



Theresa Reif, BSc BSc

Low-tech Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung mittels Abluftwärmepumpe

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Monsberger

Institut für Bauphysik,
Gebäudetechnik und Hochbau

Mitbetreuende AssistentInnen:

Marta Mierzejek inz. mgr inz.

DI Rainer Partl

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Datum

Unterschrift

¹ Soweit in diesem Dokument personenbezogene Ausdrücke verwendet werden, umfassen sie Frauen und Männer gleichermaßen

Danksagung

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Monsberger für die tatkräftige Unterstützung und die Motivation, das Bestmögliche aus dieser Arbeit herauszuholen. Außerdem bedanke ich mich bei Frau Marta Mierzejek inz. Mgr. Inz. und Herrn DI Rainer Partl für die Unterstützung bei meinen Fragestellungen zur Thematik.

Herrn Dipl. Ing. Markus Kozak möchte ich an dieser Stelle sowohl für die inspirierende und lehrreiche Zusammenarbeit in den letzten Jahren als auch für die Unterstützung bei der Bearbeitung dieser Aufgabenstellung danken.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch begleitet und in all meinen Entscheidungen bedingungslos unterstützt und bekräftigt haben.

Mein abschließender Dank gilt meinem Mann Sebastian, der mich vom ersten bis zum letzten Tag meines Studiums begleitet und unterstützt hat. Danke, dass du mir in den letzten zehn Jahren stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden bist.

Kurzfassung

Im Sinne einer energetisch optimierten Konstruktion von konditionierten Gebäuden wird bei einem nach dem heutigen Stand der Technik errichteten Bauwerk ein Luftaustausch durch Infiltration der Gebäudehülle weitestgehend unterbunden. Eine kontrollierte Erneuerung der Raumluft muss aber gewährleistet werden, um feuchte und verbrauchte Luft abzuführen und so Schaden an der Gesundheit der Nutzerinnen und Nutzer sowie an der Baukonstruktion zu vermeiden. Besonders im Wohnbau rückt der Fokus auf kontrollierte Wohnraumlüftung, welche einen kontrollierten Luftaustausch ohne das Zutun der Nutzerinnen und Nutzer ermöglicht. Ein spezielles Lüftungskonzept besteht darin, die benötigte Frischluft mittels einer zentralen Abluftanlage über Außenluftdurchlässe in der Gebäudehülle anzusaugen. Dies ermöglicht einen automatisierten kontrollierten Austausch der Raumluft selbst in schallexponierten Wohngebieten ohne den zusätzlichen Verrohrungsaufwand einer mechanischen Zuluftanlage.

Der Wärmeverlust der Fortluft erweist sich bei diesem Konzept allerdings als entscheidender Nachteil. Bei reinen Abluftanlagen kann die Wärme der Abluft nicht zur Vorwärmung der zugeführten Luft verwendet werden. Eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels einer Wärmepumpe bietet die Möglichkeit, einen Teil der Wärme der Fortluft zurückzugewinnen. Diese rückgewonnene Wärme kann sowohl für die Raumheizung als auch für die Warmwasseraufbereitung verwendet werden.

In Einfamilienwohngebäuden haben sich Abluftwärmepumpen zur Unterstützung der Warmwasseraufbereitung bereits etabliert. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Potential der Wärmerückgewinnung aus Abluft mittels einer Wärmepumpe für Mehrfamilienwohngebäude untersucht und aufgezeigt.

Abstract

Energy-efficient building designs according to the current state-of-the-art substantially reduce the exchange of air by means of infiltration of the building envelope. However, the necessary supply of fresh air must be guaranteed in order to remove stale and moist air to ensure a healthy indoor climate and to avoid damages to the building structure. Mechanical ventilation systems are thus becoming more and more important in residential buildings. These systems enable a regulated exchange of air without the need of manual window ventilation by the building users. One particular ventilation concept consists in drawing in the required fresh air via vents in the building envelope by means of a central exhaust air system. This enables an automatic and controlled exchange of the indoor air even in noise-polluted residential areas without the need of piping for the supply air. However, the heat loss via the exhaust air is a major disadvantage of this concept.

In the case of exhaust air systems, the heat from the exhaust air cannot be used to preheat the supply air. Heat recovery from the exhaust air by means of a heat pump offers the possibility to recover part of the heat contained in the exhaust airflow. The recovered heat can be used for both space heating and hot water supply.

In single-family residential buildings, exhaust air heat pumps for hot water preparation are already well established. The purpose of this thesis is to investigate and show the potential of heat recovery from exhaust air by means of a heat pump for multi-family residential buildings.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziel	1
1.2	Vorgehensweise	2
1.2.1	Theorieteil	2
1.2.2	Referenzgebäude	3
1.2.3	Simulation IDA ICE	3
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Wohnraumlüftung: Raumklimatische Anforderungen	4
2.1.1	Meteorologische Grundlagen Raumluft	4
2.1.2	Gesetzliche Vorgaben und normative Empfehlungen an die Raumluftqualität	5
2.1.3	Behaglichkeit	5
2.1.3.1	Zugluft	5
2.2	Wohnraumlüftung: Bauphysikalische Anforderungen	7
2.2.1	Luftfeuchtigkeit und Vermeidung von Schimmelpilzgefahr	7
2.2.2	Energieeffizienz	9
2.2.2.1	Energieausweis	11
2.3	Wohnraumlüftung und Lüftungskonzepte	13
2.3.1	Natürliche Lüftung	13
2.3.2	Mechanische Wohnraumlüftung	14
2.3.2.1	Lüftungstechnische Zonierung von Wohnungen	16
2.4	Zuluft-Zufuhr mittels Druckdifferenz	16
2.4.1	Feuchtegesteuerte Zuluftelemente	19
2.4.2	Fenster mit integrierter Wohnraumlüftung	20
2.5	Zentrale Abluftanlagen	21
2.5.1	Komponenten von zentralen Abluftanlagen	21
2.5.2	Steuerung und Betrieb	21
2.5.3	Abluftwärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe	23
2.5.4	Funktionsweise und Bestandteile von Kompressionswärmepumpen	24
2.5.4.1	Berechnungen zur Wärmepumpe	25
2.5.5	Leistungszahl und Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen	27
2.5.6	Stand der Technik – Abluftwärmepumpensysteme am Markt	28
2.5.6.1	Abluftwärmepumpen am Markt - Systeme	28
2.5.6.2	Abluftwärmepumpen am Markt – zentrale Systeme	29
3	Referenzgebäude	31
3.1	Standort und Orientierung	31
3.2	Geometrie	32
3.3	Thermische Gebäudehülle und Temperaturzonen	34
3.4	Wohneinheiten und Nutzung	35
3.5	Lüftungskonzept	37
3.6	Wärmebereitstellung und Abluftwärmerückgewinnung	38
4	Thermische Gebäudesimulation	41
4.1	Randbedingungen, Parameter und Annahmen	41
4.1.1	Zonierung	41
4.1.2	Interne Lasten	42
4.1.3	Raumheizung und Wärmebereitstellung	44
4.1.3.1	Grundsystem – Fernwärme ohne Wärmerückgewinnung aus Abluft	44
4.1.3.2	Kombiniertes System – Fernwärme und Abluftwärmepumpe für die Wärmerückgewinnung aus dem Lüftungssystem	46
4.1.3.3	Zentrale Abluftanlage und Luftwechsel	49
4.1.3.4	Fenster und Sonnenschutz	52
4.1.3.5	Warmwasserverbrauch	52
4.2	Berechnungsergebnisse	54

4.2.1	CO ₂ -Gehalt der Raumluft.....	54
4.2.2	Übersicht Energieausweis.....	57
4.2.3	Lüftungswärmeverlust durch die Abluftanlage.....	58
4.2.3.1	Lüftungskonzept K1 und Energieausweis.....	58
4.2.3.2	Lüftungswärmeverluste der Konzepte K1 bis K4 im Vergleich.....	61
4.2.4	Heizwärme- und Warmwasserbedarf.....	62
4.2.4.1	Heizwärmebedarf K1 und Vergleich mit dem Energieausweis.....	63
4.2.4.2	Heizwärmebedarf der Lüftungskonzepte K2, K3 & K4.....	64
4.2.5	Warmwasserwärmebedarf.....	66
4.2.6	Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft.....	68
4.2.6.1	Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – Lüftungskonzept K1.....	69
4.2.6.2	Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – Lüftungskonzept K2.....	70
4.2.6.3	Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – Lüftungskonzept K3.....	73
4.2.6.4	Wärmerückgewinnungspotential der Abluft– Lüftungskonzept K4.....	75
4.2.6.5	Vergleich der Wärmerückgewinnungspotentiale der unterschiedlichen Lüftungskonzepte.....	76
4.2.7	Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation mit integriertem Wärmerückgewinnungssystem.....	77
4.2.7.1	Simulationsergebnisse der Variante WP01.....	77
4.2.7.2	Simulationsergebnisse der Variante WP02.....	82
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	88
5.2	Ausblick.....	91
6	Literaturverzeichnis.....	92
6.1	Tabellenverzeichnis.....	94
6.2	Abbildungsverzeichnis.....	94
7	Anhang.....	97
7.1	Bauteilliste.....	97
7.2	Schedule.....	101
7.2.1	Energieausweise Referenzgebäude.....	105
7.2.1.1	Energieausweis Grundmodell – Fernwärme.....	105
7.2.1.2	Energieausweis detailliertes Modell – Fernwärme und Abluftwärmepumpe... ..	118
7.2.2	Lüftungswärmeverluste der einzelnen Betriebskonzepte.....	131

1 Einleitung

1.1 Motivation und Ziel

In Zeiten der spürbaren Auswirkungen der durch den Menschen verursachten Veränderungen auf das Klima verstärkt sich einmal mehr der Fokus auf energieeffizientes Bauen sowie auf den energieeffizienten Betrieb eines Wohngebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus. Der Sektor Bau hat auf den für den Klimawandel verantwortlichen Treibhauseffekt und somit auf den Anstieg der bodennahen Lufttemperatur erheblichen Einfluss. Dieser Einfluss ist neben den hohen CO₂-Emissionen bei der energieintensiven Herstellung bestimmter Baustoffe auch dem Betrieb und der damit einhergehenden notwendigen thermischen und lufttechnischen Konditionierung der Gebäude geschuldet.

Eine energiewirtschaftlich effiziente Betriebsweise ist immer in Wechselwirkung mit der Erfüllung der Anforderungen an den Wohnkomfort zu sehen. Ein gewisser Heizungskomfort sowie relativ hohe durchschnittliche Raumtemperaturen in den Heizperioden haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte im Wohnbau etabliert. Neben den relativ hohen geforderten Raumtemperaturen im Winter steigen die Temperaturen im Sommer, weshalb auch die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz in den Fokus rücken. Die aus diesen Faktoren entstehenden Anforderungen führen zu thermisch hochwertigen Gebäudehüllen, die auch den Luftaustausch durch Infiltration weitestgehend unterbinden.

Auch die Dauerhaftigkeit im Sinne einer guten Sanierbarkeit sowie Nachhaltigkeit der verbauten Rohstoffe sind Herausforderungen an die Baukonstruktionen unserer Zeit, die trotz der steigenden Technisierung nicht einfach zu erfüllen sind. Besonders Einzelkomponenten haustechnischer Anlagen sollten im Lebenszyklus eines Gebäudes austauschbar bleiben und nicht zum Komplettaustausch eines zum Großteil funktionierenden Systems führen. Die Komponenten der Gebäudetechnik auf das Notwendigste zu beschränken (Stichwort „Low-tech“ Gebäude) ist ein vorgeschlagener Ansatz, der in der jüngeren Vergangenheit intensiv diskutiert wurde. Auch stellen haustechnische Systeme, die bei der Sanierung von Gebäuden ohne großen Eingriff einsetzbar sind, ein interessanter und wichtigen Ausgangspunkt dar.

Durch die genannte Luftdichtigkeit, von nach dem Stand der Technik errichteten Gebäudehüllen, ergibt sich die Notwendigkeit, die Wohnraumlüftung im Sinne einer adäquaten Luftqualität einmal mehr in den Fokus von Untersuchungen zu neuen Lösungen zu rücken. Die grundsätzlich mögliche manuelle Fensterlüftung von Räumen ist vor allem hinsichtlich der niedrigen Energieeffizienz nachteilig. Eine Erneuerung der Raumluft muss aber gewährleistet werden, um feuchte und verbrauchte Luft abzuführen und so Schaden an der Gesundheit der Nutzer sowie an der Baukonstruktion zu vermeiden. Aus diesem Grund hat mit den steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz auch die kontrollierte Wohnraumlüftung an Bedeutung gewonnen. Diese soll den benötigten Luftwechsel ohne Zutun des Nutzers gewährleisten.

Ein mittlerweile im Wohnbau oftmals eingesetztes Lüftungskonzept ist es, die benötigte Frischluft mit Hilfe von Außenluftdurchlässen in der Gebäudehülle zur Verfügung zu stellen und diese mittels eines durch Abluftventilatoren erzeugten Unterdrucks den Wohnungen zuzuführen. Die verbrauchte Abluft des gesamten Gebäudes wird mittels der

Abluftventilatoren zum Beispiel über Dach abgeführt. Ein geringerer Verrohrungsaufwand sowie das Wegfallen von Zuluftventilatoren erweisen sich bei diesem Konzept als Vorteil gegenüber einer konventionellen kontrollierten Wohnraumlüftung.

Bei der kontrollierten Wohnraumlüftung mit mechanischer Zu- und Abluft ist es jedoch möglich, die Zuluft mit Hilfe der Abwärme der verbrauchten Luft vorzuwärmen und so die Lüftungswärmeverluste substantiell zu reduzieren, was der entscheidende Vorteil dieses Systems gegenüber dem zuvor genannten ist. Denn die Option einer Vorwärmung der Zuluft ist bei dem Konzept der Belüftung mittels Außenwanddurchlässen nicht gegeben. Die Zuluft wird erst im Zuge der Durchströmung der beheizten Wohnräume konditioniert. Es müssen somit neue Ansätze untersucht werden, um den Aspekt der Energieeffizienz dieses Low-Tech-Konzeptes gewährleisten zu können.

Es ergeben sich folgende Fragen, welche im Zuge dieser Arbeit zu bearbeiten gilt:

1. Wie kann ein Konzept für das vorliegende Referenzgebäude aussehen, welches eine Wärmerückgewinnung der Abluft mittels Wärmepumpe erlaubt?
2. Wie können Steuerungskonzepte für das System aussehen?
3. Wie hoch sind die Wärmeverluste durch Lüftung in Abhängigkeit der einzelnen Steuerungskonzepte?
4. Wie viel Energie wird abhängig der verschiedenen Steuerungskonzepte benötigt, um das Referenzgebäude zu beheizen?
5. Wie hoch ist der Warmwasserwärmebedarf für das Referenzgebäude?
6. Wie hoch ist das Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft für die einzelnen Betriebskonzepte?
7. Wie können Ansätze zur Auslegung dieses Systems zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft für dieses Gebäude aussehen?

1.2 Vorgehensweise

1.2.1 Theorieteil

Im ersten Teil der Arbeit werden einige theoretische Grundlagen, welche für die Bearbeitung der Fragestellung Relevanz zeigen, behandelt.

Es soll ein kurzer Überblick über die raumklimatischen Anforderungen von Wohngebäuden und den Einfluss der Wohnraumlüftung auf diese gegeben werden. Die erforderliche Luftqualität von Wohnräumen, Aspekte der Behaglichkeit und bauphysikalische Anforderungen, wie die Sicherstellung einer akzeptablen Luftqualität, sind für diese Arbeit von Bedeutung. Die Beurteilung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden mittels des Energieausweises wird vorgestellt. Der Energieausweis wird verwendet, um die Ergebnisse zum Heizwärmebedarf der Simulation zu plausibilisieren.

Ein kurzer Überblick über die Möglichkeiten der Lüftungstechnik im Allgemeinen wird neben den Systemen zur freien Lüftung mittels Luftdurchlässen vorgestellt. Der Aspekt der

zentralen Abluftanlage im Mehrfamilienwohnbau wird neben den Möglichkeiten der Steuerung dieser genauer behandelt.

Als letztes Kapitel wird die Wärmerückgewinnung der Abluft mittels Abluftwärmepumpe vorgestellt. Ein kurzer Überblick über die Funktionsweise und Bestandteile von Kompressionswärmepumpen wird gegeben.

Um die aktuelle Situation von Abluftwärmepumpen am Markt aufzuzeigen, wird ein Überblick über die aktuell verfügbaren Systeme, sowohl für Einfamilien- als auch für Mehrfamilienwohngebäude, gegeben.

1.2.2 Referenzgebäude

Ein 8-stöckiges Referenzgebäude am Standort Graz mit 24 Wohneinheiten wird zur Untersuchung des im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Lüftungskonzeptes mit Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe herangezogen. Es wird ein Lüftungs- und Heizungskonzept erstellt und unterschiedliche Steuerungsmöglichkeiten des Systems je nach Nutzung definiert. Das Konzept der Wärmebereitstellung wird festgelegt.

1.2.3 Simulation IDA ICE

Das Referenzgebäude wird mit Hilfe des Simulationstools IDA ICE der Firma EQUA Solutions AG [1] umfassend untersucht. Es werden genaue Nutzungsprofile inklusive Anwesenheitszeiten für jede Wohneinheit des Gebäudes definiert. Die Entnahme des Warmwassers wird mit einem Zapfprofil detailliert implementiert und Entnahmespitzen somit berücksichtigt.

Es werden vier verschiedene Betriebskonzepte des Systems definiert und im Programm integriert. Das haustechnische System wird wie das Lüftungskonzept mit all seinen Komponenten modelliert und gesteuert.

Ein erstes vereinfachtes Modell berücksichtigt für das Gebäude als Wärmebereitstellung Fernwärme im monovalenten Betrieb, um die Lüftungswärmeverluste und folgend den Heizwärme- und Warmwasserenergiebedarf des Gebäudes effizient berechnen zu können.

In einem weiteren Schritt wird eine Wärmepumpe mit ihren Komponenten im Modell implementiert, um die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus der Abluft des Lüftungssystems im Detail betrachten zu können.

2 Theoretische Grundlagen

Im folgenden Teil der Arbeit finden sich zusammengefasst jene theoretischen Grundlagen, welche für das behandelte Gebiet von Relevanz sind. Dies soll der Nachvollziehbarkeit der Berechnungen sowie der Annahmen, welche für das Simulationsmodell getroffen wurden, dienen.

2.1 Wohnraumlüftung: Raumklimatische Anforderungen

Für das untersuchte System ist im Heizfall ein möglichst geringer Luftvolumenstrom von Vorteil, um die Lüftungswärmeverluste zu minimieren. Ein gewisser Standard an zu gewährleistender Raumluftqualität muss dennoch sichergestellt werden. Zu diesem Zweck werden im folgenden Kapitel einige Größen behandelt, die in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen sind. Die Luftqualität im Wohnraum wird maßgeblich von folgenden Faktoren beeinflusst:

- **Stärke der Emissionsquelle im Raum**
- **Stoffabtransport durch die ausgetauschte Raumluft**

Die Menge der erforderlichen Frischluft wird durch die Luftwechselzahl gekennzeichnet. Diese Luftwechselzahl gibt an, wie oft das gesamte Luftvolumen des Raums pro Stunde ersetzt wird. Abhängig von mehreren Faktoren, wie zum Beispiel der Feuchteproduktion oder der Raum- und Außenlufttemperaturen, sind für Räume mit der Nutzung Wohnen Luftwechselraten von 0,4 bis 1,0 h⁻¹ erforderlich, um ausreichend Geruchsstoff- und Schadstoffabfuhr sowie Sauerstoffzufuhr gewährleisten zu können. [2]

2.1.1 Meteorologische Grundlagen Raumluft

Der menschliche Körper entzieht der Atemluft Sauerstoff und setzt diesen zur Oxidation seiner Energieträger ein. Als Umwandlungsprodukte entstehen bei diesem Prozess Wasser und Kohlendioxid. Langfristig wird die Masse der vom Körper aufgenommenen Nahrungsmittel und des Sauerstoffs sowie der mit dem Nahrungsmittel aufgenommene Energieinhalt in umgewandelter Form wieder an die Umgebung abgegeben. Trockene Luft besteht aus einem Gemisch verschiedener permanenter Gase. Diese ändern sich örtlich und zeitlich nur geringfügig und entsprechen den Kennwerten in Tabelle 1. [3]

Gas		[Vol. %]	[ppm]
Sauerstoff	O ₂	20,93	209300
Stickstoff	N ₂	78,10	781000
Argon	Ar	0,93	9300
Kohlendioxid	CO ₂	0,03	300
Wasserstoff	H ₂	0,01	100

Tabelle 1: Zusammensetzung unbelasteter Außenluft [3]

Zusätzlich kann bis zu 4 % Volumsanteil Wasserdampf in unterschiedlicher Menge in der Raumluft enthalten sein. Zudem können zahlreiche Dämpfe, Gase und Partikel geringer

Menge in Abhängigkeit der Jahreszeit, Witterung und Umgebung enthalten sein. Diese Stoffe, dann bezeichnet als Luftschadstoffe, können Menschen, Tiere und Pflanzen schädigen. [3]

2.1.2 Gesetzliche Vorgaben und normative Empfehlungen an die Raumlufthqualität

In der Richtlinie 3 – Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz des Österreichischen Instituts für Bautechnik wird zum Thema Raumlufthqualität folgendes definiert: „Aufenthaltsräume sind so auszuführen, dass gefährliche Emissionen aus Baumaterialien und aus dem Untergrund bei einem dem Verwendungszweck entsprechenden Luftwechsel nicht zu Konzentrationen führen, die die Gesundheit der Benutzer beeinträchtigen können. Dies gilt für Baumaterialien jedenfalls als erfüllt, wenn Bauprodukte bestimmungsgemäß verwendet werden, die die landesrechtlichen Vorschriften über Bauprodukte erfüllen.“ [4]

Die Konzentration unerwünschter und insbesondere schädlicher Inhaltsstoffe der Luft steigt bei Verringerung des Luftwechsels. Der Mindestluftwechsel aus hygienischen Anforderungen ergibt sich für Wohngebäude zwischen 0,28 und 0,38 [1/h]. [5]

Die Einteilung der Raumlufthqualität anhand des CO₂-Gehalts der Raumlufth kann entsprechend Abbildung 1 vorgenommen werden [6].

Kategorie	CO ₂ -Gehalt über dem Gehalt in der Außenluft, in ppm	
	Üblicher Bereich	Standardwert
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400 – 600	500
IDA 3	600 – 1000	800

Abbildung 1: Klassifizierung der Raumlufthqualität anhand des CO₂-Gehalts der Raumlufth [6]

2.1.3 Behaglichkeit

Die Begrenzung des Luftwechsels nach oben hin erfolgt nicht nur aufgrund von Überlegungen zur Energieeffizienz. Sondern auch negative Aspekte wie Zuglufterscheinungen und einhergehende Einbußen in der Behaglichkeit müssen berücksichtigt werden.

Der Begriff Behaglichkeit drückt Zufriedenheit mit dem aktuell herrschenden Umgebungsklima aus. Aufgrund subjektiver Wahrnehmungen ist es nicht möglich, ein Klima zu schaffen, das von allen Personen als behaglich empfunden wird. Es ist allerdings möglich, ein Umgebungsklima festzulegen, das von einem gewissen Prozentsatz der Personen als annehmbar empfunden wird. [7]

2.1.3.1 Zugluft

Bei Zugluft handelt es sich um eine unerwünschte lokale Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung. Die Beeinträchtigung durch Zugluft kann als der vorausgesagte Prozentsatz

an Menschen angegeben werden, die sich durch Zugluft beeinträchtigt fühlen. Die Beeinträchtigung durch Zugluft kann nach der Formel ((F1) bestimmt werden.

$$DR = (34 - t_{a,l}) \times (\bar{v}_{a,l} - 0,05)^{0,62} \times (0,37 \times \bar{v}_{a,l} \times Tu + 3,14) \quad (F1) [7]$$

DR	...	Beeinträchtigung durch Zugluft (draught rating)	[%]
$t_{a,l}$	...	Lokale Lufttemperatur ($20 < t_{a,l} < 26$)	[°C]
$\bar{v}_{a,l}$	...	Lokale mittlere Luftgeschwindigkeit ($\bar{v}_{a,l} < 0,5$)	[m/s]
Tu	...	Lokaler Turbulenzgrad ($10 < Tu < 60$)	[%]

Die Luftgeschwindigkeit in einem Raum beeinflusst den konvektiven Wärmeaustausch zwischen einer Person und der Umgebung. Dadurch wird sowohl die allgemeine körperliche thermische Behaglichkeit beeinflusst als auch die lokale thermische Unbehaglichkeit auf Grund von Zugluft. Es gibt keine Mindestluftgeschwindigkeit, die für die thermische Behaglichkeit erforderlich ist. Eine erhöhte Luftgeschwindigkeit kann jedoch genutzt werden, um das Wärmeempfinden durch eine erhöhte Temperatur auszugleichen.

Die Luftgeschwindigkeit kann durch Öffnen eines Fensters oder durch Verwendung von Lüftern erhöht werden, um eine Anpassung an wärmere Umgebungen zu erreichen. Im Sommer kann die Temperatur über den Grad hinaus erhöht werden, der für den Behaglichkeitsbereich zulässig ist, wenn zugleich die Möglichkeit besteht, die Luftgeschwindigkeit zu erhöhen. [7]

2.2 Wohnraumlüftung: Bauphysikalische Anforderungen

2.2.1 Luftfeuchtigkeit und Vermeidung von Schimmelpilzgefahr

Die anzustrebende relative Luftfeuchtigkeit in Wohnräumen ist ein wichtiger Aspekt bei der Dimensionierung von Lüftungsanlagen, um ein angenehmes und gesundes Raumklima für die Bewohner sicherzustellen. Insbesondere durch die hohe Luftdichtigkeit von thermisch hochwertigen Gebäudehüllen entsteht auch verstärkt die Notwendigkeit dauerhaft feuchte Luft aus den Wohnräumen in geeignetem Maß abzuführen, um Schaden an der Baukonstruktion zu vermeiden.

Mit Schimmelwachstum kann gerechnet werden, wenn in einem Zeitraum von fünf aufeinanderfolgenden Tagen eine Luftfeuchte von mehr als 80 % an über 12 Stunden pro Tag herrscht. Weitere Kriterien für das Wachstum von Schimmelpilz sind unter anderem das Nährstoffangebot, die Temperatur und der pH-Wert der Baustoffe. [2]

Die relative Luftfeuchte im Raum ϕ_i ergibt sich zu:

$$\phi_i(n_L, m_{pt}) = \theta_e \times \frac{p_{se}(\theta_e)}{p_{si}(\theta_i)} + m_{pt} \times R_D \times \frac{273 + \theta_i}{n_L \times V_i \times p_{si}(\theta_i)} \quad (\text{F2}) [8]$$

n_L	...	Luftwechselrate	[1/h]
m_{pt}	...	Feuchteproduktionsrate	[kg/h]
θ_e	...	Außentemperatur	[°C]
p_{se}	...	Wasserdampfdruck innen	[bar]
p_{si}	...	Wasserdampfdruck außen	[bar]
θ_i	...	Innentemperatur	[°C]
R_D	...	Gaskonstante Wasserdampf = 462	[Ws/kgK]
V_i	...	Volumen des Raumes	[m ³]

Die maximal zulässige relative Luftfeuchtigkeit ist sowohl von der Rauminnen- als auch der Außenlufttemperatur abhängig und sollte für ein optimales Raumklima etwa zwischen 45 und 60 % betragen. [9]

Folgende Abbildung zeigt, unter Vernachlässigung der Feuchtespeicherung von Umschließungsflächen sowie Einrichtungsgegenständen, die relative Raumlufffeuchte in Abhängigkeit von der Luftwechselrate bei winterlichen Außenluftverhältnissen (-5°C , 80 %). Bei Verhältnissen unter einer Feuchteproduktionsrate von $4\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ und einer Luftwechselrate von $0,7\text{ h}^{-1}$ ergibt sich eine Raumlufffeuchte von 47 %.

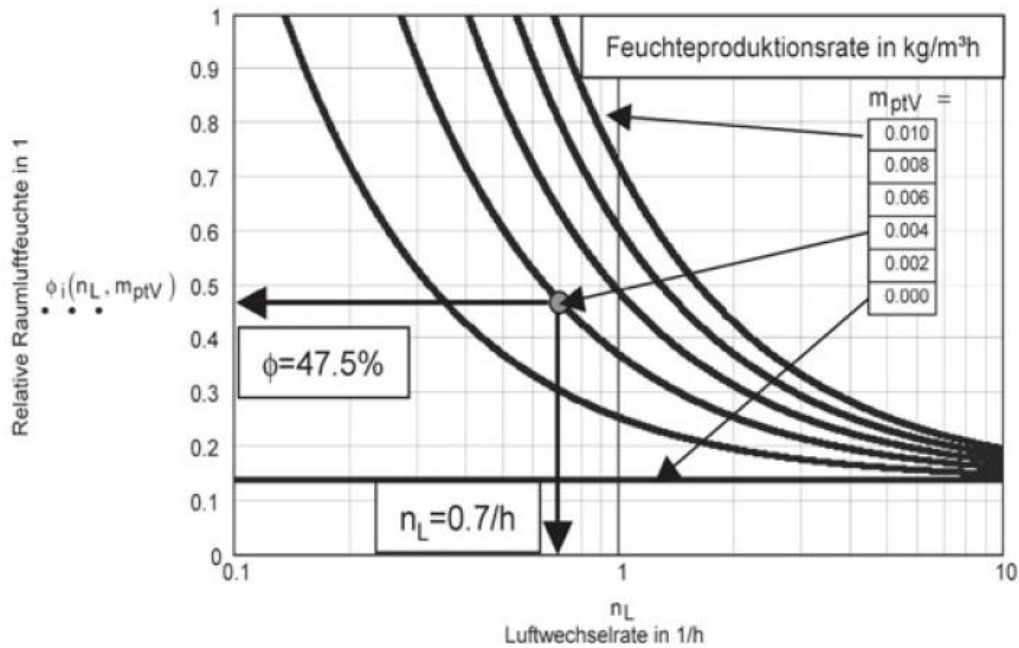


Abbildung 2: Relative Raumlufffeuchte in Abhängigkeit von der Luftwechselrate [2]

2.2.2 Energieeffizienz

Im Rahmen der notwendigen Reduktion von Treibhausgasen, verankert in entsprechenden europäischen und österreichischen Regelungen und Gesetzen, kommt dem Gebäudesektor eine bedeutende Rolle zu. Überlegungen zur Energieeffizienz nehmen einen zentralen Stellenwert bei der Entwicklung von Lüftungskonzepten ein.

Für die Beurteilung der Energieeffizienz ist der Heizwärmebedarf eine wichtige Kenngröße. Der rechnerische Heizwärmebedarf ist jene durch Berechnung ermittelte Wärmemenge, die im langjährigen Mittel während einer Heizperiode den Räumen des Gebäudes zugeführt werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Solltemperatur während der Betriebszeiten sicherzustellen. [10]

Für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs und der Beurteilung der Energieeffizienz eines Gebäudes ist es erforderlich, die Wärmeverluste eines Gebäudes genauer zu betrachten. Der monatliche Wärmeverlust ergibt sich sowohl durch Transmission als auch durch Ventilation und kann durch folgende Formel berechnet werden:

$$Q_1 = 0,024 \times (H_T + H_V) \times (\theta_e - \theta_i) \times t_M \quad (F3)[2]$$

H_T	...	Spezifischer Transmissionswärmeverlust	[W/K]
H_V	...	Spezifischer Lüftungswärmeverlust	[W/K]
θ_e	...	Mittlere monatliche Außentemperatur	[°C]
θ_i	...	Soll-Innentemperatur in der beheizten Zone	[°C]
t_M	...	Anzahl der Tage im jeweiligen Monat	[d]
0,024	...	Umrechnungsfaktor kWh in Wd	[-]

Der Transmissionswärmeverlust H_T eines Gebäudes beträgt pro K Temperaturdifferenz:

$$H_T = \sum_i F_i \times U_i \times A_i + \sum_j F_j \times \Psi_j \times l_j \quad (F4)[2]$$

H_T	...	Transmissionswärmeverluste	[W/K]
F	...	Temperatur-Korrekturfaktor des Bauteils	[-]
U	...	Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils	[W/(m ² K)]
A	...	Fläche des Bauteils	[m ²]
l	...	Länge der linearen Wärmebrücke	[m]
Ψ	...	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(mK)]

Der Lüftungswärmeverlust H_V berechnet sich zu:

$$H_V = n \times V \times \rho_L \times c_{pL} \quad (\text{F5})[2]$$

n	...	Luftwechsel	[1/h]
V	...	Raumvolumen (Netto-Volumen)	[m ³]
ρ_L	...	Dichte von Luft	[kg/m ³]
c_{pL}	...	Spez. Wärmekapazität von Luft	[Wh/(kgK)]

Die den Verlusten gegenüberstehenden monatlichen Wärmegewinne setzen sich aus den monatlichen Strahlungsgewinnen $\Phi_{s,M}$ und den monatlichen internen Wärmegewinnen $\Phi_{i,M}$ zusammen und errechnen sich wie folgt:

$$Q_{g,M} = 0,024 \times (\Phi_{s,M} + \Phi_{i,M}) \quad (\text{F6})[2]$$

$\Phi_{s,M}$	...	Mittlerer monatlicher Strahlungsgewinn	[W]
$\Phi_{i,M}$	...	Wärmegewinn interner Wärmequellen	[W]

Der Heizwärme- und Kühlbedarf eines Gebäudes können mittels folgender Verfahren berechnet werden [10]:

- **Dynamische Verfahren:** Berechnungsverfahren bei ausführlicher Simulation oder vollständig beschriebenes vereinfachtes Stunden-Berechnungsverfahren
- **Quasi-stationäres Verfahren:** Monatsbilanzverfahren

Die Genauigkeit ist beim dynamischen Verfahren am höchsten, wohingegen sie beim Monatsbilanzverfahren am niedrigsten ist. Für Nachweisverfahren in Österreich stellt das Monatsbilanzverfahren die niedrigste Genauigkeitsstufe dar [10].

2.2.2.1 Energieausweis

Der Energieausweis gibt unter anderem Informationen über den Heizwärmebedarf des Gebäudes und vergleicht diesen mit Referenzwerten. Er kann zur Beurteilung der thermischen Qualität der Gebäudehülle herangezogen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Energieausweis zur Plausibilisierung der Ergebnisse der Lüftungswärmeverluste und des Heizwärmebedarfs der Simulation herangezogen. Die Berechnungen der einzelnen Energiekennwerte des Energieausweises werden durch Normen eindeutig definiert. Genaue Betrachtungen und Beschreibungen der einzelnen Kennzahlen des Energieausweises anhand dieses Referenzgebäudes wurden in der Diplomarbeit von Andreas Petermann [11] behandelt. Der Energieausweis des Gebäudes wurde im Rahmen dieser Arbeit aktualisiert und an die nunmehr gültigen Berechnungsnormen angepasst. Die weiteren Ausführungen beschränken sich auf die in dieser Arbeit berechneten Ergebnisse des Energieausweises.

Für die weiteren Berechnungen dieser Arbeit wird der Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf sowie die berechneten Lüftungswärmeverluste zum Vergleich mit den Ergebnissen der Simulation mittels IDA ICE herangezogen. Der Heizwärmebedarf (HWB) am Deckblatt des Energieausweises beschreibt den Heizwärmebedarf Referenz-Standortklima $HWB_{REF,SK}$. Beim Heizwärmebedarf unterscheidet der Energieausweis einige Varianten der Berechnung mit folgenden Zusatzkürzeln [12]:

- **REF:** Dieser Zusatz benennt eine Berechnung unter Berücksichtigung des Referenz-Lüftungsleitwertes. Folglich wird Fensterlüftung berücksichtigt. Zusätzlich wird eine Referenz-Nutzung in der Berechnung veranschlagt. Für Nicht-Wohngebäude bedeutete dies, dass trotzdem die Nutzung Wohnen berücksichtigt wird.
- **RK:** Die Anmerkung „RK“ steht für Referenzklima und gibt an, dass dieses Gebäude nicht für den tatsächlichen, sondern für einen fiktiven Standort berechnet wurde. Es werden weder die tatsächliche Lage noch standortbezogene Klimabedingungen berücksichtigt.
- **SK:** Diese Abkürzung steht für Standortklima und sagt aus, dass die Berechnungen für standortbezogene Klimabedingungen erfolgt sind.

Die zu erfüllenden Anforderungen eines Energieausweises werden an den $HWB_{REF,RK}$ gestellt. Diese sind in der OIB RL 6 definiert. [13]

Wie unter 2.2.2 erläutert, setzt sich der Wärmeverlust eines Gebäudes aus dem Transmissions- und Lüftungswärmeverlust zusammen. Der Lüftungswärmeverlust für den Energieausweis eines Wohngebäudes wird wie folgt berechnet:

$$Q_V = \frac{1}{1000} \times L_V \times (\theta_{i,h} - \theta_e) \times t \quad (F7)[10]$$

Q_V	...	Lüftungswärmeverluste für den jeweiligen Monat	[kWh/M]
L_V	...	Lüftungs-Leitwert	[W/K]
$\theta_{i,h}$	...	Mittlere Innentemperatur im Heizfall	[°C]
θ_e	...	Mittlere Außentemperatur im jeweiligen Monat	[°C]
t	...	Monatliche Gesamtzeit	[h/M]

Der Lüftungs-Leitwert L_V ergibt sich zu:

$$L_V = c_{pL} \times \rho_L \times v_v \quad (F8)[10]$$

L_V	...	Lüftungsleitwert	[W/K]
$c_{pL} \times \rho_L$	...	Volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Luft	[Wh/(m ³ K)]
v_v	...	Luftvolumenstrom	[m ³ /h]

Für die Berechnung des Luftvolumenstromes werden zwei Möglichkeiten unterschieden:

Luftvolumenstrom bei natürlicher Belüftung

$$v_v = n_{nL} \times V_v \quad n_{nL} = n_{L,hyg} \quad (F9)[10]$$

n_{nL}	...	Luftwechselrate bei natürlicher Lüftung	[1/h]
v_v	...	Luftvolumenstrom	[m ³ /h]
$n_{L,hyg}$	...	Hygienisch notwendiger Luftwechsel	[1/h]
V_v	...	Energetisch wirksames Luftvolumen	[m ³]

Luftvolumenstrom bei mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung

$$v_v = [(n_{nL,hyg} - n_{inf}) \times (1 - \eta_{Vges}) + n_{inf}] \times V_{V,mL} + n_{nL} \times V_{V,nL} \quad (F10)[10]$$

$$V_V = V_{V,mL} + V_{V,nL}$$

v_v	...	Luftvolumenstrom	[m ³ /h]
η_{Vges}	...	Temperaturänderungsgrad (Reduktion der Lüftungswärmeverluste) des Gesamtsystems	[-]
n_{inf}	...	Infiltrationsrate	[1/h]
$V_{V,mL}$	...	Energetisch wirksames anteiliges Luftvolumen mit mechanischer Lüftung und Wärmerückgewinnung	[m ³]

$V_{V,nL}$... Energetisch wirksames anteiliges Luftvolumen mit natürlicher Lüftung [m³]

Für das Konzept der zentralen Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung erweist sich als relevant, dass eine Wärmerückgewinnung durch eine Wärmepumpe für den Energieausweis nicht als Reduktion der Lüftungsverluste beim Heizwärmebedarf eingerechnet werden darf. Ihr Beitrag zur Deckung des Heizwärmebedarfs ist beim Heizenergiebedarf einzurechnen. [10]

2.3 Wohnraumlüftung und Lüftungskonzepte

Prinzipiell gibt es im Wohnbau die Möglichkeit der natürlichen und der kontrollierten, mechanischen Belüftung, um den notwendigen Luftwechsel in Aufenthaltsräumen sicherzustellen. In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über diese beiden Lüftungsarten gegeben.

2.3.1 Natürliche Lüftung

Bei der natürlichen Lüftung erfolgt die Lüfterneuerung mit Frischluft über Undichtigkeiten der Gebäudehülle oder durch manuelles Öffnen und Schließen von Fenstern.

Eine Lüftung über Undichtigkeiten der Gebäudehülle in Form von Fugen ist aufgrund des hohen Wärmeverlustes und der Gefahr von tauwasserbedingten Feuchteschäden bei Bauwerken nach dem heutigen Stand der Technik zu vermeiden. Insbesondere innerhalb der Heizperiode in der kalten Jahreszeit würde durch Undichtigkeiten ein größerer Luftwechsel als im Sommer stattfinden. Dieser steigt mit zunehmendem Temperaturgradienten zwischen dem Gebäudeinneren und der Umgebung stark an. Auch zunehmende Windgeschwindigkeiten haben bei Fugenlüftung einen großen Effekt auf die Luftwechselraten im Gebäude. [8]

Durch die Öffnung von Fenstern kann ein einigermaßen kontrollierter Luftaustausch stattfinden. Dies kann durch eine Stoßlüftung bei kurzzeitiger Öffnung oder durch eine Dauerlüftung erfolgen. Ist die Außenluft kälter als die Raumluft, strömt die Außenluft bei Windstille im unteren Fensterbereich ein und im oberen Bereich ab. Auch wenn sich unter dem Fenster Heizkörper befinden, sind unter diesen Umständen Zugerscheinungen unvermeidlich. Dieser Umstand lässt die Fensterlüftung nur im Winter zur kurzzeitigen und schnellen Lüfterneuerung als geeignet erscheinen. Im Sommer hängt die Effizienz wegen den geringen Temperaturunterschieden zwischen innen und außen hauptsächlich vom Windanfall ab. [14]

Von folgenden Luftwechselzahlen wird in Abhängigkeit der Öffnung ausgegangen:

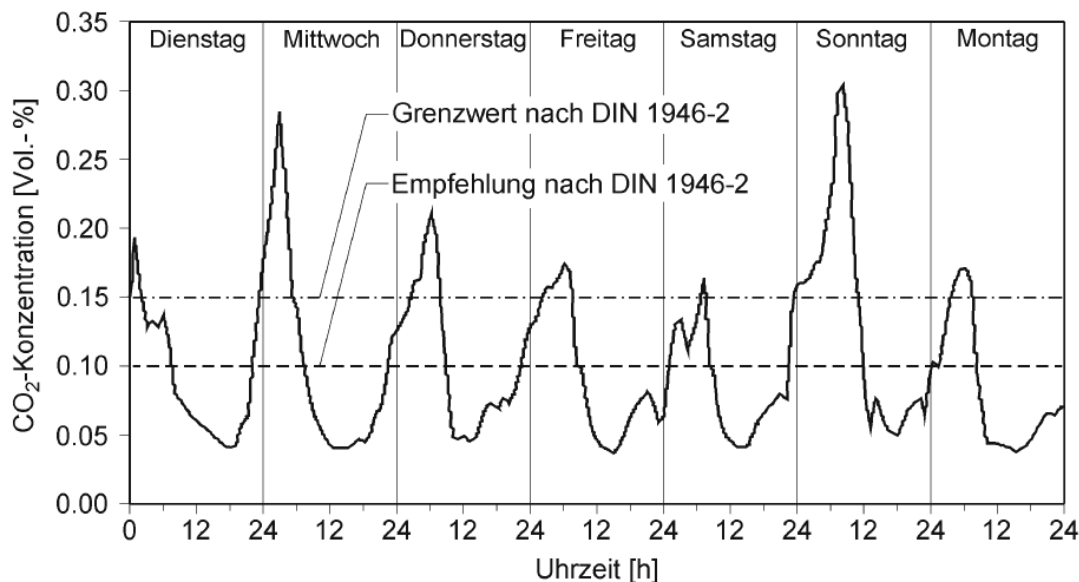
Fenster gekippt	0,3 - 2,5	[1/h]
Fenster gekippt mit Querlüftung	2,0 - 4,0	[1/h]
Fenster halb geöffnet	5,0 - 10,0	[1/h]
Fenster vollständig geöffnet	9,0 - 15,0	[1/h]

Fenster geöffnet mit Querlüftung	20 - 40	[1/h]
----------------------------------	---------	-------

Tabelle 2: Luftwechselzahlen bei Fensterlüftung [8]

Bei Stoßlüftung im Winter wird die Luft bei idealen Randbedingungen innerhalb weniger Minuten vollständig ausgetauscht. Um eine Luftwechselrate von 0,5 bis 0,8 [1/h] zu erreichen, muss im Winter alle 60 bis 90 Minuten quergelüftet werden. Am Tag kann so bei relativ geringen Wärmeverlusten eine ausreichende Luftqualität gewährleistet werden. Für die Nachtstunden ist diese Vorgehensweise allerdings schwierig zu realisieren. Regelmäßiges Stoßlüften scheidet aus und die energetisch für die Winter- und Übergangszeit äußerst ungünstige Kippstellung für Fenster lässt sich nur realisieren, wenn Schallschutz- und Behaglichkeitsgründe nicht dagegensprechen.

Die folgende Abbildung zeigt eine gemessene CO₂-Konzentration über eine Woche in einem Schlafzimmer ohne kontrollierte Wohnraumlüftung. Die Grenze von 0,1 Vol.-% CO₂-Gehalt der Raumluft wird regelmäßig an mehreren Tagen überschritten. [8]

Abbildung 3: CO₂-Konzentration in einem Schlafzimmer bei freier Lüftung [8]

2.3.2 Mechanische Wohnraumlüftung

Die zentrale Aufgabe von raumluftechnischen Anlagen ist die kontinuierliche bzw. bedarfsorientierte Erneuerung der Raumluft. Dies kann gegebenenfalls mit einer Aufbereitung (z.B. Temperatur- und Feuchteconditionierung) der Luft einhergehen. Anlagen mit zusätzlicher Luftaufbereitung und Klimaanlage sind nicht Teil dieser Arbeit und werden daher im Weiteren nicht behandelt.

Die Luftführung im Raum ist wichtiger Bestandteil bei der Planung von Lüftungsanlagen. Zugerscheinungen aufgrund hoher Luftgeschwindigkeiten müssen vermieden werden. Die Frischluft muss gleichmäßig verteilt und die Abluft möglichst gerichtet abgeführt werden.

Bei der Art der Luftführung können zwei Grundarten unterschieden werden [8]:

- **Quelllüftung:** Die Zuführung der Zuluft erfolgt in Bodennähe und bei sehr geringen Geschwindigkeiten. Die Temperatur der Zuluft liegt unter jener der Raumtemperatur. Die Luft wird durch die Wärmequellen des Raumes erwärmt und steigt nach oben, wo die verbrauchte Luft in Deckenhöhe wieder entnommen wird. Da die Belastung der Raumluft mit CO₂ und Feuchtigkeit meist über die Wärmequellen im Raum erfolgt, verläuft der Abtransport der belasteten Luft in der Regel ohne eine Vermischung mit der umliegenden Zuluft.
- **Mischlüftung:** Die Zuluft wird über Luftverteiler in den Raum eingeblasen und dort mit der Raumluft vermischt. Die Luft im Raum besteht somit immer aus einem Luftgemisch aus verbrauchter und frischer Luft. Die Luftqualität ist bei gleicher Luftwechselzahl geringer als bei Quelllüftung.

Systeme kontrollierter Wohnraumlüftung können wie folgt unterteilt werden:

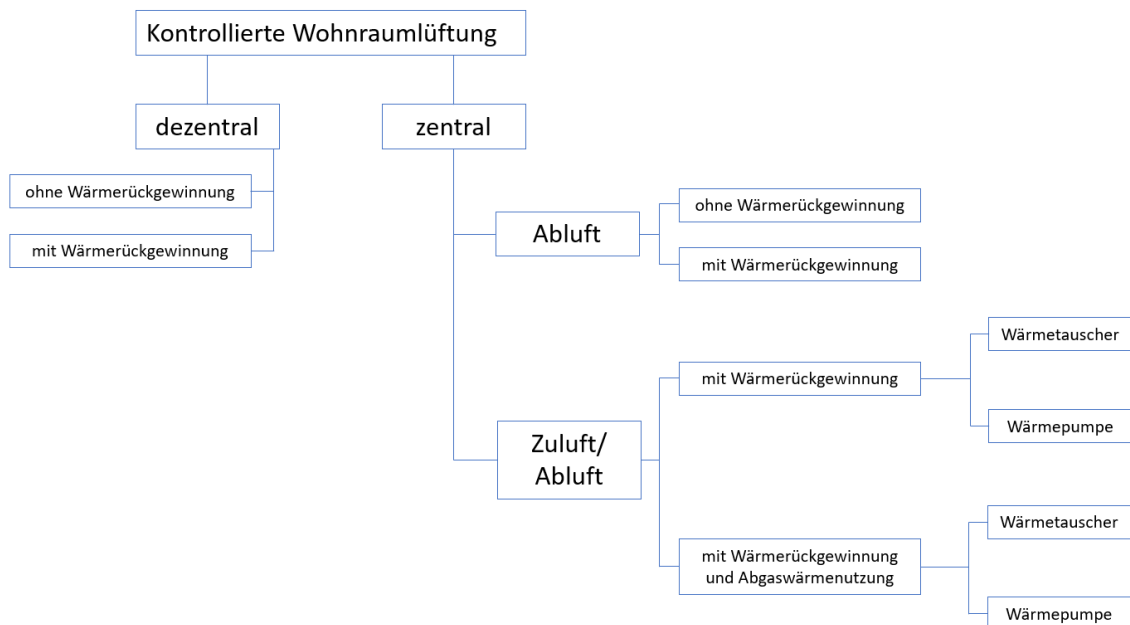


Abbildung 4: Übersicht Lüftungssysteme im Wohnungsbau [8]

- **Dezentrale Systeme – Einzelraumlüftung:** Jeder Aufenthaltsraum wird bei der Lüftung mittels dezentralen Systems durch ein eigenes Lüftungsgerät mit Frischluft versorgt. Der Aufwand für die Errichtung von aufwändigen Rohrleitungsnetzen entfällt für dieses System. Die Nachrüstung im Rahmen von Sanierungen ist ohne großen Aufwand möglich. Als Nachteil erweist sich der Umstand, dass keine Querlüftung erreicht werden kann. Wenn Systeme mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sind, kommen in der Regel Kreuzstrom-Wärmeübertrager zur Erwärmung der Frischluft zum Einsatz. [8]
- **Zentrale Systeme:** Bei dezentralen Systemen handelt es sich immer um raumluftechnische Anlagen für mehrere Wohneinheiten mit gemeinsamem Ventilator. Zentrale Systeme können als reine Abluftanlagen oder kombinierte Zu- und Abluftanlagen ausgeführt werden. Beide Varianten können dabei mit oder ohne Wärmerückgewinnung ausgeführt werden. Während bei zentralen kombinierten Zu-

und Abluftanlagen die Wärme der verbrauchten Abluft für die Vorwärmung der Zuluft verwendet werden kann, ist dies bei reinen Abluftanlagen nicht möglich. [8]

2.3.2.1 Lüftungstechnische Zonierung von Wohnungen

Um eine einwandfreie Funktionsweise einer Lüftungsanlage gewährleisten zu können, erfolgt eine Einteilung der Zonen gemäß Willems im Handbuch der Bauphysik: [8]

- **Zuluftzone:** Die Frischluft wird in die Räume mit einem hohen Frischluftbedarf und geringer Feuchtebelastung geführt, wie zum Beispiel Wohn-, Schlaf-, oder Kinderzimmer. Für eine Frischluftversorgung mittels Außenluftdurchlässen müssen diese Räume an der Fassade angeordnet werden.
- **Überströmzone:** Über die Überströmzone gelangt die Luft von der Zuluftzone in die Abluftzone. Zur Sicherstellung der Funktion müssen Überströmöffnungen vorgesehen werden. Diese können in Form von Öffnungen sowohl in den Innentüren als auch in den Trennwänden durch verkürzte Türblätter oder hinterlüftete Zargen erfolgen (Abbildung 5). Als Überströmzonen bieten sich Vorräume und Gänge an.
- **Abluftzone:** Die Abluftzone besteht im Idealfall aus Räumen mit der höchsten Luftbelastung der Wohneinheit, zum Beispiel Küche, Bad und WC. In der Abluftzone wird die verbrauchte Raumluft aus der Wohneinheit entnommen und über Luftkanäle aus dem Gebäude geführt.

