

## MASTERARBEIT

# Ein Beitrag zur Analyse von Auswirkungen des Klimawandels auf den sommerlichen Wärmeschutz bei unterschiedlichen Bauweisen

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften - Konstruktiver Ingenieurbau

verfasst von

**Gregor Riederer, BSc**

Graz, März 2015

---

Betreuer

Univ.-Prof. DDr. Peter Kautsch  
Institut für Hochbau

Dipl.-Ing. Heinz Ferik

eingereicht an der Technischen Universität Graz  
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften



# EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

## AFFIDAVIT

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

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

---

Datum/ Date

---

Unterschrift/ Signature



## Danksagung

Einleitend bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. DDr. Peter Kautsch, der mich schon seit der ersten Hochbau-Vorlesung für den Hochbau und die Bauphysik begeistern konnte.

Besonderer Dank gebührt meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Heinz Ferk, welcher mir ermöglicht hat, die nun vorliegende Arbeit am Labor für Bauphysik zu verfassen. In Folge von diversen Besprechungen im Rahmen der Absolvierung von Lehrveranstaltungen bin ich von Herrn Dipl.-Ing. Heinz Ferk auf die in dieser Arbeit behandelte Fragestellung aufmerksam gemacht worden. Mein Betreuer stand mir in unzähligen Diskussionen mit Rat und Tat zur Seite. Vielen Dank für die ausgezeichnete Unterstützung und den tollen Arbeitsplatz.

Besonders bedanken möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Labors für Bauphysik für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die anregenden Gespräche. Hervorheben möchte an dieser Stelle Herrn Dipl.-Ing. Daniel Rüdissler. Vielen Dank für die tatkräftige Unterstützung bei der Gebäudesimulation und der anschließenden Datenverarbeitung.

Bedanken möchte ich mich auch bei einigen Studienkollegen, im Speziellen bei Irene, Alexander, Christian, Manuel, Martin, Matthias und Stefan für eine tolle Studienzeit. Es war eine schöne Zeit in Graz, sowohl auf dem Campus, als auch abseits der Universität. Ein weiterer Dank gebührt all jenen Studienkollegen, mit denen ich erfolgreich in diversen Lehrveranstaltungen zusammengearbeitet habe, und in Folge dessen die nun vorliegende Arbeit möglich wurde.

Abschließend bedanke ich mich bei meiner Familie, im Besonderen bei meinen Eltern Christa und Karl Riederer. Ihr habt während der gesamten Studiendauer an mich geglaubt und mich finanziell unterstützt. Danke, dass ihr mir diese Ausbildung ermöglicht habt!



## Kurzfassung

Ausgangspunkt der Arbeit sind die sich abzeichnenden Klimatrends mit zunehmenden Hitzetagen und Tropennächten, die sich insbesondere auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken werden. Es stellt sich daher die Frage, wie die unterschiedlichen Bauweisen auf diese klimatische Entwicklung reagieren und was die wesentlichen Einflussfaktoren für die Sicherstellung des thermischen Komforts in der warmen Jahreszeit zukünftig sein werden.

In dieser Masterarbeit werden Auswirkungen infolge der zu erwartenden klimatologischen Entwicklung hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes untersucht. Dabei werden unterschiedliche Bauweisen (Massivbau-Beton, Massivbau-Ziegel, Massivbau-Holz und Leichtbau-Holz) betrachtet und dazugehörige Bauteilaufbauten sowie Gebäudesimulationsprototypen definiert. In weiterer Folge wird im Sinne eines möglichen zukünftigen Szenarios ein Referenzstandort festgelegt und es werden für diesen Klimadaten aufbereitet.

Simulationsberechnungen werden mit einer transienten Gebäudesimulationssoftware für ein ganzes Jahr (8760 Stunden) durchgeführt. Zusätzlich werden die Ergebnisse betrachtet, welche sich gemäß der derzeit gültigen ÖNORM B 8110-3 zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung für den kritischen Einzelraum für die gewählten Bauweisen ergeben. Bei einzelnen Simulationsvarianten wird für jede betrachtete Bauweise eine Parametervariation hinsichtlich Nutzung, Klimatisierung, Beschattung und Luftwechsel erarbeitet.

Ergebnisse zeigen bei konventioneller Betrachtung auf den ersten Blick für Bauweisen mit mehr speicherwirksamer Masse Vorteile hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes. Bei genauerer Betrachtung wird deutlich, dass maßgebend für das Verhalten jedoch nicht primär die Bauweise, sondern die Parameter Beschattung und Luftwechsel sind. Erfolgt die Klimatisierung mit einer Klimaanlage, so hat die speicherwirksame Masse und somit die Bauweise auf den sommerlichen Wärmeschutz im stationären Betrieb keinen Einfluss.

Wesentliches Gewicht haben somit der Sonnenschutz und der kühlungswirksame Luftwechsel. Daraus erwächst die Aufgabe, innovative Entwicklungen im Sonnenschutz, aber auch weiterführende Untersuchungen des kühlungswirksamen Luftwechsels unter Nutzung moderner CFD-Analysen in zukünftigen Forschungsarbeiten durchzuführen. Daraus abgeleitete Maßnahmenkataloge für die Praxis könnten hier einen nachhaltigeren Weg in die Zukunft weisen.

Die Ergebnisse und Vorschläge dieser Masterarbeit sollen dazu beitragen, die weitere Forschung und Entwicklung in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz positiv zu beeinflussen, um sowohl den erforderlichen Energieaufwand für ein erträgliches Sommerklima in unseren Gebäuden auch zukünftig gering zu halten, als auch im Sinne des Gesundheitsschutzes den thermischen Komfort in Zeiten eines Klimawandels sicher zu stellen.



## Abstract

Initial point for this master thesis is the looming climate trend which will cause more hot days and tropical nights. These days and nights with elevated temperatures will particularly affect the demand for summer thermal insulation. Hence the question arises how different types of construction respond to the climate trend and what will be the major key factors to guarantee a high level of thermal comfort during warm seasons.

This thesis studies the consequences of the expected climatological trends in respect to summer overheating. Four different building simulation models are defined based on four different construction types: concrete, brick, CLT and timber frame. With respect to climate change a reference site and reference climate data are defined.

A transient building simulation software is being used to perform thermal simulation for a full year based on hourly climate data (8760 hours). Additionally the results are compared with calculations according to the current Austrian Standard B 8110-3 dealing with overheating in the most critic room of the construction type chosen. For each of the four variations in terms of construction type further parameter variations with respect to usage of the building, the use of air conditioning, the use of shading and the amount of air change are defined.

Results show at a first glance that building types with higher mass for thermal storage offer advantages in terms of summer heat protection. Analysing the picture in more detail it becomes clear that the type of construction is not the most relevant parameter regarding overheating. It turns out that the effect of different shading and air-change situations have a stronger impact on the overheating situation. If on the other hand air conditioning in a stable mode is used in summer the mass for thermal storage and therefore the construction type itself shows no effect.

The shading situation and air change rates for free cooling play a significant role. Hence the results show a need for innovative developments in solar shadings and for further research of free cooling mechanisms, using the possibilities of modern CFD and multi-physics approaches. The elaboration of a catalogue of measures for practical use could lead to a more sustainable path to the future.

Conclusions and proposals of this thesis should help to influence further research and development regarding summer heat protection. This will help to reduce the amount of energy necessary to cool buildings to a tolerable level and to increase the level of thermal comfort and health protection within the building.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1	Allgemeines .....	3
2.2	Wärmeübertragung.....	4
2.2.1	Wärmeleitung (Konduktion).....	4
2.2.2	Wärmeströmung (Konvektion).....	6
2.2.3	Wärmestrahlung (Radiation).....	7
2.3	Wärmehaushalt des Menschen.....	9
2.4	Thermische Behaglichkeit.....	13
2.4.1	Allgemeines .....	13
2.4.2	ÖNORM EN 15251 .....	17
2.4.3	Thermische Behaglichkeit nach ÖNORM EN ISO 7730 .....	20
2.5	Sommerlicher Wärmeschutz - Modellbetrachtung.....	26
2.5.1	Allgemeines .....	26
2.5.2	Orientierung des Baukörpers.....	26
2.5.3	Transparente Außenbauteile.....	27
2.5.4	Innere Lasten .....	32
2.5.5	Lüftung.....	33
2.5.6	Speicherwirksame Masse .....	33
2.5.7	Verfahren nach ÖNORM B 8110-3.....	35
<b>3</b>	<b>Konstruktionsmodelle.....</b>	<b>43</b>
3.1	Allgemeines .....	43
3.2	Simulationsprototypen .....	45
3.2.1	Einfamilienhaus .....	45
3.2.2	Regelgeschoss Wohnnutzung und Büronutzung .....	47
3.3	Bauteilaufbauten .....	52
3.3.1	AW 01 - Massivbau - Beton .....	53
3.3.2	AW 02 - Massivbau - Ziegel.....	54
3.3.3	AW 03 - Massivbau - Holz.....	55
3.3.4	AW 04 - Leichtbau - Holz .....	56
3.3.5	TW 01 - Massivbau - Beton.....	57
3.3.6	TW 02 - Massivbau - Ziegel.....	58
3.3.7	TW 03 - Massivbau - Holz .....	59
3.3.8	TW 04 - Leichtbau - Holz.....	60
3.3.9	ZW 01 - gültig für alle Bauweisen .....	61
3.3.10	ZW 02 - Massivbau - Beton.....	61
3.3.11	ZW 03 - Massivbau - Ziegel.....	62
3.3.12	ZW 04 - Massivbau - Holz .....	62

3.3.13	ZW 05 - Leichtbau - Holz .....	63
3.3.14	EB 01 - gültig für alle Bauweisen .....	64
3.3.15	ZD 01 - Massivbau - Beton und Ziegel .....	65
3.3.16	ZD 02 - Massivbau - Holz.....	66
3.3.17	ZD 03 - Leichtbau - Holz .....	67
3.3.18	AD 01 - Massivbau - Beton und Ziegel .....	68
3.3.19	AD 02 - Massivbau - Holz .....	69
3.3.20	AD 03 - Leichtbau - Holz.....	70
<b>4</b>	<b>Gebäudesimulation .....</b>	<b>71</b>
4.1	Simulationssoftware .....	71
4.2	Simulationsumfang .....	72
4.3	Geometrisches Modell.....	74
4.4	Randbedingungen und Annahmen .....	76
4.4.1	Fenster und Verglasung .....	76
4.4.2	Türen.....	77
4.4.3	Beleuchtung.....	77
4.4.4	Luftwechsel.....	78
4.4.5	Beschattung .....	80
4.4.6	Belegung und Anwesenheit.....	81
4.4.7	Innere Lasten .....	82
4.5	Klimadaten.....	84
4.5.1	Auswahl eines Referenzstandortes .....	84
4.5.2	Auswahl eines Klimadatensatzes .....	91
4.5.3	Aufbereitung der Klimadaten .....	92
<b>5</b>	<b>Simulationsergebnisse .....</b>	<b>103</b>
5.1	Allgemeines .....	103
5.2	Auswertung: Gesamtzeitraum - Wohnnutzung (gesamtes Regelgeschoss)....	106
5.2.1	Operative Temperatur.....	106
5.2.2	Überschreitungsstunden > 27 °C .....	106
5.2.3	Überschreitungstage > 27 °C .....	107
5.2.4	Überschreitungs Nächte > 25 °C .....	107
5.2.5	Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche.....	108
5.2.6	Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche .....	108
5.3	Auswertung: Gesamtzeitraum - Büronutzung (gesamtes Regelgeschoss).....	109
5.3.1	Operative Temperatur.....	109
5.3.2	Überschreitungsstunden > 27 °C .....	109
5.3.3	Überschreitungstage > 27 °C .....	110
5.3.4	Überschreitungs Nächte > 25 °C .....	110
5.3.5	Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche.....	111
5.3.6	Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche .....	111

5.4	Auswertung: heißeste Woche - Wohnnutzung (gesamtes Regelgeschoss) ...	112
5.4.1	Operative Temperatur .....	112
5.4.2	Überschreitungsstunden > 27 °C .....	112
5.4.3	Überschreitungstage > 27 °C .....	113
5.4.4	Überschreitungs Nächte > 25 °C .....	113
5.4.5	Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche .....	114
5.4.6	Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche .....	114
5.5	Auswertung: heißeste Woche - Büronutzung (gesamtes Regelgeschoss).....	115
5.5.1	Operative Temperatur .....	115
5.5.2	Überschreitungsstunden > 27 °C .....	115
5.5.3	Überschreitungstage > 27 °C .....	116
5.5.4	Überschreitungs Nächte > 25 °C .....	116
5.5.5	Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche .....	117
5.5.6	Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche .....	117
5.6	Auswertung: Gesamtzeitraum - Wohnnutzung (kritischer Einzelraum).....	118
5.6.1	Operative Temperatur .....	118
5.6.2	Überschreitungsstunden > 27 °C .....	118
5.6.3	Überschreitungstage > 27 °C .....	119
5.6.4	Überschreitungs Nächte > 25 °C .....	119
5.7	Auswertung: heißeste Woche - Wohnnutzung (kritischer Einzelraum) .....	120
5.7.1	Operative Temperatur .....	120
5.7.2	Überschreitungsstunden > 27 °C .....	120
5.7.3	Überschreitungstage > 27 °C .....	121
5.7.4	Überschreitungs Nächte > 25 °C .....	121
5.8	Falschfarbendarstellung: Gesamtzeitraum Wohnnutzung.....	122
5.8.1	Base Case .....	122
5.8.2	Erhöhter Luftwechsel.....	127
5.8.3	Verringerter Luftwechsel .....	132
5.8.4	Erhöhte Beschattung .....	137
5.8.5	Verringerte Beschattung.....	142
5.9	Falschfarbendarstellung: heißeste Woche Wohnnutzung .....	147
5.9.1	Base Case .....	147
5.9.2	Erhöhter Luftwechsel.....	152
5.9.3	Verringerter Luftwechsel .....	157
5.9.4	Erhöhte Beschattung .....	162
5.9.5	Verringerte Beschattung.....	167
<b>6</b>	<b>Berechnungen lt. ÖN B 8110-3 und Aufbereitung dieser Ergebnisse .....</b>	<b>173</b>
6.1	Allgemeines .....	173
6.2	Annahmen .....	174
6.3	Ergebnisse.....	176
6.3.1	Nachweis mit vereinfachtem Verfahren.....	176

6.3.2	Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung .....	176
<b>7</b>	<b>Aufbereitung und Interpretation der Ergebnisse .....</b>	<b>179</b>
7.1	Auswertung der operativen Temperatur auf Monatsbasis .....	179
7.1.1	Quartilenauswertung für das gesamte Regelgeschoss .....	179
7.1.2	Quartilenauswertung für den kritischen Einzelraum .....	180
7.1.3	Standardauswertung für das gesamte Regelgeschoss .....	181
7.1.4	Standardauswertung für den kritischen Einzelraum .....	182
7.2	Darstellung des Verlaufs der operativen Temperaturen .....	183
7.3	Vereinfachte Ermittlung der Periodendauer .....	186
7.4	Erkenntnisse aufgrund der Simulationsberechnungen .....	188
7.5	Gegenüberstellung Simulation vs. Tagesverlaufsberechnung .....	190
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>193</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>197</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>200</b>
	<b>Diagrammverzeichnis .....</b>	<b>204</b>
	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>206</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>207</b>

# 1 Einleitung

Österreichweit lässt sich erkennen, dass eine Zunahme von heißen Tagen und warmen Nächten sowie gleichzeitig eine Abnahme von kalten Tagen und Nächten stattfindet. Aufgrund der dichteren Bebauung und des Wärmeinseleffekts wird die nächtliche Abkühlung im städtischen Bereich geringer als im ländlichen Raum ausfallen. Aus der jüngeren Vergangenheit zeichnet sich ein Trend ab und auch die aktuellen Erkenntnisse der Klimaforscher scheinen diese Entwicklung zu bestätigen, dass mit einer weiteren Zunahme von heißen Tagen und warmen Nächten und auch Tropennächten zu rechnen ist. Diese Entwicklung können wir im Grunde nicht bzw. nur marginal beeinflussen, sehr wohl aber die Bauweise mit der wir zukünftig unseren Wohn- und Arbeitsraum errichten werden.

Aufgabenstellung dieser Masterarbeit ist das Verhalten von unterschiedlichen Bauweisen in Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz zu untersuchen. Dabei werden unterschiedliche Bauweisen (Massivbau-Beton, Massivbau-Ziegel, Massivbau-Holz und Leichtbau-Holz) mit den dazugehörigen Bauteilaufbauten und Simulationsprototypen erarbeitet. Unter Berücksichtigung der prognostizierten Wohnraumentwicklung wird ein Referenzstandort bestimmt und in weiterer Folge werden auf Basis der prognostizierten Klimaänderung relevante Klimadaten bezogen.

Die Simulationsberechnungen werden mithilfe einer transienten Gebäudesimulationssoftware durchgeführt. Dabei wird zwischen der Nutzung (Wohn- und Büronutzung) und in weiterer Folge hinsichtlich der Klimatisierung (Klimatisierung mithilfe natürlicher Lüftung und Klimatisierung mithilfe Klimaanlage) unterschieden. Zusätzlich wird eine Parametervariation in Bezug auf die Beschattung und den Luftwechsel durchgeführt. Parallel dazu wird gemäß ÖNORM B 8110-3 der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung für den als kritisch eingestuften Einzelraum mit den beiden dafür vorgesehenen Berechnungsverfahren geführt.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit sollen dazu beitragen, um die Entwicklung der zukünftigen Bauten hinsichtlich der Vermeidung der sommerlichen Überwärmung positiv zu beeinflussen.

---

In der vorliegenden Masterarbeit sind wesentliche Erkenntnisse und Berechnungsergebnisse (inkl. der Annahmen, welche für die Simulationsberechnungen erforderlich waren (Klimadaten, Konstruktionsmodelle,...)) aus einem Forschungsprojekt, bei welchem ich maßgeblich mitgearbeitet habe, miteingeflossen. Dieses Projekt wurde vom Labor für Bauphysik (LFB) der TU Graz und der Österreichischen Energieagentur (AEA) durchgeführt.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Allgemeines

Die Wärmelehre ist ein Teilgebiet der klassischen Physik und beschäftigt sich mit dem Transport und im Weiteren mit der Umverteilung von thermischer Energie. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird für „thermische Energie“ „Wärme“ verwendet. Die Einheit der Wärmemenge  $Q$  ist Joule [J] ( $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$ ).

Die atomaren Teilchen (Atome, Ionen und Moleküle) eines warmen Mediums bewegen sich schneller als die atomaren Teilchen eines kalten Mediums. Theoretisch kommt beim absoluten Gefrierpunkt von  $-273,15 \text{ °C}$  ( $0 \text{ K}$ ) diese Teilchenbewegung zum Stillstand und es findet kein Wärmetransport mehr statt. Praktisch ist es jedoch nicht möglich, ein System bis zum absoluten Nullpunkt abzukühlen (dritter Hauptsatz der Wärmelehre).

Der Bewegungszustand der atomaren Teilchen wird über die thermodynamische Temperatur  $T$  beschrieben. Die SI-Einheit für diese Basisgröße ist das Kelvin (K). Der Nullpunkt der Skala liegt im absoluten Gefrierpunkt ( $0 \text{ K}$ ). Neben der Angabe der Temperatur in Kelvin (K) erfolgt sie in Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). Die Celsius-Temperaturskala ist definiert durch den Schmelz- und Siedepunkt von Wasser bei  $p = 1 \text{ atm}$ . Die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  ( $T_1 - T_2$ ,  $\theta_1 - \theta_2$ ) ist bei beiden Skalen gleich groß. Die Skalenwerte sind um den Wert von  $273,15 \text{ K}$  verschoben. Die Celsius-Temperatur  $\theta = 0 \text{ °C}$  entspricht der Kelvin-Temperatur  $T = 273,15 \text{ K}$ . Der absolute Gefrierpunkt von  $T = 0 \text{ K}$  ergibt sich somit in der Celsius-Temperaturskala zu  $\theta = -273,15 \text{ °C}$ .

Die Wärmekapazität  $C$  beschreibt die thermische Energie  $Q$ , die benötigt wird um die Temperatur eines Mediums um ein Kelvin zu erhöhen. Die Einheit der Wärmekapazität  $C$  ist [J/K].

Nicht zu verwechseln ist die Wärmekapazität  $C$  mit der spezifischen Wärmekapazität  $c$ . Dabei wird die Wärmekapazität  $C$  bezogen auf die Masse  $m$  eines homogenen Mediums. Die Einheit der spezifischen Wärmekapazität  $c$  ist [J/(kgK)].

## 2.2 Wärmeübertragung

Wärme ist die thermische Energie, welche bei Temperaturunterschieden innerhalb eines Mediums oder zwischen unterschiedlichen Medien übertragen wird. Dabei fließt die thermische Energie immer vom wärmeren (energiereicheren) zum kälteren (energieärmeren) Medium bis ein Temperatenausgleich hergestellt ist. Bei der Energieübertragung erhöht sich die Temperatur des energieärmeren Mediums proportional zur zugeführten thermischen Energie in Abhängig von der Wärmekapazität  $C$  des Mediums.

In der kalten Jahreszeit wird der Wärmefluss zwischen einem bewohnten, temperierten Gebäude und dem Außenklima von innen nach außen stattfinden, in der warmen und heißen Jahreszeit wird der Wärmefluss von außen nach innen erfolgen. Der Wärmefluss bzw. Wärmestrom  $\Phi$  ist eine physikalische Größe und wird beschrieben als die pro Zeiteinheit übertragene Wärmemenge  $Q$  in Joule durch eine gegebene Fläche  $A$  pro Sekunde. Die Einheit des Wärmestroms ist Watt [W]. Es wird zwischen drei Wärmeübertragungsvorgängen unterschieden:

- Wärmeleitung (Konduktion)
- Wärmeströmung (Konvektion)
- Wärmestrahlung (Radiation)

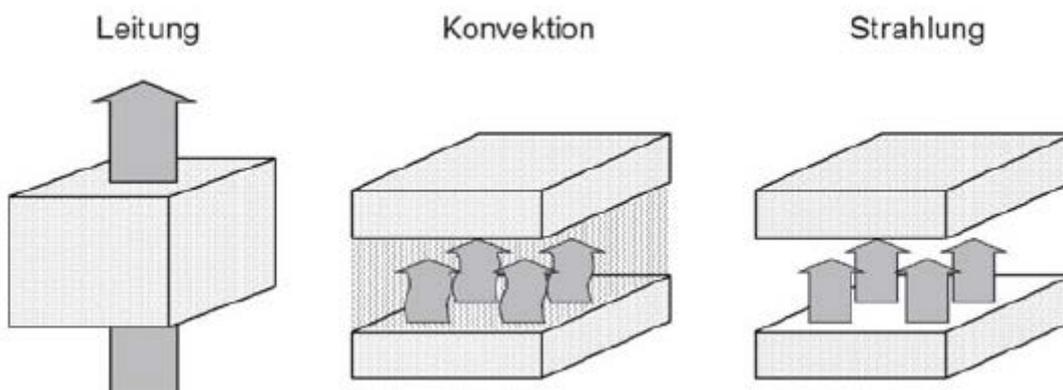


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Wärmeübertragungsvorgänge<sup>1</sup>

### 2.2.1 Wärmeleitung (Konduktion)

Wärmeleitung findet statt, indem die Schwingungsenergie der einzelnen atomaren Teilchen übertragen wird, ohne dass diese ihre mittlere Lage verändern. Die Übertragung kann somit nur in Medien erfolgen, die sich in Ruhe befinden - sprich Festkörper sowie ruhende Flüssigkeiten und Gase. Die Wärmeleitung erfolgt primär in Festkörper und spielt somit für den Wärmetransport

<sup>1</sup> WILLEMS, M. W. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 8

innerhalb von Bauteilen eine große Rolle. Wärme wird in beide Richtungen ausgetauscht. Da der wärmere Körper mehr Energie abgibt, ist die Wärmebilanz für diesen negativ. Hingegen nimmt der relativ kältere Körper mehr Energie auf und somit ist seine Wärmebilanz positiv.

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ist eine physikalische Größe und ist ein Maß für die Wärmeübertragung im Medium. Die Wärmeleitfähigkeit wird über die Wärmeleistung [W], welche bei einer gegebenen Fläche von  $1 \text{ m}^2$  mit einer Schichtdicke von  $1 \text{ m}$  und einer Temperaturdifferenz der beiden Oberflächen von  $1 \text{ K}$  übertragen wird, definiert. Die Einheit der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ist  $[\text{W}/(\text{mK})]$ .

Die Wärmeleitfähigkeit ist abhängig von der Stoffdichte (je größer die Dichte, desto höher die Wärmeleitfähigkeit), der Porengröße und Porenverteilung (je kleiner die Poren und je größer die Anzahl, desto geringer die Wärmeleitfähigkeit) sowie dem Feuchtegehalt (je größer der Feuchtegehalt, desto höher die Wärmeleitfähigkeit). Anzumerken ist, dass poröse Stoffe, welche Feuchtigkeit aufnehmen ihre Wärmeleitfähigkeit stark erhöhen, da die Wärmeleitfähigkeit von Wasser ca. 25mal höher ist als die Wärmeleitfähigkeit von Luft. Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit eines Materials ist, desto besser sind die Wärmedämmeigenschaften.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Rohdichte  $\rho$  und die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  einiger ausgewählten Stoffe.

Tabelle 1: Rohdichte  $\rho$  und Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  einiger ausgewählter Stoffe bei 20°C<sup>2</sup>

Art	Stoff	Rohdichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/(mK)]
Metall	Kupfer (rein)	8960	394
	Kupfer (technisch)	8300	372
	Stahl	7900	52
	Aluminium (rein)	2700	238
kristalline Struktur	Quarzit	2800	6,00
	Granit	2750	2,90
	Marmor	2600	2,80
amorpher Aufbau	Acrylglas	1180	0,18
	Hartgummi	1150	0,16
	Bitumen	1000	0,16
anisotroper Aufbau	<i>Schiefer</i> senkrecht zur Schichtung	2700	1,83
	parallel zur Schichtung		2,90
	<i>Eiche</i> senkrecht zur Faserrichtung	690	0,16
	parallel zur Faserrichtung		0,30
	<i>Kiefer</i> senkrecht zur Faserrichtung	520	0,14
	parallel zur Faserrichtung		0,35
	<i>Tanne</i> senkrecht zur Faserrichtung	450	0,12
	parallel zur Faserrichtung		0,26

### 2.2.2 Wärmeströmung (Konvektion)<sup>3</sup>

Diese findet zwischen unterschiedlichen Temperaturoberflächen statt, wobei ein gasförmiges oder flüssiges Medium für den Wärmeaustausch erforderlich ist.

Zu unterscheiden ist zwischen einer freien bzw. natürlichen und einer erzwungenen Konvektion. Der erste Fall tritt ein, wenn örtliche Dichteunterschiede infolge von Temperaturunterschieden auftreten, der zweite Fall, wenn durch Hilfsmittel wie Ventilatoren oder Pumpen Druckunterschiede hergestellt werden.

Der Wärmeaustausch findet statt, indem das Medium, das den Energieinhalt mit sich führt, sich entlang der Oberfläche bewegt, und dabei einen Teil der Bewegungsenergie auf das Bauteil überträgt.

<sup>2</sup> Vgl. FISCHER, H.-M. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 114

<sup>3</sup> Vgl. FISCHER, H.-M. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 114 ff.

Der Wärmeübergang hängt unter anderem von der Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit des Mediums sowie der Oberflächenbeschaffenheit und Oberflächentemperatur ab.

### 2.2.3 Wärmestrahlung (Radiation)<sup>4</sup>

Jedes Material mit einer Temperatur über dem absoluten Gefrierpunkt (-273 °C) sendet thermische Energie in Form von elektromagnetischen Strahlen aus. Diese sind an kein Medium gebunden, daher findet der Strahlungsaustausch auch im Vakuum (z.B. Sonnenstrahlung im Weltraum) statt. Das elektromagnetische Spektrum ist in folgender Abbildung ersichtlich.

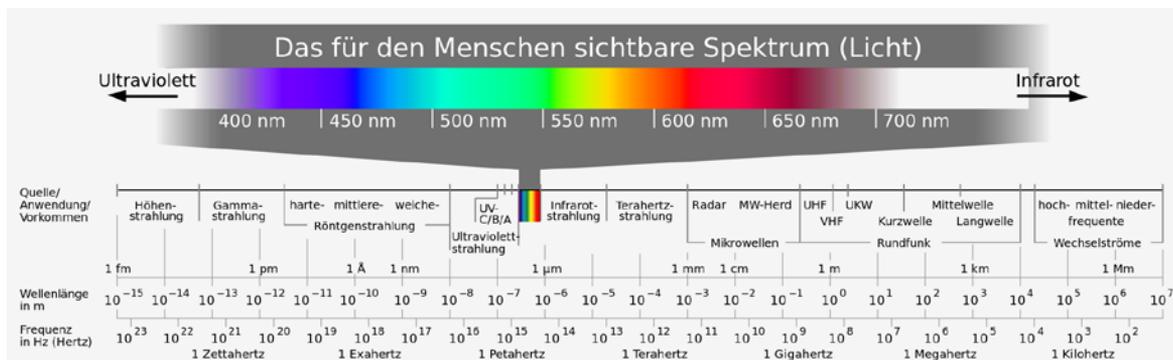


Abbildung 2: Elektromagnetische Spektrum<sup>5</sup>

Das bauphysikalisch hier interessante Spektrum liegt im Bereich der Ultraviolettstrahlung bis hin zur Infrarotstrahlung. Hinsichtlich der Quelle der Strahlung wird zwischen der kurzwelligen Strahlung (Solarstrahlung) und der langwelligen Strahlung (Wärmestrahlung) unterschieden.

Die kurzwellige Strahlung tritt als UV-Strahlung (ca. 7 %,  $\lambda < 380$  nm), als sichtbare Strahlung (ca. 47 %,  $380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780$  nm) und als Strahlung im nahen Infrarot (ca. 46 %,  $780 \text{ nm} \leq \lambda \leq 3000$  nm) auf. Der Wellenlängenbereich der langwelligen Strahlung (Wärmestrahlung) liegt zwischen 3  $\mu\text{m}$  (= 3000 nm) bis 800  $\mu\text{m}$ . Der Mensch strahlt im langwelligen Infrarotbereich.

Die an einem Körper auftreffende Strahlung wird abhängig vom Material zu unterschiedlichen Teilen von der Oberfläche reflektiert (Reflexion), durch das Material aufgenommen (Absorption) und durch dieses durchgelassen (Transmission, nur bei für die jeweiligen Wellenlängen durchlässigen Bauteilen). Die Summe der drei Anteile ergibt 1 bzw. 100 %.

<sup>4</sup> Vgl. WILLEMS, M. W. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 21 ff.

<sup>5</sup> Online im Internet: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic\\_spectrum\\_c.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_c.svg) [07.01.2015]

Formel 1: Reflexion, Absorption und Transmission

$$R + A + T = 1$$

$R$      *Reflexionsgrad*

$A$      *Absorptionsgrad*

$T$      *Transmissionsgrad*

- Reflexion

An Grenzflächen, wo sich der Brechungswinkel bzw. der Wellenwiderstand eines Mediums ändert, werden elektromagnetische Wellen zurückgeworfen. Dieser Vorgang wird als Reflexion bezeichnet. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Grenzfläche wird zwischen spiegelnder, diffuser und gemischter Reflexion unterschieden.

- Absorption

Die elektromagnetischen Wellen werden von der Oberfläche des Grenzmediums aufgenommen und in Wärme umgewandelt. Der Absorptionsgrad ist unter anderem von der Einstrahlrichtung, der Wellenlänge sowie der Oberflächenfarbe des Grenzmediums abhängig.

- Transmission

Die Transmission beschreibt die Durchlässigkeit eines Mediums. Der Anteil der elektromagnetischen Welle, welcher weder reflektiert noch absorbiert wird, wird durch das Medium transmittiert, sprich durchgelassen, und tritt somit auf der anderen Seite des Grenzmediums wieder aus.

## 2.3 Wärmehaushalt des Menschen<sup>6</sup>

Der Mensch gehört - so wie die Säugetiere und die meisten Vögel - zu den endothermen Organismen. Diese benötigen unabhängig von der Umgebungstemperatur (im Inneren von Gebäuden spricht man auch von der operativen Temperatur) eine relativ konstante Körperkerntemperatur (Schädel-, Brust-, Bauchhöhle), die zwischen 36,4 °C und 37,4 °C liegt. Über- und Unterschreitungen (Hyperthermie und Hypothermie) der Körperkerntemperatur können nur in einem sehr geringen Schwankungsbereich schadlos toleriert werden.

Das Umgebungsklima hat einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmehaushalt des Menschen. Ist die Umgebungstemperatur niedriger als die Körpertemperatur an den hautnahen Schichten, erfährt der Körper einen Wärmeverlust. Um die erforderliche Körperkerntemperatur zu gewährleisten, sind wärmedämmende Schichten (subkutanes Unterhautfettgewebe, Behaarung, Bekleidung) erforderlich, welche die Wärmeverluste verringern. Zusätzlich ist eine hohe Wärmebildung erforderlich. Durch Stoffwechselprozesse wird Energie umgesetzt und somit Wärme erzeugt. Es werden energiereiche Nährstoffe aufgenommen und schlussendlich energieärmere Nährstoffe ausgeschieden. Aufgrund der Umwandlung von chemischer Energie und mechanischer Arbeit wird Wärme gebildet. Die Umwandlung der Nährstoffe in körpereigene Energieformen und deren Nutzung (Grundumsatz und Leistungs- bzw. Arbeitsumsatz) wird als Energieumsatz bezeichnet. In Abbildung 3 sind wesentliche Faktoren ersichtlich, welche die Wärmebildung und Wärmeabgabe beeinflussen.

Da die Umgebungstemperatur in den meisten Fällen geringer ist als die Körperkerntemperatur, gibt der Mensch ständig Wärme ab. Dadurch ist die Körpertemperatur an den Extremitäten und den hautnahen Schichten immer niedriger als die des Körperkernes. Die durchschnittliche Hautoberflächentemperatur beim Menschen beträgt 32 - 33 °C. Die Extremitäten weisen in Bezug auf das vorhandene Volumen eine sehr große Oberfläche auf, was zur Folge hat, dass die Wärme leichter an die Umgebung abgegeben werden kann. In Abbildung 4 ist der Verlauf der Isothermen im Körper einer ruhenden, unbedeckten Person bei einer Lufttemperatur von 20 °C und 35 °C ersichtlich.

Das Wärmegleichgewicht und somit auch das Verhältnis zwischen Körperkern und Körperschale (Haut, Unterhaut, Extremitäten) ist unter anderem von folgenden Parametern abhängig: Oberflächentemperatur, Strahlungstemperatur, relativer Luftfeuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Art der Bekleidung, Arbeitsintensität, Nahrungsaufnahme und Tageszeit.

---

<sup>6</sup> Vgl. SPECKMANN, E. J. et al.: Physiologie. S. 603 ff.

