



Technische Universität Graz
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

Bojan Živković, BSc

Sommerliche Überwärmung in Bestandsgebäuden und deren Sanierung (mit Innendämmung)

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur
Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

Eingerichtet an der
Technischen Universität Graz

Betreuer:

Univ.-Prof. DDr. Peter Kautsch
Dipl.-Ing. Baumeister Johann Hafellner

Institut für Hochbau

Graz, Juni 2019

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 benutzen Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich während meines gesamten Studiums unterstützt haben.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern Slobodan und Nada, die mir dieses Studiums ermöglichten und mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützen. Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Schwester Jelena sowie meinen Freunden, die mich während meines Studiums begleitet haben. Herzlichen Dank meiner Freundin Danijela für ihre grenzenlose Liebe und Geduld.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch sowie bei Herrn Dipl.-Ing. BSc Baumeister Johann Hafellner. Außerdem möchte ich mich bei meinem guten Freund Herrn DI Goran Ivanković für die technische und wissenschaftliche Unterstützung die zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Abschließend möchte ich mich noch bei meinen Studienkollegen für viele unterstützende und beratende Gespräche bedanken.

Kurzfassung

In den letzten Jahren ist die thermische Gebäudesanierung von Bestandsgebäuden aufgrund wirtschaftlicher und ökologischer Umstände zu einem der Hauptthemen geworden. In Österreich befindet sich mehr als 600 000 Wohnungen in Gründerzeitgebäuden, die ungedämmt sind. [26] Die Wände dieser Gebäude sind aus Vollziegelmauerwerk mit hohen Wanddicken gebaut, wobei der Ziegel sehr schlecht hinsichtlich des winterlichen Wärmeschutzes ist. Im Gegensatz zum Wärmeschutz im Winter, wirkt die hohe speicherwirksame Masse der Wände sehr positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz. Die Sanierung der Gründerzeithäuser, neben dem Fenstertausch, ist oft nur mit einer Innendämmung möglich. Der Grund dafür liegt darin, dass die große Anzahl dieser Gebäude unter Denkmalschutz steht oder die Altstadtkommission erlaubt die Sanierung der Außenwände von außen nicht. Die Anwendung der Innendämmung könnte negative Auswirkungen, aufgrund der Abnahme der speicherwirksamen Masse, auf die sommerliche Raumbehaglichkeit haben und die Untersuchung dieser möglichen negativen Auswirkungen ist eins der Ziele dieser Arbeit.

In der vorliegenden Masterarbeit wird der Einfluss der Innendämmung auf die sommerliche Überwärmung an Bestandsgebäuden untersucht. Dafür werden zwei Modelle mit zwei unterschiedlichen Nutzungen, Wohn- und Büronutzung, definiert. Neben den unterschiedlichen Nutzungen werden die Sanierungsmaßnahmen der Außenwände mittels sechs verschiedenen Innendämmsystemen mit zugehörigen Bauteilaufbauten festgelegt.

Um den Einfluss der verwendeten Innendämmungen zu analysieren, wird es notwendig, die U-Werte und die speicherwirksamen Massen der Außenwände zu berechnen. Dafür wird das Berechnungstool von Htflux, das nach dem Berechnungsverfahren der ÖNORM EN ISO 13786 [16] rechnet, verwendet. Einen weiteren Aspekt stellt die Analyse des Einflusses des Wärmeübergangswiderstandes auf die Berechnung der speicherwirksamen Masse dar. Um diesen Einfluss festzulegen, wird die Berechnung der Speichermasse mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes durchgeführt.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird der Nachweis zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung, gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren für beide Modelle durchgeführt. Für diese Berechnungen wird die Software GEQ verwendet. Zusätzlich zu diesen Berechnungen laut Norm wird in dieser Arbeit auch eine Gebäudesimulation durchgeführt. Neben den unterschiedlichen Innendämmsystemen, stellt die Lüftung einen wichtigen Parameter dar. Durch vier verschiedene Lüftungsvarianten wird der Einfluss der Lüftung auf die Raumlufttemperatur analysiert. Für die Simulationen wird die Simulationssoftware IDA ICE verwendet.

Abschließend wird ein Vergleich zwischen den Simulationsergebnissen und den tatsächlich gemessenen Temperaturwerten als auch eine Gegenüberstellung zwischen den Ergebnissen der Gebäudesimulation und der Berechnungen gemäß derzeit gültiger ÖNORM B 8110-3 [17] durchgeführt.

Schlagwörter: Bestandsgebäude, Innendämmung, speicherwirksame Masse, sommerliche Überwärmung, Gebäudesimulation

Abstract

In recent years, the thermal renovation of existing buildings has become one of the main issues due to economic and environmental circumstances. There are more than 600,000 apartments in founder-time buildings in Austria that are uninsulated. The walls of these buildings are made of solid brick masonry with high wall thickness, the brick is very bad in terms of winter heat protection. In contrast to the heat protection in winter, the high storage-effective mass of the walls has a very positive effect on the summer heat protection. The renovation of the founder-time houses, in addition to the window replacement, is often possible only with an internal insulation. The reason for this is that the large number of these buildings is under monument protection or the Old Town Commission does not allow the renovation of the outer walls from the outside. The application of interior insulation could have negative effects due to the decrease of the storage-effective mass, on the summer room comfort and the investigation of these possible negative effects is one of the goals of this work.

This master thesis investigates the influence of interior insulation on the summerly overheating of existing buildings. For this are two models with two different uses, residential and office use, defined. In addition to the different uses, the renovation measures of the outer walls are determined by means of six different internal insulation systems with associated component structures.

In order to analyze the influence of the used internal insulation, it becomes necessary to calculate the U-values and the storage-effective masses of the outer walls. For this was used the calculation tool of Htflux, which calculates according to the calculation method of ÖNORM EN ISO 13786 [16]. Another aspect is the analysis of the influence of the heat transmission resistance on the calculation of the storage-effective mass. To determine this influence, the storage-effective mass is calculated with and without consideration of the heat transmission resistance.

Within the scope of this master thesis the proof for avoiding summerly overheating, according to ÖNORM B 8110-3 [17], is carried out with the two calculation methods for both models. For these calculations was used the software GEQ. In addition to these calculations according to the standard, a building simulation is also carried out in this work. In addition to the different internal insulation systems, ventilation is an important parameter. Four different ventilation variants are used to analyze the influence of ventilation on the room air temperature. The simulations software IDA ICE was used for the thermal-dynamical simulations.

Finally, a comparison between the simulation results and the actually measured temperature values as well as a comparison between the results of the building simulation and the calculations is carried out according to currently valid ÖNORM B 8110-3 [17].

Keywords: existing building, interior insulation, storage-effective mass, summerly overheating, building simulation

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Konstruktionsmodelle	4
2.1	Allgemeines	4
2.2	Modell 1 – mit Bestandsgrundriss	5
2.3	Modell 2 – mit vereinfachtem Grundriss	6
2.4	Bauteilaufbauten und Innendämmsysteme	8
2.4.1	<i>Außenwand – Bestand</i>	9
2.4.2	<i>Außenwand mit Q-Therm</i>	10
2.4.3	<i>Außenwand mit Mineralwolle mit Gipskartonplatten</i>	11
2.4.4	<i>Außenwand mit Calsitherm</i>	12
2.4.5	<i>Außenwand mit Multipor Mineraleämmplatten</i>	13
2.4.6	<i>Außenwand mit Aerogel Dämmputzsystem</i>	14
2.4.7	<i>Außenwand mit Renocell Innendämmsystem</i>	15
2.4.8	<i>Zwischenwand</i>	16
2.4.9	<i>Kellerdecke</i>	17
2.4.10	<i>Zwischendecke</i>	18
2.5	Zusammenfassung	19
3	U-Werte und speicherwirksame Massen der Außenwände	20
3.1	Allgemeines	20
3.2	Randbedingungen	20
3.3	Ergebnisse	21
3.3.1	<i>U-Werte der Außenwände</i>	21
3.3.2	<i>Speicherwirksame Massen der Außenwände</i>	23
3.4	Zusammenfassung	26
4	Berechnungsumfang	27
5	Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3	29
5.1	Allgemeines	29
5.2	Annahmen und Randbedingungen	29
5.2.1	<i>Allgemeines</i>	29
5.2.2	<i>Vereinfachtes Verfahren</i>	32
5.2.3	<i>Tagestemperaturverlauf</i>	33
5.3	Ergebnisse	34
5.3.1	<i>Vereinfachtes Verfahren</i>	34
5.3.2	<i>Tagestemperaturverlauf</i>	38
5.4	Interpretation der Ergebnisse	43
5.4.1	<i>Vereinfachtes Verfahren</i>	43
5.4.2	<i>Tagestemperaturverlauf</i>	44
5.5	Zusammenfassung	46
6	Gebäudesimulation	47
6.1	Allgemeines	47
6.2	Simulationsmodell	47
6.3	Annahmen und Randbedingungen	50
6.3.1	<i>Fenster und Verglasung</i>	50
6.3.2	<i>Türen</i>	50
6.3.3	<i>Beleuchtung</i>	51
6.3.4	<i>Lüftung</i>	52
6.3.5	<i>Beschattung</i>	53
6.3.6	<i>Belegung und Anwesenheit</i>	55
6.3.7	<i>Innere Lasten</i>	56
6.4	Klimadaten	57
6.4.1	<i>Allgemeines</i>	57

6.4.2	<i>Wetterdaten</i>	57
6.5	Zusammenfassung	62
7	Simulationsergebnisse	63
7.1	Allgemeines.....	63
7.2	Tabellendarstellung.....	64
7.2.1	<i>Wohnnutzung</i>	64
7.2.2	<i>Büronutzung – Lüftungsvariante 1</i>	65
7.2.3	<i>Büronutzung – Lüftungsvariante 2</i>	66
7.2.4	<i>Büronutzung – Lüftungsvariante 3</i>	67
7.2.5	<i>Büronutzung – Lüftungsvariante 4</i>	68
7.3	Falschfarbendarstellung.....	69
7.3.1	<i>Wohnnutzung</i>	69
7.3.2	<i>Büronutzung – Lüftungsvariante 1</i>	70
7.3.3	<i>Büronutzung – Lüftungsvariante 2</i>	71
8	Interpretation der Simulationsergebnisse	73
8.1	Allgemeines.....	73
8.2	Verlauf der operativen Temperaturen	73
8.2.1	<i>Wohnnutzung</i>	73
8.2.2	<i>Büronutzung</i>	75
8.3	Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur bei der Büronutzung	77
8.4	Gegenüberstellung Simulationsergebnisse vs. gemessene Werte	79
9	Gegenüberstellung Gebäudesimulation vs. Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3	82
10	Zusammenfassung	84
11	Literaturverzeichnis	86
12	Abbildungsverzeichnis	88
13	Tabellenverzeichnis	90
14	Anhang 1	91
15	Anhang 2	95

1 Einführung

Die thermische Gebäudesanierung an Bestandsgebäuden ist notwendig, um deren Energieeffizienz zu verbessern. Mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauchs wird für Warmwassererzeugung, Beleuchtung und Beheizung von Gebäuden benötigt. Ein großer Teil dieser Energie wird bei ungedämmten oder unzureichend gedämmten Häusern über die Gebäudehülle verloren. [1] Um ein Bestandsgebäude richtig zu sanieren wäre es notwendig, neben der Fenstersanierung bzw. eines Fenstertausches auch die opake Gebäudehülle thermisch zu sanieren.

Laut dem österreichischen Bundesdenkmalamt befinden sich in Österreich insgesamt 38.367 unbewegliche Objekte unter Denkmalschutz bzw. historische Objekte. [2] Bei den Objekten unter Denkmalschutz ist das Aussehen der Bestandsfassade sehr wichtig, deswegen ist die thermische Sanierung mit der Außendämmung nicht möglich. In diesem Fall ist die Innendämmung oft die einzige Lösung. [3,4]

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der sommerlichen Überwärmung in Bestandsgebäuden und deren Sanierung mit verschiedenen Innendämmsystemen. Für die Untersuchung wurde ein Bestandsobjekt, das nicht unter Denkmalschutz steht, ausgewählt. Dieses Objekt ist Teil eines Forschungsprojektes des Hochbauinstituts der TU Graz. Im Zuge dieses Forschungsprojekts wurden an diesem Gebäude die Sanierungsmaßnahmen innen (Innendämmung) vorgenommen, weil die Altstadtkommission eine Außendämmung an der Fassade des Objekts nicht zulässt.



Abb. 1: Lage des Objekts [5]



Abb. 2: Das betrachtete Objekt [5]

Das betrachtete Objekt befindet sich in der Mandellstraße 9 (Abb. 1 und Abb. 2), in Graz. Es handelt sich um ein Gründerzeithaus, das im Jahr 1850 erbaut wurde und derzeit als Bürogebäude der Technischen Universität in Graz benutzt wird. Das Objekt wurde als dreigeschossiges Gebäude mit einem unbeheizten Kellergeschoss errichtet. Die Außenwände wurden aus einem Vollziegelmauerwerk gebaut. Im Unterschied zu den oberen

Geschossdecken, welche als Holzbalkendecken ausgeführt sind, wurde die Decke zwischen dem Keller und dem Erdgeschoss als Gewölbedecke (siehe Abb. 3) aufgebaut.



Abb. 3: Gewölbedecke im Keller

Es gibt keine genauen Daten über die Zwischendecke der oberirdischen Geschoße im betrachteten Bestandsgebäude. Deshalb war es notwendig, bestimmte Annahmen betreffend den Aufbau der Zwischendecke festzulegen. Basierend auf dem Baujahr des Objekts (1850) und der gemessenen Dicke der Zwischendecke (ca. 43 cm) wurde angenommen, dass es sich um eine Einschubdecke (Abb. 4), die wahrscheinlich saniert wurde, handelt. [6,7]

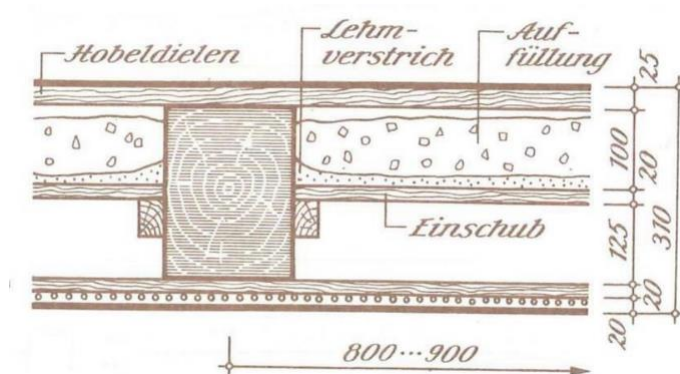


Abb. 4: Einschubdecke [19]

Die Fenster sind Kastenfenster (Abb. 5) mit unterschiedlichen Abmessungen. Es handelt sich um zweiflügelige Stulpfenster mit einflügeligem beziehungsweise zweiflügeligem Oberlicht aus Holz. Als Beschattung im Erdgeschoss dienen innenliegende, weiße Fensterläden aus Holz (Abb. 6). Im Obergeschoss werden weiße Jalousien aus Metall, welche im Kasten liegen, verwendet.



Abb. 5: Kastenfenster

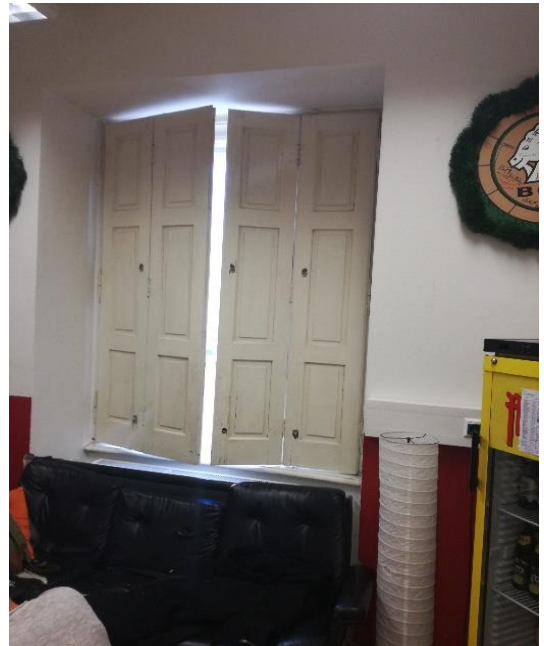


Abb. 6: Fensterladen

2 Konstruktionsmodelle

2.1 Allgemeines

In dieser Arbeit wurde das Bestandsgebäude mit zwei unterschiedlichen Nutzungen, Wohnnutzung und Büronutzung, betrachtet. Aufgrund der komplizierten Gebäudegeometrie (sehr unterschiedliche, springende Dicken der Außen- und Innenwände) wurde für die Eingabe des Modells in die Simulationssoftware eine Vereinfachung der Grundrisse definiert. Demzufolge wurden zwei folgende Modelle (Abb. 7 und Abb. 8) festgelegt:

- Modell 1: mit Bestandsgrundriss
- Modell 2: mit vereinfachtem Grundriss

Die Grundrisse des Modells 1 und des Modells 2 unterscheiden sich darin, dass bei dem Modell 2 mit dem vereinfachten Grundriss die Dicken der Innen- und Außenwände korrigiert wurden und die Raumaufteilung leicht geändert wurde. Die Größe sowie die Position der Fenster und Eingangs- und Innentüren sind bei den beiden Grundrissen der Modelle ident. Für die beiden genannten Modelle wurde die Sanierung der Außenwände mit verschiedenen Innendämmsystemen, die unter Abschnitt 2.4. beschrieben sind, vorgesehen.

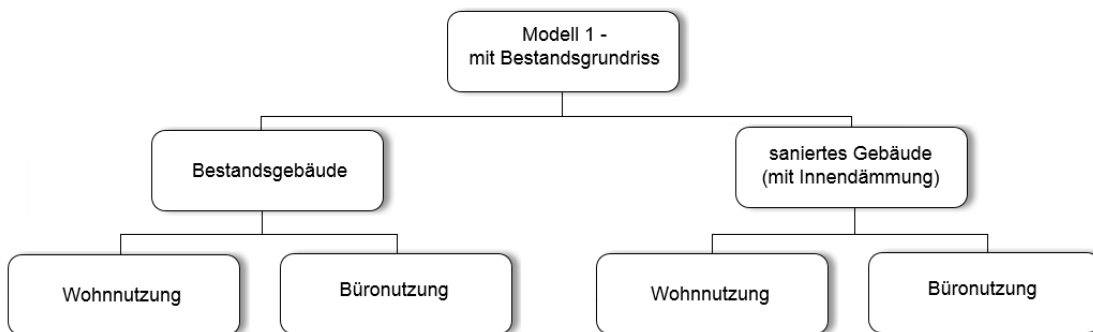


Abb. 7: Modell 1 – Übersicht

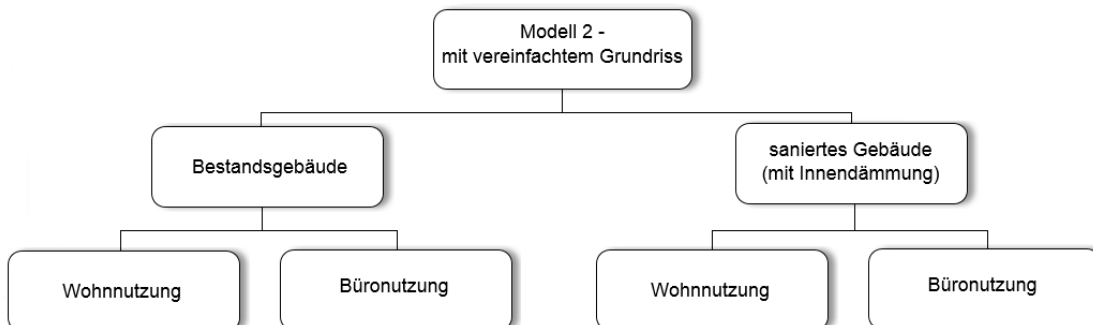


Abb. 8: Modell 2 – Übersicht

2.2 Modell 1 – mit Bestandsgrundriss

Bei Modell 1 wurden zwei Geschosse, das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss betrachtet. Die Wanddicken sind in diesem Modell mit tatsächlichen Maßen festgelegt. Für die beiden Nutzungen ist die Raumaufteilung gleich. Das Erdgeschoss besteht aus 6 Räumen mit einer lichten Höhe von 3,40 m. Im ersten Obergeschoss befinden sich 8 Räume mit einer lichten Höhe von 3,55 m. In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Kenngrößen dargestellt:

Tab. 1: Modell 1 - Kenngrößen

Modell 1 - Kenngrößen			
Erdgeschoss		Obergeschoss 1	
Bezeichnung	Nettofläche [m ²]	Bezeichnung	Nettofläche [m ²]
Raum 1 / Büro 1	30,53	Raum 7 / Büro 7	32,63
Raum 2 / Büro 2	26,47	Raum 8 / Büro 8	27,27
Raum 3 / Büro 3	49,35	Raum 9 / Büro 9	12,20
Raum 4 / Büro 4	24,45	Raum 10 / Büro 10	28,20
Raum 5 / Büro 5	16,90	Raum 11 / Büro 11	24,20
Raum 6 / Büro 6	25,60	Raum 12 / Büro 12	15,96
		Raum 13 / Büro 13	16,22
		Raum 14 / Büro 14	27,82
Fenster und Türen			
Kastenfenster		100/185 cm	
		140/185 cm	
		130/170 cm	
		145/195 cm	
Balkontür		100/275 cm	

In der folgenden Abbildung sind die Grundrisse des Erdgeschosses und Obergeschosses des Modells 1 ersichtlich:

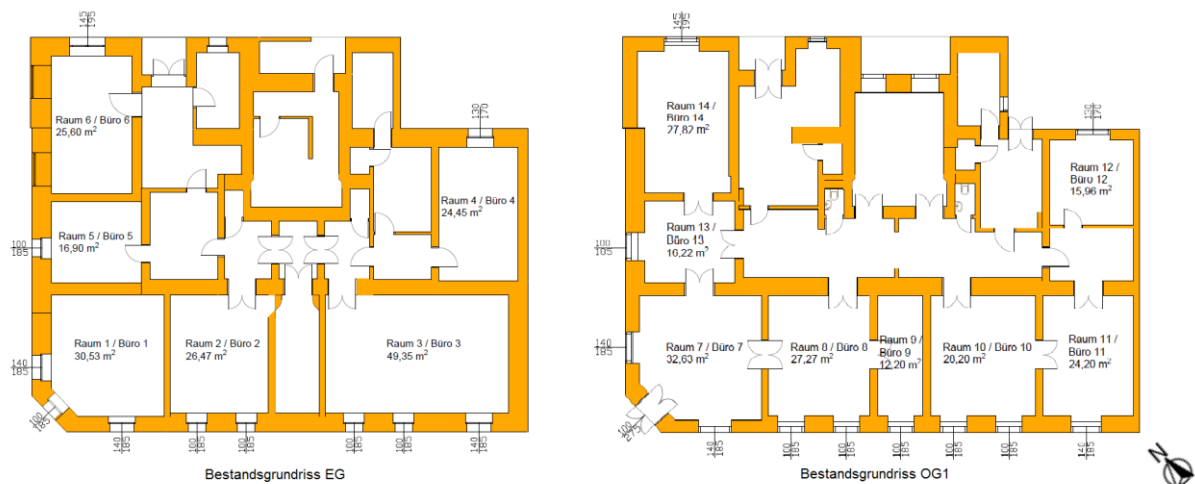


Abb. 9: Modell 1 – Grundrisse

2.3 Modell 2 – mit vereinfachtem Grundriss

Bei Modell 2 mit den vereinfachten Grundrissen wurden, gleich wie bei dem Modell 1, zwei Geschosse betrachtet. Die Vereinfachung wurde so angenommen, dass die Dicke der Außenwände 92 cm und der der Innenwände 35 cm beträgt. Die lichten Höhen der beiden Geschosse sind gleich wie bei den Geschossen des Modells 1 und betragen 3,40 m für das Erdgeschoss und 3,55 m für das Obergeschoss. Bei der Wohnnutzung besteht das Erdgeschoss aus 8 Haupträumen bzw. Aufenthaltsräumen und das erste Obergeschoss besteht aus 10 Aufenthaltsräumen, die als Zonen bezeichnet wurden (siehe Abb. 10). Bei der Büronutzung besteht das Erdgeschoss aus 6 Büros, einer Teeküche, einem Seminarraum, Sanitärräumen und Gängen. Im ersten Obergeschoss befinden sich 8 Büros, eine Teeküche, ein Seminarraum, Sanitärräume und einen Gang. Alle wichtigsten Kenngrößen, wie Raumfläche, Fenster- und Türabmessungen sind in der Tabelle 2 zusammengestellt:

Tab. 2: Modell 2 - Kenngrößen

Modell 2 - Kenngrößen			
Erdgeschoss		Obergeschoss 1	
Bezeichnung	Nettofläche [m²]	Bezeichnung	Nettofläche [m²]
Zone 1 / Büro 1	32,38	Zone 15 / Büro 7	32,38
Zone 2 / Büro 2	30,14	Zone 16 / Büro 8	30,14
Zone 4 / Büro 3	57,40	Zone 17 / Büro 9	11,46
Zone 5 / Büro 4	24,19	Zone 18 / Büro 10	31,65
Zone 7 / Teeküche	20,67	Zone 19 / Büro 11	23,58
Zone 12 / Seminarraum	24,43	Zone 21 / Büro 12	14,65
Zone 13 / Büro 5	23,61	Zone 22 / Teeküche	20,67
Zone 14 / Büro 6	16,72	Zone 23 / Seminarraum	24,43
		Zone 24 / Büro 13	23,61
		Zone 25 / Büro 14	16,72
Fenster und Türen			
Kastenfenster		100/185 cm	
		140/185 cm	
		130/170 cm	
		145/195 cm	
Balkontüren		100/275 cm	
Innentüren		80/200 cm	
		130/200 cm	
Eingangstüren		90/200 cm	
		130/275 cm	

In der folgenden Abbildung sind die Grundrisse des Erdgeschosses und Obergeschosses des Modells 2 dargestellt:

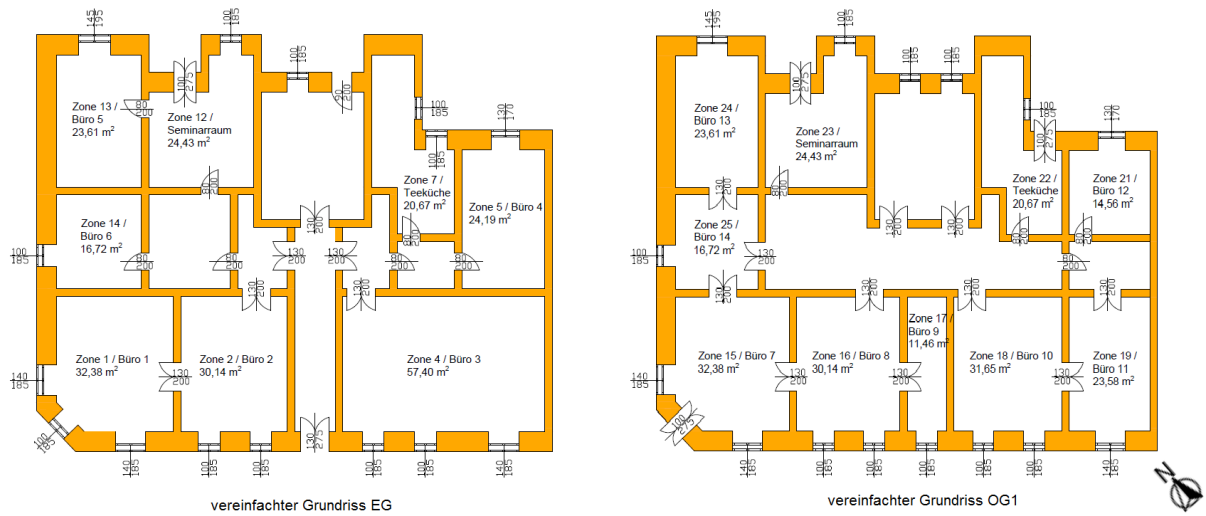


Abb. 10: Modell 2 – Grundrisse

2.4 Bauteilaufbauten und Innendämmsysteme

Wie bereits erwähnt, wurde für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung zwei Modelle festgelegt. Bei dem Modell 1 mit dem Bestandsgrundriss variieren die Dicken der Außenwände von 55 cm bis 100 cm, die Innenwanddicken von 15 cm (bei nichttragenden Wänden) bis zu 92 cm (bei den tragenden Wänden). Aufgrund der vielen unterschiedlichen Dicken der Außen-, bzw. Innenwände bei Modell 1 werden in diesem Abschnitt nur die Aufbauten der Wände des Modells 2 beziehungsweise des vereinfachten Grundrisses erläutert und dargestellt.

Im Zuge dieser Arbeit wurden 6 verschiedene Innendämmsysteme als mögliche Sanierungsmaßnahmen untersucht. Ausgewählt wurden:

- iQ-Therm (Hersteller: *REMMERS Baustofftechnik GmbH*)
- Mineralwolle mit Gipskartonplatten (Hersteller: *ROCKWOOL HandelsgmbH*)
- Calsitherm (Hersteller: *CALSITHERM Silikatbaustoffe GmbH*)
- Multipor Minerale Dämmplatten (Hersteller: *XELLA International GmbH*)
- Aerogel Dämmputzsystem (Hersteller: *RÖFIX AG*)
- Renocell Innendämmsystem (Hersteller: *ISOCELL VertriebsgmbH*)

In Abhängigkeit davon, ob es sich um das Bestandsgebäude oder um das sanierte Gebäude handelt, wurden folgende Bauteilaufbauten verwendet:


Kurzbezeichnung	Bauteiltyp
AW01	Außenwand – Bestand
AW02	Außenwand mit iQ-Therm
AW03	Außenwand mit Mineralwolle mit Gipskartonplatten
AW04	Außenwand mit Calsitherm
AW05	Außenwand mit Multipor Minerale Dämmplatten
AW06	Außenwand mit Aerogel Dämmputzsystem
AW07	Außenwand mit Renocell Innendämmsystem
ZW01	Zwischenwand
KD01	Kellerdecke
ZD01	Zwischendecke

Die Zwischenwände, Zwischendecken und die Kellerdecke sind für das Bestandsgebäude sowie für saniertes Gebäude ident.

Für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung sind die Wärmeleitfähigkeit λ , die spezifische Wärmekapazität c , die Rohdichte ρ und die Dicke d der einzelnen Baustoffschichten erforderlich. Alle im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Bauteile und Baustoffe mit entsprechenden Materialeigenschaften sowie Innendämmsysteme sind auf den nächsten Seiten zusammengefasst und dargestellt.

