Wärmetauscher entzieht dem Abwasser im 30 m³ Sammelbecken außerhalb des Gebäudes die Wärmeenergie. Eine Wärmepumpe hebt das Temperaturniveau vor der Einspeisung in den Pufferspeicher auf die gewünschte Temperatur. Im durchgehend gefüllten Abwasserbecken ist eine Temperaturschichtung vorhanden. Fließt warmes Abwasser zu, entweicht das kalte Abwasser über einen Überlauf. Der Filter über den das Abwasser in das Sammelbecken fließt, wird täglich mit dem abgekühlten Abwasser rückgespült. Bei der Wärmepumpe für das Abwasser beträgt die Temperaturspreizung der Sole auf der Quellseite 4 K (4 °C Einlass, 0 °C Auslass) und auf der Abgabeseite zum Pufferspeicher 30 K (60 °C VL, 30 °C RL).

Ermittlung der zurückgewinnbaren Wärmeenergie aus dem Abwasser erfolgte wie bei der Abluftwärmerückgewinnung mit Excel und IDA ICE. Für die Wärmepumpe wurde ein COP von 4 angenommen.

Bei der Simulation wurde für die Wärmerückgewinnung ein Abwasservolumen von 30 m³ mit 22 °C angenommen. Für die Eingabe im IDA ICE wurde die notwendigen Laufzeit der Wärmepumpe und des Massenstromes zwischen Wärmepumpe und Pufferspeicher, im Excel ermittelt.

Berechnung Wärmeenergieentzug aus dem Abwassertank:

Im ersten Schritt wurde das Wärmepotential des Abwassers bei einer Abkühlung von 22 °C auf 5 °C ermittelt.

Volumen Abwasser [Liter/Tag]	30 000	l
Cp x Dichte Wasser [kJ/(Liter*K)]	4,19	kJ/(Liter*K)
Δt [K] Abkühlung Abwassertank von 22°C auf 5 °C	17,00	K
Nutzbares Wärmepotential [kJ]	2 136 900	kJ

$$\text{Nutzbares Wärmepotential [kWh]} = \frac{\text{Volumen} \times \text{Cp} \times \text{Dichte} \times \Delta t}{3600}$$

$$\text{Nutzbares Wärmepotential [kWh]} = 953,58 \text{ kWh}$$

Berechnung notwendige Laufzeit der Wärmepumpe:

Im nächsten Schritt wurde die notwendige Laufzeit der Wärmepumpe für eine vollständige Wärmerückgewinnung des errechneten nutzbaren Wärmepotentials ermittelt.

Daten Wärmepumpe:

COP	4	
Wärme vom Abwasser: Q_{zu} [kW]	48	kW
Strombedarf Q_{el} [kW]	16	kW
Wärmeabgabe Wärmepumpe Q_{ab} [kW]	64	kW

$$\text{Laufzeit [h]} = \text{Nutzbares Wärmepotential [kWh]} \times Q_{zu} \text{ [kW]}$$

$$\text{Laufzeit Wärmepumpe [h]} = 12,37 \text{ h}$$

Berechnung des notwendigen Massenstroms zwischen Abwasserwärmepumpe und Pufferspeicher:

Wie bei der Abluftwärmerückgewinnung wurde bei der Abwasserwärmerückgewinnung der Massenstrom zwischen Wärmepumpe und Pufferspeicher bei 30 K Temperaturdifferenz von Vor- und Rücklauf ermittelt.

Wärmeabgabe Wärmepumpe Q_{ab} [kW]	64	kW
(Einspeisung in den Pufferspeicher während der Laufzeit)		
C_p Wasser [kJ/(kg*K)]	4.187	kJ/(kg*K)
Δt [K] Vorlauf- Rücklauf zwischen Wärmepumpe und Pufferspeicher	30.00	K

$$\dot{m} = \frac{Q_{ab}}{C_p \times \Delta t}$$

Massestrom Wärmepumpe zu Pufferspeicher: \dot{m} [kg/s] = 0.509513 kg/s

Wie im Kapitel 3.1.5 beschrieben beträgt die tägliche Abwassermenge bei 298 Personen 41720 Liter mit einer Mischtemperatur von 17,5 °C. Bei einer Berechnung der Eingabedaten für IDA ICE mit diesen Werten entsteht ebenfalls ein Massenstrom von 0.509513 kg/s und eine Laufzeit von 12,4 Stunden

Eingabe IDA ICE:

Abbildung 17 zeigt den Aufbau des IDA ICE Modells für die Abwasserwärmerückgewinnung sowie die Eingabe der errechneten Daten im IDA ICE.

Das Bauteil [3] multipliziert den Massenstrom [1] in kg/s zwischen Wärmepumpe und Puffer mit der spezifischen Wärmekapazität von Wasser [4] in J/(kg·K) und der bei [2] errechneten Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf [7] und Rücklauf. Das Ergebnis in Watt wird für die Berechnung des Strombedarfs bei [5] durch den COP der Wärmepumpe [6] von 4 dividiert. Ein Zeitplan [8] legt die Betriebszeit der Wärmepumpe fest.

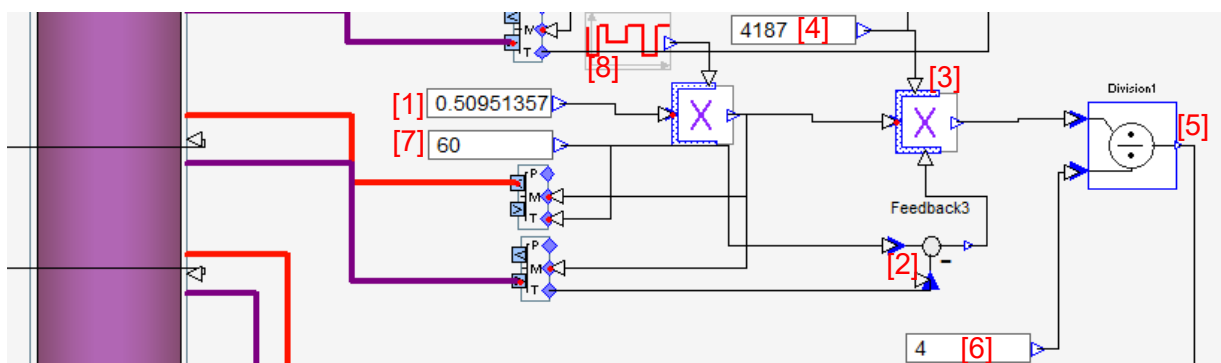


Abb. 17: Abwasserwärmerückgewinnung Eingabe IDA ICE (Eigene Darstellung)

Ein **Pelletsessel** stellt die restliche benötigte Wärmeenergie mit einer Vorlauftemperatur von 70 °C, einer variablen Rücklauftemperatur und einem Massenstrom von 3,6 kg/s bereit.

Am Dach der Gebäude befinden sich unter 10° nach Ost und West ausgerichtete **PV**-Paneele mit einer Fläche von 513,1 m² bzw. 85,68 kWp. Ziel ist eine maximale Eigennutzung. Der erzeugte Strom deckt zuerst den Haushaltsstrom und als zweite Priorität den Allgemeinstrom und den Strom für die Gebäudetechnik. Der überschüssige Strom versorgt eine **E-Patrone** mit 25 kW, die letzte Option ist die Einspeisung in das öffentliche Netz.

Eine mögliche E-Mobilität als Stromverbraucher ist in der Simulation nicht berücksichtigt.

Folglich der frühen Planungsphase ist der Strombedarf in manchen Bereichen noch nicht bekannt. Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die bei der Simulation berücksichtigten Stromverbraucher. Die rechte Seite zeigt die Priorisierung der Verbraucher für die Nutzung des PV-Stromes.

Strom - Berücksichtigte Verbraucher						
	Bio- masse + WP AW + WP ABL + PV	Bio- masse + WP ABL + PV	Biomasse + WP AW + PV	Biomasse + PV	Fern- wärme	Verbraucher: Priorisierung Nutzung PV Strom
Nutzung PV-Strom	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	
Haushaltsstrom (Wohnungen)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	1
Allgemeinstrom (Lift, Beleuchtung Allge- meinflächen)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	2
Strom für Wärme- pumpe	Ja	Ja	Ja			3
Strom für Gebäude- technik (Pumpen,... ohne Wärmepumpen)	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	
Betrieb Pelletsessel	Nein	Nein	Nein	Nein		
E-Mobilität	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	4
E-Patrone	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	5
Netzeinspeisung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	6

Tabelle 1: Berücksichtigte Verbraucher (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 18 zeigt den Aufbau des Gebäudetechnikschemas von ZeCaRe II im IDA ICE. Die Darstellung dient für einen Überblick über die Einbindung der einzelnen Komponenten in das IDA ICE Modell. Eine genaue Beschreibung der Eingangsdaten erfolgt in einem im Zuge des Forschungsprojektes erstellten Bericht. Bei [1] wird das warme Wasser dem Pufferspeicher entnommen, [2] bildet die Abluftwärmerückgewinnung ab, [3] die Abwasserwärme, bei [4] wird die Wärmeenergie aus der E-Patrone eingespeist und bei [5] wird die Wärme aus dem Pelletskessel eingespeist. [6] berechnet die Differenz aus dem bei [7] und [8] erzeugten PV-Strom und dem Strombedarf für die Abwasser- und Abluftwärmerückgewinnung. Vom Stromüberschuss werden 25 kW für die Wärmeerzeugung mittels E-Patrone genutzt, der restliche Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

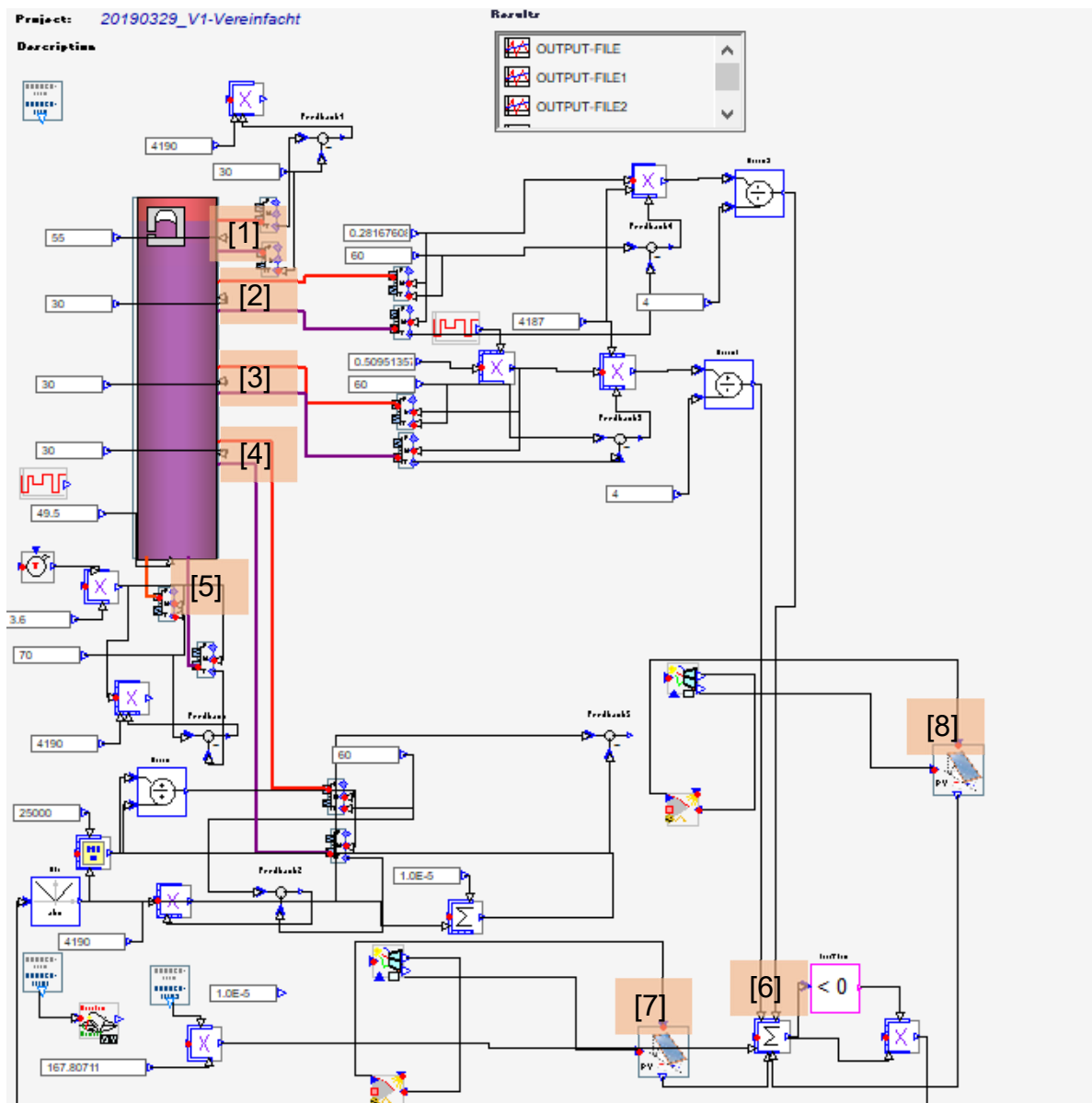


Abb. 18: Aufbau des Gebäudetechnikschemas von ZeCaRe II im IDA ICE (Eigene Darstellung)