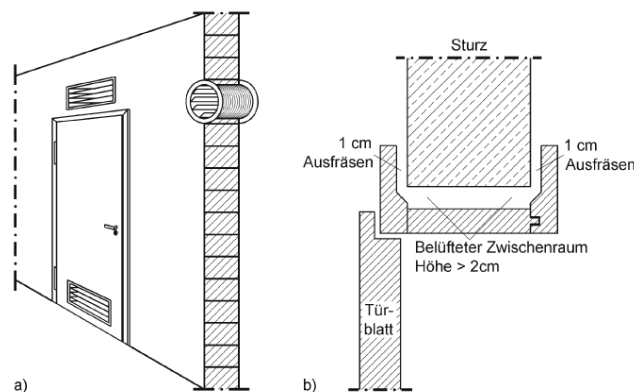


Abbildung 5: Ausführungsmöglichkeiten für Überströmöffnungen [8]

2.4 Zuluft-Zufuhr mittels Druckdifferenz

Dieses Kapitel zeigt eine Übersicht über die Möglichkeiten der Frischluftversorgung mittels Luftdurchlässen, die auf Basis von Druckdifferenzen arbeiten. Um die Versorgung von Wohnräumen mit der benötigten Menge an Frischluft ohne mechanisch geförderte Zuluft und ohne Zutun des Nutzers sicherzustellen, bieten sich Außenwandluftdurchlässe in Kombination mit einer geregelten Abfuhr der verbrauchten Luft an. Dieses Low-tech System kann sowohl für eine kontrollierte Frischluftzufuhr im Neubau als auch in der Sanierung von Bestandsgebäuden angewendet werden.

Besonders in schallexponierten Bereichen wird die freie Lüftung mittels Fenster zur weniger attraktiven Lösung für den Nutzer. Selbst hochwertige schalldämmende Fenster verlieren ihre Wirkung, wenn sie für die Zufuhr von Frischluft mehrmals am Tag geöffnet werden

müssen. Die Möglichkeit der Nachtlüftung in solchen Bereichen entfällt unter diesen Voraussetzungen meist gänzlich oder kann nur durch Einbußen im Wohnkomfort erfolgen. Eine Lösung für dieses Problem bieten schalldämmte Außenwanddurchlässe. Die Schalldämmung wird dabei durch mehrmalige Umlenkung des Luftstromes über eine schallabsorbierende Oberfläche erreicht.

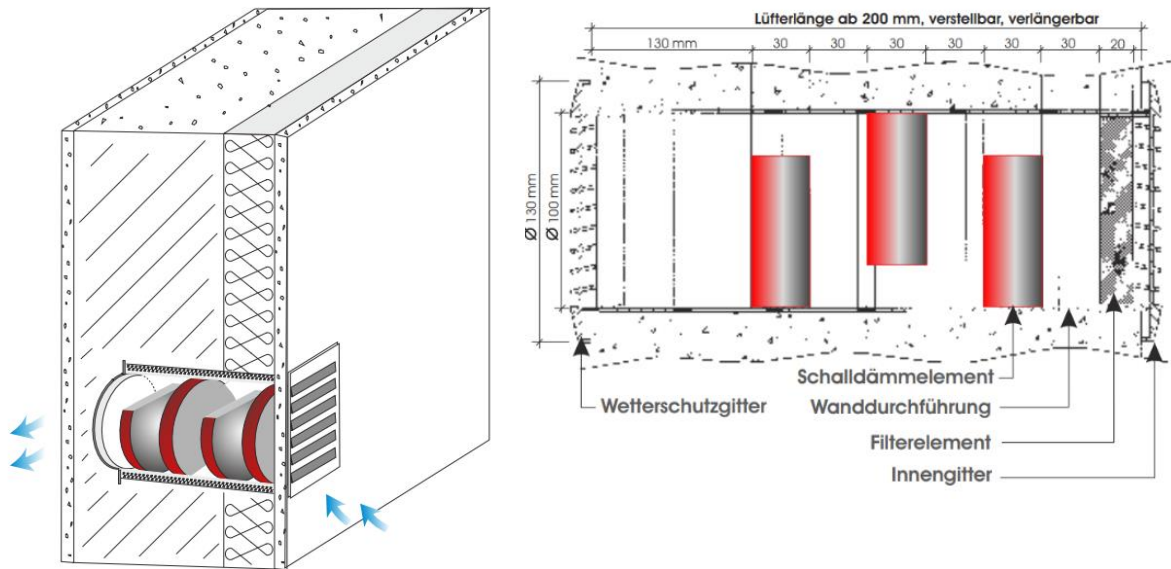
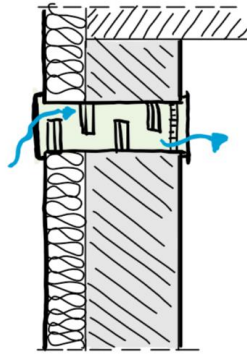


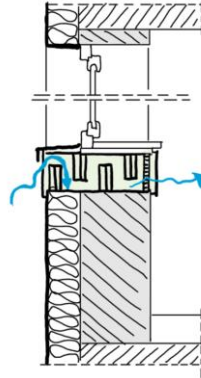
Abbildung 6: Systemdarstellung Schalldämmlüfter [15]

Für die Positionierung von Außenluftdurchlässen ergeben sich unter anderem die in Abbildung 7 dargestellten Möglichkeiten.

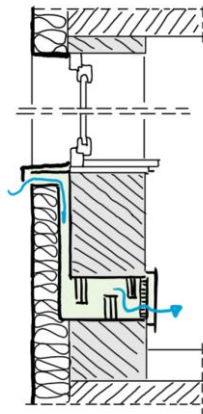
Außenwand



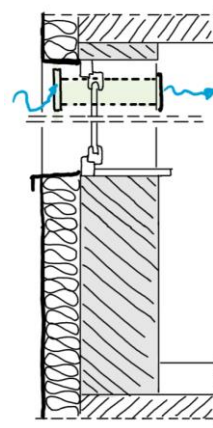
Fensterbank



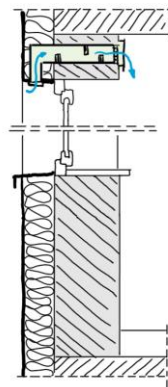
Brüstung



Fensterlaibung



Sturz



Dach

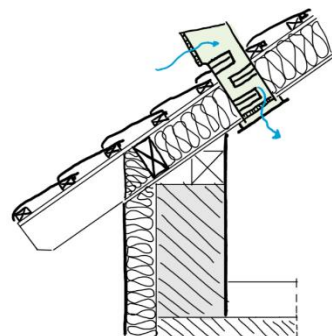


Abbildung 7: Übersicht mögliche Positionen Außenluftdurchlässe

2.4.1 Feuchtegesteuerte Zuluftelemente

Feuchtegesteuerte Zuluftelemente bieten die Möglichkeit einer bedarfsorientierten Betriebsweise unter minimalem Einsatz von Technik. Der Volumenstrom der Zuluft lässt sich mit diesen Elementen ohne Einsatz von Energie oder Zutun des Nutzers in Abhängigkeit des Frischluftbedarfs regeln. Eingebaute Sensoren, zum Beispiel aus Kunststoff, reagieren auf den Feuchtegehalt der Raumluft.

Ein feuchtegesteuertes Produkt am Markt ist das Zuluftelement Hygrostar EHA der Firma Krobath Protech. In Abbildung 8 ist das Zuluftelement, das für die Montage am Fenster vorgesehen ist abgebildet.

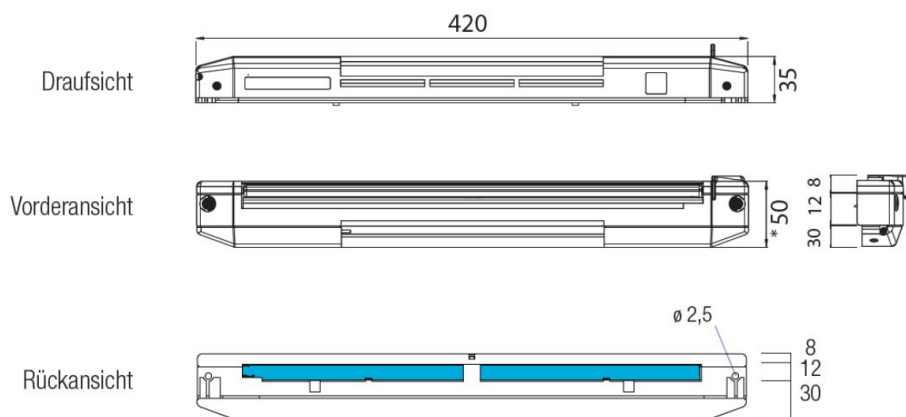


Abbildung 8: Feuchtegesteuertes Zuluftelement Firma Krobath Protech [16]

In Abbildung 9 ist die beförderte Luftmenge eines feuchtegesteuerten Zuluftelementes in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit im Raum dargestellt.

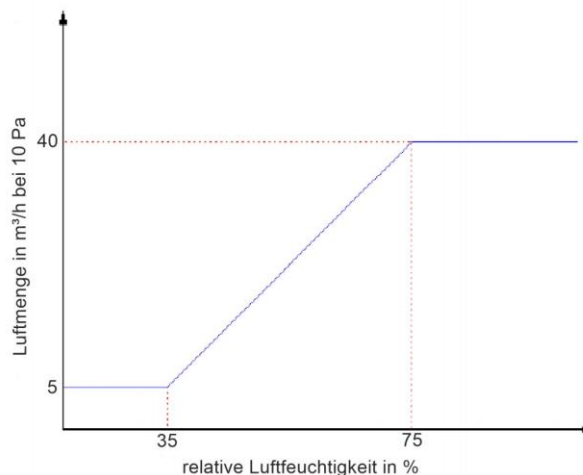


Abbildung 9: Beförderte Luftmenge eines feuchtegesteuerten Zuluftelementes [16]

In diesem System werden acht Nylonbänder mit denselben technischen Eigenschaften verbunden. Diese reagieren auf Feuchtigkeitsänderungen und dehnen sich proportional zum Luftfeuchtigkeitsgehalt aus. Über eine Mechanik wird die Zuluftöffnung durch eine Klappe verändert und so die Frischluftmenge automatisch reguliert. [16]

2.4.2 Fenster mit integrierter Wohnraumlüftung

Beim LUSOWI Kastenstockfenster handelt es sich um eine Entwicklung eines Fensters auf Basis einer Holz-Alukonstruktion mit integrierter solarvorwärmbarer Fensterlüftung. Das Konzept dieses Systems soll es erlauben, Frischluft nach Bedarf aus dem Fensterbereich zu beziehen und über einen „Klimapuffer“ zu konditionieren. Die Fenster und Fenstertüren sind für Sommer- und Winterbetrieb umstellbar. Durch den Klimapuffer soll insbesondere eine solare Vorwärmung der Frischluft im Winter erzielt werden. Die Luft durchströmt den kastenförmigen Zwischenraum und wird je nach Betriebsweise durch die globale Einstrahlung mehr oder minder vorgewärmt. Das Grundprinzip ist in der folgenden Detailzeichnung zu sehen (Abbildung 10).

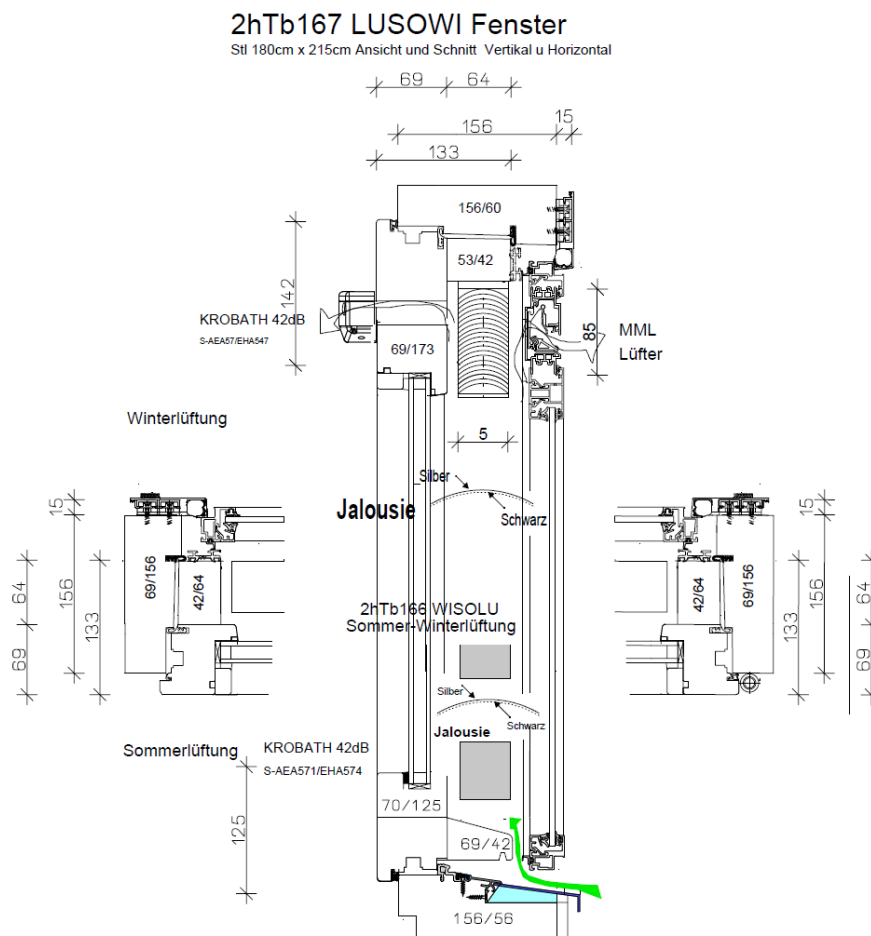


Abbildung 10: LUSOWI Kastenstockfenster Schnitt, ohne Maßstab [17]

Im Winterbetrieb wird die außenliegende Lüftungsklappe geschlossen und die schwarze Jalousielamellenseite nach außen gedreht. Die kalte Außenluft durchströmt den kastenförmigen Zwischenraum. Die solare Einstrahlung bewirkt eine Aufheizung der schwarzen Jalousielamellen, womit eine Vorwärmung der Luft erreicht wird. Im Sommerbetrieb stellt sich durch Öffnen der Lüftungsklappe im oberen Bereich eine Hinterlüftung des kastenförmigen Zwischenraumes und durch die nach außen gerichtete silberne Lamellenseite eine Reflektion des Lichts nach außen ein. [17]

2.5 Zentrale Abluftanlagen

Dezentrale Abluftsysteme für Einfamilienhäuser mit und ohne Wärmerückgewinnung sind bereits am Markt etabliert und finden in dieser Arbeit keine weitere Behandlung. Die Ausführungen beschränken sich im Weiteren auf zentrale Abluftsysteme für Mehrfamilienhäuser.

2.5.1 Komponenten von zentralen Abluftanlagen

Die wichtigsten Komponenten von zentralen Abluftanlagen können wie folgt unterschieden werden [18]:

- **Lüftungsklappen:** Um Luftvolumenströme zu unterbrechen, zu drosseln oder umzulenken werden Lüftungsklappen in Luftleitungen eingesetzt. Sie bestehen üblicherweise aus in einem Profilstahlrahmen gelagerten drehbaren profilierten Lamellen. Diese Lamellen können über eine Stellvorrichtung gleich- oder gegenläufig gemeinsam bewegt werden. Eine weitere Unterteilung von Lüftungsklappen kann in Absperr-, Brandschutz- und Regulierklappen sowie Volumenstromreglern erfolgen.
- **Luftfilter:** Mittels Filter können Verunreinigungen aus der Abluft abgeschieden werden. Man unterscheidet zwischen Partikelfilter und Aktivkohlefilter, wobei Aktivkohlefilter immer in Kombination mit einem vorgeschalteten Staubfilter angeordnet werden sollten, um ihre Wirksamkeit durch Staubverschmutzung nicht zu beeinträchtigen.
- **Ventilatoren:** Um Luftvolumenströme bewegen zu können, werden Druckdifferenzen zwischen Ein- und Austrittsseite erzeugt. Ventilatoren bestehen aus einem luftführenden Gehäuse mit Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnung. In dem luftführenden Gehäuse wird von einem rotierenden Flügelrad Luft bewegt. Man unterscheidet zwischen Radialventilatoren, welche die Luft axial ansaugen und radial fördern, und Axialventilatoren, welche die Luft in axialer Richtung ansaugen und fördern. Die eingesetzte Leistung für den Antriebsmotor kann dabei nicht vollständig in Förderdruck umgesetzt werden. Leistungsverluste werden durch Verwirbelungen, Luftreibungen, Luftumlenkungen und Luftstöße erzeugt.

2.5.2 Steuerung und Betrieb

Einzelshächte für jeden innenliegenden Raum benötigen bei mehrgeschossigen Gebäuden einen erheblichen Raum- und Investitionsbedarf. Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden entfällt diese Möglichkeit oft zur Gänze. Durch die gemeinsame Nutzung von innenliegenden Sammelschächten für mehrere Nutzungseinheiten kann dieser Bedarf deutlich reduziert werden. Eine Übertragung von Geräuschen oder Gerüchen in andere Nutzungseinheiten muss jedoch unterbunden werden. Eine Möglichkeit dies zu erreichen ist es, am Ende eines für alle Nutzungsbereiche gemeinsamen Abluft-Sammelschachtes einen zentralen Ventilator anzuordnen. Eine bedarfsgesteuerte Funktion der Abluftanlage ist in diesem Fall jedoch ausgeschlossen. [18]

In der folgenden Abbildung 11 wird der Unterschied zwischen Einzel- und Zentrallüfter verdeutlicht.

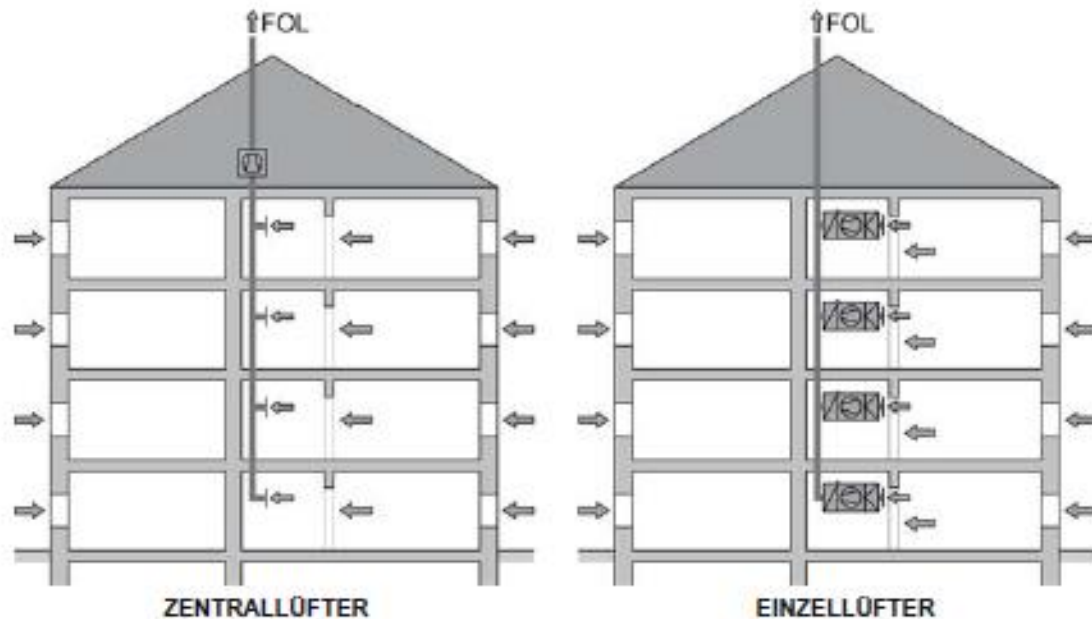


Abbildung 11: Mechanische Sammelschachtlüftung [18]

Für die Steuerung der Abluftventilatoren ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten. Folgende Varianten sind für diese Arbeit von Relevanz:

- **Ungesteuerter Betrieb:** Bei dieser Betriebsweise wird 24 Stunden am Tag ein konstanter Luftvolumenstrom abgeführt. Der einfachen Steuerung durch einen zentralen Ventilator ist ein erhöhter Energieverbrauch in Zeiten, in denen das Gebäude nicht genutzt wird, entgegenzustellen.
- **Zeitsteuerung:** Beim zeitgesteuerten Betrieb ist die Abluftanlage jeden Tag nur während eines vordefinierten Zeitraumes in Betrieb. Die Anordnung der Ventilatoren kann bei diesem Steuerungskonzept dezentral oder auch zentral erfolgen, wenn für das gesamte Gebäude dieselbe Zeitsteuerung erfolgt. Das System erlaubt zwar keine optimale detaillierte Anpassung der Luftvolumenströme an die Nutzung des Gebäudes, kann aber aufgrund des geringeren Einsatz von zum Teil wartungsintensiverer Technik in Form von Sensoren diesem Nachteil entgegengestellt werden.
- **Bedarfssteuerung:** Beim bedarfsgesteuerten Betrieb von Abluftanlagen ist der Volumenstrom der Abluft wohnungsweise steuerbar. Durch Sensoren erfolgt eine ständige Überprüfung von belasteten Bereichen. Bei Über- oder Unterschreiten der vordefinierten Sollwerte reagiert das System und aktiviert oder deaktiviert die Abluftanlage für die jeweilige Wohnung. Ein bedarfsgesteuerter Betrieb ermöglicht eine effiziente und energiesparende Abluftanlage.

2.5.3 Abluftwärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe

Da bei Abluftanlagen ohne mechanische Zuluft die Abwärme der verbrauchten Raumluft nicht für die Vorwärmung der Zuluft nutzbar ist, bietet sich die Möglichkeit einer an die Warmwasserversorgung oder an die Heizanlage gekoppelte Abluftwärmepumpe an. Für Einfamilienhäuser sind solche Systeme bereits am Markt etabliert. Abluftwärmepumpen für zentrale Abluftanlagen von Mehrfamiliengebäuden sind jedoch noch nicht Stand der Technik. Der geringe Verrohrungsaufwand kombiniert mit einem sparsamem Einsatz von Technik sind neben der relativ einfachen Möglichkeit das System bei Sanierungen zum Einsatz zu bringen als Vorteile dieses Systems zu nennen. Bei einer Sanierung können zum Beispiel bestehende Kaminschächte für die Förderung der Abluft genutzt werden. Da für die Zuluft kein Verrohrungsaufwand benötigt wird und Außenluftdurchlässe leicht in jede Gebäudehülle zu integrieren sind, handelt es sich um eine relativ kostengünstige Möglichkeit eine kontrollierte Wohnraumlüftung in ein Bestandsgebäude zu integrieren.

In der folgenden Abbildung 12 ist ein System mit Abluftwärmerückgewinnung für ein Einfamilien- und ein Mehrfamilienwohnhaus durch Abluftwärmepumpe zu sehen.

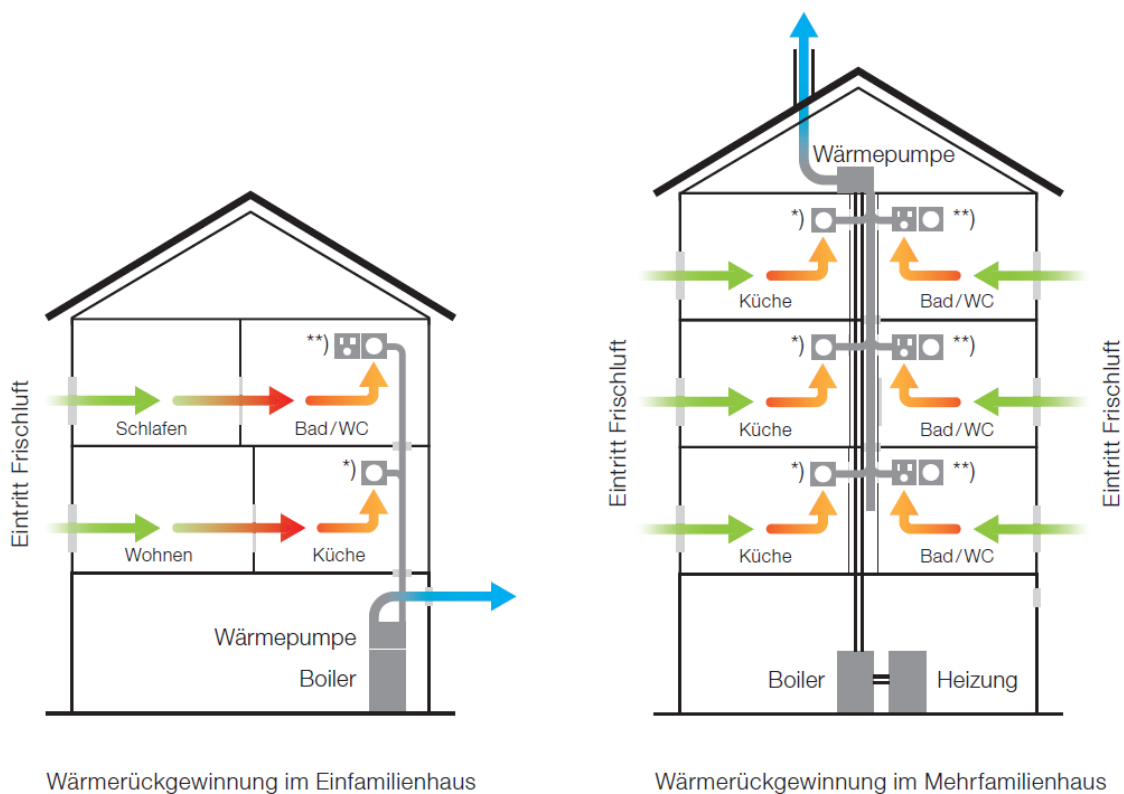


Abbildung 12: Wärmerückgewinnung mittels Abluftwärmepumpe für ein Einfamilien- und ein Mehrfamilienwohnhaus [19]

2.5.4 Funktionsweise und Bestandteile von Kompressionswärmepumpen

Im folgenden Abschnitt soll ein kurzer Überblick über die Funktionsweise von Kompressionswärmepumpen gegeben werden. Wärmepumpen bieten die Möglichkeit, Umgebungswärme mit Hilfe von elektrischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau zu transformieren. Je geringer die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und der Wärmesenke ist, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Es wird ein Kältemittel benötigt, das sich in einem geschlossenen Kreislauf befindet und die Niedertemperaturwärme aufnimmt, um diese mit thermischer oder elektrischer Hilfsenergie auf ein höheres Temperaturniveau zu bringen. [20]

Das Kältemittel mit sehr niedrigem Siedepunkt verdampft bei tiefen Temperaturen und erreicht unter Druck hohe Temperaturen. Zum Verdampfen reicht die zugeführte Wärme der Niedertemperaturquelle im Verdampfer aus. Ein meist elektrisch angetriebener Verdichter bringt das dampfförmige Kältemittel auf einen hohen Betriebsdruck, wodurch es sich stark erwärmt. Das Abführen der Wärme erfolgt in einem Kondensator. Das Kältemittel verflüssigt sich anschließend im Kreislauf wieder und kühlt ab. Durch den Kreislauf gelangt es über ein Entspannungsventil erneut zum Verdampfer. [20]

Für die Abluftwärmerückgewinnung werden meist Luft-Wasser-Wärmepumpen eingesetzt. Die entzogene Energie stammt direkt aus der verbrauchten warmen Abluft und wird unter dem Einsatz elektrischer Energie auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Die folgende Abbildung 13 zeigt ein Funktionsschema einer Luft-Wasser-Wärmepumpe.

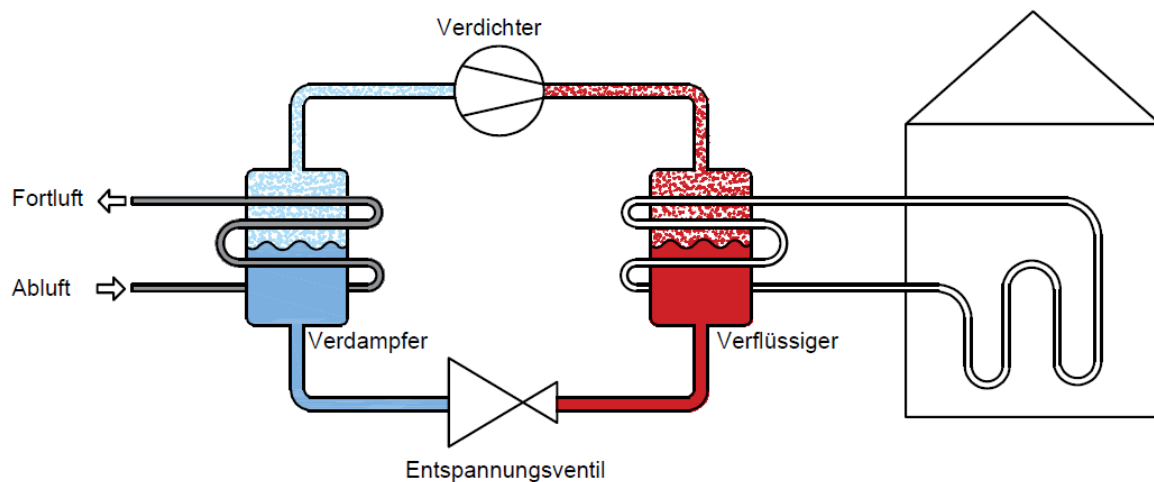


Abbildung 13: Schema einer Luft-Wasser-Wärmepumpe

2.5.4.1 Berechnungen zur Wärmepumpe

Berechnungen der einzelnen Prozesse in einer Wärmepumpe können wie folgt vorgenommen werden [20]. Berechnungen basieren auf einem idealisierten Kreisprozess. Abweichungen von diesem idealisierten Prozess werden anhand von entsprechenden Wirkungsgraden berücksichtigt. Der Kreisprozess und das Schema einer Kompressionswärmepumpe sind in der folgenden Abbildung 14 zu sehen.

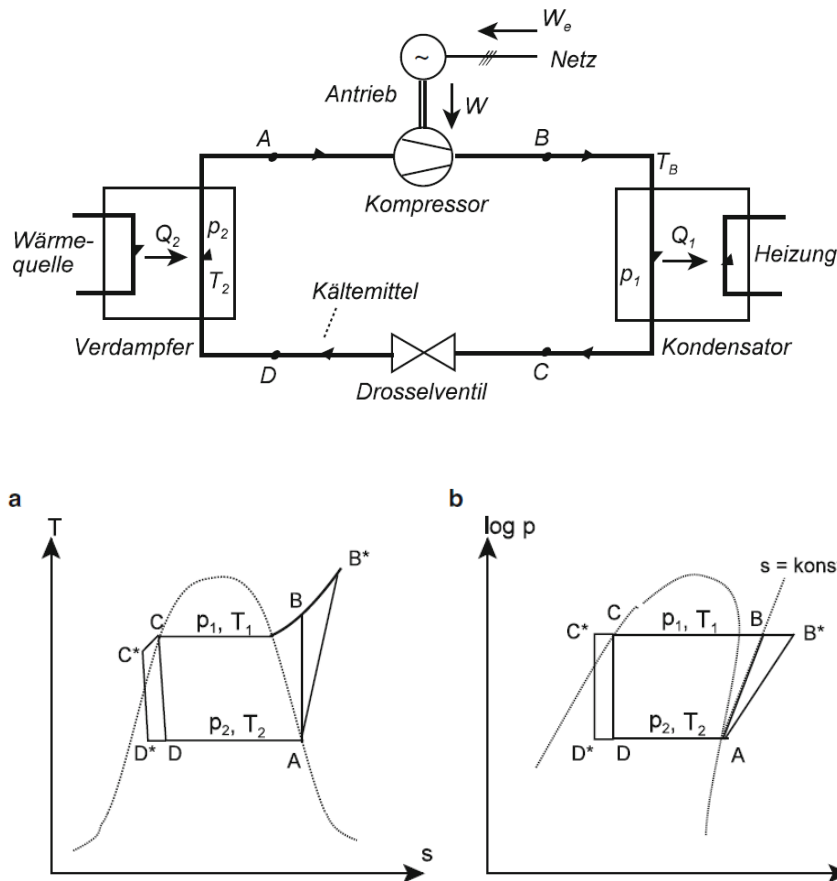


Abbildung 14: Schema und Kreisprozess der Kompressionswärmepumpe und Darstellung des Kreisprozesses im Ts -Diagramm (links) bzw. $\log(p)h$ -Diagramm (rechts) [20]

T	...	Temperatur	[K]
s	...	Entropie	[J/(kgK)]
p	...	Druck	[bar]
h	...	Enthalpie	[J/kg]

Die idealisierten Vorgänge in den vier Grundelementen lauten:

- **Verdampfer D – A:** Für diesen Vorgang wird der Druck isobar (=konstant) angenommen ($p=p_2$). Da sich der Vorgang im Nassdampfbereich des Kältemittels abspielt, findet der Prozess auch bei konstanter Temperatur T_2 statt. Die vom Kältemittel aufgenommene spezifische Wärmemenge errechnet sich aus der Differenz der spezifischen Enthalpien des Kältemittels in den Punkten A und D:

$$\Delta h = h_A - h_D = q_{2th} \quad (F 11)[20]$$

q_{2th} ... vom Kältemittel aufgenommene spezifische Wärmemenge [J/kg]

- **Kompressor A – B:** Der Vorgang wird reversibel (=umkehrbar) und adiabat, (= ohne Austausch von Wärme mit seiner Umgebung) und somit als isentrop angenommen. Der reale Prozess ($A \rightarrow B^*$) kann in weiterer Folge mittels des isentropen Kompressorwirkungsgrades angenähert werden. Die am Kältemittel verrichtete spezifische Kompressionsarbeit errechnet sich im isentropen Fall aus der Differenz der spezifischen Enthalpien des Kältemittels in den Punkten B und A:

$$\Delta h = h_B - h_A = w_{th} \quad (F12)[20]$$

w_{th} ... am Kältemittel verrichtete theoretische Kompressionsarbeit [J/kg]

- **Kondensator B – C:** Der Vorgang wird als isobar und verlustlos angenommen. Am Kondensatoreintritt nimmt die Temperatur des Kältemittels zunächst bis zum Erreichen der Taulinie ab und bleibt im Anschluss während des Kondensationsvorgangs konstant (T_1). Die während dieser Zustandsänderung vom Kältemittel abgegebene spezifische Wärmemenge berechnet sich aus der Differenz der spezifischen Enthalpie in den Punkten C und B:

$$\Delta h = h_C - h_B = q_{1th} \quad (F13)[20]$$

q_{1th} ... vom Kältemittel theoretisch abgegebene spezifische Wärmemenge [J/kg]

- **Drosselventil C – D:** Der Vorgang wird als isenthalp angenommen. Die spezifische Enthalpie bleibt während der Entspannung des Kältemittels konstant:

$$\Delta h = 0 \rightarrow h_D = h_C$$

Durch Berücksichtigung des Kältemittelmassenstromes \dot{m} folgen aus den spezifischen Größen die absoluten Leistungen:

$$\text{Kaltleistung} \quad \dot{Q}_{2th} \quad = \dot{m}q_{2th} \quad = \dot{m}(h_A - h_D) \quad [\text{J/s}]$$

$$\text{theor. Antriebsleistung} \quad P_{th} \quad = \dot{m}w_{th} \quad = \dot{m}(h_B - h_A) \quad [\text{J/s}]$$

$$\text{theor. Heizleistung} \quad \dot{Q}_{1th} \quad = \dot{m}q_{1th} \quad = \dot{m}(h_C - h_B) \quad [\text{J/s}]$$

aus $h_D = h_C$ folgt:

$$Q_{1th} = Q_{2th} + P_{th}$$

2.5.5 Leistungszahl und Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen

Die Leistungszahl ε oder COP (=Coefficient Of Performance) beschreibt das Verhältnis von der momentan abgegebener Heizleistung zur momentan aufgewendeten, elektrischen Antriebsleistung.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu}} \quad (\text{F14})[20]$$

ε	...	Leistungszahl	[-]
\dot{Q}_{ab}	...	Abgegebene Heizleistung	[W]
\dot{Q}_{zu}	...	Zugeführte Kälteleistung	[W]
P	...	Elektrische Antriebsleistung	[W]

Für den in Abschnitt 2.5.4 beschriebenen idealisierten Prozess ergibt sich für die Leistungszahl somit:

$$\varepsilon_{th} = \frac{\dot{Q}_{1th}}{P_{th}} = \frac{h_B - h_C}{h_B - h_A} \quad (\text{F15})[20]$$

ε_{th}	...	Leistungszahl für den idealisierten Prozess	[-]
--------------------	-----	---	-----

Die Antriebsleistung und die Kälteleistung der Niedertemperaturwärmequelle ergeben zusammen die abgegebene Heizleistung:

$$\dot{Q}_{ab} = P + \dot{Q}_{zu}$$

Die Leistungszahl bezieht sich auf die in einem Betriebspunkt momentan zu- und abgeführten Leistungen einer Wärmepumpe. Für die Beurteilung der Effizienz über eine längere Zeit werden die entsprechenden Energiemengen über den betrachteten Zeitraum herangezogen. Beträgt der betrachtete Zeitraum ein Jahr, spricht man von der sogenannten Jahresarbeitszahl (=JAZ). [20]

2.5.6 Stand der Technik – Abluftwärmepumpensysteme am Markt

Im Folgenden soll ein Überblick über einen Teil der am Markt verfügbaren Systeme zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmepumpen gegeben werden. Für diese Aufstellung wird zwischen Systemen für Einfamilienhäuser und zentralen Systemen für Mehrfamilienhäusern unterschieden.

2.5.6.1 Abluftwärmepumpen am Markt - Systeme

Wärmepumpen zur Abluftwärmerückgewinnung für Einfamilienhäuser sind am Markt bereits etabliert. Die im Rahmen der Marktanalyse (Stand Juli 2020) untersuchten Systeme werden von den Herstellern mit einem COP zwischen 2,7 und 4,8 angeführt. In der folgenden Tabelle 3 ist eine Übersicht der Daten der analysierten Wärmepumpen zu sehen.

Hersteller / Produktname	Abluftvolumenstrom [m ³ /h]	Energieeffizienzklasse [-]	COP [-]
Bötje BTW	35-320	A+	2,7-3,2
Nibe F	110-350	A+	3,93
Pollmann EX	120-180	A++	4,8

Tabelle 3: Marktanalyse Abluftwärmepumpen für Einfamilienhäuser, Stand Juli 2020

Die Eigenschaften, Leistungen und Kennwerte der einzelnen Systeme werden im Folgenden genauer beschrieben:

- **Bötje Sensotherm BTW:** Es handelt sich um eine Trinkwasser-Wärmepumpe für die Brauchwassererwärmung. Der einstellbare Luftvolumenstrom bewegt sich zwischen 35 und 265 m³/h. Die maximal erzielbare Trinkwassertemperatur beträgt 65°C. Zur Beheizung auf die Endtemperatur wird ein Elektroheizstab mit 2400 W Leistung zur Zusatzheizung verwendet. Der Speicherinhalt des Trinkwasserspeichers beträgt 214l. Das Modell ist zusätzlich in größeren Ausführungen mit einem Luftdurchsatz von bis zu 320 m³/h und einem Speicherinhalt bis zu 270l erhältlich. [21]
- **Nibe F:** Diese Abluftwärmepumpe vereint die Funktionen der Heizung und Warmwasseraufbereitung. Die Wärmepumpe kann an Niedrigtemperatur-Wärmeverteilersysteme angeschlossen werden und hat einen integrierten Brauchwasserspeicher mit Heizpatrone. Der Hersteller empfiehlt den Einsatz sowohl für Einfamilienhäuser als auch wohnungsweise für Mehrfamilienhäuser. Der Einsatz eignet sich für Wohnhäuser mit einer Gebäudeheizlast von 4,3 kW. Der Hersteller bietet Modellvariationen dieser Wärmepumpe für einen maximalen Abluftvolumenstrom bis zu 350 m³/h für eine Gebäudeheizlast von bis zu 8kW an. [22]
- **Pollmann EX50:** Es handelt sich um eine Wärmepumpe für den Einsatz sowohl für die Heizung als auch für die Brauchwasseraufbereitung. Das Modell ist mit und ohne

integriertem Warmwasserspeicher mit 170l Speichervolumen erhältlich. Die Abluftwärmepumpe bietet die Möglichkeit bei Systemen mit zentraler Zuluft diese vorzukühlen. Die Kühlleistung wird dabei abhängig vom Modell mit 2,7 bis 4,7 kW angegeben. [23]

2.5.6.2 Abluftwärmepumpen am Markt – zentrale Systeme

Für die zentrale Wärmerückgewinnung eines Mehrfamiliengebäudes fand sich zum Zeitpunkt der Recherche (Stand Juli 2020) nur der Hersteller Aquavent, der seine Abluftwärmepumpe der Serie WPL3000 für die Nutzung in einem Mehrfamiliengebäude empfiehlt. Die Abluftwärmepumpe soll zur Unterstützung der zentralen Warmwasserversorgung im Mehrfamilienhaus dienen.

In der folgenden Abbildung 15 ist das Funktionsschema der zentralen Abluftwärmepumpe zu sehen.

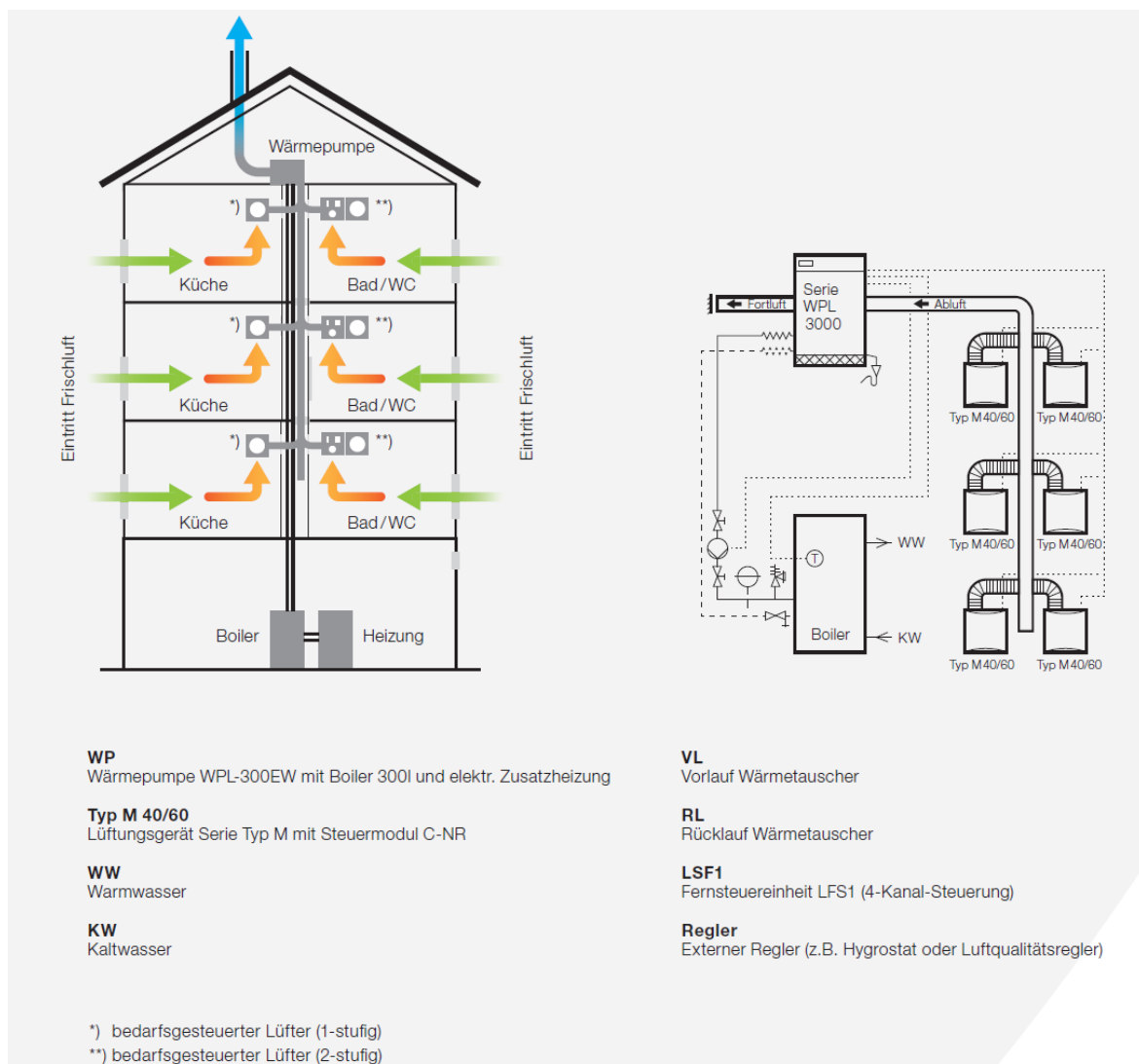


Abbildung 15: Schema zentrale Abluftwärmepumpe Mehrfamiliengebäude [19]

Das Prinzip des Systems beruht auf einer Unterdruckregelung in Kombination mit Außenluftelementen in der Gebäudehülle. Der Raumverbund im Wohnungsinneren muss durch Überströmelemente sichergestellt werden. Die Einstellung des Luftwechsels wird durch die Lüftungsgeräte und Außenluftdurchlässe in der Gebäudehülle vorgenommen. [19]

Das System besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten [19]:

- **Modul 1 – Abluft:** Die Abluft wird durch den Einsatz von Ventilatoren aus den Räumen mit hoher Luftbelastung, wie zum Beispiel dem Badezimmer oder WC, abgesaugt.
- **Modul 2 – Außenluft:** Durch Außenluftdurchlässe in der Gebäudehülle, angeordnet in Wohn- und Schlafräumen, wird für die nötige Frischluftzufuhr gesorgt.
- **Modul 3 – Warmwasseraufbereitung:** Die Abluft wird gesammelt einer Wärmepumpe zur Unterstützung der zentralen Warmwasserversorgung zugeführt.

Die folgende Abbildung zeigt das beschriebene Modul 1 (links) bis Modul 3 (rechts) des vorgestellten Systems.



Abbildung 16: Komponenten des Abluftwärmepumpensystems Aquavent für Mehrfamiliengebäude [19]

Bezüglich des Aufstellungsortes wird vom Hersteller eine Temperatur zwischen 10 und 32 °C empfohlen. Das durch die Luftkühlung anfallende Kondensat muss über ein Syphon in das Abwassersystem geleitet werden. Die Rohrleitungslänge zwischen Lüftungsgeräten und Wärmepumpen sollte im Sinne geringer Verluste möglichst kurzgehalten werden. Bei Lüftungsleitungen in Kaltzonenbereichen wird eine ausreichende Dämmung der Lüftungsleitungen empfohlen. Dies gilt für Lüftungsleitungen, die zum Beispiel in Dachböden außerhalb der thermischen Gebäudehülle verlegt werden. [19]

3 Referenzgebäude

Bei dem im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Referenzgebäude handelt es sich um ein unterkellertes Wohngebäude mit 8 Geschossen. Je Geschoss sind drei Wohnungen unterschiedlicher Größen angeordnet. Es befinden sich also insgesamt 24 Wohneinheiten im Gebäude. Für dieses Referenzgebäude soll im Rahmen dieser Arbeit ein Low-Tech Lüftungskonzept mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmepumpe untersucht werden.

Statische und bauphysikalische Berechnungen für dieses Referenzgebäude wurden im Rahmen der Masterarbeit „Innovatives Ziegelmauerwerk für 8-geschossige Gebäude - statische und bauphysikalische Untersuchungen“ durchgeführt [11]. Aus dieser Masterarbeit wurden sämtliche geometrische Daten und Aufbauten übernommen.

3.1 Standort und Orientierung

Da der solare Eintrag und somit die Verschattung von Nachbarbebauung wesentlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat und eine Berechnung gänzlich ohne verschattungswirksame Bebauung in der Umgebung für eine Berechnung mittels Simulation unrealistisch wäre, wurde ein genauer Standort angenommen und die Bebauung der Umgebung im Weiteren verschattungswirksam berücksichtigt. Der in Abbildung 17 definierte Standort Rosenbergasse in der Katastralgemeinde 63103 wird für die folgenden Berechnungen berücksichtigt.

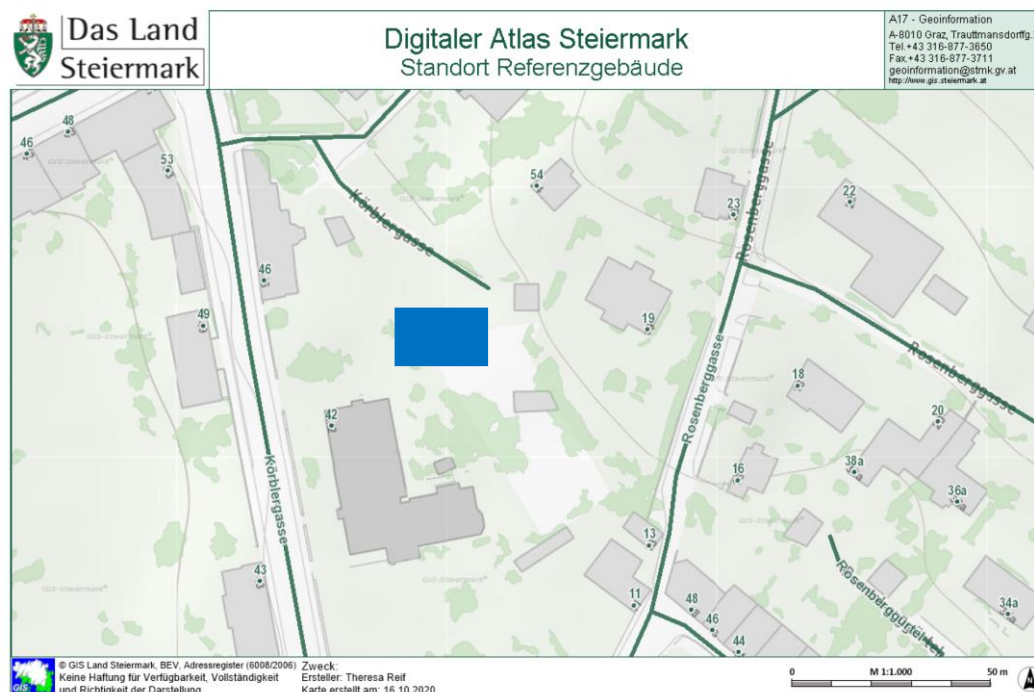


Abbildung 17: Ausschnitt Digitaler Atlas Steiermark, Definition des Standortes [24]

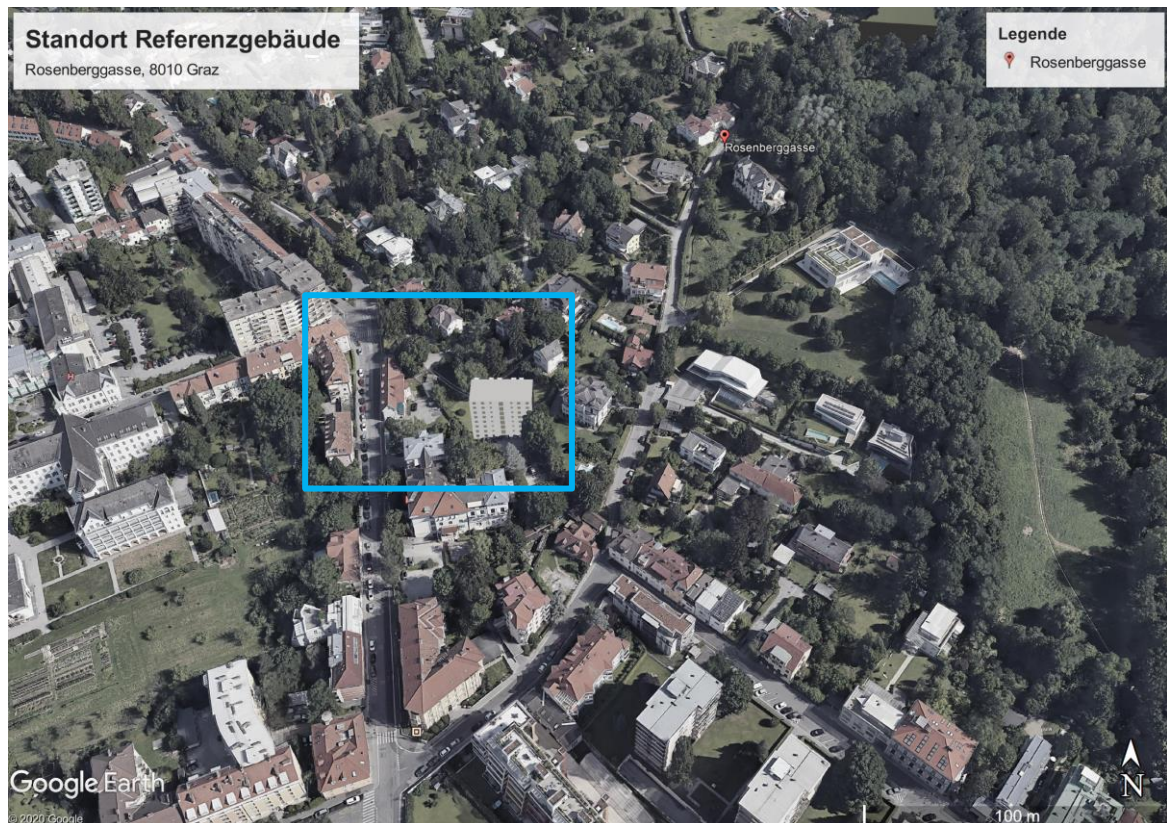


Abbildung 18: Ausschnitt Google Earth 3D: Standort Referenzgebäude, 3D

3.2 Geometrie

Bei dem zu untersuchenden Gebäude handelt es sich um ein 8-geschossiges Wohngebäude mit unbeheiztem, gedämmtem Keller. Das Dachgeschoß besteht aus einem unbeheizten, schwach belüfteten Pufferraum.