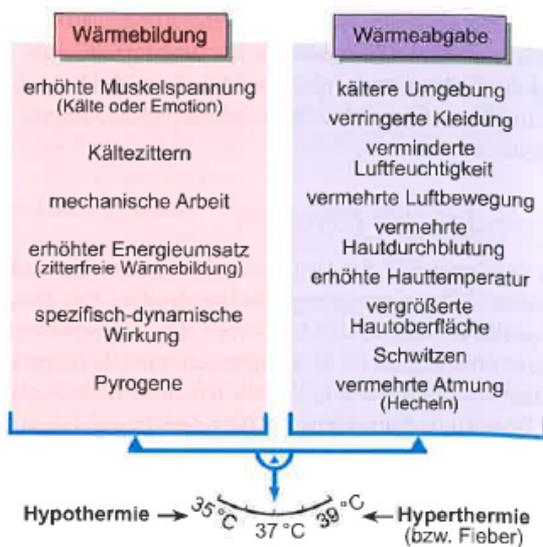


Abbildung 3: Einflüsse der Wärmebildung und Wärmeabgabe<sup>7</sup>

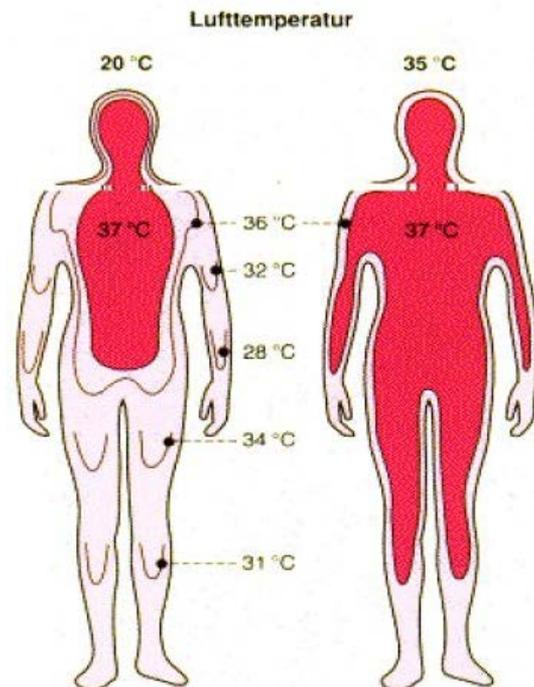


Abbildung 4: Verlauf der Isothermen im Körper einer ruhenden, unbedeckten Person bei einer Lufttemperatur von 20 °C und 35 °C<sup>8</sup>

Die Wärmeabgabe erfolgt durch folgende vier Wärmetransportmechanismen:

- Wärmeleitung (Konduktion)
- Wärmeströmung (Konvektion)
- Wärmestrahlung (Radiation)
- Verdunstung (Evaporation)

Dabei geht ein Stoff vom flüssigen in den gasförmigen Zustand über, ohne dass dabei die Siedetemperatur erreicht wird. Zur Verdunstung kann es aber nur dann kommen, wenn der Wasserdampfdruck der Umgebungsluft nicht gesättigt ist.

Bei der Verdunstung von Körperflüssigkeiten in Form von Schweiß auf der Hautoberfläche und den Schleimhäuten der Atemwege wird dem Menschen eine erhebliche Wärmemenge entzogen, da bei dem Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand Energie erforderlich ist. Bei schwerer körperlicher Arbeit und extremer Wärmebelastung ist die Evaporation der primäre

<sup>7</sup> SPECKMANN, E. J. et al.: Physiologie. S. 606

<sup>8</sup> SPECKMANN, E. J. et al.: Physiologie. S 605

Wärmeabgabemechanismus. Voraussetzung dafür ist neben einer ausreichenden Flüssigkeitszufuhr ein entsprechender Gradient des Wasserdampfdrucks zwischen Haut und Umgebungsluft. Mit Zunahme der relativen Luftfeuchte in der Umgebungsluft sinkt die Möglichkeit der Wärmeabgabe durch Evaporation.

Bei dem Wärmeaustausch wird zwischen inneren und äußeren Wärmestrom unterschieden.

- Innerer Wärmestrom

bezeichnet den Wärmefluss vom Körperkern hin zur Körperoberfläche. Die Wärmeabgabe erfolgt über Wärmeleitung und Wärmeströmung.

- Äußerer Wärmestrom

Bezeichnet den Wärmefluss von der Körperoberfläche hin zur Umgebung. Neben Wärmeleitung und Wärmeströmung erfolgt die Wärmeabgabe noch durch Wärmestrahlung und Verdunstung.

In der Literatur findet man für einen locker bekleideten Menschen in sitzender Position in einem Innenraum mit einer operativen Temperatur von 24 °C folgende Aufteilung für die Wärmeabgabe:

- Wärmestrahlung: ca. 60%
- Wärmeleitung und Wärmeströmung: ca. 20%
- Verdunstung: ca. 20%

Die Wärmeabgabe durch die Atemluft setzt sich zusammen aus Anteilen von Verdunstung, Wärmeleitung und Wärmeströmung und ergibt in Summe ca. 12% der Gesamtwärmeabgabe.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. KORALEWSKI, H. E.: Wärmehaushalt und Temperaturregulation. S. 6

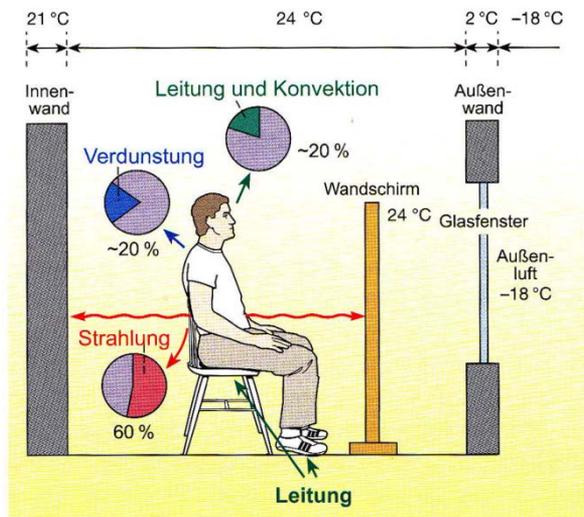


Abbildung 5: Anteil der Wärmeabgabe für die einzelnen Wärmetransportmechanismen für eine leicht bekleidete Person unter Ruhebedingungen in einem Innenraum mit einer operativen Temperatur von 24 °C. Ein Wandschirm verringert den Anteil der Strahlungsverluste<sup>10</sup>

<sup>10</sup> SPECKMANN, E. J. et al.: Physiologie. S 611

## 2.4 Thermische Behaglichkeit

### 2.4.1 Allgemeines<sup>11</sup>

Unter Behaglichkeit wird das subjektive Wohlempfinden jedes Einzelnen mit der Umgebung verstanden. Da jeder Mensch individuell empfindet, kann es keine strengen Grenzen geben. In der Fachliteratur findet man Diagramme und Tabellen, die den Behaglichkeitsbereich näher definieren und einschränken. Somit kann davon ausgegangen werden - wenn gewisse Kriterien erfüllt sind -, dass sich ein Großteil der dem Klima ausgesetzten Personen sich bei den vorhandenen Randbedingungen wohlfühlt.

Die empfundene Temperatur hängt vereinfacht von folgenden vier physikalischen Größen ab:

- Raumlufttemperatur
- Mittlere Strahlungstemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Relative Luftfeuchte

Neben diesen Eigenschaften beeinflusst noch eine Vielzahl von weiteren Faktoren die thermische Behaglichkeit. Einige sind in Abbildung 6 ersichtlich.

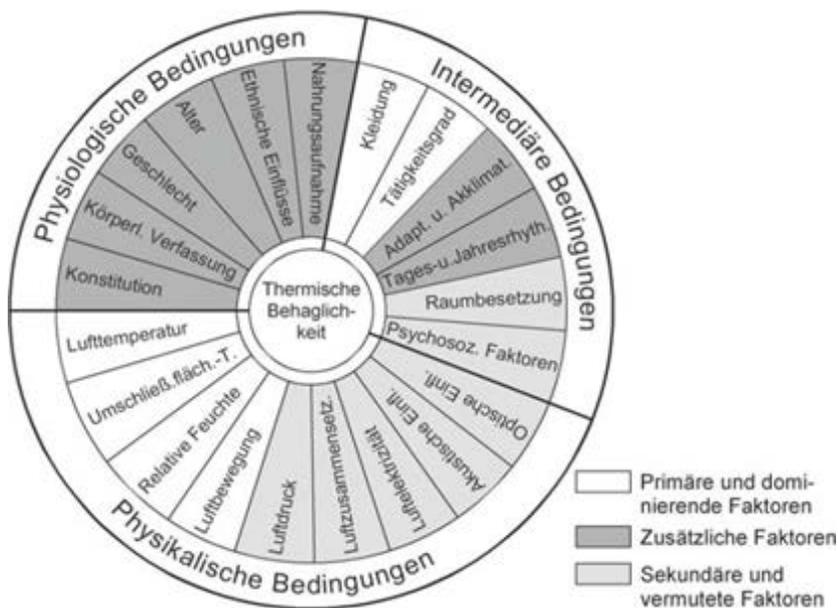


Abbildung 6: Thermische Behaglichkeit abhängig von intermediären, physikalischen und physiologischen Bedingungen, unterteilt in primäre, sekundäre und zusätzliche Faktoren<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Vgl. SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 267 ff.

<sup>12</sup> SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 268

- Raumlufthemperatur

Im Sommer wird für Aufenthaltsräume (Wohnraum, Büro,...) eine Raumlufthemperatur von ca. 20 °C - 24 °C als angenehm empfunden, im Winter eine von ca. 20 °C - 22 °C. Durch Erhöhen der Luftgeschwindigkeit bis zur Behaglichkeitsgrenze kann dieser Bereich auch höher liegen. Die angegebenen Werte sind als Richtwerte zu verstehen.<sup>13</sup>

- Mittlere Strahlungstemperatur

Grundsätzlich findet man in der Literatur als Grenzwert für die maximale Differenz zwischen Oberflächentemperatur der Raumumschließung und Raumlufthemperatur Werte zwischen 1,5 °C bis 3,0 °C. Hinsichtlich der Jahreszeit gibt es jedoch eine weitere Differenzierung. Aufgrund dieser Temperaturdifferenz ist ständig Luft in Bewegung und es findet ein Ausgleich statt. Bei unzulässig großen Differenzen kann es zu Kondensatbildung an kalten Oberflächen (Spiegel, Fenster) bzw. zu Schimmelbildung kommen. Die empfundene Temperatur - diese wird in weiterer Folge als operative Temperatur bezeichnet - ergibt sich näherungsweise aus dem Mittelwert von Raumlufthemperatur und Umschließungsflächentemperatur.

In Abbildung 7 sind Behaglichkeitsfelder in Abhängigkeit der Raumlufthemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen ersichtlich.

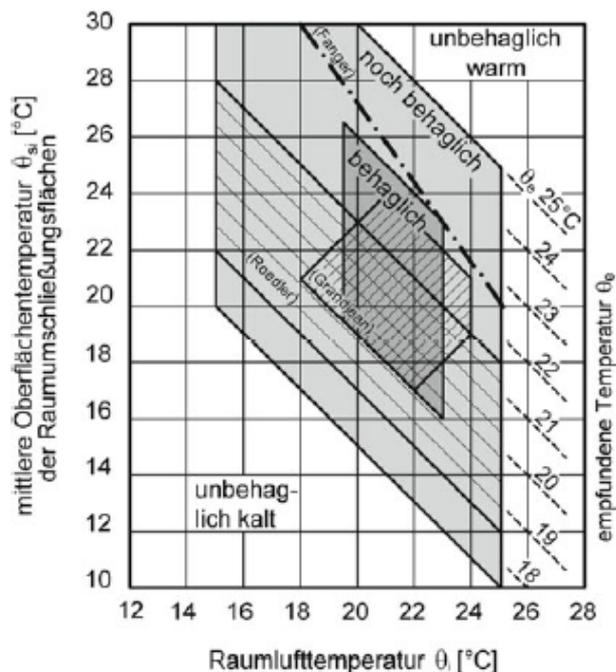


Abbildung 7: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufthemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen<sup>14</sup>

<sup>13</sup> Vgl. NEUFERT, E. KISTER, J.: Bauentwurfslehre. S. 49

<sup>14</sup> SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 270

- Luftgeschwindigkeit

Zugluft bewirkt eine lokale Abkühlung des Körpers und wird abhängig von der Geschwindigkeit und der Raumlufttemperatur als unangenehm empfunden. Das bewusste Lüften bzw. Klimatisieren darf nicht als Zugluft wahrgenommen werden. In Abbildung 8 ist ein Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur und der Luftgeschwindigkeit ersichtlich. Dabei ist zu sehen, dass mit Zunahme der Raumlufttemperatur eine Zunahme der Luftgeschwindigkeit toleriert wird.

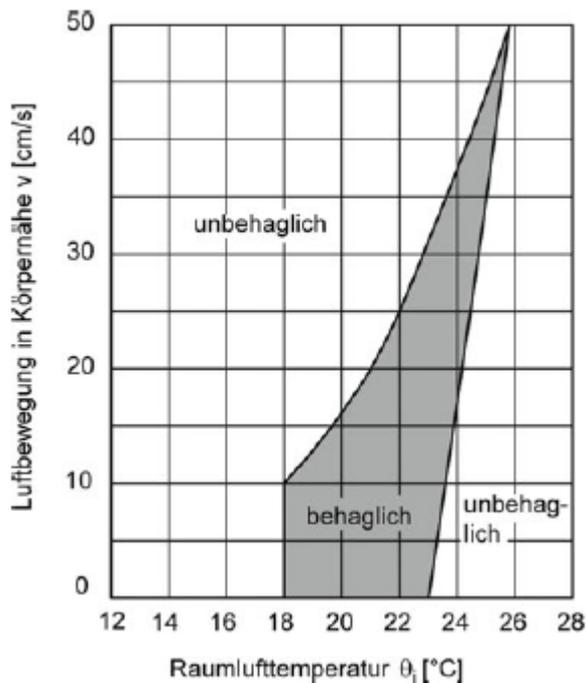


Abbildung 8: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur und der Luftgeschwindigkeit<sup>15</sup>

- Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchte ändert sich sowohl bei Feuchtigkeitzufuhr bzw. Feuchtigkeitsabgabe als auch bei einer Änderung der Lufttemperatur. Unter Berücksichtigung der Lufttemperatur von Innenräumen von ca. 19 °C - 23 °C wird in der Regel eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 35 % - 70 % als behaglich angesehen. Sinkt die relative Luftfeuchte unter ca. 35 % trocknen die Schleimhäute aus und Staubpartikel werden flugfähig. Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit größer ca. 80 % wird die Umgebung als schwül empfunden und es kann zu Schimmelbildung kommen. Wird zusätzlich die Taupunkttemperatur unterschritten - die Luft ist somit mit Wasserdampf gesättigt - findet ein Kondensatausfall statt. In Abbildung 9 sind Behaglichkeitsfelder in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur und der relativen Luftfeuchte ersichtlich. Zusätzlich wird die körperliche Aktivität variiert.

<sup>15</sup> SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 276

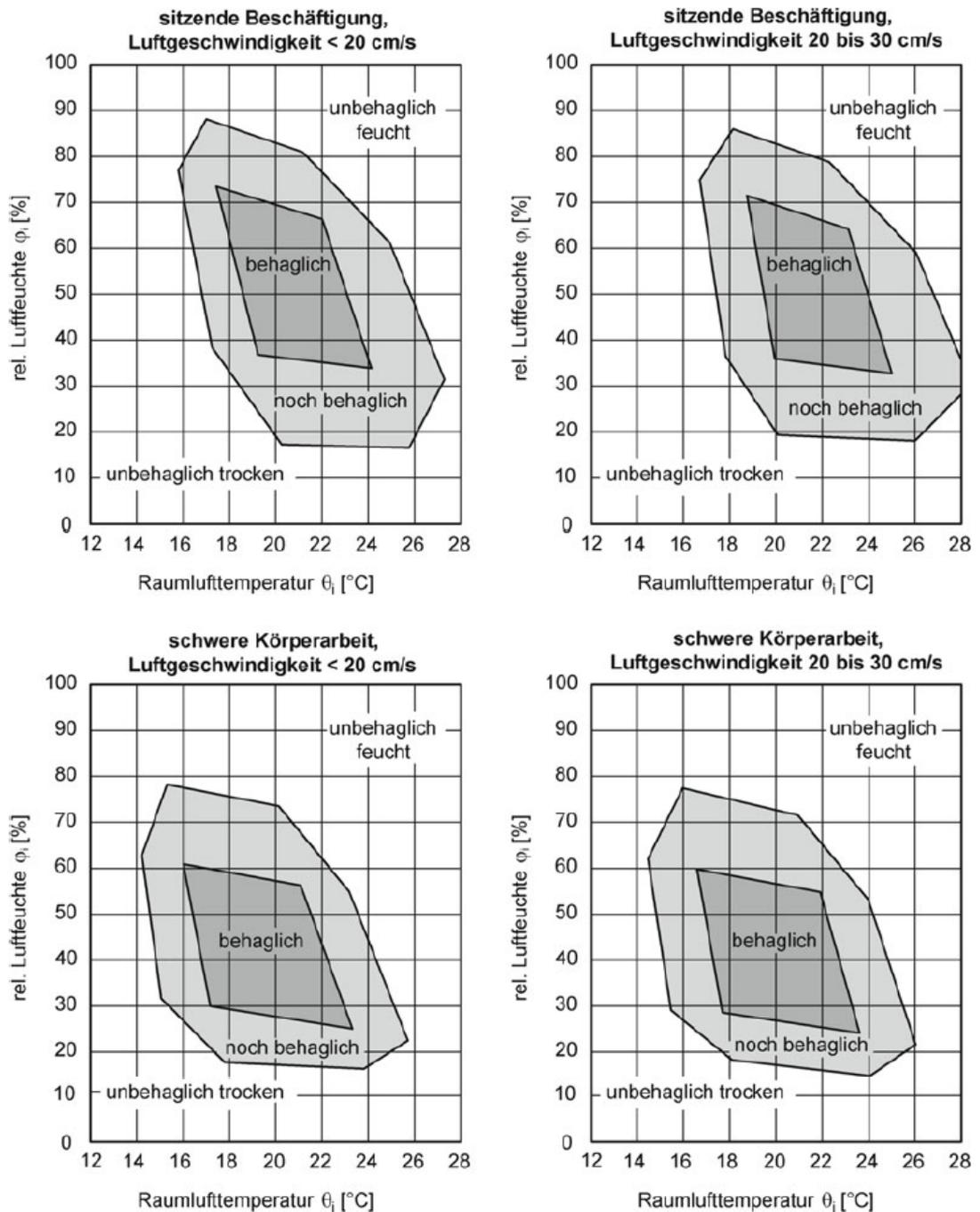


Abbildung 9: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und der körperlichen Tätigkeit<sup>16</sup>

<sup>16</sup> SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 275

### 2.4.2 ÖNORM EN 15251<sup>17</sup>

Die ÖNORM EN 15251 legt Parameter für die Auslegung des Raumklimas und der Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden hinsichtlich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik fest. Die europäische Norm gilt nicht für Industriegebäude, sondern für Gebäude, bei denen die klimatischen Bedingungen durch die Nutzer bestimmt werden und maschinelle Prozesse keinen großen Einfluss auf das vorherrschende Raumklima ausüben. Relevante Gebäude sind daher Ein- und Mehrfamilienhäuser, Büro-, Schul- und Hochschulgebäude, Krankenhäuser, Handelsgebäude, etc.

Die Norm definiert thermische Behaglichkeitskriterien (minimale Innenraumtemperatur im Winter und maximale Innenraumtemperatur im Sommer), welche als Eingangswerte für die Ermittlung der Heizlast und der Kühllast zu verwenden sind. Dabei wird bei der Vorgehensweise zwischen Gebäuden mit maschineller Heizung und / oder maschineller Kühlung und Gebäuden mit maschineller Heizung und natürlicher Lüftung unterschieden. Lokale thermische Behaglichkeitskriterien werden in der ÖNORM EN ISO 7730 definiert (siehe 2.4.3).

Die ÖNORM EN 15251 definiert vier Kategorien. Diese sind in folgender Tabelle ersichtlich. Die Auswahl der jeweiligen Kategorie ist abhängig vom Gebäude und den Bedürfnissen der Nutzer.

Tabelle 2: Beschreibung der Kategorien<sup>18</sup>

Kategorie	Beschreibung
I	hohes Maß an Erwartungen; empfohlen für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen mit besonderen Bedürfnissen aufhalten, z.B. Personen mit Behinderungen, kranke Personen, sehr kleine Personen und ältere Personen
II	normales Maß an Erwartungen, empfohlen für neue und renovierte Gebäude
III	annehmbares, moderates Maß an Erwartungen; kann bei bestehenden Gebäuden angewendet werden
IV	Werte außerhalb der oben genannten Kategorien. Diese Kategorie sollte nur für einen begrenzten Teil des Jahres angewendet werden

Anmerkung: auch in anderen Normen wie z.B. EN 13779 und EN ISO 7730 wird eine Einteilung in Kategorien vorgenommen; diese sind jedoch nicht unbedingt ident (z.B. A, B, C)

Zusätzlich werden in der ÖNORM EN 15251 erforderliche Luftvolumenströme für die Bemessung von Lüftungsanlagen für Wohngebäude und Nichtwohngebäude definiert. Die erforderliche Luftmenge kann in Abhängigkeit der gewählten Kategorie (siehe Tabelle 2) auf unterschiedlichste Arten angegeben werden (z.B. Luftstrom bezogen auf Personenanzahl, Grundfläche oder Rauminhalt, Luftstrom in Abhängigkeit der erforderlichen CO<sub>2</sub>-Werten).

<sup>17</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN 15251 (2007-09-01).

<sup>18</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN 15251 (2007-09-01). S. 13

Darüber hinaus werden in dieser Norm Parameter für das Innenraumklima, welche für die Energieberechnung erforderlich sind, festgelegt. Des Weiteren zeigt die Norm Indikatoren (thermische Kriterien, Luftqualitätskriterien, Feuchtekriterien,...) und unterschiedliche Möglichkeiten (Umfrage, Messung, Berechnung,...) für eine Bewertung der Langzeiteigenschaften des Innenraumklimas auf.

Es werden nun in weiterer Folge die thermischen Behaglichkeitskriterien genauer erläutert.

### Gebäuden mit maschineller Heizung und / oder maschineller Kühlung

In Tabelle 3 findet man Richtwerte für Innenraumtemperaturen analog ÖNORM EN 15251 (nicht vollständig), wenn Gebäude mit Raumlufteinrichtungen ausgestattet werden. Die Kategorie wurde in Tabelle 2 erklärt. Der Zusammenhang der jeweiligen Kategorie mit dem PPD- und PMV-Index wird in Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 3: Auswahl von Richtwerten für Gebäude mit Raumlufteinrichtungen<sup>19</sup>

Gebäude- bzw. Raumtyp	Kategorie	Operative Temperatur [°C]	
		$I_{cl}$ : ca. 1,0 clo Mindestwert für Heizperiode	$I_{cl}$ : ca. 0,5 clo Maximalwert für Kühlperiode
Wohngebäude: Wohnräume (Wohnzimmer, Küche,...) M: ca. 1,2 met (sitzend)	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Wohngebäude: andere Räume (Gang, Lager,...) M: ca. 1,6 met (stehend, gehend)	I	18,0	-
	II	16,0	-
	III	14,0	-
Großraumbüro (Bürolandschaft) M: ca. 1,2 met (sitzend)	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Großraumbüro, Konferenzraum, Hörsaal, Veranstaltungssaal, Restaurant M: ca. 1,2 met (sitzend)	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Kaufhaus M: ca. 1,6 met (stehend, gehend)	I	17,5	24,0
	II	16,0	25,0
	III	15,0	26,0

$I_{cl}$ : Wärmedurchlasswiderstand der Bekleidung (Bekleidungsfaktor); 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>K/W

M: Energieumsatz; 1 met = 58 W/m<sup>2</sup>

<sup>19</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMITTEL: ÖNORM EN 15251 (2007-09-01). S. 27

Tabelle 4: Empfohlene Kategorie unter Berücksichtigung des PPD- und PMV-Index für die Auslegung maschinell geheizter und gekühlter Bauwerke<sup>20</sup>

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		entspricht folgender Kategorie gemäß ÖNORM EN ISO 7730
	PPD [%]	PMV [-]	
I	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	A
II	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	B
III	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	C
IV	> 15	- 0,7 > PMV > + 0,7	-

### Gebäude ohne maschinelle Kühlung

Hinsichtlich der Mindestwerte für die Heizperiode gilt Tabelle 3. Bei Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage erfolgt die Lüftung über die transparenten Außenbauteile und ist sehr stark nutzerabhängig.

In folgender Abbildung ist der Bereich der möglichen operativen Temperatur für die Kühlperiode (in den Sommermonaten) in Abhängigkeit des gleitenden Mittelwerts der Außentemperatur für die Kategorien I bis III ersichtlich. Diese Temperaturen gelten vorwiegend für Bürogebäude und Wohnungen. Die Nutzer müssen zum einen in der Lage sein durch eine geeignete Kleidungswahl sich an die vorherrschenden klimatischen Bedingungen anpassen zu können und zum anderen selbstständig die Fenster zu öffnen und zu schließen.

Der gleitende Mittelwert der Außentemperatur wird mit folgender Formel ermittelt:

Formel 2: gleitender Mittelwert der Außentemperatur

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) * (\theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{ed-2} + \alpha^2 * \theta_{ed-3} + \dots) \dots [^{\circ}\text{C}]$$

$\theta_{rm}$      *gleitender Mittelwert der Außentemperatur [°C]*

$\theta_{ed-1}$     *Tagesmittelwert für den gestrigen Tag [°C]*

$\theta_{ed-2}$     *Tagesmittelwert für den vorgestrigen Tag [°C]*

$\theta_{ed-3}$     *Tagesmittelwert für den vorvorgestrigen Tag [°C]*

$\alpha$          *Konstante zwischen 0 und 1, Standardwert = 0,8 [-]*

<sup>20</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM EN 15251 (2007-09-01). S. 26

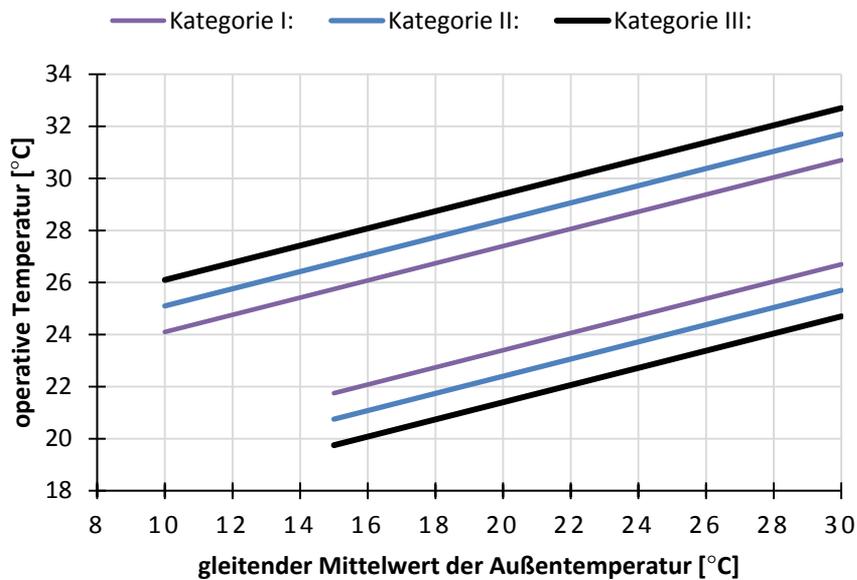


Abbildung 10: Zulässige Innentemperatur für Gebäude ohne maschinelle Kühlung<sup>21</sup>

### 2.4.3 Thermische Behaglichkeit nach ÖNORM EN ISO 7730<sup>22</sup>

Die ÖNORM EN ISO 7730 beschreibt ein Verfahren zur Berechnung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit. Das thermische Gleichgewicht des menschlichen Körpers hängt primär neben den bereits erwähnten physikalischen Größen Raumlufttemperatur, mittlerer Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte von der körperlichen Tätigkeit und der Art der Bekleidung ab. Mit diesen sechs Faktoren können das vorausgesagte mittlere Votum (PMV-Index, predicted mean vote) und der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD-Index, predicted percentage of dissatisfied) berechnet werden. Diese beiden Indizes drücken die thermische Unbehaglichkeit bzw. Unzufriedenheit bezogen auf den ganzen Körper aus.

Zusätzlich wird die lokale thermische Behaglichkeit beurteilt. Der erwartete Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) kann neben dem Auftreten von Zugluft (DR, draught rating) für einen vertikaler Lufttemperaturunterschied zwischen Kopf und Fußgelenk, der Fußbodentemperatur (zu warm bzw. zu kalt) und dem Auftreten von asymmetrischer Strahlung (warme bzw. kalte Decke oder Wand) ermittelt werden.

Diese Verfahren beruhen auf gleichbleibenden Bedingungen und gelten für gesunde Männer und Frauen. Bei unstetigen Bedingungen wird zwischen Temperaturzyklus, Temperaturdrift, Temperaturgefälle und Übergang unterschieden. Um auch bei unstetigen Bedingungen mit diesen Verfahren arbeiten zu können, regelt die Norm mit Aussagen und Grenzwerte die Anwendbarkeit dieser.

<sup>21</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN 15251 (2007-09-01). S. 27

<sup>22</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01).

Die ÖNORM EN ISO 7730 definiert drei Kategorien für das vorhandene Umgebungsklima mit jeweiligen Grenzen für die einzelnen Kriterien.

Tabelle 5: Kategorien des Umgebungsklimas<sup>23</sup>

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale thermische Unbehaglichkeit infolge			
	PPD [%]	PMV [-]	Zugluft DR [%]	vertikaler Lufttemperaturunterschied PD [%]	asymmetrische Strahlung PD [%]	warmer / kalter Fußboden PD [%]
A	< 6	- 0,2 < PMV < + 0,2	< 10	< 3	< 5	< 10
B	< 10	- 0,5 < PMV < + 0,5	< 20	< 5	< 5	< 10
C	< 15	- 0,7 < PMV < + 0,7	< 30	< 10	< 10	< 15

Es werden nun in weiterer Folge der PMV-Index und der PPD-Index genauer erläutert.

### PMV-Index

Das vorausgesagte mittlere Votum beschreibt die erwartete, durchschnittliche Klimabeurteilung einer großen Personengruppe mittels einer siebenstufigen Bewertungsskala.

Tabelle 6: Bewertungsskala mit dazugehörigem PPD-Index<sup>24</sup>

PMV	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3
Wahrnehmung	kalt	kühl	etwas kühl	neutral	etwas warm	warm	heiß

Laut ÖNORM EN ISO 7730 soll der PMV-Index nur für Werte von -2 bis +2 herangezogen werden. Der PMV-Index wird mit folgenden Gleichungen berechnet:

Formel 3: PMV - Index - 1

$$\begin{aligned}
 PMV = & [0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028] \\
 & * \{(M - W) - 3,05 * 10^{-3} * [5733 - 6,99 * (M - W) - 58,15] - 1,7 * 10^{-5} \\
 & * M * (5876 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} \\
 & * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)\}
 \end{aligned}$$

<sup>23</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01). S.18

<sup>24</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01). S. 6

mit:

Formel 4: PMV - Index - 2

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 * I_{cl} & \text{für } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2\text{K/W} \\ 1,05 + 0,545 * I_{cl} & \text{für } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2\text{K/W} \end{cases}$$

folgende Gleichungen müssen iterativ gelöst werden:

Formel 5: PMV - Index - 3

$$h_c = \max \left\{ \begin{array}{l} 2,38 * (t_{cl} - t_a)^{0,25} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{array} \right\}$$

Formel 6: PMV - Index - 4

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * \{ 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \}$$

$M$  Energieumsatz der Person [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$W$  abgegebene, wirksame mechanische Leistung, meistens gilt  $W = 0$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$p_a$  Wasserdampfpartialdruck der Raumluft [ $\text{Pa}$ ]

$t_a$  Raumlufttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{cl}$  Oberflächentemperatur der Bekleidung [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_r$  mittlere Strahlungstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$f_{cl}$  Bekleidungsflächenfaktor [-]

$I_{cl}$  Wärmedurchlasswiderstand der Bekleidung (Bekleidungsfaktor) [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

$h_c$  Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

$v_{ar}$  Luftgeschwindigkeit [ $\text{m}/\text{s}$ ]

In folgenden Tabellen sind Energieumsätze bei verschiedenen Tätigkeiten sowie eine Übersicht von Wärmedurchlasswiderständen für eine Auswahl von Bekleidungsvarianten analog ÖNORM EN ISO 7730 abgebildet (nicht vollständig).

Tabelle 7: Energieumsätze bei unterschiedlichen Tätigkeiten<sup>25</sup>

Tätigkeit	Energieumsatz	
	[W/m <sup>2</sup> ]	[met]
angelehnt	46	0,8
sitzend, entspannt	58	1,0
sitzende Tätigkeit (Schule, Wohnung, Büro, Labor)	70	1,2
stehend leichte Tätigkeit (Einkaufen, Labor, leichte Industriearbeit)	93	1,6
stehend mittelschwere Tätigkeit (Hausarbeit, Maschinenbedienung, Verkaufstätigkeit)	116	2,0
Gehen auf der Ebene:		
2km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

1 met = 58 W/m<sup>2</sup>

 Tabelle 8: Wärmedurchlasswiderstände für ausgewählte Bekleidungsvarianten<sup>26</sup>

Bekleidungsvariante	I <sub>cl</sub>	
	[m <sup>2</sup> K/W]	[clo]
unbekleidet	0	0
Slip, T-Shirt, Shorts, leichte Socken und Sandalen	0,050	0,3
Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte lange Hose, leichte Socken und Schuhe	0,080	0,5
Unterhose, Hemd mit langen Ärmeln, Latzhose, Socken und Schuhe	0,125	0,8
Unterwäsche kurz, Hemd mit langen Ärmeln, Hose, Jacke, Socken und Schuhe	0,155	1,0
Unterwäsche lang, Hemd mit langen Ärmeln, Hose, Pullover, Jacke, Socken und Schuhe	0,200	1,3

1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>K/W

<sup>25</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01). S. 23

<sup>26</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01). S. 24

Der PMV-Index sollte nur dann angewendet werden, wenn die folgenden sechs Hauptparameter innerhalb der folgenden Grenzwerte liegen.

- Energieumsatz:  $46 \text{ W/m}^2$  bis  $232 \text{ W/m}^2$  (0,8 met bis 4 met)
- Bekleidungsfaktor:  $0 \text{ m}^2\text{K/W}$  bis  $0,31 \text{ m}^2\text{K/W}$  (0 clo bis 2 clo)
- Raumlufttemperatur:  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $30 \text{ }^\circ\text{C}$
- Mittlere Strahlungstemperatur:  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $40 \text{ }^\circ\text{C}$
- Relative Luftgeschwindigkeit:  $0 \text{ m/s}$  bis  $1 \text{ m/s}$
- Wasserdampfpartialdruck:  $0 \text{ Pa}$  bis  $2700 \text{ Pa}$

Da die Ermittlung des PMV-Index mit einem erheblichen Rechenaufwand verbunden ist, stellt die Norm einen Quelltext für die Programmierung einer Softwareanwendung für die Ermittlung des PMV- und PPD-Index zur Verfügung. Zusätzlich gibt es in der Norm ausgewertete Tabellen, von denen unter bestimmten Voraussetzungen in Abhängigkeit einiger Parameter der PMV-Index abgelesen werden kann.

Voraussetzungen:

- Die Tabellen sind für eine relative Luftfeuchte von 50 % gültig. Grundsätzlich ist der Einfluss der Luftfeuchte bei Temperaturen kleiner  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  und bei geringer körperlicher Tätigkeit dürftig. Unter diesen Voraussetzungen wird eine um etwa 10 % erhöhte Luftfeuchte ident wahrgenommen wie eine Temperaturzunahme der operativen Temperatur um  $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Beträgt die Differenz zwischen Raumlufttemperatur und operativer Temperatur weniger als  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , so ergibt sich eine Ungenauigkeit kleiner 0,1 für den PMV-Index.

Parameter:

- Energieumsatz
- Bekleidungsfaktor
- Operative Temperatur (Mittel aus Raumluft- und mittlerer Strahlungstemperatur)
- Relative Luftgeschwindigkeit

### **PPD-Index**

Basierend auf den PMV-Index kann mit folgender Formel der Prozentsatz an Unzufriedenen ermittelt werden. Mit dieser Kenngröße wird der Anteil derjenigen berechnet, welche das Umgebungsklima als zu warm (Werte von 2 bis 3) oder als zu kühl (Werte von - 2 bis - 3) empfinden.