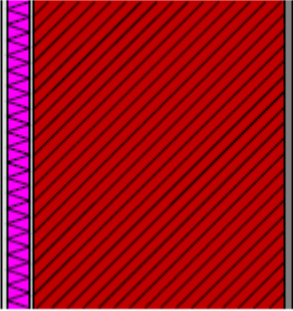
2.4.1 Außenwand – Bestand

Die Außenwände des Bestandsgebäudes wurden mit Vollziegel der Maße 28x14x7 cm gemauert. Als Innen- und Außenputz wurde ein historischer Kalkzementputz verwendet. [8]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW01					
Bauteilbeschreibung					
Bestandsaußenwand aus Altbauziegel					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
2	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
3	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		0,920			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	1,554	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,64	[W/m²K]	


2.4.2 Außenwand mit Q-Therm

Die iQ-Therm Innendämmung besteht aus einer hochdämmenden Polyurethanschaumplatte mit Lochungen. Diese Lochungen stehen senkrecht zur Oberfläche und sind mit einem kapillaraktiven mineralischen Material erfüllt. Die Platten werden mit einem mineralischen Klebemörtel auf die Wand geklebt und mit einem mineralischen Leichtmörtel überputzt. [9]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW02					
Bauteilbeschreibung					
Außenwand mit iQ-Therm					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen					
		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	iQ-Top Innenputz	0,015	0,111	800	1453
2	iQ-Therm 80	0,080	0,033	45	1400
3	iQ-Fix Kleber	0,010	0,497	1500	863
4	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
5	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		1,000			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,103	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,24	[W/m²K]	

2.4.3 Außenwand mit Mineralwolle mit Gipskartonplatten

Diese Variante besteht aus einer nichtbrennbaren Steinwolle-Dämmplatte, die zwischen Stahlblechprofile geklemmt wird. Auf die Mineralwolle wird eine Dampfbremse angebracht und abschließend werden die Gipskartonplatten auf die Unterkonstruktion geschraubt. [10]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW03					
Bauteilbeschreibung					
Außenwand mit Mineralwolle mit Gipskartonplatten					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]
1	Knauf Gelbband Flächenspachtel	0,002	0,800	2700	900
2	Rigips Bauplatte	0,013	0,250	680	960
3	Würth Dampfbremse Wütop DB 10	0,001	0,230	250	792
4a	CW Profil Knauf 100/50/06				
4b	dazw. Rockwoll Sonorock 035	0,100	0,035	33	1030
5	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
6	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		1,011			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m ² K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,438	[m ² K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,23	[W/m²K]	

2.4.4 Außenwand mit Calsitherm

Das System Calsitherm besteht aus Calciumoxid und Siliziumdioxid beziehungsweise aus den natürlichen Rohstoffen Kalk und Sand. Die Xtra Klimaplatte PU ist ein Hybrid-Dämmstoff, der das Calciumsilikat mit Polyurethan kombiniert. Calciumsilikat bildet ein Gerüst aus Mikroporen, der eine hohe Wasseraufnahme erlaubt. Die Klimaplatten werden mit dem KP-Kleber auf die Wand verklebt und mit KP-Kalkglätte verspachtelt. [11]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW04					
Bauteilbeschreibung					
Außenwand mit Calsitherm					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m ³]	[J/kgK]
1	KP – Kalkglätte	0,010	0,570	1340	850
2	Xtra Klimaplatte PU 80mm	0,080	0,031	90	1000
3	KP – Kleber	0,010	0,600	1410	1060
4	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
5	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		0,995			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m ² K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,140	[m ² K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,24	[W/m²K]	

2.4.5 Außenwand mit Multipor Mineraldämmplatten

Multipor Mineraldämmplatten sind ein massiver, mineralischer und monolithischer Wärmedämmstoff aus Calciumsilikat-Hydraten. Bei diesem Innendämmsystem wird der Multipor Leichtmörtel auch als Innenputz verwendet. [12]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW05					
Bauteilbeschreibung					
Außenwand mit Multipor Mineraldämmplatten					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	Multipor Leichtmörtel	0,015	0,155	830	815
2	Multipor Mineraldämmplatte	0,100	0,042	90	1300
3	Multipor Leichtmörtel	0,015	0,155	830	815
4	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
5	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		1,025			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,099	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,24	[W/m²K]	

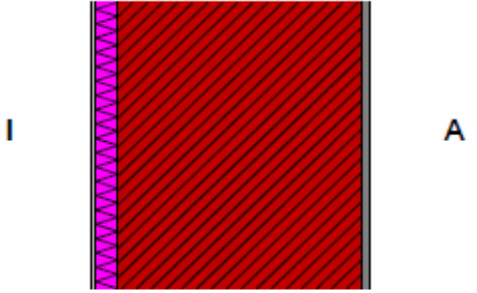
2.4.6 Außenwand mit Aerogel Dämmputzsystem

Der Hauptteil dieses Systems ist FIXIT 222 Aerogel Hochleistungsdämmputz, der maschinell mit einer Verputzmaschine auf die Wand aufgetragen wird. Dieser Hochleistungsdämmputz ist ein mineralischer Putz auf Kalkbasis, in dem das Aerogelgranulat als Leichtzuschlag verwendet wird. [13]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW06					
Bauteilbeschreibung					
Außenwand mit Aerogel Dämmputzsystem					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	RÖFIX 715 Edelputz Spezial	0,005	0,540	1500	1000
2	FIXIT 223 Spezial Armierungsmörtel	0,005	0,470	1250	1000
3	FIXIT 222 Aerogel Hochleistungsdämmputz	0,080	0,028	220	1000
4	RÖFIX 673 Zement Vorspritzmörtel	0,005	0,800	1750	1116
5	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
6	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		0,990			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,407	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,23	[W/m²K]	

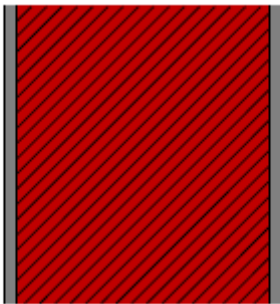
2.4.7 Außenwand mit Renocell Innendämmsystem

Das System Renocell ist ein Innendämmsystem aus Zellulosefasern, das auf die Mauer gesprüht wird. Der Sprühauftrag passt sich jeder Unebenheit nahtlos an. Auf den Zellulosefaserdämmstoff wird der Renocell Innenputz angebracht. [14]

Bauteiltyp					
Außenwand					
Bauteilbezeichnung					
AW07					
Bauteilbeschreibung					
Außenwand mit Renocell Innendämmsystem					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	Renocell Innenputz	0,015	0,225	1024	1090
2	ISOCELL Zellulosefaserdämmstoff	0,100	0,039	54	2110
3	Altbauziegel Dresden ZK	0,870	0,657	1734	919
4	Kalkzementputz Historisch	0,025	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		1,010			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,155	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,24	[W/m²K]	

2.4.8 Zwischenwand

Die Zwischenwände wurden mit dem gleichen Altbauziegel der Abmessungen 28x14x7 cm wie Außenwände gemauert. Als Außenputz sowie als Innenputz wurde auch ein historischer Kalkzementputz verwendet.

Bauteiltyp					
Zwischenwand					
Bauteilbezeichnung					
ZW01					
Bauteilbeschreibung					
Innenwand aus Altbauziegel					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	Kalkzementputz Historisch	0,015	0,820	1800	850
2	Altbauziegel Dresden ZK	0,320	0,657	1734	919
3	Kalkzementputz Historisch	0,015	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		0,350			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,260	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	0,783	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	1,28	[W/m²K]	

2.4.9 Kellerdecke

Für die Kellerdecke wurde eine Vereinfachung getroffen, indem das Gewölbe zwischen dem Kellergeschoss und dem Erdgeschoss als flache Decke ausgebildet wurde. [8] Diese Vereinfachung der Kellerdecke erleichtert die Dateneingaben in die Simulationssoftware und ist in Abbildung 11 dargestellt:

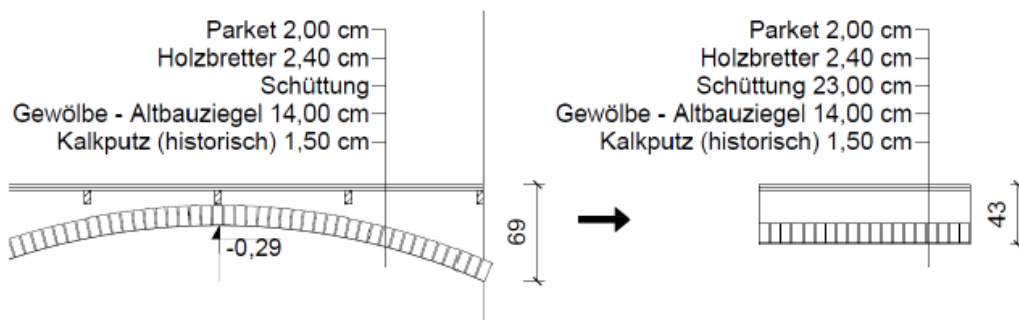


Abb. 11: Vereinfachung der Kellerdecke [8]

Bauteiltyp					
Kellerdecke					
Bauteilbezeichnung					
KD01					
Bauteilbeschreibung		Decke zu unconditioniertem Keller			
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen		d	λ	ρ	c
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[kg/m³]	[J/kgK]
1	Parkett	0,020	0,150	414	2416
2	Holzbretter	0,024	0,280	722	2005
3	Schüttung	0,230	0,320	1730	1233
4	Altbauziegel Dresden ZK	0,140	0,657	1734	919
5	Kalkzementputz Historisch	0,015	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		0,429			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,340	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	1,509	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,66	[W/m²K]	

2.4.10 Zwischendecke

Wie schon in der Einführung geschrieben wurde, ist die Zwischendecke eine historische Einschubdecke. Es ist nicht bekannt, welche Sanierungsmaßnahmen auf die Zwischendecke ausgeführt wurden, deshalb war es notwendig, hier bestimmte Annahmen zu treffen. Es wurde angenommen, dass auf der bestehenden Holzbalkendecke bereits eine Sanierung mittels Trittschalldämmplatte, PE-Folie, Zementestrich und Parkett vorgenommen wurde. [15]

Bauteiltyp					
Zwischendecke					
Bauteilbezeichnung					
ZD01					
Bauteilbeschreibung					
Holzbalkendecke					
Konstruktionsaufbau					
Baustoffschichten					
von innen nach außen					
Nr.	Bezeichnung	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]
1	Parkett	0,020	0,160	740	1600
2	Zementestrich	0,050	0,980	1600	1080
3	PE Folie	0,0001	0,200	1500	1260
4	Trittschalldämmplatte	0,030	0,033	80	810
5	Holzbretter	0,025	0,120	475	1600
6a	Deckenbalken QS 180/260 e=90cm	0,260	0,120	475	1600
6b	dazw. Schüttung	0,120	1,400	1600	1000
6c	dazw. Holzdecke	0,020	0,120	475	1600
6d	dazw. Luftschicht ruhend	0,120	0,667	1	1008
7	Holzbretter	0,025	0,120	475	1600
8	Kalkzementputz Historisch	0,020	0,820	1800	850
Bauteildicke [m]		0,430			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,260	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	2,3529	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient		$U=1 / R_T$	0,43	[W/m²K]	

2.5 Zusammenfassung

Für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung im betrachteten Bestandsgebäude wurden wiederum zwei Modelle definiert:

- Modell 1 – mit Bestandsgrundriss
- Modell 2 – mit vereinfachtem Grundriss

Bei jedem dieser Modelle wurden zwei unterschiedliche Nutzungen festgelegt, Wohn- und Büronutzung. Neben den unterschiedlichen Nutzungen des Gebäudes wurde für die Sanierung der Außenwände ebenfalls 6 unterschiedliche Innendämmsystemen herangezogen. Die Bauteile sind mit den erforderlichen Materialeigenschaften des Bestandsgebäudes sowie des sanierten Gebäudes dargestellt.

3 U-Werte und speicherwirksame Massen der Außenwände

3.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird der Einfluss der verwendeten Innendämmsysteme auf den Wärmedurchgangskoeffizienten und die speicherwirksame Masse der Außenwände des betrachteten Objekts analysiert. Die U-Werte und die speicherwirksame Massen wurden für die Bestandsaußenwand als auch für die sanierten Außenwände berechnet. Für die Berechnung wurde das Berechnungstool von HTflux, welches nach dem Berechnungsverfahren der ÖNORM EN ISO 13786 [16] rechnet, verwendet. Es ist bekannt, dass bei der vereinfachten Berechnung der speicherwirksamen Masse gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] der Wärmeübergangswiderstand vernachlässigt wird. Um einen möglichen Einfluss des Wärmeübergangswiderstandes auf die sommerliche Überwärmung zu untersuchen, wurde die Berechnung der speicherwirksamen Masse mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes durchgeführt.

3.2 Randbedingungen

Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten bzw. der speicherwirksamen Masse der Bauteile sind folgende Materialparameter erforderlich:

- die spezifische Wärmekapazität c ,
- die Wärmeleitfähigkeit λ ,
- die Rohdichte ρ sowie die Dicke d der einzelnen Baustoffschichten

In der Tabelle 3 sind die Eigenschaften von den Hauptteilen der Innendämmsysteme zusammengefasst:

Tab. 3: Materialeigenschaften

Bauteilbezeichnung	Innendämmung	d [m]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]
AW02	iQ-Therm	0,08	0,033	45	1400
AW03	MW mit Gipskartonplatten	0,10	0,035	33	1030
AW04	Calsitherm	0,08	0,031	90	1000
AW05	Multipor Mineralewollplatten	0,10	0,042	90	1300
AW06	Aerogel Dämmputzsystem	0,08	0,028	220	1000
AW07	Renocell Innendämmsystem	0,10	0,039	54	2110

Legende:

- Minimalwert
- Maximalwert

Die Dicken der Basisdämmungen wurden so ausgewählt, dass diese bei jeder Variante der Innendämmung zwischen 8 cm und 10 cm betragen. Höhere Innendämmstärken (mehr als 10 cm) führen zu geringen zusätzlichen Energieeinsparungen, erhöhen aber das Risiko von hygrothermischen Problemen sowie von Wärmebrücken. [4] Es ist aus der Tabelle 3 ersichtlich,

das das Aerogel Dämmputzsystem die niedrigste Wärmeleitfähigkeit λ aufweist, Multipor Mineraldämmplatten im Gegensatz dazu die höchste. Für die meisten Dämmstoffe liegt der Wert der spezifischen Wärmekapazität bei ca. 1000 J/kgK. Hier ist zu bemerken, dass das Renocell Innendämmsystem einen fast doppelt höheren Wert mit 2110 J/kgK besitzt. Die Dichten sind von Dämmstoff zu Dämmstoff recht unterschiedlich, das Aerogel Dämmputzsystem weist hier den höchste Wert auf.

3.3 Ergebnisse

Auf den nächsten Seiten werden die Ergebnisse der Berechnungen der U-Werte und der speicherwirksamen Massen für die Bestandsaußenwand sowie für die sanierten Außenwände dargestellt. Die Außenwände mit den verschiedenen Innendämmsystemen werden mit den gleichen Farben wie in der Tabelle 3 und die Bestandsaußenwand in der blauen Farbe dargestellt.

3.3.1 U-Werte der Außenwände

In Abbildung 12 sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände dargestellt. Im Diagramm ist zu erkennen, dass die Bestandsaußenwand mit der Bezeichnung AW01 den höchsten Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten aufweist. Im Vergleich zur Bestandswand besitzen die sanierten Außenwände deutlich geringere U-Werte.

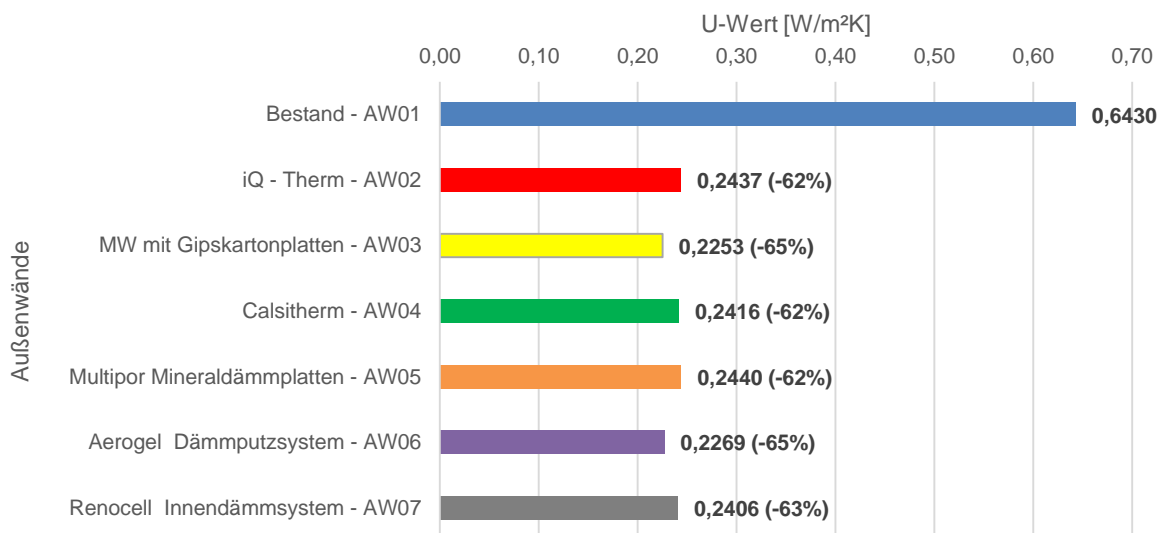


Abb. 12: U-Werte der Außenwände

Im Weiteren ist ersichtlich, dass die Verbesserung der U-Werte von sanierten Außenwänden gegenüber dem U-Wert der Bestandsaußenwand mehr als 60 % beträgt. Die größte Verbesserung von 65% weisen die Außenwände mit Innendämmsystemen aus Mineralwolle mit Gipskartonplatten (AW03) und Aerogel Dämmputzsystem (AW06) auf.

U-Werte und speicherwirksame Massen der Außenwände

Laut der OIB Richtlinie 6 [18] darf der Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände im Neubau den Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten. Bei einer Sanierung der Gebäudehülle sollte dieser Wert um zumindest 12 % besser sein bzw. sollte dieser dann unter einem Wert von $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen. Aus diesem Grund wird der Wert von $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ als der Grenzwert definiert.

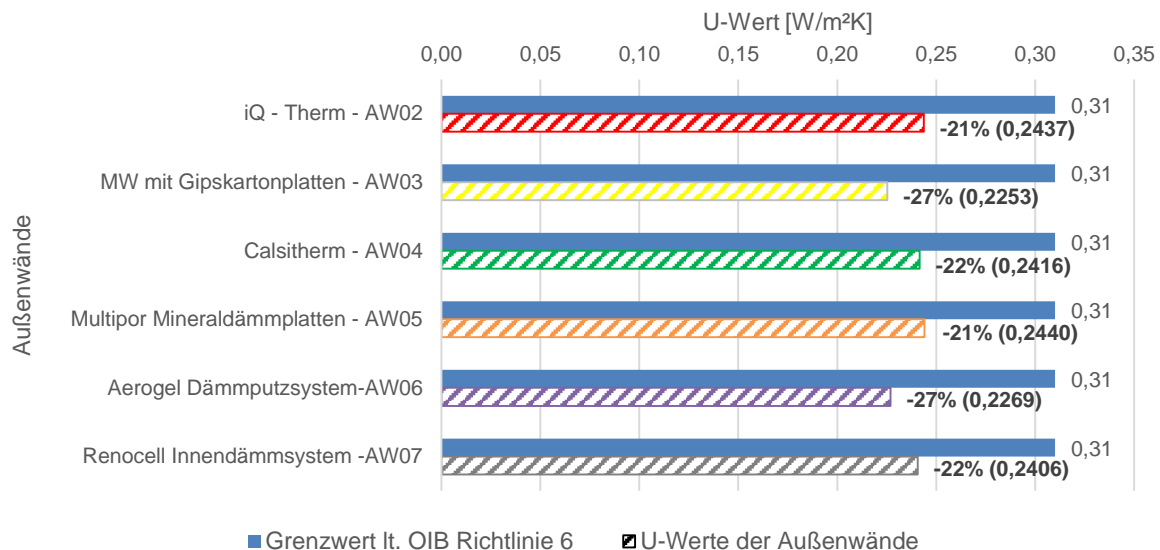


Abb. 13: Vergleich – U-Werte der sanierten Außenwände mit dem Grenzwert lt. OIB Richtlinie 6

Die Abbildung 13 stellt einen Vergleich der U-Werte der sanierten Außenwände mit dem Grenzwert lt. OIB Richtlinie 6 [18] dar. Das Diagramm zeigt, dass bei allen sanierten Außenwänden, der Wärmedurchgangskoeffizient unterhalb des Grenzwertes von $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegt, wobei die minimale Verbesserung des U-Wertes 21 % beträgt.

3.3.2 Speicherwirksame Massen der Außenwände

Der Begriff „speicherwirksame Masse“ wird für die Kenngröße verwendet, die zur Kennzeichnung der wirksamen Wärmespeicherkapazität von Bauteilen für die Zeitperiode von 24 Stunden herangezogen wird. [17] Die speicherwirksame Masse stellt die Fähigkeit eines Bauteils dar, Wärme aufnehmen zu können und diese gespeicherte Wärme in der Nacht wieder abgeben zu können. Bei der Sanierung der Bestandsgebäude werden gewöhnlich die Außenwände von außen gedämmt, wenn dies nicht möglich ist, wird eine Innendämmung verwendet. In diesem Fall wird oft die speicherwirksame Masse reduziert. [19] Ein Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss von Innendämmsystemen bzw. reduzierten speicherwirksamen Masse auf das sommerliche Überwärmungsrisiko festzulegen.

Wie schon im Abschnitt 3.1 beschrieben, wurde die speicherwirksamen Massen mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes berechnet. In der Abbildung 14 sind die speicherwirksamen Massen mit Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes dargestellt:

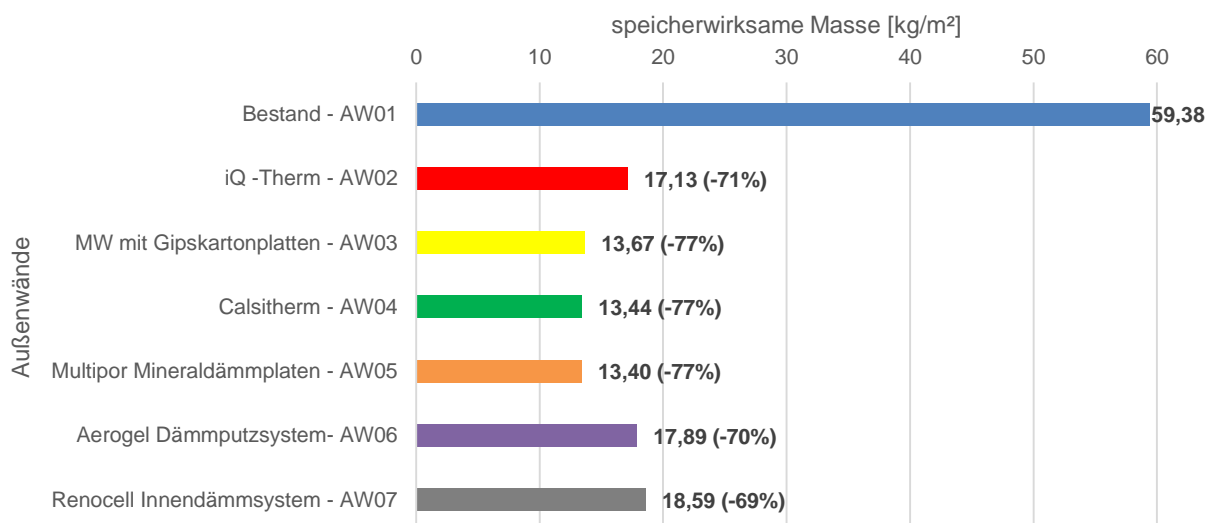


Abb. 14: speicherwirksame Massen mit dem Wärmeübergangswiderstand

Es ist ersichtlich, dass die Bestandsaußenwand (AW01) die größte speicherwirksame Masse von 59,38 kg/m² besitzt. Die sanierten Außenwände weisen eine speicherwirksame Masse von 13,40 kg/m² bei Multipor Mineraldämmplatten (AW05) bis zu 18,59 kg/m² bei Renocell Innendämmsystem (AW07) auf. Der maximale Unterschied zwischen den sanierten Außenwänden beträgt 28 %. Im Vergleich zu der Speichermasse der Bestandsaußenwand ist diese bei den sanierten Außenwänden um ca. 70 % geringer.

Bei der Berechnung der sommerlichen Überwärmung laut ÖNORM B 8110-3 [17] wird die speicherwirksame Masse beim vereinfachtem Verfahren ohne die Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes errechnet. Die Abbildung 15 stellt die speicherwirksamen Massen der Außenwände ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes dar:

U-Werte und speicherwirksame Massen der Außenwände

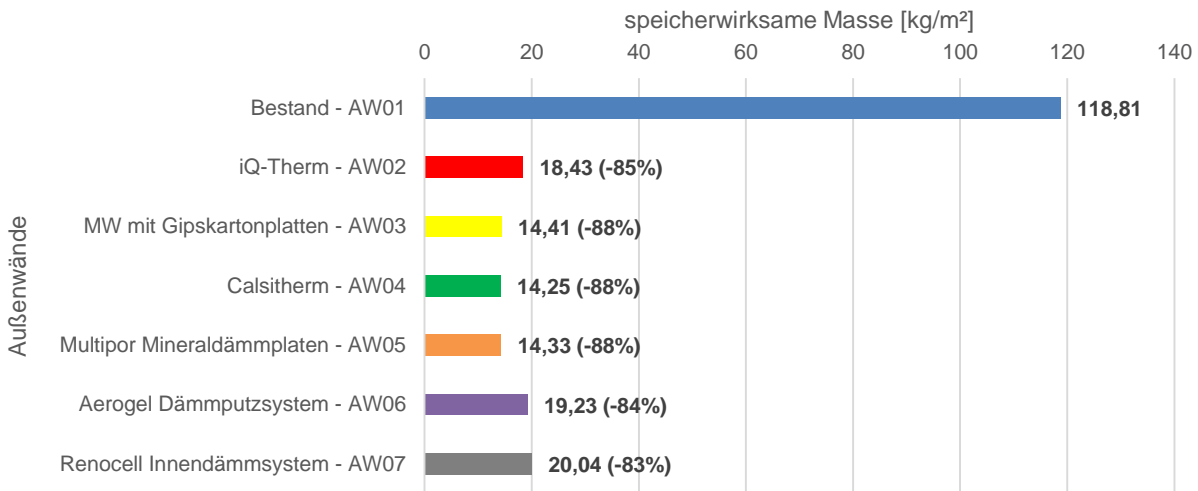


Abb. 15: speicherwirksame Massen ohne Wärmeübergangswiderstand

Das Diagramm 15 zeigt, dass wie bei den speicherwirksamen Massen mit Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes die Bestandsaußenwand (AW01) die größte speicherwirksame Masse von 118,81 kg/m² besitzt. Im Vergleich zu der Bestandsaußenwand weisen die sanierten Außenwände um mehr als 80 % niedrigere Werte auf. Der maximale Unterschied zwischen den sanierten Wänden beträgt 28 %.

In der Abbildung 16 ist ein Vergleich zwischen den speicherwirksamen Massen der Außenwände mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes dargestellt:

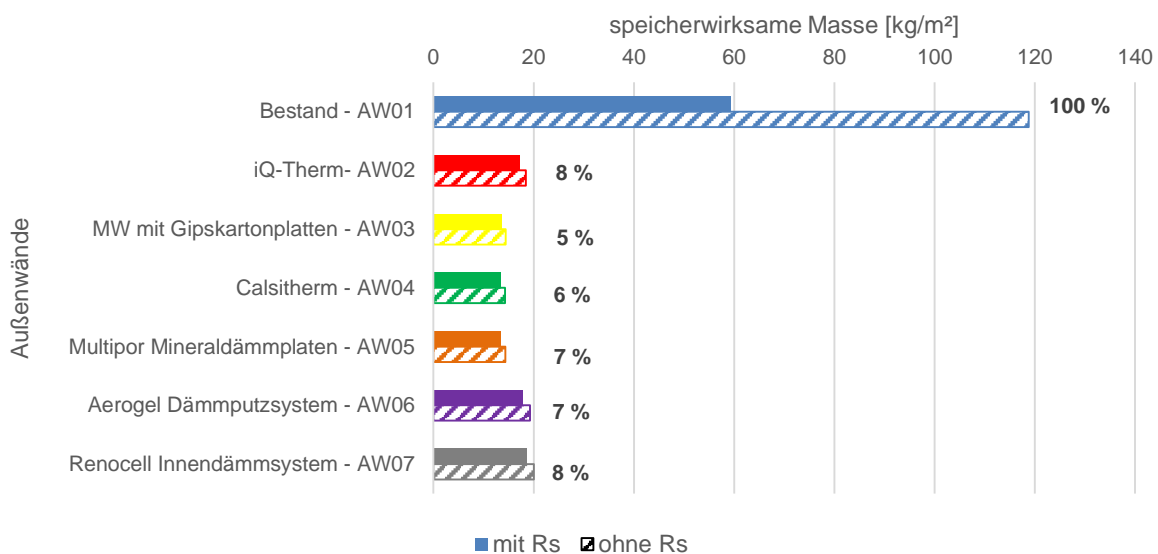


Abb. 16: Vergleich – speicherwirksame Massen mit und ohne Wärmeübergangswiderstand

Es ist evident, dass die speicherwirksamen Massen, die ohne Wärmeübergangswiderstand berechnet wurden, deutlich höhere Werte als die speicherwirksamen Massen mit Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstands aufweisen. Der größte Unterschied ist bei der Bestandsaußenwand (AW01) feststellbar, die speicherwirksame Masse ohne Wärmeübergangswiderstand ist hier um 100% größer. Bei den Außenwänden mit Innendämmsystemen sind diese Unterschiede sehr klein und liegen zwischen 5 % und 8 %.

Aus den soeben erwähnten Erkenntnissen lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass die Berechnung der speicherwirksamen Masse, mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes, die größten Unterschiede bei den Bauteilen mit höheren speicherwirksamen Massen aufweist. Im Weiteren kann man schlussfolgern, dass die Innenschichten der Wände eine entscheidende Rolle betreffend der speicherwirksamen Masse spielen.

3.4 Zusammenfassung

Die Anwendung der Innendämmung führt zur Reduktion der U-Werte der Außenwände aber auch zu einer Verringerung der speicherwirksamen Masse. Um den Einfluss der verwendeten Innendämmsysteme zu analysieren, wurde es notwendig, die U-Werte und die speicherwirksamen Massen der Außenwände zu berechnen. Die für die Berechnung erforderlichen Materialeigenschaften der Innendämmsysteme wurden zusammengefasst und verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verbesserung der U-Werte von sanierten Außenwänden gegenüber dem U-Wert der Außenwand des Bestandsgebäudes mehr als 60 % beträgt. Die U-Werte der sanierten Außenwände liegen deutlich unterhalb des Grenzwertes gemäß OIB-Anforderung für Sanierungen von Bauteilen, die minimale Verbesserung beträgt 21 %.

Die speicherwirksamen Massen der Außenwände wurden mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes ausgerechnet. In beiden Fällen besitzt die Bestandsaußenwand die größte speicherwirksame Masse. Die Unterschiede zwischen den speicherwirksamen Massen der sanierten Außenwände sind sehr gering. Die speicherwirksamen Massen ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes sind größer als die mit Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes. Bei der Bestandsaußenwand ist die speicherwirksame Masse ohne Einbeziehung des Wärmeübergangswiderstands um 100% größer als mit Berücksichtigung. Die Analyse zeigt somit, dass der Einfluss des Wärmeübergangswiderstandes auf die Berechnung der Speichermasse bei der Bestandsaußenwand deutlich größer ist, als bei den sanierten Außenwänden.

4 Berechnungsumfang

Wie bereits beschrieben, wurden für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung im betrachteten Bestandsgebäude zwei Modelle definiert. Bei dem Modell 1 wurde der Bestandsgrundriss beibehalten und bei dem Modell 2 eine Vereinfachung des Grundrisses vorgenommen. Für beide Modelle wurden die Sanierungsmaßnahmen mit sechs verschiedenen Innendämmsystemen und zwei unterschiedlichen Nutzungen (siehe Abb. 7 und Abb. 8) untersucht.

Der Nachweis zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung wurde gemäß derzeit gültiger ÖNORM B 8110-3 [17] mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren, nachgewiesen. Die gesamten Berechnungen wurden mit der Software GEQ durchgeführt.