Das Gebäude ist 25,5 m lang und 12,5 m tief. Die Bruttogeschoßfläche im Regelgeschoß beträgt 327 m², für das Gesamtgebäude beträgt sie 2616 m².

Die Wohnräume und Balkone sind südlich angeordnet, die Schlafräume und Erschließung befinden sich an der Nordseite des Gebäudes. Die horizontale Erschließung im Regelgeschoß erfolgt als Dreispänner. Der Grundriss des Regelgeschoßes ist in Abbildung 19, ein Schnitt durch das Gebäude in Abbildung 20 zu sehen.



Abbildung 19: Grundriss Referenzgebäude, Wohnnutzung, ohne Maßstab

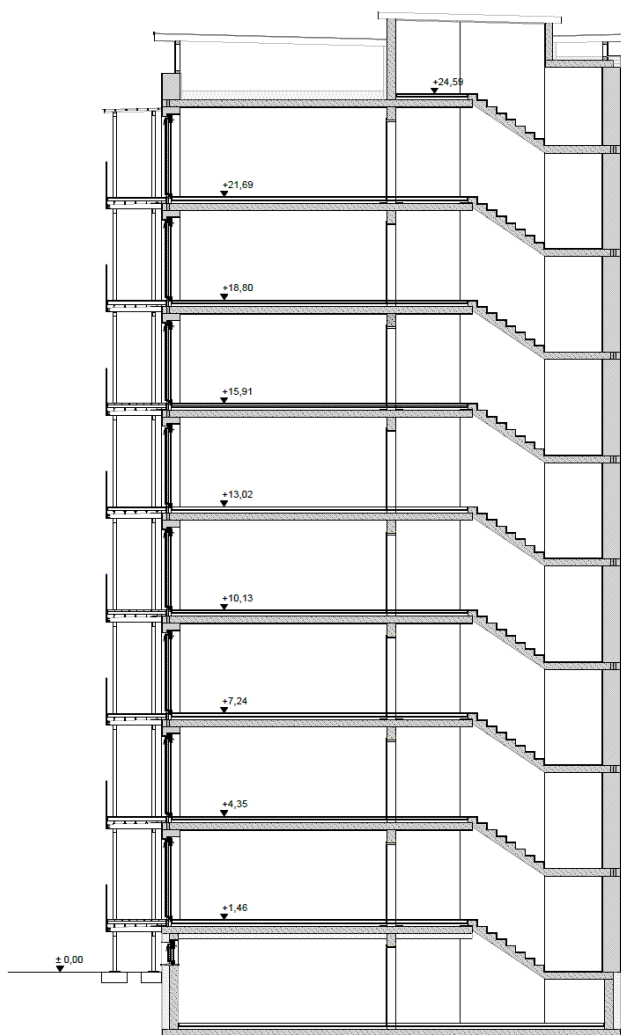


Abbildung 20: Schnitt Referenzgebäude, Wohnnutzung, ohne Maßstab

3.3 Thermische Gebäudehülle und Temperaturzonen

Der erste Schritt zur Berechnung des Heizwärmebedarfs besteht darin, die thermische Gebäudehülle und die im Heizfall zu erreichenden Soll-Innentemperaturen zu definieren. Die Aufbauten der Gebäudehülle finden sich unter Abschnitt 7.1. Für die weiteren Berechnungen wurde die thermische Gebäudehülle wie folgt festgelegt.

Das gesamte Regelgeschoß gilt als beheizt, wobei das Stiegenhaus eine Soll-Temperatur von 18°C aufweist und die Wohnräume werden im Heizfall auf 22°C temperiert. Keller und Pufferraum im Dachgeschoß werden nicht aktiv beheizt. Die Soll-Innentemperatur wird zwischen 1. Oktober und 31. April bereitgestellt. Die Temperaturzonen sind in folgender Abbildung 21 in Grundriss und Schnitt abzulesen.

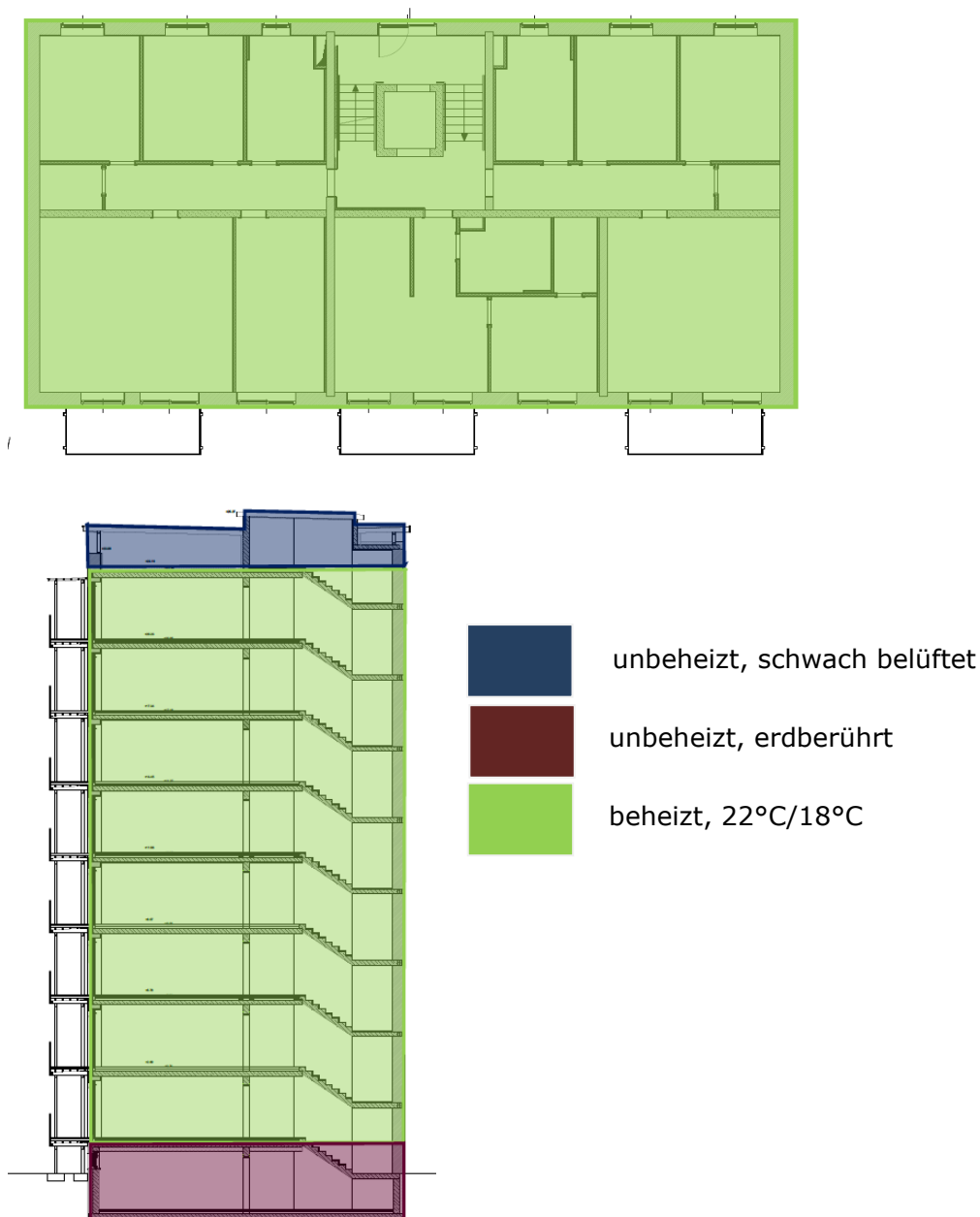


Abbildung 21: Definition der thermischen Gebäudehülle, Abbildung ohne Maßstab

3.4 Wohneinheiten und Nutzung

Die Nutzung des gesamten Gebäudes wird als „Wohnen“ festgelegt. In jedem Geschöß befinden sich drei voneinander getrennte Wohneinheiten. Die Aufteilung der Einheiten und deren Bezeichnungen sind in der folgenden Abbildung 22 abzulesen.



Abbildung 22: Nutzungseinheiten Regelgeschoß, ohne Maßstab

In der folgenden Tabelle 4 befindet sich eine Aufstellung der einzelnen Wohnungen und deren Netto-Wohnflächen sowie des Netto-Volumens. Die Netto-Flächen und -Volumen der Tabelle inkludieren dabei die wohnungsinternen Wände, um eine spätere Nutzungsänderung und nachträgliche Öffnungen in internen Wänden unberücksichtigt lassen zu können. Diese Werte werden im Weiteren zur Berechnung der erforderlichen Abluft-Volumenströme herangezogen.

Nr.	Bezeichnung	Nutzung	Fläche	Raumhöhe	Nettovolumen
			[m ²]	[m]	[m ³]
1	EG_LI	Wohnen	110	2,50	275
2	EG_MI	Wohnen	50	2,50	125
3	EG_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
4	OG1_LI	Wohnen	110	2,50	275
5	OG1_MI	Wohnen	50	2,50	125
6	OG1_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100

7	OG2_LI	Wohnen	110	2,50	275
8	OG2_MI	Wohnen	50	2,50	125
9	OG2_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
10	OG3_LI	Wohnen	110	2,50	275
11	OG3_MI	Wohnen	50	2,50	125
12	OG3_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
13	OG4_LI	Wohnen	110	2,50	275
14	OG4_MI	Wohnen	50	2,50	125
15	OG4_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
16	OG5_LI	Wohnen	110	2,50	275
17	OG5_MI	Wohnen	50	2,50	125
18	OG5_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
19	OG6_LI	Wohnen	110	2,50	275
20	OG6_MI	Wohnen	50	2,50	125
21	OG6_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
22	OG7_LI	Wohnen	110	2,50	275
23	OG7_MI	Wohnen	50	2,50	125
24	OG7_RE	Wohnen	80	2,50	200
	STH	Wohnen	40	2,50	100
	Summe		2304		5600

Tabelle 4: Übersicht Nutzungseinheiten

3.5 Lüftungskonzept

Das Lüftungskonzept besteht aus einer zentralen Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe. Die verbrauchte Raumluft wird in den Bädern abgesaugt und über Sammelschächte in den schwach belüfteten Pufferraum im Dachgeschoß geführt. Durch den entstehenden Unterdruck werden die Wohneinheiten mittels dezentraler Außenluftdurchlässe in den Außenwänden mit Frischluft versorgt. Das beschriebene Lüftungskonzept ist in den folgenden beiden Abbildungen zu sehen.

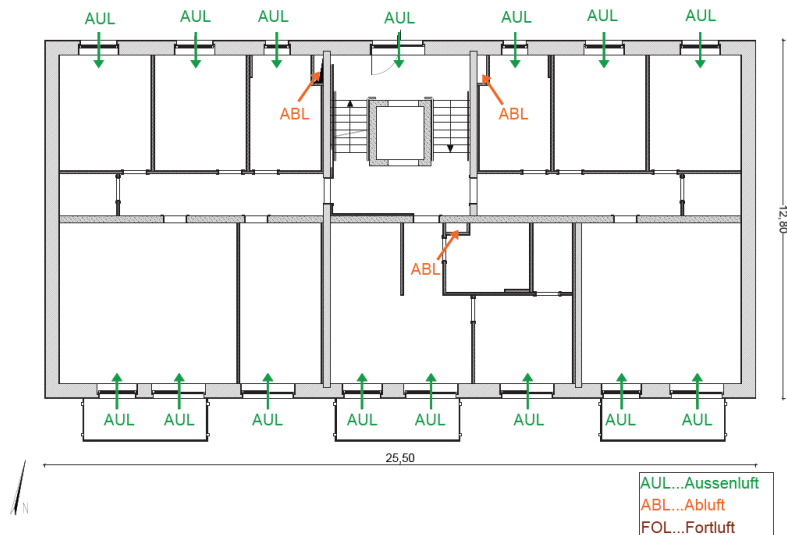


Abbildung 23: Übersicht Lüftungskonzept Regelgeschoß, ohne Maßstab

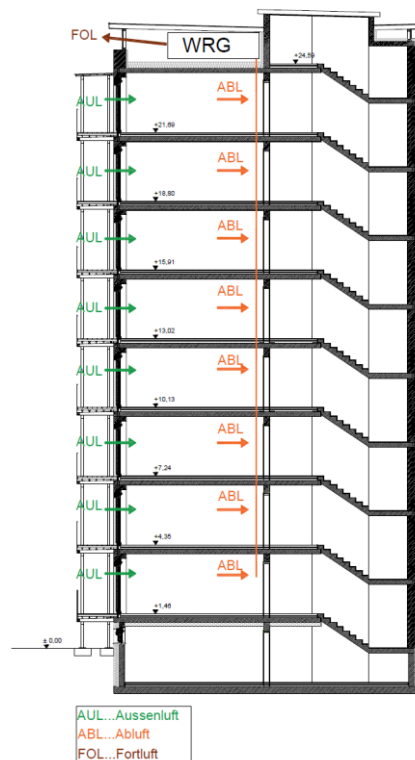


Abbildung 24: Übersicht Lüftungskonzept Schnitt, ohne Maßstab

Durch die Unterdrucksteuerung und den Einbau von integrierten Überströmöffnungen in allen Innentüren ergeben sich folgende lüftungstechnische Zonierungen im Regelgeschoß.

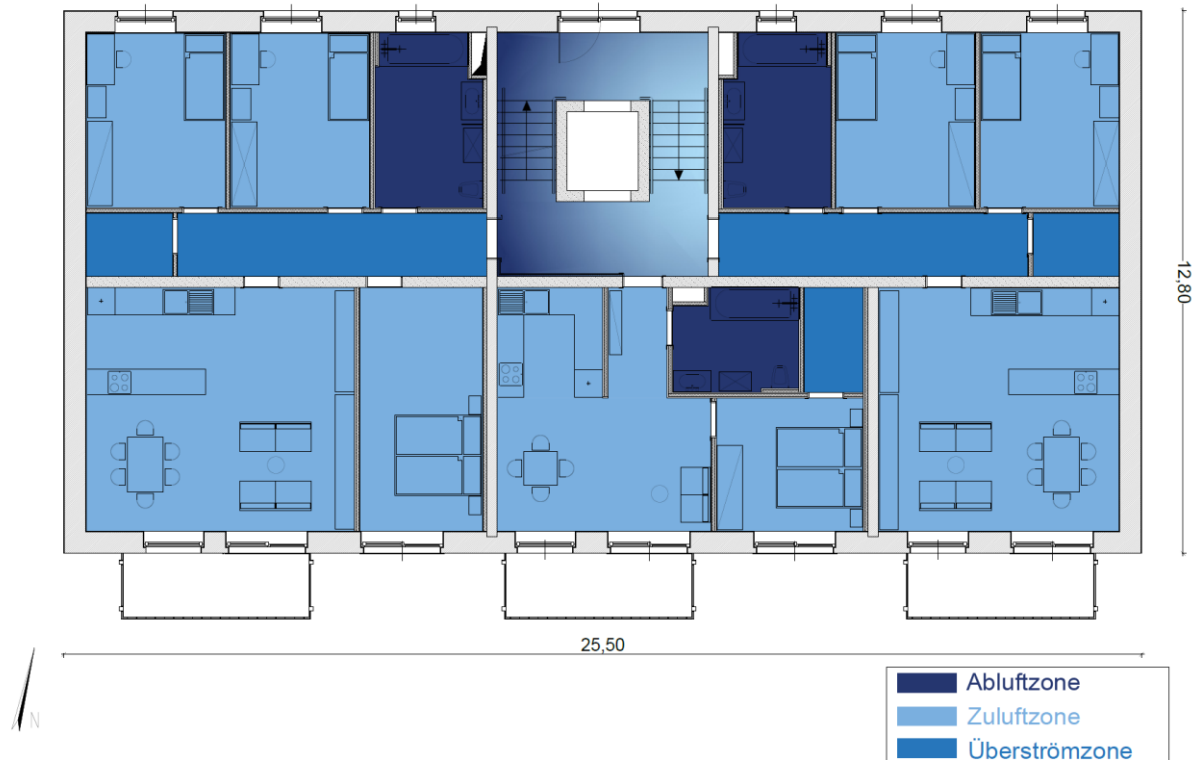


Abbildung 25: Lüftungstechnische Zonierung des Regelgeschoßes, ohne Maßstab

Die Zuluft-Zone liegt in den an den Außenwänden situierten Räumen, nämlich den Schlaf- und Wohnräumen. Die Überströmzone besteht aus den Gängen der Wohneinheiten. Die Abstellräume werden durch Anordnung geeigneter Lüftungsöffnungen in den Türen mit Frischluft versorgt und zur Überströmzone gezählt. Die Abluftzone liegt in den Bädern, wo durch einen Abluftventilator in jeder Wohneinheit die verbrauchte Raumluft über Schächte abgeführt wird.

3.6 Wärmebereitstellung und Abluftwärmerückgewinnung

Die Wärmebereitstellung erfolgt durch einen kombinierten Betrieb von Fernwärme und einer Wärmepumpe, die eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft ermöglicht. Die Fernwärme stellt das primäre Heizungssystem dar und sichert bei Bedarf die Bereitstellung von höheren Temperaturniveaus, die von der Wärmepumpe nicht geliefert werden können. Beide Wärmequellen speisen in denselben, zentralen Kombi-Wärmespeicher im Keller des Gebäudes.

Das Wärmepumpensystem wird mit einem Zwischenkreislauf mit Wasser oder Sole als Wärmeträger ausgeführt. Dies ermöglicht es, die Wärmepumpe entweder direkt im Dachgeschoß in unmittelbarer Nähe zum Kühlregister im Abluftkanal oder neben dem thermischen Speicher im Keller des Gebäudes zu situieren. Die Vor- und Nachteile der

beiden Varianten müssen abgewägt werden. In der Simulation des Systems ergibt sich kein Unterschied, da Verluste des Wärmeträgerkreislaufes nicht berücksichtigt wurden.

Dieses Konzept kann auch bei Sanierung von Bestandsgebäuden und den meist einhergehenden begrenzten räumlichen Ressourcen zum Einsatz kommen. Stillgelegte Kaminschächte können so zur Abluftführung verwendet werden, während die Wärmerückgewinnung im häufig nicht genutzten Dachgeschoß erfolgen kann. Dies ermöglicht eine platzsparende Integrierung eines solchen Konzeptes auch im Bestand.

Die Wärmeabgabe an die Räume erfolgt mittels Fußbodenheizung. Dies ermöglicht die effiziente Nutzung der von der Wärmepumpe zur Verfügung gestellten Wärme auf niedrigem Temperaturniveau. Zur Bereitstellung von Warmwasser erfolgt die Aufwärmung des Trinkwarmwassers auf eine Temperatur von 60°C.

In Abbildung 26 ist das Schema der Wärmeversorgung sowie der Abluftwärmerückgewinnung des Referenzgebäudes dargestellt.

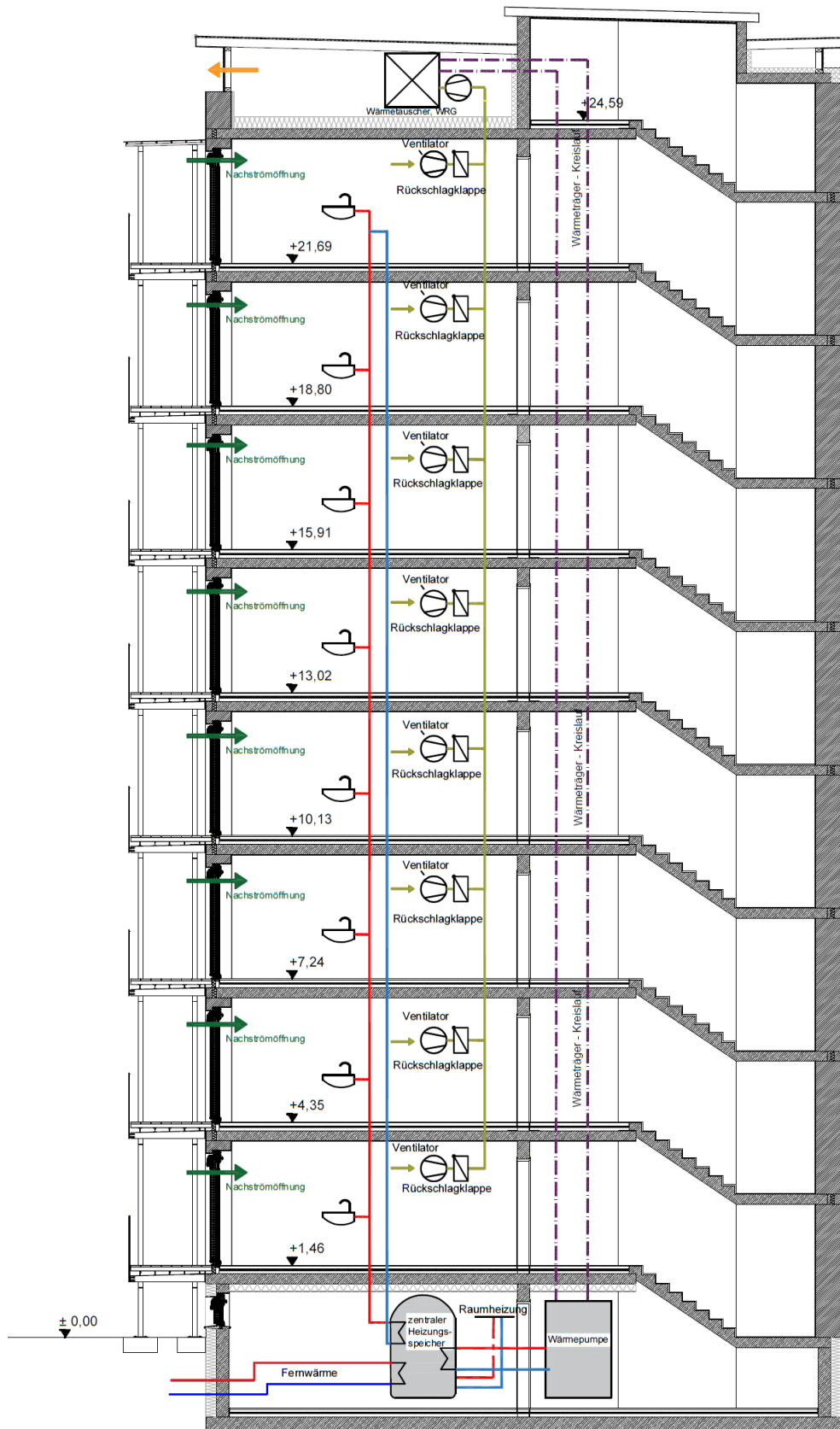


Abbildung 26: Schema Heizung, Warmwasser und Wärmerückgewinnung, ohne Maßstab

4 Thermische Gebäudesimulation

Um die Aufgabenstellung dieser Arbeit zu bearbeiten, wurde die Software IDA- Indoor Climate and Energy (ICE) der schwedischen Firma EQUA verwendet. Es handelt sich um eine dynamische und multizonale Simulationsanwendung für die Beurteilung des Innenraumklimas und des Energieverbrauchs ganzer Gebäude. Die Möglichkeit vorkonfigurierte Gebäudetechnik-Systeme für erste Berechnungen einzusetzen, erlaubt eine erste Abschätzung unterschiedlicher Betriebsmodi für das Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung. Die Luftströme der unterschiedlichen miteinander gekoppelten thermischen Zonen werden durch ein automatisch integriertes Luftknotennetz berechnet. [25] In Abbildung 27 ist das dreidimensionale Simulationsmodell des Referenzgebäudes dargestellt.

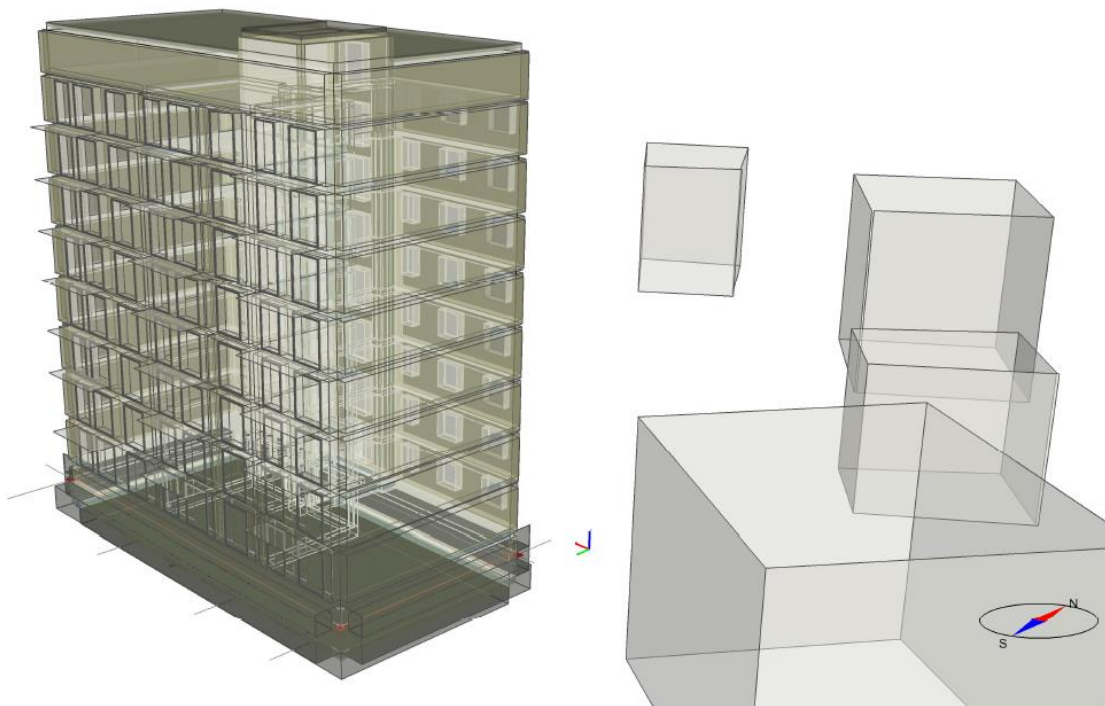


Abbildung 27: 3-D Modell Referenzgebäude

4.1 Randbedingungen, Parameter und Annahmen

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick für die in der Berechnung mittels Simulation getroffenen Annahmen und die verwendeten Parameter gegeben.

4.1.1 Zonierung

Die Zonierung erfolgt wohnungswise, jede Nutzungseinheit des Gebäudes wird somit als eine eigene Zone definiert. Die wohnungswise Zonierung erfolgt aufgrund der definierten Nutzerprofile, welche in Wohneinheiten gruppiert wurden. Von der raumweisen Zonierung wurde im Sinne der Optimierung der Berechnungsdauer abgesehen. Die im Rahmen dieser

Arbeit durchgeführten Berechnungen zum Heizwärmebedarf und Menge der Abluft zeigen sich für diese „grobe“ Zonierung im Vergleich zur raumweisen Zonierung ausreichend genau. In der folgenden Abbildung ist die Zonierung im Regelgeschoß im Simulationsprogramm zu sehen.

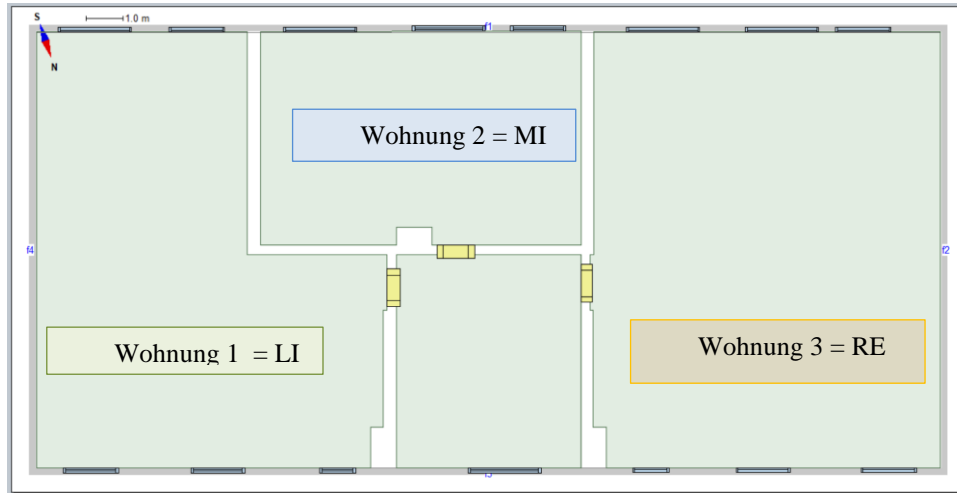


Abbildung 28: Zonierung im Simulationsprogramm

Die wohnungsinternen Wände wurden inklusive der Aufbauten erfasst und in der Berechnung als zoneninterne Massen berücksichtigt.

4.1.2 Interne Lasten

Für die Berücksichtigung von internen Lasten durch Personen werden für jede Zone individuelle Nutzungsprofile definiert. Diese Profile mit Zeitplänen für die Anwesenheit von Bewohnern erlauben die sehr detaillierte Berücksichtigung von internen Lasten. Zudem bilden diese Zeitpläne die Grundlage für eine anwesenheitsgesteuerte Abluftanlage.

Nr.	Bezeichnung	Bewohner			
1	EG_LI	E1	E2	K1	K2
2	EG_MI	E3			
3	EG_RE	E4	E1	K3	
4	OG1_LI	E1	K2	K3	
5	OG1_MI	E2	E3		
6	OG1_RE	E1	E3	K2	K3
7	OG2_LI	E3	E1		
8	OG2_MI	E1	K1		
9	OG2_RE	E2	E3	K1	
10	OG3_LI	E3			
11	OG3_MI	E2	E3		
12	OG3_RE	E1	E3	K1	K2

13	OG4_LI	E1	E3	K2	
14	OG4_MI	E4			
15	OG4_RE	E2	E3	K1	
16	OG5_LI	E1	E3	K1	K2
17	OG5_MI	E2	E3		
18	OG5_RE	E1	K1	K2	K3
19	OG6_LI	E3	K1	K2	
20	OG6_MI	E1	E2		
21	OG6_RE	E1	E3	K2	
22	OG7_LI	E2	E3	K1	K2
23	OG7_MI	E2			
24	OG7_RE	E3	K1	K3	

Tabelle 5: Aufstellung Bewohner, E=Erwachsener, K=Kind

Für jeden der definierten Bewohner werden Zeitpläne angenommen. Als Beispiel wird ein Zeitplan für den Bewohner E1 näher erläutert:

- **E1:** Die Person verlässt an einem Wochentag um 7 Uhr die Wohnung und kommt um 18 Uhr zurück. Am Wochenende ist sie die Mehrheit des Tages anwesend. Dies könnte zum Beispiel ein Profil für einen berufstätigen Erwachsenen sein. Für Erwachsene werden die Schulferien nicht gesondert berücksichtigt.

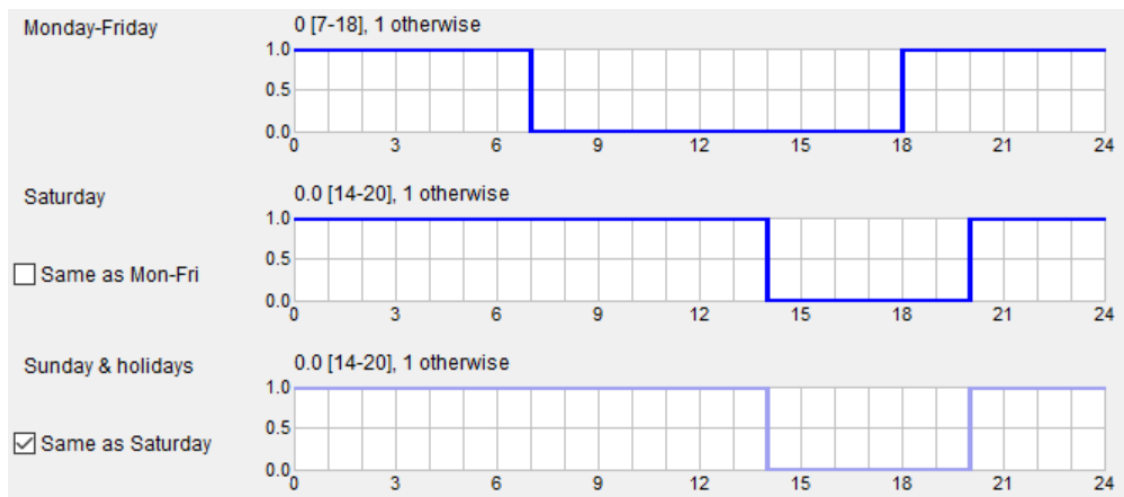


Abbildung 29: Zeitplan Anwesenheit Bewohner E1

Die Schulferien für den Standort Graz wurden für die Kinder berücksichtigt. Die Zeitpläne aller weiteren Bewohner sind im Anhang unter 7.2 im Detail abgebildet.

Für das gesamte Gebäude ergibt sich aus den Zeitplänen innerhalb eines Tages im Mai folgende Verteilung der anwesenden Personen.

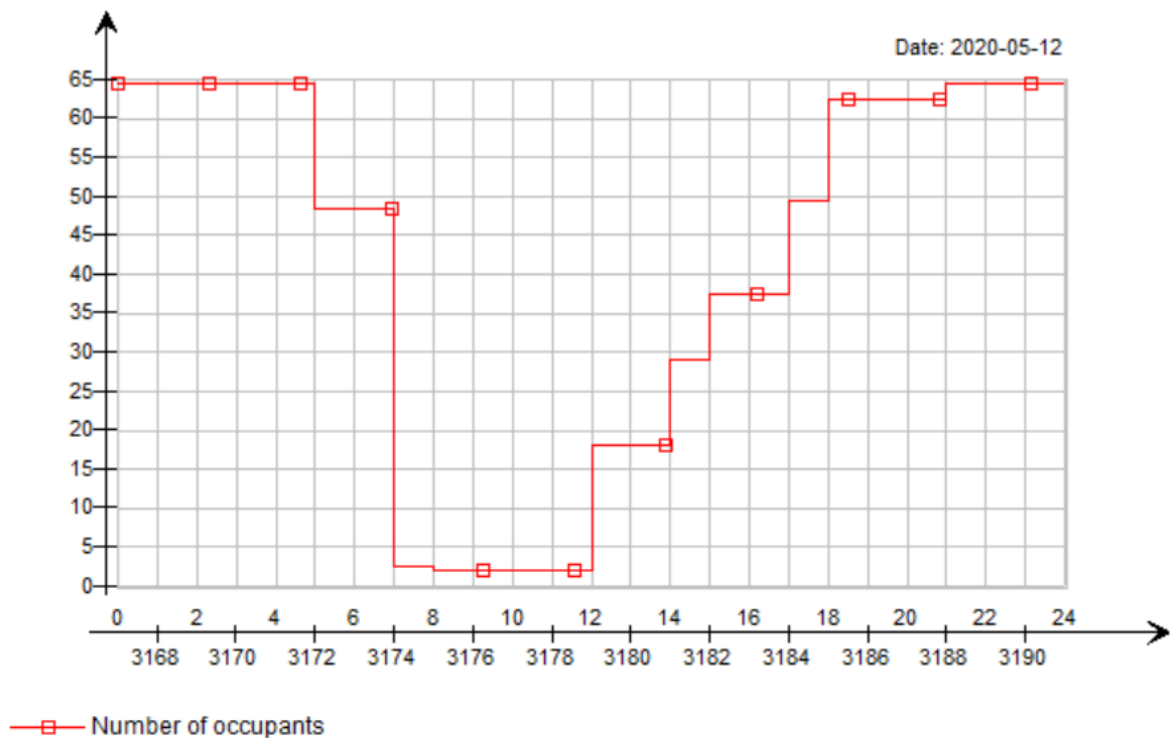


Abbildung 30: Anwesenheitsverteilung gesamtes Gebäude für einen Tag im Mai

Die spezifische Wärmeleistung durch technische Geräte wurde aus einem genormten stündlichen Nutzungsprofil über den Tag gemittelt und mit $4,50 \text{ W/m}^2$ als konstante Wärmequelle berücksichtigt.[26] Diese konstante Wärmequelle wurde anstatt eines genauen Nutzungsprofils verwendet, um die Berechnungsdauer der Simulation zu optimieren.

4.1.3 Raumheizung und Wärmebereitstellung

Für die Berechnungen durch Simulation werden zwei verschiedene Systeme herangezogen. Um die Lüftungswärmeverluste und den Heizwärmebedarf für das Referenzgebäude zu ermitteln, wird das Grundsystem als monovalentes Heizsystem mittels Fernwärme modelliert. Diese Vereinfachung des Systems dient der einfacheren Nachvollziehbarkeit der Berechnungsergebnisse und der besseren Vergleichbarkeit mit dem Energieausweis. Für die Berechnung des rückgewinnbaren Anteils der Lüftungswärmeverluste wird in einem weiteren Schritt das unter 3.6 eingeführte, kombinierte System mit Abluftwärmerückgewinnung durch Wärmepumpe und Fernwärme erstellt.

4.1.3.1 Grundsystem – Fernwärme ohne Wärmerückgewinnung aus Abluft

Im Grundsystem wird das Referenzgebäude durch Fernwärme mit der benötigten Heizenergie, sowohl für die Raumheizung als auch für Warmwasser, versorgt. Das im Simulationsprogramm erstellte Wärmeerzeugungssystem wird in der folgenden Abbildung 31 dargestellt.

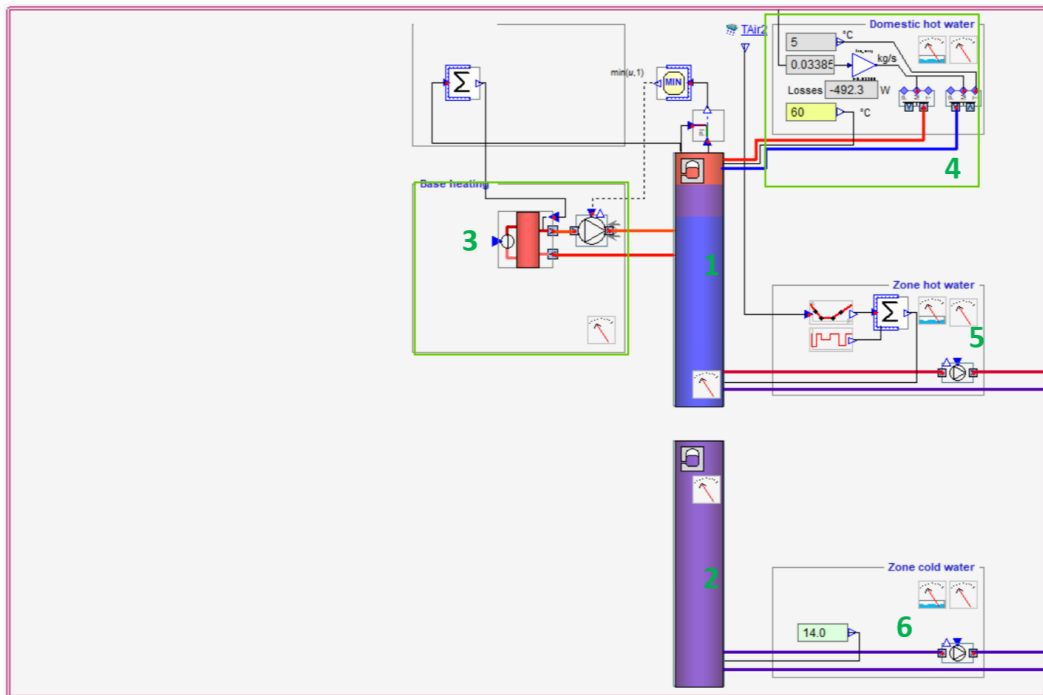


Abbildung 31: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: monovalentes System

Folgende Komponenten sind Teil des Systems:

- 1 ... Wärmespeicher
- 2 ... Kaltwasserspeicher, nicht relevant für die geführten Untersuchungen
- 3 ... Fernwärme
- 4 ... Brauchwasserentnahme für die Zonen aus oberster Schicht des Speichers (60°C)
- 5 ... Heizungswasserentnahme aus den unteren Speicherschichten (ca. 40°C)
- 6 ... Kaltwasser für Zonen

Die zentrale Abluftanlage ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 32: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: Lüftung ohne Wärmerückgewinnung

Die zentrale Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung besteht aus dem zentralen Abluftventilator, welcher die gesammelte, aus den Zonen beförderte, verbrauchte Abluft

an die Umgebung abgibt. Die dezentralen Abluftventilatoren werden in den einzelnen Zonen definiert und im System integriert.

4.1.3.2 Kombiniertes System – Fernwärme und Abluftwärmepumpe für die Wärmerückgewinnung aus dem Lüftungssystem

Im Simulationsprogramm müssen Wärme- und Kälteerzeuger getrennt vom Lüftungsgerät modelliert werden. Um das unter Punkt 3.6 beschriebene Konzept zur Abluftwärmerückgewinnung zu untersuchen, wurde eine Sole-Wasser-Wärmepumpe erstellt. Diese Wärmepumpe wird über einen Zwischenkreis (in diesem Fall als Solekreislauf modelliert) mit dem Wärmeübertrager im Abluftkanal verbunden. In Abbildung 33 ist eine Übersicht des Simulationsmodells mit seinen Komponenten zu sehen.

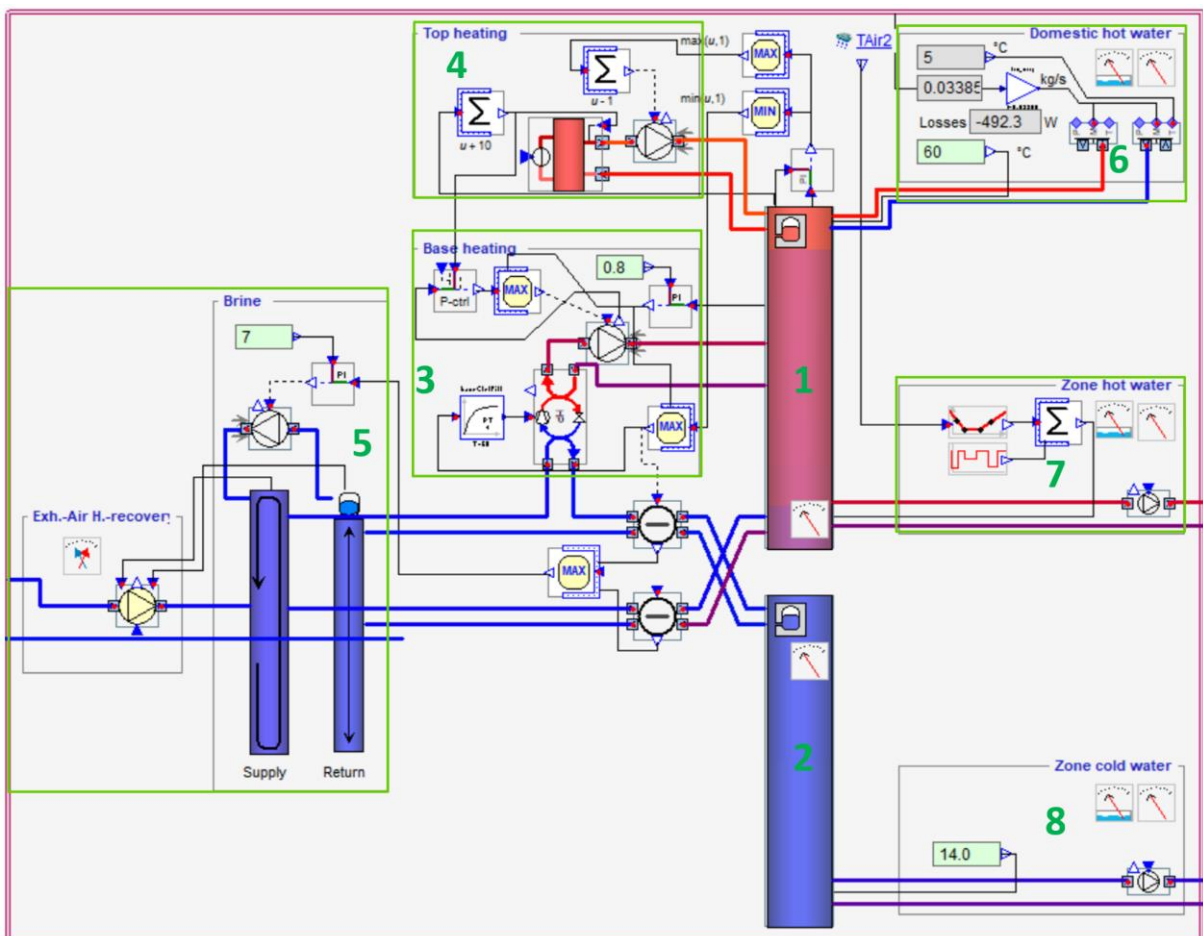


Abbildung 33: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: Wärmeerzeugung, kombiniertes System

Die folgenden Komponenten sind Teil dieses haustechnischen Systems:

- | | | |
|---|-----|--|
| 1 | ... | Wärmespeicher |
| 2 | ... | Kaltwasserspeicher, nicht relevant für die geführten Untersuchungen |
| 3 | ... | Sole-Wasser-Wärmepumpe |
| 4 | ... | Fernwärme |
| 5 | ... | Solekreislauf |
| 6 | ... | Brauchwasserentnahme für die Zonen aus oberster Schicht des Speichers (60°C) |

- 7 ... Heizungswasserentnahme aus den unteren Speicherschichten (ca. 40°C)
- 8 ... Kaltwasser für Zonen

Der Kombi-Wärmespeicher (1) ist das zentrale System der haustechnischen Anlage. Dieser Speicher wird sowohl von Fernwärme (4) als auch von der Nutzwärme der Wärmepumpe (3) gespeist. Über den Sole-Kreislauf (5), bestehend aus Ethylenglykol, wird die Wärme aus der Abluft entzogen (siehe Abbildung 34). Für die Flächenheizung wird das Wasser in den unteren Schichten bei Temperaturen von etwa 40°C genutzt (7). In Abbildung 34 ist das Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung abgebildet.

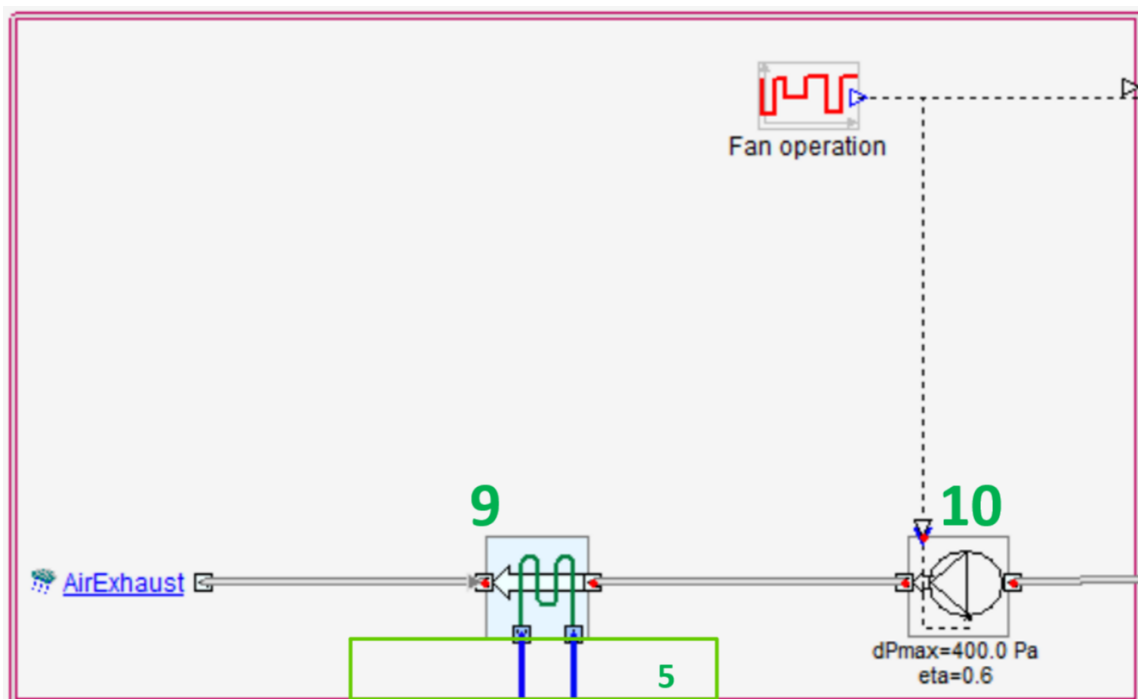


Abbildung 34: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung

Folgende Komponenten sind in der Übersicht zu sehen:

- 5 ... Kreislauf Wärmeträgermedium, Ethylenglykol
- 9 ... Wärmeüberträger
- 10 Zentraler Abluftventilator

Über den als verlustfrei angenommenen Kreislauf des Wärmeträgermediums (5) wird mittels des Wärmeübertragers (9) entzogene Wärme aus der Abluft zur Sole-Wasser-Wärmepumpe geführt und dort auf ein höheres Temperaturniveau gebracht (siehe Abbildung 33). Der abgebildete Ventilator (10) befördert die verbrauchte Abluft aus den Zonen zum Wärmeübertrager.