4. Ergebnisse

Dieses Kapitel enthält die Ergebnisse der Simulationen des Haus 9 als Grundlage für die Gebäudetechniksimulation sowie die Simulationsergebnisse der Gebäudetechniksimulationen. Bei der Simulation des Haus 9 als Referenzgebäudes ergab sich ein jährlicher Heizwärmebedarf von 27228 kWh. Über die Bruttogeschoßfläche umgerechnet beträgt der jährliche Wärmebedarf für Warmwasser und Raumwärme, unter Berücksichtigung von 15 % Verteilverlusten 62414,21 kWh. Die Wärmegewinne beim Haus 9 betragen durch Personen 15,4775 kWh, durch Geräte 14,897 kWh, durch Kunstlicht 5,773 kWh und durch die solaren Gewinne 5,774 kWh.

4.1. Ergebnisse Simulation Gebäudetechnik

Die folgenden Unterkapitel beinhalten Beschreibungen und Vergleiche der verschiedenen Varianten hinsichtlich zurückgewinnbarer Wärmeenergie, Strombedarf, PV-Stromnutzung, Primärenergie und CO₂.

4.1.1. Zurückgewinnbare Wärmeenergie

Der Vergleich der in Abbildung 19 dargestellten Varianten, Biomasse mit Abwasserwärmerückgewinnung und PV-Anlage (Biomasse + WP AW + PV), Biomasse mit Abluftwärmerückgewinnung und PV-Anlage (Biomasse + WP ABL + PV) und Biomasse mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung mit PV-Anlage (Biomasse + WP AW + WP ABL + PV) bezüglich der zurückgewinnbaren Wärmeenergie ermöglicht eine Ermittlung von Optimierungsmaßnahmen bei der Wärmerückgewinnung. Das dargestellte Diagramm in Abbildung 19 zeigt die jährliche in den Puffer eingespeiste Wärmeenergie aus den einzelnen Wärmequellen und den Anteil der zurückgewonnenen Wärmeenergie aus Abluft und Abwasser. Die Werte berücksichtigen Warmwasserwärmebedarf, Wärmebedarf für die Raumwärme, die angenommenen Verteilverluste und Speicherverluste.

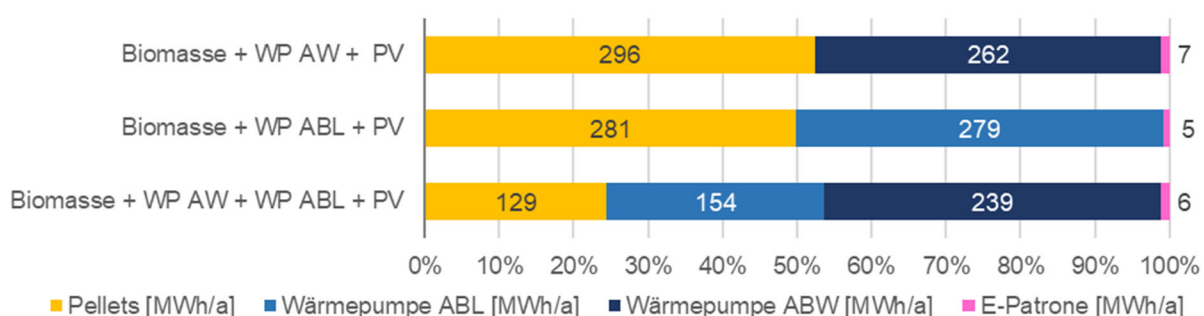


Abb. 19: Erzeugte Wärmeenergie für Warmwasser und Raumwärme [MWh/a] (Eigene Darstellung)

Die Wärmeenergie aus der Abwasserwärmerückgewinnung deckt bei der Variante mit nur Abwasserwärmerückgewinnung 46 % der notwendigen jährlichen Wärmeenergie. Bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung deckt die Wärmeenergie aus dem Abwasser 45 % aufgrund von nicht nutzbarem Wärmepotential im Sommer. Ein größeres Potential für die Wärmerückgewinnung bietet die Abluft. Laut der Simulation ist mit der Wärmeenergie aus der Abluft eine Deckung von 49 % des gesamten jährlichen Wärmebedarfs möglich, wobei die Ablufttemperatur im Sommer höher ist als die bei der Simulation angenommene über das ganze Jahr konstante Ablufttemperatur von 22 °C. Die Kombination aus Abwasser und Abluftwärmerückgewinnung deckt 74 % des jährlichen Wärmebedarfes. Der Anteil der Wärmeenergie aus der Abluft beträgt bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung 29 %. Die Differenz der zurückgewinnbaren Wärmeenergien aus der Abluft bei den Varianten entsteht durch nicht nutzbare Wärmeenergie im Sommer.

Bei der Variante mit der **Abluftwärmerückgewinnung** (ohne Abwasserwärmerückgewinnung) deckt die zurückgewonnene Wärmeenergie den Wärmebedarf von 27.04. 2018 bis 15.09. 2018 vollständig, zwischen 15.09.2018 und 25.11.2018 ist der Pelletskessel an zwanzig Tagen für jeweils ein bis zwei Stunden in Betrieb. Ein Vergleich der notwendigen Wärmeenergie aus den verschiedenen Wärmequellen in den Sommer und Wintermonaten ist in den Abbildungen 20 und 21 sichtbar. Bei den Diagrammen 20 ist erkennbar, dass in den Sommermonaten ohne Heizwärmebedarf nur ein Teil des Wärmepotentials aus der Abluft für die Warmwasserbereitung erforderlich ist, wobei verhältnismäßig die meiste Wärme am Abend und in der ersten Nachthälfte, folglich dem erhöhten Warmwasserbedarf am Abend zurückgewonnen wird. Die maximale Wärmeleistung aus Abluft bei 22 °C wird in den Wintermonaten vollständig genutzt. Im Winter wird das vollständige Wärmepotential aus der Abluft genutzt.

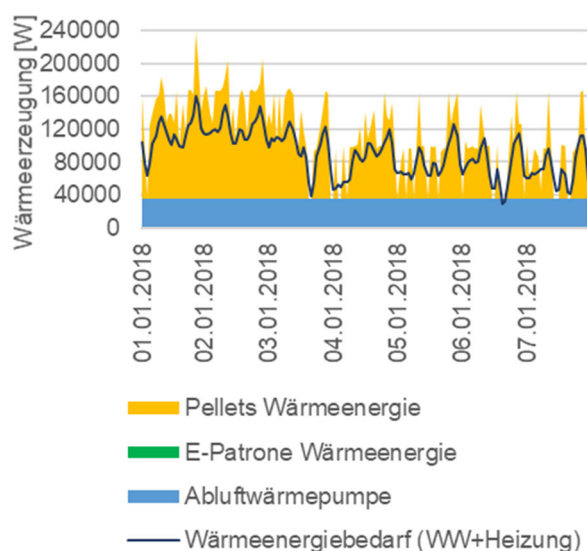


Abb. 21: Wärmeenergieerzeugung [W] bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

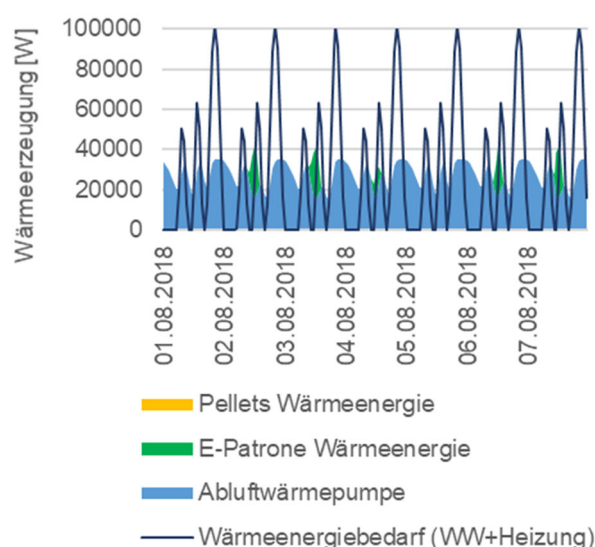


Abb. 20: Wärmeenergieerzeugung [W] bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

Bei der Variante mit **Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung**, dargestellt in Abbildung 22 und 23, deckt die Wärmeenergie aus der Abwasserwärmerückgewinnung einen Teil der Wärmebereitstellung. Der Anteil der nutzbaren Wärmegewinne aus der Abluft sinkt gegenüber der Variante mit nur Abluftwärmerückgewinnung. Die Wärmerückgewinnung aus Abluft und Abwasser ist in Zeiten mit Heizwärmebedarf nutzbar. Ein Vergleich von Abbildung 20 und 22 zeigt die verringerte Wärmeenergienutzung aus der Abluft in den Sommermonaten (Abbildung 22) gegenüber der Variante mit der reinen Abluftwärmerückgewinnung (Abbildung 20). Zwischen 26.03.2018 und 14.11.2018 deckt die zurückgewonnene Wärmeenergie bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung den Wärmebedarf außer am 11.11.2018, 01.11.2018 und 11.04.2018.

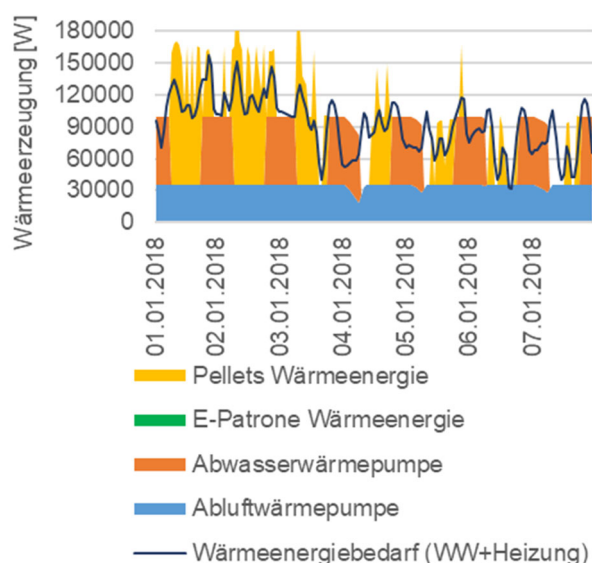


Abb. 23: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

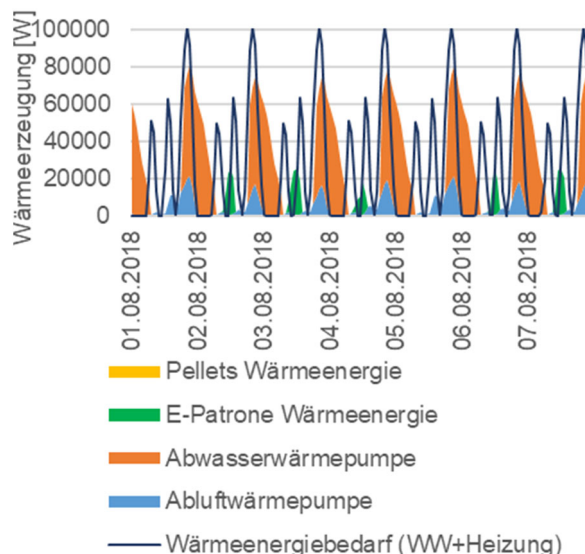


Abb. 22: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

Bei einer ersten Zwischensimulation der Variante mit der reinen **Abwasserwärmerückgewinnung** wurde der Betrieb der Wärmepumpe für die Wärmerückgewinnung von 21:00 bis 4:00 angenommen, mit dem Ergebnis, dass die zurückgewonnene Wärmeenergie für die Deckung des Wärmebedarfes im Sommer nicht ausreicht und der Betrieb des Pelletskessels das ganze Jahr über notwendig war.