Nach der Berechnung mittels der Software GEQ beziehungsweise gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] wurden die Ergebnisse der Modelle verglichen. Aufgrund des geringen Temperaturunterschiedes und der schon genannten komplizierten Geometrieingabe des Grundrisses vom Modell 1, wurde nur das Modell 2 für die Gebäudesimulation verwendet. Die Gebäudesimulation wurde mit Hilfe der Simulationssoftware IDA ICE durchgeführt.

Die Kombinationen der verschiedenen Innendämmsysteme mit den Gebäudenutzungen und Lüftungsvarianten bei beiden soeben erwähnten Modellen ergibt insgesamt 77 Berechnungen bzw. Simulationen. Die Tabelle 4 zeigt den Berechnungsumfang aller Berechnungen beziehungsweise der Simulationen, die in dieser Masterarbeit durchgeführt wurden:

Tab. 4: Berechnungsumfang

Simulationsmodell	Gebäudenutzung	Variante	ÖNORM B 8110-3		Gebäudesimulation				
			vereinfachtes Verfahren	Tages-temperatur-verlauf					
Modell 1	Wohnnutzung	Bestand	✓	✓	✗				
		iQ-Therm	✓	✓	✗				
		MW mit Gipskartonplatten	✓	✓	✗				
		Calsitherm	✓	✓	✗				
		Multipor Mineraleämmplatten	✓	✓	✗				
		Aerogel Dämmputzsystem	✓	✓	✗				
		Renocell Innendämmsystem	✓	✓	✗				
	Büronutzung	Bestand	✗*	✓	✗				
		iQ-Therm	✗*	✓	✗				
		MW mit Gipskartonplatten	✗*	✓	✗				
		Calsitherm	✗*	✓	✗				
		Multipor Mineraleämmplatten	✗*	✓	✗				
		Aerogel Dämmputzsystem	✗*	✓	✗				
		Renocell Innendämmsystem	✗*	✓	✗				
Modell 2	Wohnnutzung	Bestand	✓	✓	✓				
		iQ-Therm	✓	✓	✓				
		MW mit Gipskartonplatten	✓	✓	✓				
		Calsitherm	✓	✓	✓				
		Multipor Mineraleämmplatten	✓	✓	✓				
		Aerogel Dämmputzsystem	✓	✓	✓				
		Renocell Innendämmsystem	✓	✓	✓				
	Büronutzung					Lüftungsvarianten			
						ohne Lüftung	08-10	07-10	06-10
		Bestand	✗	✓	✓	✓	✓	✓	
		iQ-Therm	✗	✓	✓	✓	✓	✓	
		MW mit Gipskartonplatten	✗	✓	✓	✓	✓	✓	
		Calsitherm	✗	✓	✓	✓	✓	✓	
		Multipor Mineraleämmplatten	✗	✓	✓	✓	✓	✓	
Aerogel Dämmputzsystem	✗	✓	✓	✓	✓	✓			
Renocell Innendämmsystem	✗	✓	✓	✓	✓	✓			

* vereinfachtes Verfahren ist nur für Wohngebäude zulässig (lt. ÖNORM B 8110-3)

5 Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3

5.1 Allgemeines

In Österreich erfolgt die Berechnung der sommerlichen Überwärmung gemäß ÖNORM B 8110-3. [17] Dafür werden in der oben genannten Norm zwei unterschiedliche Nachweisverfahren angeboten. Das erste Nachweisverfahren ist das vereinfachte Verfahren, bei welchem eine immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse berechnet wird. Die berechnete immissionsflächenbezogene Speichermasse muss größer oder gleich als die mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse sein. Dieses Verfahren darf nur für Wohngebäude angewendet werden und wenn der Tagesmittelwert der Außentemperatur nichts größer als 23 °C ist und die Fenster nachts geöffnet bleiben können. Wichtig ist anzumerken, dass bei der Berechnung der speicherwirksame Masse die Wärmeübergangswiderstände vernachlässigt werden. Das zweite Berechnungsverfahren ist die Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur, wobei die operative Temperatur den Wert von 27 °C nicht überschreiten darf. Zusätzlich muss die operative Temperatur in den Schlaf- und Ruheräumen während der Nachtstunden (von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) unter 25 °C liegen. Bei der Berechnung der operativen Temperatur werden das Außenklima, die innere Lasten und die Lüftungsmöglichkeiten berücksichtigt. [19,20]

5.2 Annahmen und Randbedingungen

5.2.1 Allgemeines

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden beide oben genannte Nachweisverfahren für beide im Abschnitt 2.1 definierten Modelle durchgeführt. Das vereinfachte Verfahren wurde nur für die Wohnnutzung geführt. Die, bei den Modellen verwendeten Bauteilaufbauten wurden schon im Abschnitt 2.4 beschrieben.

Der Standort des Bestandsobjekts ist in Graz, Katastralgemeinde St. Leonhard, mit einer Seehöhe von 353 m.ü.A. Die Normsommeraußentemperatur ist der 24 Stunden Tagesmittelwert mit einer Überschreitungshäufigkeit von 130 Tagen in 10 Jahren und beträgt für diesen Ort 22,3 °C.

Die wichtigsten Kenngrößen der Modelle 1 und Modelle 2 wurden schon in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Bei den Fenstern handelt es sich um Holzkastenfenster (siehe Abb. 5) mit unterschiedlichen Fenstermaßen. Die Fenster wurden mit einem Scheibenabstand von 20 cm gebaut. Die relevanten Kenngrößen der Kastenfenster wurden laut Altbaukonstruktionen und Rechenwerte – Handbuch für Energieberater [21] festgelegt. Der U-Wert vom Glas beträgt 2,90 W/m²K und der Gesamtenergiedurchlassgrad beziehungsweise g-Wert beträgt 0,65. Die Fensterrahmen wurden aus Holz mit einem U_F-Wert von 2,20 W/m²K gefertigt. In der Software GEQ gibt es drei Möglichkeiten für die Nachtlüftung durch die Fenster: zu, offen und gekippt. In der Realität bleibt das Oberlicht dieser Kastenfenster während der Lüftung in den meisten

Fällen geschlossen (siehe Abbildung 31). Aus diesem Grund wurde das Oberlicht als ein separates Fenster modelliert, das immer geschlossen ist. Die Fenstergeometrie und die Fensterabmessungen sind in der Tabelle 5 dargestellt:

Tab. 5: Fenstergeometrie

	Fenster 1	Fenster 2
Fensterabmessung [cm]	145/125	140/120
Oberlichtabmessung [cm]	145/70	140/65
Außenansicht		
	Fenster 3	Fenster 4
Fensterabmessung [cm]	130/120	100/120
Oberlichtabmessung [cm]	130/50	100/65
Außenansicht		

	Balkontür 1	Balkontür 2
Fensterabmessung [cm]	100/275	100/210
Oberlichtabmessung [cm]	-	100/65
Außenansicht		

Die Beschattung wurde wie in der Einführung beschrieben in der Software GEQ entsprechend modelliert. Bei der Verschattung wurden die Vor- und Rücksprünge des Grundrisses als auch der Einfluss der umgebenden Gebäude berücksichtigt. Für die Speichermasse der Einrichtung wurde ein Wert von 38 kg/m² gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] angenommen.

5.2.2 Vereinfachtes Verfahren

Neben den allgemeinen Randbedingungen ist die Definition der Luftwechselzahl für die Berechnung der speicherwirksamen Masse beim vereinfachten Verfahren erforderlich. Die Luftwechselzahl hängt von den vorhandenen Fassadenebenen mit Lüftungsöffnungen ab. Die angenommenen Luftwechselzahlen für die betrachteten Räume der beiden Modelle sind in den folgenden Tabellen 6 und 7 aufgelistet:

Tab. 6: Luftwechselzahl – Modell 1

Geschoss	Raum	Fassadenansichten mit Lüftungsöffnungen	Luftwechselzahl n_L [1/h]
EG	Raum 1	drei Fassadenansichten	3,0
	Raum 2	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 3	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 4	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 5	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 6	eine Fassadenansicht	1,5
OG1	Raum 7	drei Fassadenansichten	3,0
	Raum 8	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 9	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 10	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 11	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 12	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 13	eine Fassadenansicht	1,5
	Raum 14	eine Fassadenansicht	1,5

Tab. 7: Luftwechselzahl – Modell 2

Geschoss	Zone	Fassadenansichten mit Lüftungsöffnungen	Luftwechselzahl n_L [1/h]
EG	Zone 1	drei Fassadenansichten	3,0
	Zone 2	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 4	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 5	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 7	zwei Fassadenansichten	2,5
	Zone 12	zwei Fassadenansichten	2,5
	Zone 13	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 14	eine Fassadenansicht	1,5
OG1	Zone 15	drei Fassadenansichten	3,0
	Zone 16	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 17	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 18	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 19	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 21	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 22	zwei Fassadenansichten	2,5
	Zone 23	zwei Fassadenansichten	2,5
	Zone 24	eine Fassadenansicht	1,5
	Zone 25	eine Fassadenansicht	1,5

5.2.3 Tagestemperaturverlauf

Für die Berechnung des Tagestemperaturverlaufes bzw. für das detaillierte Verfahren wurden zusätzlich die inneren Lasten sowie die Steuerung der Beschattung bzw. der Fensterlüftung für beide Nutzungen festgelegt. Innere Lasten wurden gemäß ÖNORM 8110-3 [17] als 24h-Tageswerte in die Berechnungssoftware definiert. Die Werte der inneren Lasten für die Wohnnutzung beziehen sich auf dem Quadratmeter des Wohnraumes. Bei der Büronutzung werden die inneren Lasten in Abhängigkeit von der Anzahl der Arbeitsplätze in einem Büro bestimmt. Die Anzahl der Personen, die in einem Büro arbeiten, ist nach Arbeitsstättenverordnung [22] festgelegt. In dieser Verordnung steht, dass für einen Arbeiter mindestens 8 m² der Bodenfläche notwendig sind und für jeden weiteren zusätzlich noch 5 m². Die Personenanzahl für Bürogebäude bei beiden Modellen wurde auf Basis der Minimalanforderungen der Bodenfläche bestimmt und ist in der folgenden Tabelle 8 dargestellt:

Tab. 8: Personenanzahl bei Büronutzung

Geschoss	Büro	Modell 1		Modell 2	
		Nettofläche [m ²]	Personenanzahl	Nettofläche [m ²]	Personenanzahl
EG	Büro 1	30,53	5	32,38	5
	Büro 2	26,47	4	30,14	5
	Büro 3	49,35	9	57,40	10
	Büro 4	24,45	4	24,19	4
	Büro 5	16,90	2	23,61	4
	Büro 6	25,60	4	16,72	2
OG1	Büro 7	32,63	5	32,38	5
	Büro 8	27,27	4	30,14	5
	Büro 9	12,20	1	11,46	1
	Büro 10	28,20	5	31,65	5
	Büro 11	24,20	4	23,58	4
	Büro 12	15,96	2	14,65	2
	Büro 13	16,22	2	23,61	4
	Büro 14	27,82	4	16,72	2

Die Steuerung der Beschattung wurde so definiert, dass die Beschattung bei der Wohnnutzung von 12:00 Uhr bis 18:00 Uhr und bei der Büronutzung von 10:00 Uhr bis 18:00 Uhr aktiv ist. Die Verschattung von Nachbargebäuden und von Vor- und Rücksprüngen des betrachteten Gebäudes wurde ebenfalls berücksichtigt.

Die das Wohngebäudes wurde eine Nachtlüftung von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr definiert. Die Lüftungseingabe in der Berechnungssoftware GEQ ist sehr beschränkt. Es gibt nur die Auswahl einer Nachtlüftung mit offenen oder gekippten Fenstern. Eine Nachtlüftung bei dem Büro ist aus Witterungs- und Sicherheitsgründe aber nicht realistisch. Aus diesem Grund wurde für die Büronutzung die Variante ohne eine Nachtlüftung ausgewählt.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Vereinfachtes Verfahren

In dieser Arbeit wurde die Berechnung mit dem vereinfachten Verfahren für beide Modelle, jedoch aber nur für die Wohnnutzung, durchgeführt. In folgender Tabelle 9 sind die immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen der Räume des Modells 1 dargestellt.

Tab. 9: Modell 1 - immissionsflächenbezogene Speicherwirksame Massen

immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse [kg/m ²]									
	Raum	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Minerale-dämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
EG	Raum 1	2 000	17 550	13 596	13 437	13 431	13 434	13 627	13 659
	Raum 2		28 448	25 591	25 477	25 472	25 474	25 614	25 637
	Raum 3		24 017	20 942	20 818	20 814	20 816	20 966	20 991
	Raum 4		60 280	54 766	54 545	54 536	54 540	54 809	54 854
	Raum 5		74 293	64 890	64 514	64 499	64 506	64 965	65 041
	Raum 6		49 521	35 935	35 391	35 370	35 380	36 043	36 153
OGI	Raum 7	2 000	29 265	23 099	22 854	22 850	22 855	23 157	23 207
	Raum 8		49 825	45 023	44 830	44 823	44 826	45 061	45 100
	Raum 9		65 470	61 313	61 146	61 140	61 143	61 346	61 380
	Raum 10		50 522	45 509	45 308	45 301	45 304	45 550	45 590
	Raum 11		60 140	54 327	54 093	54 084	54 088	54 373	54 420
	Raum 12		79 648	69 808	69 412	69 397	69 404	69 888	69 966
	Raum 13		124 982	109 015	108 376	108 351	108 363	109 142	109 271
	Raum 14		90 564	66 302	65 327	65 290	65 308	66 497	66 693

Legende:

- Bestandwert der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse
- Minimalwert der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse
- Maximalwert der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse

Die Ergebnisse des Modells 1 zeigen, dass der Nachweis für das Bestandsgebäude sowie für das sanierte Gebäude mit verschiedenen Innendämmsystemen bei allen betrachteten Räumen leicht erfüllt ist. Im Vergleich zu den Bestandswerten besitzt das System Calsitherm die kleinsten Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse und das Renocell Innendämmsystem die größten Werte. Bei den Räumen, ist ersichtlich, dass der Raum 1 die niedrigsten und der Raum 13 die höchsten Werte der Speichermasse aufweist.

Die Abbildung 17 stellt einen Vergleich der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen zwischen dem Bestandsgebäude und saniertem Gebäude bei dem Modell 1 dar. Für diese Darstellung wurde das System Calsitherm, das die niedrigsten Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse aufweist, ausgewählt.

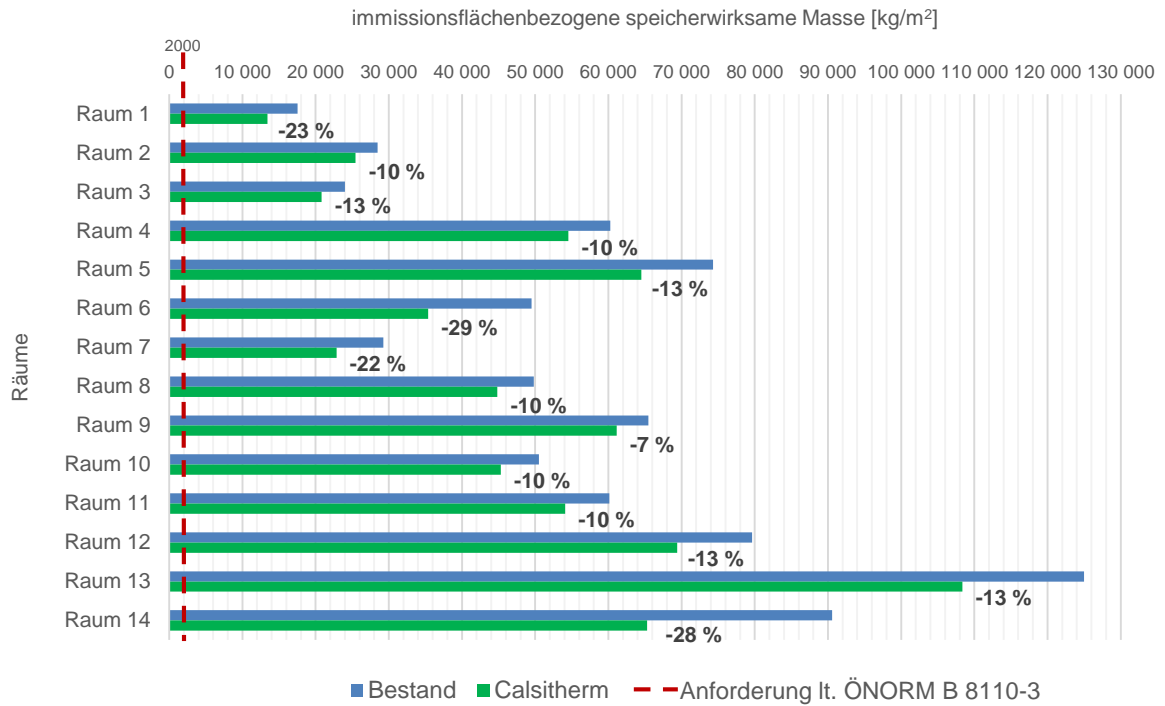


Abb. 17: Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermassen vor und nach Sanierung – Modell 1

Das Diagramm zeigt, dass der maximale Unterschied zwischen immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen zwischen vor und nach Sanierung bei Modell 1 ca. 29 % (Raum 6) beträgt.

In der Tabelle 10 wurden die immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen der Zonen des Modells 2 dargestellt.

Tab. 10: Modell 2 – immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse

immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse [kg/m ²]									
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämmsystem
EG	Zone 1	2 000	18 457	14 336	14 171	14 164	14 167	14 368	14 402
	Zone 2		31 302	28 303	28 183	28 178	28 180	28 327	28 351
	Zone 4		27 342	24034	23 901	23 896	23 899	24 060	24 087
	Zone 5		61 359	55 845	55 624	55 615	55 619	55 889	55 933
	Zone 7		43 249	35 139	34 834	34 819	34 823	35 194	35 260
	Zone 12		59 660	51 120	50 790	50 775	50 780	51 181	51 251
	Zone 13		47 546	33 458	32 899	32 877	32 886	33 567	33 681
	Zone 14		75 897	65 342	64 919	64 903	64 910	65 426	65 511
OG1	Zone 15	2 000	29 386	23 120	22 869	22 859	22 864	23 170	23 220
	Zone 16		53 679	48 630	48 428	48 420	48 424	48 670	48 711
	Zone 17		69 758	66 252	66 112	66 106	66 109	66 280	66 308
	Zone 18		55 404	50 038	49 824	49 815	49 819	50 081	50 124
	Zone 19		60 017	54 786	54 576	54 568	54 572	54 827	54 870
	Zone 21		76 991	67 283	66 895	66 879	66 887	67 360	67 439
	Zone 22		77 244	67 972	62 434	62 409	62 415	63 068	63 185
	Zone 23		103 698	89 103	88 538	88 514	88 522	89 209	89 327
	Zone 24		115 501	88 773	87 713	87 670	87 688	88 981	89 197
	Zone 25		131 220	113 310	112 593	112 565	112 578	113 453	113 597

Legende:

- Bestandswert der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse
- Minimalwert der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse
- Maximalwert der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse

Der Nachweis bei dem Modell 2 ist auch für das Bestandsgebäude sowie für das sanierte Gebäude und für alle betrachtete Räume leicht erfüllt. Das System Calsitherm besitzt im Vergleich zu den Bestandswerten die niedrigsten und das Renocell Innendämmsystem die höchsten Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse. Es ist auch bemerkbar, dass die Zone 1 die geringsten und die Zone 25 die größten Werte der Speichermasse aufweist.

In Abbildung 18 ist ein Vergleich der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude des Modells 2 dargestellt. Gleich wie bei dem Modell 1 wurde für die Darstellung das System Calsitherm, das die niedrigsten Werte der immissionsflächenbezogenen Speichermasse besitzt, ausgewählt.

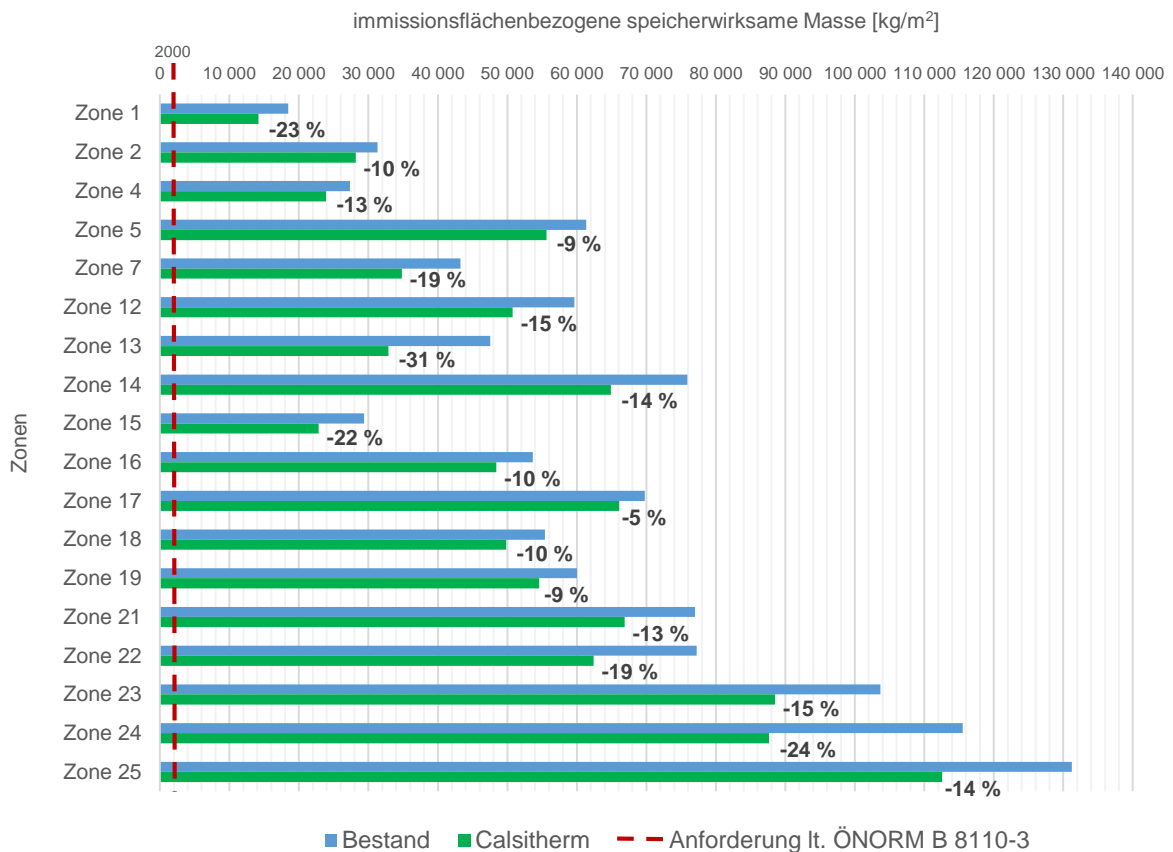


Abb. 18: Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermassen vor und nach Sanierung – Modell 2

Es ist ersichtlich, dass der maximale Unterschied der immissionsflächenbezogenen Speichermassen vor und nach Sanierung beim Modell 2 ca. 31% (Zone 13) beträgt.

Die Ergebnisse der beiden Modelle zeigen, dass die Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen bei Bestandsgebäuden sowie bei sanierten Gebäuden in einigen Fällen bis zu 60 mal höher als die Werte nach der Normanforderung lt. ÖNORM B 8110-3 [17] sind.

5.3.2 Tagestemperaturverlauf

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur für beide definierten Modelle und auch für beide Nutzungen durchgeführt. In der Tabelle 11 sind die Ergebnisse des Modells 1 dargestellt:

Tab. 11: Modell 1 – maximale operative Temperatur

Modell 1 - Wohnnutzung									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Raum	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Minerale dämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämmsystem
EG	Raum 1	27,0	23,4	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7
	Raum 2		23,2	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3
	Raum 3		23,4	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
	Raum 4		22,8	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9
	Raum 5		22,6	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7
	Raum 6		22,8	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
OG1	Raum 7	27,0	24,2	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6
	Raum 8		25,0	25,2	25,2	25,2	25,2	25,3	25,2
	Raum 9		24,4	24,5	24,5	24,5	24,5	24,6	24,5
	Raum 10		25,0	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3
	Raum 11		25,2	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
	Raum 12		24,2	24,6	24,7	24,6	24,6	24,7	24,6
	Raum 13		24,5	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
	Raum 14		24,6	25,4	25,5	25,5	25,5	25,5	25,4
Modell 1 - Büronutzung									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Büro	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Minerale dämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämmsystem
EG	Büro 1	27,0	29,3	30,5	30,6	30,6	30,6	30,6	30,5
	Büro 2		29,6	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
	Büro 3		31,1	31,8	31,9	31,8	31,8	31,8	31,8
	Büro 4		29,8	30,5	30,6	30,6	30,5	30,6	30,5
	Büro 5		27,0	27,7	27,8	27,7	27,7	27,8	27,7
	Büro 6		28,3	29,8	29,9	29,8	29,8	29,8	29,8
OG1	Büro 7	27,0	31,8	34,9	35,0	34,9	34,9	35,0	34,9
	Büro 8		35,0	37,3	37,4	37,3	37,3	37,4	37,3
	Büro 9		31,6	33,7	33,8	33,7	33,7	33,8	33,7
	Büro 10		36,1	38,5	38,6	38,5	38,5	38,6	38,5
	Büro 11		36,0	38,7	38,8	38,7	38,7	38,8	38,7
	Büro 12		31,7	35,6	35,8	35,7	35,6	35,8	35,7
	Büro 13		32,5	35,3	35,5	35,3	35,3	35,4	35,3
	Büro 14		31,0	35,7	36,0	35,8	35,8	36,0	35,8

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

In Abbildung 19 ist ein Vergleich der maximalen operativen Temperaturen zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude für die Wohnnutzung des Modells 1 dargestellt. Für die Darstellung wurde das Aerogel Dämmputzsystem ausgewählt. Der Grund dafür liegt darin, dass dieses System die größten maximalen operativen Temperaturen im Vergleich zu anderen verwendeten Innendämmsystemen besitzt. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass der größte Unterschied der maximalen operativen Temperaturen zwischen dem Bestandsgebäude und saniertem Gebäude ca. 3,66 % (Raum14) beträgt.

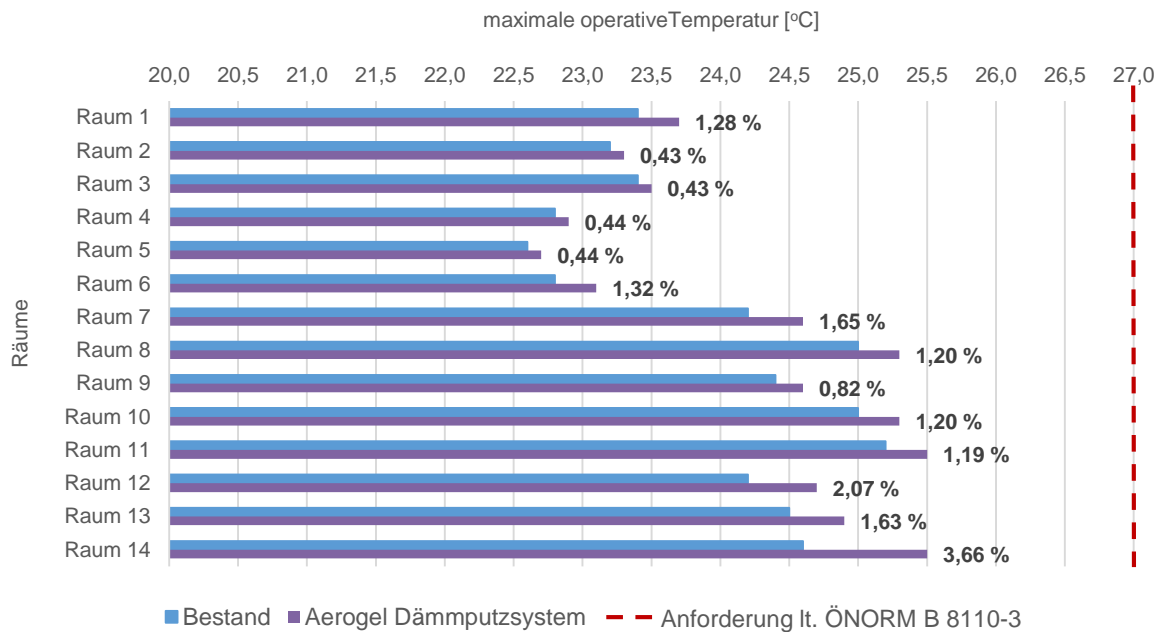


Abb. 19: Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 1 - Wohnnutzung

Abbildung 20 zeigt den Vergleich der maximalen operativen Temperaturen zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude für die Büronutzung des Modells 2. Das Innendämmsystem mit Mineralwolle mit Gipskartonplatten weist die höchsten maximalen operativen Temperaturen auf und wurde deswegen für diesen Vergleich ausgewählt.

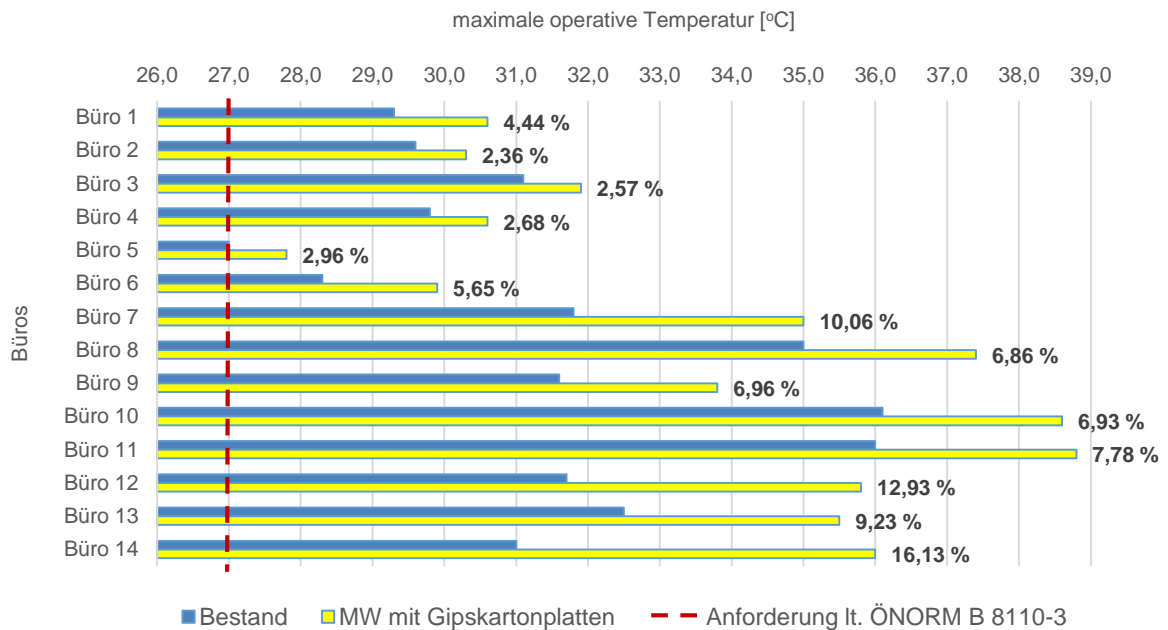


Abb. 20: Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 1 - Büronutzung

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass der größte Unterscheid der maximalen operativen Temperaturen zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude ca. 16,13 % (Raum 14) beträgt.