Folgende Konzepte zur Festlegung der Leistungen des Wärmeübertragers und der Wärmepumpe wurden in Kombination mit dem Abluftkonzept K1 (konstanter Luftwechsel, siehe Punkt 4.2.3.2) im Rahmen dieser Arbeit untersucht:

- **WP01:** Bei dieser Variante wird eine **Wärmepumpe mit konstanter Leistung** betrachtet. Die Leistung der Wärmepumpe wird so festgelegt, dass bei kontinuierlichem Betrieb des Abluftsystems und der Wärmepumpe eine annähernd volle Deckung des Warmwasserwärmebedarfs gegeben ist. Es erfolgt keine Taktung des Wärmepumpenbetriebs im Sommer, wodurch eine durchgängige Wärmerückgewinnung bei konstanter Leistung der Wärmepumpe gegeben ist. Nachteilig bei dieser Variante ist, dass aufgrund der konstanten und auf den Sommerbetrieb angepassten Leistung der Wärmepumpe, in den Winter- und Übergangsmonaten nicht das volle Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft genutzt werden kann.
- **WP02:** Die zweite Variante betrachtet ein Wärmepumpensystem, bei dem die **Leistung der Wärmepumpe** an den Winter- und Sommerbetrieb **angepasst werden kann** (z.B. durch Einsatz einer modulierenden Wärmepumpe). Die Leistung der Wärmepumpe wird so gewählt, dass im Winter das Wärmerückgewinnungspotential bestmöglich ausgeschöpft und die rückgewonnene Wärme zur Deckung des Heiz- und Warmwasserwärmebedarfs herangezogen wird. In den Sommermonaten, wenn kein Heizwärmebedarf vorliegt, wird die Leistung der Wärmepumpe soweit reduziert, dass wie in Variante 1 der Warmwasserwärmebedarf bestmöglich gedeckt wird.

Für die Simulation wird die Dimensionierung des Wärmeübertragers in Kombination mit der Wärmepumpe zum entscheidenden Faktor, um die beiden Konzepte umsetzen zu können. Die Auslegung des Wärmeübertragers erfolgte mittels der in Tabelle 6 definierten Werte bei einem Luftvolumenstrom von 576,6 L/s.

	Sole-Massenfluss [kg/s]	Lufttemperatur vor Wärmeübertrager [°C]	Lufttemperatur nach Wärmeübertrager [°C]	Soletemperatur vor Wärmeübertrager [°C]	Soletemperatur nach Wärmeübertrager [°C]	Leistung [W]
WP01	0,40953	22	16	6	9	4223,1
WP02	0,51223	22	12	6	9	7038,4

Tabelle 6: Auslegungspunkte Wärmeübertrager

Nach Festlegung der in Tabelle 6 gewählten Parameter für den Wärmeübertrager wird eine passende Sole-Wasser-Wärmepumpe gewählt und parametrisiert. Zu diesem Zweck wird die im Programm implementierte und mit Herstellerdaten hinterlegte Serie SWC 100H von Alpha Innotec verwendet.

4.1.3.3 Zentrale Abluftanlage und Luftwechsel

Die Leistung der Abluftwärmepumpe ist einerseits von der Temperatur, andererseits vom Volumenstrom der abgeführten Luft aus den Zonen abhängig. Somit erhält die Steuerung der Ventilatoren eine zentrale Bedeutung für die Wärmerückgewinnung. Grundsätzlich werden für alle Varianten der Berechnung die Ventilatoren so gesteuert, dass sie im aktivierten Modus für jede der angesteuerten Zonen eine definierbare Luftwechselzahl gewährleisten. In der Tabelle 7 sind die berücksichtigten Luftvolumenströme für unterschiedliche Luftwechselzahlen abzulesen.

Luftvolumenstrom Abluft						
Nr.	Bezeichnung*	Luftwechselzahl [1/h]	Luftvolumenstrom [l/sm ²]	A _{Netto} [m ²]	Luftvolumenstrom [l/s]	Luftvolumenstrom [m ³ /h]
LWZ = 0,38 [1/h]						
1	-XGX RE	0,38	0,26	110	29,03	104,5
2	-XGX MI	0,38	0,26	50	13,19	47,5
3	-XGX LI	0,38	0,26	88	23,22	83,6
4	-STGH	0,38	0,26	232	61,22	220,4
LWZ= 0,5 [1/h]						
1	-XGX RE	0,5	0,35	110	38,19	137,5
2	-XGX MI	0,5	0,35	50	17,36	62,5
3	-XGX LI	0,5	0,35	88	30,56	110
4	-STGH	0,5	0,35	232	80,56	290
*... XGX_RE steht für Zone rechts im Regelgeschoß, Erdgeschoß = EG_RE, Obergeschoß = OG1_RE						

Tabelle 7: Zonenweise Luftvolumenströme in Abhängigkeit der Luftwechselzahlen

Bei den Berechnungen werden folgende Steuerungsvarianten der Abluftventilatoren untersucht:

- **Abluft konstant (V1):** Die Abluftventilatoren aller Zonen sind gleichzeitig und durchgehend 24 Stunden am Tag in Betrieb.
- **Abluft Nachtbetrieb (V2):** Die Abluftventilatoren aller Zonen sind gleichzeitig für 12 Stunden, zwischen 18:00 und 6:00 Uhr, in Betrieb.
- **Abluft bei Anwesenheit (V3):** Die Abluftventilatoren sind in Betrieb, sobald sich eine oder mehrere Personen in dieser Zone aufhalten. Bleiben eine oder mehrere Zonen unbenutzt, so wird der Abluftventilator dieser Zone deaktiviert. Diese Variante stellt eine vereinfachte nutzungsabhängige Lüftung dar.

Abbildung 35 zeigt den im Dachgeschoß beförderten Abluftvolumenstrom. Es werden die drei untersuchten Betriebsweisen V1, V2 und V3 jeweils im Vergleich abgebildet. Die Abluftventilatoren erzeugen in diesem Beispiel in jeder Zone einen 0,38-fachen Luftwechsel.

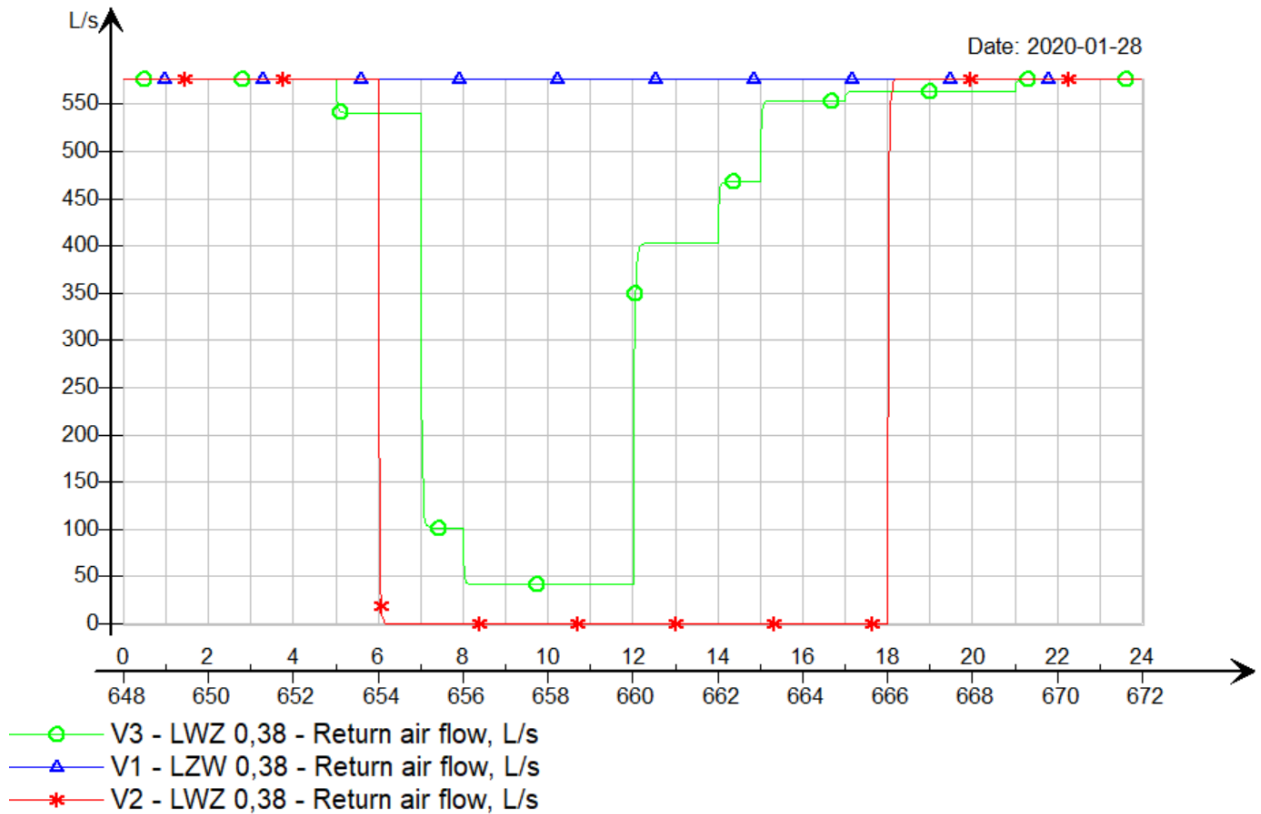


Abbildung 35: Abluftvolumenstrom V1, V2 und V3 für LWZ = 0,38 [1/h]

Die vier mittels Simulation untersuchten Lüftungskonzepte sind in folgender Tabelle zur Übersicht abgebildet.

	Luftwechselzahl Winter	Luftwechselzahl Sommer	Betrieb Ventilator
K1	0,38	0,38	V1
K2	0,50	0,50	V1
K3	0,38	0,38	V2
K4	0,38	0,38	V3

Abbildung 36: Übersicht untersuchte Lüftungskonzepte

Mit der Bezeichnung „Winter“ ist die Heizperiode gemeint, welche für die Steuerung der Abluftventilatoren vereinfacht zwischen 30. April und 1. Oktober angenommen wird. Die Bezeichnung „Sommer“ definiert die Jahreszeit ohne Heizung des Gebäudes und wird zwischen 1. Mai und 31. September festgelegt.

- **Lüftungskonzept K1:** Das erste untersuchte Konzept zur Lüftung stellt den mindesterforderlichen hygienischen Luftwechsel rund um die Uhr über das ganze Jahr zur Verfügung. Diese Berechnungsvariante eignet sich am besten zum Vergleich der Ergebnisse mit dem Energieausweis, da dort für die Nutzung Wohnen dieselbe Luftwechselzahl angesetzt wird. Für die Simulation wird von einer zusätzlichen manuellen Fensterlüftung durch den Nutzer in den Nachtstunden ausgegangen, um eine sommerliche Überwärmung der Wohnräume zu vermeiden und eine wirksame Nachtabkühlung zu erreichen. Die zusätzliche Lüftung durch den Nutzer in den Nachtstunden muss dabei dem Ruheanspruch in schallexponierten Wohnbereichen gegenübergestellt werden.
- **Lüftungskonzept K2:** Das zweite Konzept erwirkt ebenfalls einen konstanten Luftwechsel in allen Zonen. Die Luftwechselzahl wird auf 0,5 [1/h] erhöht.
- **Lüftungskonzept K3:** Das dritte untersuchte Konzept ist jenes der Nachtlüftung. In den Nachtstunden ist der Großteil der Bewohner des Gebäudes anwesend und der Ruheanspruch ist am größten. Am Tag kann durch den Nutzer bei Bedarf durch zusätzliches Stoßlüften für eine ausreichende Luftqualität gesorgt werden.
- **Lüftungskonzept K4:** Im letzten untersuchten Konzept (K4) werden die Abluftventilatoren in den Zonen durch Anwesenheit von Personen in dieser Zone aktiviert. Bei eingeschalteter Lüftung wird ein 0,38-facher Luftwechsel gewährleistet.

4.1.3.4 Fenster und Sonnenschutz

Die Fenster wurden als 2-Scheiben Verglasung mit Holz-Aluminium Rahmen berücksichtigt. Der folgende Ausschnitt der Bauteilliste zeigt die in der Simulation und zur Berechnung des Energieausweises verwendeten Werte der einzelnen Komponenten.

FE01 AF	Fenster b/A 2-fach Holz-Alu ; Annahme	Neubau					
		Länge m	ψ W/mK	g -	Fläche m ²	%	U W/m ² K
	2-fach			0,520	1,27	70,00	1,00
	Holz-Alu				0,55	30,00	1,30
	Glasrandverbund	5,46	0,060				
				vorh.	1,82		1,27

Abbildung 37: Auszug Bauteilliste - Kennwerte Fenster

Für alle südlich orientierten Fenster und Fenstertüren wurde zudem ein im Simulationsprogramm integrierter strahlungsgesteuerter außenliegender Sonnenschutz berücksichtigt. Für den Sonnenschutz wurde ein im Programm integriertes Material mit hinterlegten Daten des Herstellers Dickson gewählt. Der Sonnenschutz in Kombination mit der Verglasung mit einem g-Wert von 0,52 ergibt einen g_{total} -Wert von 0,13. Somit werden bei geschlossenem Sonnenschutz 88 % der solaren Einträge blockiert.

4.1.3.5 Warmwasserverbrauch

Um den Warmwasserverbrauch im Gebäude für die Berechnung abzubilden, wird ein Warmwasserzapfprofil für die Nutzung Wohnen als Referenz herangezogen. Es lassen sich besonders in den Morgen- und Abendstunden deutliche Verbrauchsspitzen erkennen.

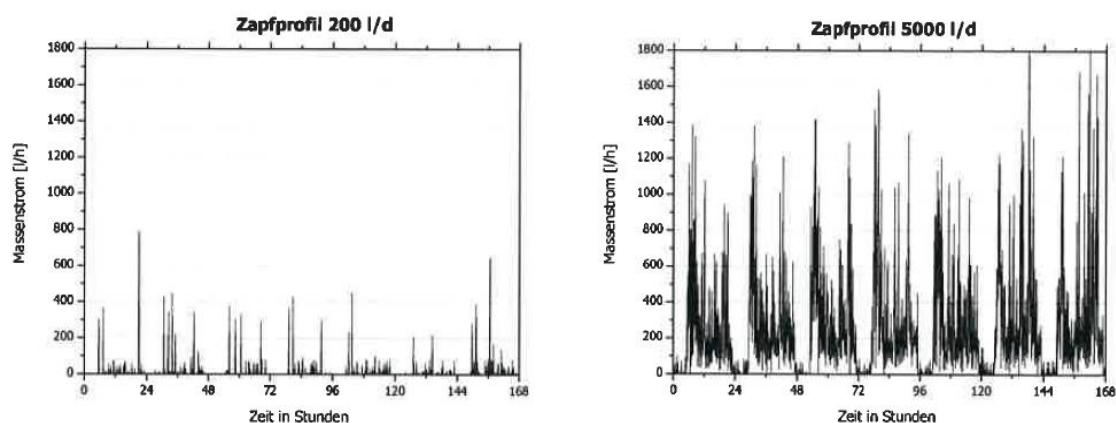


Abbildung 38: Warmwasserzapfprofil der ersten Jännerwoche für einen jährlichen Durchschnittsverbrauch von 200 l/d (ca. 4-5 Personen) und 5000 l/d (ca. 115-120 Personen) [27]

Das für die Berechnung des Referenzgebäudes erstellte Warmwasserzapfprofil berücksichtigt diese Verbrauchsspitzen und bezieht sich auf einen durchschnittlichen täglichen Warmwasserbedarf von 40 l/Tag und Person. [14]

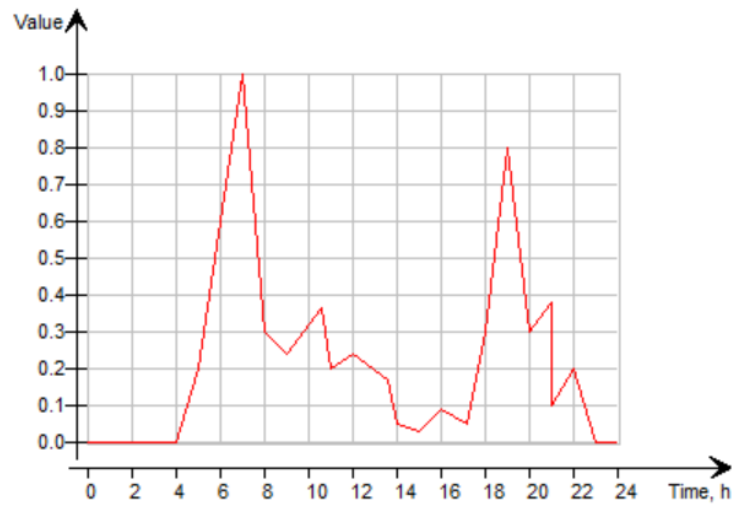


Abbildung 39: Warmwasserzapfprofil Simulation

4.2 Berechnungsergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Berechnungsergebnisse erläutert. Im ersten Teil wird am Beispiel einer Zone die Raumluftqualität anhand des sich einstellenden CO₂-Gehalts untersucht. Dies erfolgt für den hygienisch erforderlichen Mindestluftwechsel von 0,38 [1/h] ohne zusätzliche Fensterlüftung.

Darauffolgend werden die Ergebnisse zu Lüftungswärmeverlusten und Heizwärmebedarf des erstellten Energieausweises ausgewertet. Außerdem wird anhand der Simulationsergebnisse des Grundsystems (siehe 4.1.3.1) die Auswirkung der Luftwechselzahl auf den Lüftungswärmeverlust und folglich auf den Heizwärmebedarf des Gebäudes behandelt. Der Heizwärmebedarf wird für die verschiedenen Luftwechselzahlen und Betriebsvarianten ermittelt und die Ergebnisse verglichen.

In einem weiteren Schritt wird das Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft betrachtet. Dies erfolgt durch eine Vorabschätzung durch Annahme von Ablufttemperaturen nach dem Wärmeübertrager (Luftkühler) im Abluftkanal.

Im letzten Teil werden zwei mögliche Systemvarianten vorgestellt. Diese zeigen eine Wärmepumpe mit an den Warmwasserverbrauch im Sommer angepasster Leistung (WP01) und eine Wärmepumpe mit höherer Leistung, die zur Heizungsunterstützung in den Wintermonaten ausgelegt wurde (WP02).

4.2.1 CO₂-Gehalt der Raumluft

Um die sich einstellende Raumluftqualität (ohne zusätzlichem Fensterlüften durch den Nutzer) zu beurteilen, wurde der CO₂-Gehalt für eine Nutzungseinheit genauer untersucht. Zu diesem Zweck wird als Beispiel die Wohneinheit OG4_LI in einer Woche im Januar genauer betrachtet. Die Betrachtung erfolgt dabei für eine Luftwechselzahl der Abluftanlage von 0,38 [1/h].

In dieser Wohneinheit wohnen zwei Erwachsene mit einem Kind. Die Anwesenheitsverteilung für die untersuchte Woche ist in Abbildung 40 dargestellt.

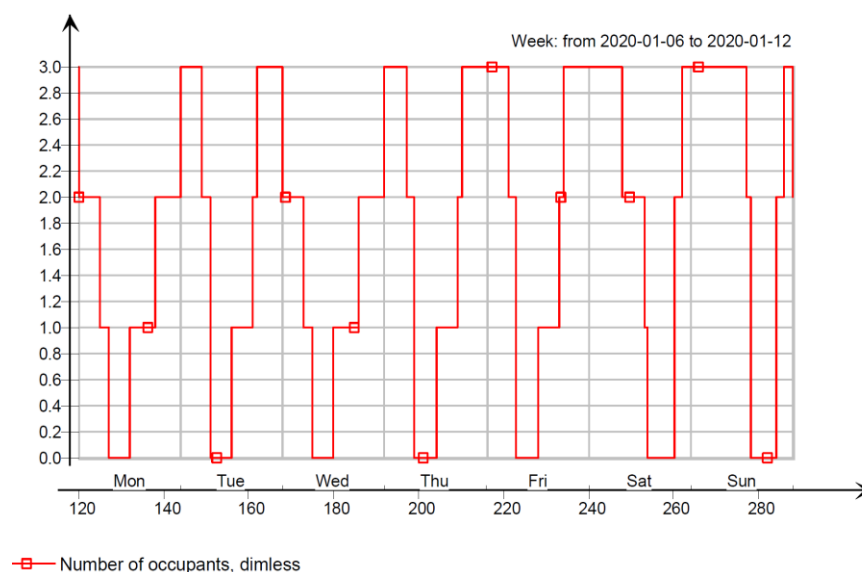


Abbildung 40: OG4_LI Anwesenheitsverteilung

An Wochentagen bleibt die Nutzungseinheit zwischen 7 und 12 Uhr ungenutzt, an den Wochenenden ist zwischen 14 und 20 Uhr niemand anwesend. In den Zeiten dazwischen halten sich 1 bis 3 Personen in der Wohnung auf.

In der folgenden Grafik wird für den Betrachtungszeitraum die CO₂-Konzentration der Raumluft in Abhängigkeit des Betriebskonzeptes des Abluftventilators für die gesamte Wohneinheit dargestellt. Auf der horizontalen Achse ist dabei der Wochentag und auf der vertikalen Achse der CO₂-Gehalt in ppm abgebildet.

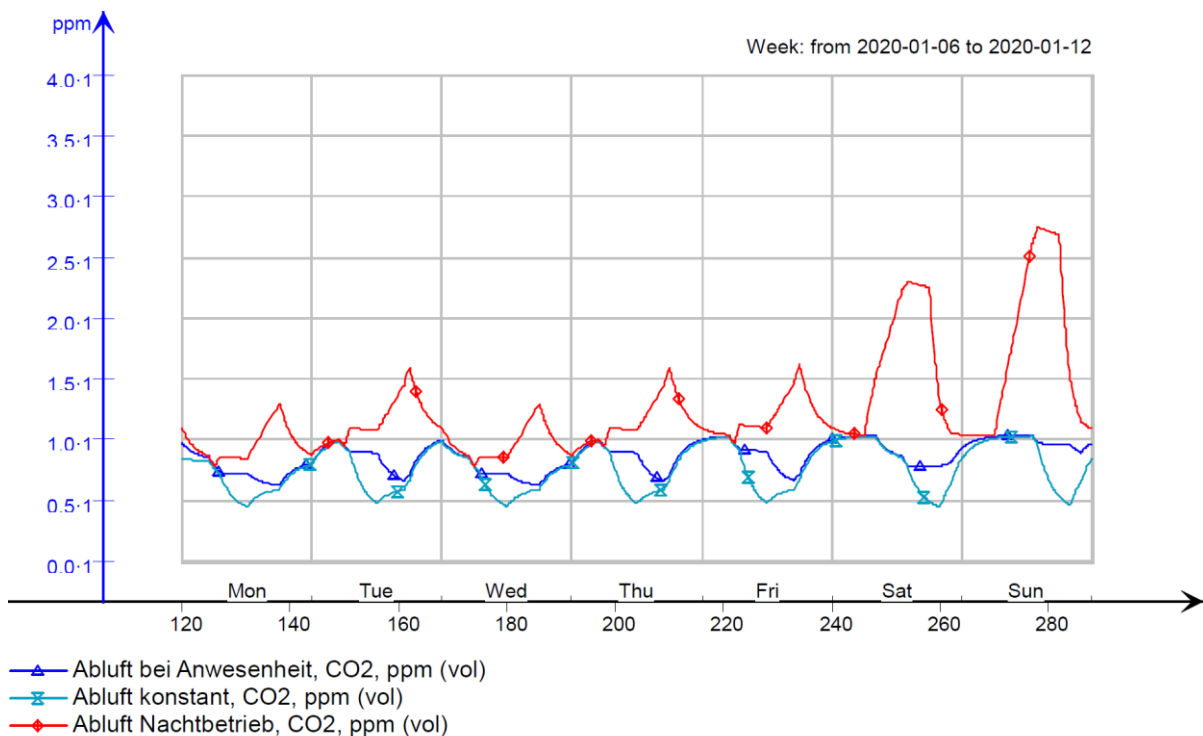


Abbildung 41: CO₂-Gehalt der Raumluft für die Varianten V1 bis V3, Wohnung OG4 links, 2 berufstätige Personen mit einem Kind

Für den konstanten Betrieb des Abluftventilators stellt sich auch ohne zusätzliche Fensterlüftung über den gesamten Betrachtungszeitraum ein CO₂-Gehalt zwischen 450 und 980 ppm ein. Durch den Umstand, dass auch über längere Zeit Luft abgeführt wird, obwohl sich niemand in der Zone aufhält, erreicht der CO₂-Gehalt der Raumluft bei konstantem Betrieb annähernd jenen der Außenluft.

Die stärkste Schwankung und auch der höchste Wert des CO₂-Gehalts der Raumluft ergeben sich bei reinem Nachtbetrieb des Abluftventilators. Zwischen 6 und 18 Uhr ist der Abluftventilator außer Betrieb. Durch die Anwesenheit von einer oder mehrerer Personen in diesem Zeitraum stellen sich besonders am Wochenende rechnerische Spitzenwerte des CO₂-Gehalts von bis zu 2800 ppm ein.

Bei anwesenheitsgesteuertem Betrieb des Ventilators schwankt der CO₂-Gehalt zwischen 620 und 980 ppm ohne zusätzliche manuelle Fensterlüftung.

Für diese Nutzungseinheit in Kombination mit der berücksichtigten Personenzahl und Anwesenheitsverteilung stellt sich bei zeitgesteuertem Abluftbetrieb, besonders am

Wochenende, eine ungenügende Luftqualität mit CO₂-Werten deutlich über dem Grenzwert von 1000 ppm ein. Eine zusätzliche manuelle Lüftung durch den Nutzer ist in diesem Fall erforderlich, um eine ausreichend gute Luftqualität gewährleisten zu können.


Schlussfolgernd kann aus diesen Ergebnissen der hygienisch mindesterforderliche Luftwechsel von 0,38 [1/h] für die gesamte Zone als Einheit mit der definierten Nutzung als ausreichend angesehen werden, um eine zufriedenstellende Luftqualität bezogen auf den CO₂-Gehalt der Raumluft zu gewährleisten.

Die notwendige Luftwechselzahl ist jedoch abhängig von der Anzahl der sich im jeweiligen Raum befindlichen Personen und dem Raumvolumen, das zur Verfügung steht. Die Zonierung für die Simulation wurde wohnungsweise vorgenommen, somit kann auf diesen Umstand nicht eingegangen werden. Halten sich mehrere Personen in einem Raum geringen Volumens auf, ist ein deutlich höherer Luftwechsel erforderlich, um eine ausreichende Raumluftqualität gewährleisten zu können. Es wird für die weitere Simulation davon ausgegangen, dass der Nutzer in diesem Fall durch manuelles Lüften für eine ausreichende zusätzliche Frischluftzufuhr sorgt.

4.2.2 Übersicht Energieausweis

Im folgenden Ausschnitt werden die wichtigsten Kenngrößen des für das Referenzgebäude erstellten Energieausweises abgebildet. Die Ergebnisse werden verwendet, um die Resultate des Heizwärmebedarfs der Simulation für das Konzept K1 zu plausibilisieren.

Energieausweis für Wohngebäude



OIB-ÖSTERREICHISCHES
INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: April 2019

GEBÄUDEKENNDATEN				EA-Art:	
Brutto-Grundfläche (BGF)	2.623,1 m ²	Heiztage	205 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	2.098,4 m ²	Heizgradtage	3775 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	7.777,4 m ³	Klimaregion	S/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	2.476,3 m ²	Norm-Außentemperatur	-10,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	0,32 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	kombiniert
charakteristische Länge (ℓ _c)	3,14 m	mittlerer U-Wert	0,360 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _r -Wert	21,30	RH-WB-System (primär)	Wärmepumpe
Teil-BF	- m ²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	Fernwärme
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)			Nachweis über den Gesamtenergieeffizienzfaktor
	Ergebnisse		Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 22,8 kWh/m ² a entspricht	HWB _{Ref,RK,zul} = 31,3 kWh/m ² a	
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 22,8 kWh/m ² a		
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 47,1 kWh/m ² a		
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,71 entspricht	f _{GEE,RK,zul} = 0,75	
Erneuerbarer Anteil	- entspricht	Punkt 5.2.3 a	

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)			
Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 70.255 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 26,8 kWh/m ² a	
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 57.823 kWh/a	HWB _{SK} = 22,0 kWh/m ² a	
Warmwasserwärmebedarf	Q _{lw} = 26.808 kWh/a	WWWB = 10,2 kWh/m ² a	
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 72.622 kWh/a	HEB _{SK} = 27,7 kWh/m ² a	
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 1,39	
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 0,50	
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 0,75	
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 59.743 kWh/a	HHSB = 22,8 kWh/m ² a	
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 132.364 kWh/a	EEB _{SK} = 50,5 kWh/m ² a	
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 214.528 kWh/a	PEB _{SK} = 81,8 kWh/m ² a	
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn,ern,SK} = 104.792 kWh/a	PEB _{n,ern,SK} = 40,0 kWh/m ² a	
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBer,SK} = 109.736 kWh/a	PEB _{er,SK} = 41,8 kWh/m ² a	
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 23.186 kg/a	CO _{2eq,SK} = 8,8 kg/m ² a	
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,70	
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a	

Abbildung 42: Datenblatt Energieausweis Referenzgebäude

Der gesamte Energieausweis ist im Anhang unter Abschnitt 7.2.1 zu finden.

Für den Vergleich der im Weiteren mittels Simulation berechneten Werte wird der Heizwärmebedarf für das Standortklima HWB_{SK} sowie der Referenz-Heizwärmebedarf für das Standortklima $HWB_{Ref,SK}$ herangezogen. Der um $4,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ höhere Wert für den Referenz-Heizwärmebedarf für das Standortklima $HWB_{Ref,SK}$ kommt durch den in dieser Berechnungsvariante berücksichtigten Referenz-Lüftungsbeiwert zustande. Aus diesem resultiert, dass Wärmegewinne aus Wärmerückgewinnung nicht berücksichtigt werden.

Die gesetzlichen Anforderungen an den Heizwärmebedarf, gültig für Neubau ab 2021 laut OIB Richtlinie 6 [13], werden für das Referenzgebäude erfüllt. Gewinne aus der Wärmerückgewinnung können jedoch nicht für die Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen herangezogen werden, da sich diese auf den $HWB_{Ref,SK}$ beziehen.

4.2.3 Lüftungswärmeverlust durch die Abluftanlage

Um die Lüftungskonzepte hinsichtlich ihrer Energieeffizienz beurteilen zu können, wird zunächst der Lüftungswärmeverlust der Abluftanlage in Abhängigkeit der unterschiedlichen Betriebsweisen und Luftwechselzahlen untersucht. Dies erfolgt für die bereits definierten Lüftungskonzepte K1 bis K4 (Definition der Konzepte siehe Abschnitt 4.1.3.3) für das Referenzgebäude. Zur Plausibilisierung der Ergebnisse wird ein Vergleich zum erstellten Energieausweis vorgenommen.

Die Berechnung der Lüftungswärme- und Energieverluste erfolgt für alle folgenden Kapitel gemäß (F5) unter Berücksichtigung der Abluftvolumenströme und Ablufttemperaturen aus der Simulation.

4.2.3.1 Lüftungskonzept K1 und Energieausweis

Für dieses Konzept wird ein konstanter Luftwechsel durch die zentrale Abluftanlage von $0,38 \text{ [1/h]}$ in der Berechnung berücksichtigt. Um eine sich bei einer so niedrigen Luftwechselzahl unweigerlich einstellende sommerliche Überwärmung zu vermeiden, wird für die Simulation in den Sommermonaten von einer zusätzlichen manuellen Nachtlüftung durch den Nutzer ausgegangen. In der folgenden Abbildung werden die monatlichen Lüftungswärmeverluste durch die Abluftanlage des Referenzgebäudes für das Lüftungskonzept K1 dargestellt. Die abtransportierte Wärme durch die manuelle Fensterlüftung wird in dieser Darstellung nicht berücksichtigt.

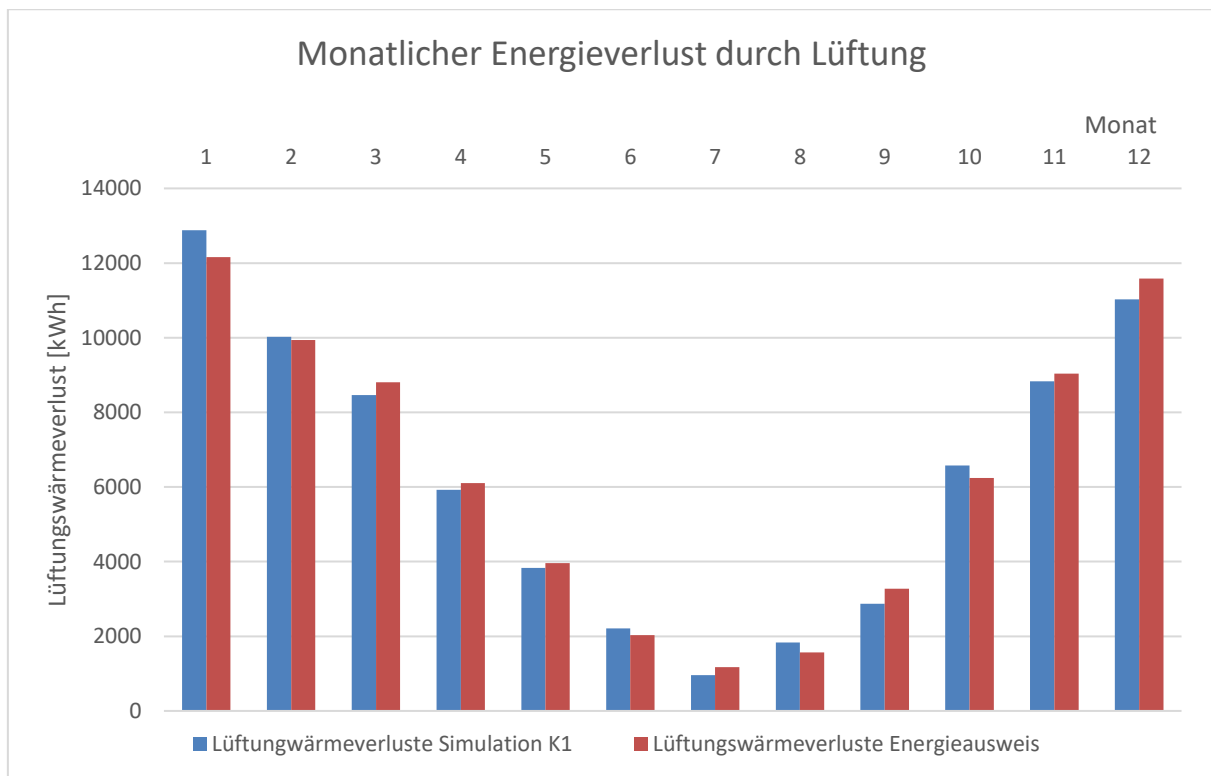


Abbildung 43: Monatliche Lüftungswärmeverluste K1; Werte aus der Simulation und dem Energieausweis im Vergleich

Die sich ergebenden Werte für die abtransportierte Wärme durch die Abluftanlage bewegen sich dabei in der Simulation zwischen 958 kWh im Juli und 12880 kWh im Monat Januar des simulierten Jahres. Die Lüftungswärmeverluste des Energieausweises bewegen sich zwischen 1169 kWh im Juli und 15889 kWh im Januar. Die Abweichungen der Ergebnisse für die Lüftungswärmeverluste im Vergleich der Simulation zum Energieausweis betragen somit ungefähr 20 %.

Ein Grund für die Abweichung der Ergebnisse zum Lüftungswärmeverlust zwischen Simulation und Energieausweis liegt an den unterschiedlichen Monatsmitteltemperaturen der Außenluft. Im direkten Vergleich werden die Unterschiede zwischen den angesetzten mittleren Außentemperaturen für den Energieausweis und jenen aus den Klimadatensätzen des Simulationstools verdeutlicht (Abbildung 43).

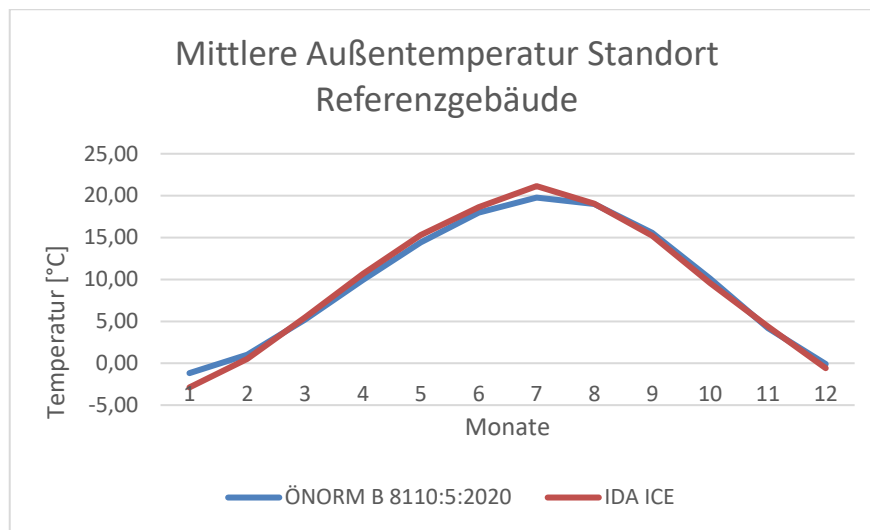


Abbildung 44: Mittlere Außentemperaturen Standort Referenzgebäude - Vergleich ASHRAE IWEC 2 (IDA ICE) und ÖNORM B 8110:5:2020

Bei Betrachtung von Abbildung 43 und Abbildung 44 lassen sich Zusammenhänge zwischen den Abweichungen der Lüftungswärmeverluste und den Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen erkennen. In Monaten in denen die Lüftungswärmeverluste (Abbildung 43) ermittelt durch Simulation gegenüber den Werten des Energieausweises höhere Werte aufweisen, liegen die Außentemperaturen der Berechnungsmethode im Vergleich im niedrigeren Bereich (Abbildung 44). Dieser Umstand ist am deutlichsten in den Monaten Januar und Februar zu erkennen.

Der ASHRAE IWEC2 Wetterdatensatz, welcher im Simulationsprogramm IDA ICE integriert ist, gilt für den Standort Flughafen Graz mit einer Seehöhe von 347m. Eine genauere Lokalisierung innerhalb von Graz wurde für die Simulation nicht vorgenommen. Die Klimadaten für den Energieausweis werden gem. ÖNORM B 8110:5 [5] berechnet und beziehen sich sowohl auf den genauen Standort als auch auf die exakte Seehöhe des Standorts von 369m.

Ein weiterer möglicher Grund für die Abweichungen zwischen den Ergebnissen aus der Simulation und der Energieausweisberechnung liegt in der Infiltrationsrate. Diese beschreibt Undichtigkeiten des Gebäudes und einhergehende Lüftungswärmeverluste aufgrund Winde und Auftrieb. In der Berechnung mittels Simulation ist, im Gegensatz zum Energieausweis, zusätzlich zur der Infiltrationsrate der Gebäudehülle ein Windprofil hinterlegt. Dieses Profil berücksichtigt vertikal variierende Windgeschwindigkeiten.

4.2.3.2 Lüftungswärmeverluste der Konzepte K1 bis K4 im Vergleich

Für die Beurteilung des Einflusses der Betriebsweisen des Systems auf die Lüftungswärmeverluste und schlussendlich auf den Heizwärmebedarf wird in diesem Kapitel ein Vergleich der einzelnen Konzepte durchgeführt. Abbildung 45 zeigt die Ergebnisse der Lüftungswärmeverluste der Lüftungskonzepte K1 bis K4 im Vergleich.

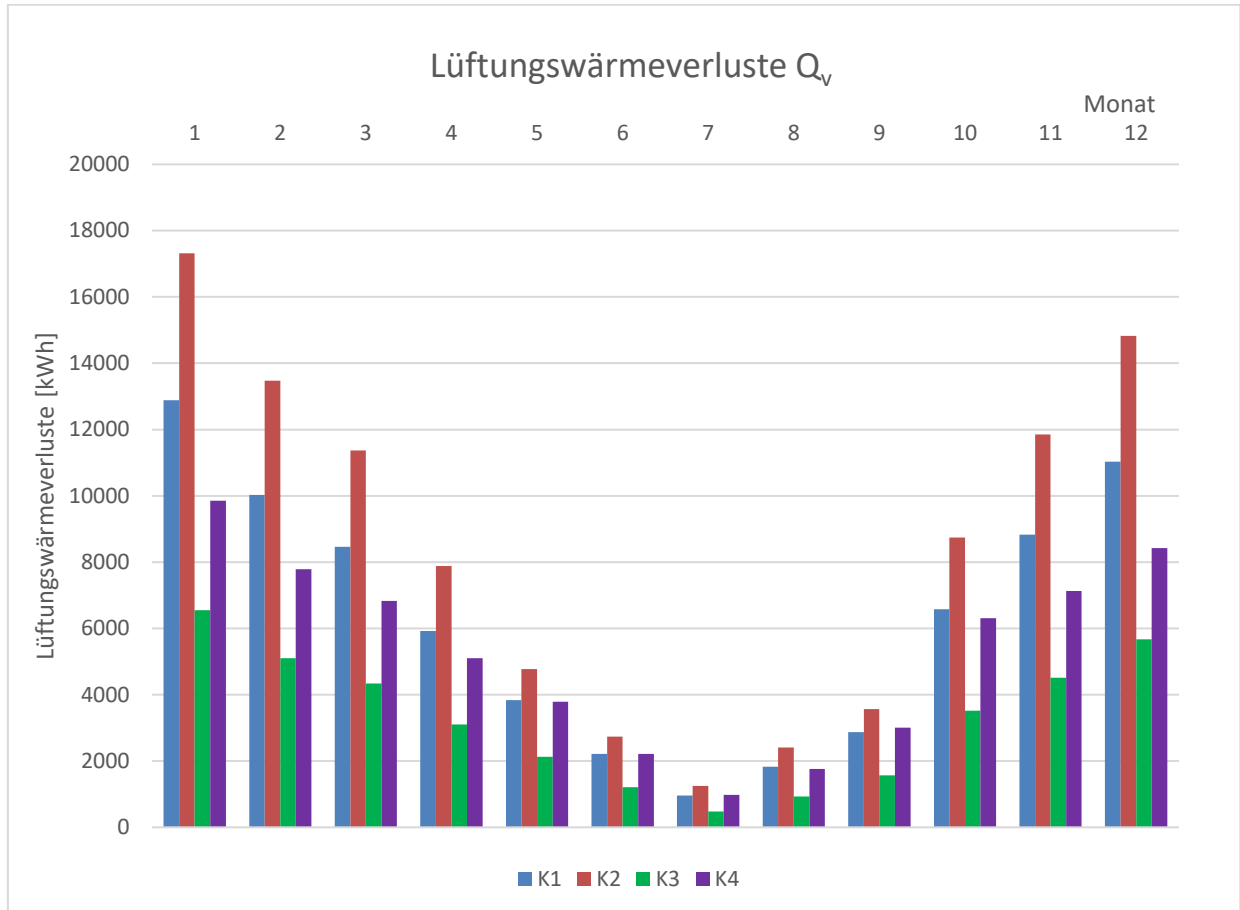


Abbildung 45: Lüftungswärmeverluste, Betriebsweisen im Vergleich

- Lüftungskonzept K2:** Beim Lüftungskonzept K2 wird der Luftwechsel von 0,38 [1/h] (Konzept K1) auf 0,5 [1/h] erhöht. Der Betrieb der Abluftanlage ist konstant über den gesamten Tag und das gesamte Jahr. Die Lüftungswärmeverluste in den Sommermonaten belaufen sich für den Monat August auf ca. 2400 kWh. Die Lüftungswärmeverluste für den Monat Januar belaufen sich auf ca. 17600 kWh.
- Lüftungskonzept K3:** Bei diesem Konzept wird das Lüftungskonzept K1 abgewandelt. Es findet nur zwischen 18:00 bis 6:00 Betrieb statt, um eine mögliche Reduktion der Lüftungswärmeverluste besonders in der Heizperiode zu untersuchen. Die Luftwechselzahl beträgt 0,38 [1/h] für jede Zone. Für eine ausreichende Frischluftzufuhr am Tag muss durch manuelles Stoßlüften durch den Nutzer gesorgt werden. Für den Monat August beträgt der Lüftungswärmeverlust bei reiner Nachtlüftung 1000 kWh. Die Lüftungswärmeverluste verringern sich im Winter in der Heizperiode gegenüber der Dauerlüftung bei einem selben Luftwechsel deutlich.

Im Monat Januar beträgt der Lüftungswärmeverlust ca. 6600 kWh. Dies ergibt eine Reduktion der Lüftungswärmeverluste in der Heizperiode gegenüber der Dauerlüftung bei selber Luftwechselzahl von etwa 53 %. Zusätzlich ergibt sich bei dieser Betriebsvariante der Abluftanlage im Sommer der Vorteil, dass am Tag ohne Zutun des Nutzers keine feuchtwarme Luft ins Gebäude gelangt.

- **Lüftungskonzept K4:** Bei diesem Konzept handelt es sich um eine weitere Abwandlung des Konzeptes K1, um die Möglichkeit der Reduktion von Wärmeverlusten in der Heizperiode zu untersuchen. Der Betrieb der Anlage ist abhängig von der Präsenz von Nutzern. Während der Anwesenheit von Nutzer in einer Zone gewährleistet die Anlage eine Luftwechselzahl von 0,38 [1/h]. Dies soll einen unnötigen Betrieb während Zeiten nichtanwesender Nutzern vermeiden und so in der Heizperiode unnötige Wärmeverluste verhindern. Für die Lüftungswärmeverluste im Januar ergibt sich ein Wert von ca. 9900 kWh. Im Vergleich zum vorherigen Konzept der Nachtlüftung (K3) ergibt sich so eine Erhöhung der Lüftungswärmeverluste um ca. 30 %. Im Monat August beläuft sich der Lüftungswärmeverlust auf ca. 1800 kWh.

Insgesamt kann durch den Vergleich der Lüftungswärmeverluste der einzelnen Lüftungskonzepte festgestellt werden, dass der Wärmeverlust durch Lüftung bei konstantem Betrieb (K1 und K2) im Heizfall am höchsten ist. Beim zeitgesteuerten Betrieb (K3) lassen sich in der Heizperiode die geringsten Wärmeverluste verzeichnen. Dass bei Anwesenheit von Personen während der Tagstunden jedoch durch manuelles Lüften für einen ausreichenden Luftwechsel gesorgt werden muss, sorgt für zusätzliche Wärmeverluste. Diese zwangsläufig zusätzlich auftretenden Verluste durch die geöffneten Fenster werden in der Berechnung nicht berücksichtigt und können im Gegensatz zur Abwärme der anderen Varianten auch nicht zur Wärmerückgewinnung herangezogen werden.

Der bedarfsorientierte Betrieb des Systems (K4) scheint der effizienteste Kompromiss zu sein. Die Lüftungswärmeverluste im Winter sind moderat und liegen deutlich unter jenen, welche bei konstantem Betrieb zu erwarten sind. Wie bereits in Abschnitt 4.2.1 beschrieben, kann durch dieses Konzept auch ohne zusätzliches Stoßlüften des Nutzers eine zufriedenstellende Raumluftqualität bezogen auf den CO₂-Gehalt der Raumluft gewährleistet werden.

4.2.4 Heizwärme- und Warmwasserbedarf

Im folgenden Kapitel wird der Heizwärmebedarf für die unterschiedlichen Betriebskonzepte der Abluftanlage des Referenzgebäudes ermittelt und gegenübergestellt. Zunächst wird das erste Betriebskonzept mit den Ergebnissen des Energieausweises verglichen, um die Plausibilität der Ergebnisse der Simulation zu überprüfen. Durch diese Überprüfung werden die für alle untersuchten Lüftungskonzepte konstant bleibenden Faktoren, wie Transmissionswärmeverluste und solare Gewinne, größenordnungsmäßig plausibilisiert. Anschließend wird für alle definierten Lüftungskonzepte der Abluftanlage der Heizwärmebedarf ermittelt. Anhand des erstellten Zapfprofils für das Warmwasser im Referenzgebäude wird der ermittelte Warmwasserwärmebedarf dargestellt.

4.2.4.1 Heizwärmebedarf K1 und Vergleich mit dem Energieausweis

Das Lüftungskonzept K1 entspricht mit dem angesetzten konstanten Luftwechsel von 0,38 [1/h] über das gesamte Jahr den normativ definierten Randbedingungen des Energieausweises. Die Lüftungswärmeverluste berechnet durch den Energieausweis weichen um ca. 20 % von jenen der Simulation ab. Deshalb ist auch eine Abweichung der Ergebnisse bezüglich des Heizwärmebedarfs zwischen Energieausweis und Simulation zu erwarten.

In Abbildung 46 ist die benötigte Heizleistung für die Wärmebereitstellung der Raumheizung über das Jahr abgebildet.

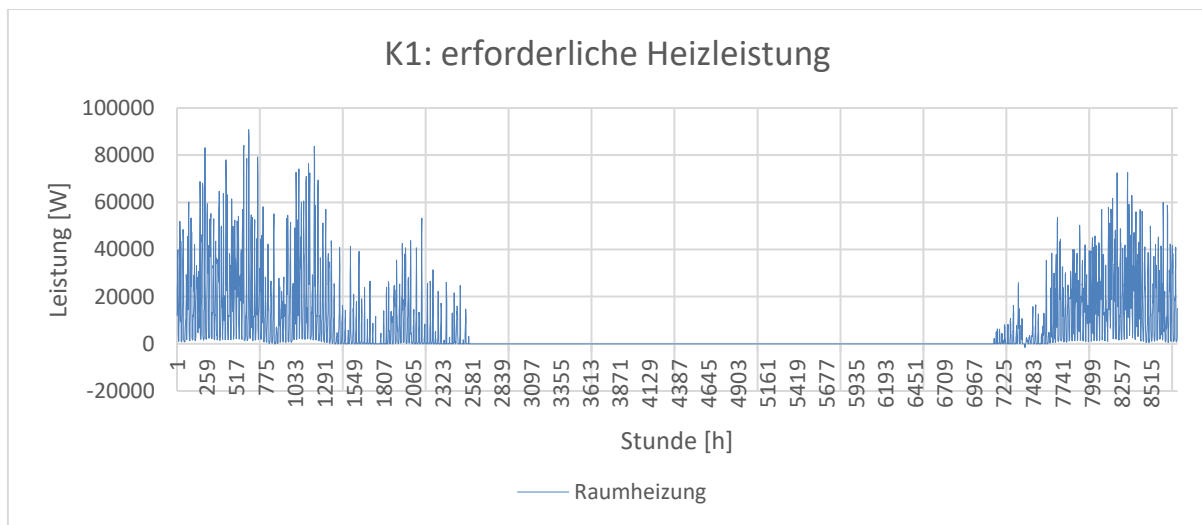


Abbildung 46: Erforderliche Heizleistung aus Simulation über das simulierte Jahr, K1

Der mittels Energieausweis berechnete Heizwärmebedarf für das Standortklima HWB_{SK} des Referenzgebäudes wird in folgender Abbildung im Vergleich zum simulierten monatlichen Heizwärmebedarf für die Betriebsvariante K1 der Lüftung monatsweise dargestellt.