Bei der aktuellen Simulation ist die Betriebszeit der Wärmepumpe auf 18:00 bis 06:00 erhöht. Die Wärmerückgewinnung erfolgt nachts, folglich ist im Pufferspeicher das meiste Wärmepotential in den frühen Morgenstunden vorhanden. Die Deckung des Wärmebedarfs ist mit der Abwasserwärmerückgewinnung zwischen 27.04.2018 und 14.09.2018 außer an zwei Tagen im Mai möglich.

Abbildung 24 zeigt, dass in den Sommermonaten die Wärmeenergie aus dem Abwasser und der E-Patrone ausreicht, um den täglichen Wärmebedarf zu decken. In Abbildung 25 ist der erhöhte Wärmebedarf aus Pellets bei nur Abwasserwärmerückgewinnung gegenüber der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung in Abbildung 23 ersichtlich. Bei Abbildung 24 ist ersichtlich, dass in den Nachtstunden im Sommer kein Wärmebedarf vorhanden ist.

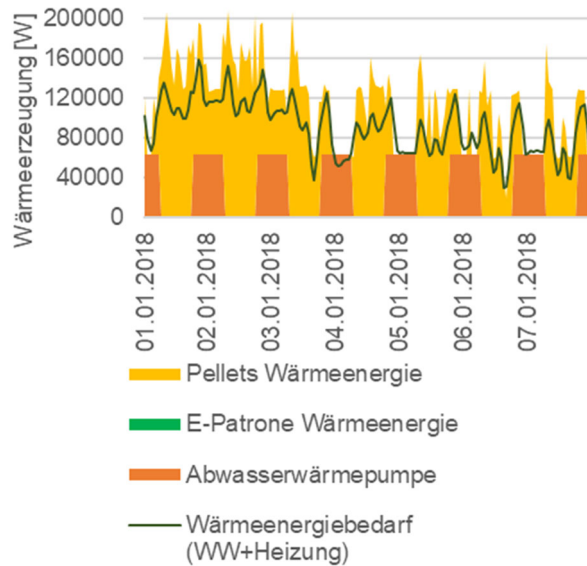


Abb. 25: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

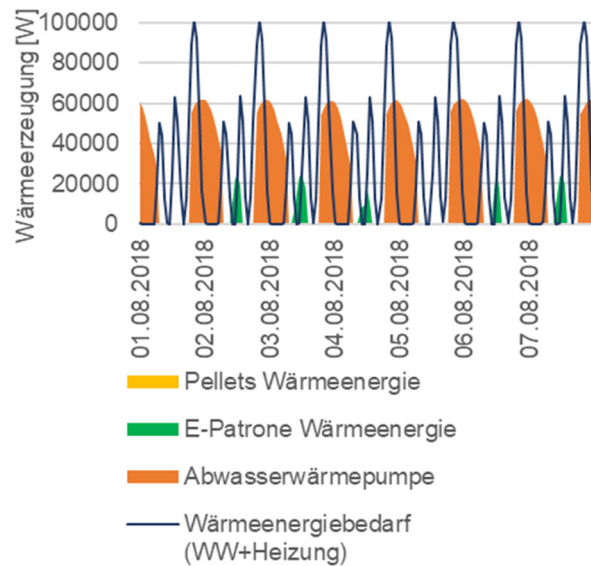


Abb. 24: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

4.1.2. Stromverbrauch

Der Strombedarf auf Endenergieebene für den Betrieb der Wärmepumpen ist in Abbildung 26 erkennbar. Der Betrieb der Wärmepumpe bei der Abwasserwärmerückgewinnung erhöht den Strombedarf um 38,2 % gegenüber der Variante ohne Wärmepumpe und ermöglicht eine Einsparung der Wärmeenergie aus Pellets. Bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung erhöht sich der Strombedarf um 41,2 %. Bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung entsteht eine Erhöhung des Strombedarfes gegenüber dem Grundstrombedarf um 57,6 %, dies ermöglicht eine Einsparung an Pellets um 80 %. Für die Herstellung von Pellets und Strom ist unterschiedlich viel Energie erforderlich, folglich ist eine Gegenüberstellung des erhöhten Strombedarfes und der Pelletseinsparung, sowie der Vergleich der Varianten auf Endenergieebene nicht möglich. Ein Vergleich der Varianten ist auf Primärebene möglich und wird im Kapitel 4.2. beschrieben.

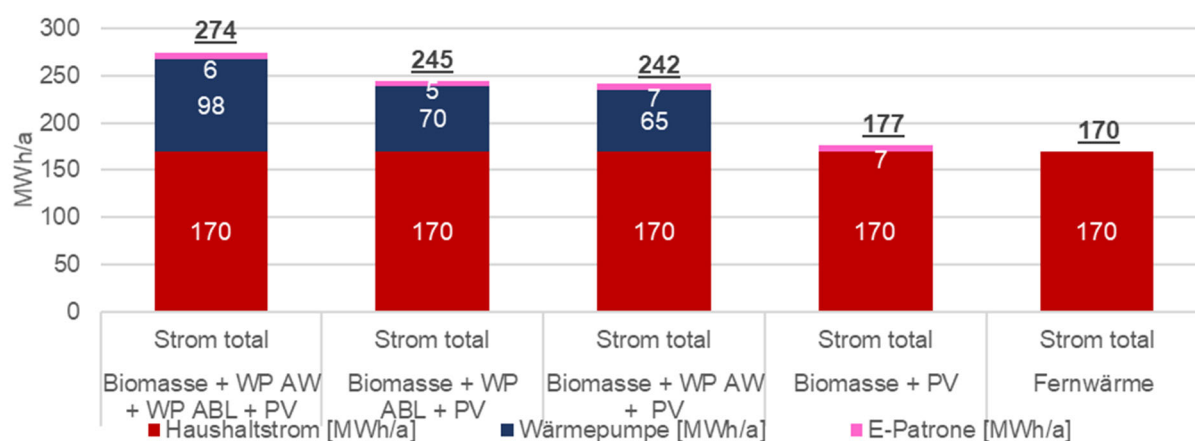


Abb. 26: Jährlicher Strombedarf [MWh/a] bei den untersuchten Varianten (Eigene Darstellung)

4.1.3. PV-Strom

Der jährliche Strom aus der PV-Anlage beträgt 50,9 MWh/a und kann 18,2 % des jährlichen Strombedarfes von 274 MWh/a bei der Variante mit Abwasser- und Abluftwärmerückgewinnung decken. Vom erzeugten PV-Strom werden 43 kWh für den Haushaltsstrom genutzt, das entspricht 48,3 % des gesamten erzeugten PV-Stromes. Bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung werden 6,3 MWh/a des jährlichen PV-Stromes für die E- Patrone, 0,19 MWh/a für die Wärmepumpe genutzt und 1,24 MWh/a exportiert. Bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung werden 5 MWh/a des jährlichen PV-Stromes für die E- Patrone und 2,79 MWh/a für die Wärmepumpe genutzt. Bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung werden 6,62 MWh/a des jährlichen PV-Stromes für die E- Patrone, 0,19 MWh/a genutzt und 1,16 MWh/a exportiert. Für die Wärmepumpe kann bei der Abwasserwärmerückgewinnung kein PV-Strom genutzt werden.

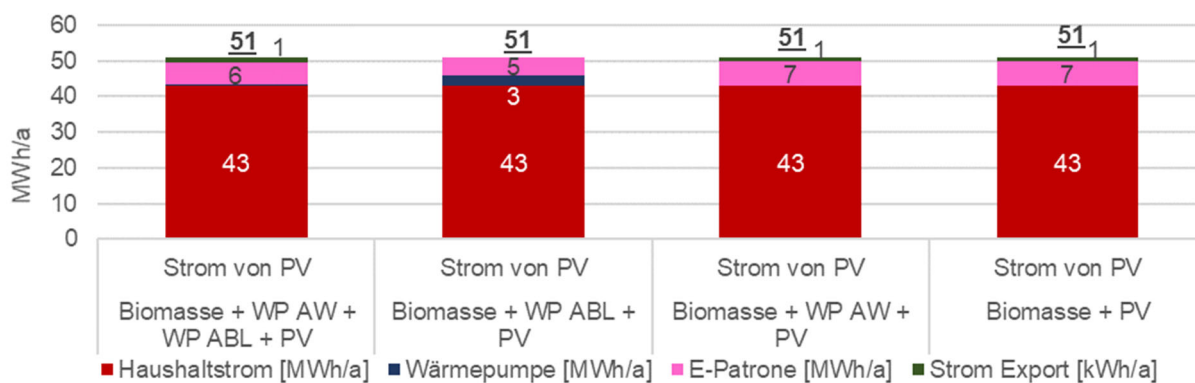


Abb. 27: Nutzung des erzeugten Stromes aus der PV-Anlage (Eigene Darstellung)

Abbildung 27 zeigt die Aufteilung des erzeugten PV-Strom auf die einzelnen Verbraucher auf Endenergieebene. Es ist erkennbar, dass bei der Variante mit der reinen Abluftwärmerückgewinnung durch den durchgängigen Betrieb der Wärmepumpe, auch tagsüber, der meiste PV-Strom genutzt werden kann. Bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung kann folglich des Nachtbetriebes kein PV-Strom genutzt werden.

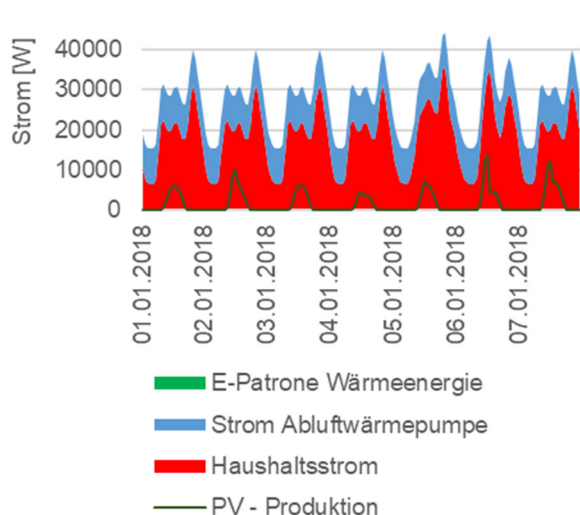


Abb. 29: Strombedarf und Ertrag aus der PV-Anlage bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

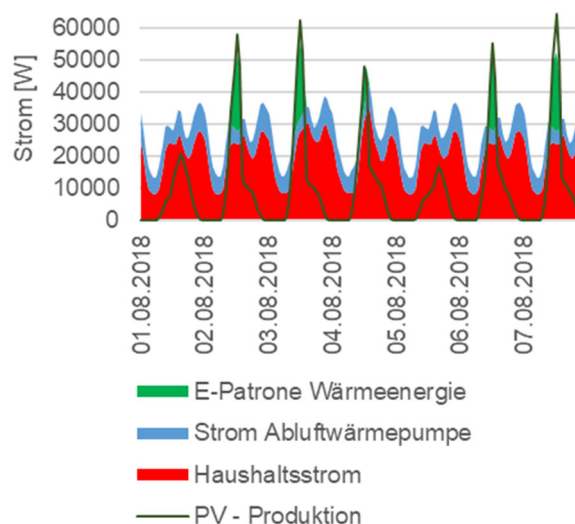


Abb. 28: Strombedarf und Ertrag aus der PV-Anlage bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

Abbildung 28 und 29 zeigt den Stromertrag aus der PV-Anlage und den Strombedarf bei Variante mit Abluftwärmerückgewinnung. Bei Abbildung 28 ist erkennbar, dass in den Sommermonaten eine Nutzung des Stromertrags aus der PV-Anlage, für die Wärmepumpe möglich ist. Dadurch reduziert sich der überschüssige PV-Strom gegenüber Varianten mit Abwasserwärmerückgewinnung. Weiters ist erkennbar, dass aufgrund der E-Patrone der Überschuss an PV-Strom reduziert wird. In den Wintermonaten kann, wie in Abbildung 29 ersichtlich, nur ein geringer Teil des Strombedarfes gedeckt werden.