In der Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur des Modells 2 für die Büronutzung dargestellt:

Tab. 12: Modell 2 – maximale operative Temperatur

Modell 2 - Wohnnutzung									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineralfällplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
EG	Zone 1	27,0	23,4	23,6	23,7	23,7	23,7	23,6	23,6
	Zone 2		23,2	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3
	Zone 4		23,4	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
	Zone 5		22,8	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9
	Zone 7		22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7
	Zone 12		22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
	Zone 13		22,8	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
	Zone 14		22,6	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7
OG1	Zone 15	27,0	24,2	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6	24,6
	Zone 16		25,2	25,4	25,4	25,4	25,4	25,5	25,4
	Zone 17		24,8	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
	Zone 18		25,3	25,5	25,5	25,5	25,5	25,6	25,5
	Zone 19		25,2	25,4	25,4	25,4	25,4	25,5	25,4
	Zone 21		24,2	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
	Zone 22		23,9	24,2	24,3	24,3	24,3	24,3	24,2
	Zone 23		24,0	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3
	Zone 24		24,1	24,7	24,8	24,7	24,7	24,8	24,7
Zone 25	24,5	24,9	25,0	24,9	24,9	25,0	24,9		
Modell 2 - Büronutzung									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Büro	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineralfällplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
EG	Büro 1	27,0	29,1	30,2	30,3	30,2	30,2	30,2	30,2
	Büro 2		30,3	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9	30,9
	Büro 3		30,8	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
	Büro 4		29,9	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6
	Büro 5		28,4	30,2	30,3	30,2	30,2	30,3	30,2
	Büro 6		26,9	27,7	27,8	27,8	27,7	27,8	27,7
OG1	Büro 7	27,0	32,7	35,0	35,1	35,0	35,0	35,1	35,0
	Büro 8		36,5	38,5	38,6	38,5	38,5	38,6	38,5
	Büro 9		32,3	33,8	33,9	33,9	33,8	33,9	33,9
	Büro 10		36,3	38,4	38,5	38,4	38,4	38,5	38,4
	Büro 11		36,9	39,0	39,1	39,0	39,0	39,1	39,0
	Büro 12		33,4	36,1	36,2	36,1	36,1	36,2	36,1
	Büro 13		31,7	35,8	36,1	35,9	35,8	36,0	35,9
	Büro 14		32,1	35,0	35,2	35,1	35,0	35,2	35,1

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

Abbildung 21 zeigt einen Vergleich der maximalen operativen Temperaturen zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude für die Wohnnutzung des Modells 2. Gleich wie bei Modell 1 (Wohnnutzung) wurde für die Darstellung das Aerogel Dämmputzsystem, welches die niedrigsten maximalen operativen Temperaturen aufweist, ausgewählt. Das Diagramm zeigt, dass der größte Unterschied der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung ca. 2,90 % (Zone 24) beträgt.

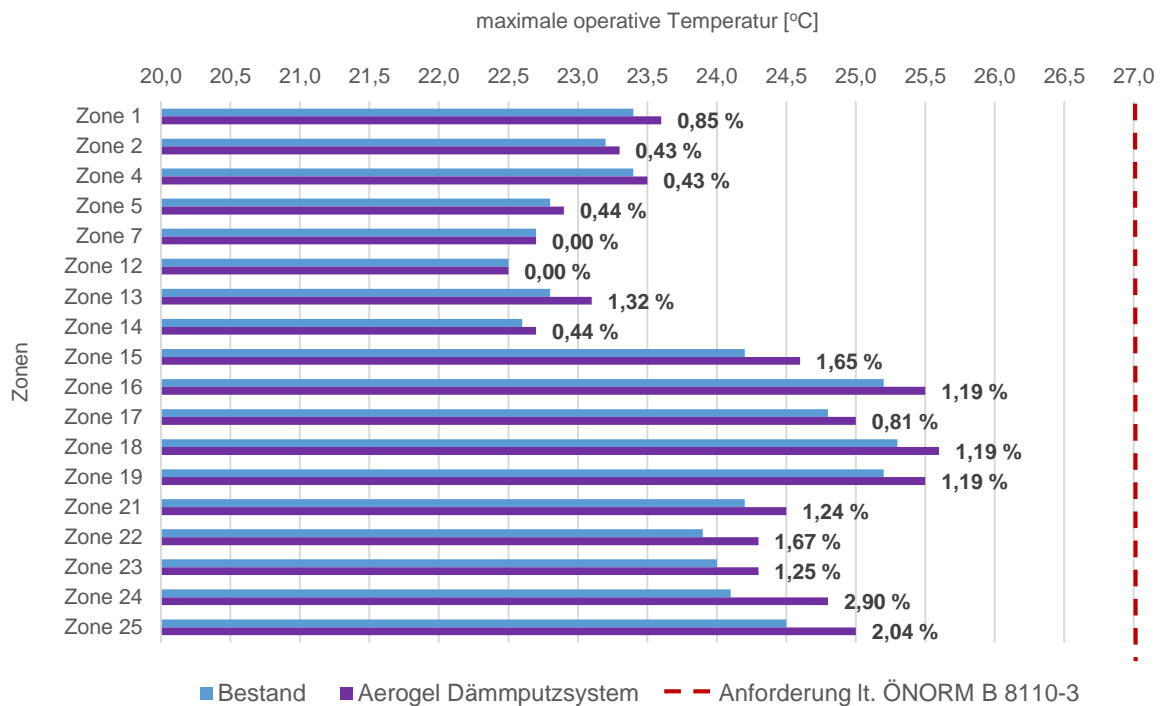


Abb. 21: Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 2 - Wohnnutzung

In Abbildung 22 ist einen Vergleich der maximalen operativen Temperaturen zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude für die Büronutzung des Modells 2 dargestellt. Für die Darstellung wurde, gleich wie bei der Büronutzung des Modells 2, das System mit Mineralwolle mit Gipskartonplatten ausgewählt. In folgender Grafik ist ersichtlich, dass der größte Unterschied zwischen den maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung ca. 13,88% (Büro 13) beträgt.

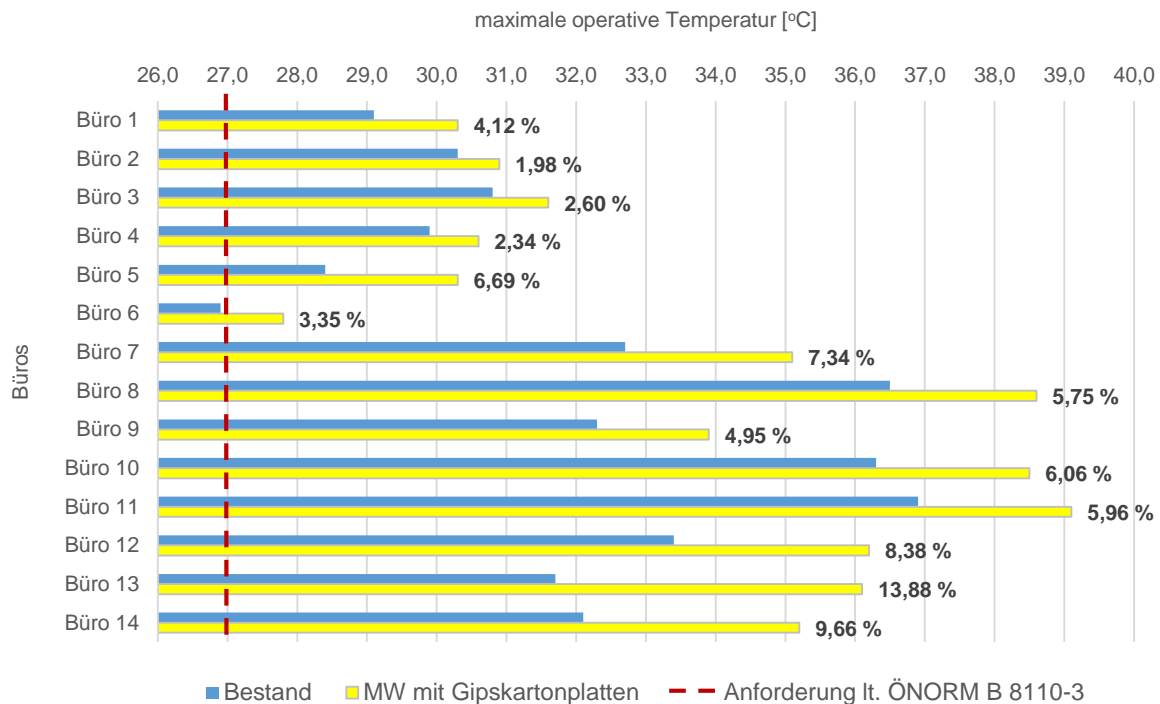


Abb. 22: Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 2 - Büronutzung

Die Ergebnisse der Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur zeigen, dass die operativen Temperaturen bei der Wohnnutzung der beiden Modelle zwischen 22,5 °C und 25,6 °C liegen. Dies bedeutet, dass der Grenzwert der Temperatur von 27 °C nicht überschritten wurde und somit der Nachweis laut ÖNORM B 8110-3 [17] eingehalten ist.

Bei der Büronutzung liegen bei beiden Modellen die operativen Temperaturen meist deutlich oberhalb des Grenzwertes von 27 °C. Der Nachweis laut ÖNORM B 8110-3 [17] ist somit nicht erfüllt.

5.4 Interpretation der Ergebnisse

5.4.1 Vereinfachtes Verfahren

Die soeben dargestellten Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zeigen, dass der Nachweis für alle Zonen leicht erfüllt wird. Zu erwähnen ist, dass der maximale Unterschied der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude bei beiden Modellen ca. 31 % beträgt. Es ist bemerkbar, dass alle Innendämmsysteme fast identische Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse aufweisen.

In folgender Grafik sind für den Raum 1 des Modells 1 bzw. für die Zone 1 des Modells 2, der den Raum mit niedrigstem Wert der Speichermasse darstellt, die Ergebnisse zusammengefasst und verglichen.

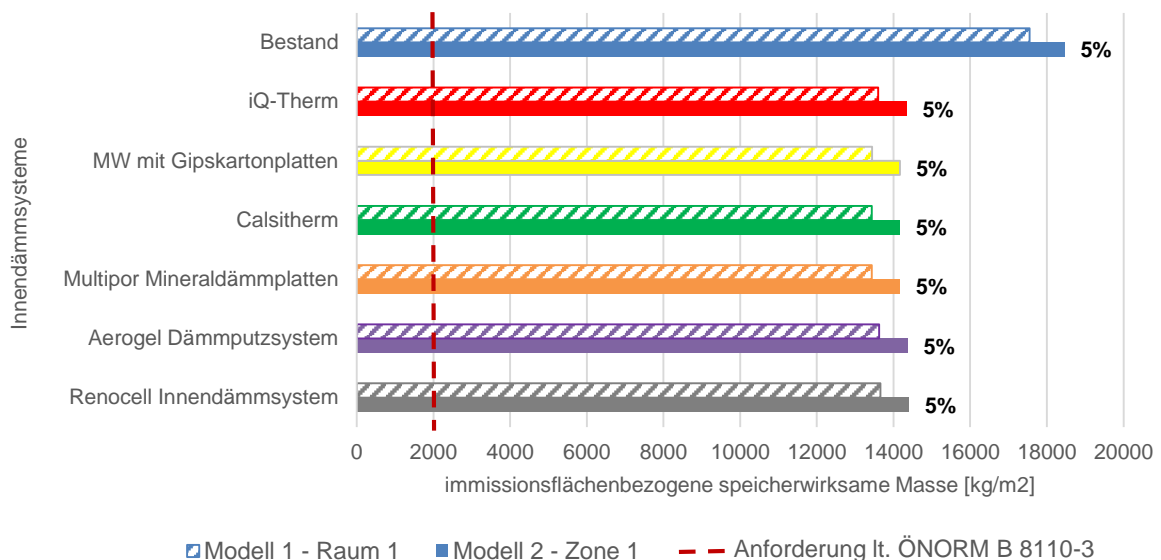


Abb. 23: Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermasse zwischen Modellen

Obwohl die Sanierung der Außenwände mit sechs unterschiedlichen Innendämmsystemen bzw. Materialien durchgeführt wurde, zeigen die Ergebnisse nur geringe Abweichungen. Wichtig ist anzumerken, dass bei der Berechnung der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse auch die Innenwände und die Decke bzw. der Fußboden berücksichtigt wurden. Aus diesem Grund hängt die gesamte immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse eines Raumes vor und nach der Sanierung von dem Anteil der Außenwand dieses Raumes ab. Ein Vergleich zwischen den Modellen zeigt, dass das vereinfachte Modell eine Abweichung von ca. 5 % von dem tatsächlichen Modell bzw. Bestandsmodell aufweist.

Aus den soeben analysierten Ergebnissen kann man schlussfolgern, dass die innen sanierten Außenwände keinen entscheidenden Einfluss auf die Berechnung der

immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen (vereinfachtes Verfahren). Daraus lässt sich ableiten, dass die unterschiedlichen Sanierungsvarianten der Außenwände fast gleiche Ergebnisse liefern und dass alle verwendeten Materialien der Innendämmsysteme ähnliche Eigenschaften bzw. speicherwirksame Masse aufweisen.

5.4.2 Tagestemperaturverlauf

Um einen Einfluss der unterschiedlichen Innendämmsysteme auf die maximale operative Temperatur zu bestimmen, wurden die Ergebnisse des kritischen Raums im Obergeschoss für beide Modelle analysiert und verglichen. Obwohl der Raum 18 im Modell 2 der kritischere Raum ist, wurde der Raum 19 aufgrund der gleichen Lage wie Raum 11 im Modell 1 verglichen. Der Unterschied zwischen den maximalen operativen Temperaturen von Raum 18 und Raum 19 beträgt jedoch nur 0,1 °C.

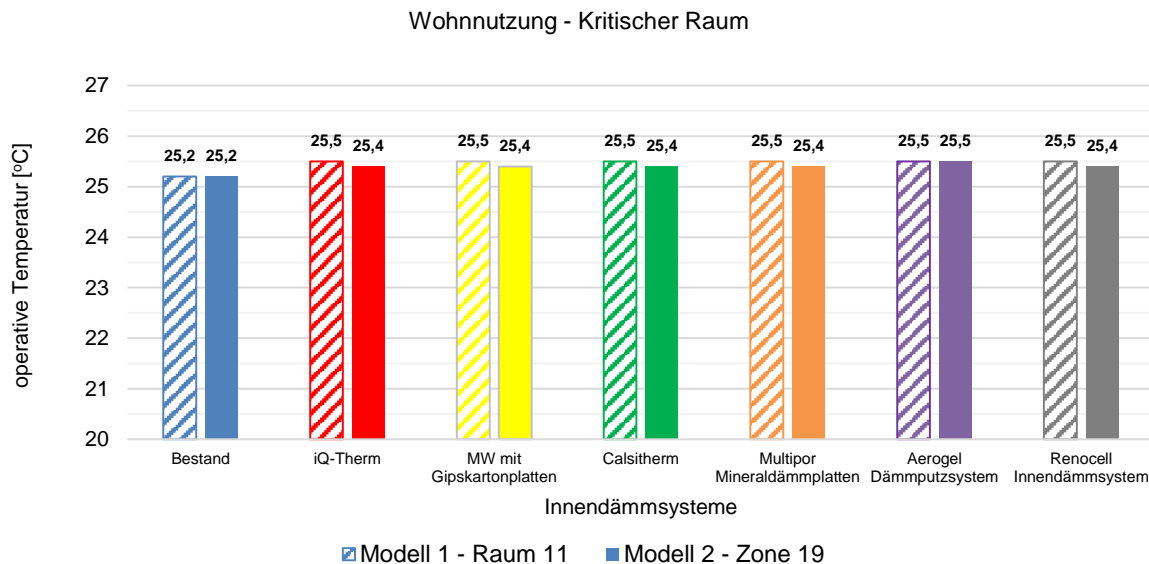


Abb. 24: Maximale operative Temperaturen der kritischen Räume für Wohnnutzung

In Abbildung 24 sind die maximalen operativen Temperaturen der kritischen Räume für die Wohnnutzung der beiden Modelle dargestellt. Der Raum 11 bei Modell 1 und die Zone 18 bei Modell 2 erweisen sich als die kritischen Räume bzw. Zonen. Die maximalen operativen Temperaturen bei beiden Modellen bewegen sich zwischen 25,2 °C und 25,6 °C in Abhängigkeit von den verwendeten Innendämmsystemen. Die Unterschiede zwischen den operativen Temperaturen des Bestandsgebäudes und des sanierten Gebäudes liegen zwischen 0,2 °C bis 0,3 °C. Aus der Grafik ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied zwischen den Modellen maximal 0,1 °C beträgt.

Aus der soeben analysierten Grafik kann man schlussfolgern, dass die maximale operative Temperatur eine sehr geringe Abweichung vor und nach Sanierung aufweist. Das bedeutet, dass es bei der Wohnnutzung mit Nachtlüftung keinen Einfluss von den innensanierten Wänden auf die maximale operative Innenraumtemperatur in den Sommermonaten gibt.

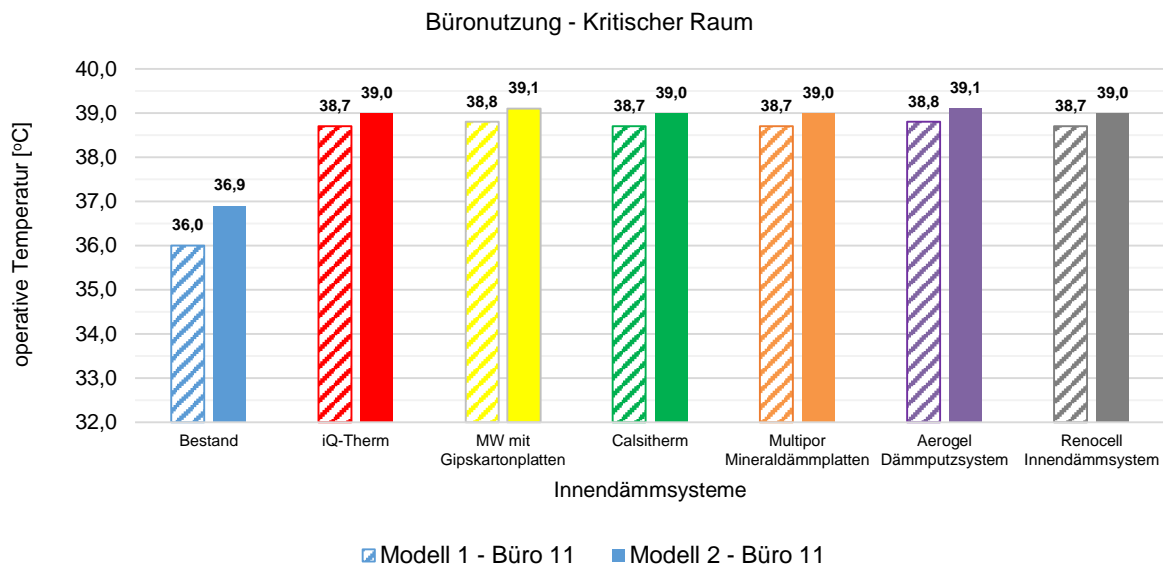


Abb. 25: Maximale operative Temperaturen der kritischen Räume für Büronutzung

In Abbildung 25 sind die maximalen operativen Temperaturen der kritischen Räume für die Büronutzung der beiden Modelle dargestellt. Der Raum mit der Bezeichnung Büro 11 erweist sich als kritischer Raum bei beiden Modellen. Die operative Temperatur bewegt sich zwischen 36,0 °C bis 38,8 °C bei dem Modell 1 und zwischen 36,9 °C bis zu 39,1 °C bei Modell 2 in Abhängigkeit von den verwendeten Innendämmsystemen. Aus dem Diagramm ist geht hervor, dass der Temperaturunterschied zwischen den Modellen bei der Bestandsvariante 0,9 °C und bei den Innendämmsystemen 0,3 °C beträgt. Der maximale Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude bei Modell 1 beträgt 2,8 °C. Bei Modell 2 besitzt dieser Temperaturunterschied einen Wert von 2,5 °C.

Es ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied vor und nach der Sanierung bei der Büronutzung im Vergleich zur Wohnnutzung etwas größer ist. Dieser Unterschied ist durch die erhöhten inneren Lasten und Entfall der Nachtlüftung zurückzuführen. Es ist jedoch anzumerken, dass die Variante ohne Lüftung bei der Büronutzung aus hygienischen Gründen nicht realistisch ist. Eine Nachtlüftung ist bei der Büronutzung aus Sicherheits-, bzw. Witterungsgründen nicht möglich. Einen besseren Vergleich für die Büronutzung lässt die Gebäudesimulation zu, wobei hier vier unterschiedliche Lüftungsvarianten analysiert wurden.

Aufgrund des geringen Unterschieds zwischen den Ergebnissen beide Modelle wurden für die Gebäudesimulation nur das vereinfachte Modell (Modell 2) verwendet.

5.5 Zusammenfassung

Die derzeit gültige ÖNORM B 8110-3 [17] bietet zwei Nachweisverfahren für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung. Im Rahmen dieser Arbeit wurden beide Berechnungsmethoden für definierte Modelle nachgewiesen. Der Nachweis durch vereinfachtes Verfahren wurde nur für Wohnnutzung bei beiden Modellen durchgeführt. Für die Berechnungen wurden bestimmte Annahmen und Randbedingungen, die in Abschnitt 5.2 festgehalten wurden, festgelegt.

Die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zeigen, dass der Nachweis für beide Modelle bei allen betrachteten Räumen erfüllt ist. Die Werte der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Massen des Bestandsgebäudes sowie des sanierten Gebäudes sind in einigen Fällen bis zu 60 mal größer als die Anforderungswerte. Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass die innensanierten Außenwände bzw. die verwendeten Innendämmsysteme keinen entscheidenden Einfluss auf die Berechnung der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse bzw. des vereinfachten Verfahrens haben.

Die Ergebnisse der Berechnung des Tagestemperaturverlaufes zeigen, dass der Grenzwert der Temperatur von 27 °C gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] für die Wohnnutzung bei beiden Modellen nicht überschritten wurde und somit der Nachweis nachgewiesen wurde. Die operativen Temperaturen bei der Wohnnutzung bewegen sich zwischen 22,5 °C und 25,6 °C. Bei der Büronutzung der beiden Modelle liegen die operativen Temperaturen in den meisten Fällen oberhalb des soeben genannten Grenzwertes und der Nachweis wurde nicht erbracht. Die operativen Temperaturen bei der Büronutzung erreichen in einigen Fällen den Wert von 39,1 °C. Die Gründe für die hohen Temperaturen liegen in den erhöhten inneren Lasten und dem Ausfall der Lüftung.

6 Gebäudesimulation

6.1 Allgemeines

Die Berechnung der sommerlichen Überwärmung mittels Gebäudesimulation-Software bietet mehr Möglichkeiten im Gegensatz zu der Software GEQ. Ein Vorteil hier ist, dass die Möglichkeit besteht, die Berechnung für das gesamte Gebäude oder für einzelne Zonen durchzuführen. Weitere Vorteile sind die detailliertere Eingabemöglichkeit der Lüftung und Beschattung sowie der Innen- und Eingangstüren. Die Software für die Gebäudesimulation besitzt eine eigene Klimadatenbank, die die Berechnung für unterschiedliche Standorte mit entsprechenden Klimadaten ermöglicht. Der Nachteil ist, dass die Eingabe der Eingangsdaten sehr umfangreich ist und Änderungen der Eingangsdaten die Ergebnisse stark beeinflussen können. Die Dateneingabe, wie Lüftung, Beschattung, innere Lasten, Simulationszeitraum usw. sind daher von jedem Verfasser festzulegen und gut zu argumentieren. Es ist wichtig zu sagen, dass bei der Simulation die Wärmeübergangswiderstände berücksichtigt sind. Das Ziel der Gebäudesimulation in dieser Arbeit ist es, das betrachtete Bestandsgebäude bzw. das sanierte Gebäude (mit Innendämmung), unter den Bedingungen, welche der der Realität möglichst entsprechen, zu simulieren und die Berechnungsergebnisse zu analysieren und zu vergleichen. Die Simulationen wurden mittels der Software IDA Indoor Climate and Energy 4.8 (IDA ICE), hergestellt vom EQUA Simulations AB, durchgeführt.

6.2 Simulationsmodell

Wie bereits erwähnt, wurde für die Gebäudesimulation nur das Modell 2 verwendet. Die Grundlage für die Erstellung des geometrischen Modells sind die Grundrisse, die unter 2.3 beschrieben wurden. Das Modell wurde auf 26 Zonen verteilt und diese Verteilung gilt für beide Nutzungen. Das Stiegenhaus wurde als eine Zone, die beide Geschosse umfasst, modelliert.

Bei der Simulation wurden die Bauteilaufbauten (siehe 2.4) mit unterschiedlichen Mauerdicken, wie sie im Bestand vorzufinden sind, verwendet. Die lichte Höhe und die Lage der Achsen der Innenwände wurden fixiert. Die Dicken der Außenwände sind für jede Variante der Innendämmung unterschiedlich. Das heißt, dass aufgrund dieser unterschiedlichen Wanddicken, die Nettogrundfläche der Räume und die Außenabmessungen vom Gebäude variieren. Die Anwesenheit und Belegung, die Beleuchtung sowie die inneren Lasten wurde für die Nettogrundflächen festgelegt.

In Abbildungen 26 und 27 sind die geometrischen Modelle der Bestandsvariante für beide Geschosse ersichtlich. Die hellblaue Farbe stellt alle Fenster und Balkontüren dar und mit gelber Farbe wurden Innen- und Eingangstüren gefärbt.

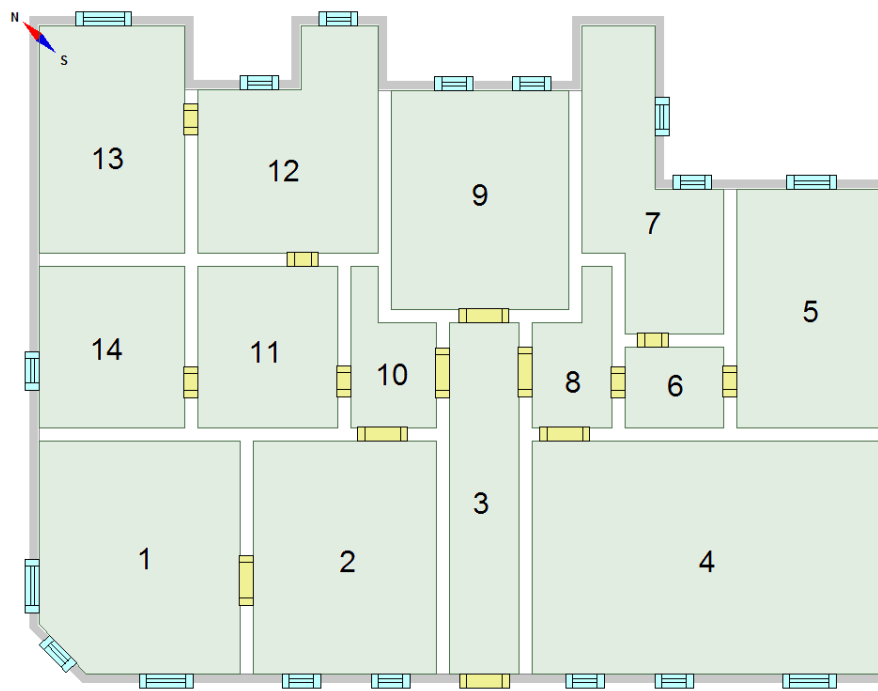


Abb. 26: Geometrisches Modell - EG

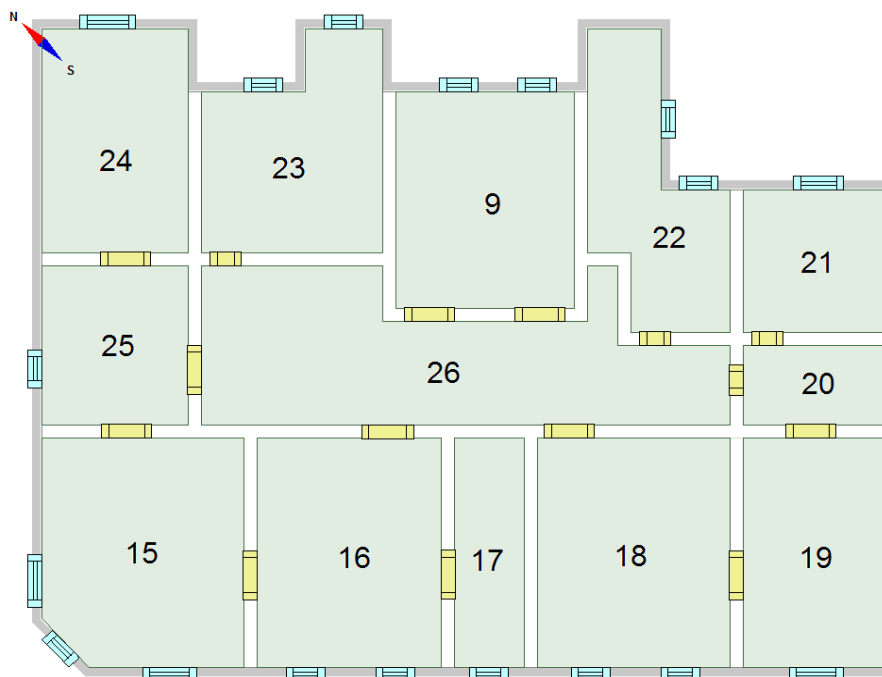


Abb. 27: Geometrisches Modell – OG1

Die Zone 9 ist das Stiegenhaus und umfasst beide Geschosse. Zonen, 3, 6, 8, 10, 11 und 26 stellen für beide Nutzungen die Gänge dar. Bei der Büronutzung wurden die Zonen 7 und 22 als die Teeküchen bezeichnet und die Seminarräume wurden mit Zonennummern 12 und 23 gekennzeichnet. Alle anderen Zonen sind Wohn- bzw. Aufenthaltsräume bei der Wohnnutzung beziehungsweise Büros bei der Büronutzung. Die folgende Abbildung zeigt das 3D-Modell:

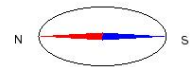
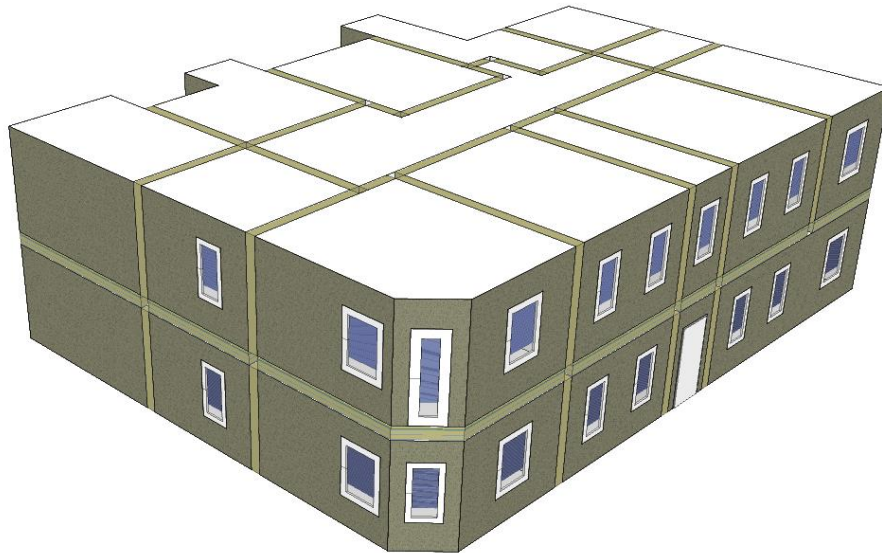



Abb. 28: Simulationsmodell

6.3 Annahmen und Randbedingungen

6.3.1 Fenster und Verglasung

Für die Gebäudesimulation wurden die gleiche Fenstertypen (siehe Tabelle 5) wie bei den Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 [17] verwendet. Wie schon im Abschnitt 5.2.1 beschrieben, wurden die relevanten Kenngrößen für die Kastenfenster lt. Altbaukonstruktionen und Rechenwerte – Handbuch für Energieberater [21] festgelegt. Diese Kenngrößen sind in folgenden Tabelle dargestellt:

Tab. 13: Kastenfenster - Kenngrößen

Skizze und Bezeichnung	U-Wert [W/m ² K]		g-Wert
	Holzrahmen U _f	Verglasung U _g	
 <p>KASTENFENSTER 2 Scheiben (DV, Kasten)</p>	2,20	2,90	0,65

Die Kastenfenster befinden sich nicht in der Datenbank der Software, deshalb war es notwendig, die Fenster mit diesen Eigenschaften zu modellieren. Dafür wurde die Option „detaillierte Fenster“, verwendet. Die modellierte Konstruktion der Fenster besteht aus einer Glasscheibe, einem Luftraum von 20 cm und noch einer Glasscheibe. Die Eigenschaften der Glasscheiben wurden so angenommen, sodass sie den oben angeführten Kenngrößen der Fenster entsprechen. Der Holzanteil wurde prozentual aus allen Rahmen, Flügel, Sprossen und Stulpen umgerechnet. Der Holzanteil variiert von Fenster zu Fenster bzw. Balkontür und wurde für jeden Fenstertyp genau eingesetzt.