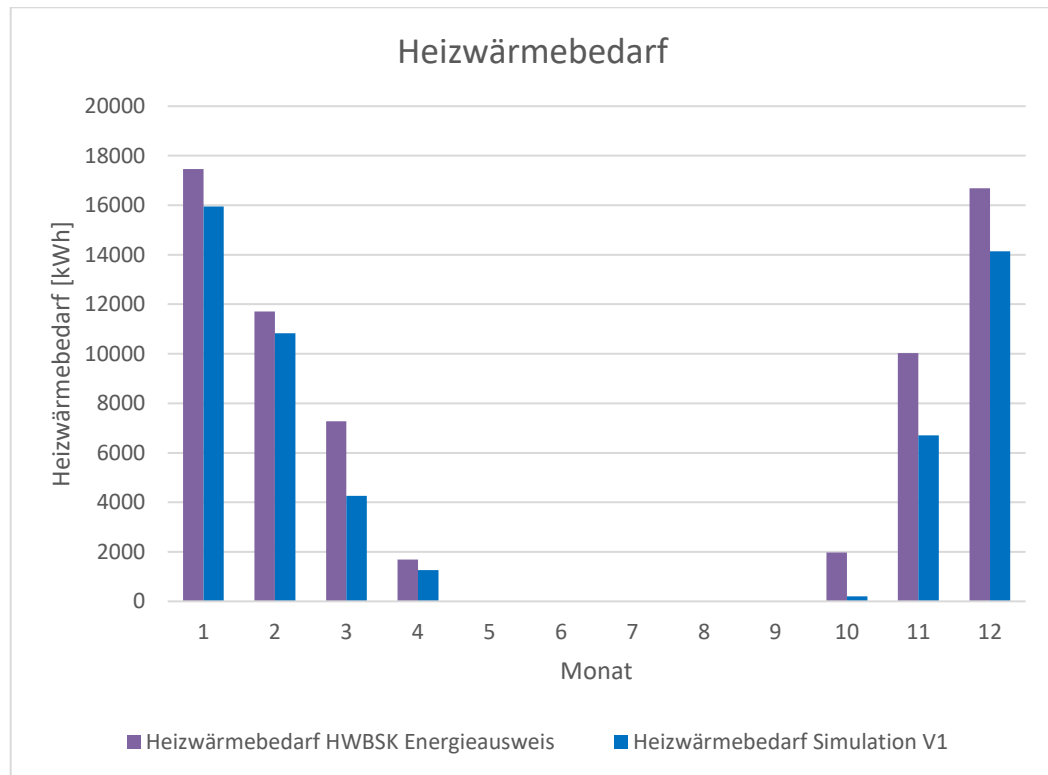


Abbildung 47: Heizwärmebedarf berechnet mittels Energieausweis

Der Heizwärmebedarf bezogen auf die Gebäudefläche und das Jahr, laut Berechnung mittels Energieausweis beträgt 25,5 [kWh/m²a]. Der berechnete Heizwärmebedarf aus der Simulation hingegen beträgt 20,81 [kWh/m²a]. Der Heizwärmebedarf berechnet durch Simulation ist somit um 18 % geringer als jener berechnet mittels Energieausweis.

Die Abweichung der Ergebnisse der beiden Berechnungsvarianten liegt an einer Vielzahl von Vereinfachungen, welche für die stationäre Berechnung des Energieausweises getroffen werden. Diese abweichenden Randbedingungen betreffen unter anderem das Nutzerverhalten und die internen Lasten, die genaue Berücksichtigung von Sonnenstand und solaren Gewinnen in der Simulation und die genaueren Berechnungen zu vorliegenden Speichermassen des Gebäudes. Die Abweichung von knapp 20 % zwischen Simulation und Energieausweis lässt auf ein plausibles Berechnungsergebnis der Simulation schließen.

4.2.4.2 Heizwärmebedarf der Lüftungskonzepte K2, K3 & K4

Die folgende Abbildung 48 zeigt den monatlichen Heizwärmebedarf für die vier untersuchten Lüftungskonzepte K1, K2, K3 und K4 im direkten Vergleich.

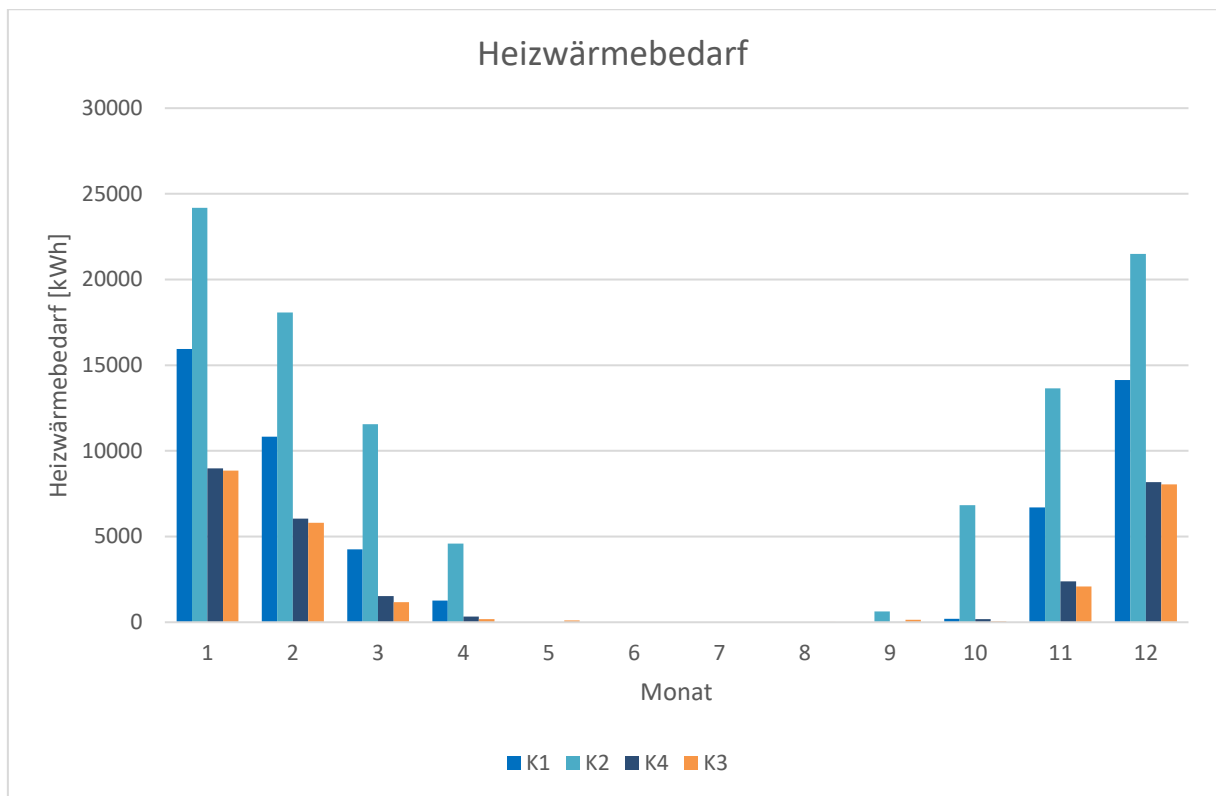


Abbildung 48: Heizwärmebedarf des untersuchten Referenzgebäudes für die vier Lüftungskonzepte

Wie bereits in dem vorangegangenen Vergleich der Lüftungswärmeverluste, ist auch hier der konstante Betrieb der Abluftanlage energetisch am negativsten zu bewerten. Es lassen sich durch Zeit- oder Anwesenheitssteuerung der Abluftanlage deutliche Einsparungen beim Heizwärmebedarf erreichen. Dieser Vergleich ist in Abbildung 49 ersichtlich als Heizwärmebedarf bezogen auf die Fläche und das Jahr abzulesen.

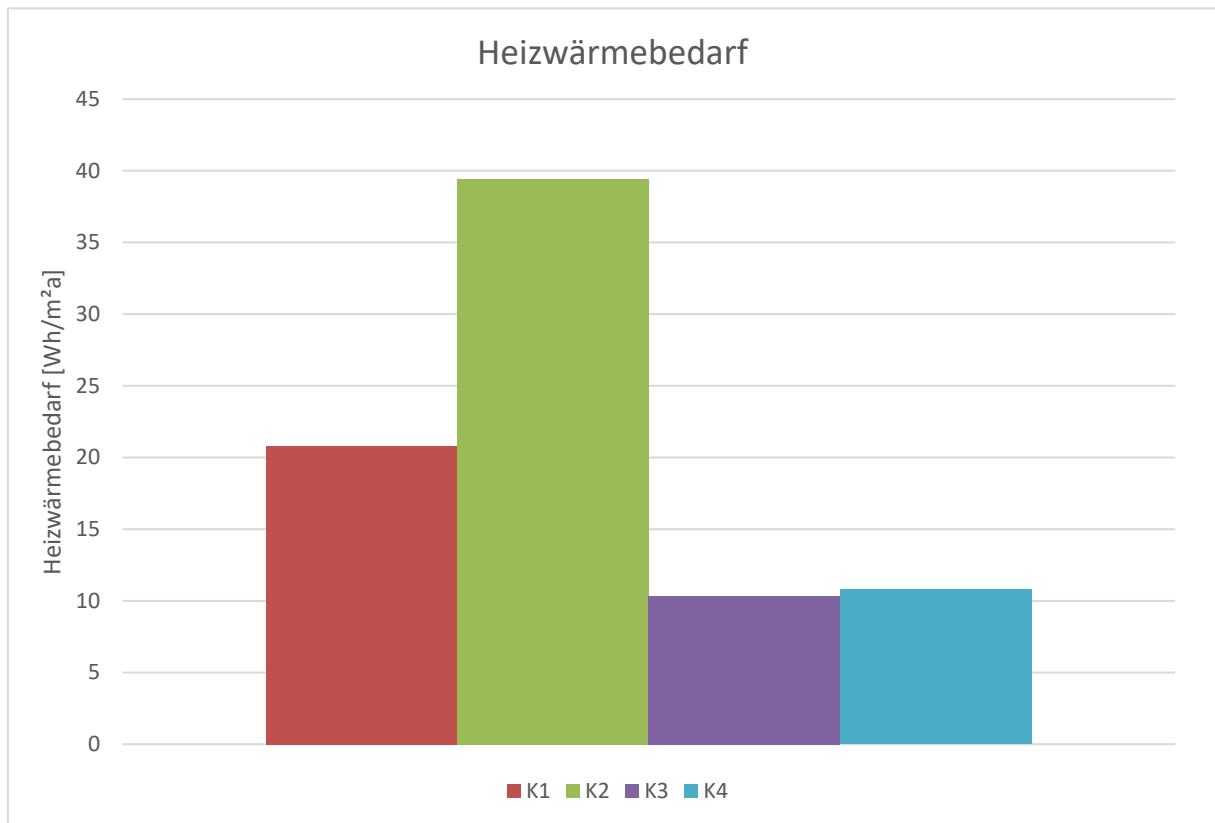


Abbildung 49: Heizwärmebedarf in kWh/m²a für die vier Lüftungskonzepte

Für die beiden ersten Betriebskonzepte ergibt sich durch die Erhöhung der Luftwechselzahl ein deutlicher Unterschied im Heizwärmebedarf.

Bei Zeit- und Anwesenheitsbetrieb der Abluftanlage lassen die Simulationsergebnisse verglichen mit dem Konzept K1 ein Einsparungspotential von etwa 50% beim Heizwärmebedarf erkennen. Bei direktem Vergleich der vier Betriebskonzepte lässt sich erneut K4 mit der bedarfsgesteuerten Lüftung als effizienteste Lüftungsstrategie erkennen. Im Gegensatz zur Nachtlüftung K3 lässt sich durch dieses Konzept neben einer energieeffizienten Betriebsweise auch eine zufriedenstellende Raumluftqualität ohne zusätzliches Fensterlüften und einhergehenden Wärmeverlusten erreichen.

4.2.5 Warmwasserwärmebedarf

Im folgenden Kapitel wird auf den Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung für das Referenzgebäude eingegangen. Der Energiebedarf wird anhand der definierten, konstanten benötigten Warmwassermenge pro Person und Tag und dem erstellten Zapfprofil (Abschnitt 4.1.3.5) berechnet. Die Entnahmetemperatur aus dem Speicher beträgt 60°C.

Bei Betrachtung eines Tages wird die zeitliche Verteilung der entnommenen Wärmemenge ersichtlich (Abbildung 50).

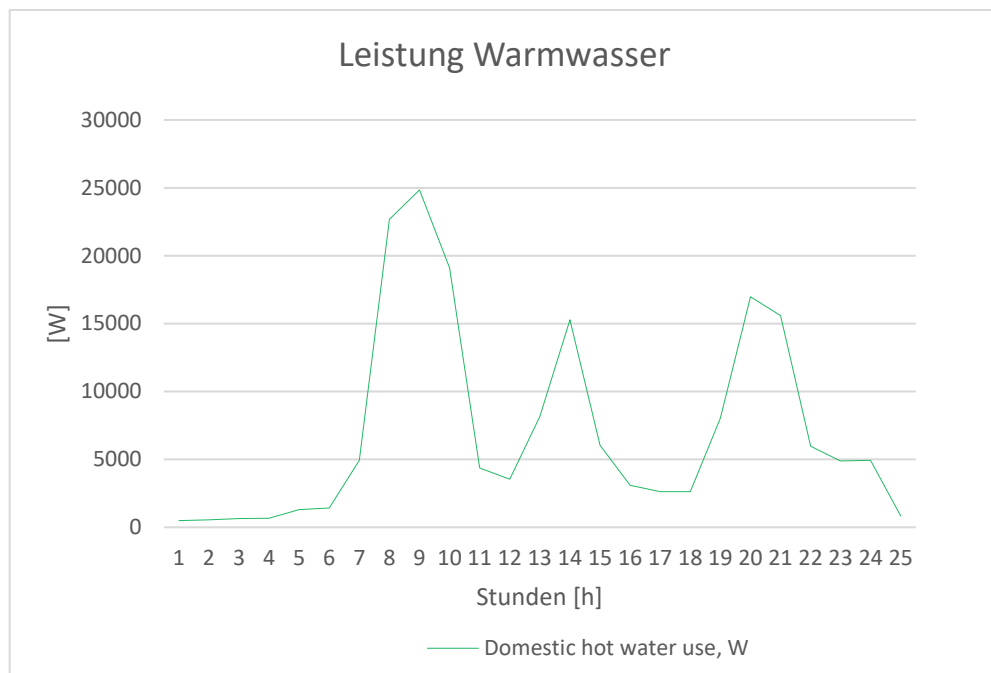


Abbildung 50: Benötigte Leistung Warmwassererwärmung über einen Tag

In Abbildung 51 ist der sich aus der Simulation ergebende Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung zu sehen.

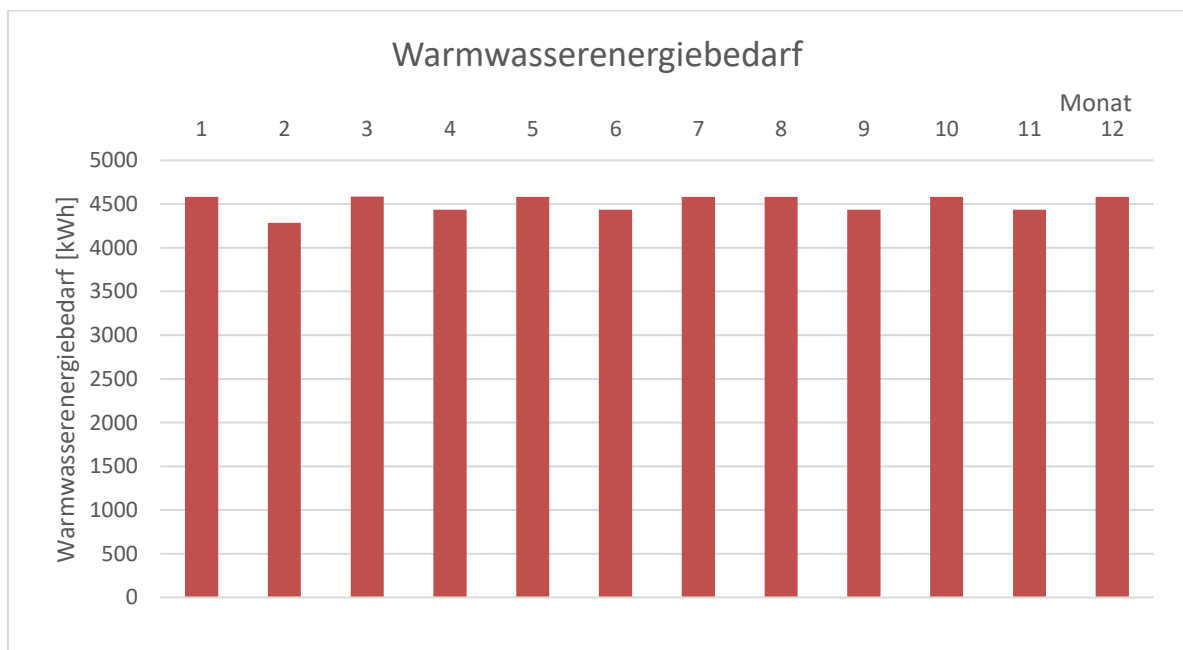


Abbildung 51: Mittels Simulation ermittelter Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung

Für die Bereitstellung des Warmwassers werden im Gebäude im Durchschnitt ca. 4500 kWh im Monat benötigt. Die hier dargestellte Energie ist die Nutzenergie, somit die entnommene Wärmemenge aus dem Speicher.

4.2.6 Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft

Um das Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft zu ermitteln, werden zunächst die Temperaturen und Abluftvolumenströme der einzelnen Lüftungskonzepte ausgewertet. Für die Bewertung des Potenzials wird zunächst von einer konstanten Temperatur der Abluft nach dem Wärmeübertrager ausgegangen. Die Kondensationswärme wurde in dieser ersten Betrachtung nicht berücksichtigt. Die drei Varianten gemäß Tabelle 8 wurden für die Berechnung herangezogen.

Abkürzung:	Temperatur nach dem Wärmeübertrager:
POT6	6°C
POT12	12°C
POT18	18°C

Tabelle 8: Varianten zur Bestimmung des Wärmerückgewinnungspotentials

4.2.6.1 Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – Lüftungskonzept K1

Das von der Ablufttemperatur nach dem Wärmeübertrager abhängige Wärmerückgewinnungspotential der Abluft ist in der folgenden Abbildung 52 für das Lüftungskonzept K1 im Vergleich zum benötigten Heiz- und Warmwasserwärmebedarf für das Gebäude zu sehen.

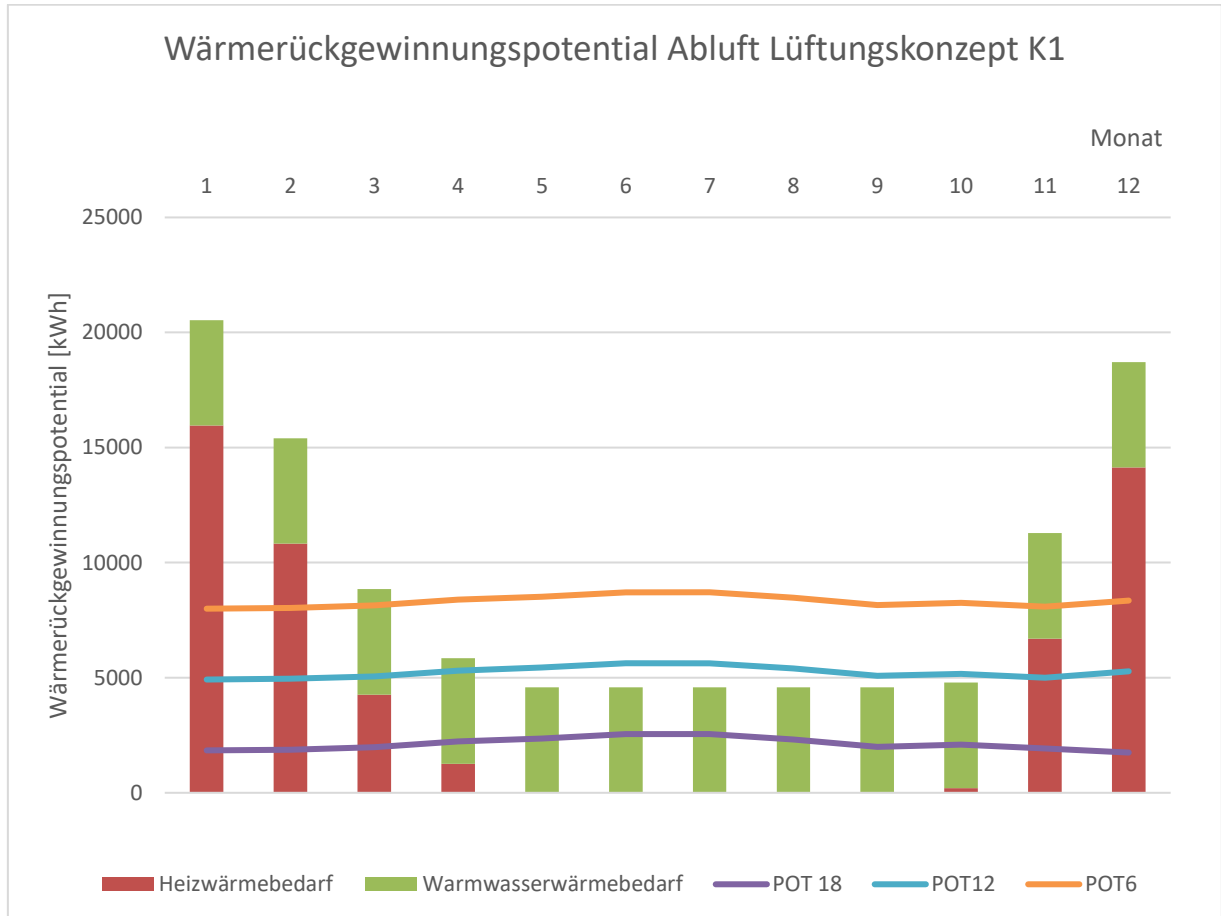


Abbildung 52: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf - Lüftungskonzept K1

Monat	HWB [kWh]	WWB [kWh]	POT18 [kWh]	POT12 [kWh]	POT6 [kWh]
1	15953	4583	1841	4921	8000
2	10826	4287	1876	4956	8035
3	4262	4584	1978	5057	8137
4	1258	4436	2229	5309	8388
5	0	4582	2361	5441	8520
6	0	4435	2550	5629	8709
7	0	4583	2548	5627	8707

8	0	4582	2319	5399	8478
9	0	4435	2001	5080	8159
10	206	4582	2091	5171	8250
11	6701	4436	1922	5002	8081
12	13133	4583	1748	5271	8350

Tabelle 9 : Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heiz- und Warmwasserwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K1

Zu beachten ist, dass durch den Einsatz der Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung die von der Wärmepumpe aufgenommene elektrische Energie ebenfalls zur Deckung des Heiz- bzw. Warmwasserwärmebedarfs beiträgt. Dieser Anteil ist Abbildung 52 nicht dargestellt. Aufgrund des konstanten Volumenstroms und der nicht berücksichtigten Kondensationswärme (die nur einen vergleichsweise geringen Anteil hätte) wirkt sich lediglich die Temperatur der Abluft auf das Wärmerückgewinnungspotenzial aus. Somit ist dieses für die 3 betrachteten Fälle POT18, POT12 und POT6 in den Sommermonaten etwas höher als im Winter sowie in der Übergangszeit.

4.2.6.2 Wärmerückgewinnungspotenzial der Abluft – Lüftungskonzept K2

Durch die Erhöhung der Luftwechselzahl auf 0,50 [1/h] kommt es auch zu einer Erhöhung des Wärmerückgewinnungspotenzials der Abluft. In Abbildung 53 wird der monatliche Warmwasser- und Heizwärmebedarf für das Lüftungskonzept K2 mit dem Wärmerückgewinnungspotenzial im Vergleich abgebildet.

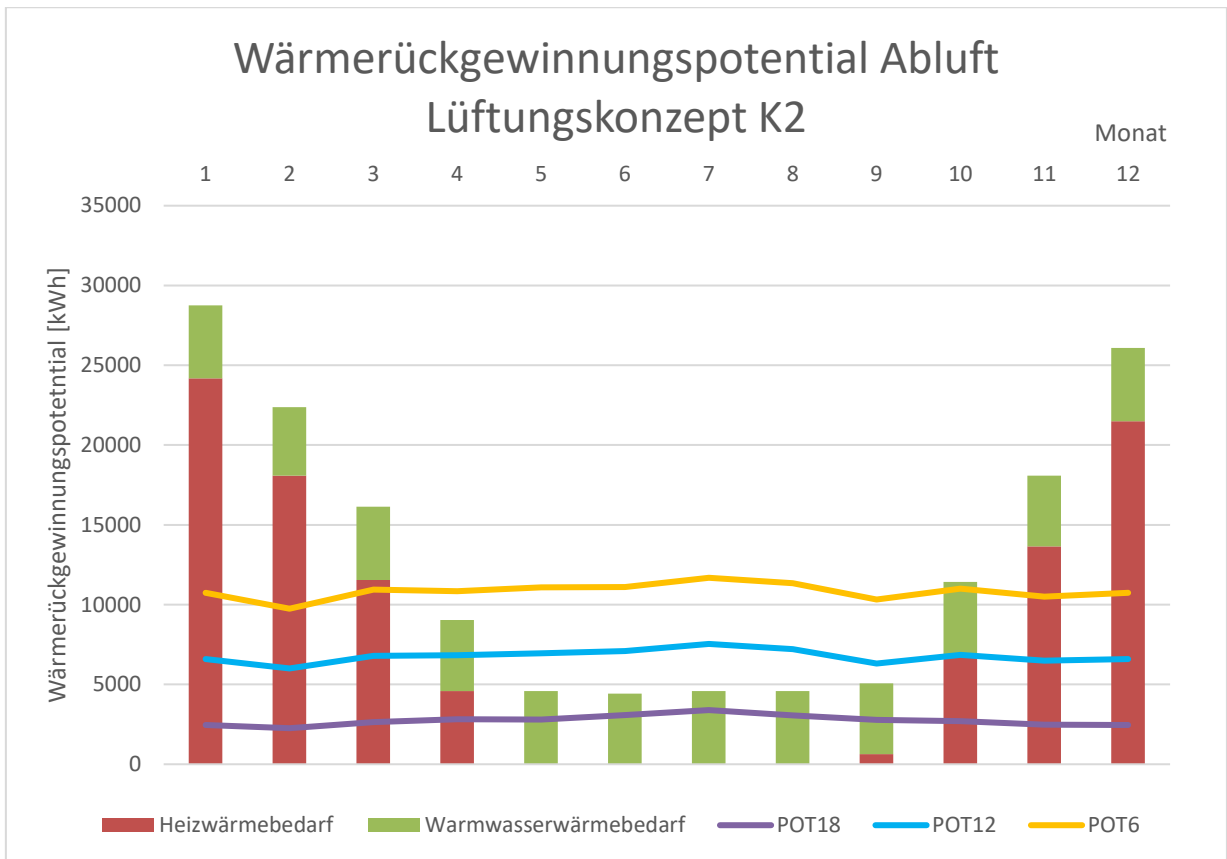


Abbildung 53: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf - Lüftungskonzept K2

Monat	HWB [kWh]	WWB [kWh]	POT18 [kWh]	POT12 [kWh]	POT6 [kWh]
1	24181	4583	2451	6596	10741
2	18086	4287	2260	6004	9747
3	11554	4584	2645	6790	10935
4	4593	4436	2813	6824	10836
5	0	4582	2803	6948	11093
6	0	4435	3085	7096	11108
7	0	4583	3394	7539	11684
8	0	4582	3062	7207	11352
9	634	4435	2777	6306	10318
10	6835	4582	2711	6856	11001
11	13653	4436	2477	6488	10499
12	21494	4583	2457	6601	10746

Tabelle 10: Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heiz- und Warmwasserwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K2

Die Erhöhung der Luftwechselzahl von 0,38 1/h (K1) auf 0,5 1/h spiegelt sich in einem entsprechend höheren Wärmerückgewinnungspotenzial im Vergleich zur Variante K1 wider. Aufgrund des konstanten Volumenstroms ist das Wärmerückgewinnungspotenzial wie bei Variante K1 für die drei betrachteten Varianten POT18, POT12 und POT6 wieder vergleichsweise homogen über das Jahr.

4.2.6.3 Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – Lüftungskonzept K3

Bei dieser Variante wird der Abluftventilator nur in den Nachtstunden betrieben. Das Wärmerückgewinnungspotential für die Tagstunden beläuft sich folglich auf 0. Dieser Umstand ist in der nächsten Abbildung am Beispiel für den ersten Januar des simulierten Jahres zu sehen.

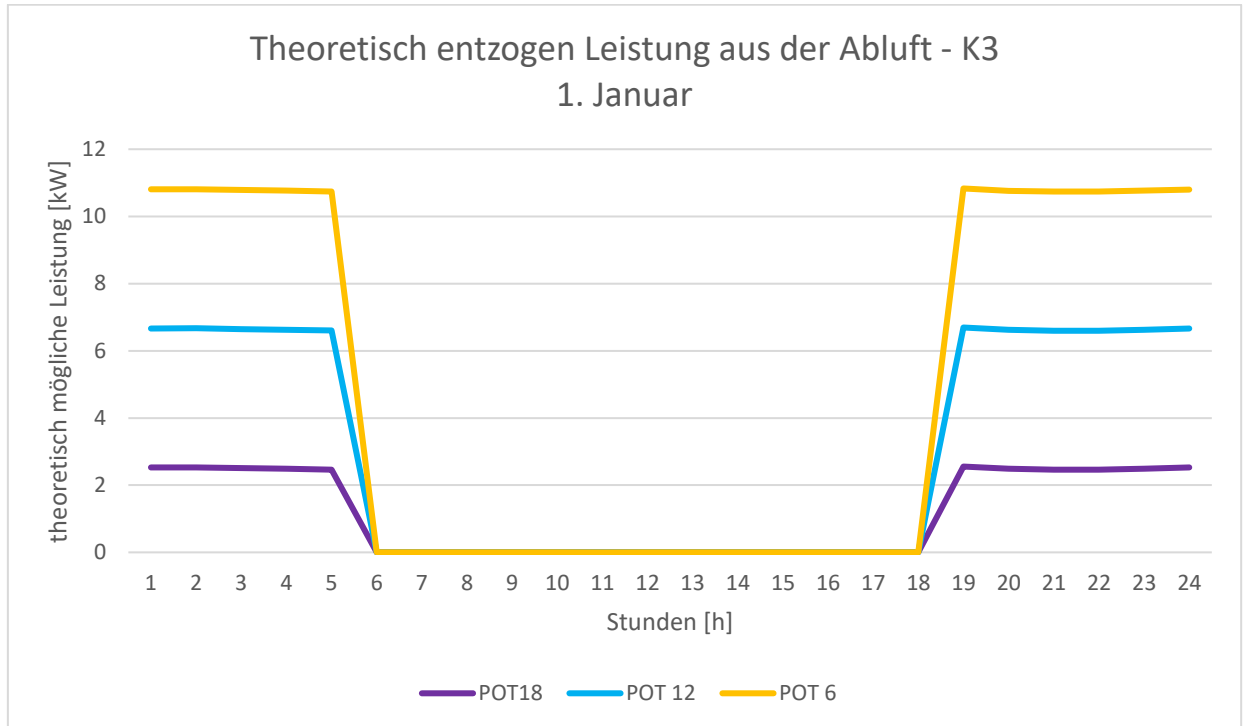


Abbildung 54: Theoretisch mögliche Leistung der Wärmerückgewinnung im Detail am ersten Januar-K3

Am Tag ist bei dieser Variante die Lüftungsanlage außer Betrieb. In dieser Zeit beträgt das das Wärmerückgewinnungspotential null.

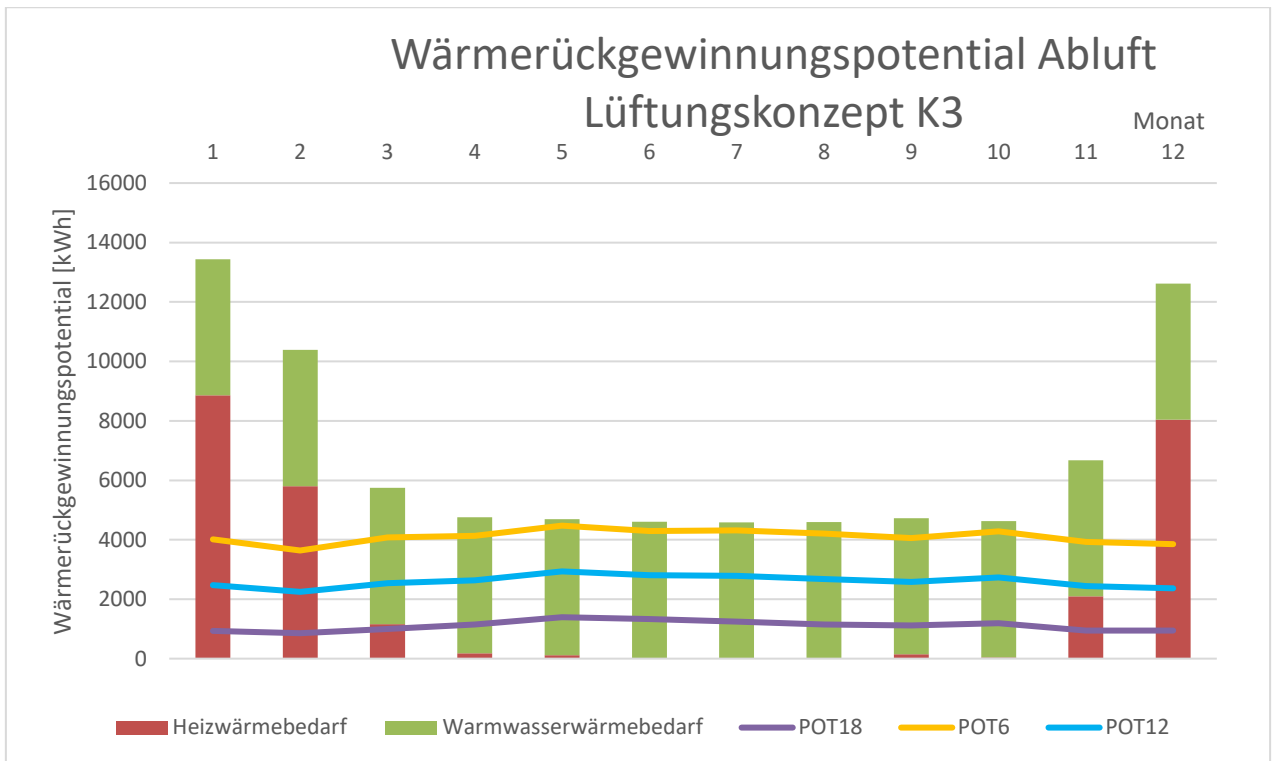


Abbildung 55: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf - Lüftungskonzept K3

Monat	HWB [kWh]	WWB [kWh]	POT18 [kWh]	POT12 [kWh]	POT6 [kWh]
1	8858	4583	928	2469	4009
2	5806	4287	856	2247	3638
3	1164	4584	999	2540	4080
4	175,2	4436	1147	2637	4128
5	114	4582	1394	2934	4475
6	21	4435	1330	2812	4295
7	0	4583	1247	2784	4320
8	12	4582	1148	2680	4212
9	144	4435	1112	2582	4052
10	43	4582	1193	2737	4282
11	2095	4436	946	2437	3927
12	8038	4583	941	2371	3849

Tabelle 11: Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heizwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K3

4.2.6.4 Wärmerückgewinnungspotential der Abluft- Lüftungskonzept K4

Die rechnerische Energiemenge, die monatlich durch die Abluftwärmepumpe bei dieser Variante aus der Abluft rückgewonnen werden kann, wird in Abbildung 56 im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf gezeigt.

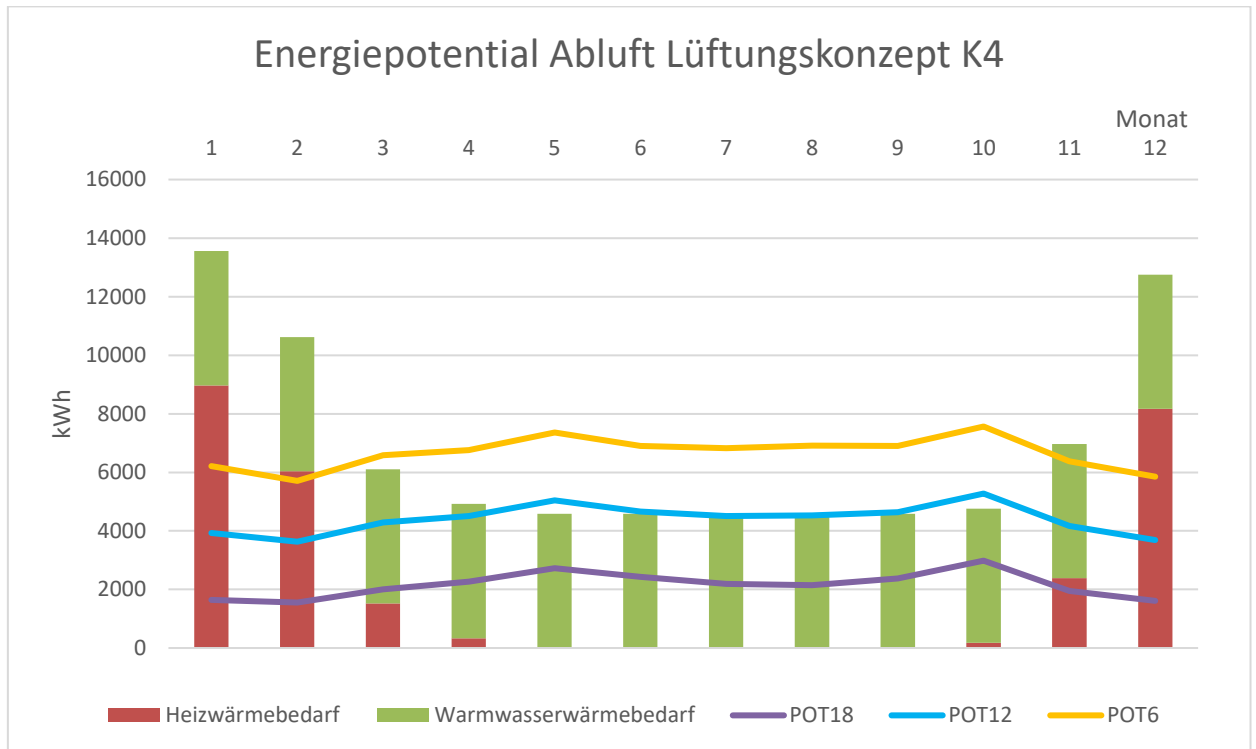


Abbildung 56: Heiz- und Warmwasserwärmebedarf im Vergleich mit dem Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – K4

Monat	HWB [kWh]	WWB [kWh]	POT18 [kWh]	POT12 [kWh]	POT6 [kWh]
1	8973	4583	1641	3924	6208
2	6041	4287	1554	3631	5708
3	1526	4584	2001	4294	6586
4	335,3	4436	2266	4511	6756
5	0	4582	2727	5046	7365
6	0	4435	2429	4664	6899
7	0	4583	2190	4507	6824
8	0	4582	2151	4532	6913
9	2,1	4435	2381	4640	6900
10	178,7	4582	2984	5275	7566
11	2384	4436	1951	4167	6382
12	8172	4583	1613	3691	5851

Tabelle 12: Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heizwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K4

4.2.6.5 Vergleich der Wärmerückgewinnungspotentiale der unterschiedlichen Lüftungskonzepte

Im direkten Vergleich aller Lüftungsvarianten zeigen sich signifikante Unterschiede der Wärmerückgewinnungspotentiale, auch bei gleichbleibender Abluftmenge. In der folgenden Abbildung 57 ist die volle Bandbreite der Wärmerückgewinnungspotentiale für alle Abluftkonzepte und Varianten zu sehen.

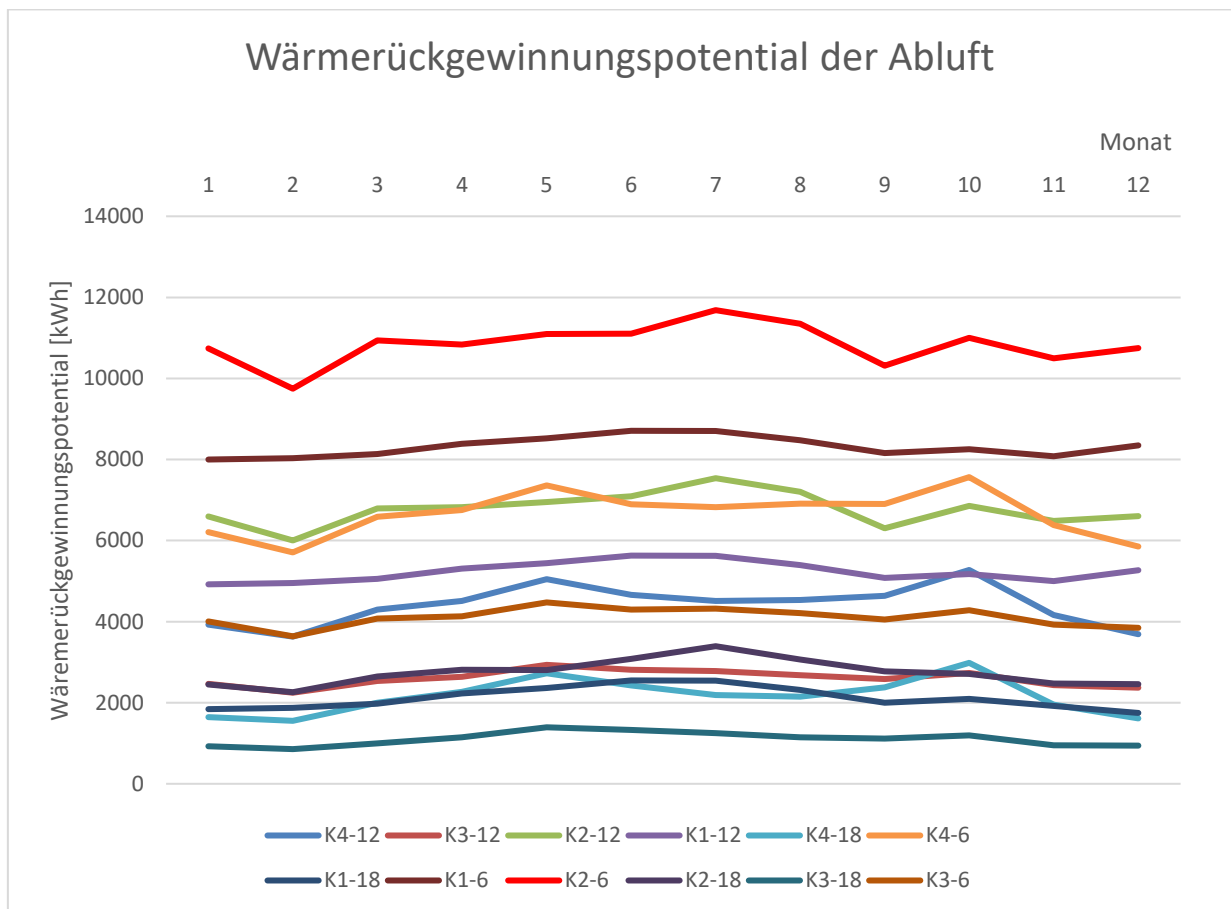


Abbildung 57: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft für die unterschiedlichen Lüftungskonzepte

4.2.7 Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation mit integriertem Wärmerückgewinnungssystem

Im folgenden Kapitel werden die Simulationsergebnisse für zwei mögliche Konfigurationen des Systems für das Referenzgebäude beschrieben. Für die folgenden Berechnungen wird das Abluftkonzept K1 mit einer Dauerlüftung mit 0,38-fachen Luftwechsel herangezogen. Dabei werden zwei Fälle betrachtet, welche die beiden Enden eines möglichen Einsatzspektrums darstellen sollen. Zunächst wird ein Szenario betrachtet (WP01), bei dem die Leistung der Wärmepumpe so festgelegt ist, dass bei einem vollständig durchgängigen Betrieb in den Sommermonaten der Warmwasserwärmebedarf zu 95 % aus der Wärmerückgewinnung gedeckt werden kann. Der verbleibende Wärmebedarf und auftretende Leistungsspitzen bei der Warmwasserbereitung werden mit einem zusätzlichen Heizungssystem (Nachheizung) abgedeckt. In den Wintermonaten und in der Übergangszeit wird die rückgewonnene Wärme, soweit möglich, zur Deckung des Heizwärmebedarfs verwendet.

Im zweiten (WP02) wird die Leistung der Wärmepumpe variierbar angesetzt (z.B. modulierende Wärmepumpe). Die maximale Leistung der Wärmepumpe wird so festgelegt, dass eine möglichst hohe Deckung des Wärmebedarfs im Winter und in der Übergangszeit gegeben ist.

Die Leistung der Wärmepumpe wird im Sommerfall entsprechend reduziert, um im Durchschnitt nicht mehr Wärme bereitzustellen, als für die Warmwasserbereitung benötigt wird und ein möglichst kontinuierlicher Betrieb gewährleistet ist. Die Simulation erfolgte für beide Varianten unter den in 4.1.3.2 beschriebenen Parametern für den Simulationszeitraum vom 01.01.2020 bis zum 01.01.2021.

Beim Speicher handelt es sich um einen Schichtspeicher mit acht Schichten. Um die Verbrauchsspitzen abdecken zu können, wird die oberste der Schichten des Schichtspeichers das ganze Jahr automatisch durch die Nachheizung mit einem Temperaturaufschlag von 10K zur höchsten Entnahmetemperatur gespeist. Die Nachheizung hält die oberste Schicht somit immer auf einem Temperaturniveau von 60°C. Die Wärmepumpe beliefert den Wärmespeicher in den untersten Schichten. Bei Beladung durch die Wärmepumpe wird der Speicher von unten nach oben so lange beladen, bis der Speicher bis zur obersten Schicht mit einem Temperaturniveau von 60°C durchgeladen ist.

4.2.7.1 Simulationsergebnisse der Variante WP01

Ziel dieser Variante ist es, die Leistung der Wärmepumpe so festzulegen, dass die Grundlast für die Warmwasseraufbereitung in den Sommermonaten auf möglichst effiziente Weise gedeckt werden kann. In den Wintermonaten wird die Wärmepumpe für die Raumheizungsunterstützung verwendet. Die auftretenden Lastspitzen bei der Warmwasserbereitung im Sommer und der verbleibende Wärmebedarf zur Raumheizung im Winter werden durch die Nachheizung abgedeckt.

Für die Festlegung des Systems wurde der Warmwasserwärmebedarf des Gebäudes herangezogen. Die Leistung der Wärmepumpe wurde so gewählt, dass bei durchgängigem Betrieb die Grundlast für den Warmwasserwärmebedarf in den Sommermonaten annähernd abgedeckt werden kann.

Die Luftwechselzahl beträgt für die Untersuchungen der Wärmepumpe immer 0,38 [1/h] (K1). Die Temperatur der Abluft nach dem Wärmeübertrager beträgt für die gewählten Parameter zwischen 15°C im Winter und 22°C im Sommer. Die Temperaturdifferenz der Abluft vor und nach dem Wärmeübertrager beläuft sich innerhalb der Heizperiode auf etwa 8K. In den Sommermonaten unterliegt sie stärkeren Schwankungen zwischen Tag und Nacht und bewegt sich zwischen 5 und 7K. Die Temperaturen vor und nach dem Wärmeübertrager sowie die Temperatur des Wärmeträgers am Eintritt zum Wärmespeicher sind für jede Stunde des Jahres in Abbildung 58 zu sehen.

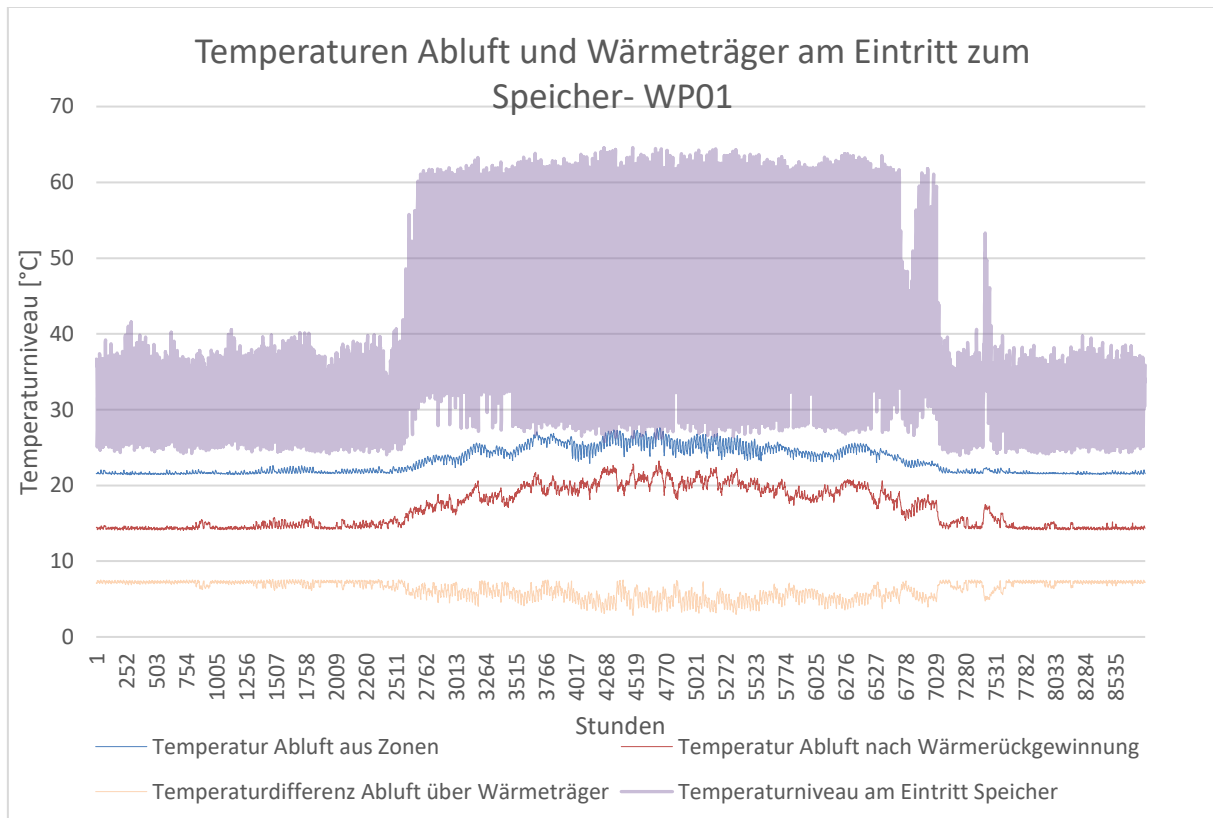


Abbildung 58: Ablufttemperaturen vor und nach dem Wärmeübertrager und Temperaturniveau Wärmeträger am Eintritt zum Wärmespeicher – Variante WP01

Wie in Abbildung 58 zu erkennen, unterliegt das Temperaturniveau am Speichereintritt besonders in den Sommermonaten starken Schwankungen.

Das benötigte Temperaturniveau von 60°C für das Warmwasser des Gebäudes kann ohne zusätzliche Nachheizung in dieser Systemkonfiguration nicht zur Gänze bereitgestellt werden. Die Deckung der Lastspitzen durch die Nachheizung ist besonders in den Morgenstunden notwendig, in denen der Warmwasserbedarf am höchsten ist. In der folgenden Abbildung 59 ist die Heizleistung der Wärmepumpe mit der entnommenen Wärmeleistung für das Warmwasser für drei Tage im August stundenweise dargestellt.