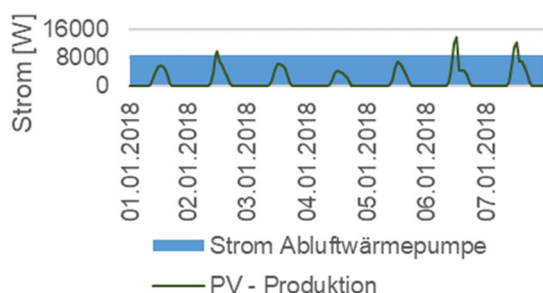


Abb. 31: Strombedarf für die Wärmepumpe und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

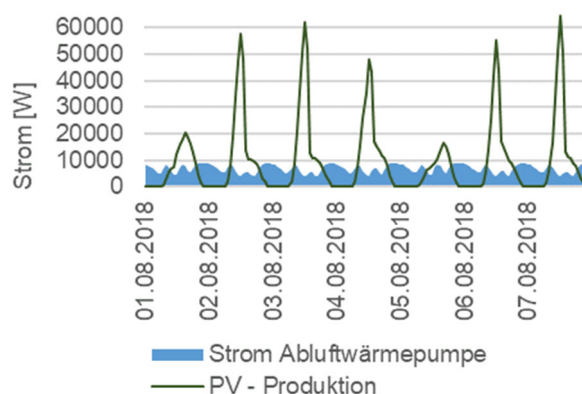


Abb. 30: Strombedarf für die Wärmepumpe und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

In Abbildung 30 ist erkennbar, dass der Strombedarf für die Abluftwärmepumpe in den Sommermonaten tagsüber, wenn PV-Strom genutzt werden kann, geringer ist als in der Nacht. Wie in Kapitel 4.1.1. bereits beschrieben entsteht der unregelmäßige Betrieb der Wärmepumpe durch das nicht vollständig nutzbare Wärmepotential der Abluft und dem Verbrauchsprofil des Warmwassers. In Abbildung 31 ist der konstante Strombedarf der Wärmepumpe in den Wintermonaten ersichtlich.

Bei der Variante mit **Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung** wird in den Sommermonaten ein Teil der Wärme mit der Abwasserwärme bereitgestellt. Dies reduziert in den Sommermonaten die Abluftwärmerückgewinnung und folglich auch den Strombedarf der durch die PV gedeckt werden kann. Es kommt zu einem höheren nicht nutzbaren Anteil an PV-Strom.

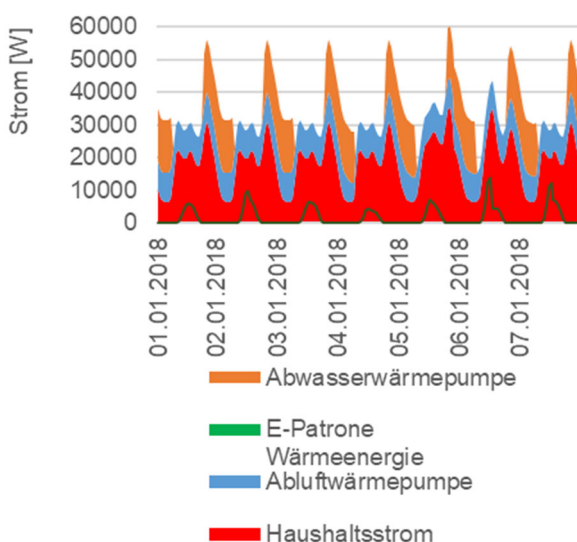


Abb. 33: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

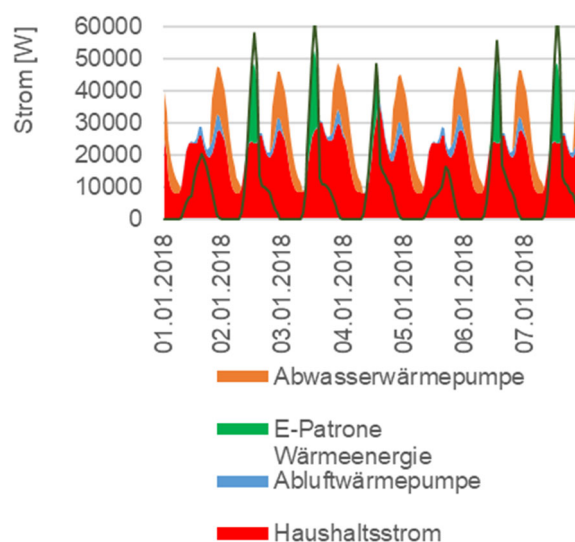


Abb. 32: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

In der Abbildung 32 sind die Spitzen der PV-Produktion sowie die zeitlich versetzten Strombedarfsspitzen der Abwasserwärmerückgewinnung in den Sommermonaten ersichtlich. Weiters ist beim Vergleich von Abbildung 32 und 33 erkennbar, dass der Anteil des Stromes für die Abluftwärmerückgewinnung am gesamten Strombedarf in den Sommermonaten geringer ist als in den Wintermonaten.

Bei der Variante mit nur **Abwasserwärmerückgewinnung** sind in der Abbildung 34 die versetzten Lastspitzen vom Strombedarf der Wärmepumpe und der PV-Erträge ersichtlich. Der für die Wärmepumpe nicht nutzbare PV-Strom wird für die Wärmeproduktion mit einer E-Patrone genutzt. Im Gegensatz zur Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung entspricht der Strombedarf für die Abwasserwärmerückgewinnung im Sommer etwa dem Strombedarf im Winter. In den Wintermonaten deckt der PV-Strom, wie in Abbildung 35 ersichtlich, nur einen kleinen Teil des Strombedarfes.

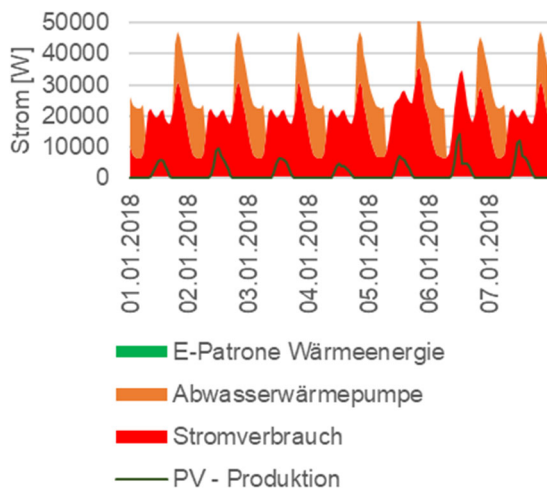


Abb. 35: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)

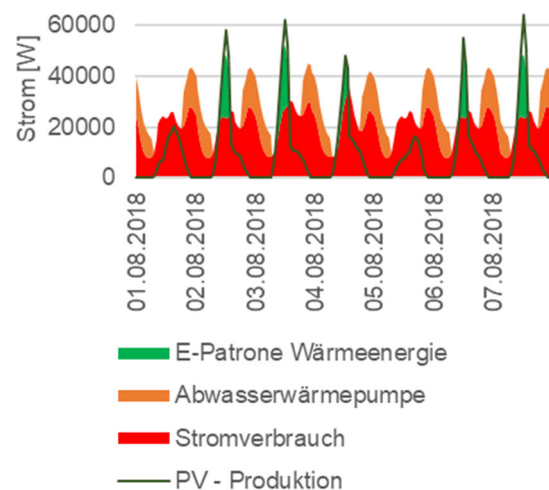


Abb. 34: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)

4.2. Primärenergiebedarf und CO₂-Ausstoß im Betrieb

Die fünf simulierten Varianten wurden auf Primärenergieebene und hinsichtlich CO₂ verglichen. Für die Umrechnung der Endenergie auf Primärenergie und in CO₂-Äquivalente wurden die in Tabelle 2 aufgelisteten Konversionsfaktoren der OIB Richtlinie 6 herangezogen.

Konversionsfaktoren				
	f _{PE}	f _{PE,n.ern.}	f _{PE,ern.}	f _{CO2eq} [g/kWh]
Biomasse fest	1,13	0,10	1,03	17
Strom (Österreich-Liefermix 2014-2017 □ 2018)	1,77	1,12	0,66	248
Fernwärme aus Heizwerk (nicht erneuerbar)	1,45	1,31	0,14	302

Tabelle 2: Verwendete Konversionsfaktoren (OIB-330.6-009/15)

4.2.1. Primärenergiebedarf im Betrieb

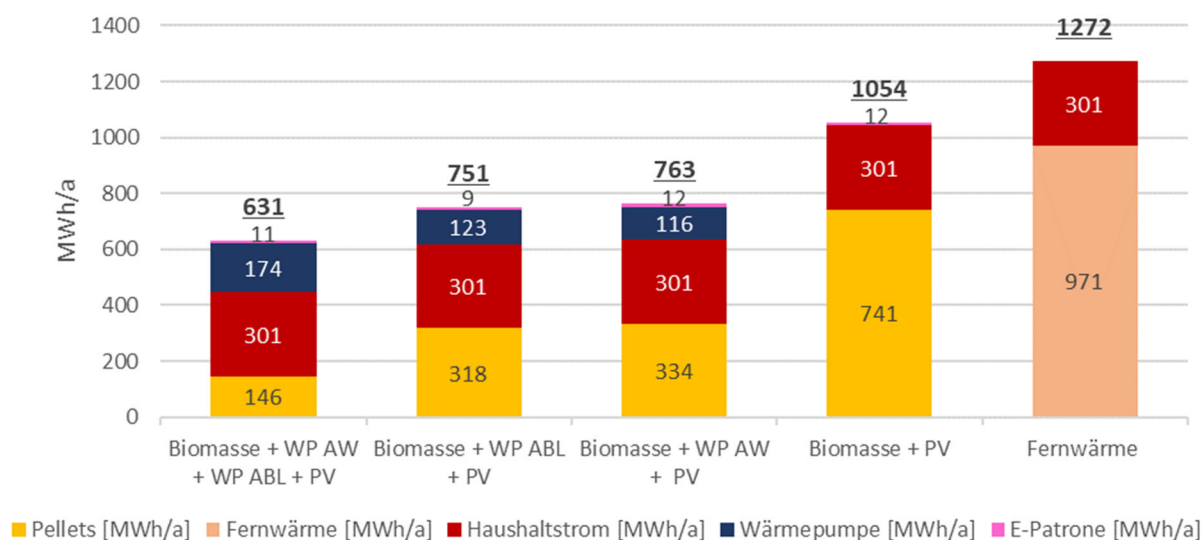


Abb. 36: Gegenüberstellung der Varianten auf Primärenergieebene [MWh/a] (Eigene Darstellung)

Die Gegenüberstellung der Varianten auf **Primärenergieebene** in Abbildung 36 zeigt einen deutlich geringeren jährlichen Primärenergiebedarf bei der Variante mit Abluft und Abwasserwärmerückgewinnung gegenüber den anderen untersuchten Varianten. Durch die Abwasser- und Abluftwärmerückgewinnung kann die Primärenergie gegenüber der Variante mit Biomasse ohne Wärmerückgewinnung um 40 % reduziert werden.

Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung in Kombination senken den Bedarf an Pellets um 80 % gegenüber der Variante mit Pellets ohne Wärmerückgewinnung.

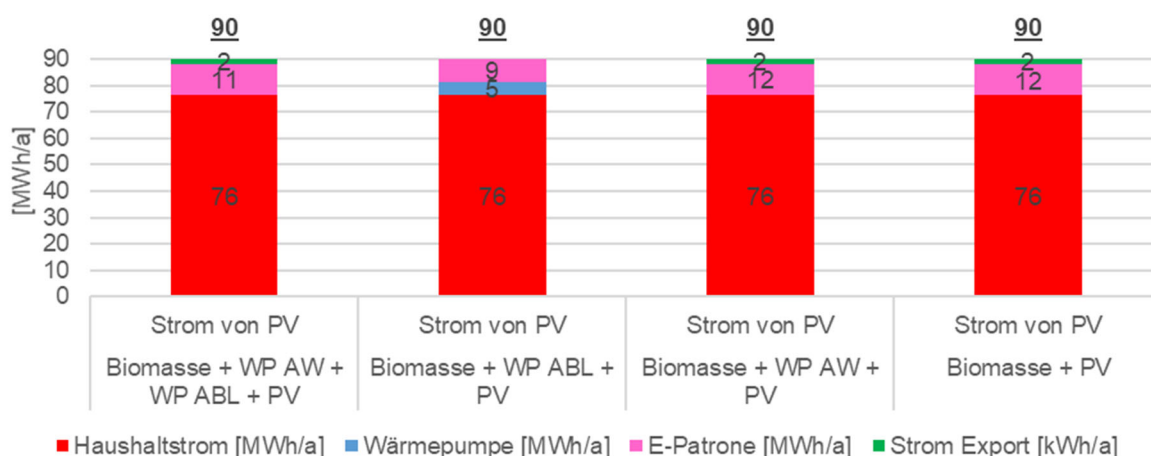


Abb. 37: Erzeugter Strom aus der PV-Anlage auf Primärenergieebene [MWh/a] (eigene Darstellung)

Ein Teil des Energiebedarfes kann durch PV-Strom bereitgestellt werden. Die Abbildung 37 zeigt den erzeugten PV-Strom auf Primärenergieebene unter Berücksichtigung der in Tabelle 2 aufgelisteten Konversionsfaktoren.

4.2.2. CO₂-Ausstoß im Betrieb

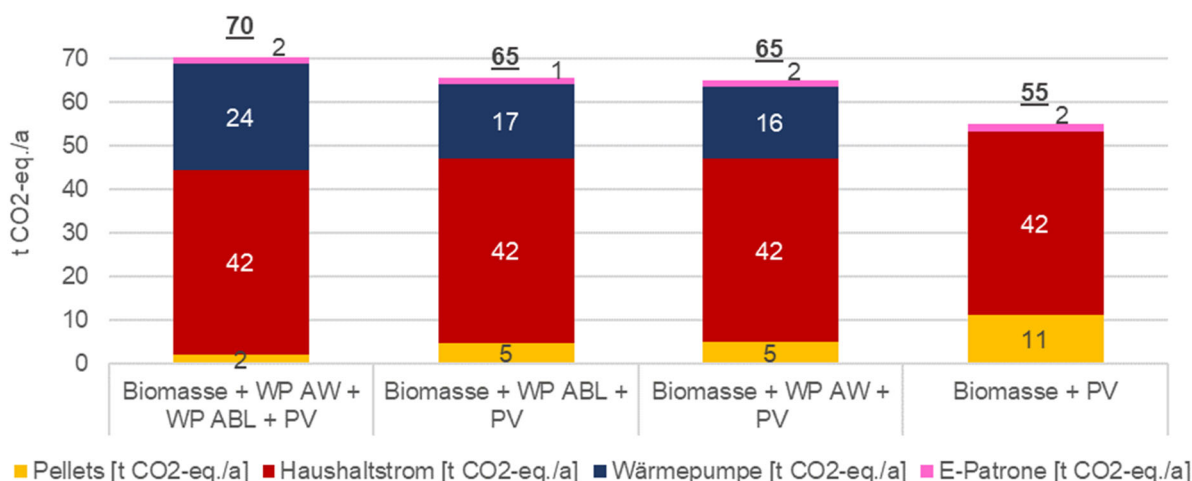


Abb. 38: CO₂-Ausstoß (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 38 zeigt den jährlichen durch den Gebäudebetrieb anfallenden CO₂-Ausstoß für die jeweilige Variante. Wegen der niedrigeren Konversionsfaktoren der Biomasse im Gegensatz zu Strom weist die Variante ohne Wärmerückgewinnung den geringsten CO₂-Ausstoß auf. Der höhere Strombedarf bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung gegenüber den anderen Varianten bewirkt einen höheren CO₂-Ausstoß. Den höchsten CO₂-Ausstoß mit 244 t CO₂-eq./a weist die Fernwärme auf und wurde für eine bessere Lesbarkeit der vier Varianten mit Biomasse bei Abbildung 38 nicht dargestellt. Durch eine Deckung des Strombedarfes der Wärmepumpen mit PV-Strom kann der CO₂-Ausstoß verringert werden.

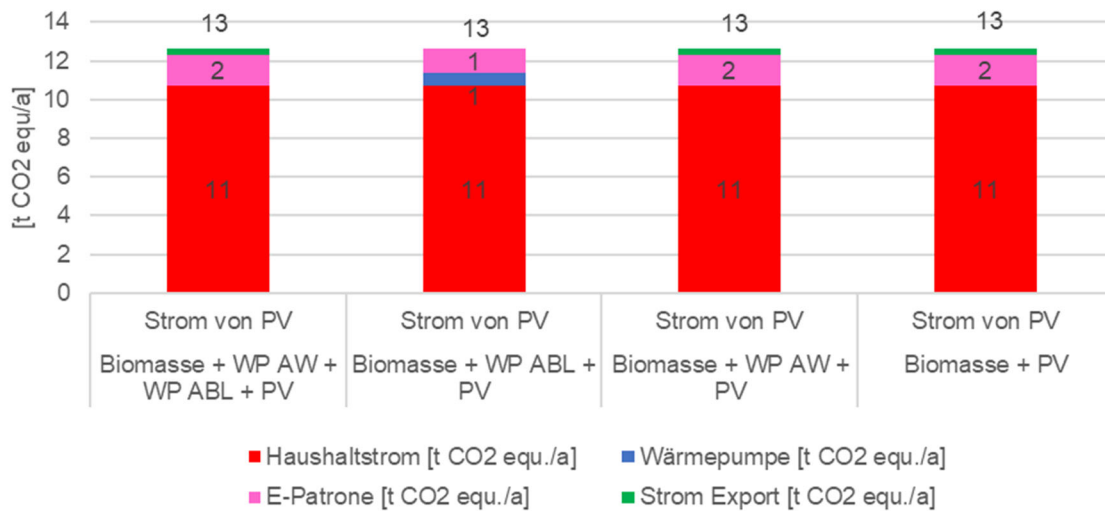


Abb. 39: Erzeugter PV- Strom [tCO₂-eq./a] (Eigene Darstellung)

Abbildung 39 zeigt den jährlichen PV-Strom in tCO₂-eq./a, bzw. das mögliche jährliche CO₂-Einsparpotential bei den einzelnen Stromverbrauchern der Varianten. Folglich der geringen PV-Fläche ist das Einsparpotential an CO₂ durch die PV bei jeder Variante annähernd gleich. Bei einer Gegenüberstellung hat die Fernwärme aufgrund der Annahme Fernwärme aus einem nicht erneuerbaren Heizwerk den höchsten jährlichen CO₂-Ausstoß. Bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung können durch die PV-Anlage jährlich 12,32 t CO₂ eingespart werden, bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung jährlich 12,62 t CO₂ und bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung jährlich 12,34 t CO₂.

5. Fazit und Ausblick

Die durchgeführte Simulation gibt einen ersten Vergleich der verschiedenen Systeme auf Primärenergieebene und hinsichtlich CO₂-Ausstoß. Weiters zeigt dieser erste Vergleich Optimierungsmöglichkeiten auf.

Der Vergleich der untersuchten Varianten zeigt beim angedachten Gebäudetechnikkonzept für ZeCaRe II (Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung) den geringsten jährlichen Primärenergiebedarf und ausgenommen der Variante mit Fernwärme, den höchsten jährlichen CO₂-Ausstoß im Gebäudebetrieb.

Das Forschungsprojekt ZeCaRe II stellt die Betrachtung des CO₂-Ausstoßes in den Mittelpunkt. Eine Deckung des Strombedarfes für die Gebäudetechnik mit PV-Strom, ermöglicht beim Gebäudetechnikkonzept von ZeCaRe II einen geringeren CO₂-Ausstoß gegenüber den anderen Variante. Die Deckung des Strombedarfes für die Gebäudetechnik mit PV-Strom erfordert mehr PV-Flächen und eine Änderung der Betriebszeiten der Wärmepumpe hin zu einer Vermeidung des Wärmepumpenbetriebes in der Nacht. Eine Deckung des Wärmebedarfes aus der Abluftwärmerückgewinnung alleine ist in den Monaten in denen nicht geheizt werden muss möglich und ermöglicht den Entfall der Abwasserwärmerückgewinnung in den Nachtstunden. Ein Verzicht auf die Abluftwärmerückgewinnung in Sommernächten und stattdessen eine Erhöhung der Abluftwärmerückgewinnung tagsüber zu Zeiten mit Spitzen bei den PV-Stromerträgen ermöglicht eine Optimierung der PV-Stromnutzung und ist im weiteren Projektverlauf zu prüfen. Neben dem Vorteil einer möglichen PV-Stromnutzung für die Abluftwärmerückgewinnung ist die Abluftwärme eine sicherere Wärmequelle als das Abwasserwärme. Zwischensimulationen mit variierenden Personenzahlen zeigten, dass der durch die Wärmerückgewinnung denkbare Anteil des Wärmebedarfes abhängig vom Nutzerverhalten und der Anzahl der Bewohnerinnen und Bewohner und somit eine schwer berechenbare Wärmequelle ist. Die Bewohnerinnen und Bewohner beeinflussen den Warmwasserverbrauch und Wärmebedarf für die Raumwärme durch ihr Lüftungsverhalten, die gewählte Raumtemperatur, die Anzahl und Art der Geräte, die Beleuchtung und ihre Anwesenheit. Bei der Abluftwärmerückgewinnung wurde von einer Ablufttemperatur von 22 °C ausgegangen, diese stellen die Mindesttemperatur der Abluft dar. Die Abluft im Sommer ist durch die erhöhten solaren Gewinne höher und somit auch das Potential an zurückgewinnbarer Wärmeenergie. Die Warmwasserversorgung der Sommermonate ist mit der Abluftwärmerückgewinnung somit gesichert.

5.1. Ausblick

Während der Simulation und der Auswertung der Simulationsdaten waren in mehreren Bereichen des Gebäudetechnikkonzeptes Optimierungsmöglichkeiten ersichtlich. Weiters konnten manche Einflussfaktoren wie beispielsweise Verteilverluste aufgrund der frühen Planungsphase nur vereinfacht berücksichtigt werden. Diese werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert und im Zuge des Forschungsprojektes weiterverfolgt und optimiert.

5.1.1. Milieustudien

Für die Simulation wurden für die internen Wärmegewinne und die personenbezogenen Energieverbräuche Daten aus dem SIA-Merkblatt verwendet. Eine weitere Detaillierung der personenbezogenen Energieverbräuche im Rahmen des Forschungsprojektes und einer Hinterlegung von Daten aus Milieustudien ermöglichen eine genauere Simulation der Gebäudetechnik und der dafür benötigten Energie.