6.3.2 Türen

Für beide Nutzungen des Modells wurden für alle Innentüren der gleiche Typ festgelegt. Alle Innentüren wurden aus Holz mit einer Dicke von 5 cm und einem U-Wert von 1,9 W/m²K angenommen. Unterschiede gibt es nur in Bezug auf die Abmessungen. Die Innentüren haben zwei unterschiedliche Maße, eine mit lichter Größe von 80 cm auf 200 cm und eine mit lichter Größe von 130 cm auf 200 cm. Bei den Eingangstüren wurden zwei Typen festgelegt. Die Haupteingangstür ist aus Holz mit einer lichten Breite von 130 cm und einer lichten Höhe von 200 cm. Die zweite Eingangstür, die hoforientiert ist, ist aus Aluminium und hat eine lichte Größe von 90 cm auf 200 cm.

Die Abbildung 29 zeigt die Regelung der Innentüröffnung. Um den Einfluss der Nachbarräume auf die maximale operative Innentemperatur zu vermeiden, wurden die Innentüren von den Räumen, die zur Außenluft führen, permanent als geschlossen festgelegt. Mit dieser Regelung der Innentüröffnung ist die Berechnung der maximalen operativen Temperaturen mittels Gebäudesimulation auf der sicheren Seite. Die rote Farbe stellt die Innentüren dar, die immer

geschlossen sind. Mit blauer Farbe wurden die Innentüren, die immer offen sind, gefärbt. Die Eingangstüren wurden auch als immer geschlossen angenommen. Diese Regelung gilt für beide Nutzungen des Modells.

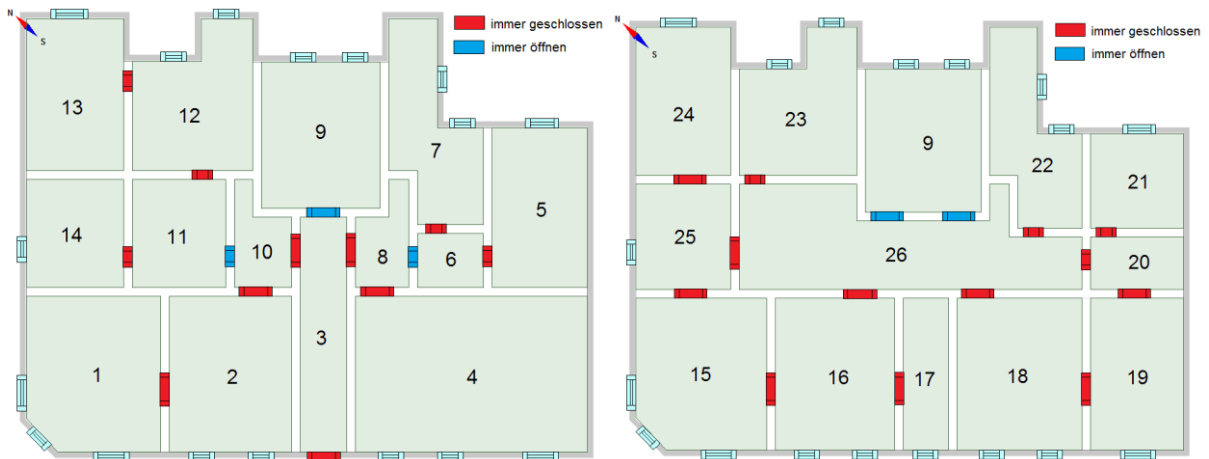


Abb. 29: Regelung der Innentüröffnung

6.3.3 Beleuchtung

Die erforderliche Beleuchtungsstärke hängt von der Nutzung des Objekts ab. Bei der Wohnnutzung beträgt die Mindestgrenze für die Beleuchtungsstärke 300 Lux. Die minimale Beleuchtungsstärke bei der Büronutzung ist 500 Lux. [23] In dieser Arbeit wurde als Lichtkörper eine LED-Beleuchtung mit der Leistung von 15W und dem Lichtstrom von 1350 lm ausgewählt. Aus soeben genannten Anforderungen und Eigenschaften des Lichtkörpers wurden die Anzahl des Körpers pro Quadratmeter berechnet. Die Steuerung der Beleuchtung wurde für beide Nutzungen mit einem Zeitplan geregelt. In der Tabelle 14 wird der Zeitplan der Beleuchtung dargestellt:

Tab. 14: Beleuchtung - Steuerung

Wohnnutzung		Zeitplan
Montag bis Sonntag		1 [20-24], 0.0 otherwise
Uhrzeit	Faktor	
00:00 – 20:00	0,00	
20:00 – 24:00	1,00	
Büronutzung		Zeitplan
Montag bis Freitag		1.0 [8-18], 0.0 otherwise
Uhrzeit	Faktor	
18:00 – 08:00	0,00	
08:00 – 18:00	1,00	
Wochenende		0.0
Uhrzeit	Faktor	
00:00 – 24:00	0,00	

6.3.4 Lüftung

Aufgrund der Tatsache, dass das betrachtete Bestandsobjekt keine Lüftungsanlage besitzt, wurde in dieser Arbeit die Gebäudesimulationen nur mit einer natürlichen Lüftung durchgeführt. Die natürliche Lüftung wird durch die Fenster, die voll offen, teilweise offen oder gekippt sein können, erreicht. Im Abschnitt 5.2.1 wurde bereits erwähnt, dass das Oberlicht der Kastenfenster in der Realität in den meisten Fällen geschlossen ist. Die Lüftung durch die Fenster ist somit nicht über den gesamten Querschnitt gegeben und ist abhängig von der jeweiligen Fenstergeometrie. Die Abbildung 30 zeigt die Anteile in Prozent des tatsächlichen Lüftungsquerschnitts der unterschiedlichen Fenster.



Abb. 30: Prozentzahl der Fensterlüftung

Die Steuerung der Lüftung unterscheidet sich bei der Wohnnutzung und bei der Büronutzung. Bei der Wohnnutzung gibt es eine Nachtlüftung für die Zeitperiode von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Um den Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur festzulegen, wurden für die Büronutzung vier Lüftungsvarianten wie folgt definiert:

- Lüftungsvariante 1: ohne Lüftung
- Lüftungsvariante 2: Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr
- Lüftungsvariante 3: Lüftung von 07:00 Uhr bis 10:00 Uhr
- Lüftungsvariante 4: Lüftung von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr

Die folgende Abbildung zeigt, dass die Lüftung ähnlich wie in den oben angeführten Varianten auch in der Realität umgesetzt wird.



Abb. 31: Fensterlüftung in Realität

6.3.5 Beschattung

Höhere solare Strahlung in den Sommermonaten können hohe Innentemperaturen in den Gebäuden verursachen. Um diesen Effekt zu vermeiden, ist es notwendig, einen Sonnenschutz für die transparenten Außenbauteile zu verwenden. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden zwei unterschiedliche Typen der Beschattung festgelegt, die schon in der Einführung beschrieben wurden. Es handelt sich um innenliegenden Fensterläden aus Holz im Erdgeschoss und um zwischenliegende (zwischen Außen- und Innenflügel) Jalousien im ersten Obergeschoss. Die Fensterläden befinden sich nicht in der Datenbank der Software, deshalb war es notwendig, diese zu modellieren. Dafür wurden die Innenjalousien aus der Datenbank des Programms ausgewählt. Als Lamellenmaterial wurde Holz in weißer Farbe mit einer Lamellendicke von 20 mm festgelegt. Der Abstand zwischen der Glasscheibe und den Lamellen beträgt 70 mm und die Neigung der Lamellen wurde auf 90° eingesetzt. Die Breite der Lamellen beträgt 50 mm und der Abstand zwischen den Lamellen 40 mm. Dies bedeutet, dass die Lamellen mit der Neigung von 90° eine blickdichte Einheit bilden.

Für das Obergeschoss wurden die Jalousien zwischen den Scheiben aus der Datenbank der Software ausgewählt. Als Material der Lamellen wurde Aluminium in weißer Farbe mit der Lamellenstärke von 1 mm verwendet. Die Breite der Lamellen beträgt 30 mm und der Abstand zwischen ihnen 25 mm. Die Neigung von Lamellen wurde auf 45° festgesetzt.

Die Steuerung der Beschattung unterscheidet sich bei der Wohn- und Büronutzung (siehe 5.2.3.) und ist in folgender Tabelle dargestellt:

Tab. 15: Beschattung - Steuerung

Wohnnutzung		Zeitplan
Montag bis Sonntag		
Uhrzeit	Faktor	
18:00 – 12:00	0,00	
12:00 – 18:00	1,00	
Büronutzung		Zeitplan
Montag bis Freitag		
Uhrzeit	Faktor	
18:00 – 10:00	0,00	
10:00 – 18:00	1,00	
Wochenende		
Uhrzeit	Faktor	
00:00 – 24:00	0,00	

Die Verschattung durch die Nachbargebäude sowie die Orientierung des betrachteten Bestandsobjektes wurden auch berücksichtigt. Dafür wurde die Option „Verschattung und Ausrichtung“ in der Simulationssoftware verwendet. Mit dieser Option ist es möglich, die Gebäudeausrichtung sowie die Position und Höhe der umgebenden Verschattungsobjekte festzulegen (Abbildung 32).

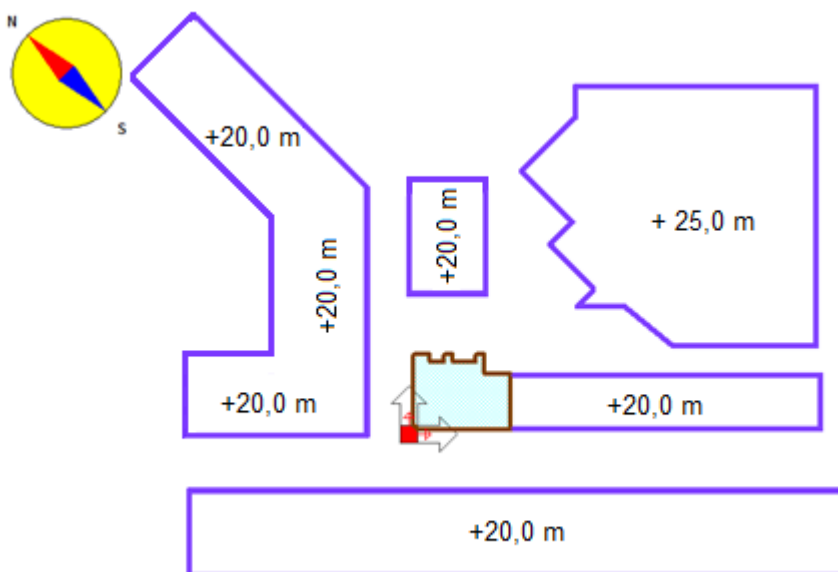


Abb. 32: Verschattung und Ausrichtung

6.3.6 Belegung und Anwesenheit

Für die Wohnnutzung wurde vorgesehen, dass im betrachteten Gebäude 9 Personen pro Geschoss wohnen. Die Personenanzahl für Büronutzung wurde auf Basis der Minimalanforderungen der Bodenfläche nach Arbeitsstättenverordnung [22] bestimmt (siehe Tabelle 8) und beträgt 30 Personen für das Erdgeschoss und 28 Personen für das erste Obergeschoss. Die Belegungsdichte wurde für beide Gebäudenutzungen als konstanter flächenbezogener Wert berechnet. In Tabelle 16 sind die Werte der Belegungsdichte ersichtlich. Die Anwesenheit für beide Nutzungen ist in der Tabelle 17 dargestellt.

Tab. 16: Belegungsdichte

Nutzung	Geschoss	Nettogrundfläche	Belegungsdichte
Wohnnutzung	EG	265,81 m ²	0,034 Pers./m ²
	OG1	237,49 m ²	0,039 Pers./m ²
Büronutzung	EG	310,64 m ²	0,096 Pers./m ²
	OG1	313,70 m ²	0,086 Pers./m ²

Tab. 17: Anwesenheit

Wohnnutzung		Zeitplan
Montag bis Freitag		<p>0,0 [7:30-16:30], 1 otherwise</p>
Uhrzeit	Faktor	
07:30 – 16:30	0,00	
16:30 – 07:30	1,00	
Weekend		<p>0,0 [12-16], 1,0 otherwise</p>
Uhrzeit	Faktor	
12:00 – 16:00	0,00	
16:00 – 12:00	1,00	
Büronutzung		Zeitplan
Montag bis Freitag		<p>0,5 [8-9, 17-18], 1,0 [9-17], 0,0 otherwise</p>
Uhrzeit	Faktor	
18:00 – 08:00	0,00	
08:00 - 09:00	0,50	
09:00 – 17:00	1,00	
17:00 – 18:00	0,50	
Weekend		<p>0,0</p>
Uhrzeit	Faktor	
00:00 – 24:00	0,00	

6.3.7 Innere Lasten

Als innere Lasten wird die Wärmeabgabe von den Personen sowie von den Geräten berücksichtigt. Laut ÖNORM 8110-3 [17] wurden die inneren Lasten von Geräten bei der Wohnnutzung als 24h-Tageswerte festgelegt. Für die Dateneingabe in die Software war es notwendig, diese Tageswerte in einen Mittelwert, der $4,5 \text{ W/m}^2$ beträgt, umzurechnen. Bei der Büronutzung wurden die innere Lasten von Geräten als ein Wert von 150 W pro Arbeitsplatz definiert. [17] Dieser Wert wurde auf einen flächenbezogenen Wert umgerechnet und beträgt $24,39 \text{ W/m}^2$ für das Erdgeschoss und $22,44 \text{ W/m}^2$ für das erste Obergeschoss.

Die inneren Lasten von Personen wurden bei beiden Nutzungen mit dem Aktivitätsgrad (MET) und mit der Art der Bekleidung (CLO) definiert. Unter dem Aktivitätsgrad versteht man ein Maß für den Energieumsatz des Menschen. Der Wert von $1,0 \text{ MET}$ (metabolische Einheit) entspricht einer Wärmeabgabe von 108 W und ist die angenommene Wärmeabstrahlung einer sitzenden, inaktiven Person. [24] In Abbildung 33 werden die Wärmeabgaben und die Aktivitätsgrade bei verschiedenen Aktivitäten gezeigt:

<i>Aktivität</i>	<i>met</i>	<i>Wärme</i> <i>[W]</i>
Im Schlaf	0.7	72
Ruhehaltung ausgestreckt	0.8	81
Ruhe sitzend	1.0	108
Ruhe, entspannt, im Stand	1.2	126
Gehen (3.2 km/h)	2.0	207
Gehen (4.3 km/h)	2.6	270
Gehen (6.4 km/h)	3.8	396
Lesen, sitzend	1.0	108
Schreiben am Computer	1.1	117
Gehen im Büro	1.7	180
Heben/Verpacken im Büro	2.1	216
Kochen	1.6-2.0	171-207
Hausarbeit	2.0-3.4	207-360
Leichte Maschinenarbeit	1.8-2.4	189-252
Schwere Maschinenarbeit	4.0	423
Arbeiten mit Spitzhacke und Schaufel	4.0-4.8	423-504
Tanzen im sozialen Rahmen	2.4-4.4	252-504
Aerobic/Fitness	3.0-4.0	315-423
Tennis	3.6-4.0	378-486
Basketball	5.0-7.6	522-792
Ringen auf Wettkampfniveau	7.0-8.7	738-909

Abb. 33: Wärmeabgabe und Aktivitätsgrad bei verschiedenen Aktivitäten [24]

Für die Wohnnutzung wurde der Wert des Aktivitätsgrads von $1,0 \text{ MET}$ genommen. Bei der Büronutzung wurde der Aktivitätsgrad für die Büros mit einem Wert von $1,1 \text{ MET}$ festgelegt für die Seminarräume mit einem Wert von $1,0 \text{ MET}$. Die Bekleidung wurde für beide Nutzungen mit einem Wert von $0,85 \text{ CLO}$ (clothing) mit einer Abweichung von $\pm 0,25 \text{ CLO}$ festgelegt.

6.4 Klimadaten

6.4.1 Allgemeines

Neben den unterschiedlichen Randbedingungen ist es auch wichtig, mit richtigen Klimadaten zu simulieren. In dieser Arbeit wurden die Klimadaten im IWEC2-Format für den Standort Graz verwendet. Diese Daten basieren auf mindestens vier Mal pro Tag, in einem Zeitraum von 12 bis 25 Jahre, gemessenen Daten. Dies sind u.a.:

- die Windgeschwindigkeit und Windrichtung,
- Bewölkung,
- Luftdruck,
- Trockenkugeltemperatur,
- Niederschlag usw. [23,25]

6.4.2 Wetterdaten

Für den Zeitraum der Simulationen wurde die Periode von 1. Mai bis 30. September 2018 festgelegt. Die Örtlichkeit ist Graz – Thalerhof – Flughafen. In den nachfolgenden Diagrammen sind folgende Parameter ersichtlich:

- Außenlufttemperatur [°C]
- Relative Luftfeuchte der Außenluft [%]
- Direktnormalstrahlung [W/m²]
- Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m²]
- Windgeschwindigkeit, x-Komponente [m/s]
- Windgeschwindigkeit, y-Komponente [m/s]
- Bewölkung [%]

Zusätzlich sind die Monatsmittelwerte der soeben genannten Parameter in tabellarischer Form unten dargestellt.

Außenlufttemperatur [°C]

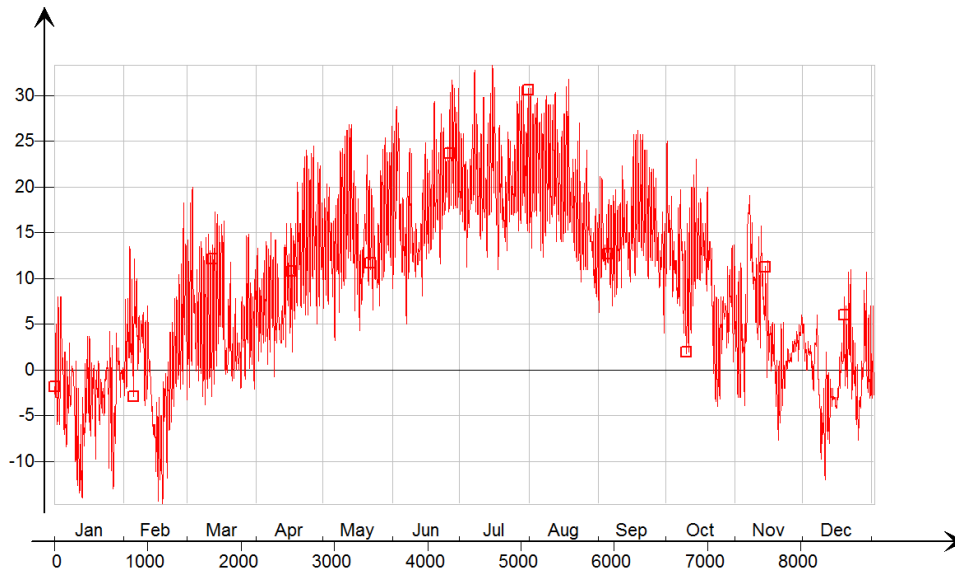


Abb. 34: Jahresverlauf der Außenlufttemperatur – Graz [°C]

Tab. 18: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur – Graz [°C]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
-2,9	0,4	5,4	10,5	15,1	18,5	21,1	19,3	15,1	9,9	4,4	-0,4

Relative Luftfeuchte der Außenluft [%]

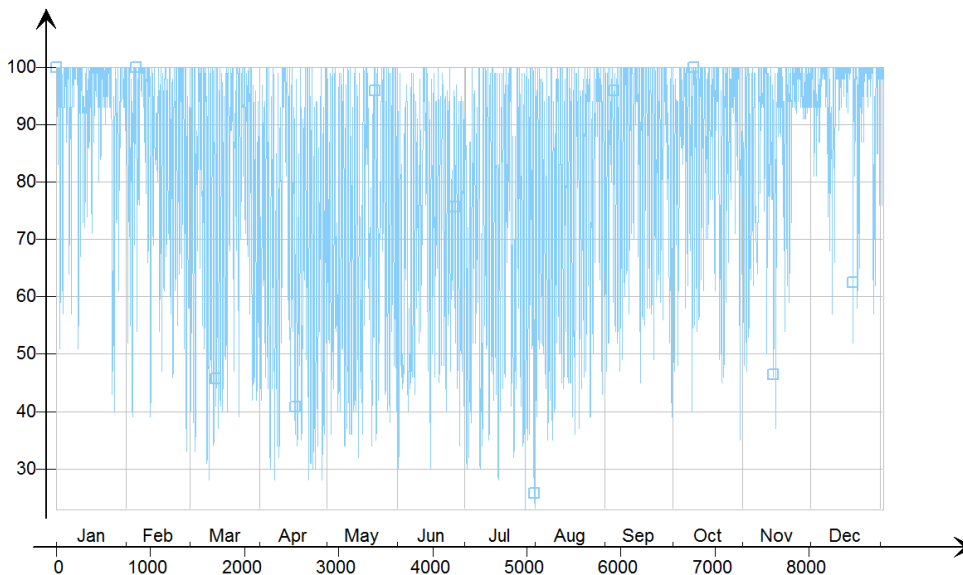
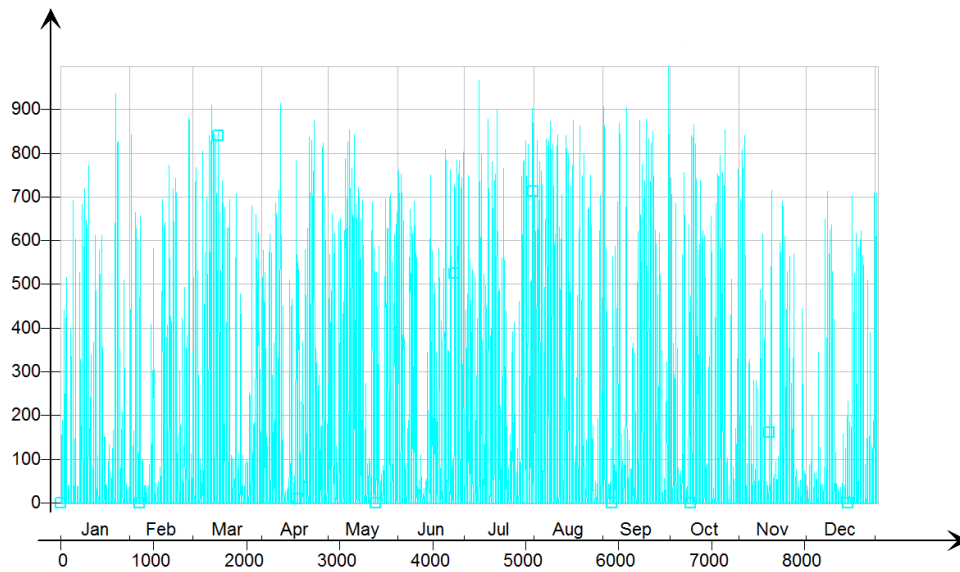


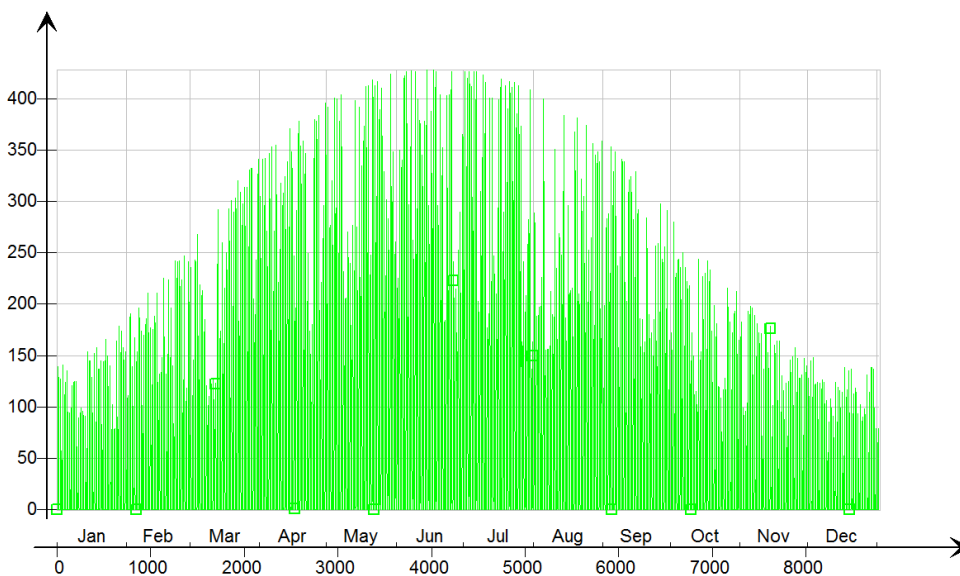
Abb. 35: Relative Luftfeuchte – Graz [%]

Tab. 19: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchte – Graz [%]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
92,1	84,9	78,5	69,6	70,9	72,6	69,6	76,5	83,9	87,0	88,2	94,5

Direktnormalstrahlung [W/m²]Abb. 36: Direktnormalstrahlung – Graz [W/m²]Tab. 20: Monatsmittelwerte der Direktnormalstrahlung – Graz [W/m²]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
93,9	115,0	152,9	162,3	204,8	197,9	193,0	209,8	165,1	144,9	87,8	75,5

Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m²]Abb. 37: Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche – Graz [W/m²]Tab. 21: Monatsmittelwerte der Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche – Graz [W/m²]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
30,8	48,4	72,2	102,9	118,3	127,5	124,5	96,1	80,6	54,0	36,1	26,3

Windgeschwindigkeit, x-Komponente [m/s]

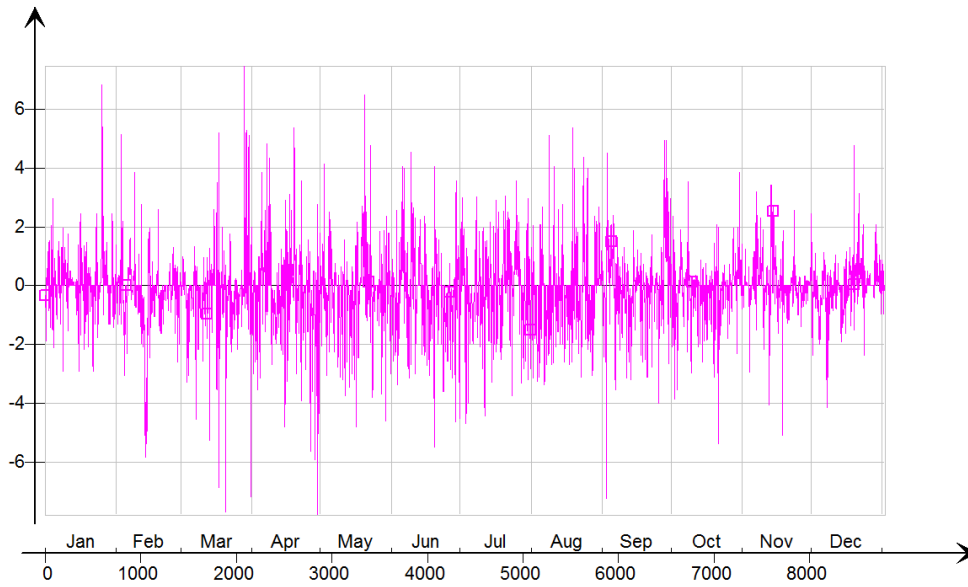


Abb. 38: Windgeschwindigkeit, x-Komponente – Graz [m/s]

Tab. 22: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, x-Komponente – Graz [m/s]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
0,0	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	0,1	-0,2	0,0	-0,1

Windgeschwindigkeit, y-Komponente [m/s]

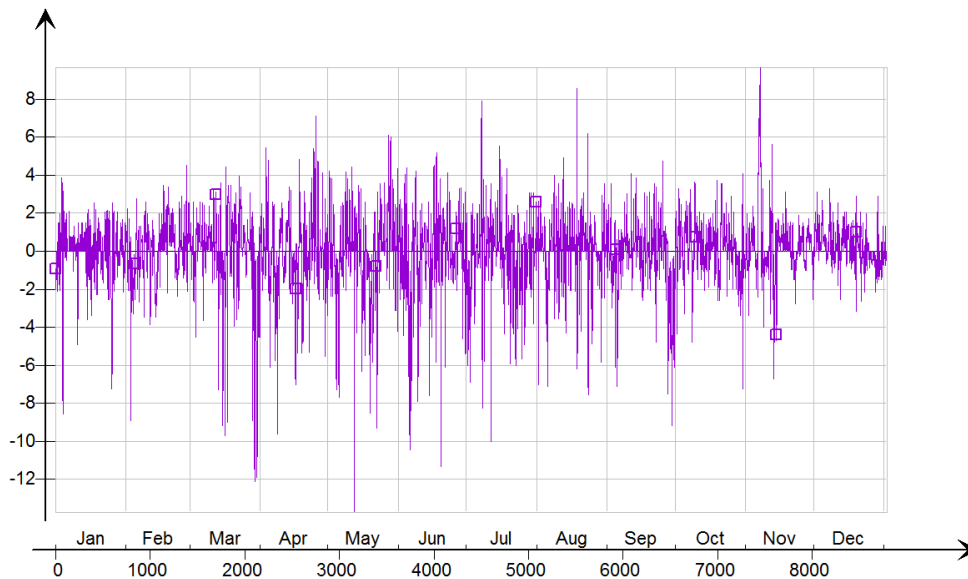


Abb. 39: Windgeschwindigkeit, y-Komponente – Graz [m/s]

Tab. 23: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, y-Komponente – Graz [m/s]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
-0,1	0,1	-0,2	-0,1	-0,1	-0,3	-0,1	0,1	-0,3	0,2	0,3	0,2

Bewölkung [%]

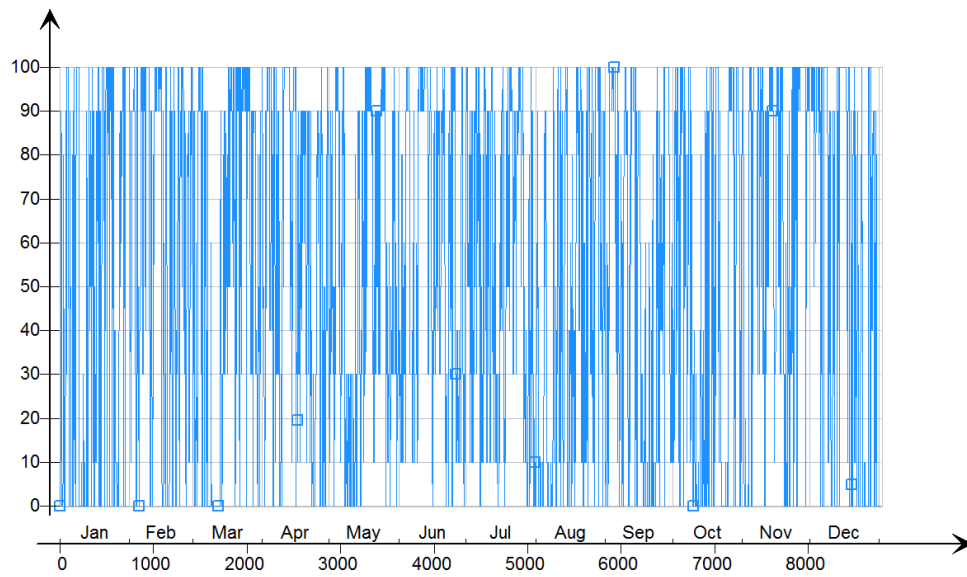


Abb. 40: Bewölkung – Graz [%]

Tab. 24: Monatsmittelwerte der Bewölkung – Graz [%]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
53,0	62,3	51,5	58,5	51,8	56,3	54,6	44,2	50,2	49,1	67,6	54,4

6.5 Zusammenfassung

Neben den Berechnungen laut ÖNORM B 8110-3 [17] wurde in dieser Masterarbeit auch die Berechnung der sommerlichen Überwärmung mittels einer Gebäudesimulation durchgeführt. Dafür wurde nur das Modell 2 verwendet. Das Modell 2 besteht aus zwei Geschossen, die auf 26 Zonen verteilt wurden (gilt für die Wohnnutzung und auch für die Büronutzung).