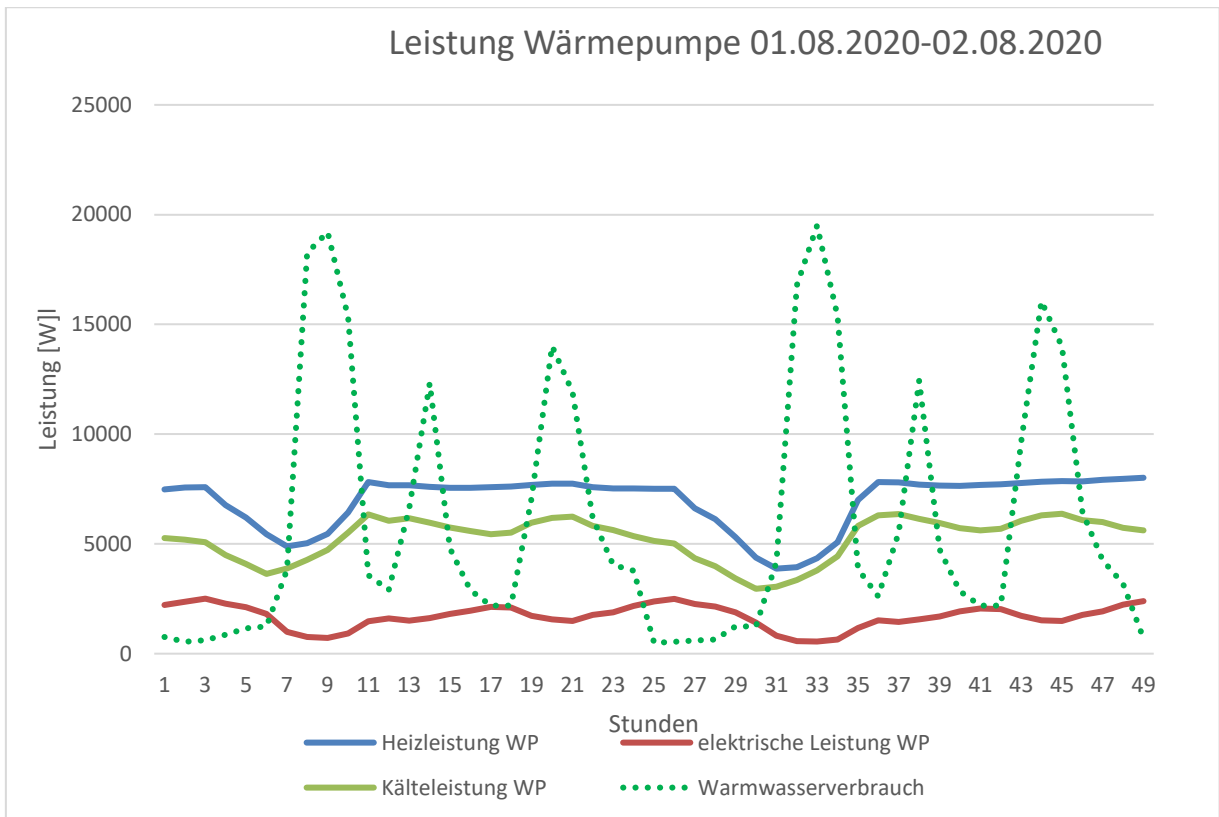


Abbildung 59: Heizleistung der Wärmepumpe im Vergleich zur benötigten Leistung für die Warmwassererzeugung für drei Tage im August – WP01

Die tatsächliche Kälteleistung der Wärmepumpe, welche der entzogenen Wärmeleistung aus der Abluft entspricht, ergibt sich für die berücksichtigten Parameter und dem berücksichtigten Luftwechsel von 0,38 [1/h] zwischen 4,9 kW und 5,2 kW. Die berechnete Heizleistung variiert zwischen 6,5 kW im Winter und bis zu 7,1 kW im Sommer. Die Heiz- und Kälteleistung der Wärmepumpe sowie die benötigte elektrische Leistung und der COP (Heizfall) des Systems sind über das simulierte Jahr in Abbildung 58 dargestellt.

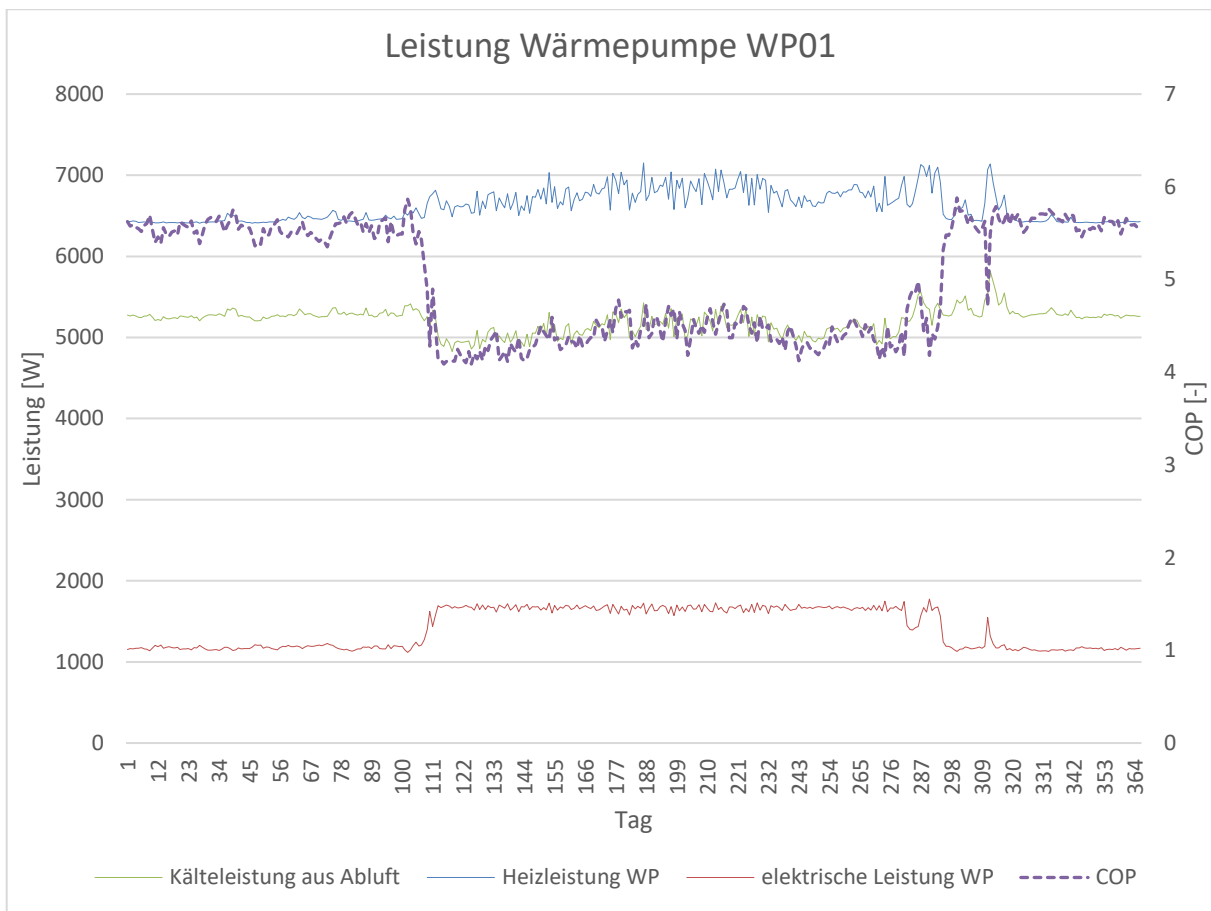


Abbildung 60: Leistungen und COP Wärmepumpe WP01

In den Sommermonaten wird ausschließlich Brauchwasser auf einem Temperaturniveau von 60°C im Gebäude benötigt. Die Temperaturspreizung zwischen Verdampfungstemperatur und Kondensationstemperatur im Kältekreis der Wärmepumpe erhöht sich im Sommer gegenüber den Wintermonaten und somit ergibt sich eine Absenkung des COP außerhalb der Heizperiode.

In den Wintermonaten wirkt sich im Gegensatz zum Sommer das niedrigere Temperaturniveau der gelieferten Wärme der Wärmepumpe für die Niedertemperatur-Raumheizung günstig aus. Die Flächenheizung im Gebäude wird mit ca. 40°C Vorlauftemperatur betrieben. Die Wärmepumpe speist beim niedrigsten Temperaturniveau ein, somit ergibt sich ein höherer COP als im Sommer.

Betrachtet man die erzeugte Nutzwärme der Wärmepumpe sowie den Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung und Raumheizung monatsweise über ein Jahr (Abbildung 61), so ist zu erkennen, dass die Wärmepumpe mit den getroffenen Einstellungen den Warmwasserenergiebedarf in den Sommermonaten zum größten Teil abdecken kann. Temporär auftretende Lastspitzen müssen jedoch durch eine zusätzliche Nachheizung abgedeckt werden. In Abbildung 61 ist der Warmwasserwärme- und Heizwärmebedarf mit der bereitgestellten Wärme aus der Wärmerückgewinnung durch die Wärmepumpe für die Variante WP01 über das Jahr aufgestellt.

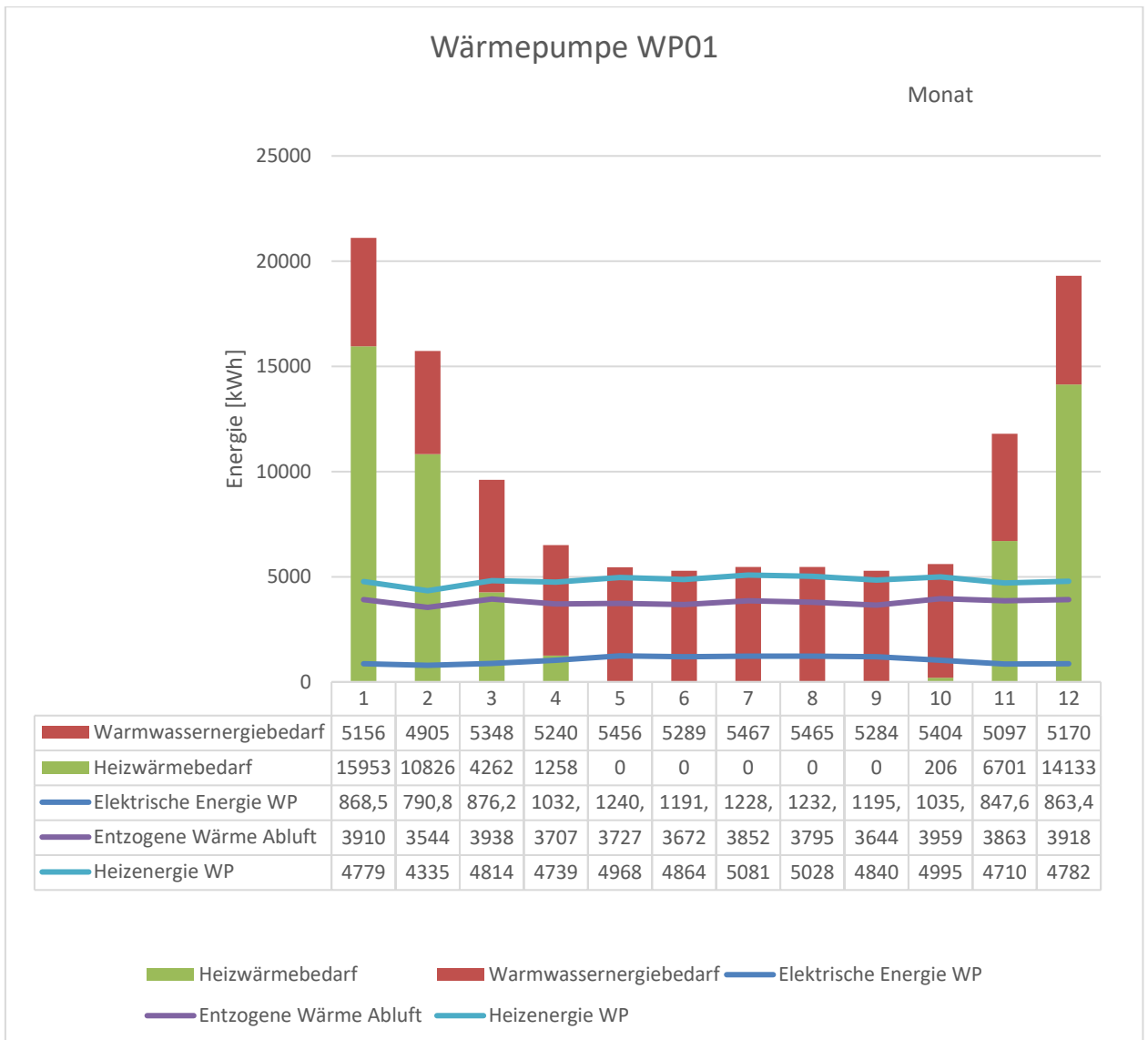


Abbildung 61: Heizwärme- und Warmwasserbedarf im Vergleich zur bereitgestellten Wärme für Variante WP01

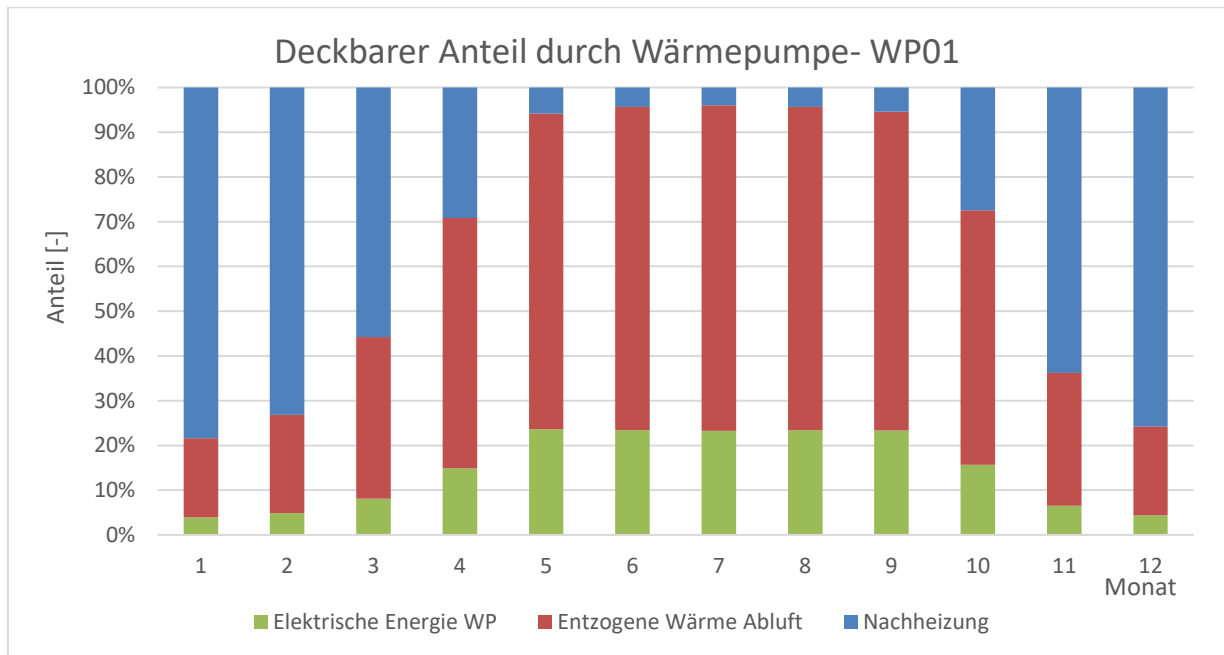


Abbildung 62: Deckbarer Anteil Warmwasserwärme- und Heizwärmebedarf durch die Wärmerückgewinnung - WP01

4.2.7.2 Simulationsergebnisse der Variante WP02

Mit der Variante WP02 wird das Ziel verfolgt, dass System so festzulegen, dass im Winter eine möglichst hohe Deckung des Heizwärmebedarfs mittels der Wärmerückgewinnung aus der Abluft erfolgen kann. Zu diesem Zweck wurde die Leistung der Wärmepumpe gegenüber dem zuvor in Abschnitt 4.2.7.1 betrachteten System WP01 im Auslegungspunkt um fast 100 % erhöht. In den Sommermonaten wird die Leistung der Wärmepumpe in der Simulation automatisch reduziert. Damit wird die rückgewonnene Wärme dem gegebenen Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung angepasst.

Die berechneten Ablufttemperaturen nach dem Wärmeübertrager variieren für diese Konfiguration zwischen ca. 10°C in der Heizperiode bis zu ca. 23°C in den Sommermonaten. Die Temperaturdifferenz zwischen Abluft vor und nach dem Wärmeübertrager beläuft sich in den Wintermonaten auf etwa 12K. In den Sommermonaten beträgt die Temperaturdifferenz zwischen 3 und 10K. In Abbildung 63 sind die Temperaturen vor und nach dem Wärmeübertrager, die Temperaturdifferenz sowie das durch die Wärmepumpe bereitgestellte Temperaturniveau abzulesen.

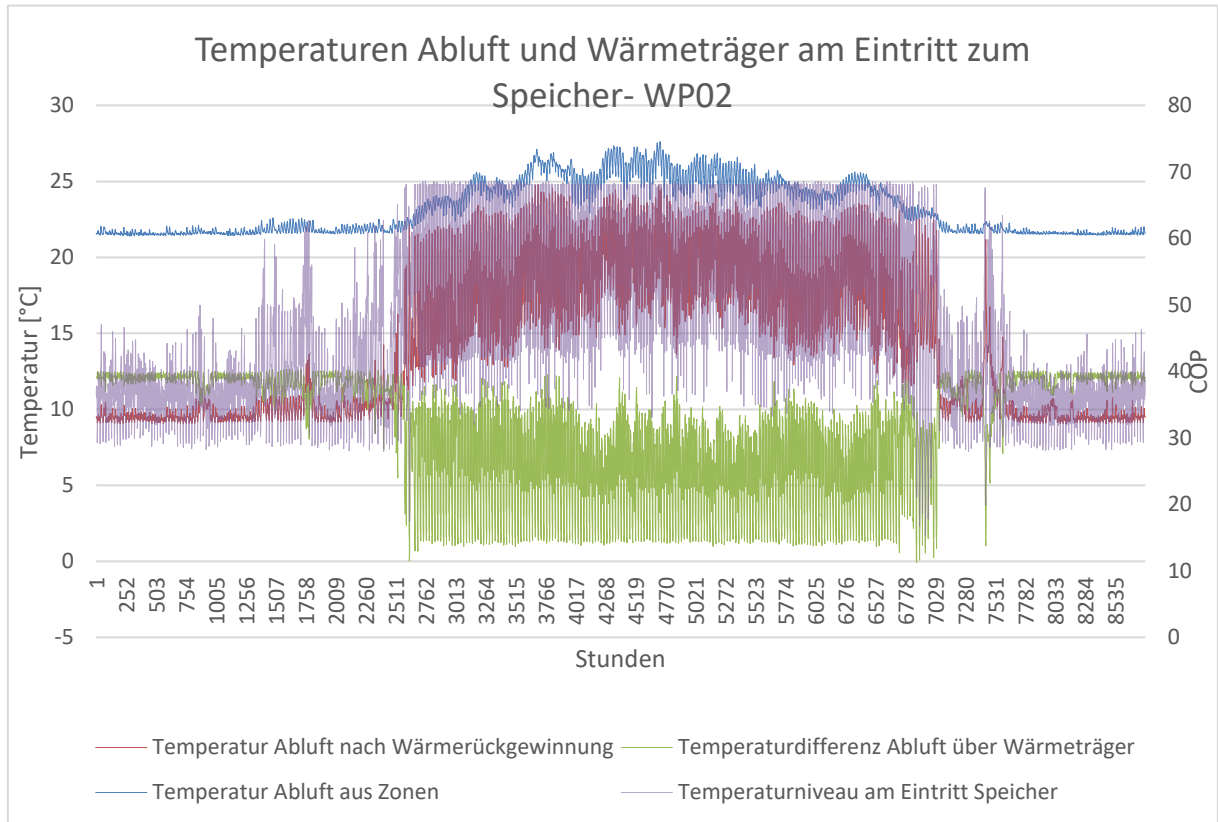


Abbildung 63: Ablufttemperaturen vor und nach dem Wärmeübertrager und von der Wärmepumpe geliefertes Temperaturniveau in den Wärmespeicher für Variante WP02

Das bereitgestellte Temperaturniveau im Sommer liegt insgesamt auf einem höheren Niveau von im Durchschnitt über 50°C, als bei dem Modell für die Variante WP01 mit einem durchschnittlichen Temperaturniveau von ca. 40°C. Dies zeigt, dass der Speicher annähernd durchgeladen wird. Eine zusätzliche Abdeckung der Lastspitzen durch eine Nachheizung für die oberste Schicht im Speicher wird allerdings auch bei dieser Variante benötigt.

In der Abbildung 65 ist die Leistung der Wärmepumpe für drei Tage im August des simulierten Jahres dem Verbrauch gegenübergestellt.

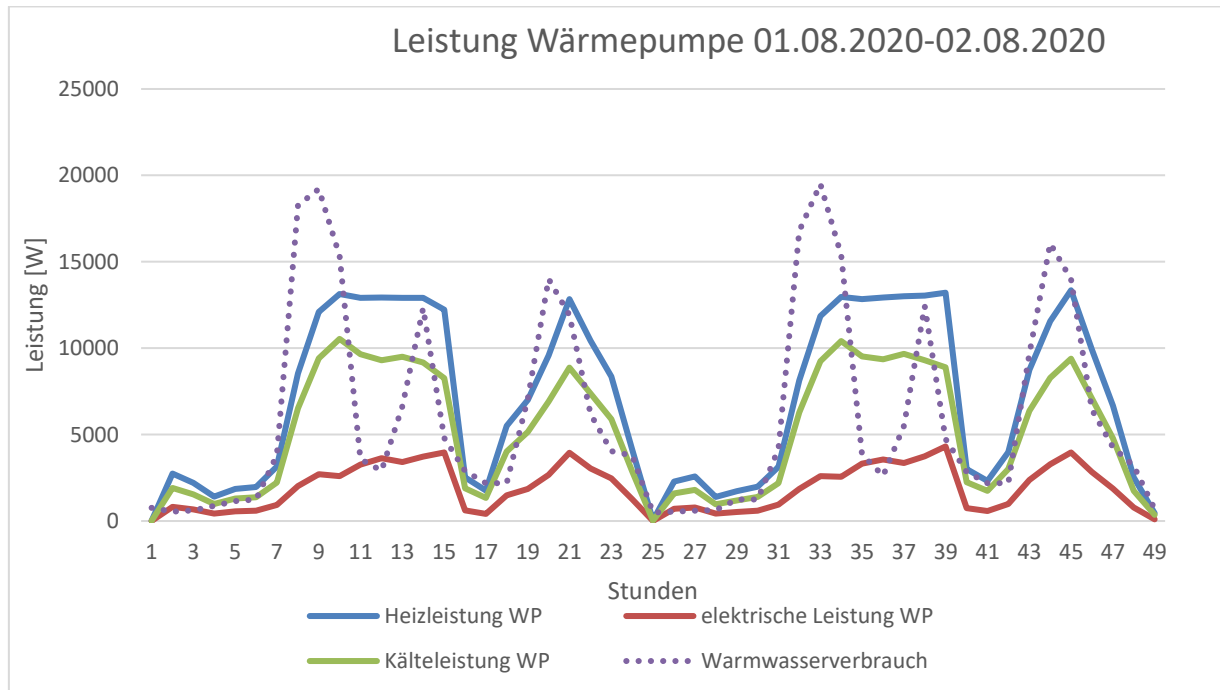


Abbildung 64: Leistung der Wärmepumpe im Vergleich zur benötigten Leistung für die Warmwassererzeugung für drei Tage im August – WP02

Die zu deckenden Lastspitzen durch die Nachheizung sind bei dieser Variante geringer, als es bei Variante WP01 im vorangegangenen Kapitel der Fall war. Dies ist durch die deutlich höhere Leistung der Wärmepumpe begründet. Die Wärmepumpe ist in der Lage den Speicher zu einem größeren Teil durchzuladen und somit steigt das Temperaturniveau des durch die Wärmepumpe gelieferten Wassers.

Die Kälteleistung der Wärmepumpe, die benötigte elektrische Leistung, die Heizleistung und der COP des Systems über das simulierte Jahr sind in Abbildung 66 zu sehen.

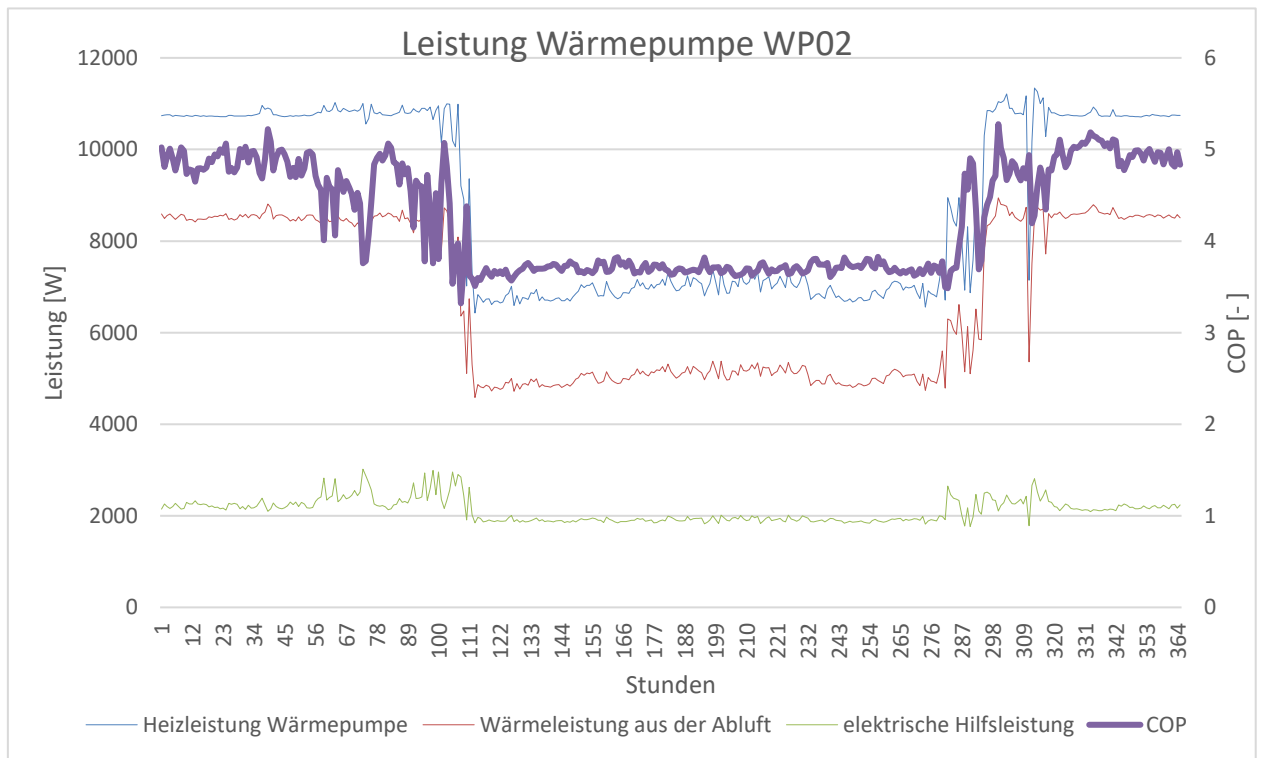


Abbildung 66: Leistungen und COP Wärmepumpe WP02

Die tatsächlich aus der Abluft entzogene Wärmeleistung beläuft sich für diese Konfiguration des Systems auf durchschnittlich auf etwa 8,3kW im Winter, in den Sommermonaten beträgt die Entzugsleistung hingegen durchschnittlich etwa 5kW. Es ergibt sich eine berechnete Heizleistung durch die Wärmepumpe zwischen durchschnittlich ca. 10,9kW im Winter und etwa 7kW im Sommer.

Durch das höhere erreichte Temperaturniveau in den Sommermonaten ist ein Abfall des COP zu verzeichnen. Im Winter werden Werte bis zu 5 und knapp darüber erreicht, in den Sommermonaten liegt der Wert durchschnittlich bei etwa 3,8.

Die Spitzenlasten werden auch bei dieser Variante durch die Nachheizung gedeckt, jedoch ergibt sich durch den größer dimensionierten Wärmeübertrager im Abluftvolumenstrom bzw. die größere Leistung der Wärmepumpe eine höhere Heizleistung als bei der vorangegangenen Variante WP01.

In Abbildung 67 sind der Warmwasser- und Heizenergiebedarf den Energien der Wärmepumpe gegenübergestellt.

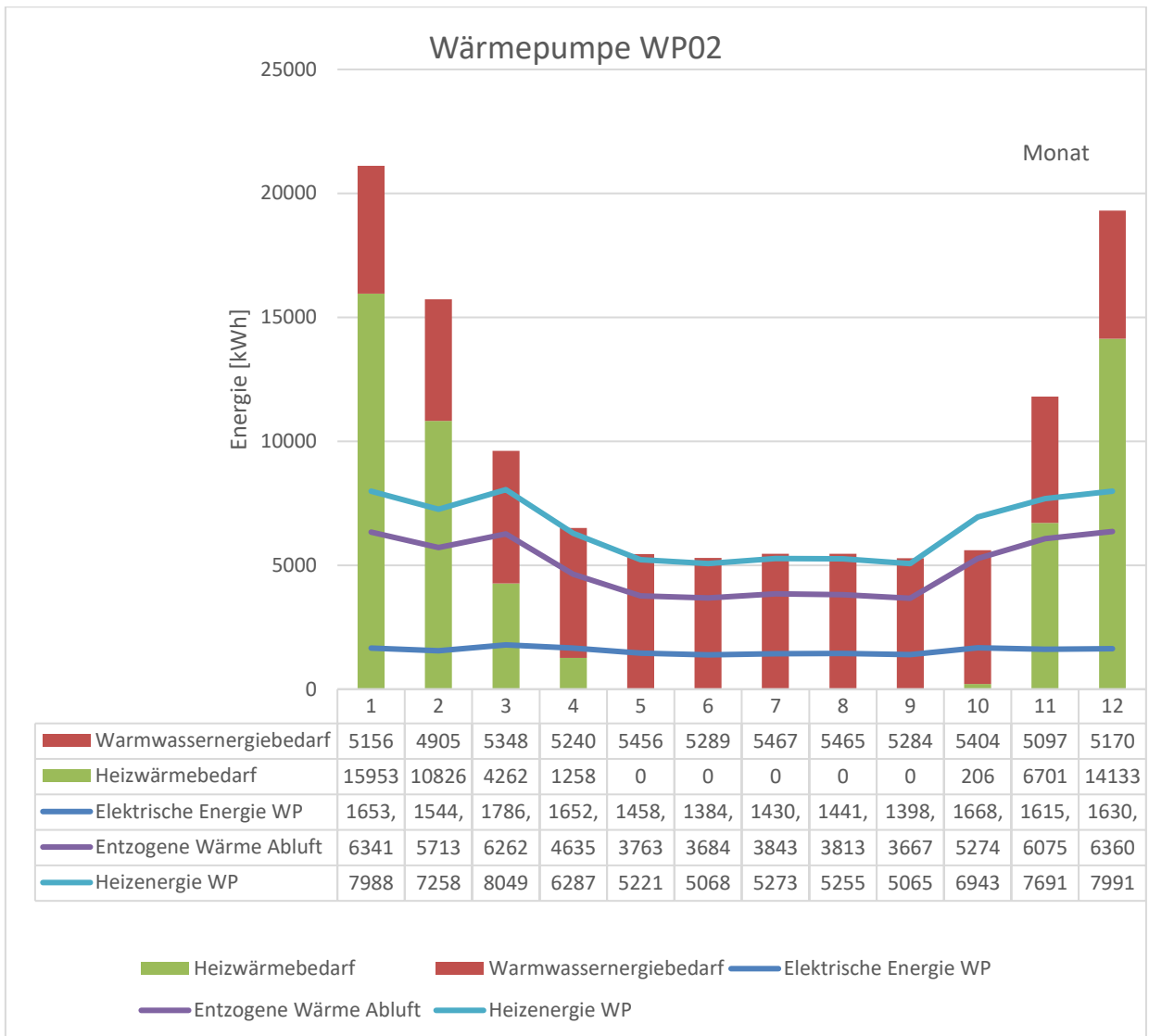


Abbildung 67: Heizwärme- und Warmwasserbedarf im Vergleich zur bereitgestellten Wärme für Variante WP02

Die Grundlast der Warmwasserbereitung in den Sommermonaten kann in größerem Umfang durch die Wärmerückgewinnung gedeckt werden. Auch in den Wintermonaten steigt dafür der Deckungsgrad des Wärmebedarfs durch das Wärmerückgewinnungssystem.

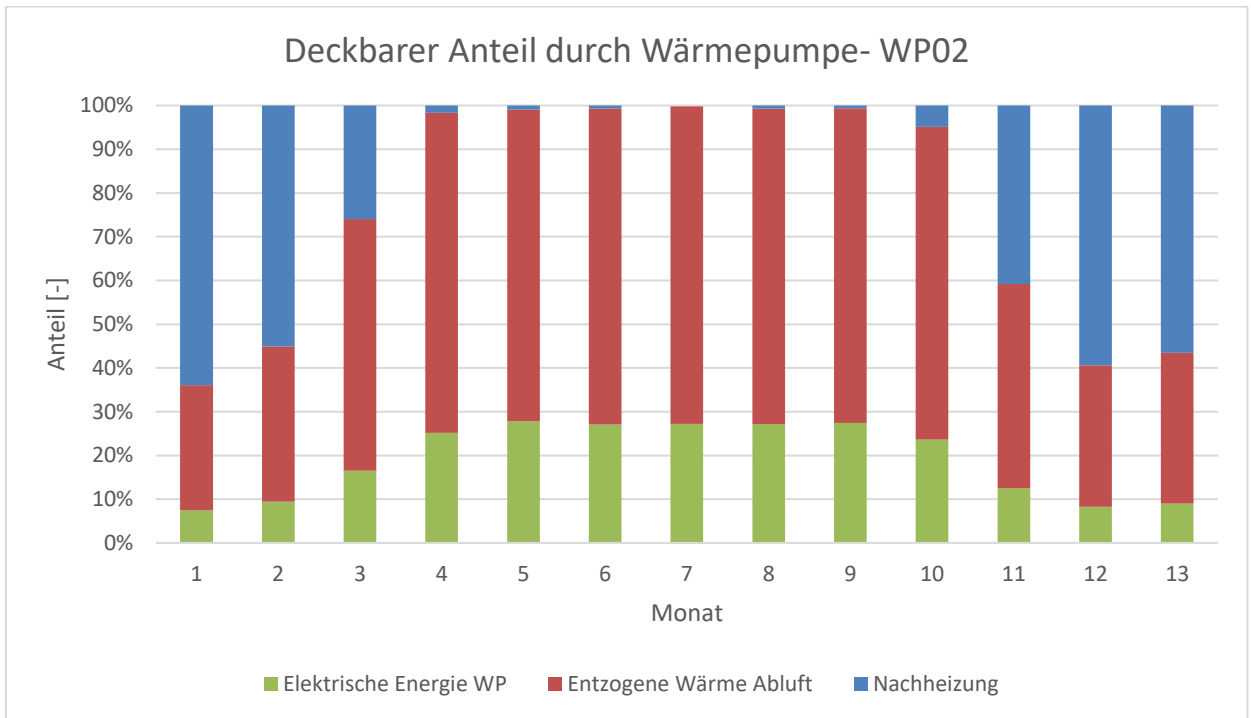


Abbildung 68: Deckbarer Anteil Warmwasserwärme- und Heizwärmebedarf durch die Wärmerückgewinnung - WP02

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die unter Punkt 1.1 definierten Fragen zur Thematik werden im folgenden Kapitel in kurzer Form beantwortet:

1. Wie kann ein Konzept für das vorliegende Referenzgebäude aussehen, welches eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmepumpe erlaubt?

Für das vorliegende Referenzgebäude wurde ein Konzept erarbeitet, das eine zentrale Abluftanlage mit freier Zuluft mittels Außenluftdurchlässen kombiniert. Die Zuluft erfolgt somit durch Öffnungen in der Gebäudehülle, die durch Unterdruck gesteuert werden. Dieser Unterdruck wird durch Abluftventilatoren erzeugt. Die Luftvolumenströme der einzelnen Zonen werden in Sammelschächten in das nicht genutzte Dachgeschoß des Gebäudes geführt und dort gesammelt der Wärmerückgewinnung zugeführt. Die rückgewonnene Wärme wird anschließend mit Hilfe einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und in einen zentralen Kombispeicher gespeist. Dieser wird ebenfalls durch Fernwärme bedient, um Lastspitzen ausgleichen zu können und die erforderlichen Temperaturniveaus für Brauch- und Heizwasser ganzjährig zu garantieren.

2. Wie können Steuerungskonzepte für das System aussehen?

Es wurden in dieser Arbeit mehrere Konzepte zur Steuerung der Abluft untersucht.

Ein erstes Konzept, welches den hygienisch mindesterforderlichen Luftwechsel von 0,38 [1/h] konstant über das ganze Jahr gewährleistet, stellt dabei die einfachste Methode dar.

Das zweite Konzept, das im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurde, stellt rund um die Uhr eine Luftwechselzahl von 0,50 [1/h] zur Verfügung. Bei diesem Konzept steht die zusätzlich zurückgewinnbare Wärme aus dem erhöhten Luftvolumenstrom in den Wintermonaten einer Erhöhung der Lüftungswärmeverluste gegenüber.

Das dritte Konzept untersucht den reinen Nachtbetrieb der Abluftanlage. Die Abluftventilatoren sind am Tag, wenn die meisten Bewohner nicht zuhause sind, außer Betrieb. In den Nachtstunden wird eine konstante Luftwechselzahl von 0,38 [1/h] gewährleistet.

Das vierte und letzte vorgestellte Konzept ist jenes der Anwesenheitssteuerung. Die Abluftventilatoren werden nur aktiviert, wenn sich eine oder mehrere Personen in der jeweiligen Zone aufhalten. In dieser Zeit wird ein konstanter Luftwechsel von 0,38 [1/h] sichergestellt.

Im Vergleich der sich einstellenden CO₂-Konzentration für eine Zone zeigte sich, dass sich unter den gegebenen Randbedingungen des Referenzgebäudes ohne zusätzliche Lüftung durch die Nutzer, nur bei der Variante der Nachtlüftung, eine erhöhte CO₂-Konzentration einstellt.

3. Wie hoch sind die Wärmeverluste durch Lüftung in Abhängigkeit der einzelnen Steuerungskonzepte?

Im direkten Vergleich der Lüftungswärmeverluste der einzelnen Steuerungskonzepte der Abluftventilatoren zeigten sich deutliche Unterschiede. Der höchste Lüftungswärmeverlust stellt sich bei konstantem Betrieb der Abluftventilatoren ein. Der geringste sich einstellende Lüftungswärmeverlust zeigt sich bei der dritten Variante, der Nachtlüftung. Das Ergebnis wird aber von dem Umstand verfälscht, dass es vom Nutzer auch innerhalb der Heizperiode

zusätzlicher Fensterlüftung bedarf. Diese zusätzlichen Lüftungswärmeverluste wurden nicht in der Berechnung berücksichtigt, diese bildet nur die durch die zentrale Abluftanlage abgeführte Wärme ab. Die zweitniedrigsten Lüftungswärmeverluste zeigten sich beim Abluftbetrieb durch Anwesenheitssteuerung. Da diese Variante auch eine zufriedenstellende Raumluftqualität verspricht, scheint diese Variante bezüglich Energieeffizienz und Raumluftqualität der beste Kompromiss zu sein.

4. Wie viel Energie wird abhängig der verschiedenen Steuerungskonzepte benötigt, um das Gebäude zu beheizen?

Ein direkter Vergleich des Heizwärmebedarfs für die einzelnen Steuerungsvarianten der Abluftventilatoren zeigt, wie erwartet, einen signifikanten Einfluss des Luftwechsels auf diesen. Der Heizwärmebedarf steigt von etwa 21 kWh/m²a für die erste Variante mit konstantem Luftwechsel von 0,38 [1/h] auf ca. 39 kWh/m²a bei Erhöhung der Luftwechselzahl auf 0,5 [1/h]. Dieser Wert kann auf etwa 11 kWh/m²a für die letzten beiden Varianten mit Nachtlüftung oder Anwesenheitssteuerung gesenkt werden.

5. Wie hoch ist der Warmwasserwärmebedarf für das Referenzgebäude?

Der Warmwasserbedarf für das Gebäude ist stark abhängig vom Nutzerverhalten. Für die Berechnung im Rahmen dieser Arbeit wurde von einer täglichen Verbrauchsmenge von 40l/Person ausgegangen. Für das gesamte Gebäude und unter Berücksichtigung eines Zapfprofils ergibt sich somit ein über den Tag stark schwankender Verbrauch im gesamten Gebäude. Pro Monat ergibt sich für das gesamte Gebäude in Summe ein Bedarf von ca. 4500 kWh.

6. Wie hoch ist das Wärmerückgewinnungspotential aus der Abluft für die einzelnen Betriebskonzepte?

Das Wärmerückgewinnungspotential ist abhängig vom Abluftvolumenstrom sowie von der Temperatur der Abluft. Die Ablufttemperatur und auch der Volumenstrom werden durch die erstellten Abluftkonzepte und die Nutzung des Gebäudes vorgegeben. Um das Potential größenordnungsmäßig abschätzen zu können, wurden drei Punkte ausgewertet, welche jeweils einer bestimmten Abkühlung der Ablufttemperatur nach dem Wärmeübertrager auf eine fix vorgegebene Temperatur entsprechen. Es zeigte sich, dass mit einzelnen Varianten eine weitgehende Abdeckung des Warmwasserwärmebedarfs im Sommer realistisch ist.

7. Wie können Ansätze zur Auslegung dieses Systems zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft für dieses Gebäude aussehen?

Zwei Varianten des vorgestellten Konzepts der Abluftwärmerückgewinnung mittels Wärmepumpe wurden in dieser Arbeit detailliert untersucht.

Für das erste untersuchte System WP01 wird die Leistung der Wärmepumpe so gewählt, dass sie in der Lage ist, die Grundlast der Warmwassererwärmung in den Sommermonaten nahezu abzudecken. Die Lastspitzen werden im Sommer wie auch im Winter durch eine zusätzliche Nachheizung abgedeckt. Die bereitgestellte Wärme kann innerhalb der Heizperiode auf niedrigerem Temperaturniveau effizient für die Niedrigtemperatur-Heizung des Gebäudes verwendet werden.

Beim zweiten untersuchten System WP02 wird die Leistung der Wärmepumpe so festgelegt, dass in den Wintermonaten möglichst viel Wärme aus der Abluft zur Deckung der Heizwärme für die Flächenheizung rückgewonnen werden kann. Die Wärmepumpe hat daher eine größere Leistung als es bei dem ersten Konzept der Fall ist. In den

Sommermonaten würde dadurch ein Überschuss an Wärme generiert werden, der nicht genutzt werden kann. Um diesem Umstand zu begegnen, muss die Leistung des Wärmepumpensystems in Variante zwei anpassbar sein (z.B. modulierende Wärmepumpe) und außerhalb der Heizperiode reduziert werden.

Wie zu erwarten kann mit WP02 sowohl in den Wintermonaten als auch in den Sommermonaten eine höhere Deckung des Warmwasserwärme- bzw. des Heizwärmebedarfs erzielt werden und damit auch mehr Wärme aus der Abluft zurückgewonnen werden. Von diesem Standpunkt aus gesehen, ist Variante WP02 vorteilhafter gegenüber der Variante WP01.

5.2 Ausblick

Das System der freien Lüftung mittels Außenluftdurchlässen in Kombination mit einer zentralen Abluftanlage bietet einen Ansatz mit vielen Vorteilen. Die Luftqualität in den Wohnräumen kann ohne Zutun des Nutzers auf eine effiziente Weise mit geringem Verrohrungsaufwand gesichert werden. Die Adaption in bestehenden Gebäuden ist mit geringem Eingriff in die Bausubstanz möglich, sofern bereits Schächte vorhanden sind. Ein solches System mit einer Wärmerückgewinnung durch eine Wärmepumpe zu kombinieren, um Lüftungswärmeverluste weitgehend zu vermeiden, hat Potential.

Um ein System dieser Art erfolgreich zu konzipieren und auszulegen, sind zusätzlich zu den in dieser Arbeit präsentierten Berechnungen noch detaillierte bauphysikalische Betrachtungen und Nachweisführungen erforderlich. Im Zuge dieser Arbeit wurden diese Aspekte berücksichtigt, jedoch wurden keine detaillierten Nachweise geführt. Im Zuge der Auswertung der Simulationsergebnisse hat sich herausgestellt, dass besonders in den Sommermonaten eine genaue Abstimmung des Luftwechsels erforderlich ist. Die sommerliche Überwärmung sollte mit dem eingestellten Luftwechsel untersucht und dieser gegebenenfalls angepasst werden. Wie die Berechnungsergebnisse gezeigt haben, wäre es nicht zweckdienlich den Luftwechsel in den Sommernachtstunden zusätzlich zu erhöhen und der Wärmerückgewinnung zuzuführen, da kein Bedarf für die rückgewonnene Energie besteht und diese nicht genutzt werden könnte. Generell ist das System in den Sommermonaten detailliert abzustimmen, damit nicht durch einen zu hohen Luftwechsel am Tag feuchtwarme Luft in das kühle Gebäude geführt und somit Schimmelproblematik hervorgerufen werden kann. In den Nachtstunden kann der Luftwechsel erhöht werden, um eine Nachtabkühlung gewährleisten zu können. Die Erhöhung des Luftwechsels darf allerdings nicht mit einer eingeschränkten Behaglichkeit einhergehen. Dies muss weiterfolgend in den Übergangszeiten abgestimmt werden, damit es nicht zu unerwünschten Auskühlung des Gebäudes kommt. Ein detailliertes Konzept für die benötigten Luftwechselzahlen unter Führung aller diesbezüglich relevanten Nachweise muss für die erfolgreiche Auslegung dieses Systems noch durchgeführt werden.

Für die Simulation und Berechnung im Rahmen dieser Arbeit wurde von einem 0,38-fachen Luftwechsel ausgegangen. Die hier geführten Betrachtungen zu den sich einstellenden CO₂-Konzentrationen in einer Zone als Beispiel können nur zur Vorabschätzung des erforderlichen Luftwechsels dienen. Um einen genauen und effizienten Luftwechsel festzulegen, ist zunächst die Frage der Zielsetzung der Abluftanlage zu stellen. Soll die benötigte Raumluftqualität jedenfalls ohne Zutun des Nutzers gewährleistet werden können, so ist eine detailliertere Untersuchung der einzelnen Wohneinheiten mit raumweiser Zonierung und genauer Berücksichtigung der raumweisen Personenbelegung notwendig.

Eine kostentechnische Bewertung wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Eine wirtschaftliche Bewertung der vorgestellten Konzepte wäre in einer weiterführenden Arbeit durchzuführen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] EQUA Simulation AB: IDA ICE, <https://www.equa.se/de/ida-ice> [Zugriff am 03.03.2021].
- [2] WILLEMS W.: Lehrbuch der Bauphysik – Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017.
- [3] PECH A.; PÖHN C.: Bauphysik - Erweiterung 1. Birkhäuser, Basel, Schweiz, 2018.
- [4] Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB-Richtlinie 3 - Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien, 2019.
- [5] ÖNORM B 8110 -5 (05.2019): Wärmeschutz im Hochbau: Klimamodell und Nutzungsprofile.
- [6] ÖNORM EN 13779 (01.2008): Lüftung von Nichtwohngebäuden.
- [7] EN ISO 7730 (05.2006): Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD- Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.
- [8] WILLEMS W.; SCHILD K.; DINTER S.: Vieweg Handbuch Bauphysik Teil 1 – Wärme- und Feuchteschutz, Behaglichkeit, Lüftung. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [9] Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie: Raumklima und Richtig Lüften, Wien Ausgabe 2019.
- [10] ÖNORM B 8110-6 (01.2019) : Wärmeschutz im Hochbau, Grundlagen und Nachweisverfahren.
- [11] PETERMANN A.: Innovatives Ziegelmauerwerk für 8-geschossige Gebäude-statische und bauphysikalische Untersuchungen, TU Graz, 2020.
- [12] ArchiPHYSIK: HWB oder HWB, 2021, <https://archiphysik.at/hwb-oder-hwb/> [Zugriff am 10.01.2021].
- [13] Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB-Richtlinie 6-Energieeinsparung und Wärmeschutz. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019.
- [14] ALBERS K.-J. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik – Einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. ITM InnoTech Medien GmbH, Augsburg, 2018.
- [15] Ventomaxx: AIR-Control – Dezentrale Lüftungskonzepte mit Schallschutzfunktion, 2021, https://www.ventomaxx.de/fileadmin/Inhalte/PDFs/Dokumentationen/DE_1_0_VX_Air-Control_Doku_08_2016.pdf [Zugriff am 07.01.2021].
- [16] Krobath Protech: Hygrostar Zuluftelement EHA, 2017, <https://www.protech.krobath.com/hygrostar.3220.html> [Zugriff am 07.01.2021].
- [17] GAMERITH H. et. al.: Eine Entwicklung für Fenster und Fenstertüren, TU Graz, 2013.

- [18] PECH A.; JENS K.: Baukonstruktionen Band 16 – Lüftung und Sanitär. Springer WienNewYork, Wien, Österreich, 2006.
- [19] Trivent Limodor: Aquavent – Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, 2020, <https://www.limodor.com/de/lueftungssysteme/luft-waermepumpe/> [Zugriff am 05.11.2020].
- [20] QUASCHNING V.: Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Carl Hanser Verlag, München, 2018.
- [21] August Brötje GmbH: BTW Nachhaltiges Trinkwasser – Version 01.20 – Artikel 7313054, <https://www.broetje.de/de/produkte/waermepumpe/trinkwasser-waermepumpe/btw> [Zugriff am 08.01.2021].
- [22] NIBE Systemtechnik GmbH: Abluftwärmepumpe NIBE, 2021, <https://www.nibe.eu/de-de/produkte/waermepumpen/ablft-waermepumpen/NIBE-F730--38> [Datum des Zugriffs 08.01.2021].
- [23] Pollmann Technik GmbH & Co. KG: Abluftwärmepumpe mit kontrollierter Wohnungslüftung, 2020, <https://www.pollmann-technik.de/produkte/ablftwaermepumpe> [Zugriff am 08.01.2021].
- [24] Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Digitaler Atlas Steiermark - Adresse & Ortsplan, 2021, [https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(mqkgf33gdaby4cgv4ltoklq\)\)/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hint%2cgr%2cgrgel%2cdopags_tc%2copbmgrau%2copbm%2cuctc%2copoverlay&gdiservices=maptipps%2corient_adr&sichtbar=_ortho&t=637475984524023570](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(mqkgf33gdaby4cgv4ltoklq))/init.aspx?cms=da&karte=emptymap&layout=gisstmk&styles=gisstmk&template=gisstmk&gdiservices=hint%2cgr%2cgrgel%2cdopags_tc%2copbmgrau%2copbm%2cuctc%2copoverlay&gdiservices=maptipps%2corient_adr&sichtbar=_ortho&t=637475984524023570) [Zugriff am 30.01.2021].
- [25] EQUA Simulation AB: IDA ICE, <https://www.equa.se/de/ida-ice> [Zugriff am 01.12.2019].
- [26] ÖNORM B 8110 - 3 (06.2019) : Wärmeschutz im Hochbau.
- [27] HEIMRATH R.: Simulation, Optimierung und Vergleich solarthermischer Anlagen zur Raumwärmeversorgung für Mehrfamilienhäuser. Graz, Technische Universität Graz, Dissertation, 2004.