5.1.2. Pufferspeicher

Bei der Simulation ist erkennbar, dass für die Wärmebereitstellung nicht das gesamte Puffervolumen genutzt wird. Eine Überprüfung der Speichergröße ist daher sinnvoll. Bei einer ersten Zwischensimulation führte eine Einbindung der Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 60 °C auf Höhe des Pelletskessels mit einer Vorlauftemperatur von 70 °C zu einer Abkühlung der Wassertemperatur durch die Wärmepumpe. Dies führte zu einer Störung der Schichtung im Pufferspeicher und zu einem erhöhten Einsatz des Pelletskessels und wurde für die aktuelle Simulation korrigiert. Durch eine Optimierung der Einbindungen der Wärmequellen im weiteren Verlauf des Projektes ist eine Optimierung der Schichtung im Pufferspeicher und eine Reduktion der Betriebszeiten des Pelletskessels möglich.

5.1.3. Detaillierung der Wärmeverluste

Bei der Simulation wurden aufgrund fehlender Informationen durch den frühen Planungsstand die Wärmeverluste durch die Verteilung des Warmwassers nur vereinfacht durch einen Aufschlag von 15% berücksichtigt. Weiters wurden die Wärmeverluste beim Warmwasser in den Abflussrohren und dem Abwassertank nicht berücksichtigt. Dies soll im weiteren Verlauf des Projektes ergänzt werden.

5.1.4. Ausrichtung der PV

Bei der aktuellen Simulation wurde die Eigenverschattung der einzelnen PV-Module berücksichtigt, nicht aber die Verschattung durch andere Objekte am Dach, wie beispielsweise Attika oder Lüftungsanlagen. Eine detailliertere Berücksichtigung der Verschattung im weiteren Verlauf des Projektes ist für eine genauere Bewertung der Nutzung des PV-Stromes notwendig. Im Zuge des Forschungsprojektes werden verschiedene Varianten mit Erweiterungen der PV-Anlage am Dach sowie an der Fassade unter Berücksichtigung der Verschattung der angrenzenden Gebäude und Schallwände durchgeführt. Ziel ist die Ermittlung der möglichen CO₂-Reduktion durch eine Vergrößerung der PV-Anlage.

5.1.5. Detailierung Gebäudetechniksimulation

Bei der aktuellen Simulation wurde folglich des aktuellen Planstandes der Strombedarf der Wärmepumpen und der Wärmeenergieoutput mit Hilfe von Excel über den COP der Wärmepumpen von 4 berechnet. In weiterer Folge wird eine Detailierung der Gebäudetechniksimulation mit Abbildung der Wärmepumpen und einer Ausarbeitung von Regelschemen angestrebt. Der bei der aktuellen Simulation vernachlässigte Strombedarf für Pumpen und Ventilatoren werden im weiteren Verlauf des Projektes ermittelt und in der Simulation berücksichtigt.

5.1.6. Optimierung der Regelschemen

Bei den Regelschemen steht die Reduktion des CO₂-Ausstoßes durch PV-Stromnutzung und somit die Vermeidung von Strombedarf für Gebäudetechnik in der Nacht im Vordergrund. Dies kann in den Sommermonaten durch den Verzicht der Abwasserwärmerückgewinnung, eine Reduktion der Abluftwärmerückgewinnung in den Nächten und eine Erhöhung des Wärmepumpenbetriebes der Abluftwärmerückgewinnung tagsüber erfolgen. In den Wintermonaten ist zu prüfen, ab welcher Uhrzeit eine Abwasserwärmerückgewinnung tagsüber möglich ist, bzw. ob in den Wintermonaten bei einer vergrößerten PV-Anlage die Deckung des Stromes für die Abwasserwärmerückgewinnung möglich ist.

5.1.7. Optimierung der Abluftwärmerückgewinnung

Im Zuge der Entwicklung des Gebäudetechnikkonzeptes entstand die Idee einer Wärmerückgewinnung aus einer Mischluft von Abluft und Außenluft. Bei der simulierten Variante mit Abluftwärmerückgewinnung (ohne Abwasserwärmerückgewinnung) kann der Wärmebedarf in den Sommermonaten gedeckt werden. Eine zusätzliche Nutzung von Außenluft für die Warmwasserbereitung kann in den Sommermonaten tagsüber die Wärmerückgewinnung erhöhen bzw. in der Nacht reduzieren und so bei der Optimierung der PV-Stromnutzung für die Außenluft helfen. Zu prüfen ist, wie weit der Einsatz von Mischluft tagsüber in den Übergangszeiten die Betriebszeit des Pelletskessels senken kann, bzw. ob der Einsatz der Mischluft in den Wintermonaten einen positiven Einfluss hinsichtlich CO₂-Ausstoß hat.

5.1.8. Simulation des gesamten Siedlungsbereiches

Bei der aktuellen Simulation wurde der Wärme und Strombedarf für das Haus 9 ermittelt und für die Simulation der Gebäudetechnik über die Bruttogeschoßfläche auf die gesamte Siedlung umgerechnet. In weiterer Folge soll die Simulation für die Ermittlung des Wärme- und Strombedarfes auf die gesamte Siedlung umgerechnet werden und so der Detaillierungsgrad der Simulation erhöht werden.

5.1.9. Monitoring

Ein Monitoring nach der Sanierung kontrolliert die Effizienz des Gebäudetechnikkonzeptes und liefert Informationen über mögliche Effizienzsteigerungen des Konzeptes.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vergleich CO ₂ Haus 11- inkl. Strombedarf und Einsparung (Eigene Darstellung)	4
Abb. 2: Wärmepumpe mit einem Triplex-Kreislauf (Wang, L. et al., 2018, S. 384-392)	9
Abb. 3: System im Kühlmodus (Zhang, Z.-Y. et al., 2018, S. 1041-1050)	10
Abb. 4: System im Heizmodus (Zhang, Z.-Y. et al., 2018, S. 1041-1050)	10
Abb. 5: Gebäudetechnikkonzept mit Lüftung mit Wärmerückgewinnung und Abluftanlage (Thalfeldt et al., 2018, S. 402-414)	11
Abb. 6: Gebäudetechnikkonzept mit Abluftwärmerückgewinnung in Kombination mit einer Wärmepumpe und Energiepfehlen (Fadejev et al., 2016, S. 478-488)	12
Abb. 7: Wärmerückgewinnung mit Luftwärmetauscher und Wärmepumpe (Dermentzis et al., 2017, S. 1-11)	13
Abb. 8: Kombination aus Abwasserwärmerückgewinnung mit Wärmepumpe und Solaranlage (Liu et al., 2010, S. 1476-1481)	15
Abb. 9: Variante 1 (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)	16
Abb. 10: Variante 2 (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)	16
Abb. 11: Variante 3 (Ramadan et al., 2018, S. 1010-1021)	16
Abb. 12: Wärmegewinnung aus Abwasser und Umgebungsluft (Zhang, T., Zhang & Ma, 2017, S. 1920-1926)	17
Abb. 13: 3D Modell IDA ICE (Eigene Darstellung)	19
Abb. 14: Modell IDA ICE - 2. OG (Eigene Darstellung)	19
Abb. 15: Wärmetauscher IDA ICE (Eigene Darstellung)	22
Abb. 16: Abluftwärmerückgewinnung Eingabe IDA ICE (Eigene Darstellung)	24
Abb. 17: Abwasserwärmerückgewinnung Eingabe IDA ICE (Eigene Darstellung)	26
Abb. 18: Aufbau des Gebäudetechnikschemas von ZeCaRe II im IDA ICE (Eigene Darstellung)	28
Abb. 19: Erzeugte Wärmeenergie für Warmwasser und Raumwärme [MWh/a] (Eigene Darstellung)	29
Abb. 20: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	30
Abb. 21: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	30
Abb. 22: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	31

Abb. 23: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	31
Abb. 24: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	32
Abb. 25: Wärmeerzeugung [W] bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	32
Abb. 26: Jährlicher Strombedarf [MWh/a] bei den untersuchten Varianten (Eigene Darstellung)	33
Abb. 27: Nutzung des erzeugten Stromes aus der PV-Anlage (Eigene Darstellung)	34
Abb. 28: Strombedarf und Ertrag aus der PV-Anlage bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	34
Abb. 29: Strombedarf und Ertrag aus der PV-Anlage bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	34
Abb. 30: Strombedarf für die Wärmepumpe und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	35
Abb. 31: Strombedarf für die Wärmepumpe und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluftwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	35
Abb. 32: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	35
Abb. 33: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	35
Abb. 34: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.08.2018 bis 07.08.2018 (Eigene Darstellung)	36
Abb. 35: Strombedarf und PV-Ertrag bei der Variante mit Abwasserwärmerückgewinnung + Pellets + E-Patrone + PV im Zeitraum von 01.01.2018 bis 07.01.2018 (Eigene Darstellung)	36
Abb. 36: Gegenüberstellung der Varianten auf Primärenergieebene [MWh/a] (Eigene Darstellung)	37
Abb. 37: Erzeugter Strom aus der PV-Anlage auf Primärenergieebene [MWh/a] (eigene Darstellung)	38
Abb. 38: CO ₂ -Ausstoß (Eigene Darstellung)	38
Abb. 39: Erzeugter PV- Strom [tCO ₂ -eq./a] (Eigene Darstellung)	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berücksichtigte Verbraucher (Eigene Darstellung)	27
Tabelle 2: Verwendete Konversionsfaktoren (OIB-330.6-009/15)	37
	45

Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

Böhm, M. & Getzner, M. (2017). *Ökonomische Wirkungen der thermischen Sanierung von Wohngebäuden in Österreich* (Energie und Nachhaltigkeit).

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. (2018). *mission2030. Klima- und Energiestrategie der österreichischen Bundesregierung*, Wien. Zugriff am 19.04.2019. Verfügbar unter https://mission2030.info/wp-content/uploads/2018/04/mission2030_Klima-und-Energiestrategie.pdf

CHEFS CULINAR GmbH & Co. KG. (o.J.). *Deutsche verbringen wenig Zeit am Herd*, CHEFS CULINAR GmbH & Co. KG. Zugriff am 19.04.2019. Verfügbar unter <https://www.chefsculinar.de/deutsche-verbringen-wenig-zeit-am-herd-6798.htm>

Culha, O., Gunerhan, H., Biyik, E., Ekren, O. & Hepbasli, A. (2015). Heat exchanger applications in wastewater source heat pumps for buildings: A key review. *Energy and Buildings*, 104, 215-232.

Dermentzis, G., Ochs, F. & Feist, W. (2017). *A micro-heat pump combined with mechanical ventilation including heat recovery - simulation and in situ monitoring*. : Heat Pump Conference 2017. Zugriff am 07.04.2019. Verfügbar unter <http://hpc2017.org/wp-content/uploads/2017/05/O.1.5.1-A-micro-heat-pump-combined-with-mechanical-ventilation-including-heat-recovery.pdf>

Fadejev, J., Simson, R., Kurnitski, J. & Kesti, J. (2016). Heat Recovery from Exhaust Air as a Thermal Storage Energy Source for Geothermal Energy Piles. *Energy Procedia*, 96, 478-488.

Fracastoro, G. V. & Serraino, M. (2010). Energy analyses of buildings equipped with exhaust air heat pumps (EAHP). *Energy and Buildings*, 42 (8), 1283-1289.