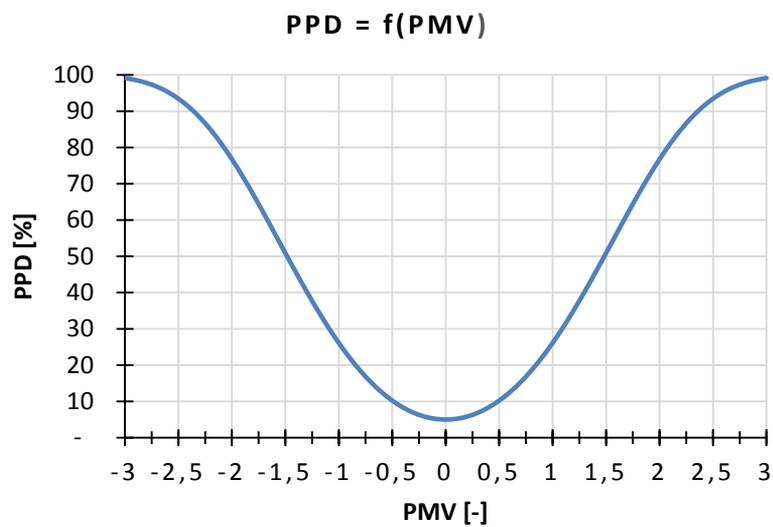


Abbildung 11: PPD-Index als Funktion des PMV-Index

Formel 7: PPD - Index

$$PPD = 100 - 95 * e^{(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2)}$$

Anhand obiger Formel sowie Abbildung 11 geht hervor, dass selbst bei idealen Bedingungen (PMV = 0) noch 5 % das Umgebungsklima als zu warm bzw. zu kalt empfinden. Ein PMV von  $\pm 1$  ergibt einen PPD von 26 %, ein PMV von  $\pm 2$  einen PPD von 77 % und ein PMV von  $\pm 3$  einen PPD von 99 %. Die genannten Werte ergeben sich aus Formel 7 und sind nicht ident mit den Werten aus Tabelle 2 ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01).

## 2.5 Sommerlicher Wärmeschutz - Modellbetrachtung

### 2.5.1 Allgemeines

Der Wärmeschutz im Sommer ist wesentlich für die thermische Behaglichkeit und das Raumklima. Aufgrund der hohen Strahlungsintensität der Sonne in den Sommermonaten kann es zu einem unerwünschten Temperaturanstieg in den Innenräumen kommen. Ziel ist die Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas. Dieses wird in der Regel erreicht, indem eine Überhitzung der Innenräume vermieden und somit die operative Innenraumtemperatur auf festgelegte Maximalgrenzwerte begrenzt wird.

Folgende Faktoren beeinflussen unter anderem den sommerlichen Wärmeschutz:

- Orientierung des Baukörpers
- Transparente Außenbauteile
  - Größe der transparenten Außenbauteile (lt. OIB-Richtlinie 3)
  - Neigung und Orientierung der transparenten Außenbauteile
  - Gesamtenergiedurchlassgrad
  - Sonnenschutzvorrichtung
- Innere Lasten
- Lüftung
- Speicherwirksame Masse der raumumschließenden Bauteile

Es werden nun die einzelnen Einflussfaktoren sowie die Nachweisführung zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung für den als kritisch eingestuften Einzelraum lt. ÖNORM B 8110-3 erörtert.

### 2.5.2 Orientierung des Baukörpers

Bereits beim Entwurf muss auf die Orientierung und auf die einzelne Raumanordnung geachtet werden. Betrachtet man den Wohnbau, sind idealerweise die Schlafräume nach Osten orientiert um am Morgen die direkte Sonneneinstrahlung zu haben. Der Familien- und Individualbereich (Essen, Wohnen, Freibereich) soll im Bereich von Süden bis Westen orientiert sein. Je nach Interessen sind Terrassen sowohl im Osten als auch im Westen sinnvoll. Im Norden befindet sich die Nebenzone (Küche, Sanitärbereich, Innenschließung). Ein eventuell vorhandener Büroraum kann ebenfalls nach Norden orientiert sein, da dadurch keine direkte Sonneneinstrahlung vorhanden ist und über den Tag verteilt ein konstanter, diffuser Lichteinfall gegeben ist. Diese Entwurfshinweise gelten primär für den Einfamilienhausbau.

Besonders kritisch sind kleine Räume mit großen Fensteröffnungen. Zu beachten ist, dass durch ein Dachflächenfenster wesentlich mehr Direktstrahlung in den Raum kommt, als durch ein gleich großes Fenster in der Fassadenebene.

### 2.5.3 Transparente Außenbauteile

#### Größe der transparenten Außenbauteile (lt. OIB-Richtlinie 3)<sup>27</sup>

Die OIB-Richtlinie 3 regelt die Mindestfenstergröße in Aufenthaltsräumen. Die OIB-Richtlinie 3 (2011) ist in allen Bundesländern bis auf Salzburg gültig.

Die Lichteintrittsfläche (= Nettoglasfläche) bei Aufenthaltsräumen muss mindestens 10 % von der Grundfläche dieses Raumes betragen. Wenn begründet werden kann, dass diese Bestimmung für einen konkreten Raum nicht erforderlich ist, darf davon abgewichen werden. Die 10 % werden ab einer Raumtiefe von mehr als 5 m für jeden angefangenen Meter um ein weiteres Prozent erhöht. Ist der Lichttransmissionsgrad  $\tau_v$  der verwendeten Verglasung kleiner als 0,65, so muss die Nettoglasfläche im gleichen Verhältnis vergrößert werden.

Baulich muss ein freier Lichteinfall gegeben sein. Dieser ist gegeben, wenn der Lichteinfallswinkel, bezogen auf die Unterkante des transparenten Außenbauteils in der Fassade, kleiner / gleich  $45^\circ$  ist. Im Grundriss darf der Lichteinfallswinkel um maximal  $30^\circ$  verschwenkt werden.

In Bezug auf die Anforderungen an die Belichtung dürfen Bauteile wie Balkonplatten, Loggien oder Dachvorsprünge maximal 3 m vor der Fassadenebene auskragen. Ragt ein Bauteil um mehr als 0,5 m in den erforderlichen freien Lichteinfall hinein, so ist die erforderliche Lichteintrittsfläche um jeweils 2 % der Grundfläche dieses Raumes je angefangenen Meter, gemessen vom Schnittpunkt des Bauteils mit der Lichteinfallgeraden, zu erhöhen.

In der Regel wird die erforderliche Mindestfenstergröße in den als kritisch eingestuften Einzelräumen bei Weitem überschritten.

#### Neigung und Orientierung der transparenten Außenbauteile

Neben der Orientierung hängt der Energieeintrag auch von der Neigung der transparenten Außenbauteile ab. Die ÖNORM B 8110-3 definiert dafür einen Orientierungs- und Neigungsfaktor  $Z_{ON}$ . Dieser wird in weiterer Folge benötigt um die Immissionsfläche zu ermitteln.

Zu beachten ist, dass durch ein geneigtes Fenster (z.B. Dachflächenfenster) mehr Bodenfläche bestrahlt wird, verglichen mit einem gleich großen Fenster in der vertikalen Fassadenebene, und auch ein größerer solarer Eintrag gegeben ist.

---

<sup>27</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: OIB-Richtlinie 3. S.6

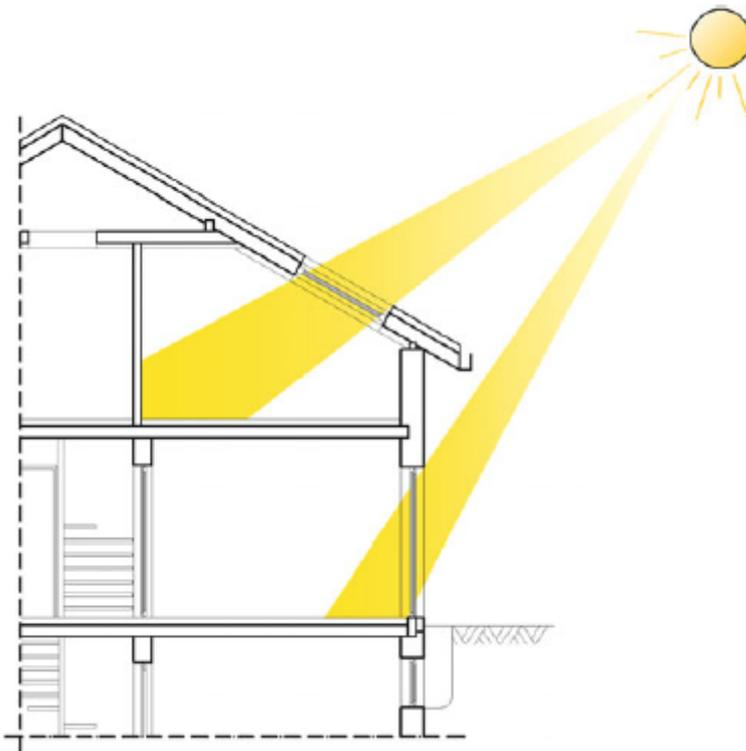


Abbildung 12: Unterschiede bei der direkt bestrahlten Bodenfläche aufgrund unterschiedlicher Neigung der transparenten Außenbauteile<sup>28</sup>

Aufgrund der unterschiedlichen Strahlungsintensität abhängig von Jahreszeit und Himmelsrichtung muss ein Kompromiss hinsichtlich der Orientierung und Größe der Fenster gefunden werden. Um in den Wintermonaten sowie der Übergangszeit die solaren Gewinne zu maximieren, sollten die Hauptfensterflächen zwischen Südosten und Südwesten orientiert sein. Diese Ausrichtung hat jedoch zur Folge, dass in den Sommermonaten ein enormer Energieeintrag gegeben ist. Dieser ist grundsätzlich unerwünscht und führt ohne weitere Maßnahmen (z.B. Abschattungseinrichtung) zu einer Überwärmung der Innenräume.

---

<sup>28</sup> SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 194

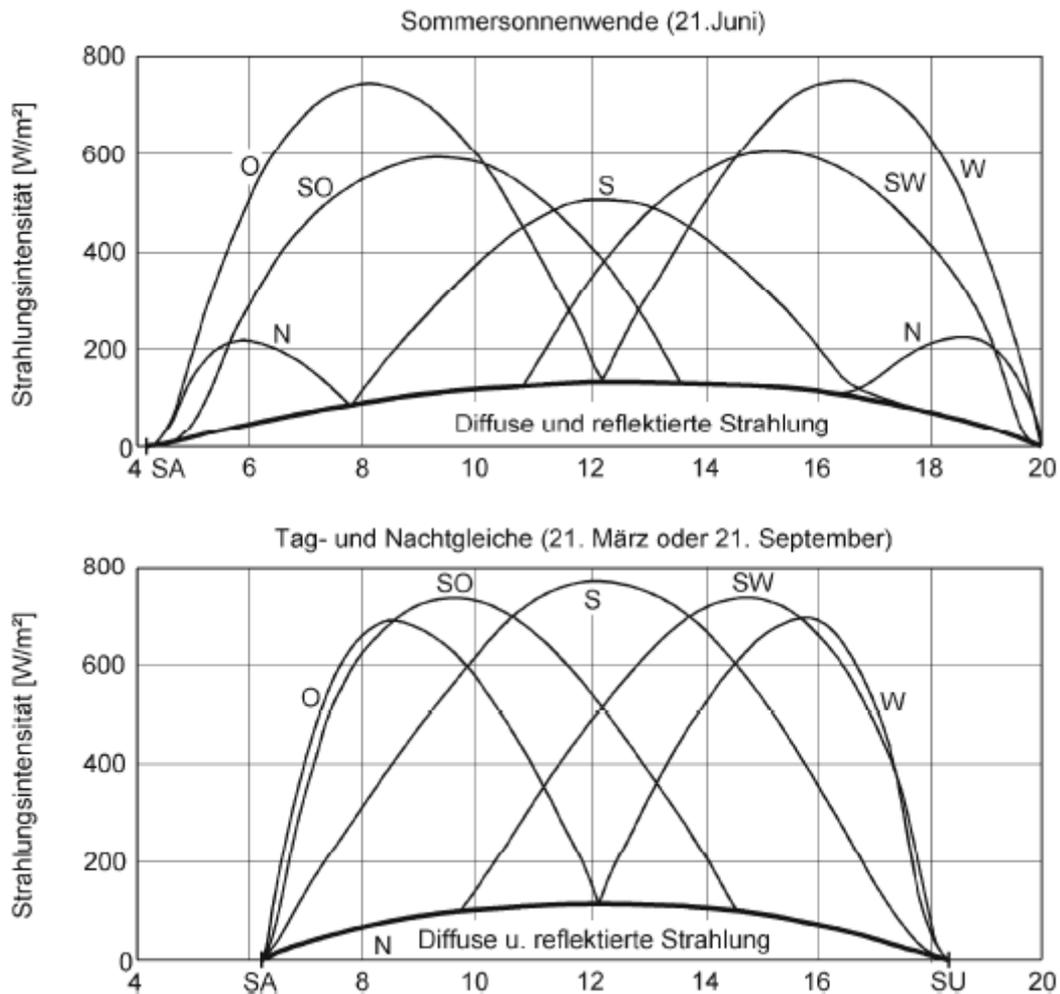


Abbildung 13: Strahlungsintensität der direkten, diffusen und reflektierten Strahlung auf eine vertikale Ebene in Abhängigkeit der Zeit und Orientierung, gemessen in Holzkirchen (GER)<sup>29</sup>

### Gesamtenergiedurchlassgrad

Der Gesamtenergiedurchlassgrad ( $g$ -Wert) beschreibt das Verhältnis von auftreffender zu durchkommender Sonnenstrahlung bei transparenten Außenbauteilen. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Ein Wert von 1 bzw. 100 % bedeutet, dass die gesamte Energie der auftreffenden Sonnenstrahlung in den Innenraum gelangt (praktisch nicht möglich). Die auftreffenden Sonnenstrahlen werden zu unterschiedlichen Teilen an der Oberfläche der transparenten Außenbauteile reflektiert (Reflexion), durch diese durchgelassen (Transmission) und durch die transparenten Außenbauteile aufgenommen (Absorption) und dabei in weiterer Folge nach außen bzw. innen abgegeben.

<sup>29</sup> SCHILD, K. WILLEMS, W. M.: Wärmeschutz. S. 193

- Reflexion

An Grenzflächen, wo sich der Brechungswinkel bzw. der Wellenwiderstand eines Mediums ändert, werden elektromagnetische Wellen zurückgeworfen. Dieser Vorgang wird als Reflexion bezeichnet. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Grenzfläche wird zwischen spiegelnder, diffuser und gemischter Reflexion unterschieden.

- Transmission

Die Transmission beschreibt die Durchlässigkeit eines Mediums. Der Anteil der elektromagnetischen Welle, welcher weder reflektiert noch absorbiert wird, wird durch das Medium transmittiert, sprich durchgelassen, und tritt somit auf der anderen Seite des Grenzmediums wieder aus.

- Absorption

Die elektromagnetischen Wellen werden von der Oberfläche des Grenzmediums aufgenommen und in Wärme umgewandelt. Der Absorptionsgrad ist unter anderem von der Einstrahlrichtung, der Wellenlänge sowie der Oberflächenfarbe des Grenzmediums abhängig.

Der durch Absorption aufgenommene Anteil wird nach außen und innen durch Sekundärabstrahlung und Konvektion abgegeben. Der g-Wert setzt sich somit zusammen aus einem Anteil aus Transmission und einem nach innen gelangten Anteil aus Absorption. Wie sich die einzelnen Anteile verhalten, ist abhängig von der Dicke, Material sowie Anzahl der Glasscheiben, dem Medium im Scheibenzwischenraum sowie von eventuellen Beschichtungen.

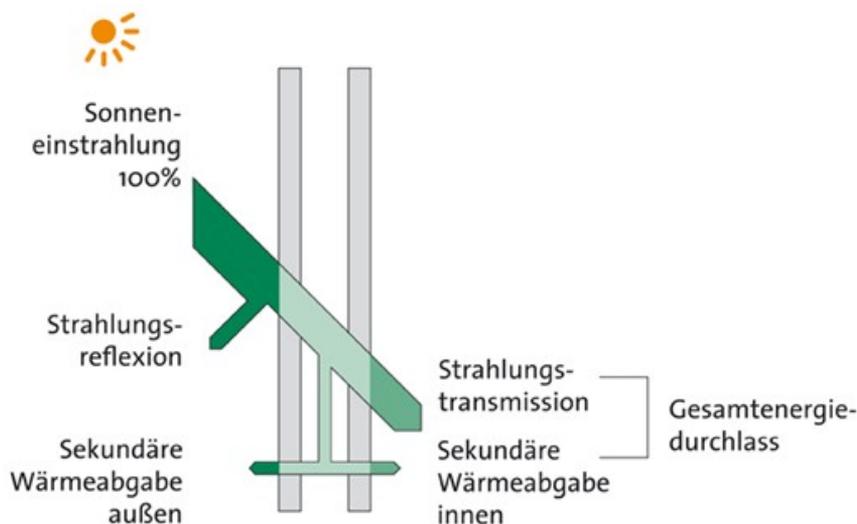


Abbildung 14: Beispielhafte Aufteilung der einfallenden Sonnenstrahlung bei einer Zweifachverglasung<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Online im Internet: <http://www.glas-nowak.de/de-de/produkte/sonnenschutzglas/grundlagen.aspx> [24.01.2015]

Ein großer g-Wert hat zur Folge, dass in den Wintermonaten ein hoher, erwünschter solarer Energieeintrag gegeben ist. Gleichzeitig wirkt sich das negativ auf die Sommermonate aus, da dann dieser enorme Energieeintrag zu einer Überwärmung der Innenräume führen wird.

Als Richtwert kann gesagt werden, dass Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen einen g-Wert von ca. 0,60 und Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen einen g-Wert von ca. 0,50 aufweisen.

### Sonnenschutzvorrichtung<sup>31</sup>

Aufgabe der (beweglichen) Sonnenschutzvorrichtung ist die direkte Sonneneinstrahlung durch transparente Außenbauteile zu verhindern. Bezüglich der Position wird unterschieden zwischen außen-, innen- und zwischen den Scheiben liegenden Sonnenschutz. Die Wirksamkeit der Sonnenschutzvorrichtung wird durch den Abminderungsfaktor  $F_c$  (früher: z-Wert) angegeben. Dieser Wert beschreibt das Verhältnis der durchgelassenen zur auftreffenden Sonnenenergie. Ein Wert von 1 bzw. 100 % bedeutet somit, dass keine Sonnenschutzvorrichtung vorhanden ist. Richtwerte für unterschiedliche Sonnenschutzvorrichtungen:<sup>32</sup>

Anmerkung: Die Richtwerte sind der Literatur entnommen, es wird aber darauf hingewiesen, dass jene der Zwischenjalousie und der Innenjalousie von der jeweiligen Verglasung abhängig sind.

- Außenjalousie             $F_c = 0,27$
- Vordächer, Markisen    $F_c = 0,32 - 0,43$
- Zwischenjalousie       $F_c = 0,53$
- Innenjalousie           $F_c = 0,43 - 0,75$

Am effektivsten sind außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen, da dadurch ein Großteil der Sonnenstrahlen nicht zum transparenten Außenbauteil gelangen. Die Sonnenstrahlen werden reflektiert und teilweise absorbiert, sprich in Wärme umgewandelt.

Innenliegende Sonnenschutzvorrichtungen haben den Vorteil, dass sie nicht der Witterung ausgesetzt sind. Zusätzlich sind sie für Reparatur- bzw. Reinigungsarbeiten leicht zugänglich. Die kurzwellige Sonnenstrahlung gelangt hinter das Fenster und ist somit zwischen transparenter Außenfläche und Sonnenschutzvorrichtung als innere Last vorhanden. Je heller die Oberfläche ist, desto größer ist der Anteil, welcher aufgrund Reflexion wieder nach außen gelenkt werden kann. Die restliche Energie wird absorbiert und somit in langwellige Infrarotstrahlung, sprich Wärmestrahlung umgewandelt. Dieser Anteil bleibt im Inneren, da der transparente Außenbauteil für lang-

---

<sup>31</sup> Vgl. Online im Internet: [http://www.baunetzwissen.de/index/Sonnenschutz-Arten-und-Formen\\_767022.html](http://www.baunetzwissen.de/index/Sonnenschutz-Arten-und-Formen_767022.html). [24.01.2015]

<sup>32</sup> INSTITUT FÜR HOCHBAU: Vorlesungsunterlage Bauphysik I. S. 45

wellige Strahlung weitgehend undurchlässig ist. Es kommt zu einer Reflexion an der Scheibeninnenseite.

Die Sonnenschutzvorrichtung im Scheibenzwischenraum ist ebenso wie der innenliegende Sonnenschutz vor Witterung geschützt. Aufgrund der Lage kann der Sonnenschutz nicht verschmutzt werden, ist aber im Reparaturfall nur schwer zugänglich. Im Scheibenzwischenraum können Temperaturen von über 80 °C auftreten. Auf der Scheibeninnenseite treten niedrigere Temperaturen auf. Aus der Temperaturdifferenz resultieren Längenänderungen. Werden diese nicht oder nur zu einem geringen Teil zugelassen, treten temperaturbedingte Spannungen auf.

Am effektivsten sind außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen, gefolgt von den Sonnenschutzvorrichtungen im Scheibenzwischenraum.

Im Anhang E der ÖNORM B 8110-3 sind Richtwerte für Sonnenschutzvorrichtungen ersichtlich. Diese sind abhängig vom solaren Transmissions- und Reflexionsgrad, dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung sowie der Farbe und Position der Sonnenschutzvorrichtung.

#### **2.5.4 Innere Lasten<sup>33</sup>**

Neben den äußeren Lasten führen auch die inneren Lasten zu einem Temperaturanstieg im Rauminnen. Die inneren Lasten ergeben sich aus der Personenwärme und der Abwärme aufgrund der technischen Gebäudeausstattung (Haustechnik, Beleuchtung, E-Geräte).

Bei der Auswahl der Sonnenschutzvorrichtung ist darauf zu achten, dass der Wärmeeintrag minimiert wird, aber dennoch genug diffuses Licht durch die transparenten Außenbauteile in das Rauminnere gelangt. Dadurch kann untertags auf künstliche Beleuchtung verzichtet werden.

Allgemein gilt, dass bei der Beleuchtung und den E-Geräten energieeffiziente Systeme eingesetzt werden sollten. So sind beispielsweise LEDs bzw. Energiesparlampen in Bezug auf reduzierten Stromverbrauch und Wärmeabstrahlung alten Glühbirnen überlegen. Aus ökonomischer Sicht ist die Wärmeabgabe von Beleuchtungsmitteln und E-Geräten das ganze Jahr über unerwünscht, da Strom als Energiequelle einen hohen Konversionsfaktor aufweist.

Die ÖNORM B 8110-3 regelt den Umgang mit inneren Lasten. Es sind in Tabellen Richtwerte für innere Lasten abhängig von der Raumnutzung und der Uhrzeit angeführt. Diese gelten als Minimalanforderung, und sind nur dann anzuwenden, wenn seitens des Bauherrn keine bzw. günstigere Angaben gemacht werden.

---

<sup>33</sup> Vgl. OBERÖSTERREICHISCHER ENERGIESPARVERBAND: Sommertauglich Bauen. Online im Internet: [http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info\\_und\\_Service/Publikationen/Sommertauglich\\_Bauen\\_2013.pdf](http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Sommertauglich_Bauen_2013.pdf)

[24.01.2015]

### 2.5.5 Lüftung

Durch kontrolliertes Lüften, in jener Zeit in der die Außentemperatur geringer als die Innenraumtemperatur ist, also in der Regel während der Nacht- und den frühen Morgenstunden, kann in den Sommermonaten überschüssige Energie aus dem Gebäude abgeführt werden.

Der Wärmeaustausch kann durch Fensterlüftung nach Mitternacht erfolgen, da dann in der Regel die Außentemperatur am kühleren ist. Das setzt aber voraus, dass bereits in der Planung auf einen ausreichenden Regen- und Einbruchschutz geachtet worden ist. Die Fenster müssen in den Nachtstunden geöffnet und in den frühen Morgenstunden wieder geschlossen werden. Dies bedarf einer gewissen Selbstdisziplin der Bewohner. Bei Wohngebäuden ist die Nachtlüftung möglich, bei Büro- bzw. Schulgebäuden nicht. Abhilfe kann ein automatisches Lüftungssystem verschaffen.

Tagsüber soll das Lüften auf ein Minimum reduziert werden (Stoßlüften). Zum einen ist die Außentemperatur in der Regel höher als die Innenraumtemperatur, zum anderen kann aufgrund der Thermik der Fall eintreten, dass ein ausreichender kühlungswirksamer Luftwechsel nicht möglich ist.

### 2.5.6 Speicherwirksame Masse

Die speicherwirksame Masse ist jene Kenngröße, welche für die wirksame Wärmespeicherkapazität von einem Bauteil bei einem sinusförmigen Temperaturverlauf mit einer Periodendauer von 24 Stunden verwendet wird. Man könnte auch von der wirksamen Wärmespeicherkapazität sprechen, jedoch ist die speicherwirksame Masse anschaulicher. Als Referenz-Wärmespeicherkapazität wird jene von Normalbeton verwendet.<sup>34</sup>

Die Wärmespeicherkapazität der einzelnen Baustoffe ist abhängig von der spezifischen Wärmekapazität, der Schichtdicke und der Rohdichte. Man spricht von der wirksamen Wärmespeicherkapazität, wenn anstelle der Schichtdicke, die Eindringtiefe berücksichtigt wird.

- Spezifische Wärmekapazität  $c$  [J/(kg K)]

Diese gibt an wieviel Energie notwendig ist, um ein Kilogramm eines Stoffes um ein Kelvin zu erwärmen. Die zugeführte Energie kann im Bedarfsfall wieder abgegeben werden.

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  [W/(m K)]

Die Wärmeleitfähigkeit gibt an wieviel Wärmeleistung in Watt bei einem Querschnitt von einem Quadratmeter mit einer Dicke von einem Meter in einer Sekunde durchgeleitet wird, wenn der Temperaturunterschied ein Kelvin beträgt.

---

<sup>34</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMITTEL: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 5

- Eindringtiefe (wirksame Schichtdicke) [m]

Die Eindringtiefe ist abhängig von der spezifischen Wärmekapazität, der Wärmeleitfähigkeit, der Periodendauer sowie der Rohdichte. Sie wird gemäß ÖNORM EN ISO 13786 ermittelt. Diese Norm regelt im Anhang A eine vereinfachte Berechnung der wirksamen Wärmespeicherkapazität. Demnach ergibt sich die Eindringtiefe aus dem kleinsten der folgenden drei Werte:<sup>35</sup>

Bei einer Periodendauer von 24 Stunden ergibt sich eine Eindringtiefe von maximal 10 cm.

Die Eindringtiefe darf maximal die halbe Gesamtdicke des Bauteils betragen (z.B. es werden bei einem 17 cm HLZ nur 8,5 cm berücksichtigt).

Die Eindringtiefe ergibt sich aus der Dicke zwischen der Bauteiloberfläche und der ersten Wärmedämmschicht, wobei eventuelle Beschichtungen nicht berücksichtigt werden (z.B. bei einem Fußbodenaufbau mit schwimmendem Zementestrich wird nur der Estrich berücksichtigt).

Die Eindringtiefe liegt bei den meisten Baustoffen zwischen 7 cm (z.B. Hochlochziegel) und 11 cm (z.B. Mineralfaserdämmstoff). Bei Holz und Holzwerkstoffen beträgt sie etwa 4 cm. Als Richtwert kann die speicherwirksame Masse aus der Eindringtiefe multipliziert mit der Dichte der einzelnen Baustoffe ermittelt werden.<sup>36</sup>

Wesentlich für die speicherwirksame Masse sind die Rohdichte und die spezifische Wärmekapazität der innerhalb der Eindringtiefe liegenden Bauteilschichten. Bei massiven Bauteilen (z.B. Fußbodenaufbau mit schwimmendem Estrich, Ziegel- bzw. STB-Wände, massive Decke nach oben) ergibt sich dadurch eine hohe speicherwirksame Masse. Der solare Überschuss kann im Sommer von den raumumschließenden Bauteilen aufgenommen werden und wird bei kühleren Temperaturen während der Nachtstunden wieder abgegeben. Dadurch verhält sich ein Raum mit einer hohen speicherwirksamen Masse sehr träge in Bezug auf Temperaturänderungen von außen als auch von innen (Heizkörper im Winter).

Das Gegenteil ist bei Räumen mit wenig speicherwirksamer Masse der Fall. Das trifft beispielsweise auf Räume mit Innendämmung oder Leichtbauweise zu. Temperaturschwankungen von außen und innen können nicht bzw. nur sehr beschränkt ausgeglichen werden. Dadurch steigt die Innentemperatur im Sommer sehr rasch an. Während der Heizperiode zeichnen sich diese Räume dadurch aus, dass sie sehr schnell auf behagliche Temperaturen erwärmt werden und nach Abschalten der Heizquelle wieder sehr rasch auskühlen. Dieses Verhalten ist vorteilhaft, wenn die Räume unter anderem nicht regelmäßig genutzt werden (z.B. Gästezimmer oder Ferienwohnung).

---

<sup>35</sup> Vgl. ÖNORM EN ISO 13786 S. 17

<sup>36</sup> Vgl. INSTITUT FÜR HOCHBAU: Vorlesungsunterlage Bauphysik I. S. 45

Zusätzlich ergeben sich Vorteile aufgrund einer schnelleren Abkühlung durch kühlungswirksamen Luftwechsel, wie später gezeigt wird.

### 2.5.7 Verfahren nach ÖNORM B 8110-3

Die ÖNORM B 8110-3 regelt den Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung für den als kritisch eingestuften Einzelraum. Dafür sind in der entsprechenden Norm zwei unterschiedliche Berechnungsverfahren vorgesehen. Im allgemein gültigen Verfahren wird ein Tagesverlauf der operativen Temperatur errechnet. Beim zweiten Verfahren wird ein vereinfachter Nachweis geführt, bei welchem eine immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse errechnet und einer Mindestanforderung gegenübergestellt wird.

#### Vereinfachter Nachweis

Die ÖNORM B 8110-3 regelt unter Punkt 8 die Vorgehensweise für den vereinfachten Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung für den als kritisch eingestuften Einzelraum. Dieses Verfahren darf ausschließlich angewendet werden, wenn folgende Randbedingungen erfüllt sind:

- es muss sich um ein Wohngebäude handeln, wobei es keine Rolle spielt, welcher Raum untersucht wird; in der Regel wird der für die Bemessung ungünstigste Raum verwendet
- die Normsommerraußentemperatur darf höchstens 23,0 °C betragen; diese Größe wird statistisch an 130 Tagen innerhalb von 10 Jahren überschritten und wird gemäß ÖNORM B 8110-5 Beiblatt 2 ermittelt
- sämtliche Fenster des als kritisch eingestuften Einzelraumes müssen nachts offen gehalten werden (Kippen reicht nicht aus)

Der vereinfachte Nachweis der speicherwirksamen Masse wird erfüllt, wenn folgende Gleichung eingehalten wird:

Formel 8: immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse

$$m_{w,I} = \frac{m_w}{A_I} \geq m_{w,I,min} \dots [kg/m^2]$$

$m_{w,I}$  immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse [ $kg/m^2$ ]

$m_w$  gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes [ $kg$ ]

$A_I$  Immissionsfläche [ $m^2$ ]

$m_{w,I,min}$  mindesterforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse [ $kg/m^2$ ]

Die gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes ist auf die Immissionsfläche zu beziehen. Diese muss größer bzw. gleich der mindesterforderlichen immissionsflächenbezogenen speicher-

wirksamen Masse lt. Tabelle 9 sein. Dieser Wert ist abhängig vom immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom und ist im Bedarfsfall zu interpolieren.

Tabelle 9: Mindesteorderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse in Abhängigkeit vom immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom<sup>37</sup>

Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom $V_{L,s}$ [ $m^3/(hm^2)$ ]	Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse $m_{w,l,min}$ <sup>a)</sup> [ $kg/m^2$ ]
$\geq 100$	$\geq 2000$
75	$\geq 4000$
50 <sup>b)</sup>	$\geq 8000$

<sup>a)</sup> im Bedarfsfall zu interpolieren

<sup>b)</sup> Immissionsflächenbezogene Luftvolumenströme von weniger als  $50 m^3/(hm^2)$  führen zu einem hohen Erwärmungsrisiko und sind daher unzulässig.

Für den vereinfachten Nachweis sind folgende Kenngrößen zu ermitteln:

- Immissionsfläche
- Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom
- Speicherwirksame Masse

Die Immissionsfläche wird mit folgender Formel ermittelt:

Formel 9: Immissionsfläche

$$A_I = F_{SC} * Z_{ON} * A_{AL} * f_g * F_C * g \dots [m^2]$$

$A_I$  Immissionsfläche [ $m^2$ ]

$F_{SC}$  Verschattungsfaktor gemäß ÖNORM B 8110-6 [-]

$Z_{ON}$  Neigungs- und Orientierungsfaktor lt. Tabelle 10 [-]

$A_{AL}$  Architekturlichte [ $m^2$ ]

$f_g$  Glasflächenanteil [-]

$F_C$  Abminderungsfaktor für Sonnenschutz (früher: z-Wert) [-]

$g$  Gesamtenergiedurchlassgrad lt. Tabelle 11 und Tabelle 12 [-]

<sup>37</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMITTEL: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 17

Der  $Z_{ON}$ -Faktor beschreibt die Abhängigkeit des Strahlungseintrags aufgrund der Orientierung und Neigung der transparenten Außenbauteile. Es ist ein Verhältniswert, der auf eine vertikale nach Süden orientierte Verglasung bezogen wird. Die Definition der Orientierung und Neigung sowie die einzelnen Werte sind in folgender Abbildung und Tabelle ersichtlich.

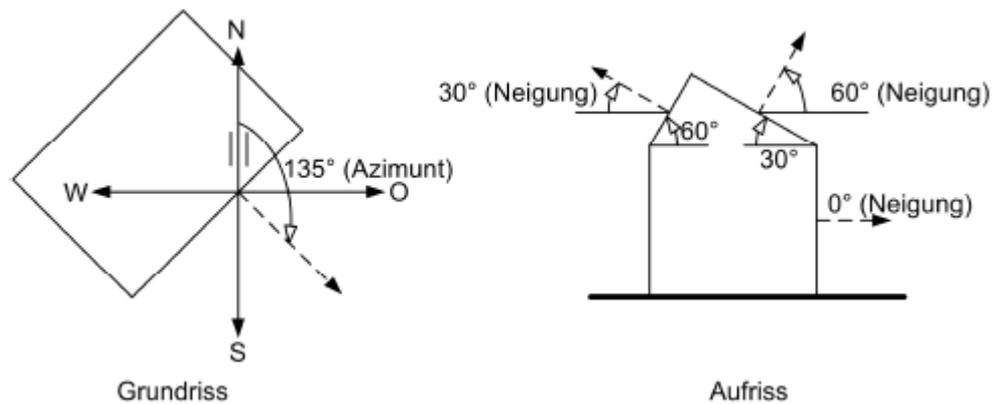


Abbildung 15: Definition der Neigung und Orientierung der Flächennormalen<sup>38</sup>

Tabelle 10:  $Z_{ON}$ -Faktoren zur Berücksichtigung der Neigung und Orientierung der Verglasungen<sup>39</sup>

Neigung der Flächennormalen	Orientierung - horizontaler Winkel der äußeren Flächennormalen zur Nordrichtung							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
0°	0,54	0,82	1,13	1,14	1,00	1,14	1,13	0,82
30°	0,85	1,15	1,54	1,70	1,69	1,70	1,54	1,15
45°	1,26	1,40	1,73	1,90	1,93	1,90	1,73	1,41
60°	1,61	1,68	1,89	2,04	2,08	2,04	1,89	1,68
90°	2,06							

Ist der Gesamtenergiedurchlassgrad nicht bekannt, kann ein Richtwert aus folgenden Tabellen entnommen werden.