Die Berechnung der sommerlichen Überwärmung mittels der Gebäudesimulation erfolgte mit den Eingangsparametern (Annahmen und Randbedingungen), welche in Abschnitt 6.3 beschrieben sind. Die Gebäudesimulation wurde für das Bestandsgebäude als auch für das sanierte Gebäude (mit sechs verschiedenen Innendämmsystemen) durchgeführt. Der Simulationsumfang ergibt insgesamt 35 Simulationen. Die Zeitperiode für die Simulationen wurde von 1. Mai bis 30. September 2018 festgelegt. Der Standort des Objekts ist Graz und die zugehörigen Wetterdaten wurden in Abschnitt 6.4.2 dargestellt.

7 Simulationsergebnisse

7.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Simulationsergebnisse für das Bestandsgebäude sowie für das sanierte Gebäude des Modells 2 dargestellt. Wie schon in dieser Arbeit geschrieben wurde, wurden Sanierungsmaßnahmen sechs verschiedene Innendämmsysteme vorgesehen.

Für die Darstellung der Simulationsergebnisse wird eine Tabellendarstellung und Falschfarbendarstellung verwendet. Mit diesen zwei Darstellungsarten werden die maximale operative Temperatur aller Zonen für beide Nutzungen des simulierten Modells 2 dargestellt. Die Simulationsergebnisse der Büronutzung werden für alle vier Lüftungsvarianten, die im Abschnitt 6.3.4 beschrieben wurden, tabellarisch gezeigt.

Aufgrund des geringen Temperaturunterschiedes zwischen den maximalen operativen Temperaturen der verwendeten Innendämmsysteme, wurde für die Falschfarbendarstellung neben dem Bestandsgebäude nur ein Innendämmsystem ausgewählt. Mit der Falschfarbendarstellung werden auch nur zwei Lüftungsvarianten der Büronutzung dargestellt. Die ausgewählten Lüftungsvarianten sind die Variante 1 (ohne Lüftung) und die Variante 2 (Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr). Der Grund für die Auswahl dieser zwei Lüftungsvarianten ist, dass die Variante ohne Lüftung der Berechnung des Tagestemperaturverlaufes lt. ÖNORM B 8110-3 [17] entspricht und die Lüftungsvariante 2 die realistischste Variante darstellt.

7.2 Tabellendarstellung

7.2.1 Wohnnutzung

In Tabelle 25 sind die maximalen operativen Temperaturen aller Zonen für die Wohnnutzung dargestellt:

Tab. 25: Maximale operative Temperatur - Wohnnutzung

Wohnnutzung										
maximale operative Temperatur [°C]										
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Minerale dämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system	
EG	Zone 1	27,0	23,6	23,8	23,8	23,8	23,8	23,7	23,8	
	Zone 2		23,5	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	
	Zone 3		23,1	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	
	Zone 4		24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	
	Zone 5		23,7	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	
	Zone 6		22,7	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,3	22,4
	Zone 7		24,1	23,4	23,5	23,5	23,5	23,5	23,4	23,4
	Zone 8		22,6	22,3	22,3	22,3	22,3	22,3	22,2	22,3
	Zone 9		22,3	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	Zone 10		22,3	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1
	Zone 11		22,5	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
	Zone 12		23,7	23,3	23,3	23,3	23,3	23,3	23,2	23,3
	Zone 13		23,9	23,8	23,9	23,9	23,9	23,9	23,8	23,8
	Zone 14		23,2	23,0	23,1	23,1	23,1	23,1	23,0	23,0
OG1	Zone 15	27,0	23,8	24,0	24,1	24,0	24,1	24,0	24,0	
	Zone 16		23,6	23,5	23,5	23,5	23,5	23,4	23,5	
	Zone 17		23,0	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	22,8	
	Zone 18		23,7	23,6	23,6	23,6	23,6	23,5	23,6	
	Zone 19		23,9	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	
	Zone 20		22,6	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	
	Zone 21		23,4	23,3	23,3	23,3	23,4	23,3	23,3	
	Zone 22		23,9	23,3	23,3	23,3	23,3	23,2	23,3	
	Zone 23		23,7	23,3	23,3	23,3	23,3	23,2	23,3	
	Zone 24		24,1	24,0	24,1	24,1	24,1	24,0	24,0	
	Zone 25		23,3	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	23,2	
	Zone 26		22,1	21,9	21,8	21,9	21,9	21,8	21,9	

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

Aus der Tabelle 25 ist ersichtlich, dass die operativen Temperaturen bei allen Räumen des Modells 2 unterhalb des Grenzwertes von 27 °C liegen. Dies bedeutet, dass der Nachweis gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] bei der Wohnnutzung erfüllt ist.

7.2.2 Büronutzung – Lüftungsvariante 1

Tabelle 26 stellt die maximalen operativen Temperaturen für alle Zonen der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 1 (ohne Lüftung) dar:

Tab. 26: Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 1

Büronutzung-Lüftungsvariante 1: ohne Lüftung										
maximale operative Temperatur [°C]										
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system	
EG	Zone 1	27,0	34,5	36,8	36,9	36,8	36,8	36,8	36,8	
	Zone 2		35,2	37,0	37,1	37,0	37,0	37,0	37,0	
	Zone 3		32,6	34,4	34,5	34,4	34,4	34,4	34,5	34,4
	Zone 4		36,6	38,4	38,5	38,4	38,4	38,4	38,5	38,4
	Zone 5		35,6	37,8	37,9	37,8	37,8	37,8	37,9	37,8
	Zone 6		32,8	34,9	35,0	34,9	34,9	34,9	35,0	34,9
	Zone 7		32,9	36,2	36,3	36,2	36,2	36,1	36,2	36,2
	Zone 8		32,6	34,6	34,8	34,6	34,6	34,6	34,7	34,7
	Zone 9		31,7	33,8	33,9	33,8	33,8	33,8	33,9	33,8
	Zone 10		32,4	34,2	34,3	34,2	34,2	34,2	34,3	34,2
	Zone 11		32,5	34,3	34,4	34,3	34,3	34,3	34,4	34,3
	Zone 12		33,2	36,1	36,2	36,1	36,1	36,1	36,2	36,1
	Zone 13		32,9	36,5	36,6	36,5	36,5	36,5	36,5	36,5
	Zone 14		33,8	36,2	36,3	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2
OG1	Zone 15	27,0	34,8	37,2	37,4	37,2	37,2	37,3	37,2	
	Zone 16		35,8	37,7	37,7	37,6	37,6	37,7	37,7	
	Zone 17		35,7	37,5	37,6	37,5	37,5	37,6	37,5	
	Zone 18		36,4	38,3	38,3	38,3	38,2	38,3	38,3	
	Zone 19		36,6	38,5	38,6	38,5	38,5	38,6	38,5	
	Zone 20		33,6	35,6	35,7	35,6	35,5	35,7	35,6	
	Zone 21		34,4	37,0	37,1	37,0	36,9	37,0	37,0	
	Zone 22		32,7	35,9	36,0	35,9	35,9	35,9	35,9	
	Zone 23		33,1	36,2	36,3	36,2	36,2	36,2	36,2	
	Zone 24		33,0	36,4	36,9	36,7	36,7	36,8	36,7	
	Zone 25		33,9	36,2	36,6	36,4	36,4	36,5	36,5	
	Zone 26		32,3	34,3	34,4	34,3	34,2	34,3	34,3	

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

Bei der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 1 sind alle operativen Temperaturen der Räume höher als der Grenzwert von 27 °C gemäß ÖNORM B 8110-3 [17] und der Nachweis ist somit nicht erfüllt.

7.2.3 Büronutzung – Lüftungsvariante 2

In folgender Tabelle sind die maximalen operativen Temperaturen für jede Zone der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 2 (Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr) gezeigt:

Tab. 27: Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 2

Büronutzung-Lüftungsvariante 2: Lüftung 08:00 – 10:00									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Minerale Dämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
EG	Zone 1	27,0	31,3	32,6	32,7	32,7	32,7	32,5	32,6
	Zone 2		31,9	32,6	32,8	32,7	32,7	32,7	32,7
	Zone 3		29,6	30,3	30,3	30,3	30,3	30,2	30,2
	Zone 4		33,1	33,9	34,1	34,1	34,0	34,0	34,0
	Zone 5		32,1	33,0	33,1	33,1	33,1	33,0	33,1
	Zone 6		29,8	30,6	30,6	30,5	30,6	30,5	30,5
	Zone 7		30,4	31,7	31,9	31,8	31,8	31,7	31,7
	Zone 8		29,6	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3	30,3
	Zone 9		28,5	29,3	29,3	29,3	29,3	29,2	29,3
	Zone 10		29,5	30,1	30,2	30,1	30,2	30,1	30,1
	Zone 11		29,7	30,4	30,4	30,3	30,4	30,3	30,3
	Zone 12		30,4	31,7	31,8	31,7	31,7	31,6	31,7
	Zone 13		30,6	32,5	32,7	32,6	32,6	32,5	32,5
	Zone 14		30,8	32,0	32,1	32,0	32,0	31,9	32,0
OG1	Zone 15	27,0	31,3	32,7	32,9	32,9	32,9	32,8	32,8
	Zone 16		32,1	32,8	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9
	Zone 17		31,7	32,4	32,5	32,5	32,4	32,4	32,5
	Zone 18		32,5	33,3	33,4	33,4	33,4	33,4	33,4
	Zone 19		32,6	33,4	33,5	33,5	33,4	33,4	33,4
	Zone 20		30,2	30,9	30,9	30,9	30,9	30,8	30,9
	Zone 21		30,9	31,9	32,0	31,9	31,9	31,9	31,9
	Zone 22		30,0	31,3	31,4	31,3	31,3	31,2	31,3
	Zone 23		30,2	31,5	31,6	31,5	31,5	31,5	31,5
	Zone 24		30,5	32,0	32,7	32,6	32,6	32,5	32,5
	Zone 25		30,7	31,7	32,1	32,0	32,0	31,9	32,0
	Zone 26		29,0	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

Die Ergebnisse der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 2 zeigen, dass die operativen Temperaturen bei allen Räumen oberhalb des Grenzwertes liegen und der Nachweis nach ÖNORM B 8110-3 [17] nicht erfüllt ist.

7.2.4 Büronutzung – Lüftungsvariante 3

In der Tabelle 28 sind die maximalen operativen Temperaturen für alle Zonen der Büronutzung mit Lüftungsvariante 3 (Lüftung von 07:00 Uhr bis 10:00 Uhr) dargestellt:

Tab. 28: Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 3

Büronutzung-Lüftungsvariante 3: Lüftung 07:00 – 10:00									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
EG	Zone 1	27,0	30,3	31,7	31,8	31,7	31,8	31,7	31,7
	Zone 2		30,8	31,5	31,6	31,5	31,6	31,5	31,6
	Zone 3		28,6	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1
	Zone 4		32,0	32,8	32,8	32,8	32,8	32,7	32,8
	Zone 5		30,9	31,7	31,8	31,7	31,7	31,7	31,7
	Zone 6		28,7	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
	Zone 7		29,6	30,7	30,8	30,8	30,8	30,7	30,7
	Zone 8		28,5	29,0	29,1	29,0	29,0	29,0	29,0
	Zone 9		27,4	28,0	28,1	28,1	28,1	28,1	28,0
	Zone 10		28,4	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9
	Zone 11		28,6	29,2	29,2	29,1	29,2	29,2	29,1
	Zone 12		29,6	30,7	30,9	30,8	30,8	30,8	30,8
	Zone 13		29,7	31,5	31,6	31,6	31,6	31,5	31,5
	Zone 14		29,8	30,8	30,9	30,9	30,9	30,8	30,8
OG1	Zone 15	27,0	30,2	31,9	32,0	32,0	32,0	31,9	31,9
	Zone 16		30,8	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
	Zone 17		30,4	31,0	31,0	31,0	31,0	31,1	31,0
	Zone 18		31,3	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
	Zone 19		31,3	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
	Zone 20		29,0	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5
	Zone 21		29,7	30,7	30,8	30,7	30,7	30,7	30,7
	Zone 22		29,2	30,2	30,3	30,3	30,3	30,2	30,2
	Zone 23		29,4	30,5	30,6	30,5	30,5	30,5	30,5
	Zone 24		29,6	30,8	31,5	31,4	31,5	31,3	31,4
	Zone 25		29,7	30,5	30,8	30,8	30,8	30,7	30,7
	Zone 26		27,9	28,4	28,5	28,4	28,4	28,5	28,4

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der Nachweis lt. ÖNORM B 8110-3 [17] nicht erfüllt ist, weil alle operativen Temperaturen oberhalb des Grenzwertes von 27 °C liegen.

7.2.5 Büronutzung – Lüftungsvariante 4

In der folgenden Tabelle sind die maximalen operativen Temperaturen für alle Zonen der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 4 (Lüftung von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) dargestellt:

Tab. 29: Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 4

Büronutzung-Lüftungsvariante 4: Lüftung 06:00 – 10:00									
maximale operative Temperatur [°C]									
	Zone	Anf.	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Minerale dämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
EG	Zone 1	27,0	29,6	30,9	31,0	31,0	31,0	30,9	31,0
	Zone 2		29,9	30,5	30,6	30,5	30,5	30,5	30,5
	Zone 3		27,7	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1
	Zone 4		31,0	31,7	31,8	31,8	31,8	31,7	31,7
	Zone 5		30,0	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6	30,6
	Zone 6		27,8	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
	Zone 7		28,9	29,8	29,9	29,9	29,9	29,8	29,8
	Zone 8		27,6	28,0	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0
	Zone 9		26,5	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
	Zone 10		27,5	27,9	28,0	28,0	28,0	27,9	27,9
	Zone 11		27,7	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
	Zone 12		28,9	29,9	30,0	30,0	30,0	29,9	29,9
	Zone 13		29,0	30,7	30,8	30,8	30,8	30,7	30,7
	Zone 14		28,9	29,8	29,9	29,8	29,9	29,8	29,8
OG1	Zone 15	27,0	29,5	31,1	31,3	31,3	31,2	31,1	31,1
	Zone 16		29,9	30,5	30,6	30,5	30,5	30,5	30,5
	Zone 17		29,4	29,9	29,9	29,8	29,8	29,8	29,8
	Zone 18		30,3	30,9	30,9	30,8	30,8	30,9	30,9
	Zone 19		30,3	30,8	30,9	30,8	30,8	30,8	30,8
	Zone 20		28,0	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4
	Zone 21		28,9	29,7	29,8	29,8	29,8	29,7	29,7
	Zone 22		28,5	29,3	29,4	29,4	29,4	29,3	29,3
	Zone 23		28,7	29,6	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6
	Zone 24		28,8	29,8	30,6	30,6	30,6	30,5	30,5
	Zone 25		28,8	29,4	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	Zone 26		27,0	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4

Legende:

- Wert der operativen Temperatur unterhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Wert der operativen Temperatur oberhalb des Grenzwertes von 27 °C (lt ÖNORM B 8110-3)
- Kritischer Raum

Die Ergebnisse zeigen, dass der Nachweis laut ÖNORM B 8110-3 [17] nur für zwei Zonen knapp erfüllt ist. Die maximalen operativen Temperaturen der anderen Zonen sind höher als der Grenzwert von 27 °C.

7.3 Falschfarbendarstellung

Für die Falschfarbendarstellung wurden, neben dem Bestandsgebäude, die Innendämmsysteme Multipor Mineralfüllplatten für die Wohnnutzung und Mineralwolle mit Gipskartonplatten für die Büronutzung ausgewählt. Es ist wichtig zu bemerken, dass die Temperaturskalen für jedes Bild unterschiedlich sind.

7.3.1 Wohnnutzung

Maximale operative Temperatur [°C]

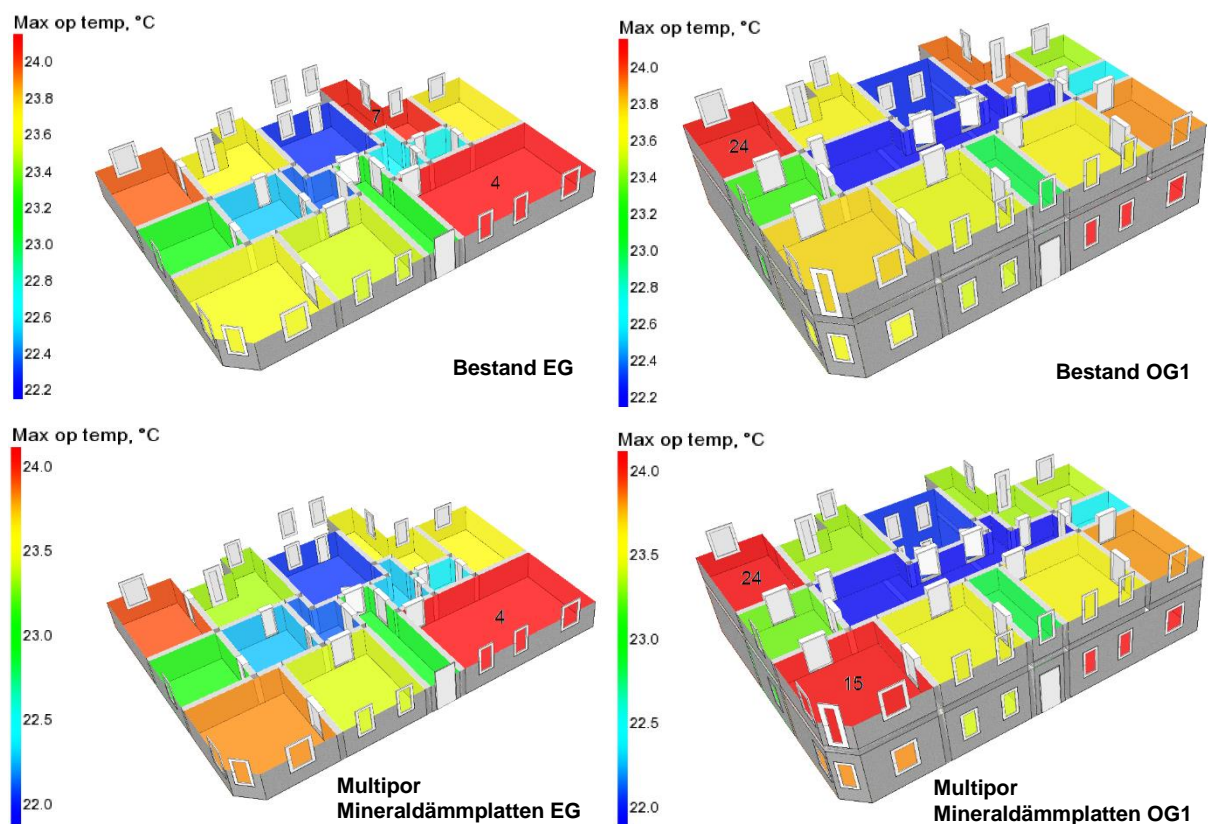


Abb. 41: Maximale operative Temperatur - Wohnnutzung

In Abbildung 41 sind die maximalen operativen Temperaturen der Wohnnutzung für die Bestandsgebäude und für das sanierte Gebäude mit einem Innendämmsystem dargestellt. Wichtig ist, dass der Unterschied zwischen den maximalen operativen Temperaturen der Innendämmsysteme sehr gering ist. Aus diesem Grund wurde für die Falschfarbendarstellung das System mit den höchsten operativen Temperaturen (Multipor Mineralfüllplatten) ausgewählt. Es ist ersichtlich, dass die eckorientierten Räume die höchsten operativen Temperaturen aufweisen, wobei die Temperaturdifferenz sehr gering ist. Innenräume im Vergleich zu außenliegenden Räumen besitzen niedrigere operative Temperaturen. Es ist auch bemerkbar, dass die nordwestorientierten Räume, wie Zone 7 bei dem Bestandsgebäude und Zone 24 bei dem sanierten Gebäude, höhere operative Temperaturen aufweisen. Die

Innendämmung reduziert die speicherwirksame Masse wesentlich. Der südwestorientierte Raum (Zone 4) erweist sich als kritischer Raum, sowohl im Bestandsobjekt, als auch bei der Sanierung. Die operative Temperatur liegt hier in beiden Fällen bei ca. 24 °C Die Grenztemperatur laut ÖNORM B 8110-3 [17] von 27 °C wurde nicht überschritten und der Nachweis somit erbracht.

7.3.2 Büronutzung – Lüftungsvariante 1

Maximale operative Temperatur [°C]

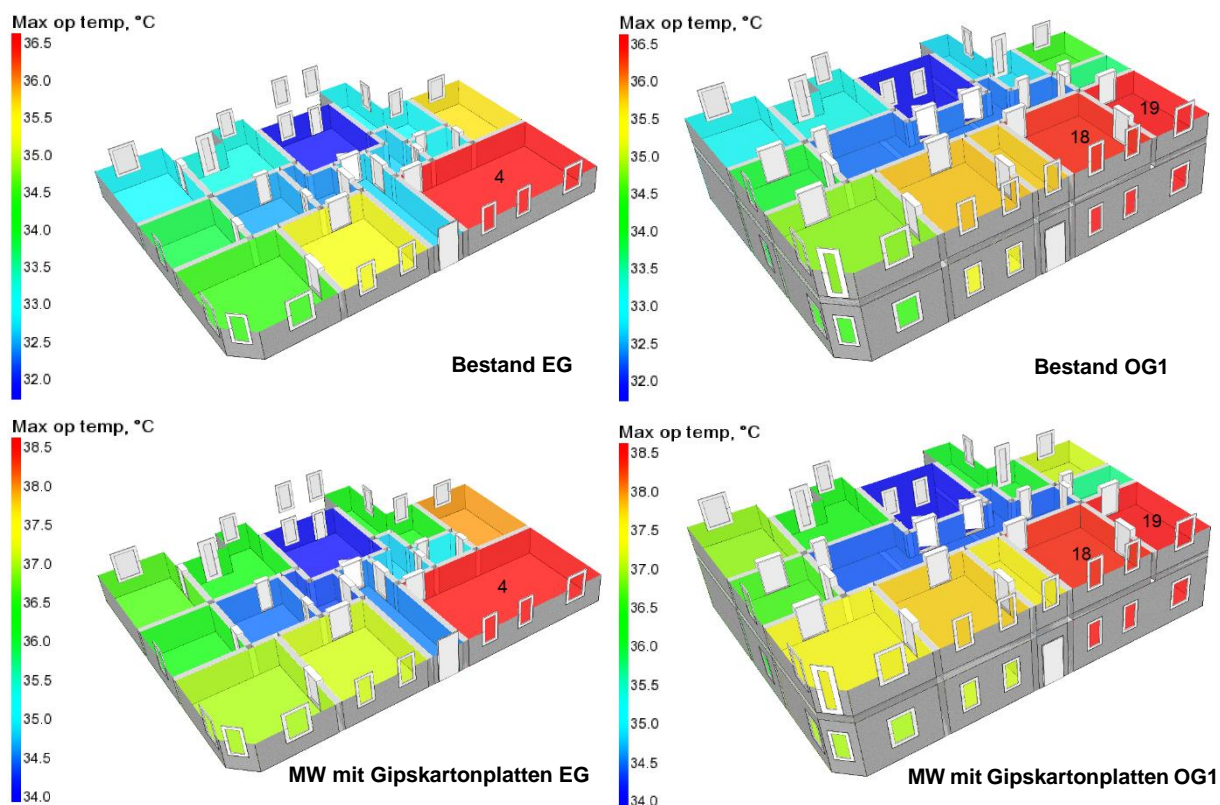


Abb. 42: Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 1

Abbildung 42 zeigt die maximalen operativen Temperaturen der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 1 (ohne Lüftung) für das Bestandsgebäude und für das sanierte Gebäude mit einem Innendämmsystem. Als Innendämmung wurde das System Mineralwolle mit Gipskartonplatten, das im Vergleich zu anderen Innendämmsystemen höchste operative Temperaturen aufweist, gewählt. Es ist ersichtlich, dass die südwestorientierten Zonen die höchsten Temperaturen zeigen. Innenzonen im Vergleich zu außenliegenden Zonen besitzen niedrigere operative Temperaturen.

Die Temperaturskala zeigt, dass die niedrigste Temperatur ca. 32 °C bei dem Bestandsgebäude beträgt, im Sanierungsfall ca. 34 °C. Dies bedeutet, dass der Nachweis

nach ÖNORM B 8110-3 [17] für alle Zonen beim Bestandsgebäude sowie beim sanierten Gebäude nicht erfüllt ist. Die höchsten operativen Temperaturen weisen Zonen 4, 18 und 19 auf. Die Zone 19 (Büro 11) zeigt sich als kritischster Raum. Die operative Temperatur in der Zone 19 reicht von 36,6 °C bis zu 38,6 °C in Abhängigkeit von den verwendeten Innendämmsystemen.

7.3.3 Büronutzung – Lüftungsvariante 2

Maximale operative Temperatur [°C]

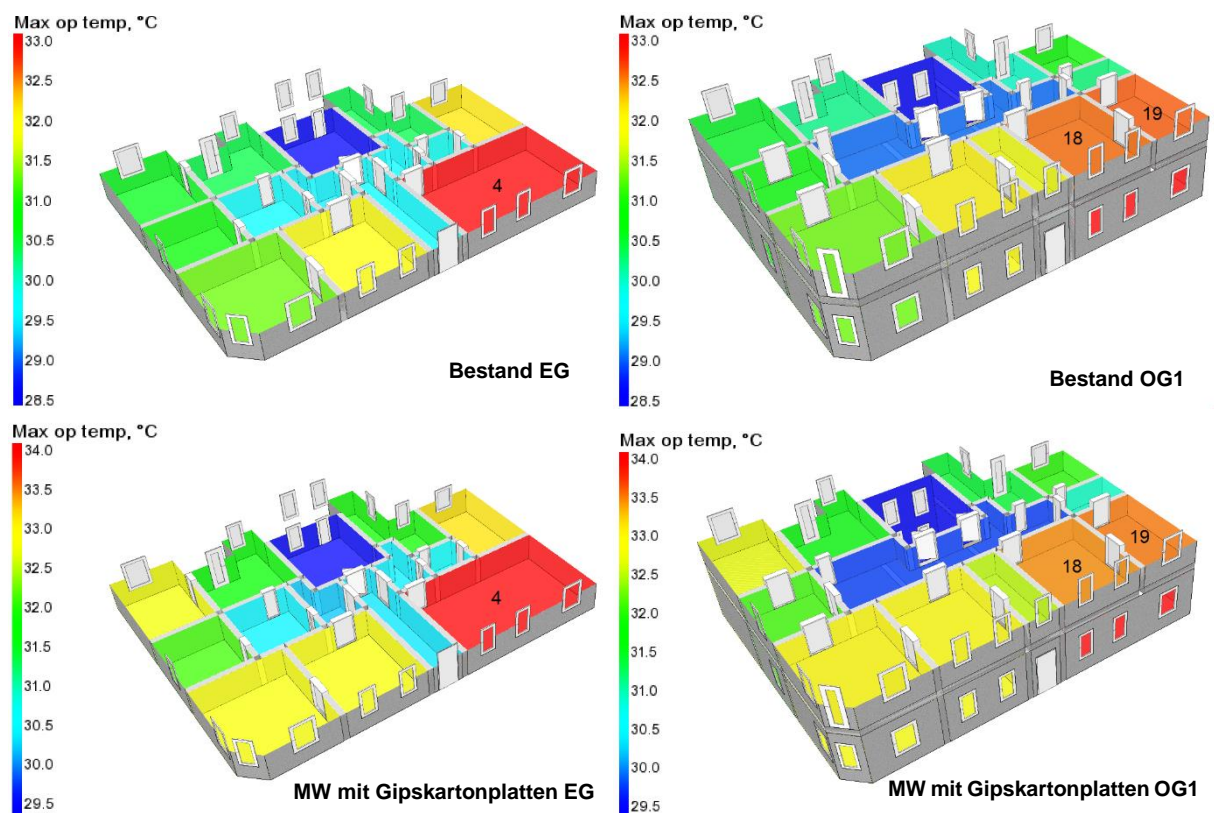


Abb. 43: Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 2

In Abbildung 43 sind die maximalen operativen Temperaturen der Büronutzung mit der Lüftungsvariante 2 (Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr) für das Bestandsgebäude sowie für das sanierte Gebäude mit einem Innendämmsystem dargestellt. Das ausgewählte Innendämmsystem ist Mineralwolle mit Gipskartonplatten, das im Vergleich zu anderen Systemen die höchsten operativen Temperaturen aufweist. Es ist wie bei der Variante ohne Lüftung ersichtlich, dass die südwestorientierten Zonen die höchsten Temperaturen besitzen. Innenzonen im Vergleich zu außenliegenden Zonen haben wiederum niedrigere operative Temperaturen.

Hervorzuheben ist, dass die niedrigste Temperatur ca. 29,5 °C beträgt und dies bedeutet, dass der Nachweis lt. ÖNORM B 8110-3 [17] für alle Zonen nicht erbracht wurde. Die südwestorientierte Zone 4 (Büro 3) erweist sich als kritischster Raum. Die operative Temperatur in Zone 4 liegt zwischen 33,1 °C und 34,1 °C in Abhängigkeit von den verwendeten Innendämmsystemen.

8 Interpretation der Simulationsergebnisse

8.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Gebäudesimulation interpretiert. Im Weiteren wird der Verlauf der operativen Temperaturen für die heißeste Woche dargestellt es wird der Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur bei der Büronutzung analysiert.

8.2 Verlauf der operativen Temperaturen

8.2.1 Wohnnutzung

In Abbildung 44 sind sieben Temperaturverläufe der Zone 4 für das Bestandsgebäude und das sanierte Gebäude, das mit sechs verschiedenen Innendämmsystemen saniert wurde, abgebildet. Im Diagramm befindet sich noch die Außenlufttemperatur sowie der Grenzwert der operativen Temperatur laut ÖNORM B 8110-3 [17]. Verwendet wurden die Simulationsergebnisse der Wohnnutzung für die heißeste Woche (von 25.Juni bis 01.Juli) für den Standort Graz.