Fritz Holter GmbH. (o.J.). *Holter Badstudie: Die Österreicher und ihr Bad. Männer brauchen morgens fast gleich lang wie Frauen*, Fritz Holter GmbH. Zugriff am 19.04.2019. Verfügbar unter <https://www.holter.at/beitrag.php?id=494>

Habert, G. & Schlueter, A. (2016). *Expanding boundaries. Systems thinking in the built environment ; sustainable built environment (SBE) regional conference Zurich 2016*. Verfügbar unter <http://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:49617>

- Häkämies, S., Hirvonen, J., Jokisalo, J., Knuuti, A., Kosonen, R., Niemelä, T. et al. (2015). *Heat pumps in energy and cost efficient nearly zero energy buildings in Finland: VTT*. Verfügbar unter <http://www.vttresearch.com/impact/publications>
- Hepbasli, A., Biyik, E., Ekren, O., Gunerhan, H. & Araz, M. (2014). A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems. *Energy Conversion and Management*, 88, 700-722.
- Institut für Immobilien, Bauen und Wohnen GmbH. (2013). *Wohnhaussanierung in Österreich*.
- International Conference on Renewable Energies for Developing Countries; REDEC. (2014). *2014 International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC). 26-27 Nov. 2014, Beirut, Lebanon*. Piscataway, NJ: IEEE.
- Kensby, J., Trüschel, A. & Dalenbäck, J. O. (2017). Heat source shifting in buildings supplied by district heating and exhaust air heat pump. *Energy Procedia*, 116, 470-480.
- Klima- und Energiefonds. (2018). *Zero Carbon Refurbishment – Salzburg*, Klima- und Energiefonds. Zugriff am 19.04.2019. Verfügbar unter <https://www.smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#zero-carbon-refurbishment-salzburg>
- Korab, R., Romm, T. & Schönfeld, A. (2010). *einfach sozialer wohnbau. Aktuelle Herausforderungen an den geförderten Wiener Wohnbau und Eckpfeiler eines Programms „einfach sozialer wohnbau“*, Wien. Zugriff am 19.04.2019. Verfügbar unter <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEWj-z8a6wdvhAhVNyqQKHx1uCOEQFjAAegQI-ABAB&url=http%3A%2F%2Fwww.wohnbauforschung.at%2Findex.php%3Finc%3Ddownload%26id%3D5321&usg=AOvVaw1RB5mBwjyRxEQPJk9t9keJ>
- Laverge, J. & Janssens, A. (2012). Heat recovery ventilation operation traded off against natural and simple exhaust ventilation in Europe by primary energy factor, carbon dioxide emission, household consumer price and exergy. *Energy and Buildings*, 50, 315-323.
- Liu, L., Fu, L. & Jiang, Y. (2010). Application of an exhaust heat recovery system for domestic hot water. *Energy*, 35 (3), 1476-1481.
- Meggers, F. & Leibundgut, H. (2011). The potential of wastewater heat and exergy: Decentralized high-temperature recovery with a heat pump. *Energy and Buildings*, 43 (4), 879-886.
- OIB-330.6-009/15 (März 2015). *OIB- Richtlinie 6*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.

- Postrioti, L., Baldinelli, G., Bianchi, F., Buitoni, G., Di Maria, F. & Asdrubali, F. (2016). An experimental setup for the analysis of an energy recovery system from wastewater for heat pumps in civil buildings. *Applied Thermal Engineering*, 102, 961-971.
- Ramadan, M., Murr, R., Khaled, M. & Olabi, A. G. (2018). Mixed numerical - Experimental approach to enhance the heat pump performance by drain water heat recovery. *Energy*, 149, 1010-1021.
- NORM, SIA 2024 (01.10.2015). *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*. Zürich: SIA Zürich.
- Sakellari, D. & Lundqvist, P. (2005). Modelling and simulation results for a domestic exhaust-air heat pump heating system. *International Journal of Refrigeration*, 28 (7), 1048-1056.
- Salzburger Landesregierung. (2016). Salzburger Bautechnikgesetzes - Anlage 1. BauTG. Verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrSbg&Gesetzesnummer=20001034>
- Schrattenecker, I., Trebut, F. & Lubitz-Prohaska, B. (2019). *klimaaktiv Kriterienkatalog. für Wohnbauten Neubau und Sanierung* (4. Aufl.). Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Zugriff am 18.03.2019. Verfügbar unter https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:36046fc4-54ed-4365-a404-8ccf96a03eb4/klimaaktiv%20Kriterienkatalog%20Wohnbau_final_web.pdf
- Shen, C., Lei, Z., Wang, Y., Zhang, C. & Yao, Y. (2018). A review on the current research and application of wastewater source heat pumps in China. *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 140-156.
- Suárez, A. (2017). Wie grau ist die Gebäudetechnik? *Haustech*, 2017 (6), 56-60.
- Thalfeldt, M., Kurnitski, J. & Latõšov, E. (2018). Exhaust air heat pump connection schemes and balanced heat recovery ventilation effect on district heat energy use and return temperature. *Applied Thermal Engineering*, 128, 402-414.
- Umweltbundesamt GmbH. (2019). *Treibhausgase*, Umweltbundesamt GmbH. Zugriff am 06.03.2019. Verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/>
- Wang, H., Wang, Q. & Chen, G. (2013). Experimental performance analysis of an improved multifunctional heat pump system. *Energy and Buildings*, 62, 581-589.

- Wang, K., Li, N., Peng, J. & He, Y. (2017). Study on the Optimizing Operation of Exhaust Air Heat Recovery and Solar Energy Combined Thermal Compensation System for Ground-Coupled Heat Pump. *International Journal of Photoenergy*, 2017 (3), 1-19.
- Wang, L., Ma, G., Ma, A., Zhou, F. & Li, F. (2018). Experimental study on the characteristics of triplex loop heat pump for exhaust air heat recovery in winter. *Energy Conversion and Management*, 176, 384-392.
- Zhang, T., Zhang, J. & Ma, L. (2017). Experimental Research of the Dual-source Evaporator Under Spraying Condition. *Procedia Engineering*, 205, 1920-1926.
- Zhang, Z.-Y., Zhang, C.-L., Ge, M.-C. & Yu, Y. (2018). A frost-free dedicated outdoor air system with exhaust air heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 128, 1041-1050.

Abkürzungsverzeichnis

ZeCaRe II	Zero Carbon Refurbishment II
COP	Coefficient of Performance
PV	Photovoltaik
PHPP	Passivhaus Projektierungs-Paket
VL	Vorlauf
RL	Rücklauf
ABL	Abluft
ABW	Abwasser
Biomasse + WP AW + PV	Biomasse mit Abwasserwärmerückgewinnung und PV-Anlage
Biomasse + WP ABL + PV	Biomasse mit Abluftwärmerückgewinnung und PV-Anlage
Biomasse + WP AW + WP ABL + PV	Biomasse mit Abluft- und Abwasserwärmerückgewinnung mit PV-Anlage

Anhang

Bauteile

Für die Simulation wurden folgende Bauteilaufbauten festgelegt:

AW01 _Außenwand Bestand_ZeCaRe II

U-Wert: 0,09 W/m²K

Dicke: 0,654 m

Wandaufbau:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lamda	Dichte	Wärme- kapazität
Innenputz	0,02	0,7	1200	1000
Mantelbeton mit EPS Isospan S25/6	0,3	0,12	1084	1100
Kalkzementputz Bestand	0,03	0,7	1600	1100
VWS Klebemörtel 50% / Luftschicht 50%	0,005	0,08	750	1130
VWS Capatect Hanf Wall Putzträgerplatte	0,34	0,043	92	1700
VWS Armierungsbeschichtung	0,006	0,8	1500	1130
VWS Deckputz	0,003	0,7	1800	1130

AW02 _Außenwand Lift_ZeCaRe II

U-Wert: 0,34 W/m²K

Dicke: 0,44 m

Wandaufbau:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lamda	Dichte	Wärme- kapazität
Fertigbetonschale	0,06	2,3	2400	1100
Ortbeton	0,22	2,3	2400	1100
Polystyrol extrudiert XPS 036 mit Abstandhalter	0,1	0,038	33	1450
Fertigbetonschale	0,06	2,3	2400	1100

AW03 _Außenwand Traffo Bestand_ZeCaRe II

Wandaufbau von innen nach außen:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lamda	Dichte	Wärme- kapazität
Innenputz	0,02	0,7	1200	1000
Mantelbeton mit EPS Isospan S25/6	0,3	0,12	1084	1100
Luft	0,03	0,17	1,2	1006
Mantelbeton mit EPS Isospan S25/6	0,35	0,12	1084	1100
Kalkzementputz Bestand	0,03	0,7	1600	1100
VWS Klebemörtel 50% / Luftschicht 50%	0,005	0,08	750	1130
VWS Capatect Hanf Wall Putzträgerplatte	0,34	0,043	92	1700
VWS Armierungsbeschichtung	0,006	0,8	1500	1130
VWS Deckputz	0,003	0,7	1800	1130

AW11_ Außenwand NEU_ZeCaRe II

U-Wert: 0,11 W/m²K

Dicke: 0,509 m

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte	0,0125	0,25	800	1044
Gipskartonplatte	0,0125	0,25	800	1044
Lattung auf Schwingbügel + Min.woll	0,05	0,045	60	1030
Massivholzwand	0,14	0,12	470	2100
Riegel mit Zwischendämmung	0,12	0,045	60	1030
Riegel mit Zwischendämmung	0,14	0,045	60	1030

(Stärke der Schicht bei IDA ICE erhöht um auf den gel- eichen U-Wert wie beim EAW zu kommen)				
Winddichtung	0,004	0,2	900	1
Konterlattung/ Hinterlüf- tung	0,03	0,11	1,2	1006
Holzschalung	0,024	0,12	450	2340

AW12_ Außenwand NEU giebelseitig ZeCaRe II

U-Wert: 0,14 W/m²K

Dicke: 0,453 m

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Kondukti- vität	Dichte	Wärmeka- pazität
Gipskartonplatte	0,0125	0,25	800	1044
Gipskartonplatte	0,0125	0,25	800	1044
Lattung auf Schwingbügel + Min.woll. (Werte: Mischung aus Lattung u Min.woll.)	0,05	0,045	60	1030
Massivholzwand	0,14	0,12	470	2100
Riegel mit Zwischendämmung (Werte: Mischung aus Lattung u Min.woll.)	0,16	0,045	60	1030
Winddichtung	0,0004	0,2	900	1
Konterlattung/ Hinterlüftung	0,03	0,11	1,2	1006
Streuschalung liegend	0,024	0,12	450	2340
Holzschalung	0,024	0,12	450	2340

AW13_ Außenwand NEU giebelseitig + Bestandsgiebel ZeCaRe II

U-Wert: 0,06 W/m²K

Dicke: 0,659 m

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte	0,0125	0,25	800	1044
Gipskartonplatte	0,0125	0,25	800	1044
Lattung auf Schwingbügel + Min.woll	0,05	0,045	60	1030
Massivholzwand	0,14	0,12	470	2100
VWS Klebemörtel 50%-750% Luftsicht	0,005	0,08	750	1130
VWS Steinwolle-Putzträgerplatte 034 MW-PT	0,09	0,034	150	900
VWS Steinwolle-Putzträgerplatte 034 MW-PT (Stärke der Schicht bei IDA ICE erhöht um auf den gleichen U-Wert wie beim EAW zu kommen)	0,35	0,034	150	900
VWS Amierungsbeschichtung	0,006	0,8	1500	1130
VWS Deckputz	0,003	0,7	1800	1130

AW14_ Außenwand NEU Stiegenhaus

U-Wert: 0,12 W/m²K

Dicke: 0,626 m

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Dünnsputz	0,002	0,9	1300	1000
Stahlbeton	0,25	2,3	2400	1100
Riegel mit Zwischendämmung	0,16	0,045	60	1030
Riegel mit Zwischendämmung	0,18	0,045	60	1030

(Stärke der Schicht bei IDA ICE erhöht um auf den gleichen U-Wert wie beim EAW zu kommen)				
Winddichtung	0,0004	0,2	900	1
Konterlattung/ Hinterlüftung	0,03	0,11	1,2	1006
Holzschalung	0,024	0,12	450	2340

Zwischendecken

ZWD01_Zwischendecke EG zu Kellerraum

Bauteilaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE - Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30 MW-T 033	0,03	0,033	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,04	0,045	100	1400
Stahlbeton bestehend	0,2	2,3	2400	1100
Rockwool Planarock Dämmplatte	0,06	0,034	140	900

ZWD02_Zwischendecke 1. OG zu EG

Bauteilaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE - Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30 MW-T 033	0,03	0,033	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,04	0,045	100	1400
Stahlbeton bestehend	0,2	2,3	2400	1100