<sup>38</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 18

<sup>39</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 19

Tabelle 11: Richtwerte für transparente Bauteile bei bestehenden Gebäuden<sup>40</sup>

Bestehende Gebäude				
Richtwerte für transparente Bauteile - beschichtet <sup>a)</sup>				
Scheiben	$U_g$	$\tau_{e,Licht}$	$\tau_{e,B}$	$g$
2-fach	1,9	0,80	0,67	0,71
2-fach	1,7	0,80	0,64	0,69
2-fach	1,5	0,80	0,61	0,67
2-fach	1,3	0,80	0,58	0,65
Richtwerte für transparente Bauteile - unbeschichtet <sup>b)</sup>				
Scheiben	$U_g$	$\tau_{e,Licht}$	$\tau_{e,B}$	$g$
1-fach	5,8	0,90	0,85	0,87
2-fach	2,8	0,81	0,72	0,75
3-fach	2	0,72	0,64	0,67
4-fach	1,5	0,63	0,55	0,60
Profilbauglas	$U_g$	$\tau_{e,Licht}$	$\tau_{e,B}$	$g$
1-fach	5,8	0,80	0,80	0,82
2-fach	2,8	0,71	0,67	0,70

<sup>a)</sup> Werte dürfen für die Beurteilung von Bestandsgebäuden - wenn der  $U_g$ -Wert bekannt ist - ohne weiteren Nachweis verwendet werden.

<sup>b)</sup> Werte dürfen für die Beurteilung von bestehenden Gebäuden ohne weiteren Nachweis verwendet werden.

$U_g$ ...Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

$\tau_{e,Licht}$ ...Lichttransmissionsgrad [-]

$\tau_{e,B}$ ...Solartransmissionsgrad [-]

<sup>40</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 32

Tabelle 12: Richtwerte für transparente Bauteile bei Neubauten und Sanierungen <sup>41</sup>

Neubauten und Sanierungen				
Richtwerte für transparente Bauteile - beschichtet <sup>c)</sup>				
Scheiben	U <sub>g</sub>	τ <sub>e,Licht</sub>	τ <sub>e,B</sub>	g
2-fach	1,1	0,80	0,55	0,65
2-fach	1,1	0,70	0,40	0,50
2-fach	1,1	0,60	0,30	0,35
2-fach	1,1	0,50	0,20	0,25
3-fach	0,7	0,70	0,45	0,50
3-fach	0,5	0,70	0,45	0,50
3-fach	0,7	0,50	0,20	0,25
3-fach	0,5	0,50	0,20	0,25
Profilbauglas	U <sub>g</sub>	τ <sub>e,Licht</sub>	τ <sub>e,B</sub>	g
2-fach	1,1	0,70	0,50	0,60
2-fach	1,1	0,50	0,25	0,30

<sup>c)</sup> Werte zur Planung von Neubauten bzw. Sanierungen. Sind die zur Ausführung kommenden Produkte bekannt, müssen die Werte entsprechend korrigiert werden.

Der immissionsflächenbezogene stündliche Luftvolumenstrom wird mit folgender Formel ermittelt:

Formel 10: immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom

$$V_{L,S} = n_L * \frac{V}{\sum_i^n A_{I,i}} \dots \left[ \frac{m^3}{h m^2} \right]$$

$V_{L,S}$  immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom [ $m^3/(h m^2)$ ]

$n_L$  anzunehmende Luftwechselzahl lt. Tabelle 13 [1/h]

$V$  Raumvolumen [ $m^3$ ]

$A_I$  Immissionsfläche [ $m^2$ ]

Das vereinfachte Verfahren setzt voraus, dass die Fenster unabhängig von diversen Randbedingungen (Wind, Regen, Einbruch, Vandalismus,...) in den Nachtstunden offen gehalten werden können. Abhängig von der Lage der Lüftungsöffnungen in ein, zwei, drei bzw. mehr Fassadenebenen wird die Luftwechselzahl bestimmt. Dabei handelt es sich um eine Rechengröße, ohne besonderen physikalischen Hintergrund.

<sup>41</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 33

Tabelle 13: Anzunehmende Luftwechselzahl in Räumen und Raumverbänden in Abhängigkeit von der Lage der Lüftungsöffnungen bei vollständiger Öffnung<sup>42</sup>

Anzahl der Fassaden(ansichten)- oder Dachebenen mit Lüftungsöffnungen	$n_L$
	1/h
eine Fassaden- oder Dachebene	1,50
zwei Fassaden- oder Dachebenen	2,50
drei oder mehrere Fassaden- oder Dachebenen (Reihenhaus, frei stehendes Einfamilienhaus, Maisonette-Wohnungen)	3,00

Die speicherwirksame Masse wird mit folgender Formel ermittelt:

Formel 11: gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes

$$m_w = \sum m_{w,B} + m_{w,E} \dots [kg]$$

mit:

Formel 12: speicherwirksame Masse eines Bauteils

$$m_{w,B} = m_{w,B,A} * A \dots [kg]$$

$m_w$  gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes [kg]

$m_{w,B}$  speicherwirksame Masse eines Bauteils [kg]

$m_{w,E}$  speicherwirksame Masse der Einrichtung [kg]

$m_{w,B,A}$  flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils [kg/m<sup>2</sup>]

$A$  Bauteilfläche [m<sup>2</sup>]

Die speicherwirksame Masse der Einrichtung darf pauschal mit 38 kg je Quadratmeter Nutzfläche berücksichtigt werden. Die speicherwirksamen Massen der einzelnen raumumschließenden Bauteile werden aufsummiert.

<sup>42</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). S. 19

Exkurs zur flächenbezogenen speicherwirksamen Masse:

Formel 13: flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

$$m_{w,B,A} = \frac{\chi}{c_0} \dots \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

mit:

Formel 14: flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität eines Bauteils

$$\chi = \sum_i^n \rho_i * c_i * d_i \dots \left[ \frac{J}{kg m^2} \right]$$

$m_{w,B,A}$  flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils [kg/m<sup>2</sup>]

$\chi$  flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität eines Bauteils [J/(K m<sup>2</sup>)]

$c_0$  Referenzwärmespeicherkapazität [J/(kg K)]

$\rho_i$  Rohdichte des Bauteils der Schicht  $i$  [kg/m<sup>3</sup>]

$c_i$  spezifische Wärmekapazität des Bauteils der Schicht  $i$  [J/(kg K)]

$d_i$  wirksame Schichtdicke des Bauteils der Schicht  $i$  [m]

Die flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils wird aus dem Quotienten von der flächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherkapazität des Bauteils und der Referenzwärmespeicherkapazität ermittelt. Diese wurde mit 1046,7 J/(kg K) festgelegt.

Für die Ermittlung der flächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherkapazität werden die einzelnen wirksamen Wärmespeicherkapazitäten der jeweiligen Bauteilschichten aufsummiert.

Die Berechnung der wirksamen Schichtdicke ist in ÖNORM EN ISO 13786 geregelt. Im Anhang A dieser Norm wird auf die vereinfachte Berechnung der wirksamen Wärmekapazität eingegangen. Die Ansätze für die wirksame Schichtdicke wurden bereits unter 2.5.6 erläutert. Das exakte Verfahren ist der ÖNORM EN ISO 13786 zu entnehmen.

## Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur

Im allgemeingültigen Verfahren wird unter Berücksichtigung von Klimaannahmen, inneren Lasten und Lüftungsmöglichkeiten ein Tagesverlauf der operativen Temperatur errechnet. Der Nachweis der sommerlichen Überwärmung gilt als erfüllt, wenn die maximale operative Temperatur den Grenzwert von 27 °C nicht übersteigt. Zusätzlich gilt für Schlaf- und Ruheräume, dass die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreichen bzw. unterschreiten muss. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr. Die operative Temperatur ergibt sich näherungsweise aus dem Mittelwert von Raumlufttemperatur und Umschließungsflächentemperatur. Folgende Parameter beeinflussen die Berechnung:

- Der Schichtaufbau und in weiterer Folge die speicherwirksame Masse der raumumschließenden Bauteile sowie der Möblierung.
- Die solaren Wärmegewinne in Abhängigkeit von Standort und Orientierung, sowie Fensereigenschaften (Größe, Ausrichtung, Neigung, Sonnenschutz, g-Wert,...) und Verschattungsfaktoren.
- Die internen Wärmegewinne in Abhängigkeit der Nutzung und der daraus resultierenden inneren Lasten aufgrund Personen, Beleuchtung, Haustechnik und E-Geräte.
- Die Lüftungseigenschaften, dabei wird zwischen einer natürlichen Fensterlüftung und der Verwendung einer raumluftechnischen Anlage unterschieden.

Bei der natürlichen Lüftung wird der vorhandene Luftvolumenstrom für gekippte oder geöffnete Fenster und Fenstertüren ermittelt. Wird natürlich gelüftet, muss bereits in der Planungsphase auf den Regen-, Einbruchs- und Schallschutz geachtet werden.

Wird mit raumluftechnischen Anlagen gelüftet, sind die Lüftungseigenschaften zu definieren.

Die Berechnung kann mit einer Software durchgeführt werden, wobei die Anforderungen an diese in ÖNORM EN ISO 13791 definiert sind. Bei der nun vorliegenden Arbeit wurden diese Berechnungen mit der Software GEQ durchgeführt.

## 3 Konstruktionsmodelle

### 3.1 Allgemeines

Aufgrund der vorhandenen Daten der Statistik Austria<sup>43 44</sup> geht hervor, dass es in Österreich per 31.10.2011 ca. 2,19 Mio. Gebäude gibt. Davon sind rund 1,97 Mio. Wohngebäude und ca. 0,22 Mio. Nichtwohngebäude. Von den ca. 1,97 Mio. Wohngebäuden gibt es rund 1,49 Mio. Gebäude mit nur einer einzigen Einheit (Einfamilienhaus). Die restlichen Wohngebäude haben mindestens zwei Wohneinheiten. Unter Nichtwohngebäude fallen unter anderem Bürogebäude, Groß- und Handelsgebäude, Industrie- und Lagergebäude sowie Gebäude für Kultur-, Bildungs-, Freizeit und Gesundheitswesen (nicht vollständig).

Unter Berücksichtigung der gegebenen Gebäudesituation und der projektspezifischen Fragestellung wurden im Rahmen dieser Arbeit folgende unterschiedliche Simulationsprototypen festgelegt:

- Einfamilienhaus
- Regelgeschoss mit Wohnnutzung
- Regelgeschoss mit Büronutzung

Hinsichtlich der Bauteil- und somit auch der Speichermasse wurde eine Differenzierung vorgenommen. Dabei wurde dem Speicherniveau entsprechend jeweils ein typischer Vertreter einer heute üblichen Bauweise zugeordnet. Zwischen folgenden Bauweisen wurde unterschieden:

- Massivbau-Beton (MB)
- Massivbau-Ziegel (MZ)
- Massivbau-Holz (MH)
- Leichtbau-Holz (LH)

In weiterer Folge wurden für jede Bauweise Bauteiltypen festgelegt. Es sind jedoch nicht für jeden Simulationsprototypen alle Bauteiltypen erforderlich (z.B. bei den Regelgeschossen wird die Zwi-

---

<sup>43</sup> Vgl. STATISTIK AUSTRIA: Statistiken – Wohnen – Wohnungs- und Gebäudebestand. Online im Internet: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen/wohnungs\\_und\\_gebaeudebestand/022982.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/022982.html) [07.03.2015]

<sup>44</sup> Vgl. STATISTIK AUSTRIA: Statistiken – Wohnen – Wohnungs- und Gebäudebestand. Online im Internet: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen/wohnungs\\_und\\_gebaeudebestand/Gebaeude/074079.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/Gebaeude/074079.html) [07.03.2015]

schendecke nach oben zu dem nicht konditionierten Dachraum nicht benötigt). Folgende Differenzierung wurde getroffen:

- Außenwände
- Trennwände zu fremder Einheit
- Zwischenwand innerhalb der Einheit (nicht tragend)
- Zwischenwände innerhalb der Einheit (tragend)
- Fußboden erdanliegend
- Zwischendecken innerhalb und zu fremder Einheit
- Geschossdecken zu geschlossenem Dachraum

## 3.2 Simulationsprototypen

Für die Aufgabenstellung war es erforderlich geeignete Simulationsprototypen zu definieren. Bei der Grundrissgestaltung wurde auf die Ausrichtung und Größe der Grundrisse, die Anordnung und Orientierung der einzelnen Räume innerhalb einer Einheit sowie auf die Fensterflächenanteile und die Raumgrößen eingegangen. Vor- und Rücksprünge wurden vermieden, um keine zusätzlichen Einflussfaktoren zu erhalten (z.B. baulich bedingte Verschattung).

### 3.2.1 Einfamilienhaus

Bei dem freistehendem Einfamilienhaus handelt es sich um einen Vierpersonenhaushalt mit zwei Vollgeschossen (lichte Raumhöhe von 2,60 m). Das Bauwerk ist nicht unterkellert und verfügt über einen nicht konditionierten und nicht nutzbaren Dachraum.

Die vorhandene Einrichtung dient nur der Illustration und wird bei den Simulationsberechnungen nicht berücksichtigt.

Kenngrößen:

- Lichte Höhe: 2,60 m
- Außenabmessungen: 11,50 m x 9,50 m
- Bruttogrundfläche: 109,25 m<sup>2</sup>
- Nettofläche - EG: 75,68 m<sup>2</sup>
- Nettofläche - OG: 75,74 m<sup>2</sup>
- Eingangstür: 110 cm / 220 cm
- Innentüren: 80 cm / 200 cm und 90 cm / 200 cm
- Fenster - Standard: 123 cm / 148 cm und 80 cm / 148 cm
- Fenster - französischer Balkon: 110 cm / 230 cm

In folgender Tabelle sind die Fensterflächenanteile der Aufenthaltsräume sowie die entsprechenden Anforderungen lt. OIB-Richtlinie 3 angeführt. Die Grundrisse sind nordwest orientiert und genauso wie die Ansichten ohne Maßstab.

Die Anforderungen an die OIB-RL 3 bezüglich der Nettofensterfläche werden in allen Aufenthaltsräumen eingehalten.

Tabelle 14: Fensterflächenanteil Einfamilienhaus

	Bezeichnung	Bodenfläche [m <sup>2</sup> ]	Bruttofensterfläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofensterfläche <sup>1)</sup> [m <sup>2</sup> ]	Lichteintritts- / Bodenfläche		
					soll <sup>2)</sup> [%]	ist [%]	
Einfamilienhaus	Essen / Kochen	22,67	8,70	6,09	12	27	✓
	Wohnzimmer	18,53	6,88	4,82	10	26	✓
	Büro	9,29	3,64	2,55	10	27	✓
	Kinderzimmer 1	15,94	6,88	4,82	10	30	✓
	Kinderzimmer 2	15,03	6,88	4,82	10	32	✓
	Elternschlafzimmer	13,22	3,64	2,55	10	19	✓

<sup>1)</sup> Annahme für Glasflächenanteil: 70 % von Bruttofensterfläche  
<sup>2)</sup> Anforderung an die Belichtung lt. OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz



Abbildung 16: Simulationsprototyp Einfamilienhaus - Grundrisse

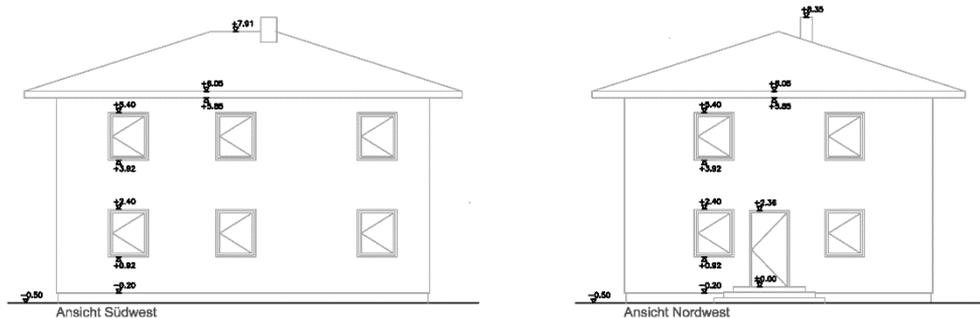


Abbildung 17: Simulationsprototyp Einfamilienhaus - Ansicht Südwest und Nordwest

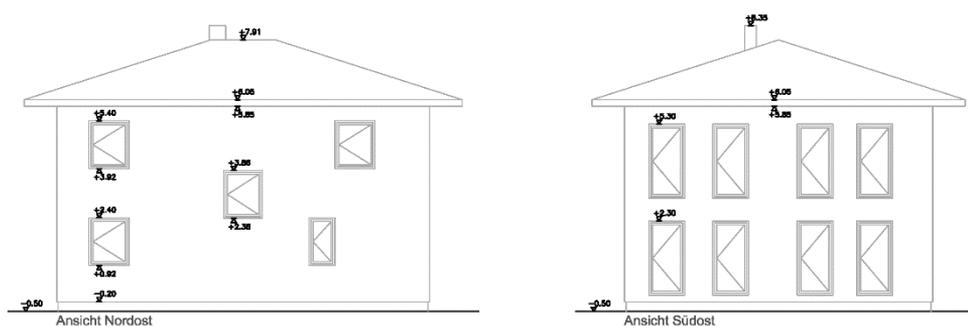


Abbildung 18: Simulationsprototyp Einfamilienhaus - Ansicht Nordost und Südost

### 3.2.2 Regelgeschoss Wohnnutzung und Büronutzung

Neben dem Einfamilienhaus ist ein Simulationsprototyp entwickelt worden, bei welchem sowohl eine Wohn- als auch eine Büronutzung möglich ist. Bei dem Grundriss handelt es sich um ein Regelgeschoss mit einer lichten Höhe von 2,60 m. Der Simulationsprototyp ist nach den Haupthimmelsrichtungen orientiert. Die Grundrisse der Wohn- sowie der Büronutzung unterscheiden sich nur aufgrund einer leicht geänderten Raumaufteilung. Die Außenabmessungen, der aussteifende Kern, die Anordnung aller übrigen tragenden Bauteile sowie die Größe und Position der Fenster und Wohnungseingangstüren sind bei den beiden unterschiedlichen Nutzungen ident.

Bei der Wohnnutzung sind drei unterschiedlich große Wohnungen konzipiert worden. Dabei handelt es sich um einen Dreipersonenhaushalt (Top A), um eine Singlewohnung (Top B), welche ausschließlich nach Süden orientiert ist und um einen Vierpersonenhaushalt (Top C). Die vorhandene Einrichtung dient nur der Illustration und wird bei den Simulationsberechnungen nicht berücksichtigt.

Aufbauend auf dem Grundriss der Wohnnutzung wurden für die Büronutzung die Positionen der nichttragenden Bauteile von Top C teilweise geändert, um den Anforderungen entsprechend eine möglichst ideale Raumaufteilung zu erhalten. Anstelle der Wohnungseinrichtung ist eine Büroeinrichtung erkennbar. Die vorhandene Einrichtung dient nur der Illustration und wird bei den Simu-

lationsberechnungen nicht berücksichtigt. Die Einheiten Top A und Top B wurden von der Wohnnutzung ohne Änderungen übernommen.

Bei den Simulationen wird zwischen Wohn- und Büronutzung unterschieden (näheres siehe Kapitel 4). Bei der Büronutzung sind somit in allen drei Einheiten Büros vorhanden, auch wenn zwecks der grafischen Aufbereitung dies nur in Top C ersichtlich ist.

Die Wohnungs- bzw. Büroeingangstüren haben eine einheitliche Größe von 90 cm/200 cm. Die Innentüren haben eine Größe von 80 cm/200 cm. Die Fenster weisen eine einheitliche Größe von 123 cm auf 148 cm auf. Zusätzlich sind im Süden in den Einheiten Top A und B jeweils zwei Fenster mit Abmessungen von 110 cm auf 230 cm („französischer Balkon“).

Kenngrößen:

- Lichte Höhe: 2,60 m
- Außenabmessungen: 31,21 m x 12,07 m
- Bruttogrundfläche: 376,70 m<sup>2</sup>
- Nettofläche - Top A: 91,56 m<sup>2</sup>
- Nettofläche - Top B: 43,63 m<sup>2</sup>
- Nettofläche - Top C: 136,39 m<sup>2</sup>
- Nettofläche - Büro: 137,84 m<sup>2</sup>
- Eingangstüren: 90 cm / 200 cm
- Innentüren: 80 cm / 200 cm
- Fenster - Standard: 123 cm / 148 cm
- Fenster - französischer Balkon: 110 cm / 230 cm

In folgenden Abbildungen und Tabellen sind die einzelnen Simulationsprototypen und die Fensterflächenanteile der Aufenthaltsräume sowie die entsprechenden Anforderungen lt. OIB-Richtlinie 3 angeführt. Die Abbildungen sind genordet und ohne Maßstab.

Die Anforderungen an die OIB-RL 3 werden beim Schlafzimmer vom Top C nicht eingehalten. Der Raum muss entweder verkleinert, oder die Fensterfläche vergrößert werden. Bei der Büronutzung wurde dies berücksichtigt, da die Raumaufteilung teilweise geändert wurde.

## Regelgeschoss Wohnnutzung

Tabelle 15: Fensterflächenanteil Regelgeschoss Wohnnutzung

	Bezeichnung	Bodenfläche [m <sup>2</sup> ]	Bruttofensterfläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofensterfläche <sup>1)</sup> [m <sup>2</sup> ]	Lichteintritts- / Bodenfläche		
					soll <sup>2)</sup> [%]	ist [%]	
TOP A	Schlafzimmer	13,69	3,64	2,55	10	19	✓
	Kinderzimmer	13,04	3,64	2,55	10	20	✓
	Essen / Kochen	21,77	7,99	5,59	11	26	✓
	Wohnzimmer	9,40	4,35	3,05	10	32	✓
TOP B	Schlafzimmer	10,80	4,35	3,05	10	28	✓
	Wohnküche	17,39	4,35	3,05	10	18	✓
Top C	Arbeitsraum	7,42	1,82	1,27	10	17	✓
	Kinderzimmer 1	12,99	3,64	2,55	10	20	✓
	Kinderzimmer 2	16,07	5,46	3,82	10	24	✓
	Schlafzimmer	17,83	1,82	1,27	11	7	✗
	Wohnzimmer	15,43	5,46	3,82	10	25	✓
	Essen / Kochen	31,43	7,28	5,10	10	16	✓
<sup>1)</sup> Annahme für Glasflächenanteil: 70 % von Bruttofensterfläche <sup>2)</sup> Anforderung an die Belichtung lt. OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz							

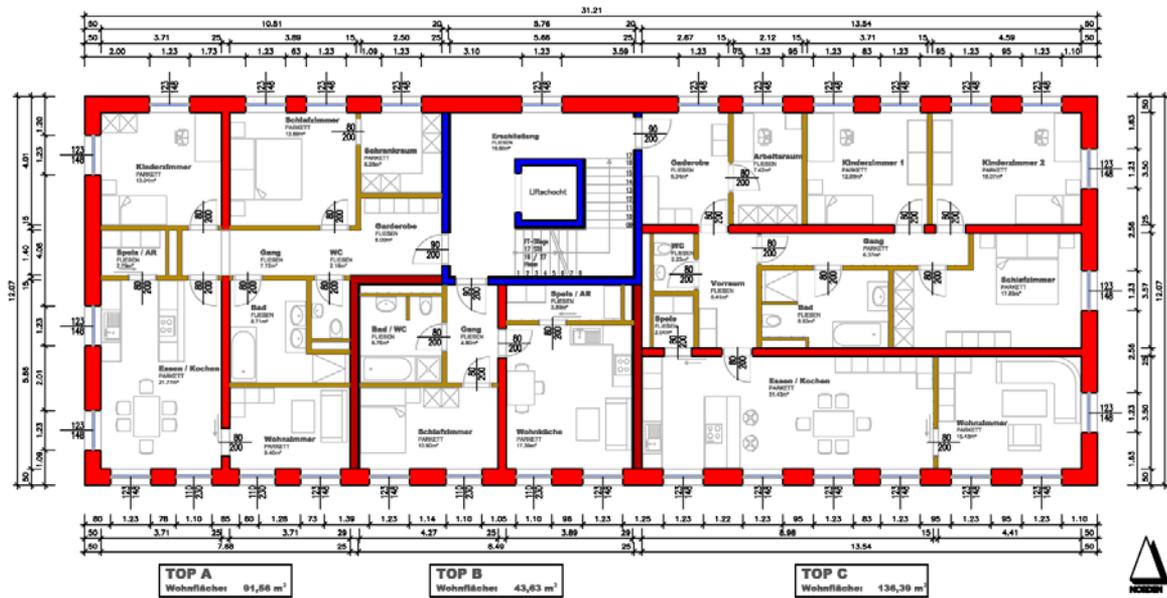


Abbildung 19: Simulationsprototyp Wohnnutzung

### Regelgeschoss Büronutzung

Tabelle 16: Fensterflächenanteil Regelgeschoss Büronutzung

	Bezeichnung	Bodenfläche [m <sup>2</sup> ]	Bruttofensterfläche [m <sup>2</sup> ]	Nettostensterfläche <sup>1)</sup> [m <sup>2</sup> ]	Lichteintritts- / Bodenfläche		
					soll <sup>2)</sup> [%]	ist [%]	
Büro	Empfang	16,59	3,64	2,55	10	15	✓
	Büro 1	14,35	3,64	2,55	10	18	✓
	Büro 2	15,40	5,46	3,82	10	25	✓
	Büro 3	9,09	3,64	2,55	10	28	✓
	Besprechungszimmer	15,43	5,46	3,82	10	25	✓
	Büro 4	31,43	7,28	5,10	10	16	✓

<sup>1)</sup> Annahme für Glasflächenanteil: 70 % von Bruttofensterfläche  
<sup>2)</sup> Anforderung an die Belichtung lt. OIB-Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

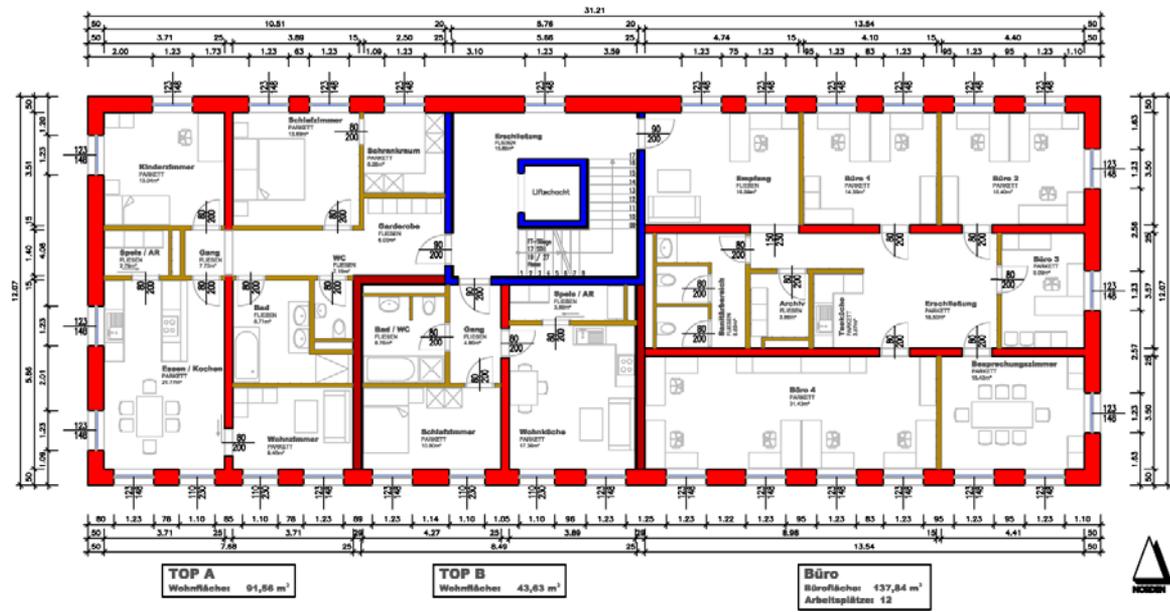


Abbildung 20: Simulationsprototyp Büronutzung

### 3.3 Bauteilaufbauten

Für die weiteren Untersuchungen sind die Dicke  $d$ , die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ , die spezifische Wärmekapazität  $c$  sowie die Dichte  $\rho$  der einzelnen Baustoffschichten erforderlich. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass bei den gewählten Bauteilaufbauten die Anforderungen an den Brandschutz, OIB-RL 2 (Bezug auf Gebäudeklasse 4), Schallschutz, OIB-RL 5 und Wärmeschutz, OIB-RL 6 eingehalten werden.

Auf nachfolgenden Seiten sind die einzelnen Bauteilaufbauten ersichtlich. Für die beiden Regelgeschosse sind die Bauteilaufbauten ident, beim Einfamilienhaus sind zum Teil andere Bauteilaufbauten erforderlich. In folgender Reihenfolge sind die einzelnen Bauteiltypen aufgelistet:

Bauteilaufbauten	erforderlich für	
	Regelgeschoss	Einfamilienhaus
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Außenwände AW 01 bis AW 04</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trennwände zu fremder Einheit TW 01 bis TW 04</li> </ul>	✓	✗
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischenwand innerhalb der Einheit ZW 01 (nicht tragend)</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischenwände innerhalb der Einheit ZW 02 bis ZW 05 (tragend)</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fußboden erdanliegend EB 01</li> </ul>	✗	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischendecken innerhalb u. zu fremder Einheit ZW 01 bis ZW 03</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschossdecken zu geschlossenem Dachraum AD 01 bis AD 03</li> </ul>	✗	✓

### 3.3.1 AW 01 - Massivbau - Beton

Bauteiltyp

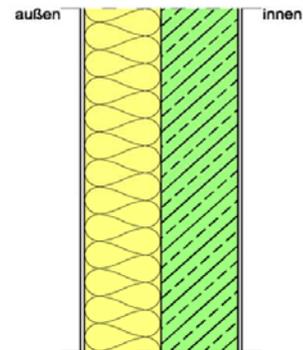
**Außenwand nicht hinterlüftet, Bauteilaufbau homogen**

Bauteilbezeichnung

**AW 01**

Bauteilbeschreibung

**Stahlbetonwand mit Wärmedämmverbundsystem**



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
2	Stahlbeton	100	0,200	2,500	1116	2500	0,080
3	Fassadendämmplatte (MW-PT)	100	0,200	0,034	1030	150	5,882
4	Spachtelung u. Armierung	100	0,005	0,800	900	1300	0,006
5	Kunstharzputz	100	0,003	0,900	1116	1200	0,003
			$\Sigma d_i =$	<b>0,411</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = \overline{5,976} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = \overline{0,170} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = \overline{6,146} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = \overline{0,16} \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = \overline{317,2} \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.2 AW 02 - Massivbau - Ziegel

Bauteiltyp

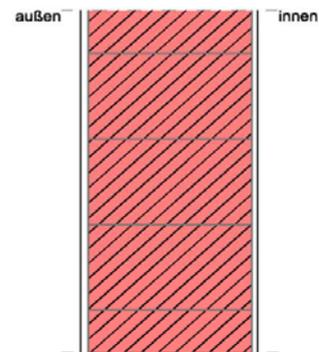
**Außenwand nicht hinterlüftet, Bauteilaufbau homogen**

Bauteilbezeichnung

**AW 02**

Bauteilbeschreibung

**Planziegel mit integrierter Wärmedämmung, beidseitig verputzt**



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Innenputz	100	0,015	0,700	1000	1200	0,021
2	Planziegel (HLZ)	100	0,425	0,069	2000	616	6,159
3	Außenputz	100	0,020	0,500	1000	1250	0,040
			$\Sigma d_i =$	<b>0,460</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = \overline{6,221} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = \overline{0,170} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = \overline{6,391} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = \overline{0,16} \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = \overline{44,8} \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.3 AW 03 - Massivbau - Holz

Bauteiltyp

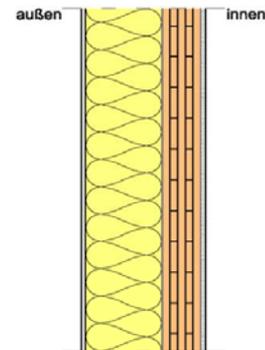
**Außenwand nicht hinterlüftet, Bauteilaufbau homogen**

Bauteilbezeichnung

**AW 03**

Bauteilbeschreibung

**Brettsper Holz mit Wärmedämmverbundsystem**



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
2	Brettsper Holz	100	0,100	0,130	1600	500	0,769
3	Fassadendämmplatte (MW-PT)	100	0,200	0,034	1030	150	5,882
4	Spachtelung u. Armierung	100	0,005	0,800	900	1300	0,006
5	Kunstharzputz	100	0,003	0,900	1116	1200	0,003
			$\Sigma d_i =$	<b>0,321</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = \overline{6,721} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = \overline{0,170} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = \overline{6,891} \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = \overline{0,15} \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = \overline{42,0} \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$  ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.4 AW 04 - Leichtbau - Holz

Bauteiltyp

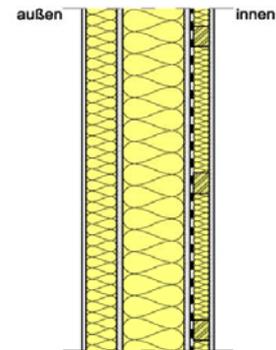
**Außenwand nicht hinterlüftet, Bauteilaufbau inhomogen**

Bauteilbezeichnung

**AW 04**

Bauteilbeschreibung

**Holzrahmenkonstruktion mit Installationsebene**



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
2a	Querlattung 60/40 e=40cm	15	0,040	0,130	1600	500	0,308
2b	dazwischen Mineralwolle	85	0,040	0,038	1030	27	1,053
3	Dampfbremse	100					
4	Gipsfaserplatte	100	0,015	0,320	1100	1150	0,047
5a	Riegel QS 80/160 e=62,5cm	13	0,160	0,130	1600	500	1,231
5b	dazwischen Mineralwolle	87	0,160	0,038	1030	27	4,211
6	MDF	100	0,015	0,120	1700	600	0,125
7	Holzfaserdämmplatte	100	0,080	0,043	2100	190	1,860
8	Spachtelung u. Armierung	100	0,005	0,800	900	1300	0,006
9	Kunstharpuzt	100	0,003	0,900	1116	1200	0,003
			$\Sigma d_i =$	<b>0,331</b>			

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,170 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Oberer Grenzwert:

$$R_{To} = 6,816 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Unterer Grenzwert:

$$R_{Tu} = 6,247 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = (R_{To} + R_{Tu}) / 2 = 6,532 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,15 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 18,2 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.5 TW 01 - Massivbau - Beton

**Bauteiltyp**

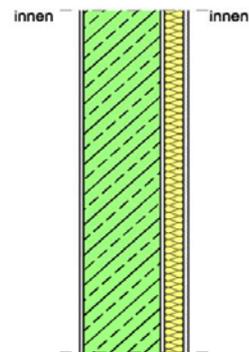
Zwischenwand zu getrennter Einheit, tragend, Bauteilaufbau homogen

**Bauteilbezeichnung**

TW 01

**Bauteilbeschreibung**

20cm starke STB-Wand, beidseitig gespachtelt, mit einseitiger 3,5cm starken Vorsatzschalendämmplatte (VSDP 35), mit GKP beplankt