6.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung unbelasteter Außenluft [3]	4
Tabelle 2: Luftwechselzahlen bei Fensterlüftung [8].....	14
Tabelle 3: Marktanalyse Abluftwärmepumpen für Einfamilienhäuser, Stand Juli 2020	28
Tabelle 4: Übersicht Nutzungseinheiten.....	36
Tabelle 5: Aufstellung Bewohner, E=Erwachsener, K=Kind	43
Tabelle 6: Auslegungspunkte Wärmeübertrager	48
Tabelle 7: Zonenweise Luftvolumenströme in Abhängigkeit der Luftwechselzahlen.....	49
Tabelle 8: Varianten zur Bestimmung des Wärmerückgewinnungspotentials.....	68
Tabelle 9 : Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heiz- und Warmwasserwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K1	70
Tabelle 10: Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heiz- und Warmwasserwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K2.....	72
Tabelle 11: Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heizwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K3.....	74
Tabelle 12: Berechnungsergebnisse Zahlenwerte Heizwärmebedarf und Wärmerückgewinnungspotenzial – K4.....	76

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Klassifizierung der Raumluftqualität anhand des CO ₂ -Gehalts der Raumluft [6]	5
Abbildung 2: Relative Raumluftfeuchte in Abhängigkeit von der Luftwechselrate [2]	8
Abbildung 3: CO ₂ -Konzentration in einem Schlafzimmer bei freier Lüftung [8]	14
Abbildung 4: Übersicht Lüftungssysteme im Wohnungsbau [8]	15
Abbildung 5: Ausführungsmöglichkeiten für Überströmöffnungen [8]	16
Abbildung 6: Systemdarstellung Schalldämmlüfter [15]	17
Abbildung 7: Übersicht mögliche Positionen Außenluftdurchlässe	18
Abbildung 8: Feuchtegesteuertes Zuluftelement Firma Krobath Protech [16]	19
Abbildung 9: Beförderte Luftmenge eines feuchtegesteuerten Zuluftelementes [16]	19
Abbildung 10: LUSOWI Kastenstockfenster Schnitt [17]	20
Abbildung 11: Mechanische Sammelschachtlüftung [18]	22
Abbildung 12: Wärmerückgewinnung mittels Abluftwärmepumpe für ein Einfamilien- und ein Mehrfamilienwohnhaus [19]	23
Abbildung 13: Schema einer Luft-Wasser-Wärmepumpe	24
Abbildung 14: Schema und Kreisprozess der Kompressionswärmepumpe und Darstellung des Kreisprozesses im Ts-Diagramm (links) bzw. log(p)h-Diagramm (rechts) [20]	25
Abbildung 15: Schema zentrale Abluftwärmepumpe Mehrfamiliengebäude [19]	29
Abbildung 16: Komponenten des Abluftwärmepumpensystems Aquavent für Mehrfamiliengebäude [19]	30
Abbildung 17: Ausschnitt Digitaler Atlas Steiermark, Definition des Standortes [24]	31
Abbildung 18: Ausschnitt Google Earth 3D: Standort Referenzgebäude, 3D	32
Abbildung 19: Grundriss Referenzgebäude, Wohnnutzung	33
Abbildung 20: Schnitt Referenzgebäude, Wohnnutzung	33
Abbildung 21: Definition der thermischen Gebäudehülle	34
Abbildung 22: Nutzungseinheiten Regelgeschoß	35
Abbildung 23: Übersicht Lüftungskonzept Regelgeschoß	37
Abbildung 24: Übersicht Lüftungskonzept Schnitt	37

Abbildung 25: Lüftungstechnische Zonierung des Regelgeschoßes, ohne Maßstab	38
Abbildung 26: Schema Heizung, Warmwasser und Wärmerückgewinnung, ohne Maßstab	40
Abbildung 27: 3-D Modell Referenzgebäude	41
Abbildung 28: Zonierung im Simulationsprogramm	42
Abbildung 29: Zeitplan Anwesenheit Bewohner E1	43
Abbildung 30: Anwesenheitsverteilung gesamtes Gebäude für einen Tag im Mai	44
Abbildung 31: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: monovalentes System	45
Abbildung 32: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: Lüftung ohne Wärmerückgewinnung	45
Abbildung 33: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: Wärmeerzeugung, komb. System	46
Abbildung 34: Übersicht Gebäudetechnik IDA ICE: Abluftsystem m. Wärmerückgewinnung	47
Abbildung 35: Abluftvolumenstrom V1, V2 und V3 für LWZ = 0,38 [1/h]	50
Abbildung 36: Übersicht untersuchte Lüftungskonzepte	50
Abbildung 37: Auszug Bauteilliste - Kennwerte Fenster	52
Abbildung 38: Warmwasserzapfprofil der ersten Jännerwoche für einen jährlichen Durchschnittsverbrauch von 200 l/d (ca. 4-5 Personen) und 5000 l/d (ca. 115-120 Personen) [27]	52
Abbildung 39: Warmwasserzapfprofil Simulation	53
Abbildung 40: OG4_LI Anwesenheitsverteilung	54
Abbildung 41: CO ₂ -Gehalt der Raumluft für die Varianten V1 bis V3, Wohnung OG4 links, 2 berufstätige Personen mit einem Kind	55
Abbildung 42: Datenblatt Energieausweis Referenzgebäude	57
Abbildung 43: Monatliche Lüftungswärmeverluste K1; Werte aus der Simulation und dem Energieausweis im Vergleich	59
Abbildung 44: Mittlere Außentemperaturen Standort Referenzgebäude - Vergleich ASHRAE IWEC 2 (IDA ICE) und ÖNORM B 8110:5:2020	60
Abbildung 45: Lüftungswärmeverluste, Betriebsweisen im Vergleich	61
Abbildung 46: Erforderliche Heizleistung aus Simulation über das simulierte Jahr, K1	63
Abbildung 47: Heizwärmebedarf berechnet mittels Energieausweis	64
Abbildung 48: Heizwärmebedarf des untersuchten Referenzgebäudes für die vier Lüftungskonzepte	65
Abbildung 49: Heizwärmebedarf in kWh/m ² a für die vier Lüftungskonzepte	66
Abbildung 50: Benötigte Leistung Warmwassererwärmung über einen Tag	67
Abbildung 51: Mittels Simulation ermittelter Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung	67
Abbildung 52: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf - Lüftungskonzept K1	69
Abbildung 53: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf - Lüftungskonzept K2	71
Abbildung 54: Theoretisch mögliche Leistung der Wärmerückgewinnung im Detail am ersten Januar-K3	73
Abbildung 55: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft im Vergleich zum Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf - Lüftungskonzept K3	74
Abbildung 56: Heiz- und Warmwasserwärmebedarf im Vergleich mit dem Wärmerückgewinnungspotential der Abluft – K4	75
Abbildung 57: Wärmerückgewinnungspotential der Abluft für die unterschiedlichen Lüftungskonzepte	76
Abbildung 58: Ablufttemperaturen vor und nach dem Wärmeübertrager und Temperaturniveau Wärmeträger am Eintritt zum Wärmespeicher – Variante WP01	78
Abbildung 59: Heizleistung der Wärmepumpe im Vergleich zur benötigten Leistung für die Warmwassererzeugung für drei Tage im August – WP01	79
Abbildung 60: Leistungen und COP Wärmepumpe WP01	80
Abbildung 61: Heizwärme- und Warmwasserbedarf im Vergleich zur bereitgestellten Wärme für Variante WP01	81

Abbildung 62: Deckbarer Anteil Warmwasserwärme- und Heizwärmebedarf durch die Wärmerückgewinnung - WP01	82
Abbildung 63: Ablufttemperaturen vor und nach dem Wärmeübertrager und von der Wärmepumpe geliefertes Temperaturniveau in den Wärmespeicher für Variante WP02	83
In der Abbildung 65 ist die Leistung der Wärmepumpe für drei Tage im August des simulierten Jahres dem Verbrauch gegenübergestellt.	84
Abbildung 64: Leistung der Wärmepumpe im Vergleich zur benötigten Leistung für die Warmwassererzeugung für drei Tage im August – WP02	84
Abbildung 66: Leistungen und COP Wärmepumpe WP02	85
Abbildung 67: Heizwärme- und Warmwasserbedarf im Vergleich zur bereitgestellten Wärme für Variante WP02	86
Abbildung 68: Deckbarer Anteil Warmwasserwärme- und Heizwärmebedarf durch die Wärmerückgewinnung - WP02	87
Abbildung 69: Zeitplan Anwesenheit E1	101
Abbildung 70: Zeitplan Anwesenheit E2	101
Abbildung 71: Zeitplan Anwesenheit E3	102
Abbildung 72: Zeitplan Anwesenheit E4	102
Abbildung 73: Zeitplan Anwesenheit K1	103
Abbildung 74: Zeitplan Anwesenheit K2	103
Abbildung 75: Zeitplan Anwesenheit K3	104
Abbildung 76: Lüftungswärmeverluste K1 stundenweise über das Jahr	131
Abbildung 77: Lüftungswärmeverluste K2 stundenweise über das Jahr	131
Abbildung 78: Lüftungswärmeverluste K3 stundenweise über das Jahr	132
Abbildung 79: Lüftungswärmeverluste K4 stundenweise über das Jahr	132
Abbildung 80: Monatliche Lüftungswärmeverluste K1-K4 mit Berechnungsergebnissen im Vergleich	133

7 Anhang

7.1 Bauteilliste

Die folgenden Bauteilschichten wurden sowohl für die Simulationen als auch für die Erstellung des Energieausweises berücksichtigt.

Bauteilliste

Referenzgebäude

DA01		Flachdach ext. begrünt b/A		Neubau		
ADh		O-U				
Lage		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]		
1	Begrünung extensiv	0,0000				
2	Vegetationsschicht	0,0000				
3	• Filterschicht PP	0,0050				
4	• Dränschicht PP	0,0200	0,220	0,091		
5	• Durchwurzelungsschutz PE	0,0100				
6	• Trennlage PP	0,0020				
7	Abdichtung PE-Folie	0,0050	0,500	0,010		
8	Vollholzschalung	0,0200	0,180	0,111		
9.0	Holztragkonstruktion, e=90cm Breite: 0,09 m Achsenabstand: 0,90 m	0,1800	0,180	1,000		
9.1		0,1800	0,025	7,200		
Wärmeübergangswiderstände				0,200		
RT _o =5,289 m ² K/W; RT _u =4,856 m ² K/W;				0,2420	RT =	5,072
					U =	0,197

FE01		Fenster b/A		Neubau		
AF		2-fach Holz-Alu ; Annahme				
	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
2-fach Holz-Alu			0,520	1,27	70,00	1,00
Glasrandverbund	5,46	0,060		0,55	30,00	1,30
				vorh.	1,82	1,27

AT01		Aussentür b/A		Neubau		
AT						
	Länge	ψ	g	Fläche	%	U
	m	W/mK	-	m ²		W/m ² K
Rahmen				1,82	100,00	
Glasrandverbund	5,46					
				vorh.	1,82	1,40

AW		Außenwand b/A		Neubau		
AW		A-I				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]		
1	Außenputz (Leichtmörtelputz)	0,0200	0,400	0,050		
2	• Hochlochziegel TRALAMM 38cm	0,5000	0,112	4,464		
3	• Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,600	0,025		
Wärmeübergangswiderstände				0,170		
				0,5350	RT =	4,709
					U =	0,212

Bauteilliste

Referenzgebäude

DA02		Flachdach zu Luftraum b/A			Neubau
DGD	O-U				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Mineralwolle	0,2500	0,035	7,143	
2	Stahlbeton	0,2000	2,500	0,080	
3	Innenputz	0,0100	0,800	0,017	
Wärmeübergangswiderstände				0,200	
		0,4600	RT =	7,440	
			U =	0,134	

FB02		Fußbodenaufbau zu Keller b/u			Neubau
DGUo	U-O				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0100	0,800	0,017	
2	• Steinwolle MW-PT 10	0,1000	0,037	2,703	
3	Stahlbeton Decke	0,2000	2,500	0,080	
4	• gebundene Schüttung	0,0700	0,047	1,489	
5	• Trittschalldämmung MW-T	0,0300	0,038	0,789	
6	• Dampfbremse PE-Folie	0,0020	0,500	0,004	
7	Estrich (Zement-) F	0,0800	1,580	0,038	
8	Belag (z.B.: Massivparkett)	0,0200			
Wärmeübergangswiderstände				0,340	
		0,4920	RT =	5,460	
F = Schicht mit Flächenheizung			U =	0,183	

FB03		Fußbodenaufbau erdberührt u/e			Neubau
EBKu	U-O				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Magerbeton	0,0800	1,150	0,070	
2	Abdichtung	0,0100	0,230	0,043	
3	• XPS-G30	0,1000	0,038	2,632	
4	Vlies PE	0,0020	0,500	0,004	
5	Stahlbeton Decke	0,3000	2,500	0,120	
6	• gebundene Schüttung	0,0700	0,047	1,489	
7	• Trittschalldämmung MW-T	0,0300	0,038	0,789	
8	• Dampfbremse PE-Folie	0,0020	0,500	0,004	
9	Estrich (Zement-)	0,0800	1,580	0,038	
10	Belag (z.B.: Massivparkett)	0,0200			
Wärmeübergangswiderstände				0,170	
		0,6740	RT =	5,359	
			U =	0,187	

Bauteilliste

Referenzgebäude

AWE		Außenwand erdberührt u/e			Neubau
EWKu	A-I				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Technolith Dämmbeton	0,5500	0,228	2,434	
2	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0100	0,600	0,017	
	Wärmeübergangswiderstände			0,130	
		0,5600	RT =	2,581	
			U =	0,387	

IW01		Innenwand SSZ FD b/b			Neubau
IW	A-I, Flankendämmung				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	• Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,600	0,025	
2	HLZ Porotherm 25 SSZ HD	0,2500	0,448	0,561	
3	• Steinwolle MW-F	0,0500	0,039	1,282	
4	• Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,600	0,025	
	Wärmeübergangswiderstände			0,280	
		0,3300	RT =	2,153	
			U =	0,464	

IW02		Innenwand SSZ b/b			Neubau
IW	A-I				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,600	0,025	
2	• POROTHERM 25 SSZ HD	0,2500	0,448	0,561	
3	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,600	0,025	
	Wärmeübergangswiderstände			0,280	
		0,2800	RT =	0,871	
			U =	1,148	

IW03		Innenwand SSZ + VSS b/b			Neubau
IW	A-I				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,600	0,025	
2	• POROTHERM 25 SSZ HD	0,2500	0,448	0,561	
3	• Glaswolle MW	0,0500	0,035	1,429	
4	• 2 x GKB 1,25	0,0250	0,210	0,119	
5	• Spachtel - Gipsspachtel	0,0050	0,290	0,017	
	Wärmeübergangswiderstände			0,280	
		0,3450	RT =	2,411	
			U =	0,415	

Bauteilliste

Referenzgebäude

IW04		Innenwand STB b/b			Neubau
IW	A-I				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0100	0,800	0,017	
2	• Stahlbeton	0,2500	2,500	0,100	
3	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0100	0,800	0,017	
Wärmeübergangswiderstände				0,280	
			0,2700	RT =	0,304
				U =	2,538

IW05		Innenwand HLZ b/b			Neubau
IW	A-I				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,800	0,025	
2	• HLZ Porotherm 10-50	0,1000	0,250	0,400	
3	Innenputz (Kalk-Gipsputz)	0,0150	0,800	0,025	
Wärmeübergangswiderstände				0,280	
			0,1300	RT =	0,710
				U =	1,408

FB01		Fußbodenaufbau Geschoßdecke b/b			Neubau
WBDu	O-U				
		d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
1	Belag (z.B.: Massivparkett)	0,0200			
2	Estrich (Zement-)	F 0,0600	1,580	0,038	
3	• Trittschalldämmung MW-T	0,0300	0,038	0,789	
4	• PE-Folie	0,0020	0,047	0,043	
5	• Schüttung zementgebunden	0,0700	0,047	1,489	
6	Stahlbeton Decke	0,2000	2,500	0,080	
7	• Kalk-Gips-Innenputz	0,0100	0,800	0,017	
Wärmeübergangswiderstände				0,200	
			0,3920	RT =	2,656
F = Schicht mit Flächenheizung				U =	0,377

7.2 Schedule

Die folgenden Abbildungen zeigen die berücksichtigten Zeitpläne der Simulation für die Bewohner des Gebäudes. „E“ steht dabei für einen Erwachsenen, „K“ steht für ein Kind.

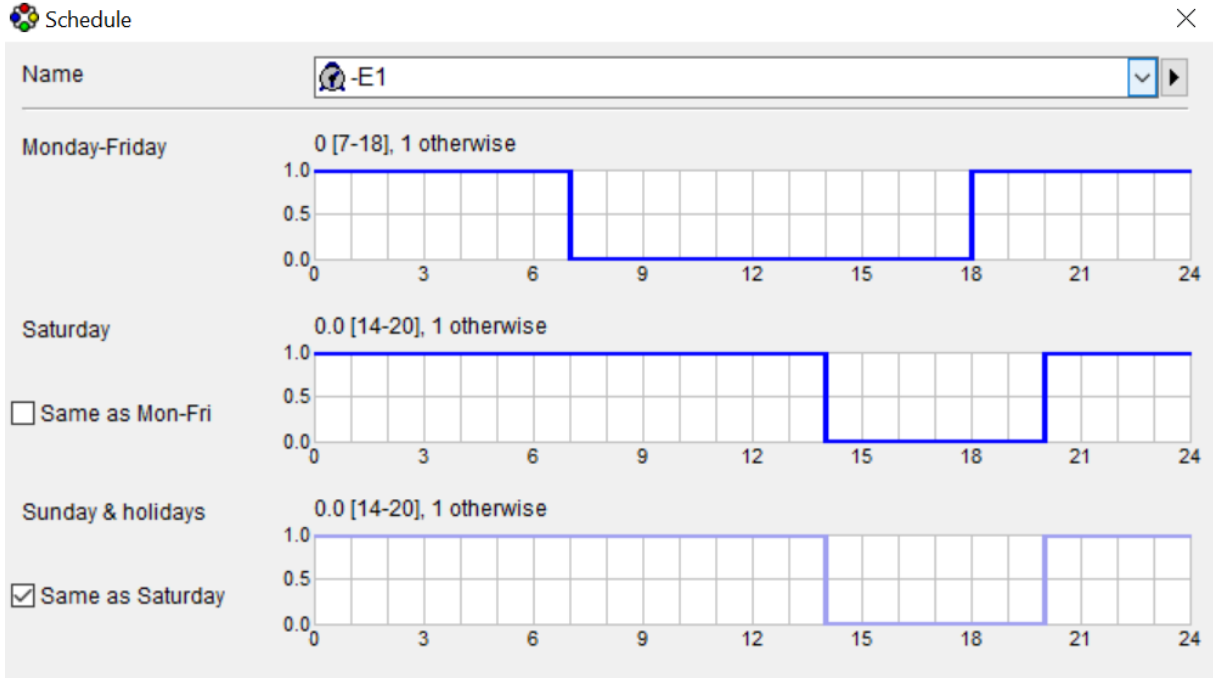


Abbildung 69: Zeitplan Anwesenheit E1

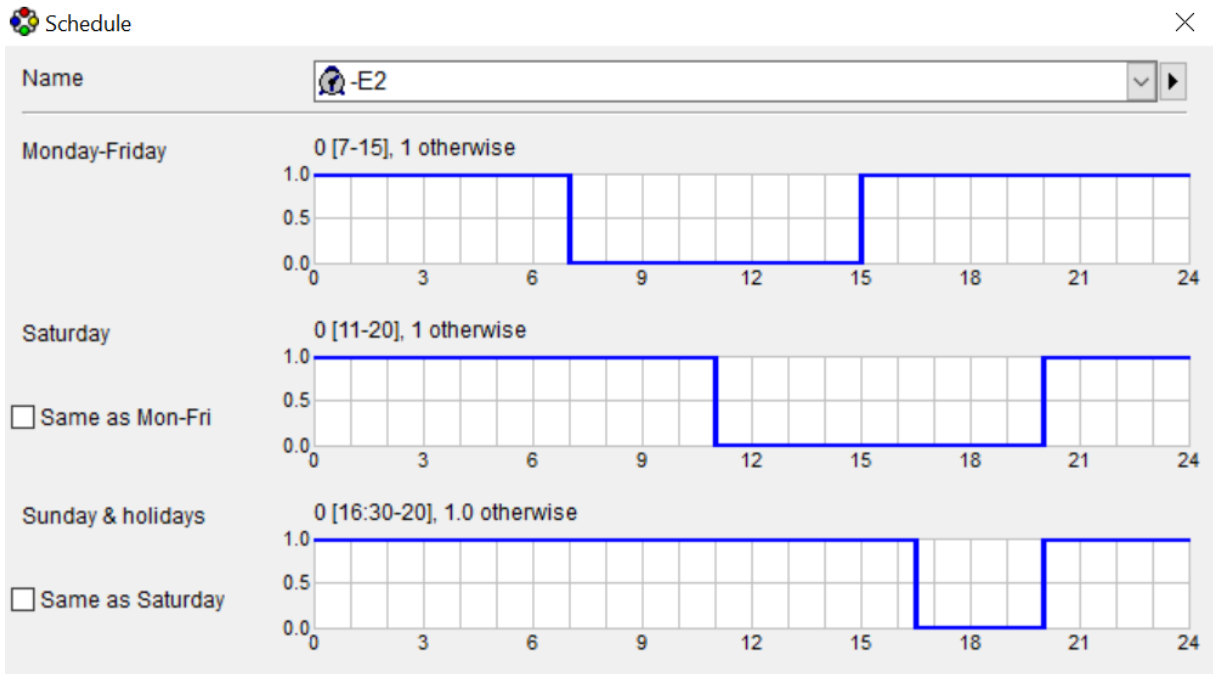


Abbildung 70: Zeitplan Anwesenheit E2

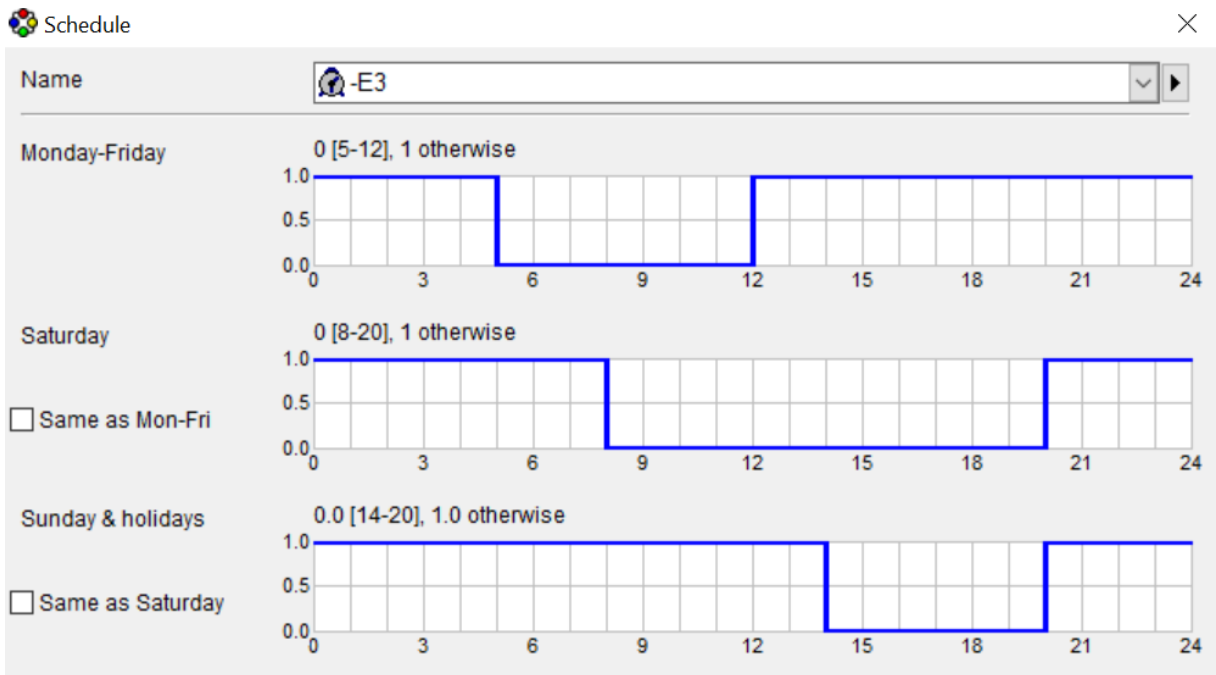


Abbildung 71: Zeitplan Anwesenheit E3

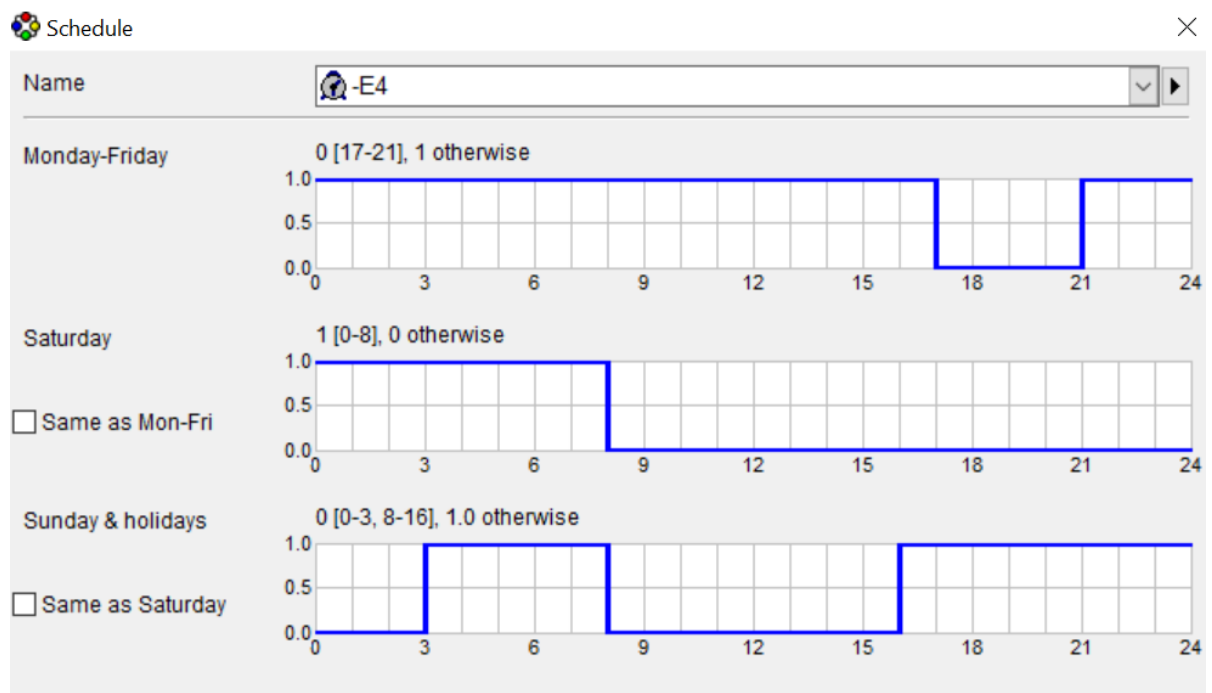


Abbildung 72: Zeitplan Anwesenheit E4

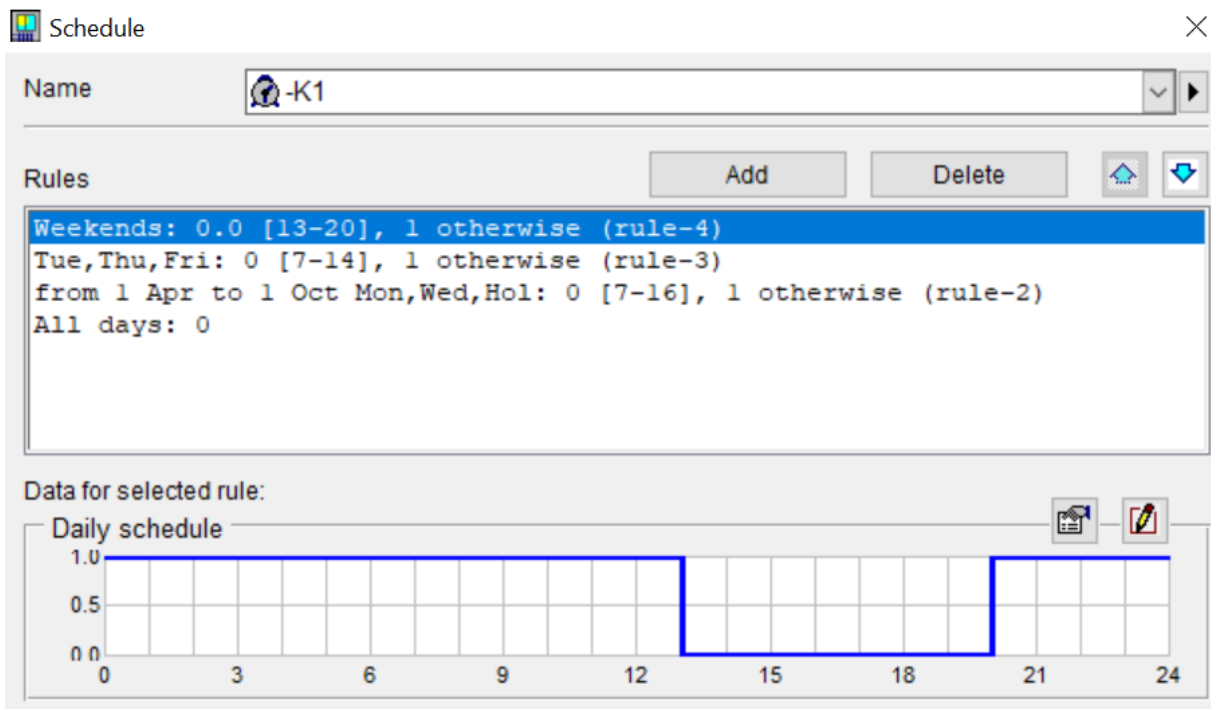


Abbildung 73: Zeitplan Anwesenheit K1

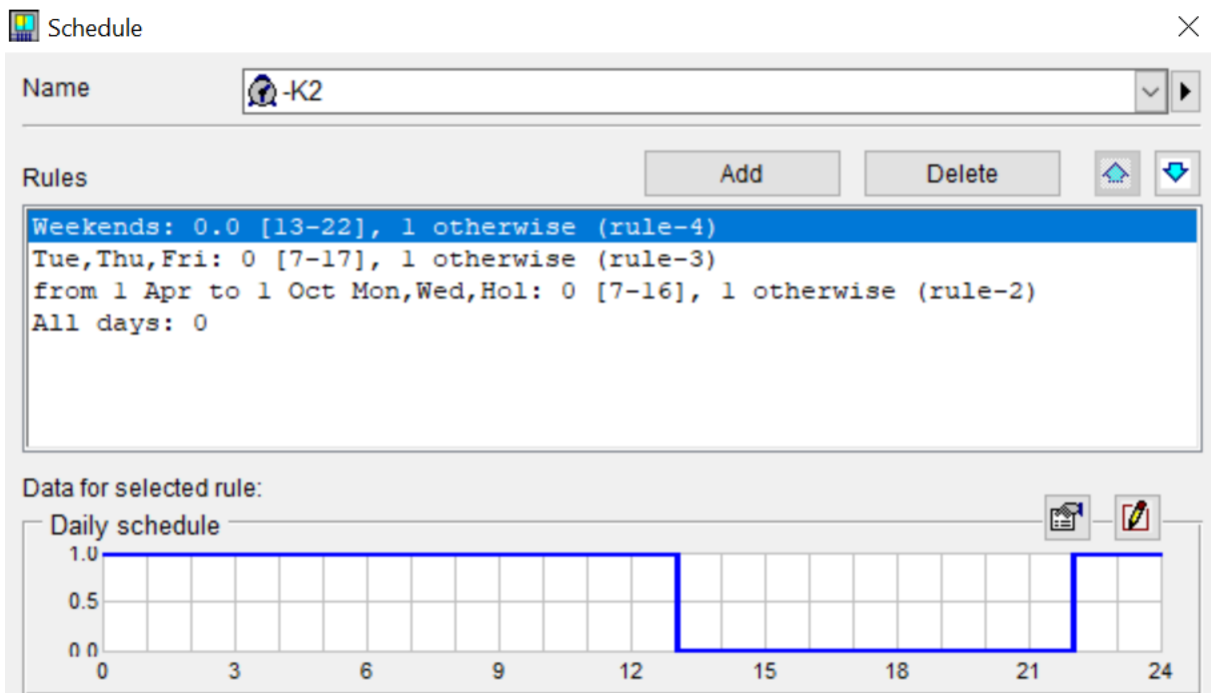


Abbildung 74: Zeitplan Anwesenheit K2

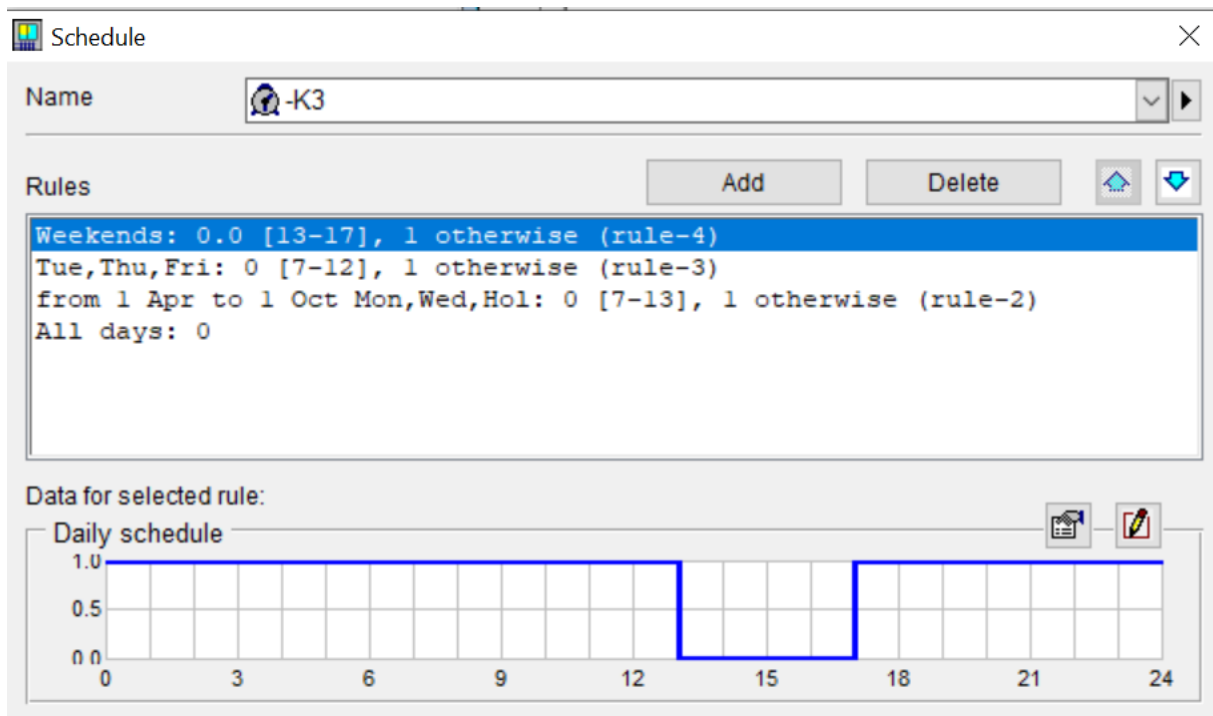
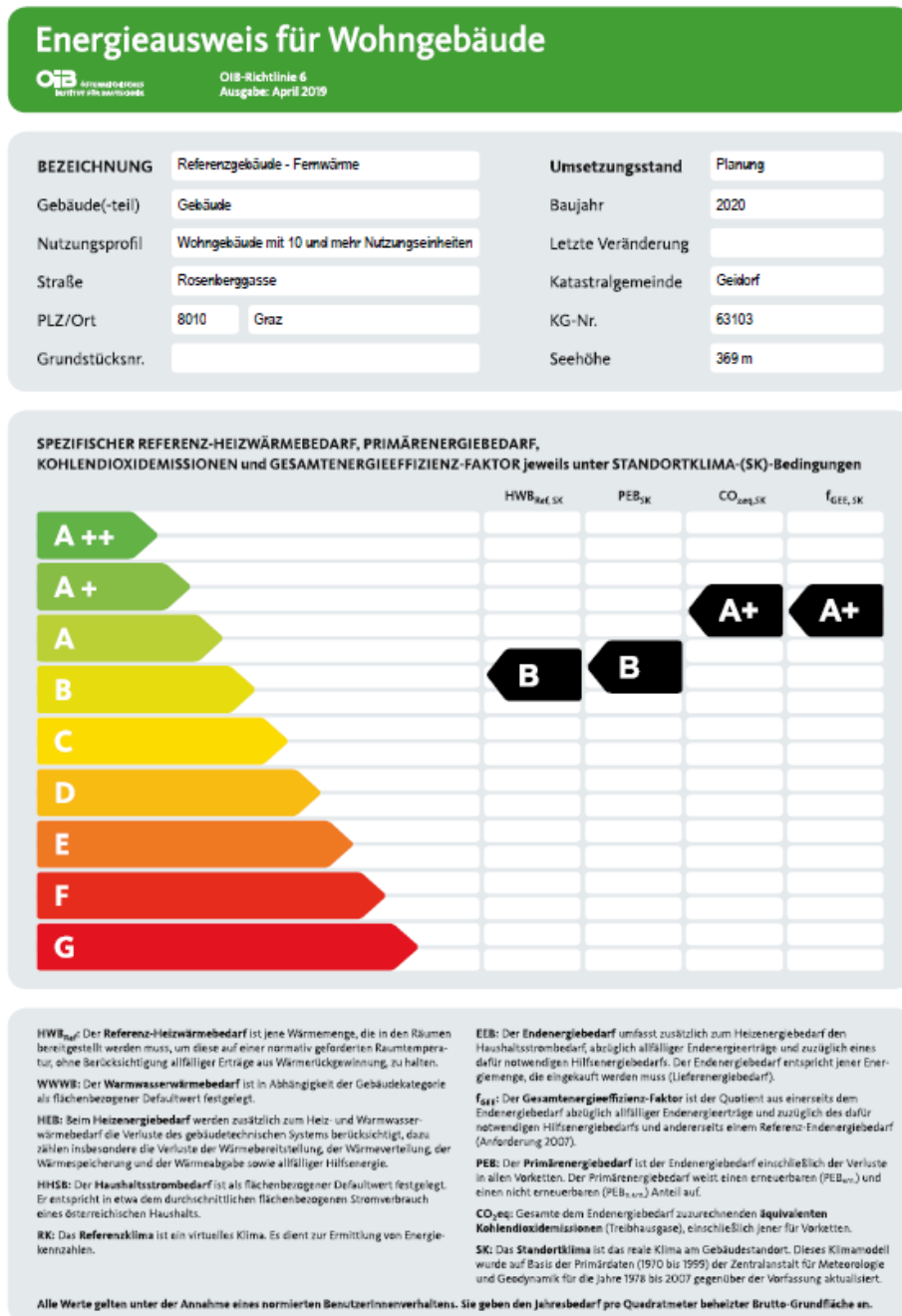


Abbildung 75: Zeitplan Anwesenheit K3

7.2.1 Energieausweise Referenzgebäude

7.2.1.1 Energieausweis Grundmodell – Fernwärme

Im Folgenden sind die Ergebnisse der durchgeführten Energieausweisberechnung für das Referenzgebäude unter Berücksichtigung von Fernwärme für die Wärmebereitstellung abgebildet.



Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der OIB Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bzw. 2018/844/EU vom 30. Mai 2018 und des Energieausweis-Vorlage-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungsraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist für Strom: 2013-09 – 2018-08, und es wurden übliche Allokationsregeln unterstellt.

Energieausweis für Wohngebäude



OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: April 2019

GEBÄUDEKENNDATEN

Brutto-Grundfläche (BGF)	2.623,1 m ²	Heiztage	213 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	2.098,4 m ²	Heizgradtage	3775 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	7.777,4 m ³	Klimaregion	S/SO	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	2.476,3 m ²	Norm-Außentemperatur	-10,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	0,32 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	kombiniert
charakteristische Länge (l _c)	3,14 m	mittlerer U-Wert	0,390 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK ₁ -Wert	22,91	RH-WB-System (primär)	Fernwärme
Teil-BF	- m ²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

EA-Art:

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Ergebnisse		Nachweis über den Gesamtenergieeffizienzfaktor
		Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,SK} = 25,4 kWh/m ² a entspricht	HWB _{Ref,SK,Zul} = 31,3 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{SK} = 25,4 kWh/m ² a	
Endenergiebedarf	EEB _{SK} = 60,9 kWh/m ² a	
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,SK} = 0,72 entspricht	f _{GEE,SK,Zul} = 0,75
Erneuerbarer Anteil	- entspricht	Punkt 5.2.3 a, b, c

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 78.631 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 30,0 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{H,SK} = 66.807 kWh/a	HWB _{SK} = 25,5 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{WW} = 26.808 kWh/a	WWWB = 10,2 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 112.950 kWh/a	HEB _{SK} = 43,1 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 1,44
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 0,95
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,07
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 59.743 kWh/a	HHSB = 22,8 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 172.692 kWh/a	EEB _{SK} = 65,8 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 216.898 kWh/a	PEB _{SK} = 82,7 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEB_{nem},SK} = 88.303 kWh/a	PEB _{nem,SK} = 33,7 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEB_{em},SK} = 128.595 kWh/a	PEB _{em,SK} = 49,0 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 26.111 kg/a	CO _{2eq,SK} = 10,0 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,70
Photovoltaik-Export	Q _{PV1,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - www.archiphysik.com
Ausstellungsdatum	26.08.2020	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	25.08.2030		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Grundfläche und Volumen

Referenzgebäude - Fernwärme

Brutto-Grundfläche und Brutto-Volumen

		BGF [m ²]	V [m ³]
Gebäude	beheizt	2.623,05	7.777,36

Gebäude

beheizt

	Formel	Höhe [m]	BGF [m ²]	V [m ³]
Grundfläche und Volumen				
Volumen - aus 3D Modell	1 x 7777,36			7.777,36
BGF	1 x 2623,05		2.623,05	
Summe Gebäude			2.623,05	7.777,36

Bauteilflächen

Referenzgebäude - Fernwärme - Alle Gebäudeteile/Zonen

Flächen der thermischen Gebäudehülle			m ²
			2.476,28
Opake Flächen	86,44 %		2.140,52
Fensterflächen	13,56 %		335,76
Wärmefluss nach oben			327,88
Wärmefluss nach unten			327,88

Flächen der thermischen Gebäudehülle

Gebäude Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

					m ²
AW	Außenwand b/A				1.484,76
	Fläche	N	x+y	1 x 502,12	502,12
	Fläche	O	x+y	1 x 304,66	304,66
	Fläche	S	x+y	1 x 373,32	373,32
	Fläche	W	x+y	1 x 304,66	304,66
DA02	Flachdach zu Luftraum b/A				327,88
	Fläche	H	x+y	1 x 327,88	327,88
FB02	Fußbodenaufbau zu Keller b/u				327,88
	Fläche	H	x+y	1 x 327,88	327,88
FE01	Fenster b/A	N	16 x 0,80		12,80
FE01	Fenster b/A	N	32 x 1,82		58,24
FE01	Fenster b/A	S	3 x 2,93		8,79
FE01	Fenster b/A	S	12 x 2,93		35,16
FE01	Fenster b/A	S	1 x 2,93		2,93
FE01	Fenster b/A	S	2 x 2,93		5,86
FE01	Fenster b/A	S	1 x 2,93		2,93

Bauteilflächen

Referenzgebäude - Fernwärme - Alle Gebäudeteile/Zonen

FE01	Fenster b/A	S	2 x 2,93	m ² 5,86
FE01	Fenster b/A	N	8 x 4,05	m ² 32,40
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	5 x 4,05	m ² 20,25
FE01	Fenster b/A	S	10 x 4,05	m ² 40,50
FE01	Fenster b/A	S	5 x 4,05	m ² 20,25
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	1 x 2,93	m ² 2,93
FE01	Fenster b/A	S	2 x 2,93	m ² 5,86

Gewinne

Referenzgebäude - Fernwärme - Gebäude

Gebäude

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Zone

mittelschwere Bauweise

Interne Wärmegewinne

Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

$$q_i = 4,06 \text{ W/m}^2$$

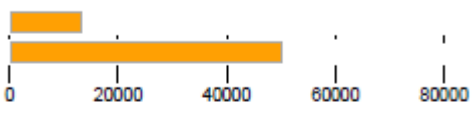
Solare Wärmegewinne

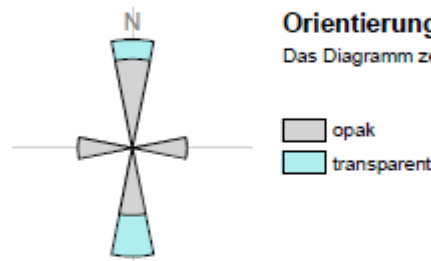
Transparente Bauteile		Anzahl	F _s	Summe A _g m ²	g	A _{trans,h} m ²
Nord						
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	16	1,00	8,96	0,520	4,10
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	32	1,00	40,76	0,520	18,69
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	8	1,00	22,68	0,520	10,40
		56		72,40		33,20
Süd						
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 3°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	3	0,97	6,15	0,520	2,73
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	12	1,00	24,61	0,520	11,28
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 10°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	1	0,90	2,05	0,520	0,84
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 11°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	2	0,89	4,10	0,520	1,67
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 18°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	1	0,82	2,05	0,520	0,77
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 19°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	2	0,81	4,10	0,520	1,52
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 11°, Seitlich 0°, Überhang 47°</i>	1	0,89	2,83	0,520	0,89
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 26°, Seitlich 0°, Überhang 47°</i>	4	0,52	11,34	0,520	2,74
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 50°</i>	5	0,75	14,17	0,520	4,90
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	10	0,74	28,35	0,520	9,71
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 49°</i>	5	0,76	14,17	0,520	4,95
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 1°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	1	0,74	2,83	0,520	0,96
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 3°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	4	0,72	11,34	0,520	3,77
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 4°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	1	0,71	2,83	0,520	0,93
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 11°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	4	0,66	11,34	0,520	3,46
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 7°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	1	0,69	2,83	0,520	0,90
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 19°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	4	0,60	11,34	0,520	3,14
FE01	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 25°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	1	0,70	2,05	0,520	0,85

Gewinne

Referenzgebäude - Fernwärme - Gebäude

Transparente Bauteile		Anzahl	Fs	Summe Ag	g	A trans, h
			-	m ²	-	m ²
FE01	Fenster b/A	2	0,68	4,10	0,520	1,27
		64		162,62		57,19

	Aw	Qs, h	
	m ²	kWh/a	
Nord	103,44	13.545	
Süd	232,32	50.199	
	335,76	63.745	



Strahlungsintensitäten

Graz, 369 m

	S	SO/SW	O/W	NO/NW	N	H
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Jan.	51,66	40,25	22,14	14,08	13,08	33,54
Feb.	69,78	56,49	34,89	22,15	19,93	55,38
Mär.	84,21	73,68	55,26	35,96	28,94	87,72
Apr.	80,44	79,29	68,95	51,71	40,22	114,92
Mai	84,24	90,37	88,83	70,45	55,14	153,16
Jun.	76,05	86,92	88,47	74,50	58,98	155,21
Jul.	83,17	92,95	94,59	76,65	60,34	163,08
Aug.	88,03	92,29	85,19	63,89	46,85	141,99
Sep.	85,51	78,30	63,87	45,33	37,09	103,03
Ökt.	77,18	64,43	42,95	26,84	22,81	67,11
Nov.	54,63	42,82	23,99	15,13	14,39	36,91
Dez.	42,76	32,95	16,85	10,56	10,06	25,15

Leitwerte

Referenzgebäude - Fernwärme - Gebäude

Gebäude

... gegen Außen	Le	741,18	
... über Unbeheizt	Lu	80,16	
... über das Erdreich	Lg	0,00	
... Leitwertzuschlag für linienförmige und punktförmige Wärmebrücken		150,85	
Transmissionsleitwert der Gebäudehülle	LT	972,20	W/K
Lüftungsleitwert	LV	704,90	W/K
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	Um	0,390	W/m ² K

... gegen Außen, über Unbeheizt und das Erdreich

Bauteile gegen Außenluft

		m ²	W/m ² K	f	f FH	W/K
Nord						
FE01	Fenster b/A	12,80	1,270	1,0		16,26
FE01	Fenster b/A	58,24	1,270	1,0		73,96
FE01	Fenster b/A	32,40	1,270	1,0		41,15
AW	Außenwand b/A	502,12	0,212	1,0		106,45
		605,56				237,82
Ost						
AW	Außenwand b/A	304,66	0,212	1,0		64,59
		304,66				64,59
Süd						
FE01	Fenster b/A	8,79	1,270	1,0		11,16
FE01	Fenster b/A	35,16	1,270	1,0		44,65
FE01	Fenster b/A	2,93	1,270	1,0		3,72
FE01	Fenster b/A	5,86	1,270	1,0		7,44
FE01	Fenster b/A	2,93	1,270	1,0		3,72
FE01	Fenster b/A	5,86	1,270	1,0		7,44
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	20,25	1,270	1,0		25,72
FE01	Fenster b/A	40,50	1,270	1,0		51,44
FE01	Fenster b/A	20,25	1,270	1,0		25,72
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	2,93	1,270	1,0		3,72
FE01	Fenster b/A	5,86	1,270	1,0		7,44
AW	Außenwand b/A	373,32	0,212	1,0		79,14
		605,64				374,15
West						
AW	Außenwand b/A	304,66	0,212	1,0		64,59
		304,66				64,59

Leitwerte

Referenzgebäude - Fernwärme - Gebäude

Horizontal

DA02	Flachdach zu Luftraum b/A	327,88	0,134	0,9		39,54
FB02	Fußbodenaufbau zu Keller b/u	327,88	0,177	0,7	1,78	40,62
		655,76				80,16
	Summe	2.476,28				

... Leitwertzuschlag für linienförmige und punktförmige Wärmebrücken

Leitwerte über Wärmebrücken

Wärmebrücken pauschal **150,85 W/K**

... über Lüftung

Lüftungsleitwert

Fensterlüftung **704,90 W/K**

Lüftungsvolumen VL = 5.455,94 m³
 Luftwechselrate n = 0,38 1/h

Monatsbilanz Heizwärmebedarf, Standort

Referenzgebäude - Fernwärme - Gebäude

Volumen beheizt, BRI: 7.777,36 m³

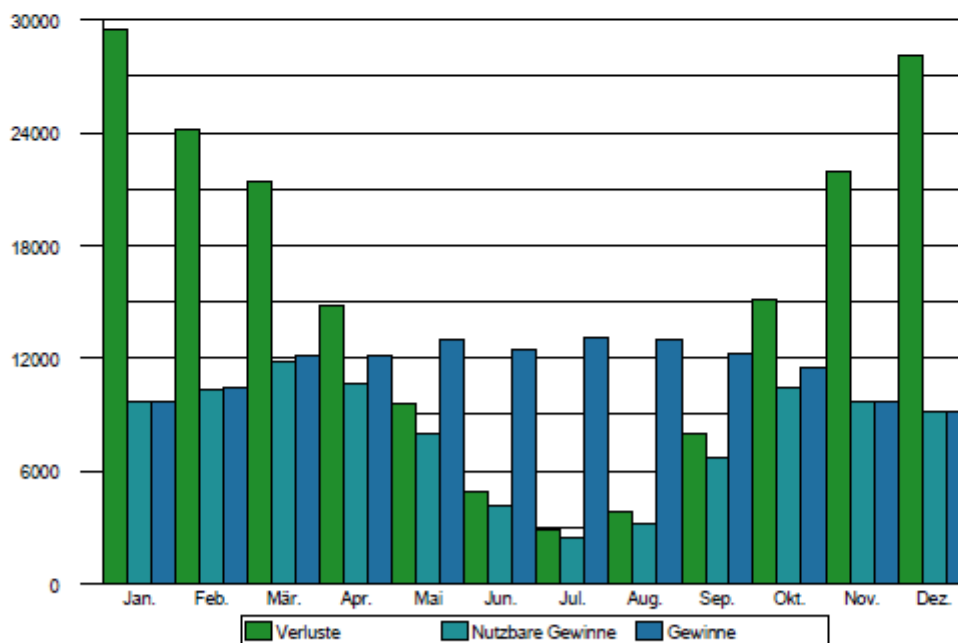
mittelschwere Bauweise

Geschoßfläche, BGF: 2.623,05 m²

Graz, 369 m

Heizgradtage HGT (22/14): 3.775 Kd

	Außen °C	HT d	QT kWh	QV kWh	eta -	eta Qs kWh	eta Qi kWh	Q h kWh
Jan.	-1,18	31,00	17.378	12.156	0,998	3.384	8.693	17.457
Feb.	1,02	28,00	14.210	9.940	0,994	4.625	7.817	11.709
Mär.	5,21	31,00	12.585	8.803	0,975	5.632	8.487	7.268
Apr.	9,97	23,68	8.726	6.104	0,883	5.243	7.442	1.692
Mai	14,44		5.665	3.962	0,616	4.098	5.366	-
Jun.	17,99		2.907	2.033	0,335	2.114	2.823	-
Jul.	19,77		1.671	1.169	0,184	1.241	1.599	-
Aug.	19,01		2.245	1.571	0,249	1.644	2.172	-
Sep.	15,55		4.680	3.273	0,542	3.320	4.569	-
Okt.	10,10	23,45	8.922	6.241	0,905	4.680	7.878	1.971
Nov.	4,20	30,00	12.918	9.036	0,992	3.573	8.356	10.025
Dez.	-0,10	31,00	16.566	11.588	0,999	2.776	8.694	16.685
		198,13	108.473	75.876		42.331	73.895	66.807 kWh



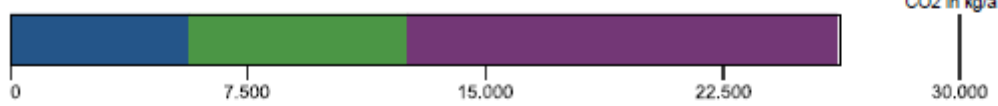
Anlagentechnik des Gesamtgebäudes

Referenzgebäude - Fernwärme

Gebäude

Nutzprofil: Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

Kohlendioxidemissionen in der Zone



Primärenergie, CO2 in der Zone		Anteil	PEB kWh/a	CO2 kg/a
RH	Fernwärme	100,0		
	Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Default-Wert)		64.767	5.519
TW	Warmwasser Fernwärme	100,0		
	Strom (Liefermix)		41.778	5.818
TW	Warmwasser Fernwärme	100,0		
	Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Default-Wert)		11.018	939
SB	Haushaltsstrombedarf	100,0		
	Strom (Liefermix)		97.380	13.561

Hilfsenergie in der Zone		Anteil	PEB kWh/a	CO2 kg/a
RH	Fernwärme	100,0		
	Strom (Liefermix)		1.238	172
TW	Warmwasser Fernwärme	100,0		
	Strom (Liefermix)		715	99

Energiebedarf in der Zone		versorgt BGF m²	Lstg. kW	EB kWh/a
RH	Fernwärme	2.623,05	55	73.599
TW	Warmwasser Fernwärme	2.623,05		38.152
SB	Haushaltsstrombedarf	2.623,05		59.742

Konversionsfaktoren

Konversionsfaktoren zur Ermittlung des PEB (f_{PE}), des nichterneuerbaren Anteils des PEB ($f_{PE,n.em.}$), des erneuerbaren Anteils des PEB ($f_{PE,em.}$) sowie des CO2 (f_{CO2}).

	f_{PE}	$f_{PE,n.em.}$	$f_{PE,em.}$	f_{CO2} g/kWh
Strom (Liefermix)	1,63	1,02	0,61	227
Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Default-Wert)	0,88	0,00	0,88	75

Abluftwärmepumpe

Bereitstellung: RH-Wärmebereitstellung zentral (35,00 kW), Wärmepumpe, bivalent-paralleler Betrieb (10 °C), Abluftwärmepumpe, eigene Angabe für COP N (COP N = 4,00), modulierend, Fernwärme

Jahresarbeitszahl 2,06 -
 Jahresarbeitszahl gesamt (inkl. Hilfsenergie) 2,06 -

Speicherung: Heizungsspeicher (Wärmepumpe) (1994 -), Anschlusssteile gedämmt, mit E-Patrone, Aufstellungsort nicht konditioniert, Nenninhalt, eigene Angabe (Nenninhalt: 3.000 l)

Verteilleitungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Steigleitungen: Längen pauschal proportional, Lage konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Anbindeleitungen: Längen pauschal, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Anlagentechnik des Gesamtgebäudes

Referenzgebäude - Fernwärme

Abgabe: Einzelraumregelung mit P-I-Regler und räumlich angeordnetem Raumthermostat, Flächenheizung, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung, Flächenheizung (40 °C / 30 °C), gleitende Betriebsweise

Fernwärme

Bereitstellung: RH-Wärmebereitstellung zentral, Defaultwert für Leistung (54,50 kW), Nah-/ Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher, Sekundärkreis

Speicherung: kein Speicher

Verteilungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen gedämmt

Steigleitungen: Längen pauschal, konditionierte Lage in Zone Gebäude, 3/3 gedämmt, Armaturen gedämmt

Anbindeleitungen: Längen pauschal, 2/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Abgabe: Einzelraumregelung mit P-I-Regler und räumlich angeordnetem Raumthermostat, Flächenheizung, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung, Flächenheizung (40 °C / 30 °C), gleitende Betriebsweise

	Verteilungen	Steigleitungen	Anbindeleitungen
Gebäude	0,00 m	209,84 m	734,45 m
unkonditioniert	108,22 m	0,00 m	

Warmwasser Fernwärme

Bereitstellung: WW- und RH-Wärmebereitstellung kombiniert, Abluftwärmepumpe

Speicherung: Kein Warmwasserspeicher

Verteilungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 2/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Steigleitungen: Längen pauschal proportional, Lage konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Zirkulationsleitung: mit Zirkulation, Längen und Lage wie Verteil- und Steigleitung

Stichleitung: Längen pauschal, Kunststoff (Stichl.)