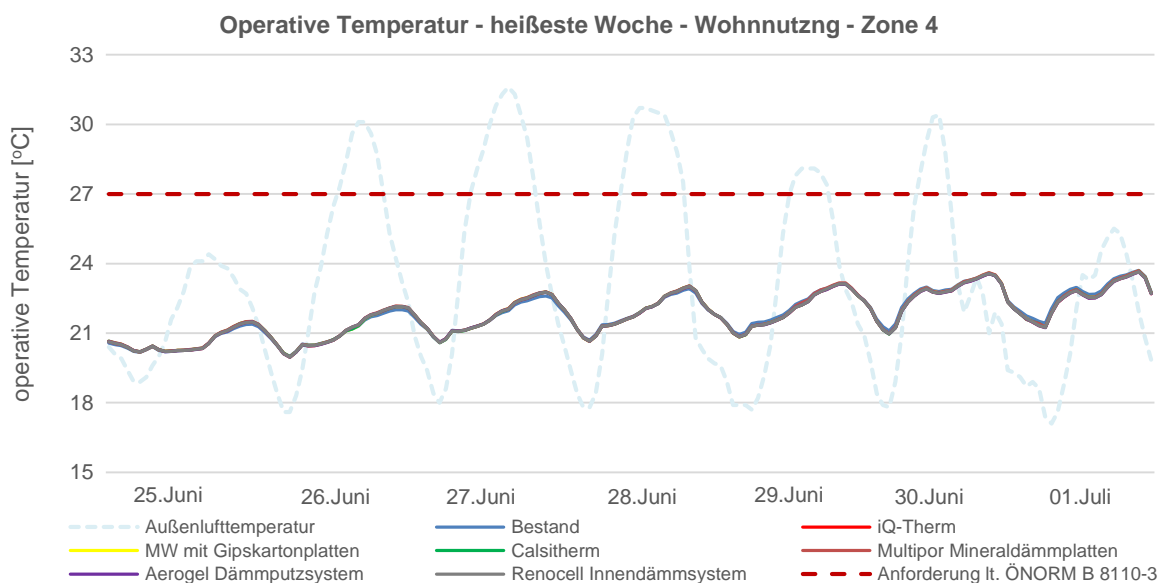


Abb. 44: Temperaturverlauf – Zone 4 – Wohnnutzung

Das Diagramm zeigt, dass die operative Temperatur bei dem Bestandsgebäude fast gleich wie die operativen Temperaturen bei dem sanierten Gebäude sind. Alle operativen Temperaturen sind deutlich niedriger als die Grenztemperatur von 27°C. Wenn man die maximale tägliche Temperatur, mit der maximale tägliche Außenlufttemperatur vergleicht, ist es ersichtlich, dass sich die Innentemperaturspitze immer im Durchschnitt ca. 7 Stunden nach der maximalen Tageslufttemperatur einstellt. In der Nacht ist zu bemerken, dass die niedrigste

Innentemperatur im gleichen Zeitpunkt wie die niedrigste Außenlufttemperatur für jeden Tag stattfindet.

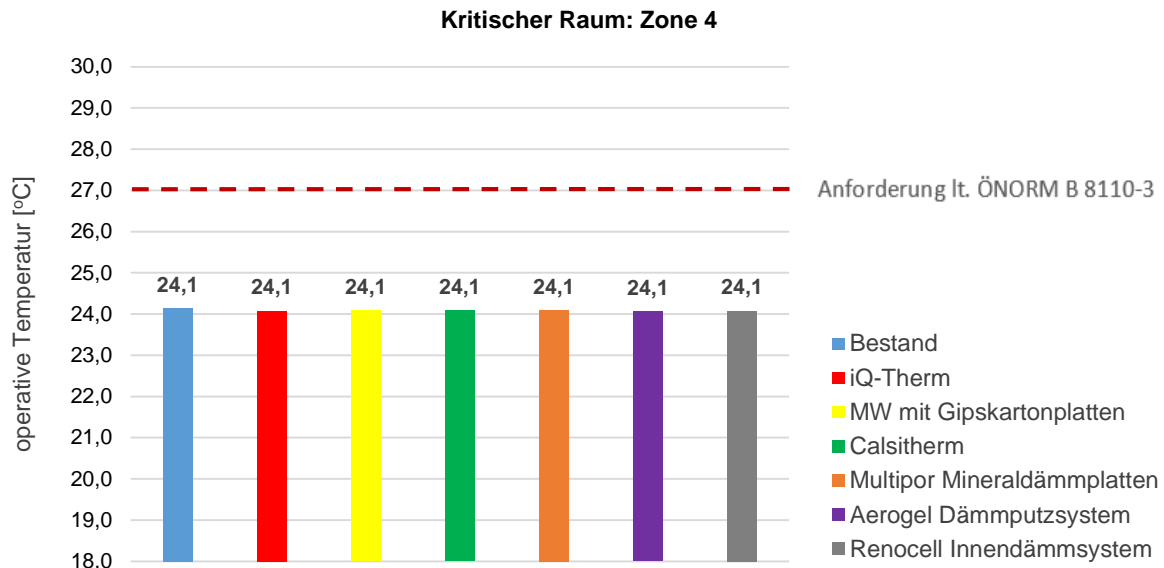


Abb. 45: Maximale operative Temperaturen – Zone 4 - Wohnnutzung

In Abbildung 45 sind die maximale operative Temperatur für den kritischen Raum bzw. Zone 4 dargestellt. Die maximale operative Temperatur beträgt für den Bestand und für die Sanierung 24,1 °C.

Man kann also zum Schluss kommen, dass die Sanierungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Innendämmsystemen bei der Wohnnutzung mit einer natürlichen Nachtlüftung keinen Einfluss auf die Innentemperatur haben.

8.2.2 Büronutzung

In den folgenden 4 Diagrammen ist der Verlauf der operativen Temperatur des kritischen Raumes für vier unterschiedliche Lüftungsvarianten der Büronutzung dargestellt.

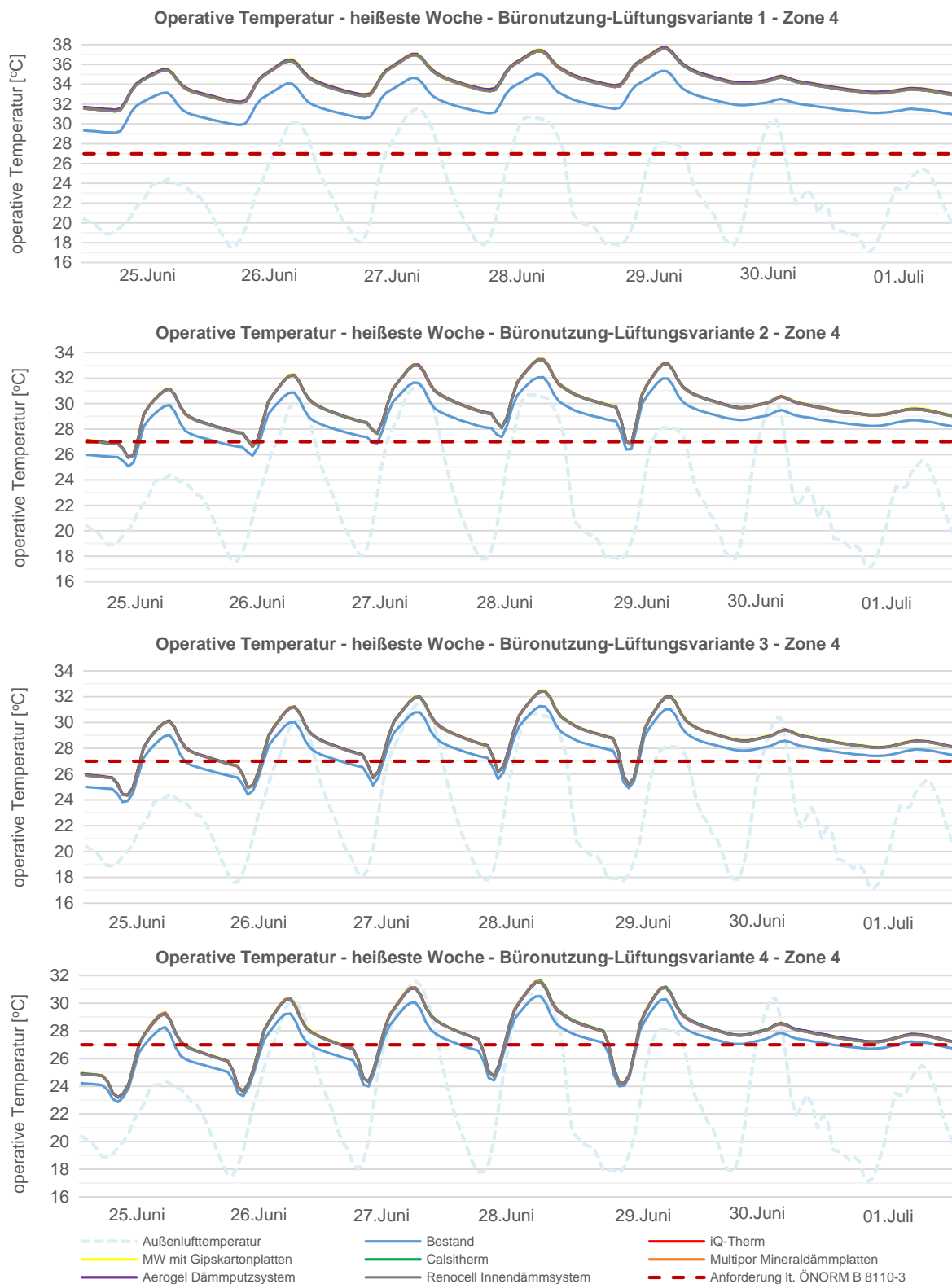


Abb. 46: Temperaturverlauf – Zone 4 – Büronutzung (alle Lüftungsvarianten)

Es ist ersichtlich, dass die operative Temperatur während der Arbeitszeit fast immer die maximal erlaubte Temperaturgrenze nach ÖNORM B 8110-3 [17] von 27 °C überschreitet. Die Temperaturverläufe der unterschiedlichen Sanierungsvarianten sind wie bei der Wohnnutzung fast ident. Bei der Variante ohne Lüftung bzw. Lüftungsvariante 1 ist der Temperaturunterschied zwischen Bestand und Sanierung ca. 3 °C und die Temperaturverläufe sind parallel. Schon bei der Lüftungsvariante 2 mit einer kurzzeitigen Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr vermindert sich die Temperaturdifferenz und die Temperaturverläufe sind nicht mehr parallel.

Bei einer weiteren Erhöhung der Lüftungszeit ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude noch abnimmt. Es ist bemerkbar, dass die operative Temperatur bei der Lüftungsvariante 4 in den Frühstunden bzw. während der Lüftung unter der Temperaturgrenze von 27 °C bleibt. Nach dem Schließen der Fenster steigt die Innentemperatur stark an.

Erkennbar ist auch, dass sich die Temperaturdifferenz während der Lüftungszeit zwischen dem Bestandsgebäude und saniertem Gebäude infolge des höheren Luftaustausches, verringert. Es ist auch noch feststellbar, dass der Temperaturunterschied bei den Lüftungsvarianten sehr gering ist.

Unabhängig von den Lüftungsvarianten findet am Wochenende eine deutliche Temperaturabsenkung statt. Daraus kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass die inneren Lasten von Personen, Geräte und Beleuchtung einen großen Einfluss auf das Innenklima bzw. die Innentemperatur haben.

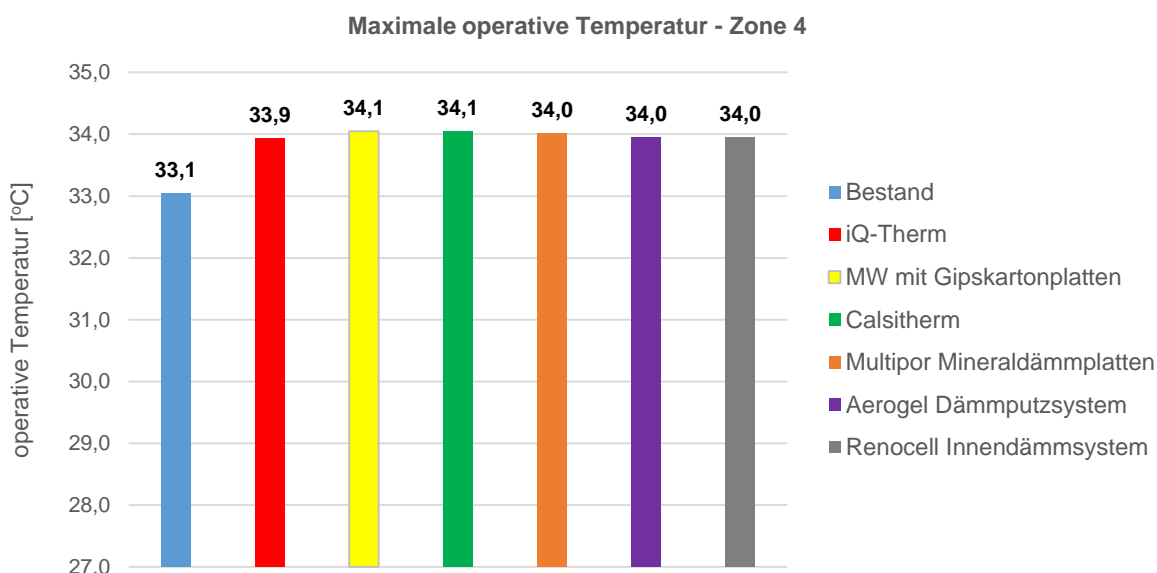


Abb. 47: Maximale operative Temperaturen – Zone 4 – Büronutzung-Lüftungsvariante 2

In Abbildung 47 sind die maximalen operativen Temperaturen der Zone 4 für die Lüftungsvariante 2 (Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr) der Büronutzung dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsgebäude und allen Innendämmsystemen im sanierten Fall ca. 1 °C beträgt. Bei den Innendämmsystemen sieht man, dass die Temperaturdifferenz sehr gering ist (maximal 0,2 °C). Aus den gewonnenen Erkenntnissen kann man schlussfolgern, dass eine Sanierung der Außenwand mittels Innendämmung keinen großen Einfluss auf die Innentemperatur hat.

8.3 Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur bei der Büronutzung

Um den Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur zu bestimmen, wurde ein Vergleich der operativen Temperaturen für die Zone 4 zwischen Bestand und Sanierung mit einem Innendämmsystem (MW mit Gipskartonplatten) für vier Lüftungsvarianten durchgeführt. Der Vergleich ist im folgenden Diagramm dargestellt:

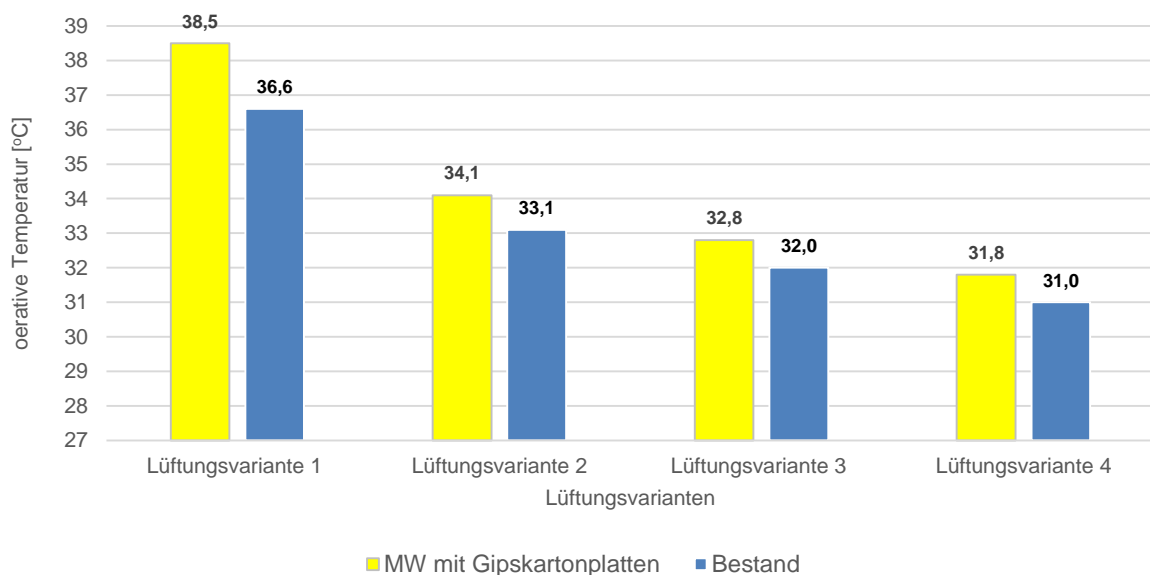


Abb. 48: Vergleich der maximalen operativen Temperaturen - Zone 4 - Büronutzung

Aus dem Diagramm 48 ist es ersichtlich, dass die höchste operative Temperatur die Variante ohne Lüftung aufweist. Die maximale operative Temperatur bei der Lüftungsvariante 2 (natürliche Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr) erreicht einen deutlich niedrigeren Wert im Vergleich zur Variante ohne Lüftung. Eine 2-stündige Lüftung senkt die operative Temperatur um mehr als 4 °C bei dem Bestandsgebäude bzw. 3,5 °C bei dem sanierten Gebäude mit Mineralwolle.

Eine weitere Verlängerung der Fensterlüftung für eine Stunde am Morgen (von 07:00 Uhr bis 10:00 Uhr) verringert die maximale operative Temperatur um ca. 1 °C für das Bestandsgebäude und für das sanierte Gebäude. Die vierte Lüftungsvariante, die wieder für eine Stunde (von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) verlängert wird, weist die maximale operative

Temperatur wiederum einen um 1 °C niedrigeren Wert als bei der vorherigen Lüftungsvariante auf.

In Abbildung 49 sind die Temperaturdifferenzen zwischen den maximalen operativen Temperaturen des Bestandsgebäudes und des sanierten Gebäudes (MW mit Gipskartonplatte) für Zonen 4, 24 und 17 dargestellt. Der Grund für die Auswahl dieser Zonen liegt darin, dass die Zone 4 den kritischen Raum darstellt und die Zonen 24 und 17 die größten bzw. niedrigsten Temperaturdifferenzen vor und nach Sanierung aufweisen. Für die Analyse wurden nur die Zonen, welche als Büros verwendet werden, betrachtet. Die Temperaturdifferenzen für alle andere Zonen befinden sich im Anhang 1. Neben den Ergebnissen bzw. Temperaturdifferenzen der Bürozone sind in der folgenden Grafik zusätzlich die Temperaturunterschiede vor und nach der Sanierung für die Wohnnutzung zur Darstellung der Nachtlüftung zusammengefasst.

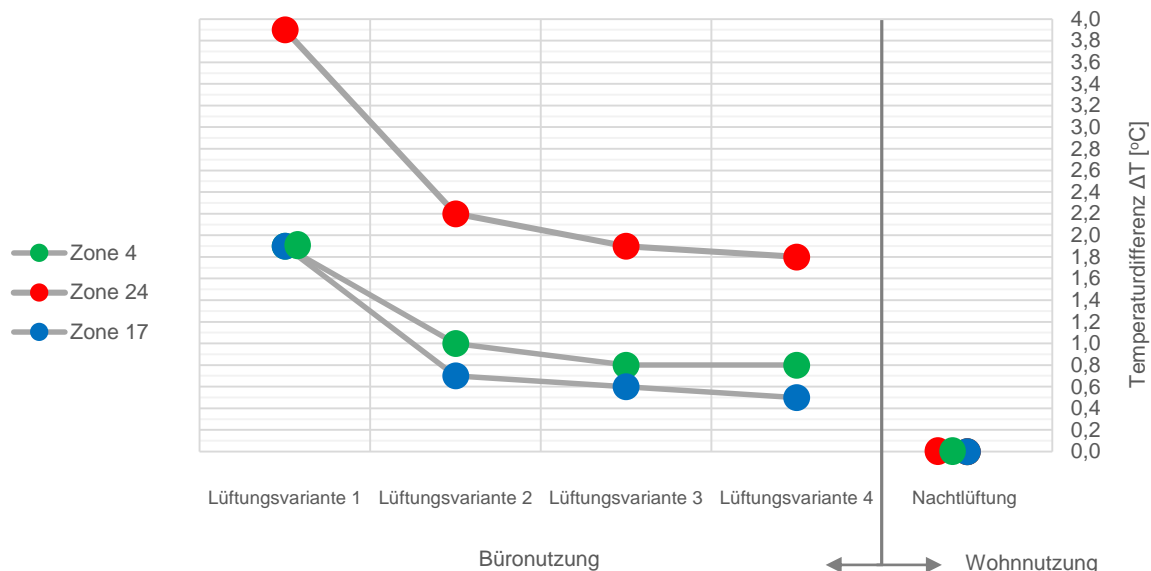


Abb. 49: Temperaturdifferenz – Bestandsgebäude und saniertes Gebäude – Büronutzung

Der rechte Teil in der Grafik stellt die Temperaturdifferenz bei der Wohnnutzung mit einer Nachtlüftung (von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) dar. Ein Nullwert für alle drei Zonen bedeutet, dass es keinen Temperaturunterschied vor und nach der Sanierung der Außenwände gibt.

Auf der linken Diagrammseite sind die Temperaturunterschiede vor und nach der Sanierung für drei Zonen dargestellt, wobei die Zonen 24 und 17, die Zonen mit größtem bzw. kleinstem Außenwandanteil darstellen. Es ist ersichtlich, dass ohne Lüftung der Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsobjekt und dem sanierten Objekt die größte Differenz aufweist. Im Weiteren ist erkennbar, dass sich mit einer Erhöhung der Lüftungszeit von Lüftungsvariante 2 bis Lüftungsvariante 4 der Temperaturunterschied für alle drei Zonen verringert. Ein Vergleich zwischen den Zonen zeigt, dass die Zone mit größtem Außenwandanteil den höchsten Temperaturunterschied vor und nach Sanierung aufweist.

Aus allen erwähnten Erkenntnissen ergibt sich die Schlussfolgerung, dass sich die Temperaturunterschiede zwischen Bestand und Sanierung sich durch die Erhöhung der Lüftung verringern. Dementsprechend kann mit einer Nachtlüftung der Einfluss einer Innendämmung auf die maximale operative Temperatur vollständig vermieden werden.

Aus den Untersuchungen in dieser Masterarbeit kann man somit schlussfolgern, dass ein unerwünschter Einfluss einer Innendämmung auf die sommerliche Behaglichkeit in Bestandsgebäuden, welche als Wohngebäude verwendet werden, durch eine regelmäßige Nachtlüftung vermieden werden kann. Bei der Büronutzung ist eine Nachtlüftung aus Sicherheits- bzw. Witterungsgründen nicht möglich, die Untersuchung zeigt hier aber, dass mit einer Frühlüftung die Temperaturdifferenz zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude relativ geringgehalten werden kann (maximal 1,8 °C).

8.4 Gegenüberstellung Simulationsergebnisse vs. gemessene Werte

Im Rahmen eines Forschungsprojekts des Hochbauinstituts der TU Graz wurde in einem Raum (Zone 13) des betrachteten Bestandsobjekts eine Klimabox installiert, mit den Sensoren u.a. zur Messung der Außenluft- und Innenraumtemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Sonnenstrahlung und des Niederschlags angebracht sind. [8]

In diesem Abschnitt wird eine Gegenüberstellung zwischen den Temperaturen der Gebäudesimulation und der mittels Klimabox gemessenen tatsächlichen Temperaturen für die Zone 13 durchgeführt. Verglichen wurden die gemessenen Temperaturen mit den berechneten Temperaturen der Wohnnutzung sowie der Büronutzung, jeweils für alle vier Lüftungsvarianten. Der Grund für den Vergleich mit beiden Nutzungen liegt darin, dass dieser Raum (Zone 13) in der Realität als Ruheraum von Studenten verwendet wird. Dies bedeutet, dass für diesen Raum die Randbedingungen für die Wohnnutzung und Büronutzung, die in der Simulation genutzt wurden, nicht vollständig gültig sind. Z.B. ist die Anwesenheit bei den Studenten nicht regelmäßig. Das Ziel dieses Vergleichs ist es, die Abweichung der Innenraumtemperaturen zwischen Messung und Berechnung zu bestimmen.

In der Abbildung 50 sind die Temperaturverläufe der Zone 13 des Bestandsgebäudes für die Wohn- und Büronutzung (alle Lüftungsvarianten) sowie der Verlauf der gemessenen Temperaturen dargestellt. Als Zeitperiode wurde die heißeste Woche (von 25.Juni bis 01.Juli) aus der Gebäudesimulation ausgewählt.

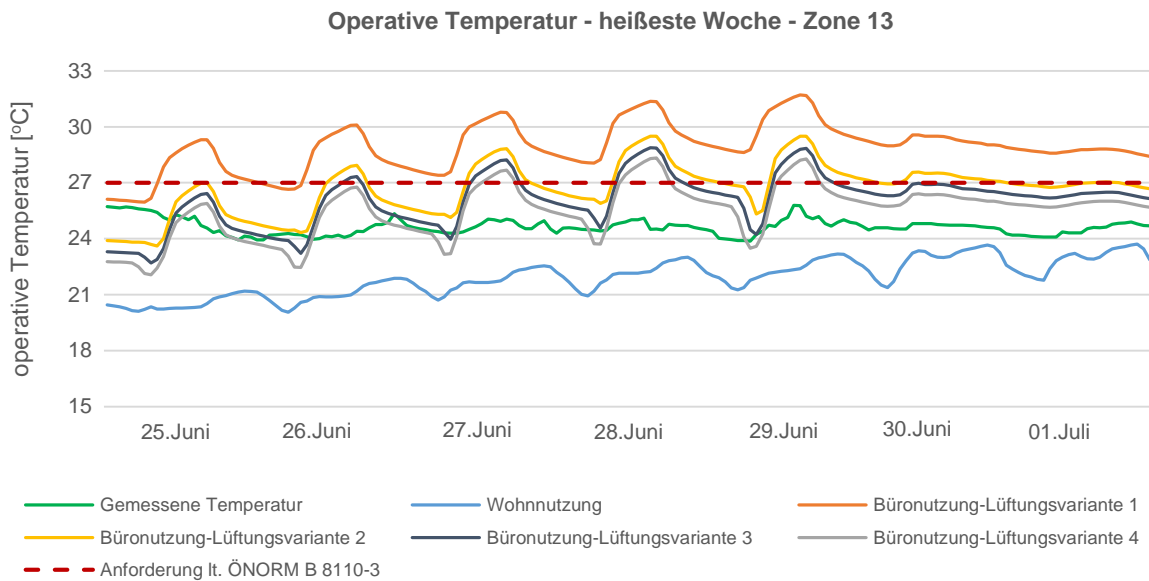


Abb. 50: Temperaturverlauf – Zone 13

Das Diagramm zeigt, dass die gemessenen Temperaturen zwischen den Temperaturen der Wohnnutzung und der Büronutzung mit Lüftungsvariante 4 (Lüftung von 06 Uhr bis 10 Uhr) liegen. Es ist auch bemerkbar, dass die Temperaturverlaufskurve der gemessenen Temperaturen mit jener der Wohnnutzung ähnlich ist. Die gemessenen Temperaturen sind auch niedriger als die Grenztemperatur von 27 °C lt. ÖNORM B 8110-3 [17].

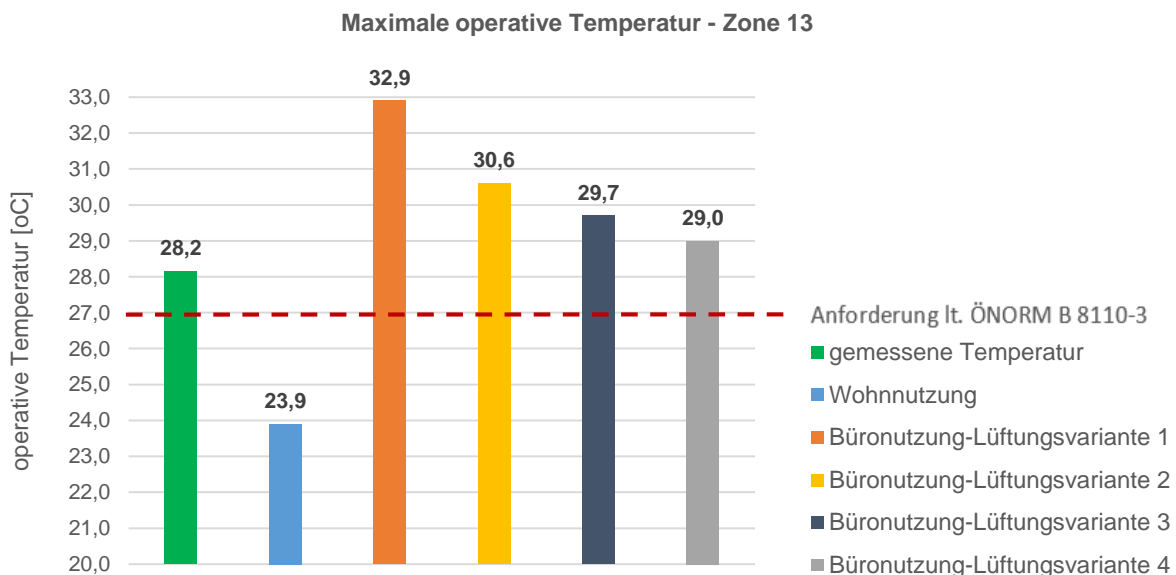


Abb. 51: Maximale operative Temperatur – Zone 13

In Abbildung 51 sind die maximalen operativen Temperaturen der Simulation für Wohn- und Büronutzung (alle Lüftungsvarianten) des Bestandsgebäudes sowie die gemessene Temperatur für die Zone 13 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der größte Temperaturunterschied zwischen der gemessenen Temperatur und der maximalen operativen Temperaturen der Gebäudesimulation bei ca. 4,7 °C (Büronutzung-Lüftungsvariante 1) liegt.

Die maximale gemessene Temperatur kommt der berechneten maximalen operativen Temperatur der Büronutzung mit Lüftungsvariante 4 (Lüftung von 06 Uhr bis 10 Uhr) sehr nahe, der Temperaturunterschied beträgt hier 0,8 °C. Der Temperaturunterschied im Vergleich zur Wohnnutzung beträgt ca. 4,3 °C.

9 Gegenüberstellung Gebäudesimulation vs. Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Gebäudesimulation und der Berechnungen lt. ÖNORM B 8110-3 [17] für die Zone 18 des Modells 2 mit Wohnnutzung zusammengefasst und dargestellt:

Tab. 30: Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 vs. Gebäudesimulation - Wohnnutzung

Wohnnutzung – Zone 18								
Berechnungsverfahren	Anforderungen	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
vereinfachtes Verfahren	2000 [kg/m ²]	55 404	50 038	49 824	49 815	49 819	50 081	50 124
Tagestemp- aturverlauf	27,0 [°C]	25,3	25,5	25,5	25,5	25,5	25,6	25,5
Gebäude- simulation		23,7	23,6	23,6	23,6	23,6	23,5	23,6

Legende:

- Anforderungen erfüllt
- Anforderungen nicht erfüllt

Es ist ersichtlich, dass der Nachweis bei der Wohnnutzung für alle drei Berechnungsverfahren erbracht wird. Es zeigt sich auch, dass die Unterschiede zwischen den maximalen operativen Temperaturen bei dem Tagestemperturverlauf (Verfahren nach ÖNORM) und der Gebäudesimulation vor und nach der Sanierung sehr gering sind.