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1 Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
2 Stahlbeton	100	0,200	2,500	1116	2500	0,080
3 Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
4a Metallständerelement CW 50 e=62,5cm						
4b dazwischen Mineralwolle	100	0,050	0,038	1030	27	1,316
5 Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
		$\Sigma d_i =$	<b>0,269</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = 1,463 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = 1,723 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,58 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

von links	$m_{w,B,A} =$	<b>318,6 [kg/m<sup>2</sup>]</b>
von rechts	$m_{w,B,A} =$	<b>18,4 [kg/m<sup>2</sup>]</b>

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.6 TW 02 - Massivbau - Ziegel

#### Bauteiltyp

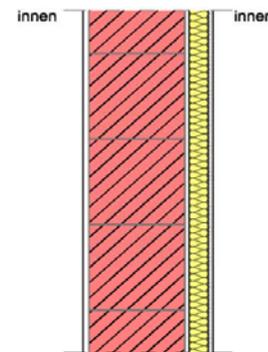
Zwischenwand zu getrennter Einheit, tragend, Bauteilaufbau homogen

#### Bauteilbezeichnung

TW 02

#### Bauteilbeschreibung

25cm SSZ, innenseitig verputzt, außenseitig gespachtelt, Vorsatzschale aus Metallständerkonstruktion mit dazwischenliegender MW, mit GKP beplankt



#### Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1 Innenputz	100	0,015	0,700	1000	1200	0,021
2 Schallschutzziegel	100	0,250	0,577	1000	1604	0,433
3 Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
4a Metallständerelement CW 50 e=62,5cm						
4b dazwischen Mineralwolle	100	0,050	0,038	1030	27	1,316
5 Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
		$\Sigma d_i =$	<b>0,331</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = 1,834 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = 2,094 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,48 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

von links	$m_{w,B,A} =$	<b>107,4 [kg/m<sup>2</sup>]</b>
von rechts	$m_{w,B,A} =$	<b>16,1 [kg/m<sup>2</sup>]</b>

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.7 TW 03 - Massivbau - Holz

**Bauteiltyp**

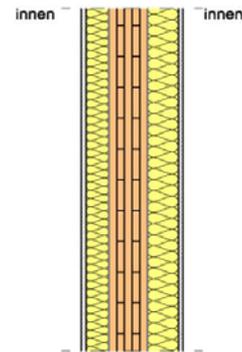
Zwischenwand zu getrennter Einheit, tragend, Bauteilaufbau inhomogen

**Bauteilbezeichnung**

TW 03

**Bauteilbeschreibung**

Brettsperrholz mit beidseitiger GK-Beplankung auf Lattung mit Schwingbügel, dazwischen Mineralwolle


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1 Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
2a Lattung QS 60/60 auf Schwingbügel	10	0,060	0,130	1600	500	0,462
2b dazwischen Mineralwolle	90	0,060	0,038	1030	27	1,579
3 Brettsperrholz	100	0,100	0,130	1600	500	0,769
4a Lattung QS 60/80 auf Schwingbügel	10	0,080	0,130	1600	500	0,615
4b dazwischen Mineralwolle	90	0,080	0,038	1030	27	2,105
5 Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
		$\Sigma d_i =$	<b>0,325</b>			

**Wärmeübergangswiderstand innen + außen**

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Oberer Grenzwert:**

$$R_{To} = 4,493 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Unterer Grenzwert:**

$$R_{Tu} = 4,138 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Wärmedurchgangswiderstand:**

$$R_T = (R_{To} + R_{Tu}) / 2 = 4,315 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Wärmedurchgangskoeffizient:**

$$U = 1 / R_T = 0,23 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

**Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils**

von links	$m_{w,B,A} =$	<b>14,7 [kg/m<sup>2</sup>]</b>
von rechts	$m_{w,B,A} =$	<b>14,0 [kg/m<sup>2</sup>]</b>

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.8 TW 04 - Leichtbau - Holz

#### Bauteiltyp

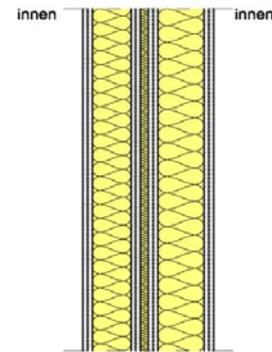
Zwischenwand zu getrennter Einheit, tragend, Bauteilaufbau inhomogen

#### Bauteilbezeichnung

TW 04

#### Bauteilbeschreibung

doppelte Holzrahmenkonstruktion mit doppelter, beidseitiger GK-Beklankung, innenliegend jeweils beidseitige Beplankung mit Gipsfaserplatten, dazwischen Mineralwolle



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte (zweifach)	100	0,025	0,210	1044	900	0,119
2a	Riegel QS 60/100	10	0,100	0,130	1600	500	0,769
2b	dazwischen Mineralwolle	90	0,100	0,038	1030	27	2,632
3	Gipsfaserplatte (zweifach)	100	0,025	0,320	1100	1150	0,078
4	Mineralwolle	100	0,020	0,038	1030	27	0,526
5	Gipsfaserplatte (zweifach)	100	0,025	0,320	1100	1150	0,078
6a	Riegel QS 60/120	10	0,120	0,130	1600	500	0,923
6b	dazwischen Mineralwolle	90	0,120	0,038	1030	27	3,158
7	Gipskartonplatte (zweifach)	100	0,025	0,210	1044	900	0,119
			$\Sigma d_i =$	<b>0,340</b>			

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Oberer Grenzwert:

$$R_{To} = 6,397 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Unterer Grenzwert:

$$R_{Tu} = 5,842 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = (R_{To} + R_{Tu}) / 2 = 6,120 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,16 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 23,9 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.9 ZW 01 - gültig für alle Bauweisen

**Bauteiltyp**

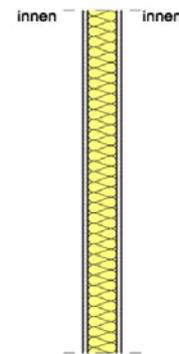
Zwischenwand innerhalb der Einheit, nicht tragend, Bauteilaufbau inhomogen

**Bauteilbezeichnung**

ZW 01

**Bauteilbeschreibung**

Metallständerkonstruktion mit dazwischenliegender Wärmedämmung und beidseitiger GK-Beplankung


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
2a	Metallständerelement CW 75 e=62,5cm						
2b	dazwischen Mineralwolle	100	0,075	0,038	1030	27	1,974
3	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
			$\Sigma d_i =$	<b>0,100</b>			

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 12,2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

### 3.3.10 ZW 02 - Massivbau - Beton

**Bauteiltyp**

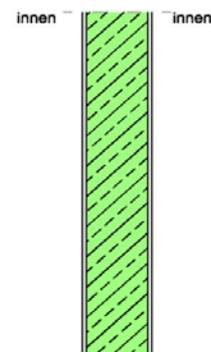
Zwischenwand innerhalb der Einheit, tragend, Bauteilaufbau homogen

**Bauteilbezeichnung**

ZW 02

**Bauteilbeschreibung**

16cm starke STB-Wand, beidseitig gespachtelt


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
2	Stahlbeton	100	0,160	2,500	1116	2500	0,064
3	Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
			$\Sigma d_i =$	<b>0,166</b>			

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 209,7 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.11 ZW 03 - Massivbau - Ziegel

Bauteiltyp

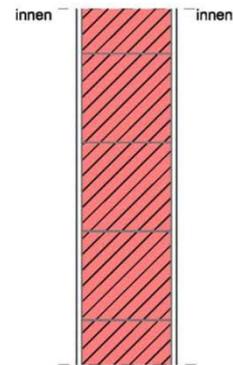
Zwischenwand innerhalb der Einheit, tragend, Bauteilaufbau homogen

Bauteilbezeichnung

ZW 03

Bauteilbeschreibung

Planziegel für 25cm starke tragende Wand, beidseitig verputzt



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Innenputz	100	0,015	0,700	1000	1200	0,021
2	Planziegel	100	0,250	0,324	1000	940	0,772
3	Innenputz	100	0,015	0,700	1000	1200	0,021
			$\Sigma d_i =$	<b>0,280</b>			

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$m_{w,B,A} = 78,2$  [kg/m<sup>2</sup>]

### 3.3.12 ZW 04 - Massivbau - Holz

Bauteiltyp

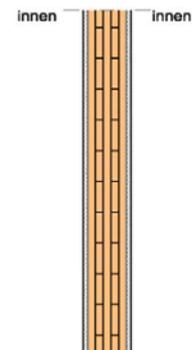
Zwischenwand innerhalb der Einheit, tragend, Bauteilaufbau homogen

Bauteilbezeichnung

ZW 04

Bauteilbeschreibung

Brettsperrholz mit beidseitiger GK-Beplankung



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
2	Brettsperrholz	100	0,100	0,130	1600	500	0,769
3	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
			$\Sigma d_i =$	<b>0,125</b>			

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$m_{w,B,A} = 42,9$  [kg/m<sup>2</sup>]

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.13 ZW 05 - Leichtbau - Holz

**Bauteiltyp**

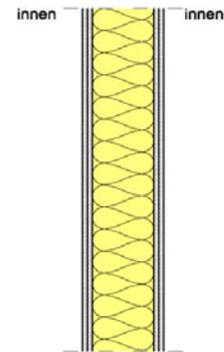
Zwischenwand innerhalb der Einheit, tragend, Bauteilaufbau inhomogen

**Bauteilbezeichnung**

ZW 05

**Bauteilbeschreibung**

Holzrahmenkonstruktion mit beidseitiger doppelter GK-Bekplankung


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte (zweifach)	100	0,025	0,210	1044	900	0,119
2a	Riegel QS 80/160 e=62,5cm	13	0,160	0,130	1600	500	1,231
2b	dazwischen Mineralwolle	87	0,160	0,038	1030	27	4,211
3	Gipskartonplatte (zweifach)	100	0,025	0,210	1044	900	0,119
			$\Sigma d_i =$	<b>0,210</b>			

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 24,5 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.14 EB 01 - gültig für alle Bauweisen

Bauteiltyp

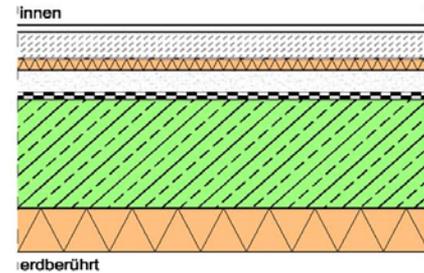
Fußboden erdberührt, Bauteilaufbau homogen

Bauteilbezeichnung

EB 01

Bauteilbeschreibung

Stahlbetonfundamentplatte auf außenliegendem XPS, mit schwimmendem Estrich auf Trittschalldämmung und gebundener Beschüttung



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Bodenbelag (Parkett)	100	0,020	0,160	1600	740	0,125
2	Zementestrich	100	0,070	1,700	1116	2000	0,041
3	PE-Folie	100					
4	Trittschalldämmung	100	0,030	0,033	1450	11	0,909
5	Gebundene Beschüttung	100	0,060	0,060	1116	100	1,000
6	Abdichtung	100					
7	Stahlbetonfundamentplatte	100	0,300	2,300	1116	2500	0,130
8	Wärmedämmung XPS	100	0,120	0,036	900	50	3,333
			$\Sigma d_i =$	<b>0,600</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = 5,539 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,170 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = 5,709 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,18 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 88,1 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.15 ZD 01 - Massivbau - Beton und Ziegel

**Bauteiltyp**

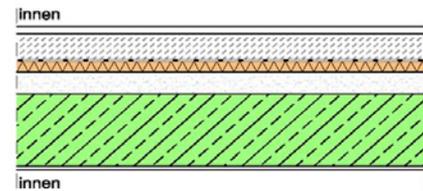
Zwischendecke zu getrennter / gleicher Einheit, Bauteilaufbau homogen

**Bauteilbezeichnung**

ZD 01

**Bauteilbeschreibung**

STB-Decke mit schwimmenden Estrich auf Trittschalldämmung und gebundener Beschüttung


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Bodenbelag (Parkett)	100	0,020	0,160	1600	740	0,125
2	Zementestrich	100	0,070	1,700	1116	2000	0,041
3	PE-Folie	100					
4	Trittschalldämmung	100	0,030	0,033	1450	11	0,909
5	Gebundene Beschüttung	100	0,060	0,060	1116	100	1,000
6	Stahlbeton	100	0,200	2,500	1116	2500	0,080
7	Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
			$\Sigma d_i =$	<b>0,383</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = 2,159 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = 2,419 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,41 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

von oben	$m_{w,B,A} =$	<b>90,0 [kg/m<sup>2</sup>]</b>
von unten	$m_{w,B,A} =$	<b>318,3 [kg/m<sup>2</sup>]</b>

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

## 3.3.16 ZD 02 - Massivbau - Holz

**Bauteiltyp**

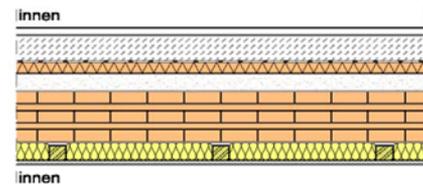
Zwischendecke zu getrennter / gleicher Einheit, Bauteilaufbau inhomogen

**Bauteilbezeichnung**

ZD 02

**Bauteilbeschreibung**

BSP-Decke mit schwimmenden Estrich auf Trittschalldämmung und Beschüttung, abgehängte Decke mit Lattung auf Schwingbügel und GKP, dazw. Mineralwolle


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Bodenbelag (Parkett)	100	0,020	0,160	1600	740	0,125
2	Zementestrich	100	0,070	1,700	1116	2000	0,041
3	PE-Folie	100					
4	Trittschalldämmung	100	0,030	0,033	1450	11	0,909
5	Schüttung Lose (Kies oder Splitt)	100	0,050	0,700	1000	1800	0,071
6	PE-Folie	100					
7	Brettsperrholz	100	0,140	0,130	1600	500	1,077
8a	Lattung QS 40/50 auf Schwingbügel	10	0,050	0,130	1600	500	0,385
8b	dazwischen Mineralwolle	90	0,050	0,038	1030	27	1,316
9	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
			$\Sigma d_i =$	<b>0,373</b>			

**Wärmeübergangswiderstand innen + außen**

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Oberer Grenzwert:**

$$R_{To} = 3,740 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Unterer Grenzwert:**

$$R_{Tu} = 3,603 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Wärmedurchgangswiderstand:**

$$R_T = (R_{To} + R_{Tu}) / 2 = 3,671 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

**Wärmedurchgangskoeffizient:**

$$U = 1 / R_T = 0,27 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

**Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils**

von oben	$m_{w,B,A} =$	<b>86,6 [kg/m<sup>2</sup>]</b>
von unten	$m_{w,B,A} =$	<b>14,9 [kg/m<sup>2</sup>]</b>

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.17 ZD 03 - Leichtbau - Holz

**Bauteiltyp**

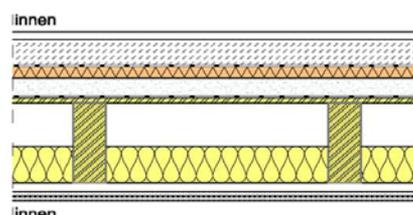
Zwischendecke zu getrennter / gleicher Einheit, Bauteilaufbau inhomogen

**Bauteilbezeichnung**

ZD 03

**Bauteilbeschreibung**

Deckenbalken mit dazwischenliegender Mineralwolle und Luftschicht mit schwimmenden Estrich auf Trittschalldämmung und Beschüttung, doppelte GK-Beplankung auf Federschiene


**Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):**

i Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1 Bodenbelag (Parkett)	100	0,020	0,160	1600	740	0,125
2 Zementestrich	100	0,070	1,700	1116	2000	0,041
3 PE-Folie	100					
4 Trittschalldämmung	100	0,030	0,033	1450	11	0,909
5 Schüttung Lose (Kies oder Splitt)	100	0,050	0,700	1000	1800	0,071
6 PE-Folie	100					
7 MDF Platte	100	0,015	0,120	1700	600	0,125
8a Deckenbalken QS 80/220 e=62,5cm	13	0,220	0,130	1600	500	1,692
8b dazwischen Mineralwolle	87	0,100	0,038	1030	27	2,632
8c dazwischen Luftschicht ruhend	87	0,120	0,667	1008	1	0,180
9 Federschiene zw. Sparschalung	100					
10 Gipskartonplatte (zweifach)	100	0,025	0,210	1044	900	0,119
		$\Sigma d_i =$	<b>0,430</b>			

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,260 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Oberer Grenzwert:

$$R_{To} = 4,279 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Unterer Grenzwert:

$$R_{Tu} = 3,861 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = (R_{To} + R_{Tu}) / 2 = 4,070 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,25 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

von oben  $m_{w,B,A} = 86,9 \text{ [kg/m}^2\text{]}$

von unten  $m_{w,B,A} = 23,5 \text{ [kg/m}^2\text{]}$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.18 AD 01 - Massivbau - Beton und Ziegel

Bauteiltyp

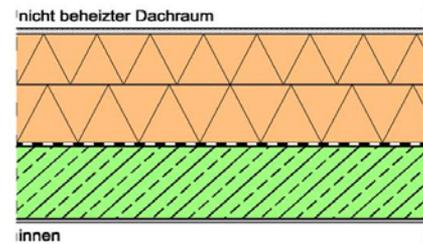
Decke zu nicht gedämmten Dachraum, Bauteilaufbau homogen

Bauteilbezeichnung

AD 01

Bauteilbeschreibung

STB-Decke mit Dampfbremse, Wärmedämmung und Brandschutzplatte



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Spachtelung	100	0,003	0,800	900	1300	0,004
2	Stahlbeton	100	0,200	2,500	1116	2500	0,080
3	Dampfbremse	100					
4	Wärmedämmung EPS	100	0,300	0,038	1450	20	7,895
5	Gipsfaserplatte	100	0,015	0,320	1100	1150	0,047
			$\Sigma d_i =$	<b>0,518</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = 8,025 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} + R_{se} = 0,200 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = 8,225 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,12 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 318,7 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$d$ ...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

$c$ ...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

$R$ ...Wärmedurchlasswiderstand

$U$ ...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

## 3.3.19 AD 02 - Massivbau - Holz

Bauteiltyp

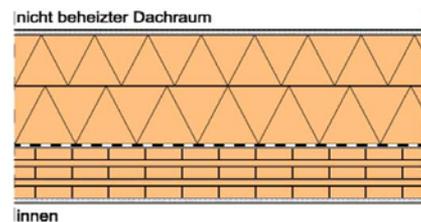
Decke zu nicht gedämmten Dachraum, Bauteilaufbau homogen

Bauteilbezeichnung

AD 02

Bauteilbeschreibung

BSP-Decke mit Dampfbremse, Holzfaserdämmung und Brandschutzplatte



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte	100	0,013	0,210	1044	900	0,060
2	Brettsper Holz	100	0,140	0,130	1600	500	1,077
3	Dampfbremse	100					
4	Holzfaserdämmung	100	0,300	0,045	1800	150	6,667
5	Gipsfaserplatte	100	0,015	0,320	1100	1150	0,047
			$\Sigma d_i =$	<b>0,468</b>			

Wärmedurchlasswiderstand aller Schichten:

$$\Sigma R_i = 7,850 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} / R_{se} = 0,200 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = R_{si} + \Sigma R_i + R_{se} = 8,050 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,12 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 40,0 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

d...Dicke

 $\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

c...Spezifische Wärmekapazität

 $\rho$ ...Dichte

R...Wärmedurchlasswiderstand

U...Wärmedurchgangskoeffizient

 $m_{w,B,A}$  ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

### 3.3.20 AD 03 - Leichtbau - Holz

Bauteiltyp

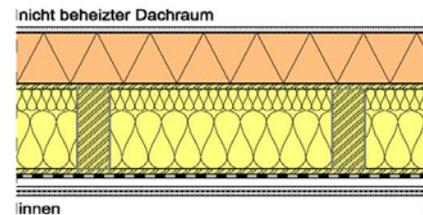
Decke zu nicht gedämmten Dachraum, Bauteilaufbau inhomogen

Bauteilbezeichnung

AD 03

Bauteilbeschreibung

Deckenbalken mit dazwischenliegender Mineralwolle, raumseitiger Dampfbremse und außenseitiger Holzfaserdämmung und Brandschutzplatte



Konstruktionsaufbau (von innen nach außen):

i	Baustoffschicht	Anteil [%]	$d_i$ [m]	$\lambda_i$ [W/mK]	$c_i$ [J/kgK]	$\rho_i$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Gipskartonplatte (zweifach)	100	0,025	0,210	1044	900	0,119
2a	Sparschalung QS 100/24 e=40cm	25	0,024	0,130	1600	500	0,185
2b	dazwischen Luftschicht ruhend	75	0,024	0,167	1008	1	0,144
3	Dampfbremse	100					
4	MDF Platte	100	0,015	0,120	1700	600	0,125
5a	Deckenbalken QS 80/220 e=62,5cm	13	0,220	0,130	1600	500	1,692
5b	dazwischen Mineralwolle	87	0,220	0,038	1030	27	5,789
6	MDF Platte	100	0,015	0,120	1700	600	0,125
7	Holzfaserdämmplatte	100	0,140	0,045	1800	150	3,111
8	Gipsfaserplatte	100	0,015	0,320	1100	1150	0,047
			$\Sigma d_i =$	<b>0,454</b>			

Wärmeübergangswiderstand innen + außen

$$R_{si} / R_{se} = 0,200 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Oberer Grenzwert:

$$R_{To} = 8,828 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Unterer Grenzwert:

$$R_{Tu} = 8,284 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangswiderstand:

$$R_T = (R_{To} + R_{Tu}) / 2 = 8,556 \text{ [m}^2 \text{ K/W]}$$

Wärmedurchgangskoeffizient:

$$U = 1 / R_T = 0,12 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$$

Flächenbezogene speicherwirksame Masse des Bauteils

$$m_{w,B,A} = 38,7 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

d...Dicke

$\lambda$ ...Wärmeleitfähigkeit

c...Spezifische Wärmekapazität

$\rho$ ...Dichte

R...Wärmedurchlasswiderstand

U...Wärmedurchgangskoeffizient

$m_{w,B,A}$ ...flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils

## 4 Gebäudesimulation

### 4.1 Simulationssoftware

Eine umfassendere realitätsnahe Modellbildung der Simulationsprototypen mit einer Umgebung ist nur mit sehr großem Aufwand unter Einbeziehung von CFD-Modellen und komplexen Strahlungsmodellen anzunähern. Da dies auf jeden Fall den Umfang dieser Masterarbeit übertreffen würde, wurde für die Berechnungen eine transiente Gebäudesimulationssoftware herangezogen. Dafür geeignet scheint die Software DesignBuilder der britischen DesignBuilder Software Ltd. Verwendet wurde die Version 4.2. Mit diesem Programm ist es jedoch nicht möglich Auswirkungen aufgrund des thermischen Auftriebs oder der direkten Strömungseinflüsse zu beurteilen.

Die Software bietet die Möglichkeit 2D Zeichnungsdateien bzw. 3D CAD-Modelle zu importieren und auf Basis der Importdateien dreidimensionale Simulationsmodelle zu generieren. DesignBuilder stellt eine umfangreiche Wetterdatenbank zur Verfügung. Zusätzlich besteht die Möglichkeit mittels eines Wetterdatenkonverters aufbereitete Wetterdaten (z.B. csv- bzw. excel-Format) in eines der erforderlichen Formate zu transponieren (z.B. EnergyPlus Daten-Datei). Die Aufbereitung der Daten ist jedoch mit erheblichem Aufwand verbunden und Laien nicht zu empfehlen. Daneben erlaubt die Software die Bearbeitung und Darstellung der sehr umfangreichen Randbedingungen und Ergebnisse.

Die Simulationsberechnungen wurden von der Software EnergyPlus (Version 8.1), hergestellt vom U.S. Department of Energy, durchgeführt. Diese ist in DesignBuilder implementiert und stellt den Rechenkern dar. EnergyPlus basiert auf den Vorgängerprogrammen BLAST und DOE-2.

DesignBuilder ist unter anderem validiert nach VDI 6020 (Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation - Gebäudesimulation), DIN EN 15265 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren) und DIN EN 15255 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung der wahrnehmbaren Raumkühllast - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren). Eine eigene Validierung im Rahmen der Projektbearbeitung wurde nicht durchgeführt.

## 4.2 Simulationsumfang

Bei der Eingrenzung des Parameterbereichs hat sich gezeigt, dass die Simulationsergebnisse primär von den Parametern Beschattung und natürliche Lüftung beeinflusst werden. Diese Parameter sind jedoch sehr schwer quantifizierbar, da diese unter anderem vom individuellen Nutzerverhalten und der Anwesenheit abhängig sind. Aus diesem Grund wurde eine Variation hinsichtlich dieser beiden Parameter durchgeführt.

Als wesentliche Einflussparameter für den sommerlichen Wärmeschutz wurden im Rahmen dieser Masterarbeit die Beschattung und der Luftwechsel in Bezug auf deren Sensitivität auf die Problemstellung untersucht. Zu Beginn wurde ein Standardparametersatz mit plausiblen Annahmen bezüglich des Luftwechsels und der Beschattung definiert (Base Case). Ausgehend von diesem wurde jeweils ein Parameter variiert (erhöhter und verringerter Luftwechsel sowie erhöhte und verringerte Beschattung). Somit waren fünf Varianten erforderlich, um die Empfindlichkeit der Simulationsergebnisse hinsichtlich dieser beiden Parameter zu bestimmen. Zusätzlich war es dadurch besser möglich, den Einfluss der unterschiedlichen Bauweisen gegenüber dem der beiden Parameter zu bestimmen.

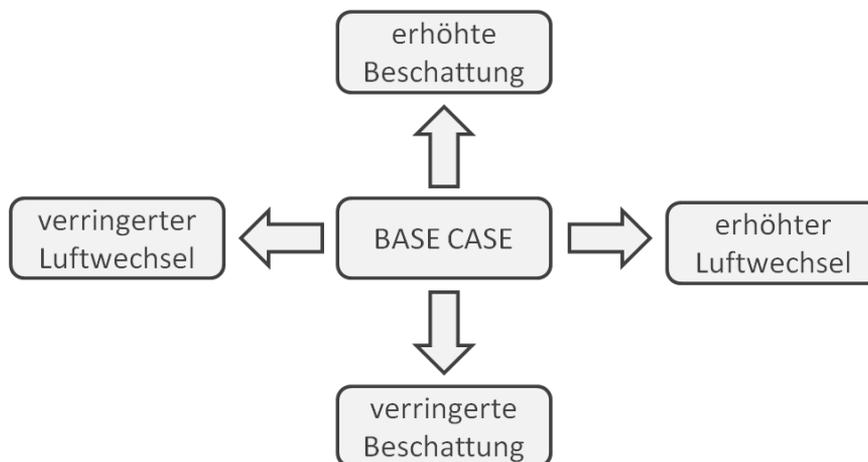


Abbildung 21: Parametervariation hinsichtlich Beschattung und Luftwechsel

Diese fünf Varianten wurden mit den unter 3.1 vorgestellten Bauweisen durchgerechnet. Dafür erforderlich waren 20 Simulationsberechnungen (siehe Abbildung 22). Zusätzlich wurden noch die Nutzung (Wohnnutzung und Büronutzung) und die Klimatisierung (Klimatisierung mithilfe natürlicher Lüftung und Klimatisierung mithilfe Klimaanlage) variiert. Somit ergaben sich in Summe 80 Simulationsberechnungen (siehe Abbildung 23).

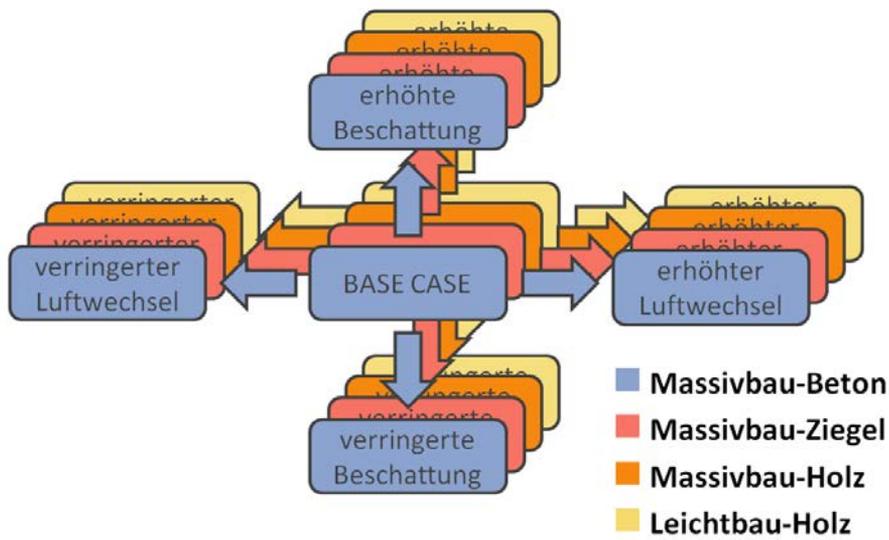


Abbildung 22: Parametervariation hinsichtlich der Bauweisen

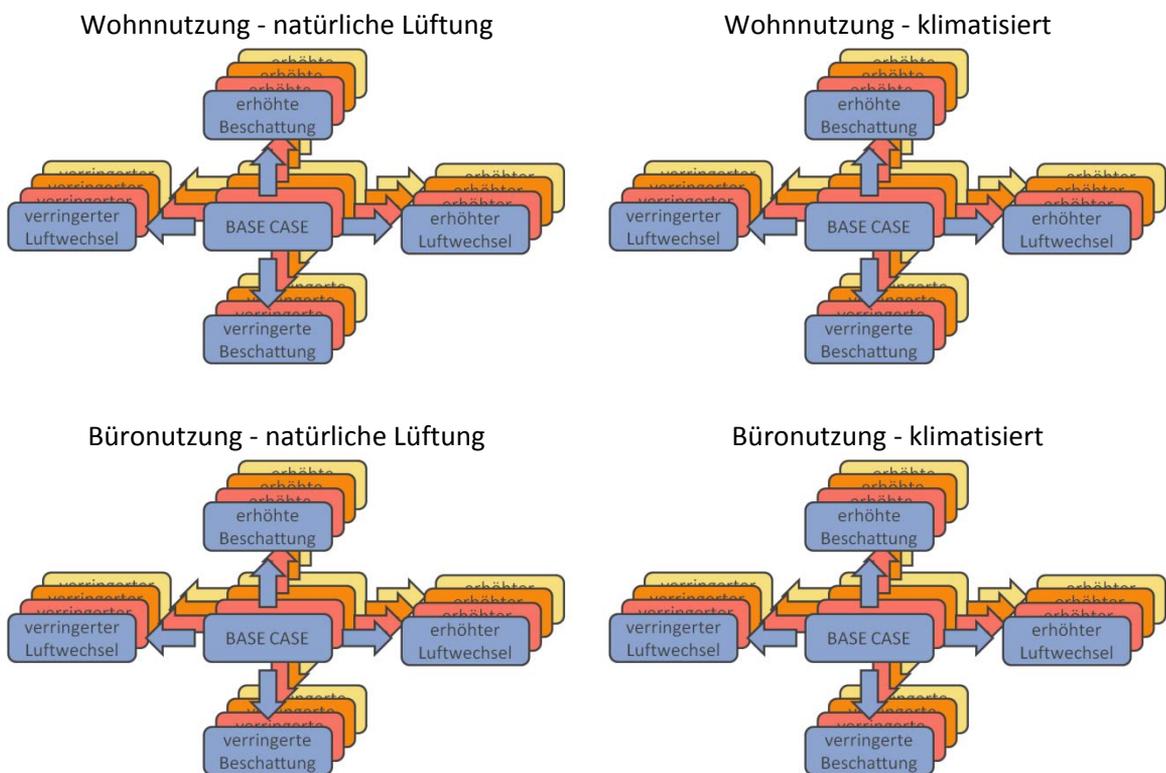


Abbildung 23: Parametervariation hinsichtlich Nutzung und Klimatisierung

### 4.3 Geometrisches Modell

Grundlage für das geometrische Modell sind die Simulationsprototypen, welche unter 3.2 ersichtlich sind. Da es beinahe unendlich viele Möglichkeiten bei der Gestaltung eines Einfamilienhauses gibt (mit oder ohne Keller, Bungalow, ausgebauter Dachraum oder Vollgeschoss mit Flachdach, Raumaufteilung und Orientierung, Größe und Ausrichtung der transparenten Außenbauteile, Rücksprünge und Anordnung von Balkone oder Loggien,...) ist es enorm schwierig ein „Regelein-familienhaus“ zu definieren und dieses zu verteidigen.

In der Regel ergeben sich bei einem freistehenden Einfamilienhaus Vorteile hinsichtlich der Querlüftungsmöglichkeit. Aus diesem Grund wurde der Schwerpunkt der weiteren Bearbeitung auf die beiden Regelgeschosse gelegt. Da die Randbedingungen und Annahmen der Wohnnutzung sehr ähnlich mit jenen eines Einfamilienhauses sind, gelten die gewonnenen Erkenntnisse grundsätzlich auch für Einfamilienhäuser. Im Detail würde das Einfamilienhaus vermutlich etwas bessere Ergebnisse erzielen.

Aufgrund der gewählten Simulationssoftware können Einflüsse wie der thermische Auftrieb nicht berücksichtigt werden. Besonders bei mehrgeschossigen offenen Grundrissen kann dieser Einfluss zu höheren Temperaturen führen. Aus diesem Grund soll dieser Aspekt vorläufig ausgeklammert bleiben.

Um den Rechenaufwand etwas einzudämmen, wurde ein kombiniertes geometrisches Modell basierend auf den beiden Regelgeschossen verwendet. Es wurde die Raumaufteilung der Büronutzung anstelle jener von Top C verwendet. Die Raumaufteilung bei Top A und Top B sind bei beiden Nutzungsvarianten ident. Das geometrische Modell wurde dahingehend vereinfacht, dass alle Installationsschächte weggelassen wurden. Zusätzlich wurde bei Top A die Differenzierung zwischen Bad und WC nicht übernommen (Zone 03) und beim Büro wurden der gesamte Sanitärbereich (Zone 19) sowie die Erschließung mit dem Archiv und der Teeküche (Zone 20) zusammengefasst. Die Orientierung des Simulationsprototyps wurde auf Basis der Regelgeschosse übernommen. In weiterer Folge wurden die Auswertungen auf Zonenebene und mit unterschiedlichen Nutzungen durchgeführt.

Da bei der Simulation reale Bauteilaufbauten (siehe 3.3) mit unterschiedlichen Dicken verwendet wurden, ergeben sich dadurch zwangsweise unterschiedliche Grundflächen und Verschneidungspunkte. Die Außenabmessungen, die Lage der Achsen der innenliegenden Wände sowie die lichte Höhe wurden fixiert. Die Bruttogrundfläche und die lichte Höhe sind somit unabhängig von der jeweiligen Bauweise. Die Nettogrundfläche variiert aufgrund der unterschiedlichen Wanddicken. Alle simulationsbedingten Eingaben, welche an die Nettogrundfläche gekoppelt sind, weichen somit auch leicht voneinander ab.

In Abbildung 24 ist das reduzierte Modell, basierend auf den beiden Simulationsprototypen dargestellt. Die Querstriche definieren die Lage der Fenster und Türen. Die schwarzen Linien stehen für die Außenwände und wurden nach innen aufgetragen. Die blauen Linien stehen für die Wohnungstrennwände sowie dem Liftschacht und definieren die Lage der Achse der jeweiligen Wän-

de. Selbiges gilt für die orangen (Zwischenwände innerhalb der Einheit, nicht tragend) und die roten Linien (Zwischenwände innerhalb der Einheit, tragend).