Abgabe: Zweigriffarmaturen, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung

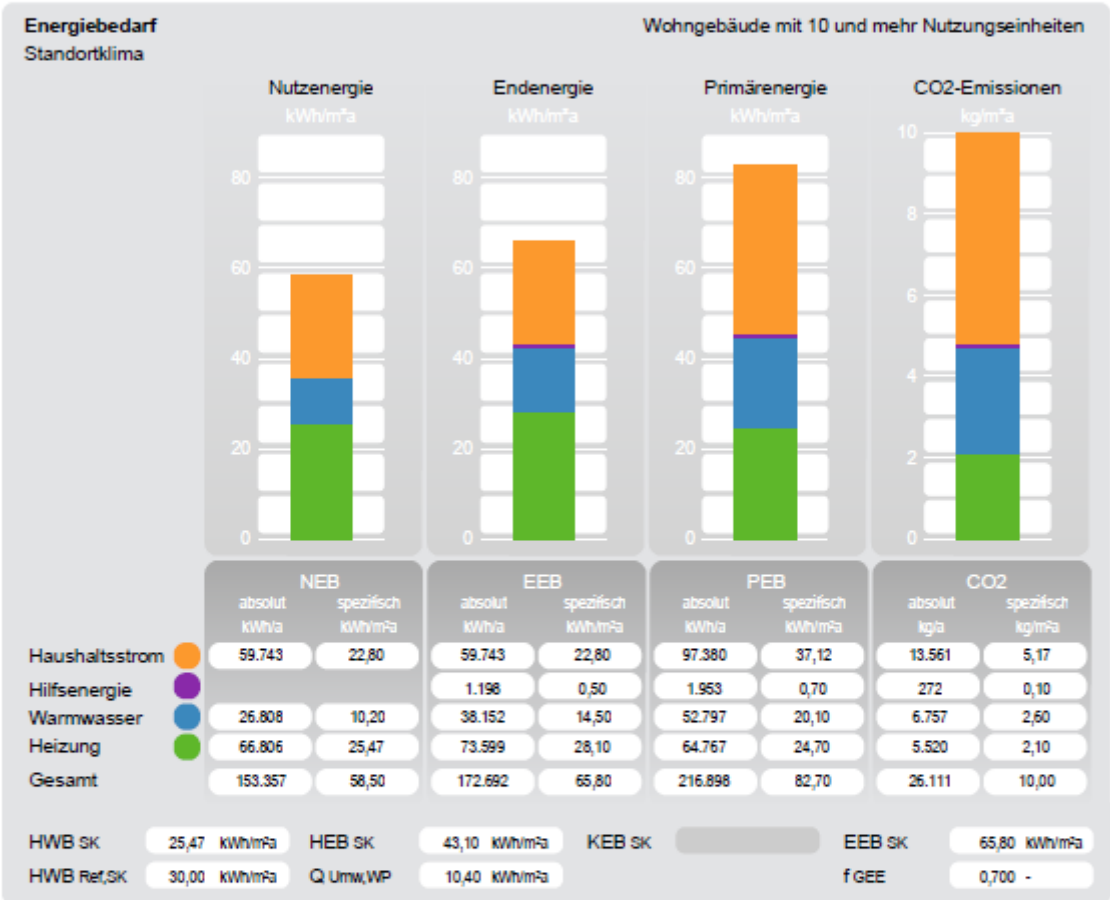
	Verteilungen	Steigleitungen	Stichleitungen
Gebäude	0,00 m	104,92 m	419,68 m
unkonditioniert	34,27 m	0,00 m	

	Zirkulationsverteilungen	Zirkulationssteigleitungen
Gebäude	0,00 m	104,92 m
unkonditioniert	33,27 m	0,00 m

Datenblatt - ArchiPHYSIK Referenzgebäude - Fernwärme

Gebäudedaten: Gebäude

Brutto-Grundfläche	2.623,05 m ²	charakteristische Länge (lc)	3,14 m
Konditioniertes Brutto-Volumen	7.777,36 m ³	Kompaktheit (A/V)	0,32 1/m
Gebäudehüllfläche	2.476,28 m ²		



Gebäude mit Bezugs-Transmissionsleitwert
Standortklima

Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

HWB 26	42,55 kWh/m²a	$26 \cdot (1 + 2 / lc)$					
HWB 26,SK	43,56 kWh/m²a	HEB 26,SK	76,00 kWh/m²a	KEB 26		EEB 26,SK	99,00 kWh/m²a
		Q Umw,WP,26		KB Def,NP			

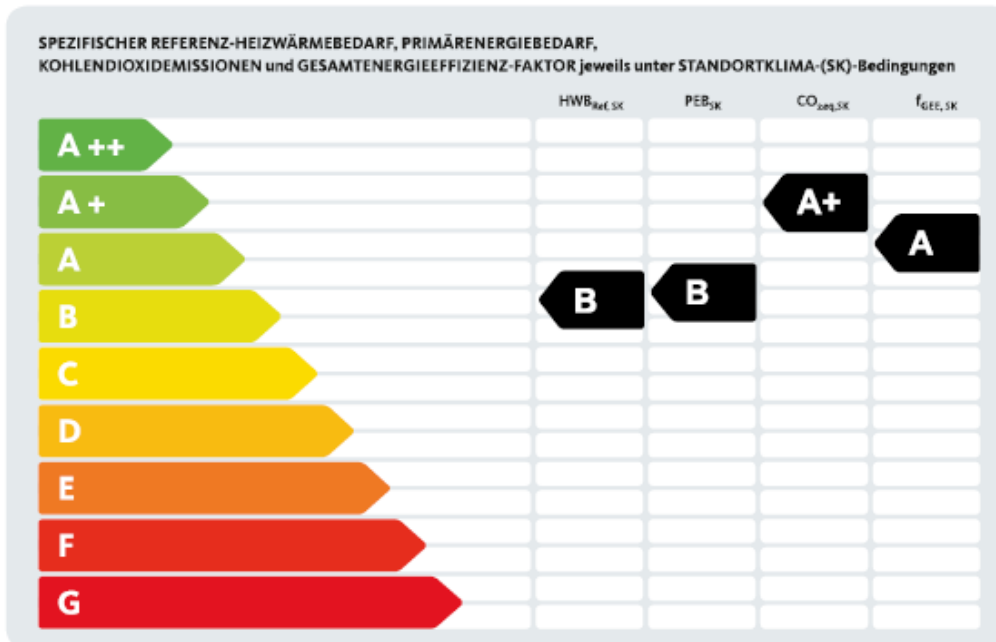
7.2.1.2 Energieausweis detailliertes Modell – Fernwärme und Abluftwärmepumpe

Der folgende Energieausweis wurde für das Referenzgebäude unter Berücksichtigung einer Abluftwärmepumpe in Kombination mit Fernwärme erstellt.

Energieausweis für Wohngebäude

OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: April 2019

BEZEICHNUNG	Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme	Umsetzungsstand	Planung
Gebäude(-teil)	Gebäude	Baujahr	2020
Nutzungsprofil	Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten	Letzte Veränderung	
Straße	Rosenberggasse	Katastralgemeinde	Geidorf
PLZ/Ort	8010 Graz	KG-Nr.	63103
Grundstücksnr.		Seehöhe	369 m



HWB_{ref}: Der Referenz-Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung, zu halten.

WWWB: Der Warmwasserwärmebedarf ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

HEB: Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebautechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

HHSB: Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht in etwa dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts.

RK: Das Referenzklima ist ein virtuelles Klima. Es dient zur Ermittlung von Energiekennzahlen.

EEB: Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf).

f_{EE,SK}: Der Gesamtenergieeffizienz-Faktor ist der Quotient aus einerseits dem Endenergiebedarf abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich des dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs und andererseits einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

PEB: Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB_{erw}) und einen nicht erneuerbaren (PEB_{nerw}) Anteil auf.

CO_{2eq}: Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden äquivalenten Kohlendioxidemissionen (Treibhausgase), einschließlich jener für Vorketten.

SK: Das Standortklima ist das reale Klima am Gebäudestandort. Dieses Klimamodell wurde auf Basis der Primärdaten (1970 bis 1999) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für die Jahre 1978 bis 2007 gegenüber der Vorfassung aktualisiert.

Alle Werte gelten unter der Annahme eines normierten BenutzerInnenverhaltens. Sie geben den Jahresbedarf pro Quadratmeter beheizter Brutto-Grundfläche an.

Dieser Energieausweis entspricht den Vorgaben der OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik in Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bzw. 2018/844/EU vom 30. Mai 2018 und des Energieausweis-Vorfassung-Gesetzes (EAVG). Der Ermittlungszeitraum für die Konversionsfaktoren für Primärenergie und Kohlendioxidemissionen ist für Stores: 2015-09 – 2018-08, und es werden übliche Allokationsregeln unterstellt.

Energieausweis für Wohngebäude



OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: April 2019

GEBÄUDEKENNDATEN				EA-Art: <input type="text"/>	
Brutto-Grundfläche (BGf)	2.623,1 m ²	Heiztage	213 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	2.098,4 m ²	Heizgradtage	3775 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	7.777,4 m ³	Klimaregion	S/SO	Photovoltaik	- kWh
Gebäude-Hüllfläche (A)	2.476,3 m ²	Norm-Außen-temperatur	-10,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	0,32 1/m	So _{in} -Innen-temperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	kombiniert
charakteristische Länge (l _c)	3,14 m	mittlerer U-Wert	0,390 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK ₁ -Wert	22,91	RH-WB-System (primär)	Wärmepumpe
Teil-BF	- m ²	Bauweise	mittelschwere	RH-WB-System (sekundär, opt.)	Fernwärme
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)				Nachweis über den Gesamtenergieeffizienzfaktor
			Ergebnisse	Anforderungen
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,Ref} =	25,4 kWh/m ² a	entspricht	HWB _{Ref,Ref,201} = 31,3 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{Ref} =	25,4 kWh/m ² a		
Endenergiebedarf	EEB _{Ref} =	48,2 kWh/m ² a		
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{EE,Ref} =	0,75	entspricht	f _{EE,Ref,201} = 0,75
Erneuerbarer Anteil	-		entspricht	Punkt 5.2.3 a

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)			
Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{H,Ref,SK} =	78.631 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 30,0 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{H,SK} =	66.807 kWh/a	HWB _{SK} = 25,5 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{WW} =	26.808 kWh/a	WWWB = 10,2 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} =	76.753 kWh/a	HEB _{SK} = 29,3 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser			e _{AWZ,WW} = 1,37
Energieaufwandszahl Raumheizung			e _{AWZ,RH} = 0,51
Energieaufwandszahl Heizen			e _{AWZ,H} = 0,73
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} =	59.743 kWh/a	HHSB = 22,8 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} =	136.496 kWh/a	EEB _{SK} = 52,0 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} =	221.157 kWh/a	PEB _{SK} = 84,3 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEB_{nem},SK} =	106.389 kWh/a	PEB _{nem,SK} = 40,6 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEB_{em},SK} =	114.768 kWh/a	PEB _{em,SK} = 43,8 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} =	23.530 kg/a	CO _{2eq,SK} = 9,0 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor			f _{EE,SK} = 0,73
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} =	0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT			
GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchIPHYSIK - www.archiphysik.com
Ausstellungsdatum	26.08.2020	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	25.08.2030		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinstellungen unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Grundfläche und Volumen

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme

Brutto-Grundfläche und Brutto-Volumen

		BGF [m ²]	V [m ³]
Gebäude	beheizt	2.623,05	7.777,36

Gebäude

beheizt

	Formel	Höhe [m]	BGF [m ²]	V [m ³]
Grundfläche und Volumen				
Volumen - aus 3D Modell	1 x 7777,36			7.777,36
BGF	1 x 2623,05		2.623,05	
Summe Gebäude			2.623,05	7.777,36

Bauteilflächen

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Alle Gebäudeteile/Zonen

			m ²
Flächen der thermischen Gebäudehülle			2.476,28
	Opake Flächen	88,44 %	2.140,52
	Fensterflächen	13,56 %	335,76
	Wärmefluss nach oben		327,88
	Wärmefluss nach unten		327,88

Flächen der thermischen Gebäudehülle

Gebäude Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

					m ²
AW	Außenwand b/A				1.484,76
	Fläche	N	x+y	1 x 502,12	502,12
	Fläche	O	x+y	1 x 304,68	304,68
	Fläche	S	x+y	1 x 373,32	373,32
	Fläche	W	x+y	1 x 304,68	304,68
DA02	Flachdach zu Luftraum b/A				327,88
	Fläche	H	x+y	1 x 327,88	327,88
FB02	Fußbodenaufbau zu Keller b/u				327,88
	Fläche	H	x+y	1 x 327,88	327,88
FE01	Fenster b/A	N		16 x 0,80	12,80
FE01	Fenster b/A	N		32 x 1,82	58,24
FE01	Fenster b/A	S		3 x 2,93	8,79
FE01	Fenster b/A	S		12 x 2,93	35,16
FE01	Fenster b/A	S		1 x 2,93	2,93
FE01	Fenster b/A	S		2 x 2,93	5,86
FE01	Fenster b/A	S		1 x 2,93	2,93

Bauteilflächen

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Alle Gebäudeteile/Zonen

FE01	Fenster b/A	S	2 x 2,93	m ² 5,86
FE01	Fenster b/A	N	8 x 4,05	m ² 32,40
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	5 x 4,05	m ² 20,25
FE01	Fenster b/A	S	10 x 4,05	m ² 40,50
FE01	Fenster b/A	S	5 x 4,05	m ² 20,25
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	1 x 4,05	m ² 4,05
FE01	Fenster b/A	S	4 x 4,05	m ² 16,20
FE01	Fenster b/A	S	1 x 2,93	m ² 2,93
FE01	Fenster b/A	S	2 x 2,93	m ² 5,86

Gewinne

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Gebäude

Gebäude

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Zone

mittelschwere Bauweise

Interne Wärmegewinne

Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

$$q_i = 4,06 \text{ W/m}^2$$

Solare Wärmegewinne

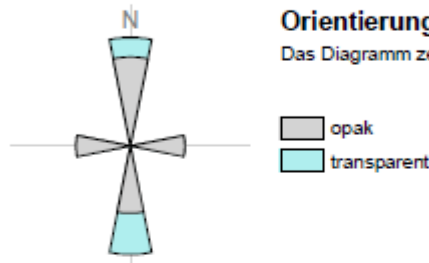
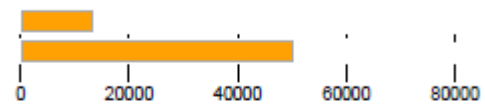
Transparente Bauteile	Anzahl	F_s	Summe A_g m ²	g	$A_{trans,h}$ m ²
Nord					
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	16	1,00	8,96	0,520	4,10
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	32	1,00	40,76	0,520	18,69
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	8	1,00	22,68	0,520	10,40
	56		72,40		33,20
Süd					
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 3°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	3	0,97	6,15	0,520	2,73
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	12	1,00	24,61	0,520	11,28
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 10°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	1	0,90	2,05	0,520	0,84
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 11°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	2	0,89	4,10	0,520	1,67
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 18°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	1	0,82	2,05	0,520	0,77
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 19°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	2	0,81	4,10	0,520	1,52
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 11°, Seitlich 0°, Überhang 47°</i>	1	0,69	2,83	0,520	0,89
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 26°, Seitlich 0°, Überhang 47°</i>	4	0,52	11,34	0,520	2,74
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 50°</i>	5	0,75	14,17	0,520	4,90
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	10	0,74	28,35	0,520	9,71
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 0°, Seitlich 0°, Überhang 49°</i>	5	0,76	14,17	0,520	4,95
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 1°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	1	0,74	2,83	0,520	0,96
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 3°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	4	0,72	11,34	0,520	3,77
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 4°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	1	0,71	2,83	0,520	0,93
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 11°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	4	0,66	11,34	0,520	3,46
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 7°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	1	0,69	2,83	0,520	0,90
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 19°, Seitlich 0°, Überhang 51°</i>	4	0,60	11,34	0,520	3,14
FE01 Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 25°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	1	0,70	2,05	0,520	0,85

Gewinne

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Gebäude

Transparente Bauteile		Anzahl	Fs	Summe Ag	g	Atrans,h
			-	m ²	-	m ²
FED1	Fenster b/A <i>Verschattung: Horizont 26°, Seitlich 0°, Überhang 0°</i>	2	0,88	4,10	0,520	1,27
		64		162,62		57,19

	Aw	Qs, h
	m ²	kWh/a
Nord	103,44	13.545
Süd	232,32	50.199
	335,76	63.745



Orientierungsdiagramm

Das Diagramm zeigt die Orientierungen und Flächen von opaken und transparenten Bauteilen

Strahlungsintensitäten

Graz, 369 m

	S	SO/SW	O/W	NO/NW	N	H
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Jan.	51,66	40,25	22,14	14,08	13,08	33,54
Feb.	69,78	56,49	34,89	22,15	19,93	55,38
Mär.	84,21	73,68	55,26	35,96	28,94	87,72
Apr.	80,44	79,29	68,95	51,71	40,22	114,62
Mai	84,24	90,37	88,83	70,45	55,14	153,16
Jun.	76,05	86,92	88,47	74,50	58,98	155,21
Jul.	83,17	92,95	94,59	76,65	60,34	163,08
Aug.	88,03	92,29	85,19	63,89	48,85	141,99
Sep.	85,51	78,30	63,87	45,33	37,09	103,03
Ökt.	77,18	64,43	42,95	26,84	22,81	67,11
Nov.	54,63	42,82	23,99	15,13	14,39	36,91
Dez.	42,76	32,95	16,85	10,56	10,06	25,15

Leitwerte

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Gebäude

Gebäude

... gegen Außen	Le	741,18	
... über Unbeheizt	Lu	80,16	
... über das Erdreich	Lg	0,00	
... Leitwertzuschlag für linienförmige und punktförmige Wärmebrücken		150,85	
Transmissionsleitwert der Gebäudehülle	LT	972,20	W/K
Lüftungsleitwert	LV	704,90	W/K
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient	Um	0,390	W/m ² K

... gegen Außen, über Unbeheizt und das Erdreich

Bauteile gegen Außenluft

		m ²	W/m ² K	f	fFH	W/K
Nord						
FE01	Fenster b/A	12,80	1,270	1,0		16,26
FE01	Fenster b/A	58,24	1,270	1,0		73,96
FE01	Fenster b/A	32,40	1,270	1,0		41,15
AW	Außenwand b/A	502,12	0,212	1,0		106,45
		605,56				237,82
Ost						
AW	Außenwand b/A	304,66	0,212	1,0		64,59
		304,66				64,59
Süd						
FE01	Fenster b/A	8,79	1,270	1,0		11,16
FE01	Fenster b/A	35,16	1,270	1,0		44,65
FE01	Fenster b/A	2,93	1,270	1,0		3,72
FE01	Fenster b/A	5,86	1,270	1,0		7,44
FE01	Fenster b/A	2,93	1,270	1,0		3,72
FE01	Fenster b/A	5,86	1,270	1,0		7,44
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	20,25	1,270	1,0		25,72
FE01	Fenster b/A	40,50	1,270	1,0		51,44
FE01	Fenster b/A	20,25	1,270	1,0		25,72
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	4,05	1,270	1,0		5,14
FE01	Fenster b/A	16,20	1,270	1,0		20,57
FE01	Fenster b/A	2,93	1,270	1,0		3,72
FE01	Fenster b/A	5,86	1,270	1,0		7,44
AW	Außenwand b/A	373,32	0,212	1,0		79,14
		605,64				374,15
West						
AW	Außenwand b/A	304,66	0,212	1,0		64,59
		304,66				64,59

Leitwerte

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Gebäude

Horizontal

DA02	Flachdach zu Luftraum b/A	327,88	0,134	0,9		39,54
FB02	Fußbodenaufbau zu Keller b/u	327,88	0,177	0,7	1,78	40,62
		655,76				80,16
Summe		2.476,28				

... Leitwertzuschlag für linienförmige und punktförmige Wärmebrücken

Leitwerte über Wärmebrücken

Wärmebrücken pauschal **150,85 W/K**

... über Lüftung

Lüftungsleitwert

Fensterlüftung **704,90 W/K**

Lüftungsvolumen VL = 5.455,94 m³
 Luftwechselrate n = 0,38 1/h

Monatsbilanz Heizwärmebedarf, Standort

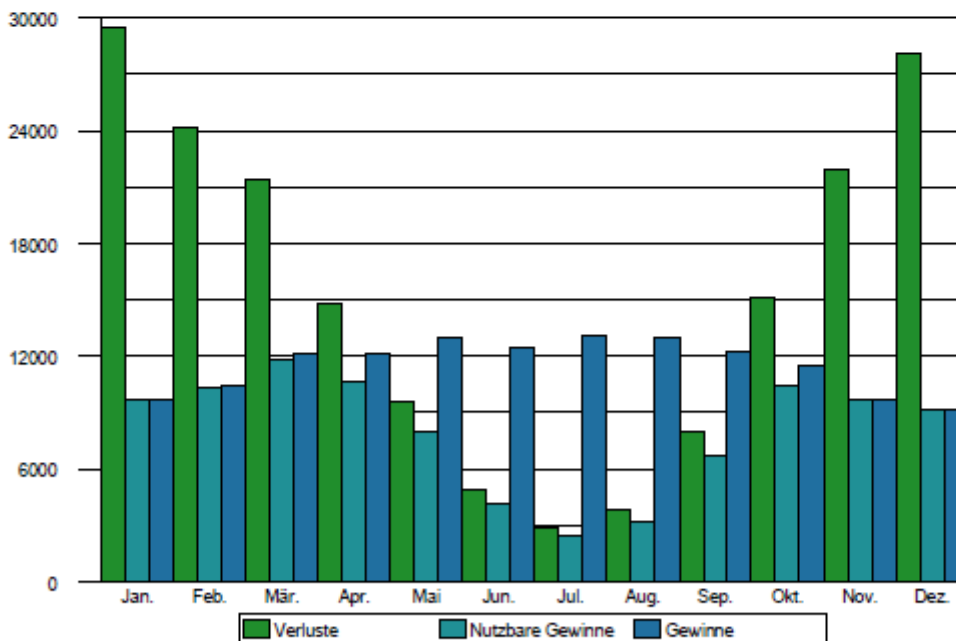
Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme - Gebäude

Volumen beheizt, BRI: 7.777,36 m³
 Geschoßfläche, BGF: 2.623,05 m²

mittelschwere Bauweise

Graz, 369 m
 Heizgradtage HGT (22/14): 3.775 Kd

	Außen °C	HT d	QT kWh	QV kWh	eta -	eta Qs kWh	eta Qi kWh	Q h kWh
Jan.	-1,18	31,00	17.378	12.156	0,998	3.384	8.693	17.457
Feb.	1,02	28,00	14.210	9.940	0,994	4.625	7.817	11.709
Mär.	5,21	31,00	12.585	8.803	0,975	5.632	8.487	7.268
Apr.	9,97	23,68	8.726	6.104	0,883	5.243	7.442	1.692
Mai	14,44		5.665	3.962	0,616	4.098	5.366	-
Jun.	17,99		2.907	2.033	0,335	2.114	2.823	-
Jul.	19,77		1.671	1.169	0,184	1.241	1.599	-
Aug.	19,01		2.245	1.571	0,249	1.644	2.172	-
Sep.	15,55		4.680	3.273	0,542	3.320	4.569	-
Okt.	10,10	23,45	8.922	6.241	0,905	4.680	7.878	1.971
Nov.	4,20	30,00	12.918	9.036	0,992	3.573	8.356	10.025
Dez.	-0,10	31,00	16.566	11.588	0,999	2.776	8.694	16.685
		198,13	108.473	75.876		42.331	73.895	66.807 kWh



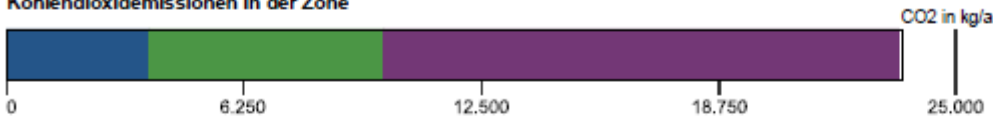
Anlagentechnik des Gesamtgebäudes

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme

Gebäude

Nutzprofil: Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten

Kohlendioxidemissionen in der Zone



Primärenergie, CO2 in der Zone		Anteil	PEB kWh/a	CO2 kg/a
RH	Abluftwärmepumpe Strom (Liefermix)	100,0	9.515	1.325
RH	Abluftwärmepumpe Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	100,0	50.623	1.866
TW	Warmwasser Fernwärme Strom (Liefermix)	100,0	38.371	5.343
TW	Warmwasser Fernwärme Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	100,0	20.374	751
SB	Haushaltsstrombedarf Strom (Liefermix)	100,0	97.380	13.561

Hilfsenergie in der Zone		Anteil	PEB kWh/a	CO2 kg/a
RH	Abluftwärmepumpe Strom (Liefermix)	100,0	4.176	581
TW	Warmwasser Fernwärme Strom (Liefermix)	100,0	715	99

Energiebedarf in der Zone		versorgt BGF m²	Lstg. kW	EB kWh/a
RH	Abluftwärmepumpe	2.623,05	35	37.477
TW	Warmwasser Fernwärme	2.623,05		36.275
SB	Haushaltsstrombedarf	2.623,05		59.742

Konversionsfaktoren

Konversionsfaktoren zur Ermittlung des PEB (f_{PE}), des nichterneuerbaren Anteils des PEB ($f_{PE,n.em.}$), des erneuerbaren Anteils des PEB ($f_{PE,em.}$) sowie des CO2 (f_{CO2}).

	f_{PE}	$f_{PE,n.em.}$	$f_{PE,em.}$	f_{CO2} g/kWh
Strom (Liefermix)	1,63	1,02	0,61	227
Fernwärme aus Heizwerk (erneuerbar)	1,60	0,28	1,32	59

Abluftwärmepumpe

Bereitstellung: RH-Wärmebereitstellung zentral (35,00 kW), Wärmepumpe, bivalent-paralleler Betrieb (10 °C), Abluftwärmepumpe, eigene Angabe für COP N (COP N = 4,00), modulierend, Fernwärme

Jahresarbeitszahl 3,22 -
 Jahresarbeitszahl gesamt (inkl. Hilfsenergie) 3,22 -

Speicherung: Heizungsspeicher (Wärmepumpe) (1994 -), Anschlussstelle gedämmt, mit E-Patrone, Aufstellungsort nicht konditioniert, Nenninhalt, eigene Angabe (Nenninhalt: 3.000 l)

Verteilungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen gedämmt

Anlagentechnik des Gesamtgebäudes

Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme

Steigleitungen: Längen pauschal proportional, Lage konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen gedämmt

Anbindeleitungen: Längen pauschal, 3/3 gedämmt, Armaturen gedämmt

Abgabe: Einzelraumregelung mit P-I-Regler und räumlich angeordnetem Raumthermostat, Flächenheizung, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung, Flächenheizung (40 °C / 30 °C), gleitende Betriebsweise

	Verteilungen	Steigleitungen	Anbindeleitungen
Gebäude	0,00 m	209,84 m	734,45 m
unkonditioniert	108,22 m	0,00 m	

Fernwärme

Bereitstellung: RH-Wärmebereitstellung zentral (35,00 kW), Nah-/Fernwärme oder sonstige Wärmetauscher, Sekundärkreis

Speicherung: kein Speicher

Verteilungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Steigleitungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Anbindeleitungen: Längen pauschal, 2/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Abgabe: Einzelraumregelung mit P-I-Regler und räumlich angeordnetem Raumthermostat, Flächenheizung, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung, Flächenheizung (40 °C / 30 °C), gleitende Betriebsweise

Warmwasser Fernwärme

Bereitstellung: WW- und RH-Wärmebereitstellung kombiniert, Abluftwärmepumpe

Speicherung: Kein Warmwasserspeicher

Verteilungen: Längen pauschal, nicht konditioniert, 2/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Steigleitungen: Längen pauschal proportional, Lage konditioniert, 3/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt

Zirkulationsleitung: mit Zirkulation, Längen und Lage wie Verteil- und Steigleitung

Stichleitung: Längen pauschal, Kunststoff (Stichl.)

Abgabe: Zweigniffarmaturen, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung

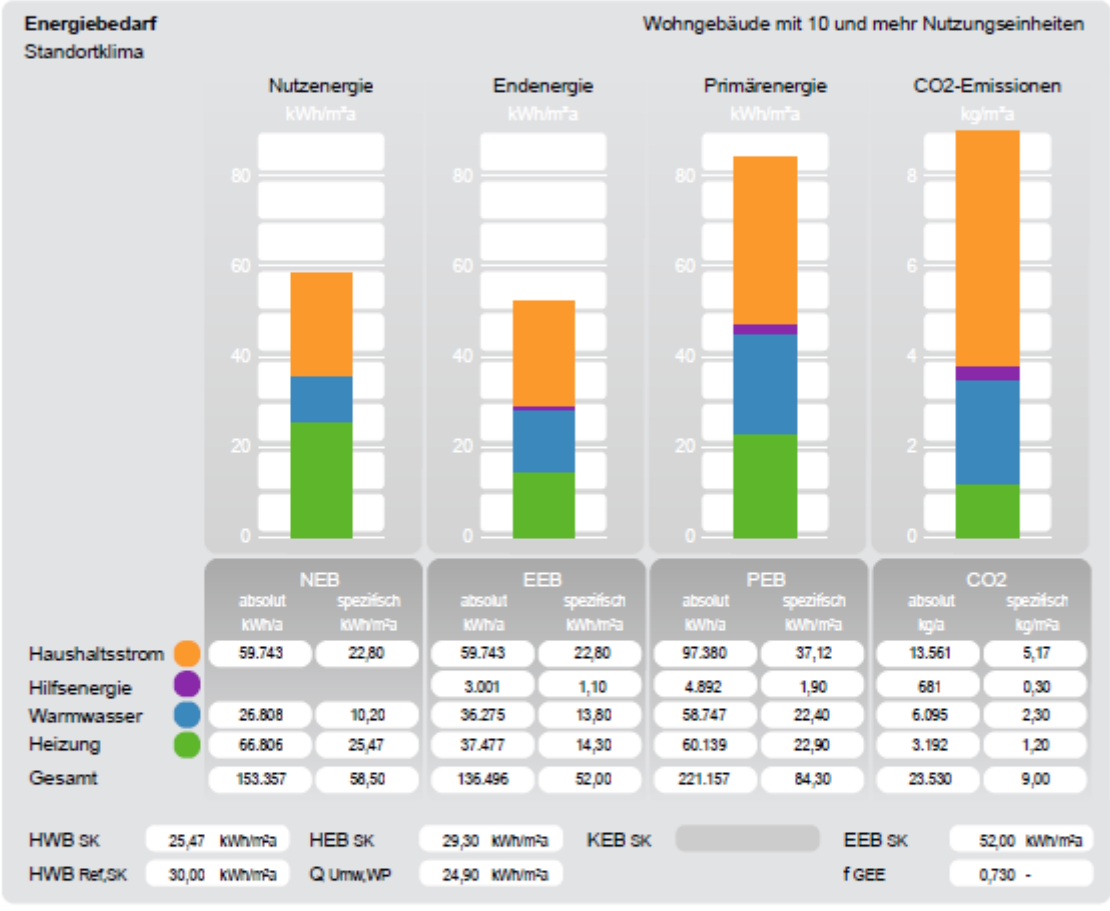
	Verteilungen	Steigleitungen	Stichleitungen
Gebäude	0,00 m	104,92 m	419,68 m
unkonditioniert	34,27 m	0,00 m	

	Zirkulationsverteilungen	Zirkulationssteigleitungen
Gebäude	0,00 m	104,92 m
unkonditioniert	33,27 m	0,00 m

Datenblatt - ArchiPHYSIK Referenzgebäude Abluftwärmepumpe + Fernwärme

Gebäudedaten: Gebäude

Brutto-Grundfläche	2.623,05 m ²	charakteristische Länge (lc)	3,14 m
Konditioniertes Brutto-Volumen	7.777,36 m ³	Kompaktheit (AV)	0,32 1/m
Gebäudehüllfläche	2.476,28 m ²		



Gebäude mit Bezugs-Transmissionsleitwert Wohngebäude mit 10 und mehr Nutzungseinheiten
Standortklima

HWB 26	42,55 kWh/m²a	$26 \cdot (1 + 2 / lc)$					
HWB 26,SK	43,56 kWh/m²a	HEB 26,SK	27,00 kWh/m²a	KEB 26		EEB 26,SK	50,00 kWh/m²a
		Q Umw,WP26	44,20 kWh/m²a	KB Def,NP			

7.2.2 Lüftungswärmeverluste der einzelnen Betriebskonzepte

In den folgenden Abbildungen werden die Lüftungswärmeverluste der einzelnen Betriebskonzepte ohne Wärmerückgewinnung berechnet nach (F5)[2] stundenweise dargestellt.

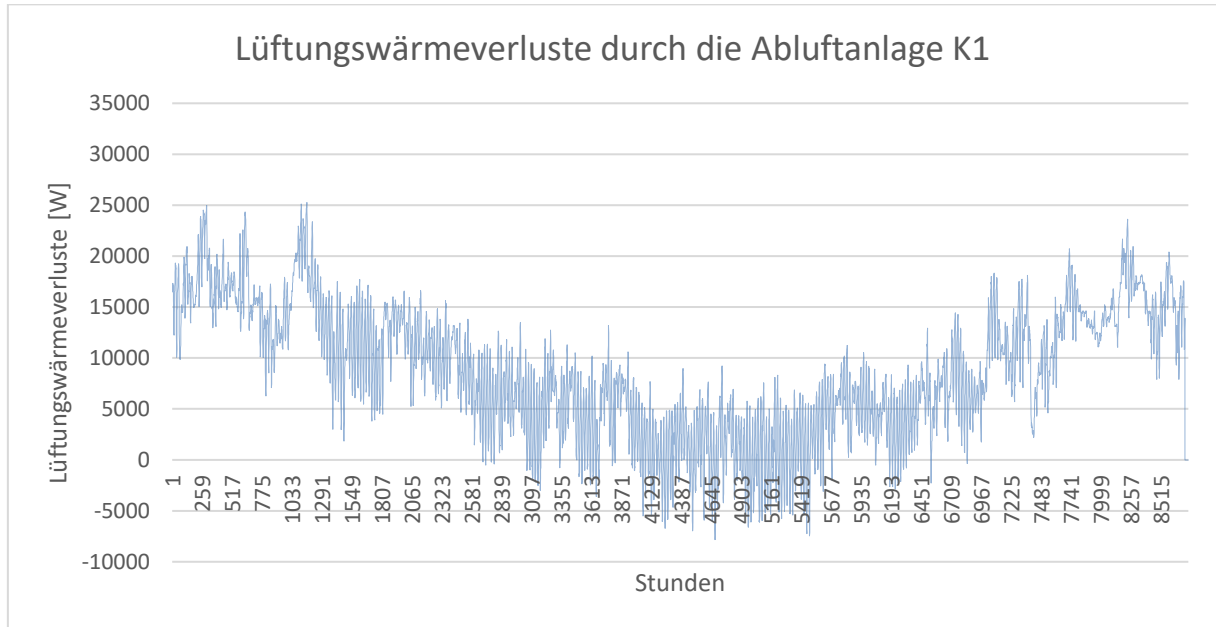


Abbildung 76: Lüftungswärmeverluste K1 stundenweise über das Jahr

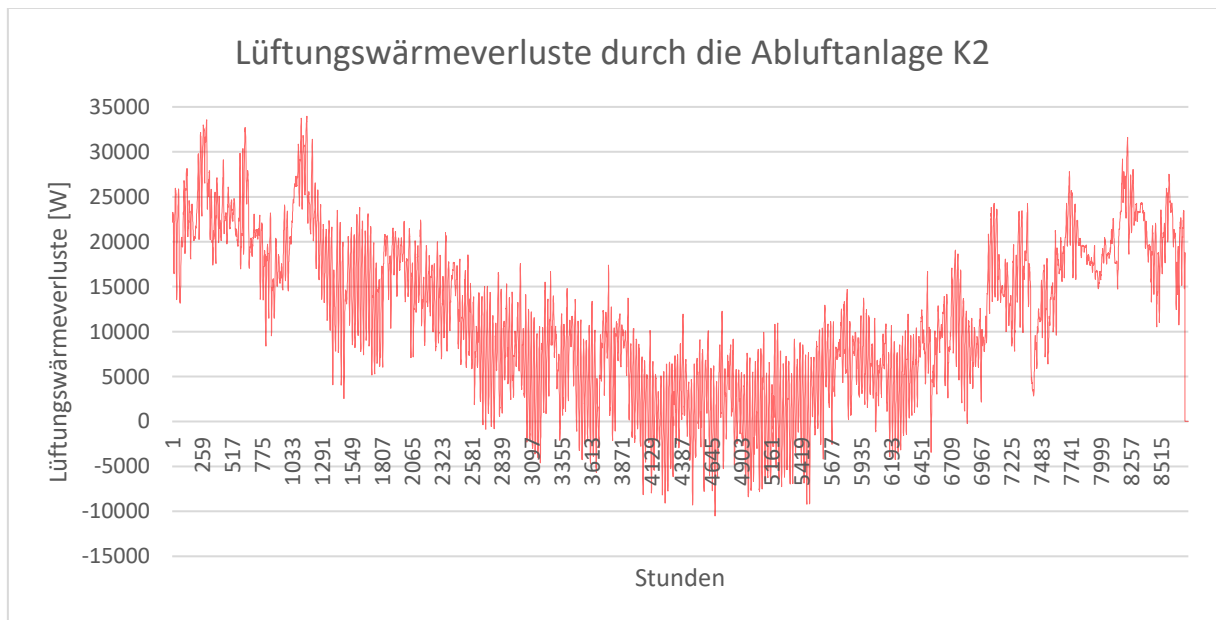


Abbildung 77: Lüftungswärmeverluste K2 stundenweise über das Jahr

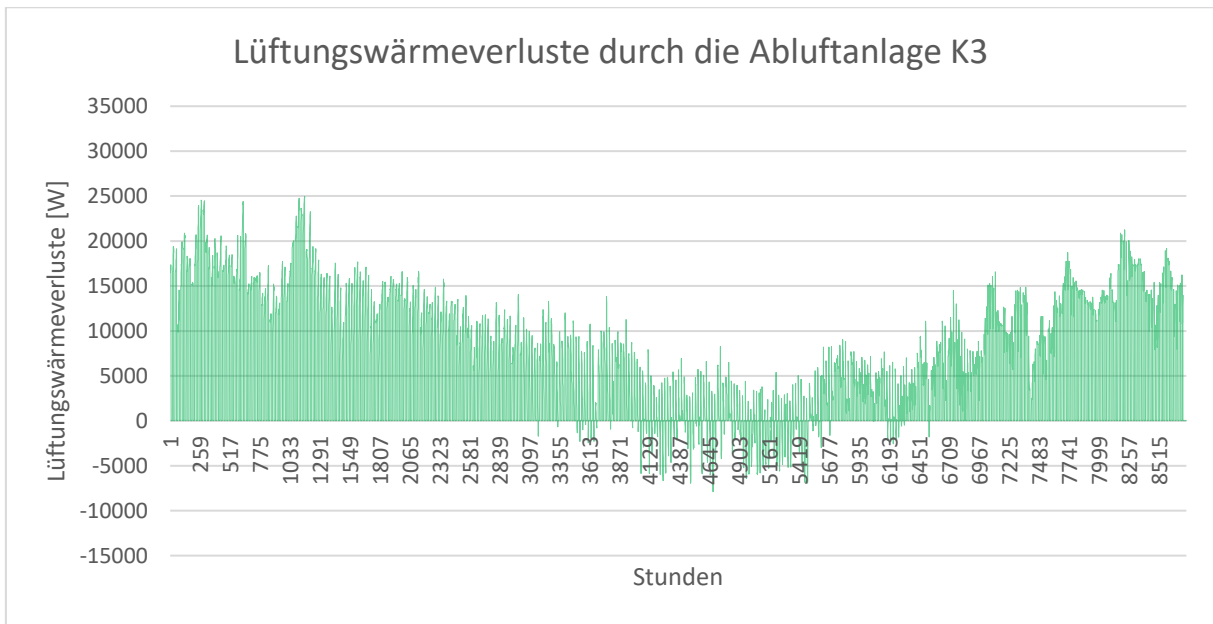


Abbildung 78: Lüftungswärmeverluste K3 stundenweise über das Jahr

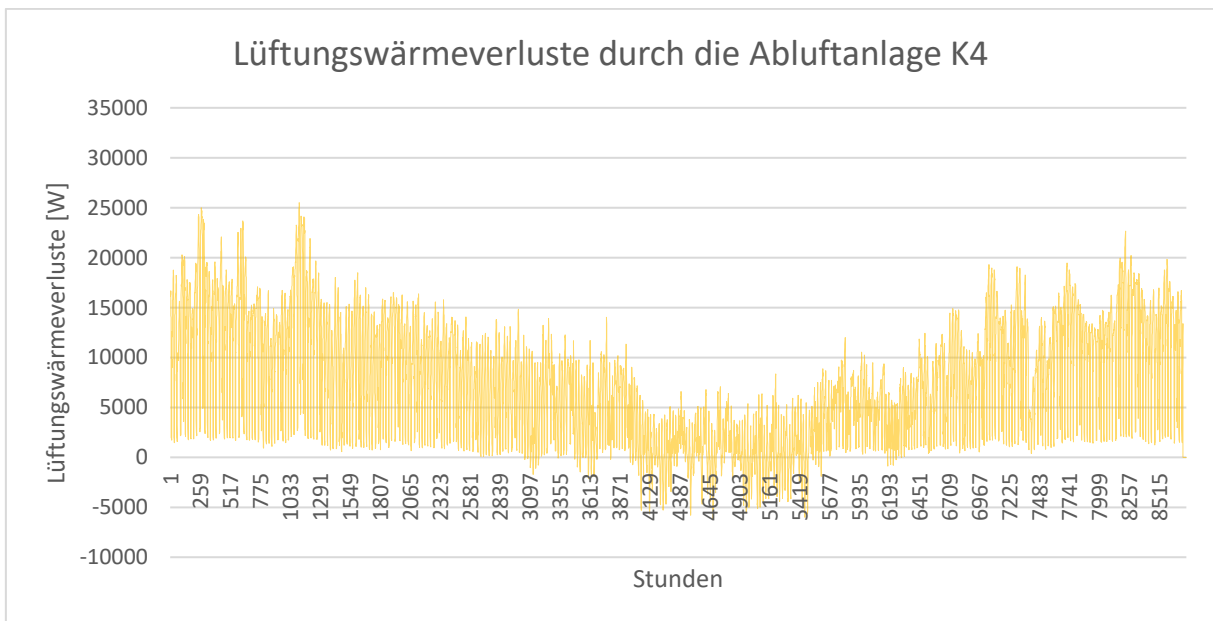


Abbildung 79: Lüftungswärmeverluste K4 stundenweise über das Jahr

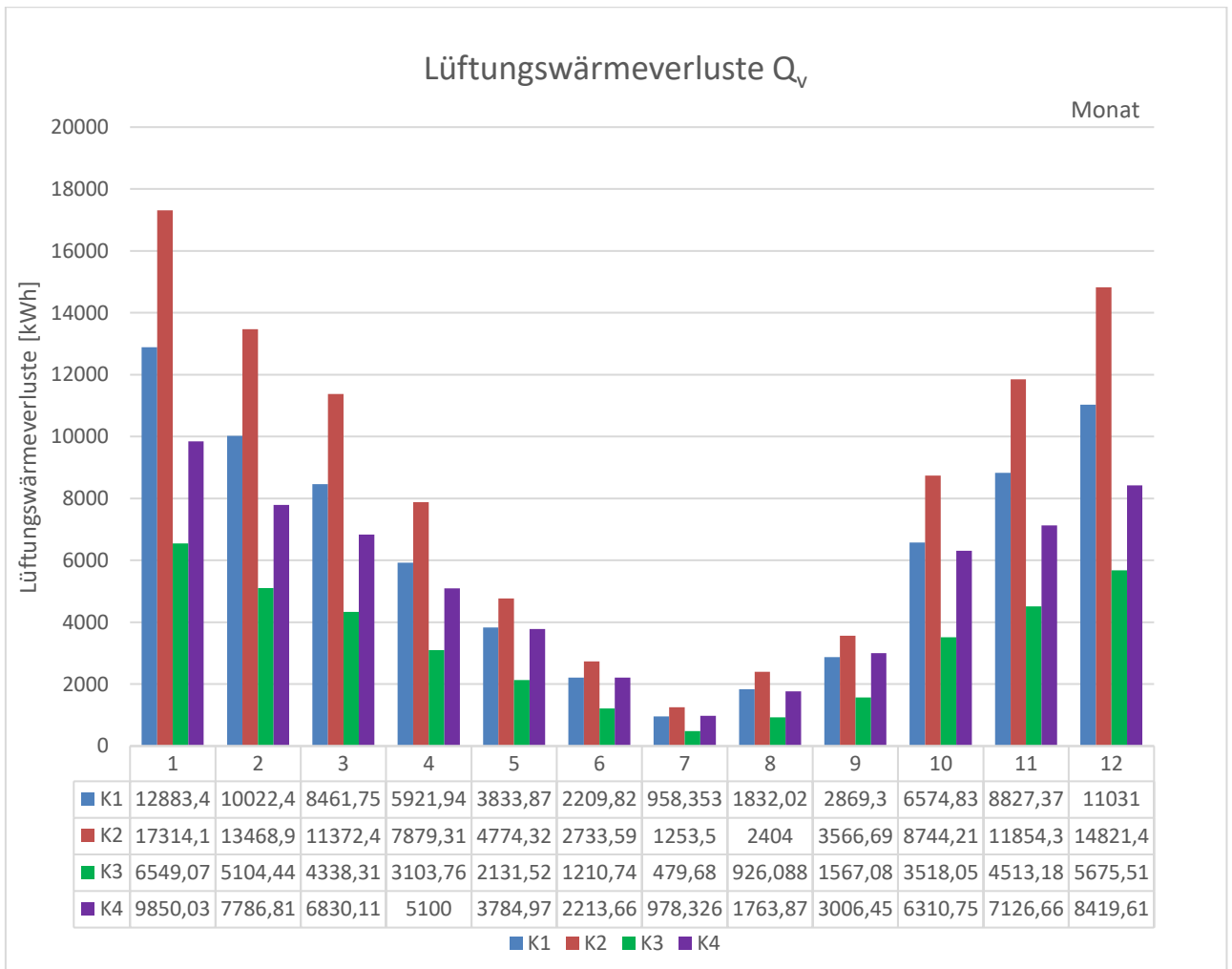


Abbildung 80: Monatliche Lüftungswärmeverluste K1-K4 mit Berechnungsergebnissen im Vergleich