In der Tabelle 31 sind die Ergebnisse der Gebäudesimulation (ohne Lüftung) und der Berechnung des Tagestemperturverlaufes nach ÖNORM B 8110-3 [17] für die Zone 19 bzw. Büro 11 der Büronutzung des Modells 2 zusammengefasst und dargestellt:

Tab. 31: Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 vs. Gebäudesimulation - Büronutzung

Büronutzung – Büro 11/Zone 19								
Berechnungsverfahren	Anforderungen	Bestand	iQ-Therm	MW mit Gipskartonplatten	Calsitherm	Multipor Mineraldämmplatten	Aerogel Dämmputzsystem	Renocell Innendämm-system
Tagestemp- aturverlauf	27,0 [°C]	36,9	39,0	39,1	39,0	39,0	39,1	39,0
Gebäude- simulation		36,6	38,5	38,6	38,5	38,5	38,6	38,5

Legende:

- Anforderungen erfüllt
- Anforderungen nicht erfüllt

Es ist erkennbar, dass die operativen Temperaturen bei beiden Berechnungsverfahren sehr hohe Werte erreichen. Für die unterschiedlichen Sanierungsvarianten kann, wie bei der Wohnnutzung, festgestellt werden, dass die Temperaturdifferenzen zwischen den Innendämmvarianten wiederum sehr gering sind. Ein Vergleich der operativen Temperaturen vor und nach Sanierung zeigt dagegen einen Temperaturunterschied von ca. 2 °C.

10 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit der sommerlichen Überwärmung in Bestandsgebäuden und deren Sanierung mit Innendämmung. Dafür wurden 2 Modelle mit zwei unterschiedliche Nutzungen definiert. Um den Einfluss der Innendämmung auf die sommerliche Überwärmung zu untersuchen, wurden sechs verschiedene Innendämmsysteme mit zugehörigen Bauteilaufbauten festgelegt.

Das Anbringen einer Innendämmung zur Sanierung von Bestandsobjekten führt zu einer Verbesserung der Wärmedurchgangskoeffizienten, allerdings auch zu einer Verringerung der speicherwirksamen Masse. Um den Einfluss der Innendämmsysteme auf die sommerliche Überwärmung festzulegen, wurden auch die U-Werte und die speicherwirksamen Massen der Außenwände verglichen. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass die Verbesserung der U-Werte von Außenwänden mit Innendämmung gegenüber der Bestandsaußenwand mehr als 60 % beträgt. Die Berechnung der speicherwirksamen Massen der Außenwände wurden mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes durchgeführt. In beiden Fällen weist die Bestandsaußenwand den höchsten Wert der speicherwirksamen Masse auf. Der Unterschiede zwischen den einzelnen speicherwirksamen Massen der sanierten Außenwände ist in beiden Fällen sehr gering. Ein Vergleich zwischen den Berechnungsverfahren mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes zeigt, dass die Berechnung der speicherwirksamen Masse ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes deutlich höhere Werte auswirft. Im Fall der Bestandsaußenwand, ist die speicherwirksame Masse ohne Wärmeübergangswiderstand um 100 % größer als die Speichermasse bei Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes. Die Analyse zeigt, dass der Einfluss des Wärmeübergangswiderstandes auf die Berechnung der Speichermasse bei der Bestandsaußenwand deutlich größer ist als bei den sanierten Außenwänden. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass Bauteile mit größerer speicherwirksamer Masse im Vergleich zu Bauteilen mit kleineren Speichermassen, einen deutlich höheren Unterschied mit und ohne Berücksichtigung des Wärmeübergangswiderstandes aufweisen.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung, gemäß derzeit gültige ÖNORM B 8110-3 [17] mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren für beide definierte Modelle durchgeführt. Der Nachweis mittels des vereinfachten Verfahren wurde nur für die Wohnnutzung geführt. Die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens zeigen, dass der Nachweis für alle Räume leicht erfüllt ist. Aus der Analyse der Ergebnisse kann man schlussfolgern, dass die in dieser Untersuchung verwendeten Innendämmsysteme keinen entscheidenden Einfluss auf die Berechnung der immissionsflächenbezogenen speicherwirksamen Masse bzw. des vereinfachten Verfahrens haben. Die Ergebnisse der Berechnung des Tagestemperaturverlaufes zeigen, dass der Nachweis lt. ÖNORM B 8110-3 [17] für die Wohnnutzung bei beiden Modellen erbracht wurde. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es bei der Wohnnutzung mit einer Nachtlüftung keinen Einfluss von den innensanierten Wänden bzw. den Innendämmungen auf die Innenraumtemperatur gibt. Bei der Büronutzung der beiden Modelle liegen die operativen Temperaturen bei beiden Modellen in den meisten Fällen oberhalb des

Temperaturgrenzwertes von 27 °C. Die operativen Temperaturen bei Büronutzung erreichen in einigen Fällen den Wert von 39,1 °C. Die Gründe für die hohen Temperaturen sind die erhöhte inneren Lasten und der Ausfall der Lüftung (Nacht).

Neben den Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 [17] wurde in dieser Masterarbeit auch eine Gebäudesimulation durchgeführt. Dafür wurde nur das Modell 2, das auf 26 Zonen aufgeteilt wurde, verwendet. Für die Berechnung der sommerlichen Überwärmung erfordert die Gebäudesimulation viele Annahmen und komplexe Festlegungen der Randbedingungen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein Bestandsgebäude handelt, sollten diese Annahmen und Randbedingungen möglichst der Realität entsprechen. Die Analyse der Ergebnisse für die Wohnnutzung zeigt, dass die Sanierungsmaßnahmen mit unterschiedlichen Innendämmsystemen mit einer natürlichen Nachtlüftung keinen Einfluss auf die Innentemperatur bzw. auf die sommerliche Überwärmung haben.

Bei der Büronutzung wurden, um den Einfluss der Lüftung auf die sommerliche Überwärmung festzulegen, verschiedene Lüftungsvarianten (ohne Lüftung, mit einer Lüftung von 08:00 Uhr bis 10:00 Uhr, von 07:00 Uhr bis 10:00 Uhr und von 06:00 Uhr bis 10:00 Uhr) definiert und untersucht. Es zeigte sich, dass mit der Erhöhung der Lüftungszeit der Temperaturunterschied zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude mit den unterschiedlichen Innendämmsystemen abnimmt. Unabhängig von den Lüftungsvarianten findet am Wochenende eine deutliche Temperaturabsenkung statt. Daraus kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass die inneren Lasten von Personen, Geräten und Beleuchtung einen großen Einfluss auf die Innentemperatur haben. Um den Einfluss der Lüftung auf die Innentemperatur detailliert festzulegen, wurde ein Vergleich der operativen Temperaturen für die kritische Zone zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude für alle sieben genannte Lüftungsvarianten durchgeführt. Zudem wurden auch die Temperaturdifferenzen zwischen den maximalen operativen Temperaturen des Bestandsgebäudes und des sanierten Gebäudes analysiert. Aus diesen Untersuchungen ging hervor, dass die Unterschiede der Raumlufttemperatur zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude sich durch die Erhöhung der Lüftung verringern. Des Weiteren zeigt der Vergleich zwischen den Zonen, dass die Zone mit der größten Außenwandfläche (größte Sanierungsfläche) auch den höchsten Temperaturunterschied vor und nach Sanierung aufweist.

Das Ergebnis dieser Masterarbeit ist, dass der unerwünschte Einfluss der Innendämmungen auf die sommerliche Behaglichkeit in Bestandsgebäuden, welche als Wohngebäude verwendet werden, durch eine regelmäßige Nachtlüftung vermieden werden kann. Bei einer Büronutzung ist eine Nachtlüftung aus der Sicherheits- bzw. Witterungsgründen meist nicht möglich, aber auch hier zeigt die Untersuchung, dass mit einer Frühlüftung die Temperaturdifferenz zwischen dem Bestandsgebäude und dem sanierten Gebäude unter 2°C gehalten werden kann.

11 Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.dbz.de/download/1243702/leitfaden-innendaemmung.pdf> [28.08.2019]
- [2] <https://bda.gv.at/denkmalverzeichnis/#denkmalliste-gemaess-3-dmsg> [28.08.2019]
- [3] Dold C., Erber S.: Innendämmung Anwendung und Risiken, Energieinstitut Vorarlberg, 2012
- [4] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung, 1. Auflage 2005, Überarbeitung 2011
- [5] <https://www.google.at/maps/place/Mandellstra%C3%9Fe+9,+8010+Graz/@47.0680719,15.4485296,19z/data=!4m5!3m4!1s0x476e4a80e4668191:0xb33f48bb74a2ec7f!8m2!3d47.0680317!4d15.4489923> [28.08.2019]
- [6] Kolbitsch A.: Altbaukonstruktionen, Springer-Verlag Wien, 1989
- [7] Ahnert R., Krause K.H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960, 4. Auflage, Band 1, Verlag für Bauwesen, Berlin/München, 1994
- [8] Dragic M.: Masterarbeit: Modelbildung hygrothermisch, instationärer Simulationen von erdnahen, innengedämmten Bauteilen, TU Graz, 2018
- [9] Technisches Merkblatt iQ-Therm, Remmers Baustofftechnik GmbH
- [10] Technisches Merkblatt Sonorock 035, Rockwool Handelsgesellschaft m.b.H., 2018
- [11] Calsitherm – Systeminformationen, CALSITHERM Silikatbaustoffe GmbH, 2018
- [12] Technisches Datenblatt – Multipor Minerale Dämmplatten, XELLA International GmbH, 2018
- [13] Technisches Merkblatt Aerogel Dämmputzsystem, RÖFIX AG, 2018
- [14] Lösung Innendämmung RENOCELL – Die Innendämmung ohne Dampfbremse, ISOCELL GmbH
- [15] Beinhauer P.: Standard Detail Sammlung – Bauen im Bestand, 2. Auflage, Rudolf Müller, Köln, 2017
- [16] ÖNORM EN ISO 13786: 2008-04-01 – Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamischthermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren
- [17] ÖNORM B 8110-3: 2012-03-15 – Wärmeschutz im Hochbau/Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung
- [18] OIB RICHTLINIE 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2015
- [19] Magistrat der Stadt Wien: Hitze! vermeiden, Wien, 2017
- [20] Ivankovic G.: Masterarbeit: Die Auswirkung unterschiedlicher Gebäudenutzungen, Bauweisen und Klimata auf die sommerliche Überwärmung im Vergleich unterschiedlicher Berechnungsmethoden, TU Graz, 2018
- [21] Frey K., Haas J., Könighofer K.: Handbuch für Energieberater, Forschungsgesellschaft Joanneum, Institut für Energieforschung, Graz, 1994
- [22] https://www.arbeitsinspektion.gv.at/inspektorat/Arbeitsstaetten_Arbeitsplaetze/Arbeitsraeume/Abmessungen_von_Arbeitsraeumen [28.08.2019]
- [23] ÖNORM EN 12464-1: 2011-07-01 – Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten/Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
- [24] EQUA Simulation AB: Handbuch IDA ICE Version 4.5, Solna, Schweden, 2013

- [25] <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-international-weather-files-for-energy-calculations-2-0-iwec2> [28.08.2019]
- [26] Hüttler W., Sammer K.: Innovative Sanierung von Gründerzeitgebäuden – technische Optionen und rechtliche Fragen, Manz, 2010, Online unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/immolex-2010-09.pdf?m=1469659095 [28.08.2019]

12 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Lage des Objekts [5]	1
Abb. 2:	Das betrachtete Objekt [5]	1
Abb. 3:	Gewölbedecke im Keller	2
Abb. 4:	Einschubdecke [19].....	2
Abb. 5:	Kastenfenster	3
Abb. 6:	Fensterladen	3
Abb. 7:	Modell 1 – Übersicht	4
Abb. 8:	Modell 2 – Übersicht	4
Abb. 9:	Modell 1 – Grundrisse	5
Abb. 10:	Modell 2 – Grundrisse	7
Abb. 11:	Vereinfachung der Kellerdecke [8].....	17
Abb. 12:	U-Werte der Außenwände	21
Abb. 13:	Vergleich – U-Werte der sanierten Außenwände mit dem Grenzwert lt. OIB Richtlinie 6 ..	22
Abb. 14:	speicherwirksame Massen mit dem Wärmeübergangswiderstand.....	23
Abb. 15:	speicherwirksame Massen ohne Wärmeübergangswiderstand	24
Abb. 16:	Vergleich – speicherwirksame Massen mit und ohne Wärmeübergangswiderstand	24
Abb. 17:	Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermassen vor und nach Sanierung – Modell 1	35
Abb. 18:	Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermassen vor und nach Sanierung – Modell 2.....	37
Abb. 19:	Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 1 - Wohnnutzung	39
Abb. 20:	Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 1 - Büronutzung.....	39
Abb. 21:	Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 2 - Wohnnutzung	41
Abb. 22:	Vergleich der maximalen operativen Temperaturen vor und nach Sanierung – Modell 2 - Büronutzung.....	42
Abb. 23:	Vergleich der immissionsflächenbezogenen Speichermasse zwischen Modellen	43
Abb. 24:	Maximale operative Temperaturen der kritischen Räume für Wohnnutzung	44
Abb. 25:	Maximale operative Temperaturen der kritischen Räume für Büronutzung	45
Abb. 26:	Geometrisches Modell - EG	48
Abb. 27:	Geometrisches Modell – OG1	48
Abb. 28:	Simulationsmodell	49
Abb. 29:	Regelung der Innentüröffnung	51
Abb. 30:	Prozentzahl der Fensterlüftung	52
Abb. 31:	Fensterlüftung in Realität	53
Abb. 32:	Verschattung und Ausrichtung	54
Abb. 33:	Wärmeabgabe und Aktivitätsgrad bei verschiedenen Aktivitäten [24].....	56
Abb. 34:	Jahresverlauf der Außenlufttemperatur – Graz [°C].....	58
Abb. 35:	Relative Luftfeuchte – Graz [%]	58

Abb. 36:	Direktnormalstrahlung – Graz [W/m^2]	59
Abb. 37:	Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche – Graz [W/m^2]	59
Abb. 38:	Windgeschwindigkeit, x-Komponente – Graz [m/s]	60
Abb. 39:	Windgeschwindigkeit, y-Komponente – Graz [m/s]	60
Abb. 40:	Bewölkung – Graz [%]	61
Abb. 41:	Maximale operative Temperatur - Wohnnutzung	69
Abb. 42:	Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 1	70
Abb. 43:	Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 2	71
Abb. 44:	Temperaturverlauf – Zone 4 – Wohnnutzung	73
Abb. 45:	Maximale operative Temperaturen – Zone 4 - Wohnnutzung	74
Abb. 46:	Temperaturverlauf – Zone 4 – Büronutzung (alle Lüftungsvarianten)	75
Abb. 47:	Maximale operative Temperaturen – Zone 4 – Büronutzung-Lüftungsvariante 2	76
Abb. 48:	Vergleich der maximalen operativen Temperaturen - Zone 4 - Büronutzung	77
Abb. 49:	Temperaturdifferenz – Bestandsgebäude und saniertes Gebäude – Büronutzung	78
Abb. 50:	Temperaturverlauf – Zone 13	80
Abb. 51:	Maximale operative Temperatur – Zone 13	80

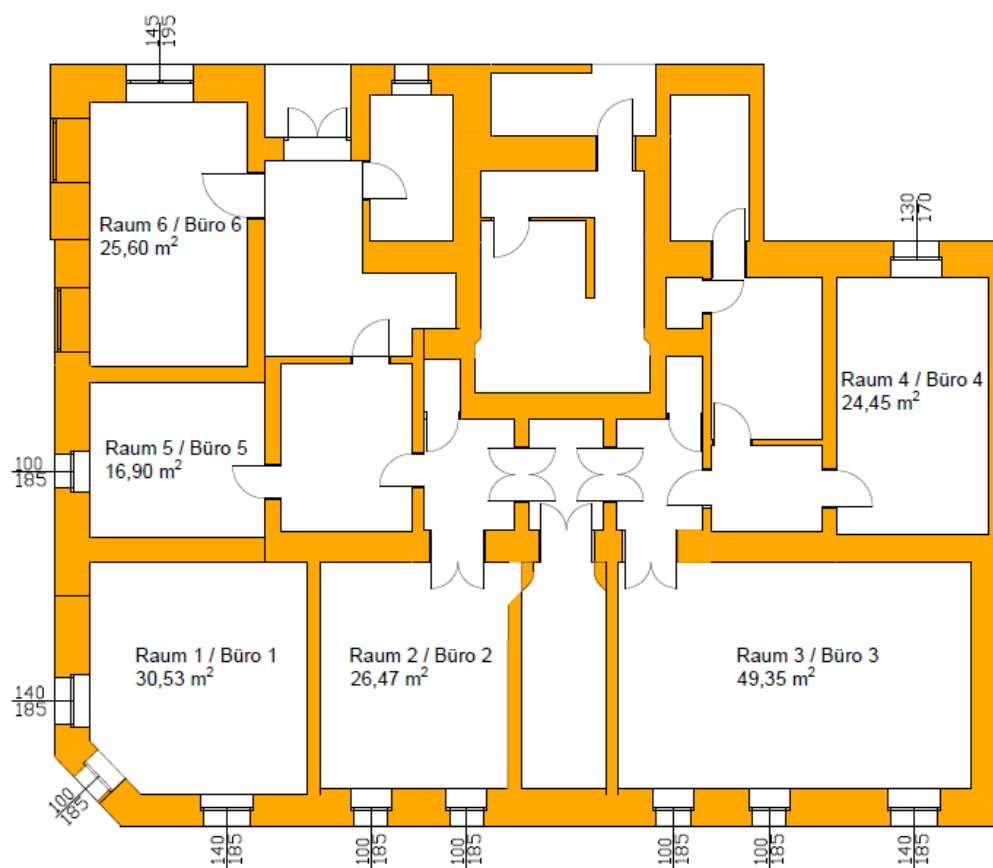
13 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Modell 1 - Kenngrößen.....	5
Tab. 2:	Modell 2 - Kenngrößen.....	6
Tab. 3:	Materialeigenschaften	20
Tab. 4:	Berechnungsumfang	28
Tab. 5:	Fenstergeometrie	30
Tab. 6:	Luftwechselzahl – Modell 1	32
Tab. 7:	Luftwechselzahl – Modell 2	32
Tab. 8:	Personenanzahl bei Büronutzung	33
Tab. 9:	Modell 1 - immissionsflächenbezogene Speicherwirksame Massen.....	34
Tab. 10:	Modell 2 – immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse.....	36
Tab. 11:	Modell 1 – maximale operative Temperatur.....	38
Tab. 12:	Modell 2 – maximale operative Temperatur.....	40
Tab. 13:	Kastenfenster - Kenngrößen	50
Tab. 14:	Beleuchtung - Steuerung	51
Tab. 15:	Beschattung - Steuerung	54
Tab. 16:	Belegungsdichte.....	55
Tab. 17:	Anwesenheit.....	55
Tab. 18:	Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur – Graz [°C].....	58
Tab. 19:	Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchte – Graz [%]	58
Tab. 20:	Monatsmittelwerte der Direktnormalstrahlung – Graz [W/m ²].....	59
Tab. 21:	Monatsmittelwerte der Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche – Graz [W/m ²]	59
Tab. 22:	Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, x-Komponente – Graz [m/s].....	60
Tab. 23:	Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit, y-Komponente – Graz [m/s].....	60
Tab. 24:	Monatsmittelwerte der Bewölkung – Graz [%]	61
Tab. 25:	Maximale operative Temperatur - Wohnnutzung.....	64
Tab. 26:	Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 1	65
Tab. 27:	Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 2	66
Tab. 28:	Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 3.....	67
Tab. 29:	Maximale operative Temperatur – Büronutzung-Lüftungsvariante 4.....	68
Tab. 30:	Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 vs. Gebäudesimulation - Wohnnutzung	82
Tab. 31:	Berechnungen nach ÖNORM B 8110-3 vs. Gebäudesimulation - Büronutzung.....	82

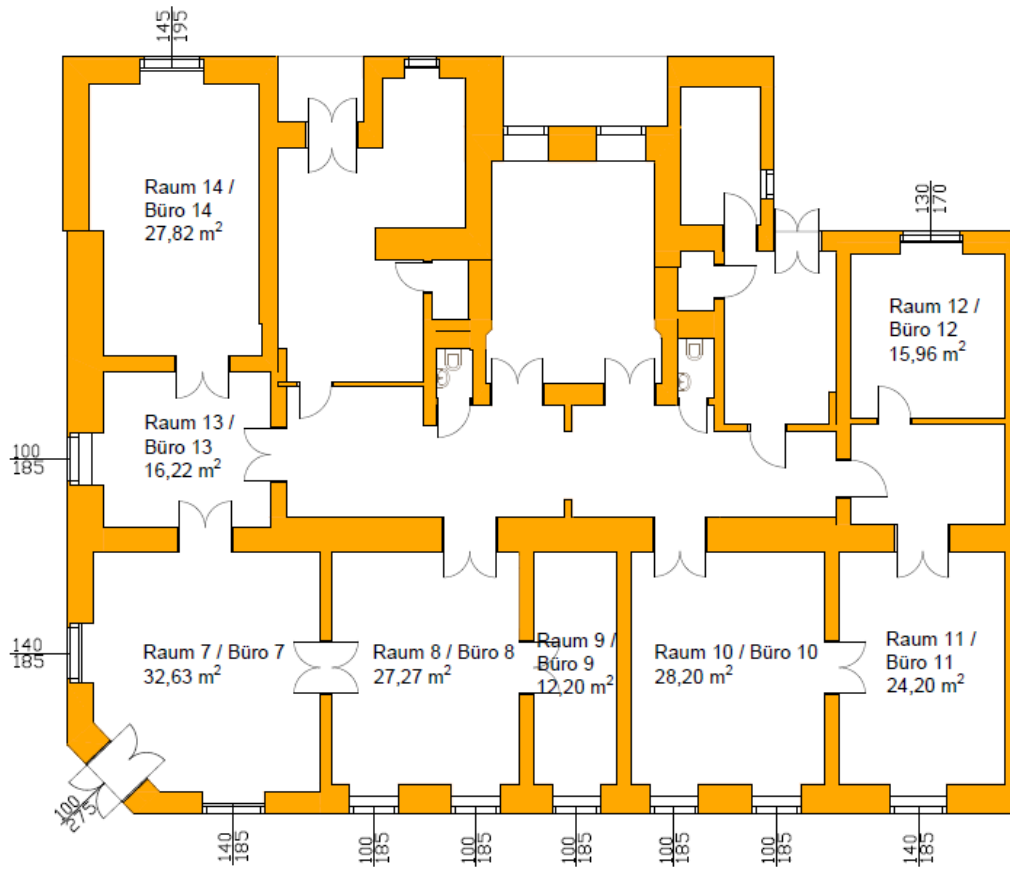
14 Anhang 1

Pläne

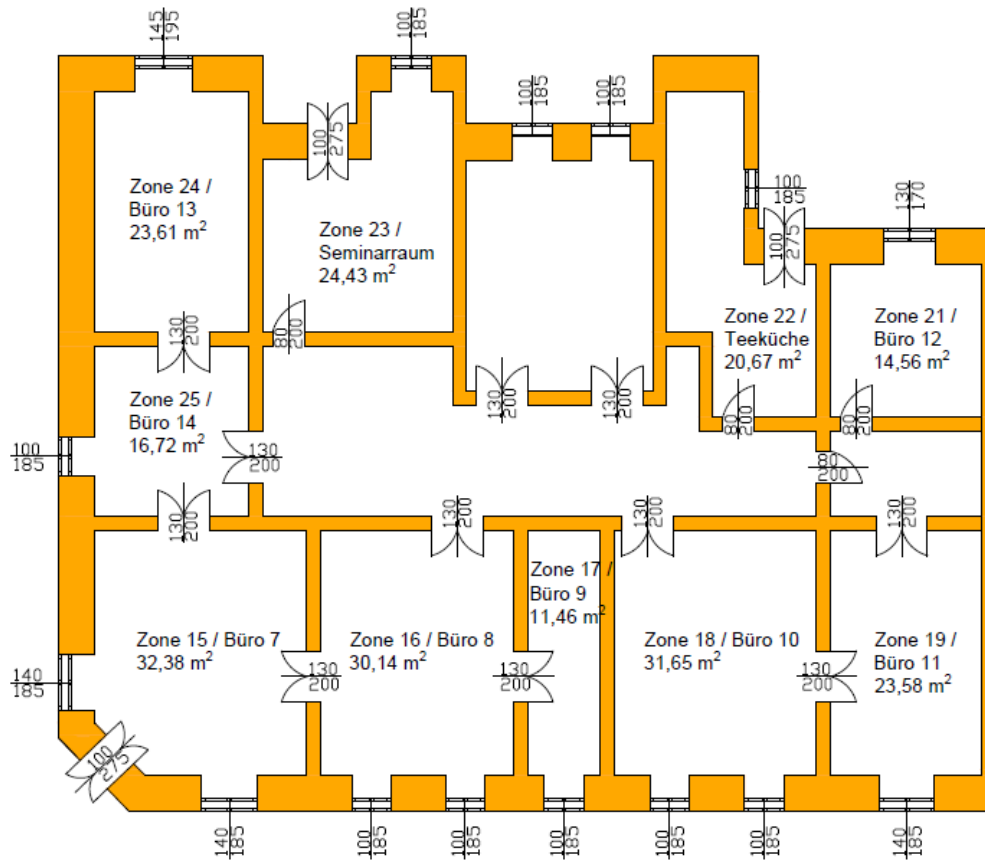
Modell 1 – Grundriss Erdgeschoss



Modell 1 – Grundriss Obergeschoss



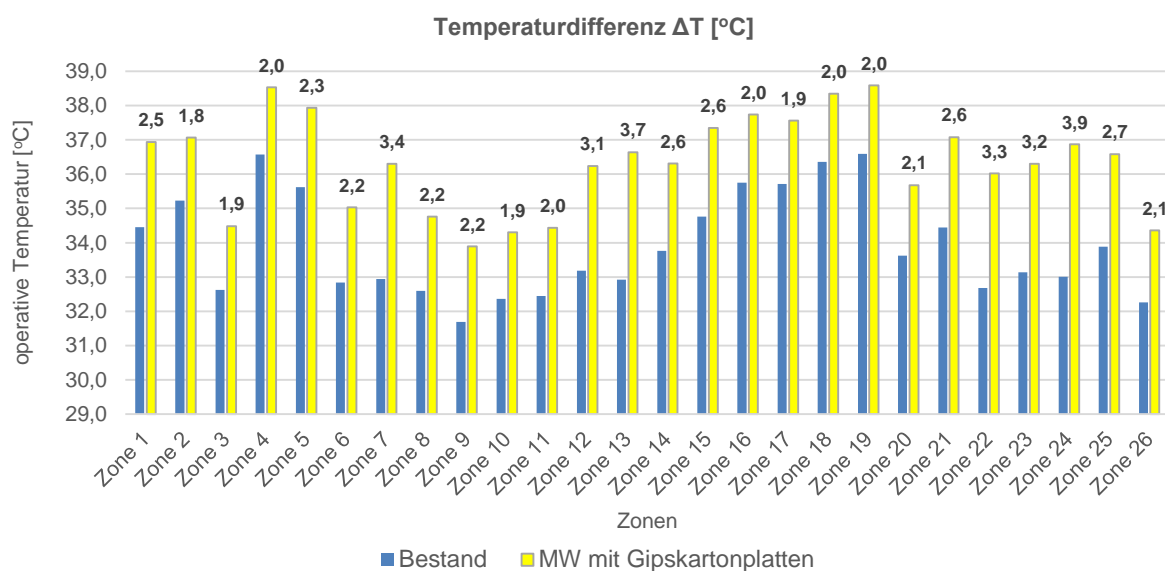
Modell 2 – Grundriss Obergeschoss



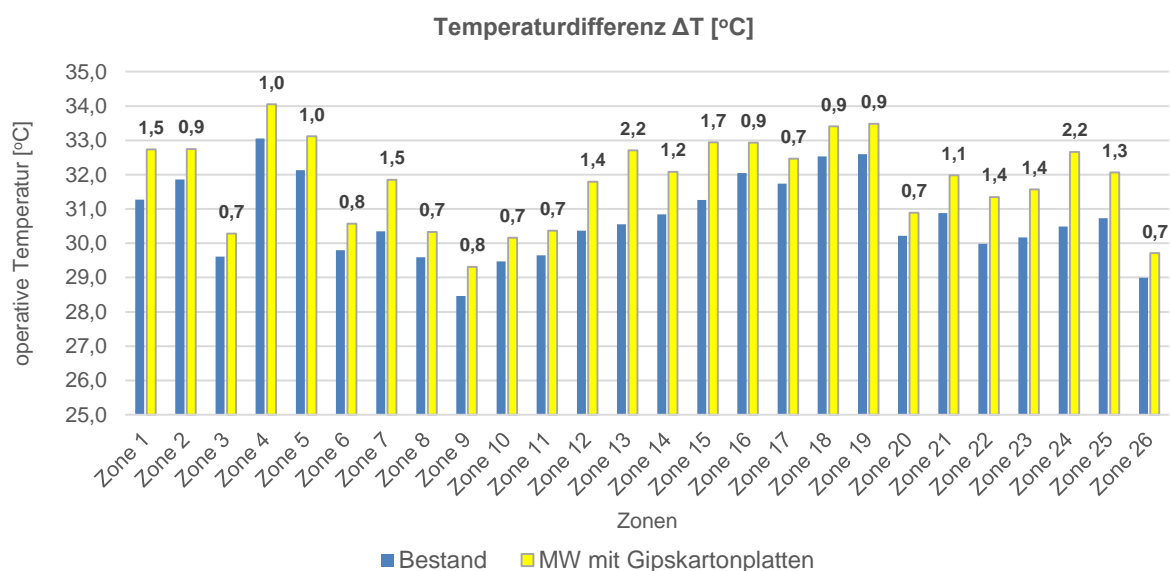
15 Anhang 2

Temperaturdifferenzen der maximalen operativen Temperaturen bei der Büronutzung

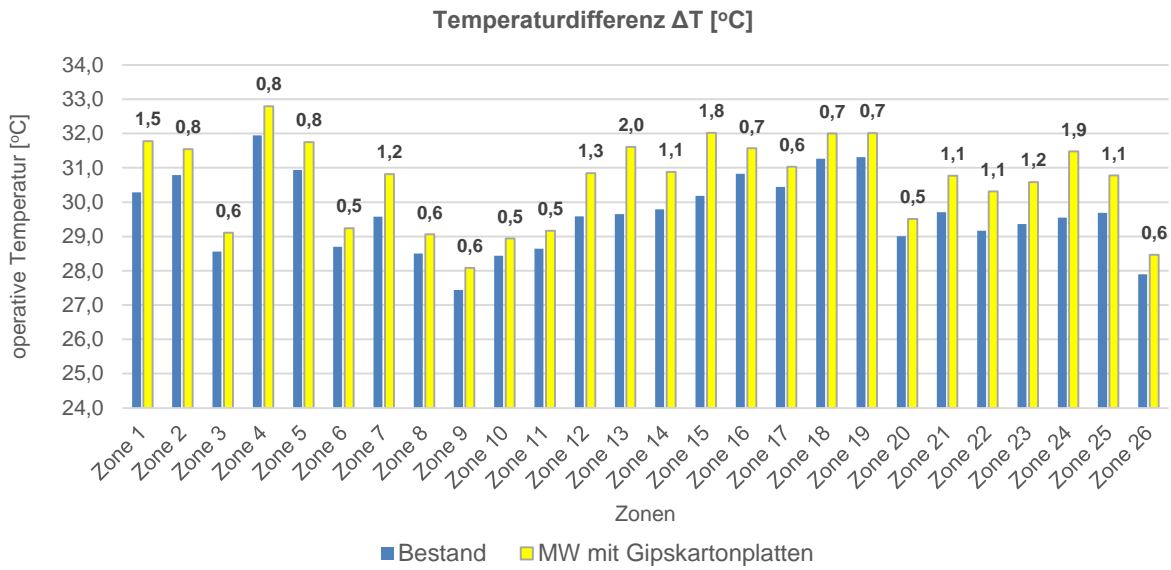
Lüftungsvariante 1 (ohne Lüftung)



Lüftungsvariante 2 (Lüftung: 08:00 Uhr – 10:00 Uhr)



Lüftungsvariante 3 (Lüftung: 07:00 – 10:00 Uhr)



Lüftungsvariante 4 (Lüftung: 06:00 Uhr – 10:00 Uhr)