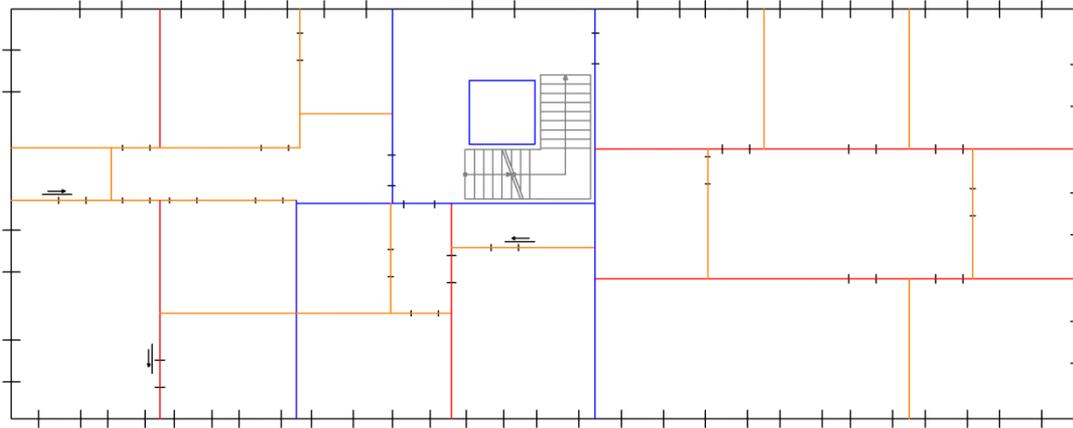


Abbildung 24: Reduziertes Modell für Implementierung in DesignBuilder

Bei der Gebäudesimulation wurde ein nach oben und unten adiabot begrenztes Regelgeschoss untersucht. Das Modell wurde in 21 Zonen unterteilt.

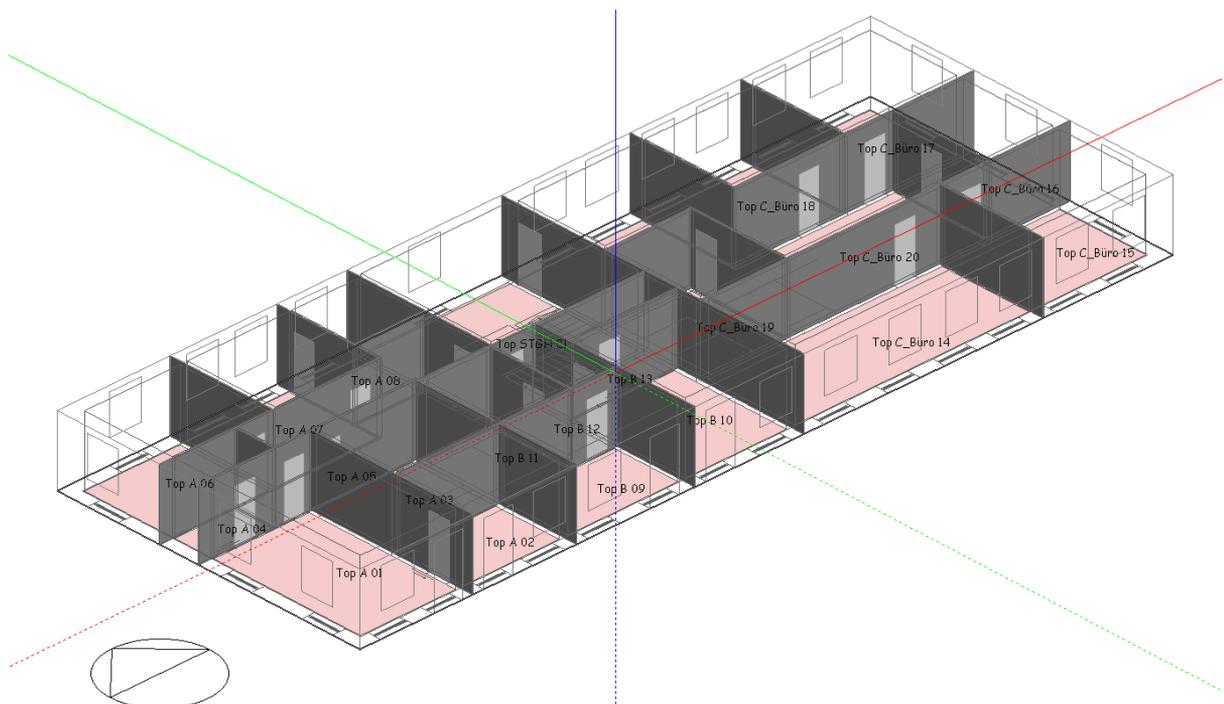


Abbildung 25: Simulationsmodell aus DesignBuilder, Außenwände werden transparent dargestellt

## 4.4 Randbedingungen und Annahmen

### 4.4.1 Fenster und Verglasung

Für die Simulation wurden folgende Fenster verwendet:

- Fenster - Standard
- Fenster - französischer Balkon

Tabelle 17: Fenstergeometrie

	Fenster - Standard	Fenster - Balkon
Außenabmessung	123 cm x 148 cm	110 cm x 230 cm
Rahmenbreite	10,9 cm	10,9 cm
Fensterfläche	1,820 m <sup>2</sup>	2,530 m <sup>2</sup>
Rahmenfläche	0,543 m <sup>2</sup>	0,694 m <sup>2</sup>
Glasfläche	1,277 m <sup>2</sup>	1,836 m <sup>2</sup>
Rahmenmaterial	Holz	Holz

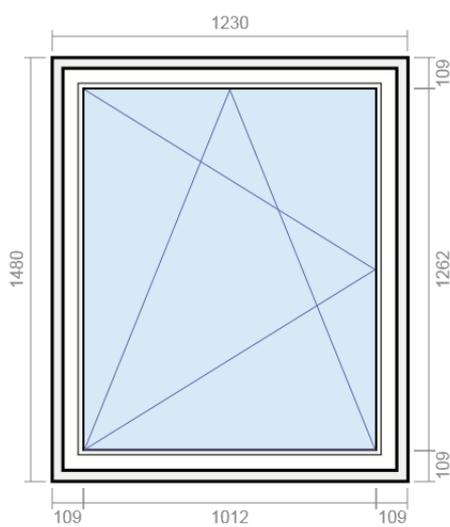


Abbildung 26: Abmessung Standard-Fenster

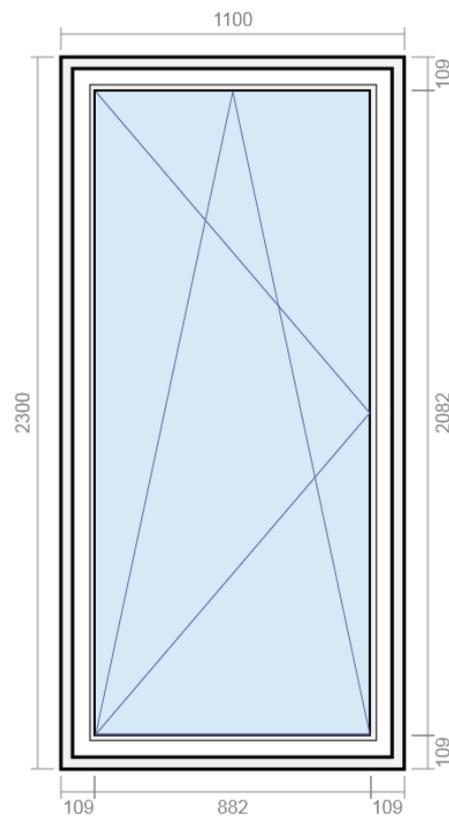


Abbildung 27: Abmessung Balkontür

Als Verglasung wurde eine Dreifachverglasung nach aktuellem Stand der Technik gewählt. EnergyPlus wendet ein komplexes Modell zur Berechnung der Reflexion und des Strahlungsverlaufs in der Verglasung an. Aus diesem errechnete die Software die relevanten Kenngrößen für die Verglasung:

- g-Wert: 0,50
- $U_g$ -Wert: 0,61 W/(m<sup>2</sup> K)

#### 4.4.2 Türen

Es wurden zwei unterschiedliche Türtypen verwendet. Die Innentüren haben eine lichte Größe von  $b = 80$  cm auf  $h = 200$  cm. Die Wohnungs- bzw. Büroeingangstüren haben eine lichte Größe von  $b = 90$  cm auf  $h = 200$  cm. Im geschlossenen Zustand weisen alle Türen einen U-Wert von 2,0 W/m<sup>2</sup>K auf. Bei geöffneten Türen wendet EnergyPlus ein Modell an, um den Luftaustausch und somit den Energieaustausch durch die Türöffnungen zu berechnen. Zur Erstellung eines Türöffnungszeitplans wurde festgelegt, dass Innentüren grundsätzlich geschlossen sind. Bei Anwesenheit von zumindest einer Person in der Wohn- bzw. Büroeinheit wurde festgelegt, dass die Innentüren zu 50 % der Zeit offen stehen (siehe 4.4.6). Die meist geschlossenen Wohnungs- bzw. Büroeingangstüren zu den Erschließungsflächen wurden zur Vereinfachung als permanent geschlossen angenommen.

#### 4.4.3 Beleuchtung

Die Bestrahlungsstärke beträgt 0,50 W/m<sup>2</sup>, das entspricht in unserem Fall 500 Lux/m<sup>2</sup>. Die 0,50 W/m<sup>2</sup> sind als Mittelwert über das gesamte Regelgeschoss zu verstehen, welcher mittels der Anwendung von LED-Beleuchtung erreicht wird. Die Beleuchtung ist eingeschaltet, wenn jemand anwesend ist (siehe 4.4.6) und die natürliche Belichtung aufgrund der transparenten Außenbauteile den Vorgabewert von 500 Lux/m<sup>2</sup> unterschreitet. Zur Betrachtung des Energieeintrags wurde das Standardmodell Montage an Deckenunterseite in EnergyPlus ausgewählt. EnergyPlus rechnet dann die entsprechenden energetischen Beiträge für Strahlung, Konvektion und Leitung aus. Obwohl 500 Lux/m<sup>2</sup> für eine Wohnnutzung relativ viel ist, wurde diesbezüglich nicht zwischen Wohn- und Büronutzung unterschieden. Grund dafür ist die Tatsache, dass der Anteil der inneren Last resultierend aus der Beleuchtung sehr gering ist. Die Werte beziehen sich auf die Nettogrundfläche.

Anmerkung: Die in Abbildung 28 dargestellten inneren Lasten ergeben sich aus den Energieeinträgen der Beleuchtung und der Einrichtung.

Tabelle 18: Simulationsparameter der Beleuchtung

Beleuchtungsenergie	0,50 W/m <sup>2</sup>
Beleuchtungsstärke	500 Lux/m <sup>2</sup>
Steuerung	abhängig von Anwesenheit und Belichtung

#### 4.4.4 Luftwechsel

Hinsichtlich der Variation der Klimatisierung (Klimatisierung mithilfe natürlicher Lüftung und Klimatisierung mithilfe Klimaanlage) kommt im Fall der natürlichen Lüftung dem Luftwechsel eine enorme Bedeutung zu (siehe Abbildung 28). Dieser Parameter ist neben der Beschattung aber nur sehr schwer abbildbar. Dies liegt einerseits daran, dass eine detailgetreue Simulation nur mittels umfangreicher Strömungssimulationsberechnungen (CFD) möglich ist und andererseits, dass das für die natürliche Lüftung relevante Nutzerverhalten bezüglich Anwesenheitszeiten und Fensteröffnungszeiten nur bedingt abbildbar ist. Im Rahmen der vorhandenen Möglichkeiten wurde versucht, ein möglichst einfaches Modell zu entwerfen, das der Realität angenähert ist und die Vergleichbarkeit der Bauweisen gewährleistet.

Dieses Modell sieht vor, dass immer dann gelüftet wird, wenn zumindest eine Person in der entsprechenden Einheit anwesend ist und die Außenlufttemperatur unter den Innenraumlufttemperaturen liegt. Unterschreiten die Innenraumlufttemperaturen 18 °C, so werden die Fenster wieder geschlossen. Bei den Simulationsfällen mit Klimaanlage gilt die zusätzliche Regel, dass die natürliche Lüftung nur bei Innenraumlufttemperaturen kleiner 24 °C eingesetzt wird. Bei höheren Temperaturen wird mit einer Klimaanlage gearbeitet. Erfolgt die Klimatisierung mit einer Klimaanlage, so wird sich die Innenraumlufttemperatur auf 24 °C einpendeln. Somit werden abhängig vom Gebäudetyp und der Kategorie die Anforderungen gemäß der derzeit gültigen ÖNORM EN 15251 eingehalten (siehe Tabelle 3).

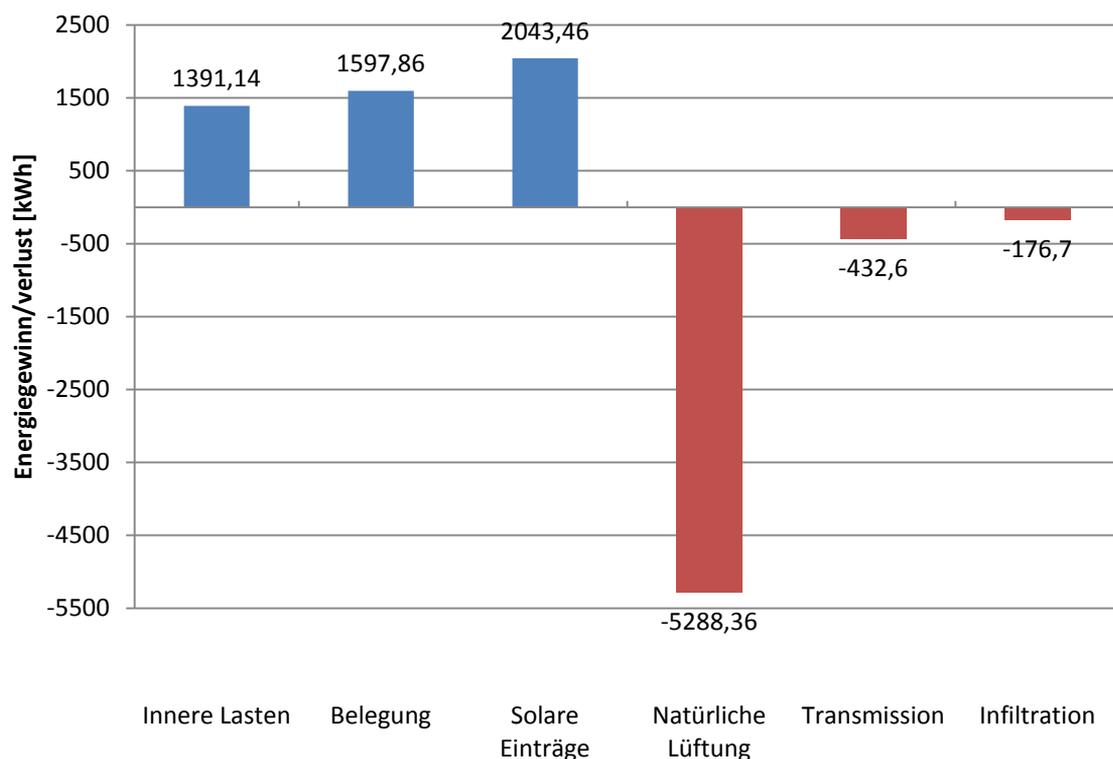


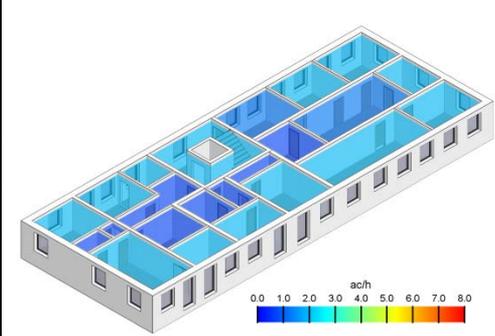
Abbildung 28: Energetische Gewinne und Verluste gültig für die Simulationsberechnung Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung und den gesamten Auswertzeitraum von Mai bis September

Das vereinfachte Modell erfordert die Annahme von Luftwechselzahlen für die einzelnen Zonen. Wie erwähnt, ist es mit den derzeitigen Gebäudesimulationsmodellen nicht möglich den Luftwechsel präzise zu bestimmen. Darüber hinaus sind die Strömungsverhältnisse von einer Vielzahl an oft schwer ermittelbaren oder variablen Randbedingungen abhängig (Öffnungsgeometrien, Raumgeometrien, Druckverhältnisse, Windlasten, Oberflächenbeschaffenheit,...).

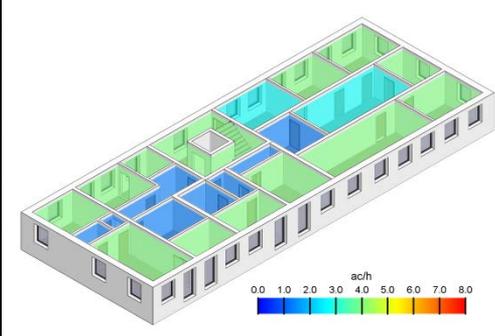
Die raumbezogenen Luftwechselzahlen wurden angenommen und orientieren sich an der Anordnung der Zonen bezüglich der Fenster. Um die Sensitivität bezüglich dieser wichtigen, aber schwer bestimmbar Parameter darzustellen, wurden drei unterschiedliche Fälle definiert: Base Case, verringerter Luftwechsel und erhöhter Luftwechsel. Die Werte beziehen sich auf das Nettoraumvolumen.

Tabelle 19: angenommene Luftwechselzahlen

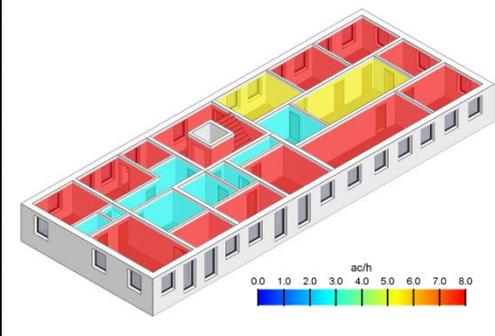
Zone	verringertes Luftwechsel [ac/h]	Base Case [ac/h]	erhöhter Luftwechsel [ac/h]
1	2	4	8
2	2	4	8
3	0,7	1,3	2,7
4	0,7	1,3	2,7
5	0,7	1,3	2,7
6	2	4	8
7	2	4	8
8	2	4	8
9	2	4	8
10	2	4	8
11	0,7	1,3	2,7
12	0,7	1,3	2,7
13	0,7	1,3	2,7
14	2	4	8
15	2	4	8
16	2	4	8
17	2	4	8
18	2	4	8
19	0,7	1,3	2,7
20	1,3	2,7	5,4
21	2	4	8



verringertes Luftwechsel



Base Case



erhöhter Luftwechsel

#### 4.4.5 Beschattung

Während der Luftwechsel im Fall der Klimatisierung mithilfe natürlicher Lüftung den größten Beitrag zur Abkühlung des Gebäudes darstellt, gilt jedoch nur solange die Außenlufttemperaturen dafür geeignet sind, liefern die solaren Einträge meist den größten Beitrag hinsichtlich der Erwärmung (siehe Abbildung 28). Beim Versuch einer exakten Berücksichtigung der Beschattung ergibt sich eine ähnliche Problematik, wie bei jener des Luftwechsels. Das Problem liegt bei der Abbildbarkeit des Nutzerverhaltens. Es wurde versucht, ein möglichst einfaches Modell anzuwenden, welches die solaren Einträge durch Sonneneinstrahlung plausibel abbildet.

Dazu wurde eine Beschattungsanlage angenommen, welche den Sonnenschutz zentral und automatisch jeweils für alle Fenster aktiviert. Als Schaltpunkt für diese Anlage dient die Globalstrahlung gemessen auf die horizontale Fläche. Sie ist somit nicht an die Anwesenheit von Personen gekoppelt. Derartige Anlagen werden auch in der Praxis eingesetzt. Zur weiteren Vereinfachung wurde angenommen, dass die Beschattungseinrichtung nur die Zustände nicht beschattet und beschattet annehmen kann. Bei der gewählten Beschattungseinrichtung handelt es sich um einen außenliegenden hellen Sonnenschutz mit mittlerer Reflektivität. Laut ÖNORM B 8110-3 lässt sich auf Basis dieser Annahmen bei einem Gesamtenergie-Durchlassgrad der Verglasung von  $g = 0,50$  der Sonnenschutz-Abminderungsfaktor zu  $F_C = 0,28$  bestimmen.

Es sind analog zum Luftwechsel jeweils drei unterschiedliche Fälle definiert worden: Base Case, erhöhte Beschattung und verringerte Beschattung. Als Schaltpunkte für die automatische Steuerung wurden Schwellwerte für die Globalstrahlung gemessen auf die horizontale Fläche definiert.

Tabelle 20: Schwellwerte für die Beschattung

Parametervariation	Schaltpunkt
Verringerte Beschattung	480 W/m <sup>2</sup>
Base Case	360 W/m <sup>2</sup>
Erhöhte Beschattung	240 W/m <sup>2</sup>

Auf Basis dieser Grenzwerte variiert die über den gesamten Simulationszeitraum gemittelte tägliche Beschattungsdauer zwischen 5,3 und 9,1 Stunden (siehe Abbildung 29).

Obwohl die Beschattungszeiten recht stark variieren, stellt dieses Modell hinsichtlich des Energieeintrags nur eine mäßige Variation dar, da zu den Zeitpunkten der höchsten solaren Einstrahlung die Beschattung jedenfalls aktiviert ist. Wird das nicht bekannte tatsächliche Nutzerverhalten berücksichtigt bzw. die Beschattungseinrichtung an die Anwesenheit von Personen gekoppelt, könnten dadurch deutlich größere Variationen entstehen.

Aus den folgenden Falschfarbendarstellungen ist ersichtlich, dass der Einfluss bzw. der Schaltpunkt der Beschattungseinrichtung auch bei Räumen, welche ausschließlich nach Norden orientiert sind, erkennbar ist. Der Wärmeeintrag aufgrund Diffusstrahlung ist beachtlich und wird teilweise unterschätzt bzw. nicht bewusst wahrgenommen. Bei den Simulationsberechnungen hat

sich gezeigt, dass die festgelegten Kriterien auch bei ausschließlich nach Norden orientierten Räumen (Zone 07, 08, 18, 20) nicht immer eingehalten werden.

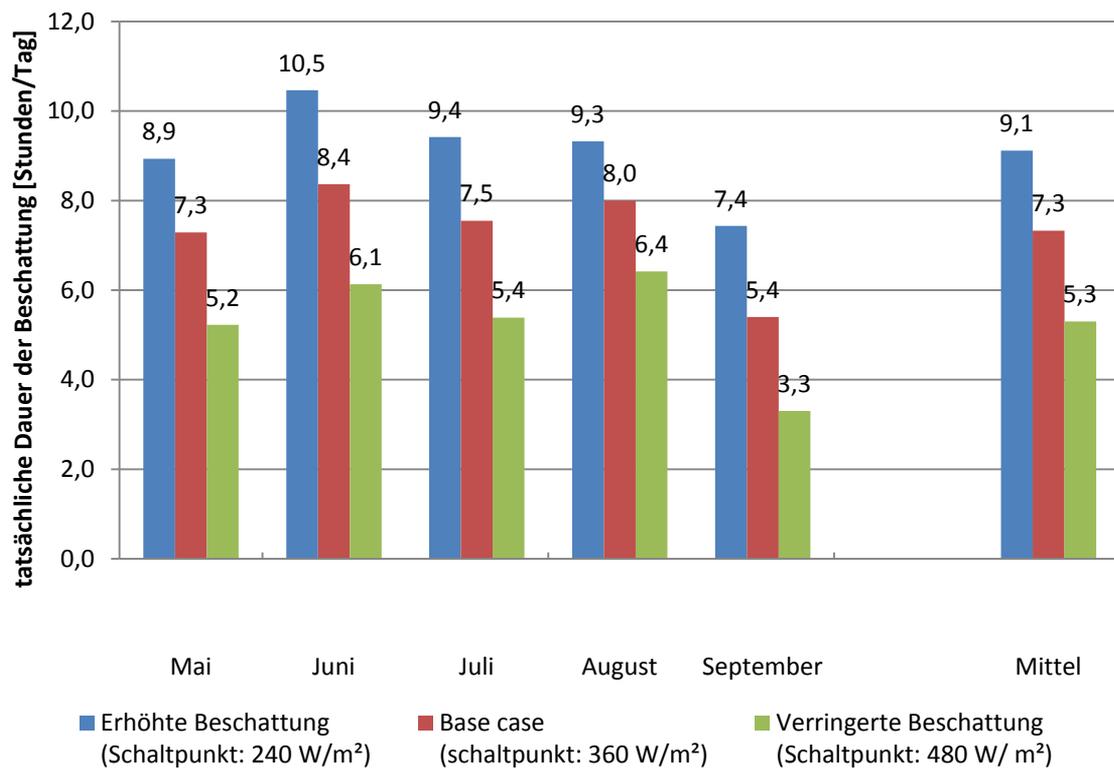


Abbildung 29: Gemittelte tägliche Beschattungsdauer in Stunden/Tag

#### 4.4.6 Belegung und Anwesenheit

Die Belegungsdichte ist auf Basis der beiden Regelgeschosse errechnet worden und wird für die Berechnungen mittels DesignBuilder als flächenbezogener, konstanter Wert betrachtet (unabhängig von der jeweils betrachteten Bauweise). Aufgrund der Tatsache, dass sich infolge unterschiedlicher Wanddicken bei den betrachteten Bauweisen jeweils leicht unterschiedliche Nettogrundflächen ergeben (siehe 4.3), variiert damit auch die tatsächliche Personenanzahl je Einheit. Für das Büro wurden 12 Arbeitsplätze vorgesehen. Bei der Ermittlung der tatsächlichen Belegungsdichte ist die Abwesenheit aufgrund Urlaub und Krankenstand (Statistik Austria<sup>45</sup>) berücksichtigt worden. Die Abwesenheit wurde vereinfacht konstant über das gesamte Jahr verteilt. Dadurch ergibt sich für das im Simulationsprototyp vorhandene Büro eine Belegung von im Durchschnitt ca. 8,5 Personen, welche wie erwähnt, abhängig von der betrachteten Bauweise,

<sup>45</sup> STATISTIK AUSTRIA: Statistiken – Gesundheit – Gesundheitszustand. Online im Internet:

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/index.html) [07.11.2014]

jeweils leicht variiert. Die Belegungsdichte bezogen auf die Nettogrundfläche sowie die Anwesenheitszeiten sind in folgenden Tabellen ersichtlich.

Tabelle 21: Belegungsdichte der einzelnen Einheiten

Einheit	Top A	Top B	Top C	Büro
Bezeichnung	Dreipersonenhaushalt	Singlewohnung	Vierpersonenhaushalt	Büro
Belegungsdichte	0,032 Pers./m <sup>2</sup>	0,022 Pers./m <sup>2</sup>	0,029 Pers./m <sup>2</sup>	0,061 Pers./m <sup>2</sup>

Tabelle 22: Annahme zur Anwesenheit der Bewohner bzw. des Büropersonals je Einheit

Top A Montag bis Sonntag		Top B Montag bis Sonntag	
Uhrzeit	Faktor	Uhrzeit	Faktor
07:30 bis 13:00	0,00	08:00 bis 19:00	0,00
13:00 bis 18:00	0,33	19:00 bis 08:00	1,00
18:00 bis 20:00	0,67		
20:00 bis 07:30	1,00		
Top C Montag bis Sonntag		Büro Montag bis Freitag	
Uhrzeit	Faktor	Uhrzeit	Faktor
07:30 bis 13:00	0,00	08:00 bis 09:00	0,50
13:00 bis 18:00	0,50	09:00 bis 17:00	1,00
18:00 bis 20:00	0,75	17:00 bis 18:00	0,50
20:00 bis 07:30	1,00	18:00 bis 08:00	0,00

#### 4.4.7 Innere Lasten

Es wurde ein durchschnittlicher Energieumsatz von 123 Watt angenommen, welcher der Tätigkeit einer leichten Büroarbeit entspricht. Dieser Wert bezieht sich auf eine durchschnittliche männliche Person und muss für Frauen und Kinder entsprechend adaptiert werden. Für Frauen wurde dafür ein Faktor von 0,85 und für Kinder von 0,75 angenommen. Die soeben erwähnten Werte wurden von der internen Datenbank der Simulationssoftware übernommen. Als Durchschnittswert wurde in den Simulationen deshalb der Faktor 0,90 angesetzt. Daraus errechnet sich ein effektiver durchschnittlicher Energieumsatz von  $0,90 \times 123 = 110,7$  Watt pro Person. Ausgehend von diesem Wert ermittelt die Simulationssoftware einen effektiven energetischen Eintrag, welcher durch eine Person entsteht. Dieser ist stark von der aktuellen Umgebungstemperatur abhängig. Bei den in der Gebäudesimulationen vorherrschenden Temperaturbedingungen ergibt sich somit eine innere Last von ca. 50 bis 70 Watt pro Person. Bei den durch Personen verursachten inneren Lasten wurde nicht zwischen Wohn- und Büronutzung unterschieden.

Die inneren Lasten aufgrund der Einrichtung (Haushaltsgeräte, Radio, TV, Laptop,...) wurden bei der Wohnnutzung mit  $1,50 \text{ W/m}^2$  angenommen. Für die Büronutzung wurde ein Wert von ca. 100 Watt je Arbeitsplatz errechnet. Daraus ergibt sich für die Büronutzung ein Wert von  $8,60 \text{ W/m}^2$ . Die Werte beziehen sich auf die Nettogrundfläche.

Die inneren Lasten sind an die Anwesenheitszeiten (siehe Tabelle 22) gekoppelt.

## 4.5 Klimadaten

### 4.5.1 Auswahl eines Referenzstandortes<sup>46</sup>

In Österreich gibt es per 31.10.2011 ca. 1,97 Mio. Wohngebäude mit insgesamt ca. 4,30 Mio. Wohnungen (Statistik Austria<sup>47</sup>). In folgender Tabelle sind jene zehn politischen Bezirke aufgelistet, welche die meisten Wohnungen aufweisen.

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass sich der Wohnraum in Österreich im Wesentlichen auf die Bundeshauptstadt sowie mit einem erheblichen Abstand auf die Landeshauptstädte Graz, Linz, Salzburg und Innsbruck und deren Umlandgemeinden konzentriert.

Tabelle 23: Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen per 31.10.2011<sup>48</sup>

Nr.	Bundesland bzw. Politischer Bezirk	Wohngebäude insgesamt		Anteil der Wohnungen je Gebäude					
				1 bis 2		3 bis 10		11 oder mehr	
		Gebäude	Wohnungen	G	W	G	W	G	W
1	<b>Wien (alle 23 Bezirke)</b>	149.126	<b>963.632</b>	89.829	95.666	23.413	159.381	35.884	708.585
2	<b>Graz-Stadt</b>	35.084	<b>147.568</b>	23.388	27.135	7.868	46.459	3.828	73.974
3	<b>Linz-Stadt</b>	19.066	<b>112.074</b>	9.608	11.858	6.172	40.230	3.286	59.986
4	<b>Salzburg-Stadt</b>	18.269	<b>82.582</b>	11.103	13.665	5.328	29.508	1.838	39.409
5	<b>Innsbruck-Land</b>	36.893	<b>79.064</b>	29.910	37.765	6.342	30.003	641	11.296
6	<b>Baden</b>	39.970	<b>72.443</b>	36.190	40.103	2.846	15.652	934	16.688
7	<b>Innsbruck-Stadt</b>	10.531	<b>71.374</b>	4.300	5.424	4.363	27.669	1.868	38.281
8	<b>Salzburg-Umgebung</b>	37.260	<b>65.792</b>	33.102	40.893	3.722	17.960	436	6.939
9	<b>Linz-Land</b>	31.927	<b>65.549</b>	28.142	34.638	2.806	14.902	979	16.009
10	<b>Vöcklabruck</b>	37.109	<b>63.566</b>	33.781	42.192	2.895	14.339	433	7.035

G...Gebäude, W...Wohnungen

Aus einer Haushalts- und Familienprognose der Statistik Austria geht hervor, dass insbesondere in den Bezirken Graz-Umgebung, Linz-Land und in Teilen der an Wien angrenzenden niederösterreichischen Bezirke die Anzahl der Haushalte um mehr als 20 % steigen wird (siehe Abbildung 30). Bei den Haushalten handelt es sich neben Ein- und Zweifamilienhäuser um Miet- und Eigentumswohnungen.

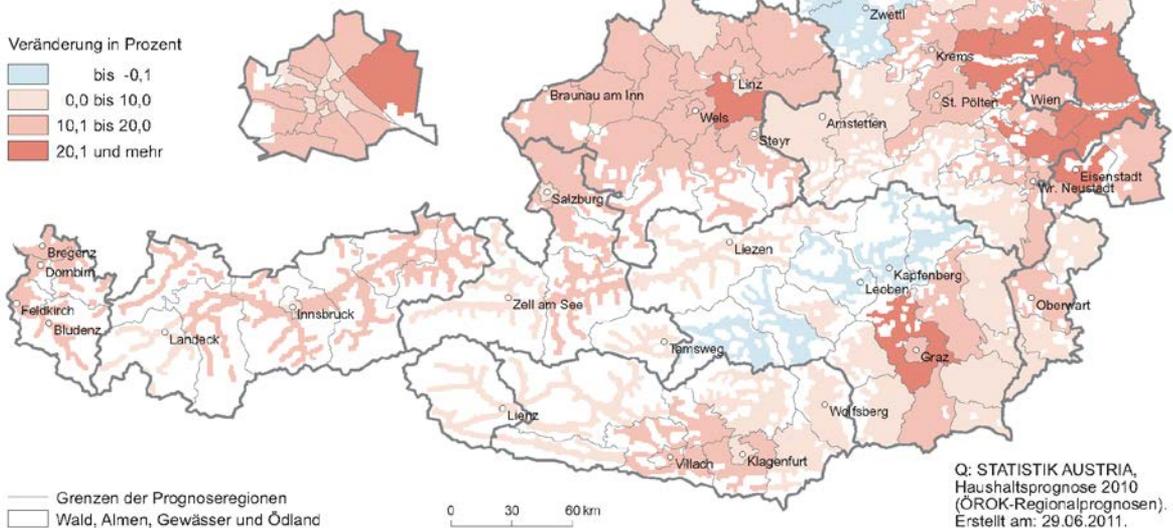
<sup>46</sup> Vgl. MAIR AM TINKHOF, O.: Auswahl von Klimadatensätzen für die Simulation.

<sup>47</sup> Vgl. STATISTIK AUSTRIA: Statistiken – Wohnen – Wohnungs- und Gebäudebestand. Online im Internet: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen/wohnungs\\_und\\_gebaeudebestand/022982.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/022982.html) [07.03.2015]

<sup>48</sup> Ebenda.

**Veränderung der Haushalte insgesamt 2009 bis 2030  
nach Prognoseregionen**

Veränderung in Prozent


 Abbildung 30: Entwicklung der Haushalte bis 2030<sup>49</sup>

Unter Berücksichtigung des derzeitigen Gebäudebestands und der prognostizierten Entwicklung sind für die Auswahl als Referenzstandort vorwiegend die Städte Wien, Graz und Linz sowie die dazugehörigen Umlandgemeinden von zentraler Bedeutung.

Wesentlich für den sommerlichen Wärmeschutz und somit für die Bestimmung eines Referenzstandortes sind neben der Außenlufttemperatur die Windgeschwindigkeit und die Globalstrahlung. Zusätzlich werden die Sommertage und die heißen Tage für jeden Monat dargestellt. In diesem Zusammenhang wäre auch die Entwicklung der Tropennächte interessant. Diesbezüglich stehen jedoch keine aufbereiteten Daten zur Verfügung. In den folgenden Abbildungen sind die soeben erwähnten Parameter für die einzelnen Standorte ersichtlich.