Innenputz	0,01	0,7	1200	1000
-----------	------	-----	------	------

ZWD03_Zwischendecke 2.OG zu 1. OG

Bauteilaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE - Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30 MW-T 033	0,03	0,033	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,09	0,045	100	1400
Stahlbeton bestehend	0,2	2,3	2400	1100
Isover TDPT 50/50 MW-T 033	0,05	0,033	105	1030
Stahlbeton bestehend	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000

ZWD04_Zwischendecke 3.OG zu 2. OG

Bauteilaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE - Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30 MW-T 033	0,03	0,033	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,09	0,045	100	1400
Stahlbeton bestehend	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000

Flachdächer

FD01_Flachdach 01_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Systemerde für Extensivbegrünung	0,3	0,625	1	1003
PP-Filtervlies 100 g/m ² nass	0,002	0,22	600	792
Dränagematte Floradrain FD40 ZinCo	0,04	0,5	980	1260
PP-Speicherschutzmatte SSM 45 (ZinCo)	0,005	0,22	910	792
Bitumenbahn mit CU (wurzelfest)	0,005	0,23	1100	1260
2Lg. Bitumen Dachabdichtung	0,01	0,17	1200	1700
Gefälle Höhenausgleich (nur für Berechnung)(lt. EAW)	0,1	999,9	1	1003
Polystyrol EPS-W25 plus 031 (lt. EAW)	0,12	0,031	25	1450
Polystyrol EPS-W25 plus 031 (lt. EAW)	0,22	0,031	25	1450
Bitumen-Dampfsperrbahn E-ALGV-4 (lt. EAW)	0,004	0,17	1100	1700
Stahlbeton bestehend (lt. EAW)	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz (lt. EAW)	0,01	0,7	1200	1000

FD02_Flachdach über Bestand_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Holzbelag	0,03	99,99	500	2500
Polsterhölzer/ Gefälleausgleich	0,07	99,99	500	2500
Gummigranulatmatte (Bautenschutzmatte)	0,01	0,17	640	2100
2Lg. Bitumen Dachabdichtung	0,01	0,17	1200	1700

Linitherm PAL Gefälledämmung	0,05	0,023	30	1400
Linitherm PAL Gefälledämmung	0,08	0,023	30	1400
Bitumen – Dampfsperrbahn E-ALGV-4	0,004	0,17	1100	1700
Stahlbeton	0,2	2,3	2400	1100
IsoverTDPT 50750 MW-T 033	0,05	0,033	105	1030
Stahlbeton bestehend (lt. EAW)	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz (lt. EAW)	0,01	0,7	1200	1000

Innenwände Bestandsgeschoße: IW01 bis IW29

IW01_Innenwand Bestand 35cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,25	0,301	1500	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000
Abstand	0,005	0,042	1,2	1006
Metallständer	0,05	0,055	50	900
Gipskartonplatte 15	0,015	0,23	680	1044

IW02_Innenwand Neu 10cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte 12,5	0,0125	0,25	800	1044
Riegel mit Zwischendämmung	0,08	0,045	60	1030
Gipskartonplatte 12,5	0,0125	0,25	800	1044

IW03_Innenwand Bestand 20cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,2	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW04_Innenwand Bestand 65 cm Wohnungstrennw. zu Bad_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte GKB 15	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte GKB 15	0,015	0,23	680	1044

Installationsebene + Mineralwolle	0,07	0,045	60	1030
Abstand (20 cm)	0,2	0,042	1,2	1006
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,25	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Abstand	0,005	0,042	1,2	1006
Metallständer	0,05	0,045	60	1030
Gipskartonplatte 15	0,015	0,23	680	1044

IW05_Innenwand Bestand 18 cm Innenwand + Install. Ebene_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte GKB 15	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte GKB 15	0,015	0,23	680	1044
Installationsebene + Mineralwolle	0,07	0,045	60	1030
Abstand (20 cm)	0,2	0,042	1,2	1006
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,25	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW06_Innenwand Bestand 40cm Wohnungstrennw. zu Bad_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte GKB 15	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte GKB 15	0,015	0,23	680	1044
Installationsebene + Mineralwolle	0,1	0,045	60	1030
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,25	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW07_Innenwand Bestand 25cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,25	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW08_Innenwand Bestand 63cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,3	0,301	1500	1100
Luft	0,03	0,17	1,2	1006
Mantelbeton	0,25	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW09_Innenwand NEU Wohnungstrennw. zu WC_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Installationsebene + Mineralwolle	0,1	0,045	60	1030
Abstand (20 cm)	0,2			
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Ziegel	0,3			
Innenputz	0,013	0,7	1200	1000

IW10_Innenwand NEU 30m Wohnungstrennw.

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

Ziegel	0,3			
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW11_Innenwand Bestand 30cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,3	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

IW12_Innenwand Bestand 40cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,3	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Abstand	0,005	0,042	1,2	1006
Metallständer	0,05	0,045	60	1030
Gipskartonplatte 15	0,015	0,23	680	1044

IW13_Innenwand Bestand 52m Wohnungstrennw. zu Bad_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Installationsebene + Mineralwolle	0,1	0,045	60	1030
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Mantelbeton	0,3	0,301	1500	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Abstand	0,005	0,042	1,2	1006
Metallständer	0,05	0,045	60	1030
Gipskartonplatte 15	0,015	0,23	680	1044

IW14_Stiegenhauswand STB Neu 20cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Stahlbeton	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000

Innenwände Neubaugeschoße: ab IW30

IW31_Wohnungstrennwand Neu 30cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Installationsebene + Mineralwolle	0,06	0,045	60	1030
Massivholzwand	0,12	0,12	470	2100
Installationsebene + Mineralwolle	0,06	0,045	60	1030
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044

IW32_Stiegenhauswand STB Neu 25cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,015	0,7	1200	1000
Stahlbeton	0,2	2,3	2400	1100
Installationsebene + Mineralwolle	0,037	0,045	60	1030
Gipskartonplatte	0,015	0,23	680	1044

IW33_Innenwand Neu Massivholz 20cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Massivholzwand	0,2	0,12	470	2100

IW34_Innenwand Neu 10cm_ZeCaRe II

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Gipskartonplatte 12,5	0,015	0,25	800	1044
Riegel mit Zwischendämmung	0,08	0,045	60	1030
Gipskartonplatte 12,5	0,015	0,25	800	1044

Zwischendecken

ZWD01_Zwischendecke EG zu Kellerraum

U-Wert: 0,20 W/m²K

Dicke: 0,451 m

Bauteilaufbau:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lambda	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE-Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30	0,03	0,33	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,04	0,045	100	100
Stahlbeton bestehend	0,2			
Rockwool Platarock Dämmplatte MW-PT	0,06	0,034	140	900

ZWD02_Zwischendecke 1.OG zu EG

U-Wert: 0,45 W/m²K

Dicke: 0,36 m

Wandaufbau:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lamda	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE-Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30	0,03	0,33	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,04	0,045	100	100
Stahlbeton bestehend	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000

ZWD03_Zwischendecke 2.OG zu 1.OG

U-Wert: 0,2 W/m²K

Dicke: 0,66 m

Wandaufbau:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lamda	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE-Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30	0,03	0,33	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,09	0,045	100	100
Stahlbeton neu	0,2	2,3	2400	1100
Isover TDPT 50/50 MW-T 033 s'= 8 MN/m³	0,05	0,033	105	1030
Stahlbeton Bestand	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000

ZWD04_Zwischendecke 3.OG zu 2.OG

U-Wert: 0,30 W/m²K

Dicke: 0,411 m

Wandaufbau:

Material	Dicke	Th. Konduktivität Lamda	Dichte	Wärmekapazität
Bodenbelag	0,01	1	700	1800
Heizestrich	0,07	1,4	2000	1080
PE-Folie	0,0002	0,2	1000	1000
Isover TDPT 30/30	0,03	0,33	115	1030
Dampfbremse	0,0004	0,2	1000	1000
Dämmschüttung	0,09	0,045	100	100
Stahlbeton	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000

FD01_Flachdach 01_ZeCaRe II

U-Wert: 0,09 W/m²K

Dicke: 1,01 m

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000
Stahlbeton lt. Statik	0,2	2,3	2400	1100
Bitumen-Dampfsperrbahn	0,004	0,17	1100	1700
Polysyrol EPS-W25 plus	0,22	0,031	25	1450
Polysyrol EPS-W25 plus	0,12	0,031	25	1450
Gefälle Höhenausgleich	0,1	999,9	1	1003
2Lg. Bitumen Dachabdichtung	0,01	0,17	1200	1700
Bitumenbahn mit CU	0,005	0,23	1100	1260
PP- Speicherchutzmatte	0,005	0,22	910	792
Dränagematte	0,04	0,5	980	1260
PP Filtervlies	0,002	0,22	600	792
Systemerde für Extensivbegrünung	0,3	0,625	1	1003

FD02_Flachdach über Bestand_ZeCaRe II

U-Wert: 0,13 W/m²K

Dicke: 0,714 m

Wandaufbau:

Material	Dicke [m]	Th. Konduktivität	Dichte	Wärmekapazität
Holzbelag	0,03	99,99	500	2500
Polsterhölzer	0,07	99,99	500	2500
Gummigranulatmatte	0,01	0,17	640	2100
2lg. Bitumen Dachabdichtung	0,01	0,17	1200	1700
Linitherm PAL Gefälledämmung PIR 22	0,05	0,023	30	1400
Linitherm PAL Grunddämmung PIR 23	0,08	0,023	30	1400
Bitumen Dampfsperbahn	0,004	0,17	1100	1700
Beton	0,2	2,3	2400	1100
Isover TDPT 50/50 MW-T 033	0,05	0,033	105	1030
Stahlbeton	0,2	2,3	2400	1100
Innenputz	0,01	0,7	1200	1000

Zusätzliche interne Massen

Top 1

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 03	7,3	2,5	18,25
IW 02	13,65	2,5	34,125
Summe			52,375

Top2

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 03	2,2	2,5	5,5
IW 07	1,95	2,5	4,875
IW 02	6,67	2,5	16,675
Summe			27,05

Top3

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 03	4,2	2,5	10,5
IW 02	5,49	2,5	13,725
Summe			24,225

Top3 Ablufträume

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 02	3,3	2,5	8,25
Summe			8,25

Top 4

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 03	7,3	2,5	18,25
IW 02	13,65	2,5	34,125
Summe			52,375

Top5

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 03	2,2	2,5	5,5
IW 07	1,95	2,5	4,875
IW 02	6,67	2,5	16,675
Summe			27,05

Top6

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 02	21,7	2,5	54,25
IW 03	9,07	2,5	22,675
Summe			76,925

Top6 Ablufträume

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 02	3,3	2,5	8,25
Summe			8,25

Top7

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	16,58	2,6	43,108
Summe			43,108

Top8

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	8,29	2,6	21,554
IW 33	2,1	2,6	5,46
Summe			27,014

Top9

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	18,46	2,6	47,996
IW 33	6,88	2,6	17,888
Summe			65,884

Top9 Ablufträume

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	1,75	2,6	4,55
Summe			4,55

Top10

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	16,58	2,6	43,108
Summe			43,108

Top11

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	8,29	2,6	21,554
IW 33	2,1	2,6	5,46
Summe			27,014

Top12

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	18,46	2,6	47,996
IW 33	6,88	2,6	17,888
Summe			65,884

Top12 Ablufträume

Wand	Länge	Raumhöhe	Wandfläche
IW 34	1,75	2,6	4,55
Summe			4,55

Abluftvolumenströme in den Ablufträumen:

Top 1

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h

Top 2

Räume: Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 30 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 80 m³/h

Top 3

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h

Top 4

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h

Top 5

Räume: Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 30 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 80 m³/h

Top 6

Räume: WC, Bad, Küche, Abstellraum

Grundlüftung in der Wohnung: 60 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 160 m³/h

Top 7

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h

Top 8

Räume: Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 30 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 80 m³/h

Top 9

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h

Top 10

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h

Top 11

Räume: Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 30 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 80 m³/h

Top 12

Räume: WC, Bad, Küche

Grundlüftung in der Wohnung: 45 m³/h

Maximaler Abluftvolumenstrom in der Wohnung: 120 m³/h