- Mittelwert der Außenlufttemperatur:

$$(07:00 \text{ Uhr-Mittel} + 19:00 \text{ Uhr-Mittel} + \text{mittlerem Maximum} + \text{mittlerem Minimum}) / 4$$

- Sommertage:

Anzahl der Tage mit einem Temperaturtagesmaximum  $\geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$

<sup>49</sup> STATISTIK AUSTRIA: Statistiken – Bevölkerung – Demographische Prognosen. Online im Internet: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/bevoelkerung/demographische\\_prognosen/haushalts\\_und\\_familienprognosen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/demographische_prognosen/haushalts_und_familienprognosen/index.html) [07.03.2015]

- Heiße Tage:  
Anzahl der Tage mit einem Temperaturtagesmaximum  $\geq 30\text{ °C}$
- Windgeschwindigkeit:  
Monatsmittelwert der Windgeschwindigkeit
- Globalstrahlung:  
Monatssumme der Direkt- und Diffusstrahlung, gemessen auf eine horizontale Fläche

Bei den verwendeten Daten handelt es sich um aufbereitete Klimamittelwerte der ZAMG für einen Betrachtungszeitraum von 1971 bis 2000.<sup>50</sup>

Für das Umland wurden jeweils die Wetterstationen bei den Flughäfen herangezogen (Hörsching, Graz-Flughafen und Schwechat). In Wien wurden die Werte von der Wetterstation Wien-Innere Stadt verwendet.

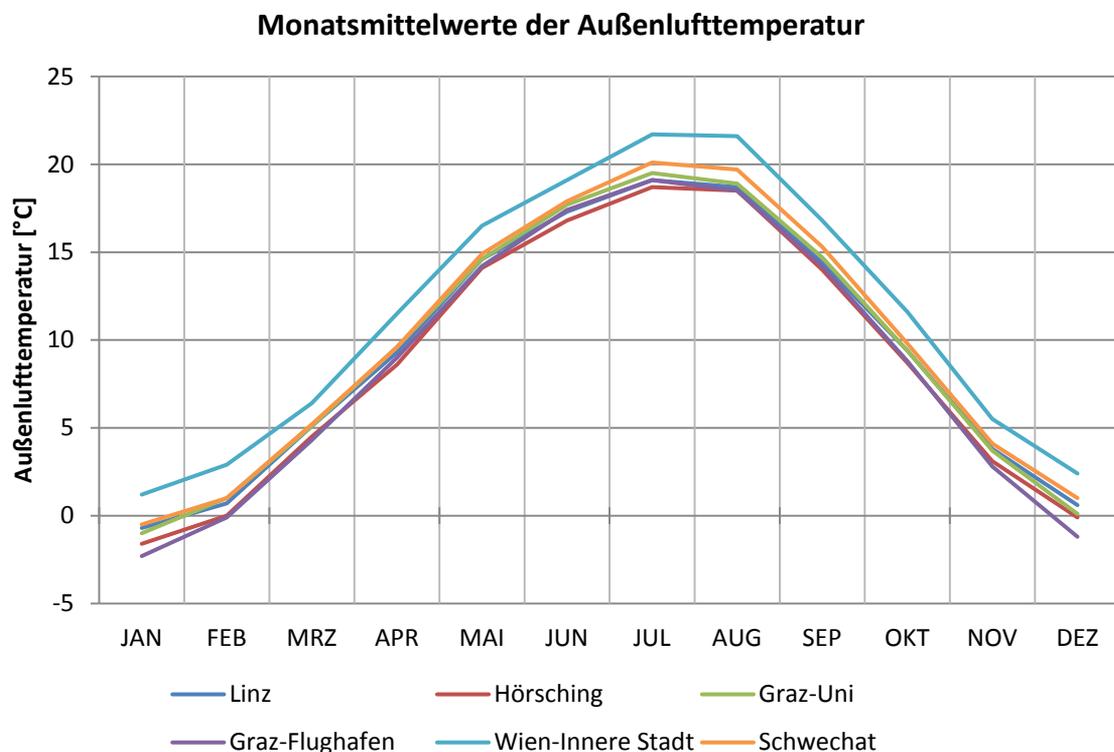


Abbildung 31: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur

<sup>50</sup> ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK. Online im Internet: [http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) [07.03.2015]

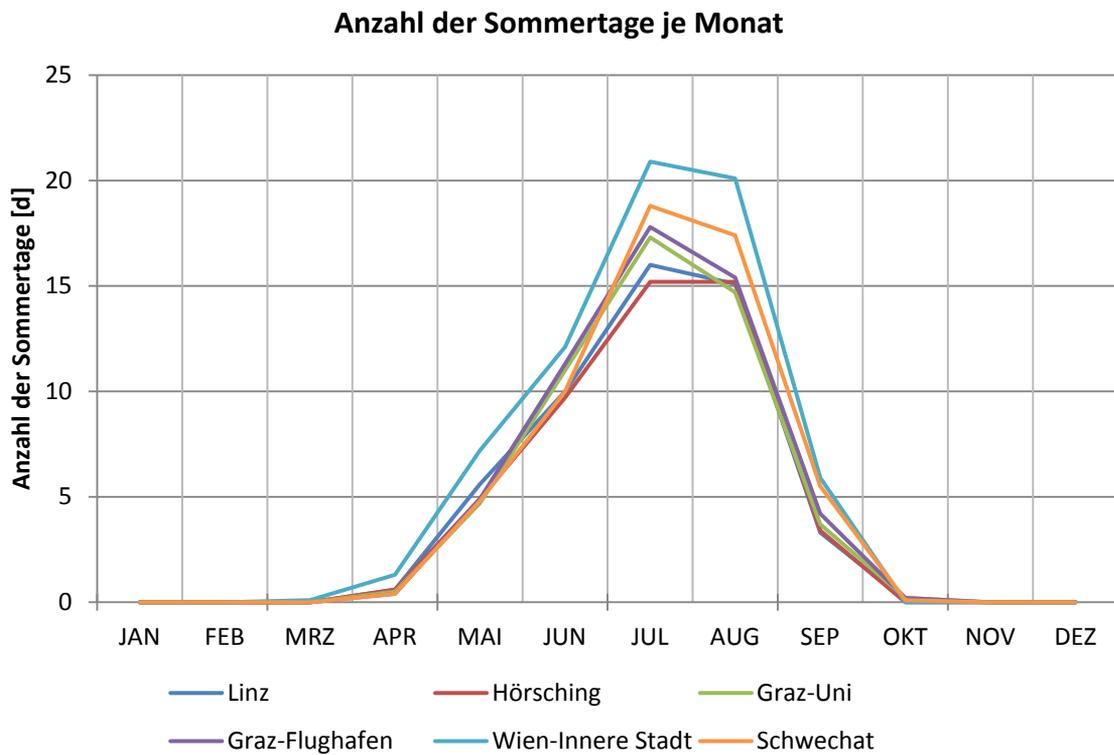


Abbildung 32: Anzahl der Sommertage (Tage mit Temperaturtagesmaximum  $\geq 25$  °C)

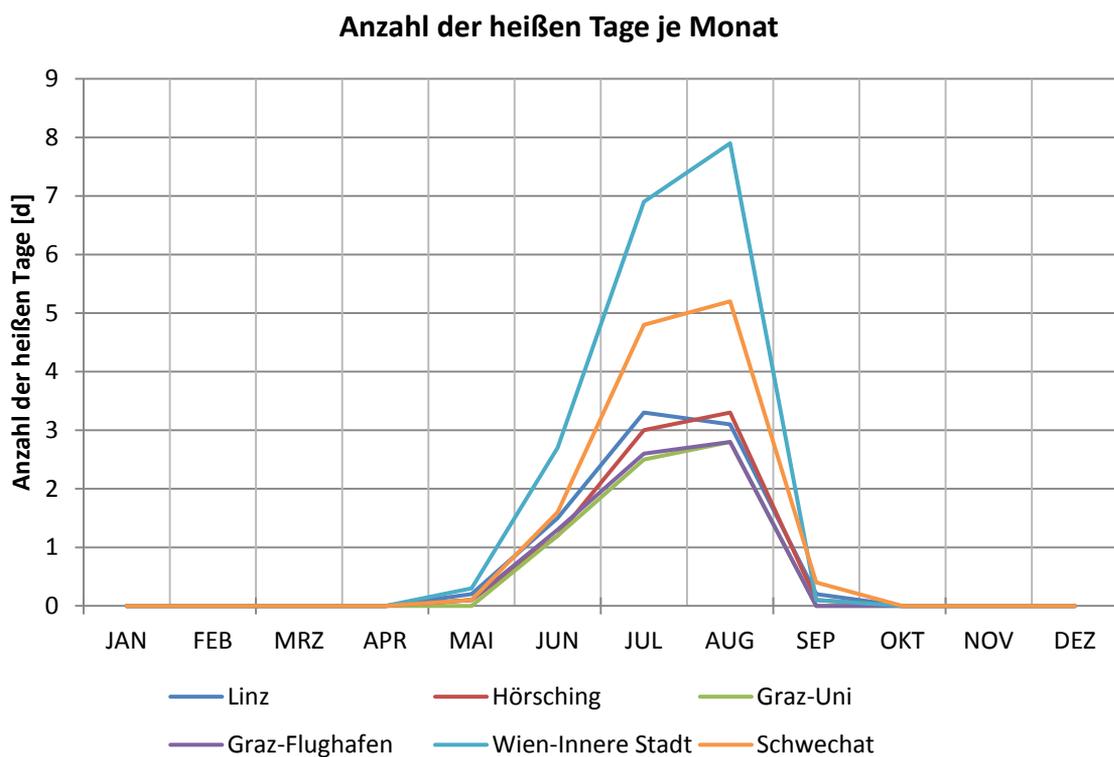


Abbildung 33: Anzahl der heißen Tage (Tage mit Temperaturtagesmaximum  $\geq 30$  °C)

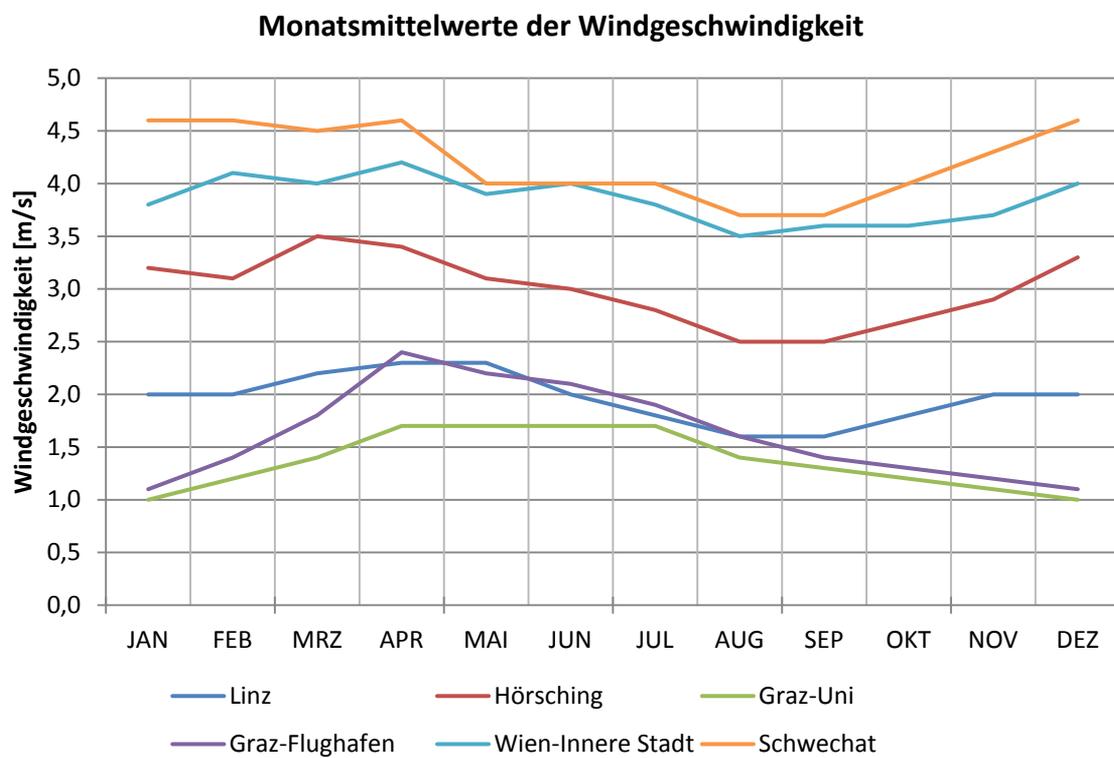


Abbildung 34: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit

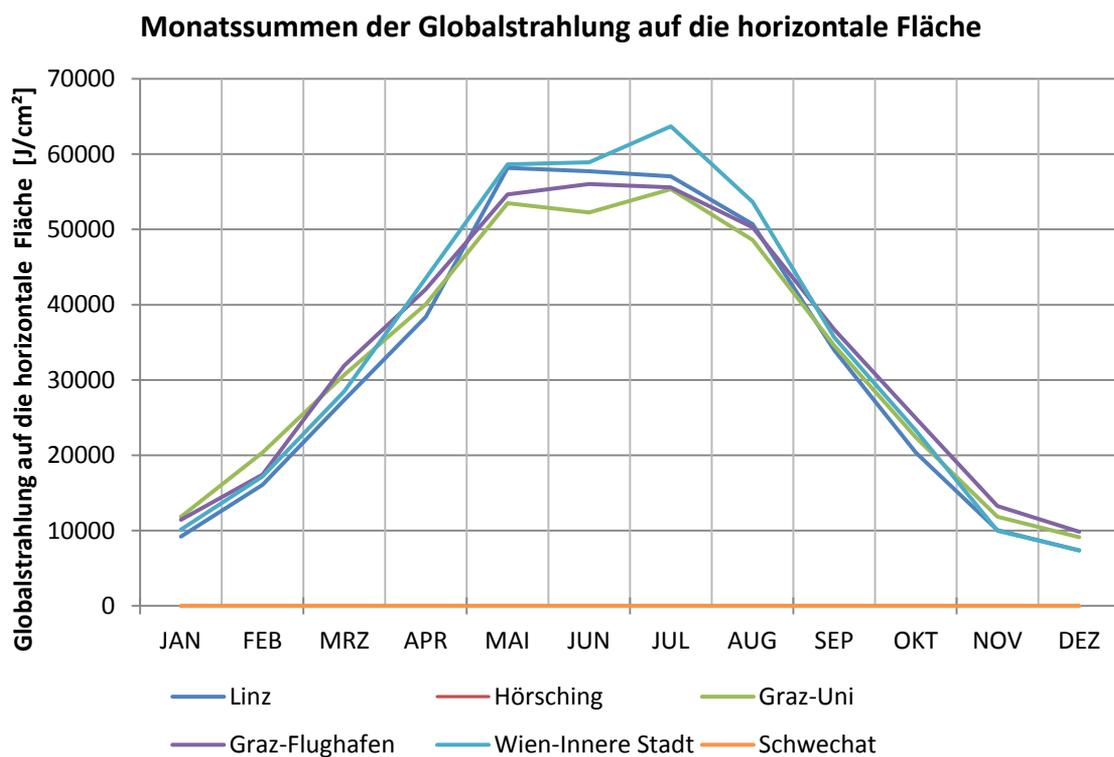


Abbildung 35: Monatssummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche; Anmerkung: für Hörsching und Schwechat sind keine Daten vorhanden

Zusätzlich sind in folgender Tabelle die Mittelwerte (Außenlufttemperatur und Windgeschwindigkeit) und die Summen (Globalstrahlung sowie Anzahl der Sommertage und der heißen Tage) der einzelnen Standorte für die Monate Mai bis inklusive September ersichtlich.

Tabelle 24: Übersicht der Parameter, Auswertezeitraum Mai bis inklusive September

Standort	Mittelwerte		Summen		
	Außenlufttemperatur	Windgeschwindigkeit	Globalstrahlung	Sommertage	heiße Tage
	[°C]	[m/s]	[J/cm <sup>2</sup> ]	[d]	[d]
Linz	16,82	1,86	2933,1	50,0	8,3
Hörsching	16,42	2,78	-	48,4	7,7
Graz-Universität	17,08	1,56	2967,1	51,4	6,5
Graz-Flughafen	16,68	1,84	3068,3	53,6	6,8
Wien-Innere Stadt	<b>19,14</b>	3,76	<b>3116,2</b>	<b>66,2</b>	<b>17,9</b>
Schwechat	17,58	<b>3,88</b>	-	56,5	12,1

Anmerkung: für Hörsching und Schwechat sind keine Daten für die Globalstrahlung vorhanden

Aus den Abbildungen sowie dieser Tabelle geht hervor, dass die klimatologischen Bedingungen in bzw. um Wien in Hinblick auf die Aufgabenstellung sehr anspruchsvoll sind. Aus diesem Grund werden die Standorte Wien-Innere Stadt und Schwechat weiter verfolgt.

In Abbildung 36 sind die aktuelle Landnutzung (Stand von 2007 / 2008) sowie die hypothetische Zukunft der Landnutzung von Wien und der Umgebung ersichtlich. Dabei sieht man, dass in erster Linie in der Süd-Ost und Nord-Ost Region viele neue Bauten entstehen werden und die bestehende innerstädtische Bebauung verdichtet werden wird.

Aufgrund dieser Erkenntnisse und den bereits erwähnten klimatologischen Bedingungen wird als Referenzstandort das Umland von Wien festgelegt. In weiterer Folge wurden für die Standorte Schwechat, Unterlaa und Groß-Enzersdorf die vorhandenen Klimadaten von 1971 bis 2000 verglichen. Dabei sind keine wesentlichen Unterschiede aufgetreten und es könnte somit jeder dieser Standorte als Referenzstandort verwendet werden.

Für die Gebäudesimulation wird ein relevanter Klimadatensatz für den Standort Schwechat verwendet.

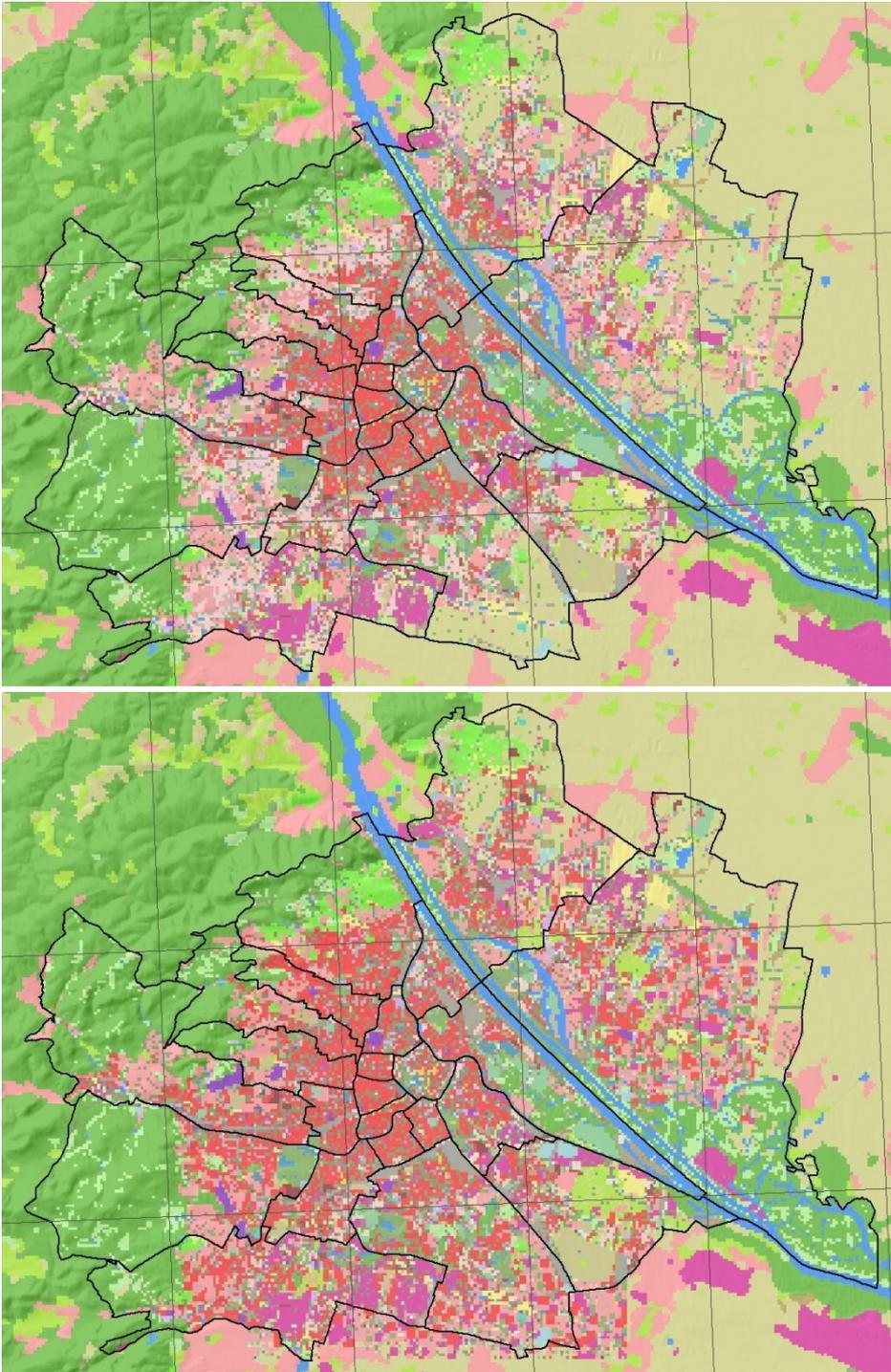


Abbildung 36: oben: aktuelle Landnutzung von Wien und Umgebung (Stand: 2007 / 2008)  
unten: hypothetische Zukunft der Landnutzung von Wien und Umgebung<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK. Online im Internet:  
<http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/wien-wird-heisser-klimaforschung-und-staedtebau-untersuchen-massnahmen-gegen-hitzebelastung> [07.03.2015]

#### 4.5.2 Auswahl eines Klimadatensatzes<sup>52</sup>

Da bei der Auswahl des Klimadatensatzes die Auswirkungen aufgrund der vorherrschenden Klimaänderung berücksichtigt werden sollten, ist die Analyse von bestehenden Klimamodellen erforderlich.

##### **REMO UBA**<sup>53</sup>

Dieses Klimamodell wurde vom Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) in Kooperation mit dem deutschen Umweltbundesamt (UBA) für die regionale Klimaprojektion in Deutschland, Österreich und der Schweiz entwickelt. Das Modell hat eine Auflösung von 10 km x 10 km und versucht die regionalen Klimafolgen bis in das Jahr 2100 zu ermitteln. Grundlage für dieses Klimamodell ist das Ozean-Atmosphären-Modell ECHAM5, welches ebenfalls vom Max-Planck-Institut entwickelt wurde. Diese Ergebnisse sind lt. den Autoren der reclip:century-Studie<sup>54</sup> jedoch hauptsächlich für Deutschland relevant und bilden die Klimaentwicklung in Österreich, vor allem was den Niederschlag im Alpenraum betrifft, nicht zufriedenstellend ab.

##### **reclip:century 1**<sup>55</sup>

Um die zukünftige Klimaänderung für Österreich sowie dem gesamten Alpenraum prognostizieren zu können, wurden mehrere Klimaszenarien in Zusammenarbeit von vier österreichischen Institutionen (AIT, Wegener Zentrum (Uni Graz), Institut für Meteorologie (BOKU) und ZAMG) generiert.

Die Antriebsdaten für die Simulationsberechnungen stammen von zwei globalen Klimamodellen (ECHAM5 und HadCM3), die Simulationen wurden mit den Regionalmodellen MM5 und CLM durchgeführt. Die Berechnungsmodelle wurden mit Messdaten für einen Zeitraum von 1961 bis 2000 validiert.

Ziel dieser Arbeit ist die Bereitstellung von Klimaszenarien in einem 10 km x 10 km Raster bis 2050 für Österreich und ganz Mitteleuropa. Aussagen können hinsichtlich der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung getätigt werden. Die Temperaturentwicklung ist dem Modell nach eindeutig, da alle generierten Klimaszenarien eine deutliche Temperaturzunahme ermittelten. Hinsichtlich der Niederschlagsentwicklung ergeben sich bei den einzelnen Szenarien Unterschiede.

---

<sup>52</sup> Vgl. MAIR AM TINKHOF, O.: Auswahl von Klimadatensätzen für die Simulation.

<sup>53</sup> Online im Internet: <https://remo-rcm.de/REMO-UBA.1189.0.html> [07.03.2015]

<sup>54</sup> Vgl. LOIBL, W.: PUBLIZIERBARER Endbericht Studien.

<sup>55</sup> Ebenda.

Für die pannonische Klimazone gehen die Autoren dieser Studie in Abhängigkeit der Jahreszeit für den Zeitraum von 2021 bis 2050 gegenüber dem Zeitraum von 1971 bis 2000 von folgenden Temperaturanstiegen aus: Frühling: + 1,2 °C; Sommer: + 2,3 °C; Herbst: + 1,9 °C; Winter: 1,8 °C.

Aufbauend auf reclip:century 1 wird in reclip:century 2 die Bearbeitung für den Zeitraum von 2051 bis 2100 fortgesetzt. Zusätzlich werden die Berechnungsmodelle um ein weiteres Klimaszenario ergänzt.

Hinsichtlich dieser Erkenntnisse besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Außenlufttemperatur von vorhandenen Witterungsdaten der Wetterstation in Schwechat um die soeben erwähnten Werte abhängig von der Jahreszeit zu erhöhen. Nach Rücksprache mit der ZAMG wurde aber entschieden, als Grundlage für die Klimadaten einen Wetterdatensatz zu verwenden. Bei der Analyse der einzelnen Jahre ist besonders das Jahr 2003 aufgefallen. Dabei handelt es sich seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahre 1767 um den sechstwärmsten Sommer (Juni, Juli und August). Zusätzlich weist das Jahr 2003 die größte Anzahl an heißen Tagen seit Aufzeichnungsbeginn auf.

### 4.5.3 Aufbereitung der Klimadaten

Aufgrund der soeben erwähnten Erkenntnisse wurden für die Simulationsberechnungen der Referenzstandort Schwechat und die gemessenen Wetterdaten aus dem Jahr 2003 gewählt. Die Daten wurden von der Fa. White Box Technologies aufbereitet und im bereits erforderlichen Format bezogen. Sie basieren auf stündlichen Wetterdaten der lokalen ZAMG-Wetterstation in Schwechat. Folgende Parameter wurden aufbereitet und sind auf nachfolgenden Seiten ersichtlich:

- Außenlufttemperatur [°C]
- Relative Luftfeuchte der Außenluft [%]
- Atmosphärischer Luftdruck [h Pa]
- Niederschlag [mm]
- Windgeschwindigkeit [m/s] und Windrichtung [°]
- Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m<sup>2</sup>]
- Direktstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m<sup>2</sup>]
- Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m<sup>2</sup>]
- Direktnormalstrahlung [W/m<sup>2</sup>]

Zusätzlich sind für die einzelnen Monate Monatsmittelwerte (Außenlufttemperatur, relative Luftfeuchte der Außenluft, atmosphärischer Luftdruck und Windgeschwindigkeit), Monatssummen (Niederschlag) und mittlere monatliche Tagessummen (Strahlungsparameter) in tabellarischer Form ersichtlich.

## Außenlufttemperatur

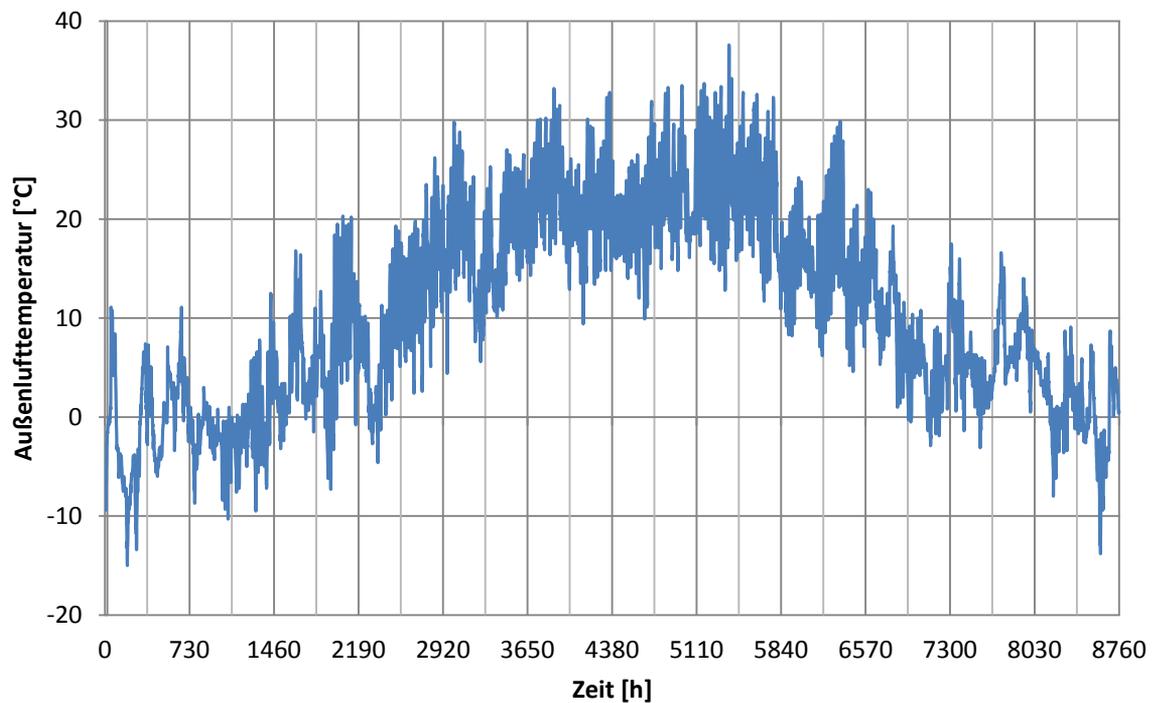


Abbildung 37: Jahresverlauf der Außenlufttemperatur [°C]

Tabelle 25: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur [°C]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
-0,73	-2,11	5,99	9,79	17,63	22,13	21,36	23,42	15,83	7,88	6,56	0,88

### Relative Luftfeuchte der Außenluft

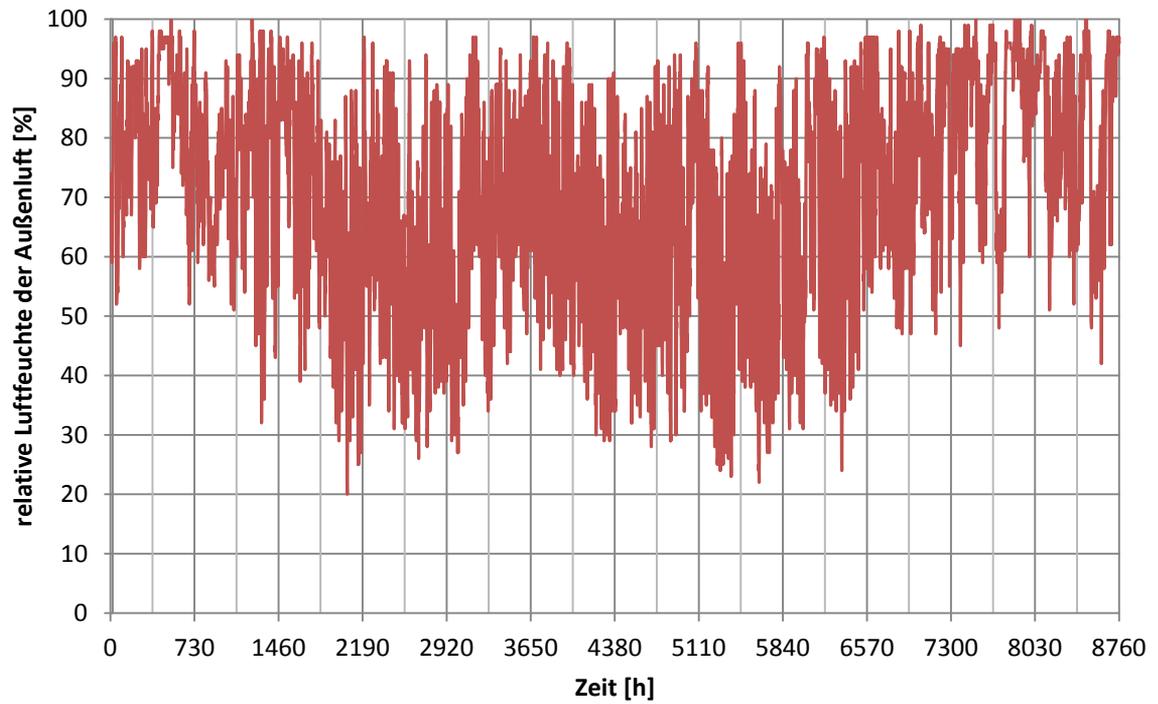


Abbildung 38: Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte der Außenluft [%]

Tabelle 26: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchte der Außenluft [%]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
82,54	75,27	67,66	59,41	65,41	64,19	62,31	56,68	64,74	76,84	85,04	81,11

### Atmosphärischer Luftdruck

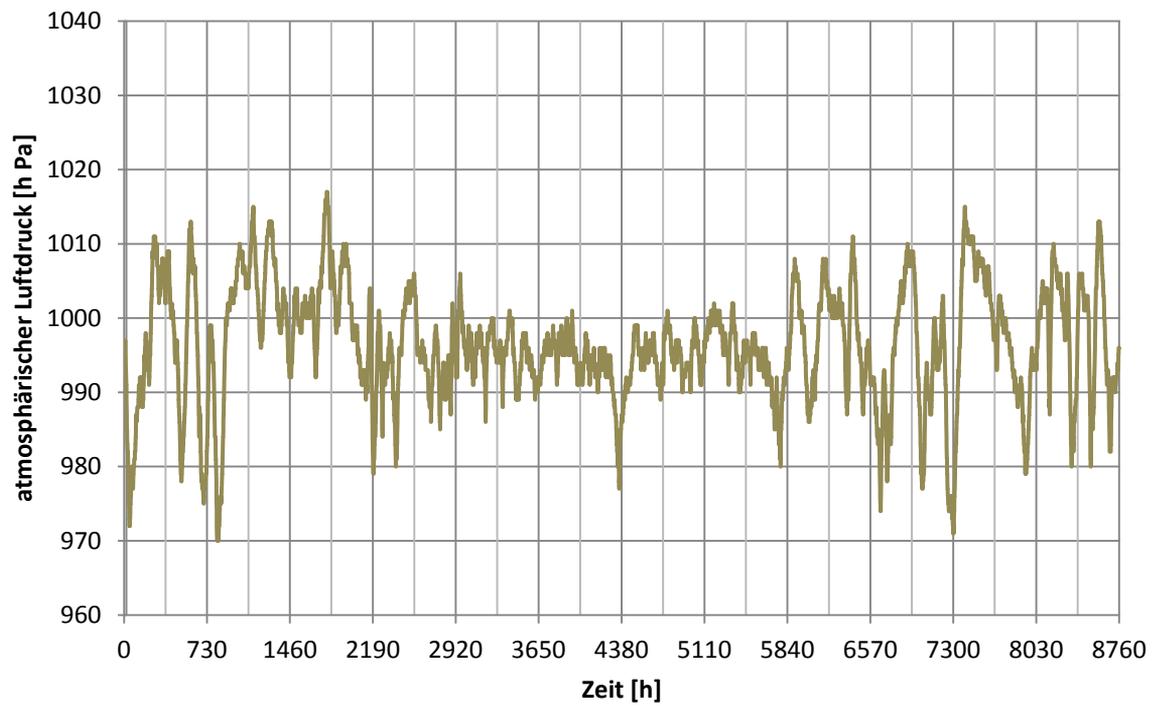


Abbildung 39: Jahresverlauf des atmosphärischen Luftdrucks [h Pa]

Tabelle 27: Monatsmittelwerte des atmosphärischen Luftdrucks [h Pa]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
994,4	1000,8	1001,3	994,3	995,8	994,2	994,0	994,8	998,7	992,6	998,2	998,4

## Niederschlag

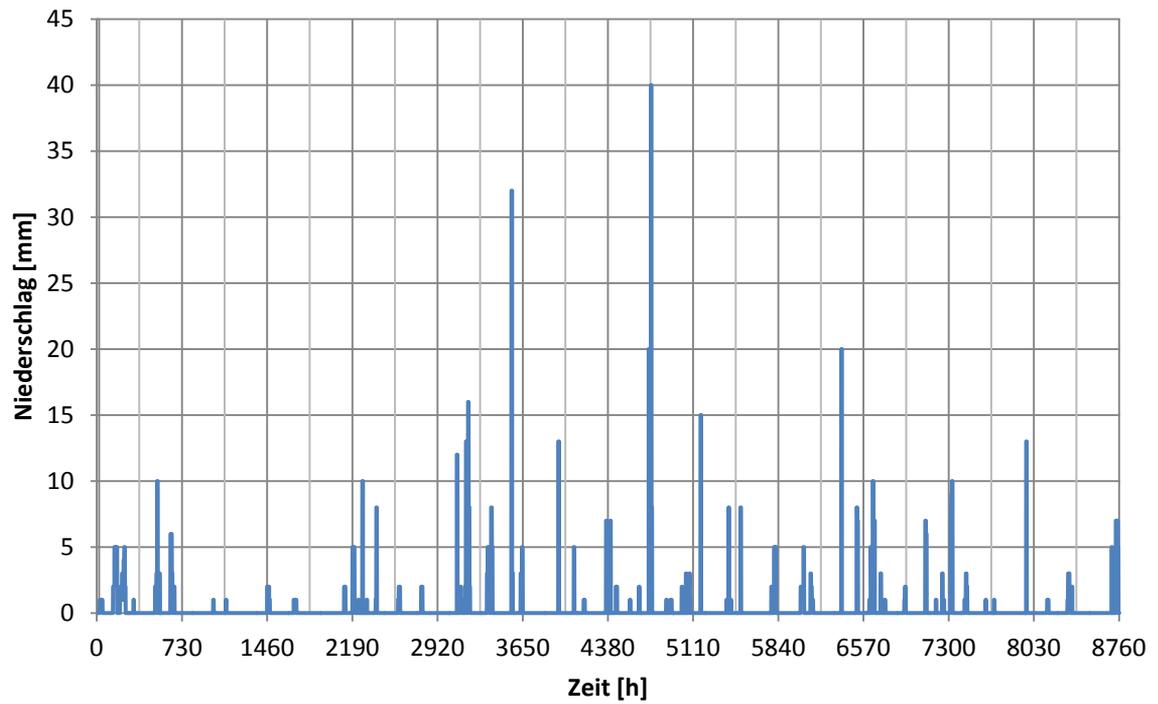


Abbildung 40: Jahresverlauf des Niederschlags [mm]

Tabelle 28: Monatssummen des Niederschlags [mm]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
492,0	12,0	90,0	270,0	714,0	168,0	654,0	288,0	324,0	318,0	288,0	252,0

## Windgeschwindigkeit

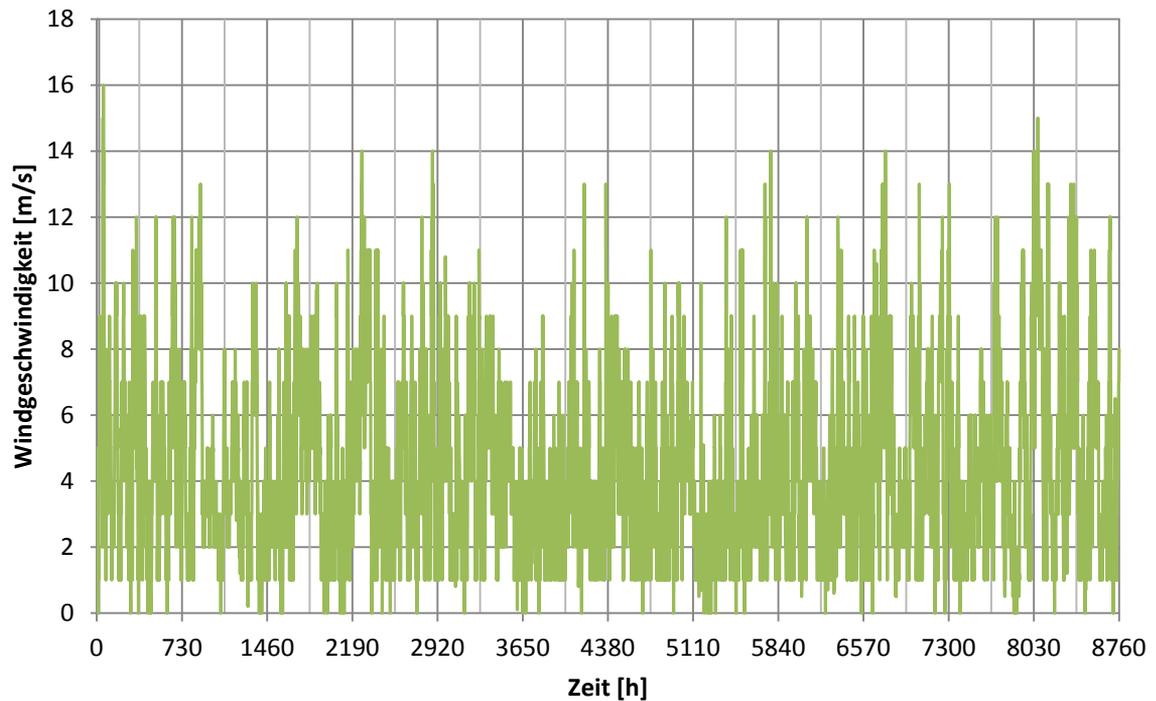


Abbildung 41: Jahresverlauf der Windgeschwindigkeit [m/s]

Tabelle 29: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit [m/s]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
5,0	4,3	4,2	5,0	4,4	3,4	4,3	3,4	4,1	4,9	4,1	5,5

Tabelle 30: Prozentuelle monatliche Verteilung der Windrichtung für  $v < 5$  m/s

Monat	Windgeschwindigkeit < 5 m/s								$\Sigma$
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
JAN	10,48	2,96	2,15	9,27	7,80	2,96	4,84	4,44	45
FEB	26,19	7,59	1,34	8,18	9,23	0,45	2,53	6,85	62
MRZ	14,11	8,06	3,63	7,53	11,56	2,69	5,78	7,26	61
APR	10,69	4,17	3,47	8,19	11,25	0,14	5,14	6,11	49
MAI	12,37	2,55	2,69	10,35	12,23	1,48	4,84	8,47	55
JUN	20,83	11,11	3,19	10,28	18,47	1,39	5,83	6,81	78
JUL	13,31	6,99	2,55	5,65	8,87	1,34	4,17	12,77	56
AUG	17,34	11,16	6,59	3,76	16,80	3,76	6,45	11,56	77
SEP	9,44	2,78	1,94	10,14	18,19	1,39	5,14	11,67	61
OKT	16,67	3,76	1,21	5,11	9,14	2,96	6,59	8,06	53
NOV	10,83	3,06	4,44	24,31	7,36	0,83	6,39	7,50	65
DEZ	4,97	1,48	2,55	14,38	11,56	2,69	3,76	5,78	47

Tabelle 31: Prozentuelle monatliche Verteilung der Windrichtung für  $v \geq 5 \text{ m/s}$ 

Monat	Windgeschwindigkeit $\geq 5 \text{ m/s}$								$\Sigma$
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
JAN	11,42	0,13	0,00	8,74	2,28	0,00	10,89	21,64	55
FEB	13,54	0,30	0,00	11,16	1,19	0,00	0,00	11,46	38
MRZ	15,46	0,67	0,00	2,55	1,88	0,00	2,28	16,53	39
APR	12,36	0,28	0,14	10,00	7,50	0,69	3,33	16,53	51
MAI	6,59	0,00	0,00	8,60	5,11	0,13	2,82	21,77	45
JUN	3,75	0,28	0,00	1,94	3,47	0,69	3,06	8,89	22
JUL	9,81	0,54	0,00	2,15	2,28	0,00	5,91	23,66	44
AUG	3,76	0,00	0,13	0,40	2,15	1,08	5,11	9,95	23
SEP	8,06	0,14	0,00	7,64	7,64	0,00	1,11	14,72	39
OKT	4,03	0,27	0,00	13,31	4,97	0,81	10,48	12,63	47
NOV	0,14	0,00	0,69	15,00	5,69	0,00	5,42	8,33	35
DEZ	6,59	0,00	0,00	18,82	7,39	0,00	4,30	15,73	53

### Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche

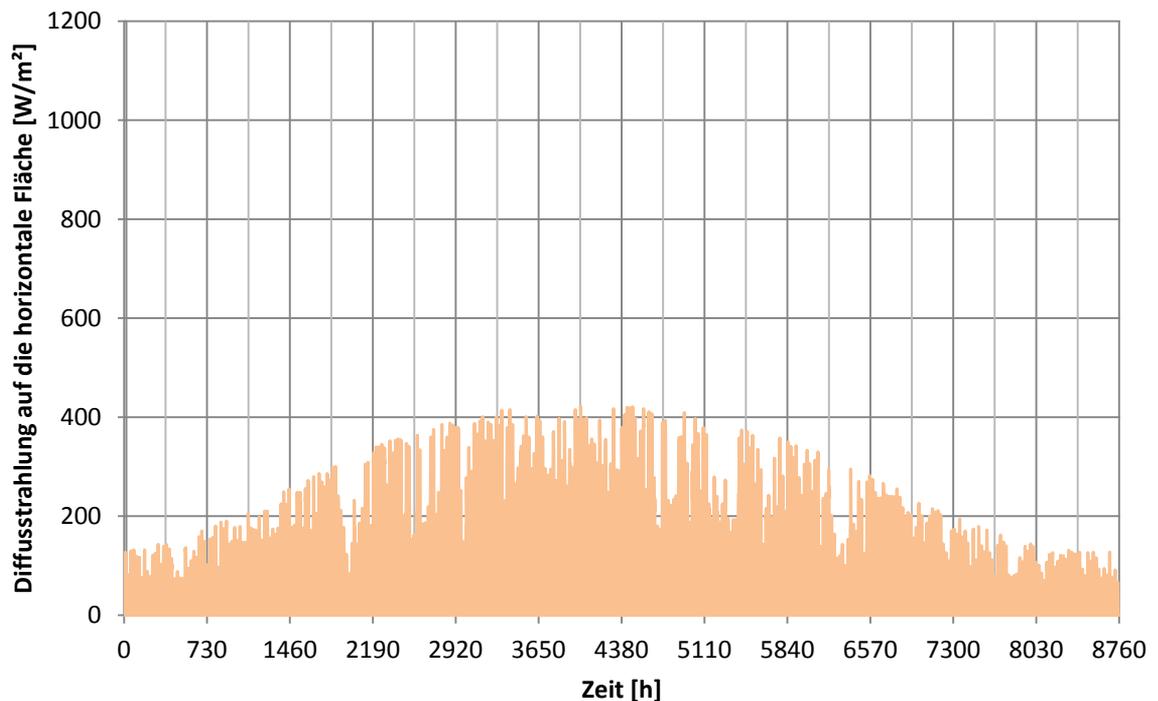

 Abbildung 42: Jahresverlauf der Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche  $[\text{W}/\text{m}^2]$ 

 Tabelle 32: Mittlere monatliche Tagessummen der Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche  $[\text{W h}/\text{m}^2]$ 

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
605,7	1056,6	1519,2	2268,5	2780,2	3061,7	2732,4	2103,9	1729,1	1322,6	736,6	521,7

### Direktstrahlung auf die horizontale Fläche

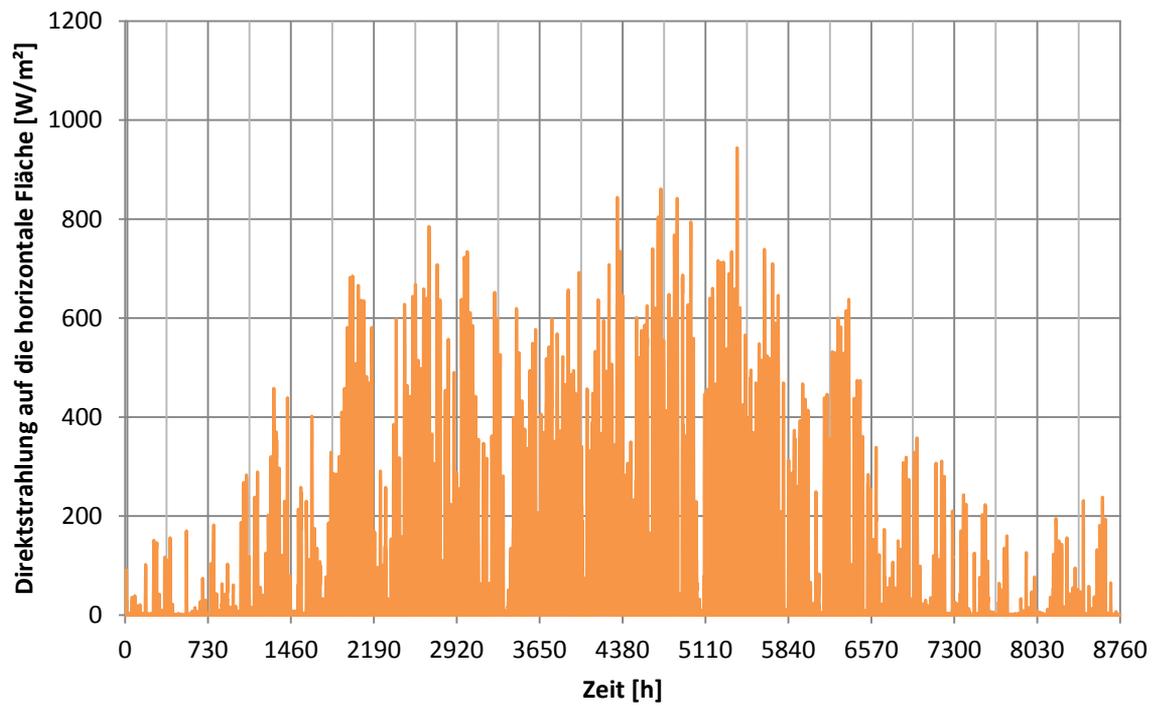


Abbildung 43: Jahresverlauf der Direktstrahlung auf die horizontale Fläche [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

Tabelle 33: Mittlere monatliche Tagessummen der Direktstrahlung auf die horizontale Fläche [ $\text{W h}/\text{m}^2$ ]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
176,2	745,8	1662,7	2249,3	2593,2	3080,1	3010,0	3732,9	2257,9	680,9	297,3	263,7

### Globalstrahlung auf die horizontale Fläche

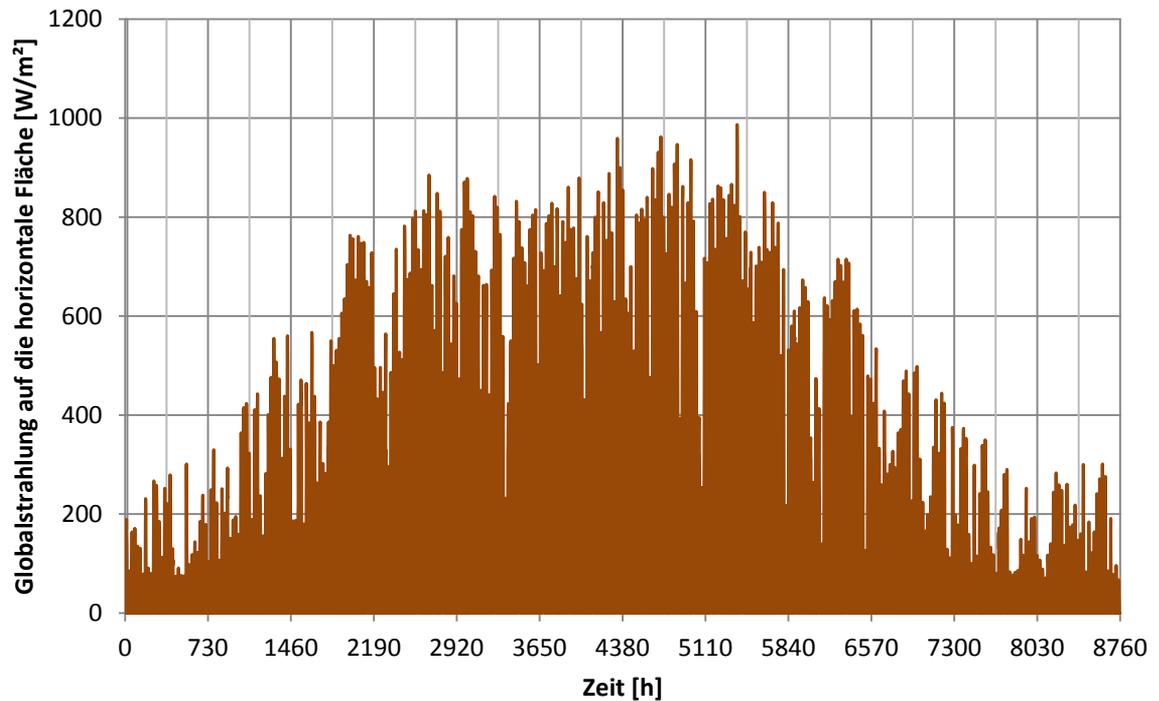


Abbildung 44: Jahresverlauf der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m<sup>2</sup>]

Tabelle 34: Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [W h/m<sup>2</sup>]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
782,0	1802,4	3181,9	4517,7	5373,4	6141,8	5742,4	5836,8	3987,1	2003,5	1033,9	785,4

Die Globalstrahlung auf die horizontale Fläche ergibt sich aus der Summe aus Diffus- und Direktstrahlung auf die horizontale Fläche.

## Direktnormalstrahlung

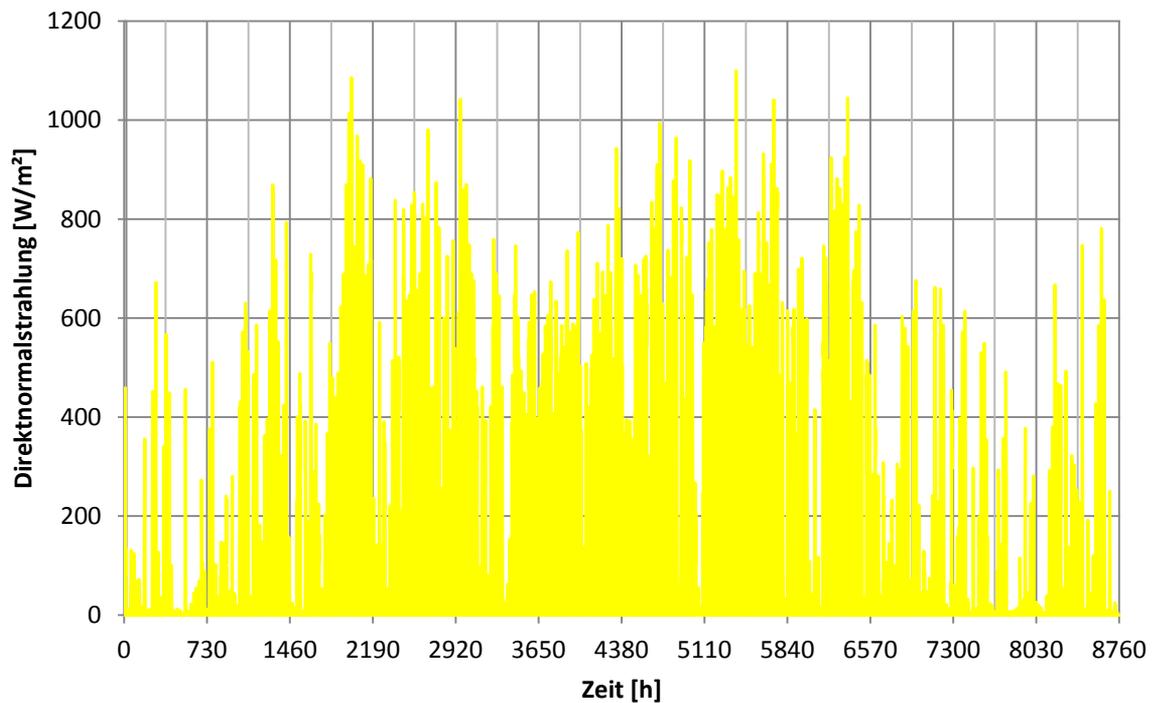


Abbildung 45: Jahresverlauf der Direktnormalstrahlung [W/m<sup>2</sup>]

Tabelle 35: Mittlere monatliche Tagessummen der Direktnormalstrahlung [W h/m<sup>2</sup>]

JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
734,4	2116,9	3252,2	3790,2	4125,7	4739,5	4495,6	6330,3	4775,0	1731,5	1026,6	1100,1

Die Direktnormalstrahlung wird auf eine senkrecht zur Sonneneinstrahlung ausgerichtete Ebene gemessen. Diese Ebene wird der Sonnenstrahlung immer nachgeführt.



## 5 Simulationsergebnisse

### 5.1 Allgemeines

Jede Simulation lieferte einen Datensatz bestehend aus 18 Parametern, wie z.B. Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, operative Temperatur, Kühlleistung, solarer Eintrag, Infiltration etc. Dieser Datensatz wurde mit stündlicher Auflösung für das gesamte simulierte Jahr ausgegeben. Die Ausgabe aus der Simulationssoftware erfolgte jeweils als Datensatz für das gesamte Regelgeschoss und zusätzlich für jede der 21 Zonen einzeln. Somit entstanden bei jedem Simulationsfall circa 3,5 Millionen Datenwerte (18 x 365 x 24 x 22). Da für die Untersuchung 80 Simulationsfälle durchgerechnet wurden, ergaben sich in Summe rund 277 Millionen Dateneinträge. Um diese enorme Datenmenge in annehmbarer Zeit zu bearbeiten, wurde am Labor für Bauphysik eine eigene Auswertesoftware programmiert (nicht Bestandteil dieser Masterarbeit).

Um aus der enormen Datenmenge repräsentative Auswerteergebnisse zu erhalten, wurden zwei unterschiedliche Auswertezeiträume definiert:

- Der für die Überhitzung interessante Gesamtzeitraum wurde vom 01. Mai bis einschließlich 30. September 2003 festgelegt.
- Zusätzlich wurde die Woche mit den höchsten Wochenmittelwert ausgewertet. Dies war der Zeitraum vom 2. August bis einschließlich 8. August 2003. Für diesen Zeitraum ergibt sich ein Wochenmittelwert von 24,93 °C.

Bezüglich der Vorgehensweise wurden zuerst die auf Stundenbasis vorhandenen Zonenmittelwerte über das gesamte Regelgeschoss aufbereitet. Bei den Simulationsvarianten mit natürlicher Lüftung wurden aus den 18 vorhandenen Parametern die operative Temperatur (arithmetisches Mittel aller 21 Zonen), die Überschreitungsstunden mit einer operativen Temperatur größer 27 °C und die Überschreitungs Nächte mit einer operativen Temperatur > 25 °C ausgewertet. Die zwei erwähnten Größen wurden gewählt, um eine mögliche Vergleichbarkeit zur ÖNORM B 8110-3 herzustellen. Zusätzlich wurde die Anzahl an Tagen ermittelt, an denen zumindest ein Stundenwert dem 27 °C-Kriterium nicht entspricht. Bei den Simulationsvarianten mit Klimaanlage wurde der Kühlenergiebedarf bezogen auf die Brutto- und Nettogrundfläche ausgewertet.

Da die ÖNORM B 8110-3 für den Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung von dem als kritisch eingestuften Einzelraum ausgeht, wurden in weiterer Folge für die Wohnnutzung mit natürlicher Lüftung die Ergebnisse des kritischen Einzelraums (Zone 01) ausgewertet. Dabei wurden die operative Temperatur, die Überschreitungsstunden und -tage mit einer operativen

Temperatur größer 27 °C sowie die Überschreitungs Nächte mit einer operativen Temperatur > 25 °C ausgewertet.

Zusätzlich wurden die Simulationsergebnisse der einzelnen Zonen der Wohnnutzung mit natürlicher Lüftung mittels Falschfarbendarstellung aufbereitet. Aufgrund der Parametervariation (Base Case, erhöhter und verringerter Luftwechsel sowie erhöhte und verringerte Beschattung) wird zusätzlich zwischen diesen fünf Varianten unterschieden. Die verarbeiteten Daten sind am Ende jedes Kapitels in Tabellenform angeführt. Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Bauweisen zu ermöglichen, werden die vier Bauweisen entsprechend Tabelle 36 gegenübergestellt. Folgende Datensätze wurden aufbereitet:

- operative Temperatur der einzelnen Zonen
- Anzahl der Stunden und Tage, an denen das 27 °C-Kriterium nicht eingehalten wird
- Anzahl der Nächte, an denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird

Tabelle 36: Gegenüberstellung der Bauweisen

Massivbau-Beton	Massivbau-Ziegel
Massivbau-Holz	Leichtbau-Holz

Folgende Tabellen dienen der Orientierung hinsichtlich der Diagramme und Abbildungen.

Tabelle 37: Übersicht Diagramme

Diagramme	Kapitel	Parameter
gesamtes Regelgeschoss	-	operative Temperatur
Gesamtzeitraum	-	
Wohnnutzung	5.2	Überschreitungsstunden > 27 °C
Büronutzung	5.3	Überschreitungstage > 27 °C
heißeste Woche	-	Überschreitungs Nächte > 25 °C
Wohnnutzung	5.4	Kühlenergiebedarf (BGF u. NGF)
Büronutzung	5.5	
kritischer Einzelraum	-	operative Temperatur
Gesamtzeitraum	-	
Wohnnutzung	5.6	Überschreitungsstunden > 27 °C
heißeste Woche	-	Überschreitungstage > 27 °C
Wohnnutzung	5.7	Überschreitungs Nächte > 25 °C

Tabelle 38: Übersicht Falschfarbendarstellung

Falschfarbendarstellung	Kapitel	Parameter
gesamtes Regelgeschoss	-	operative Temperatur
Gesamtzeitraum	-	
Wohnnutzung	-	
Base Case	5.8.1	Überschreitungsstunden > 27 °C
Erhöhter Luftwechsel	5.8.2	
Verringerter Luftwechsel	5.8.3	
Erhöhte Beschattung	5.8.4	
Verringerte Beschattung	5.8.5	
heißeste Woche	-	Überschreitungstage > 27 °C
Wohnnutzung	-	
Base Case	5.9.1	Überschreitungs Nächte > 25 °C
Erhöhter Luftwechsel	5.9.2	
Verringerter Luftwechsel	5.9.3	
Erhöhte Beschattung	5.9.4	
Verringerte Beschattung	5.9.5	
		verarbeitete Daten

## 5.2 Auswertung: Gesamtzeitraum - Wohnnutzung (gesamtes Regelgeschoss)

### 5.2.1 Operative Temperatur

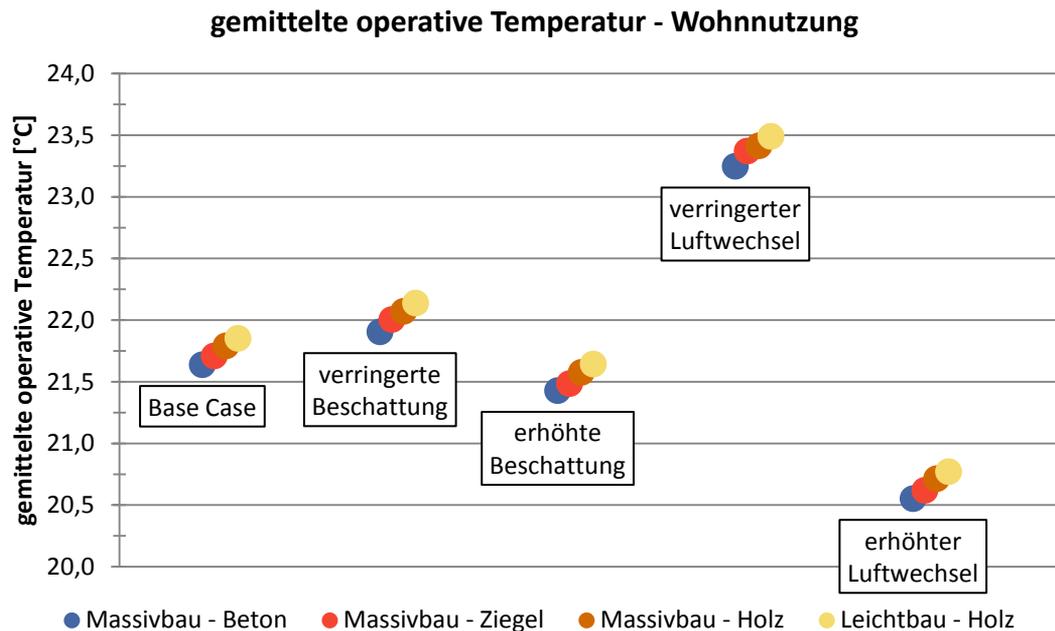


Diagramm 1: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.2.2 Überschreitungsstunden > 27 °C

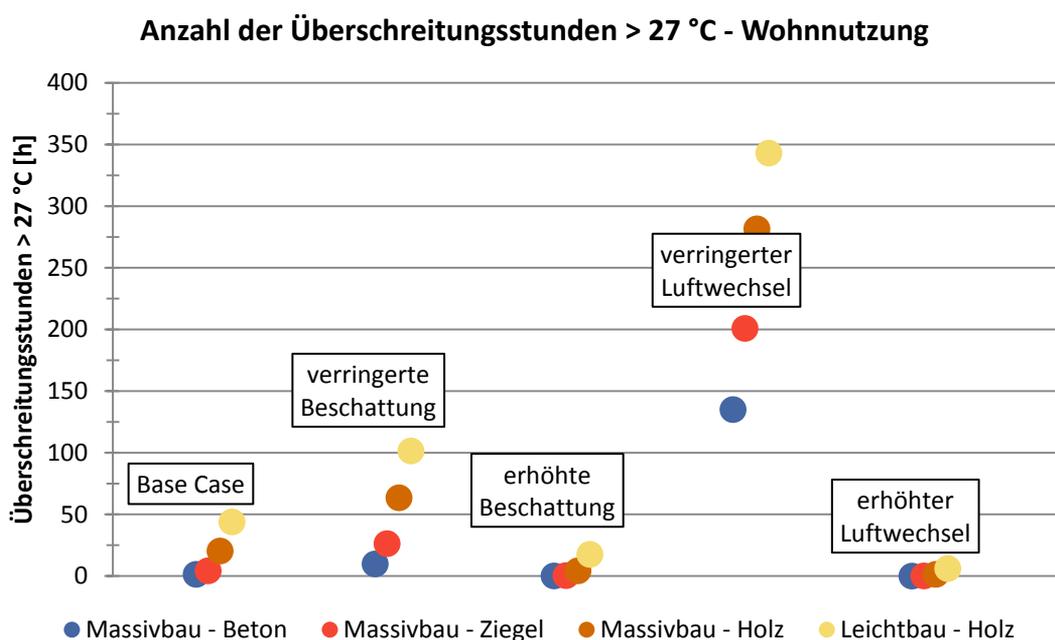


Diagramm 2: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.2.3 Überschreitungstage > 27 °C

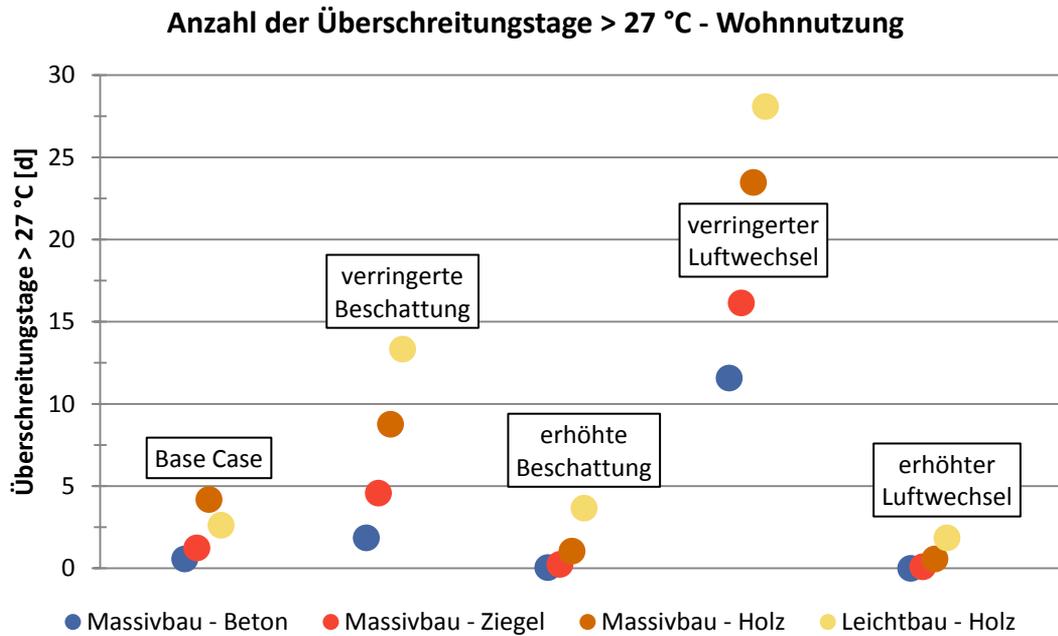


Diagramm 3: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.2.4 Überschreitungsnächte > 25 °C

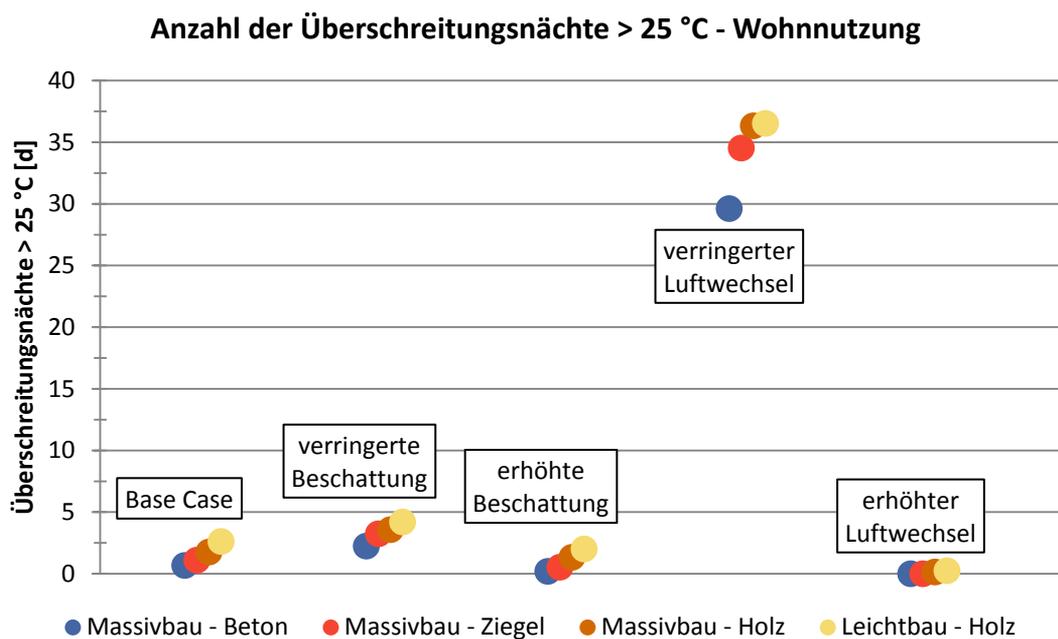


Diagramm 4: Überschreitungsnächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.2.5 Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche

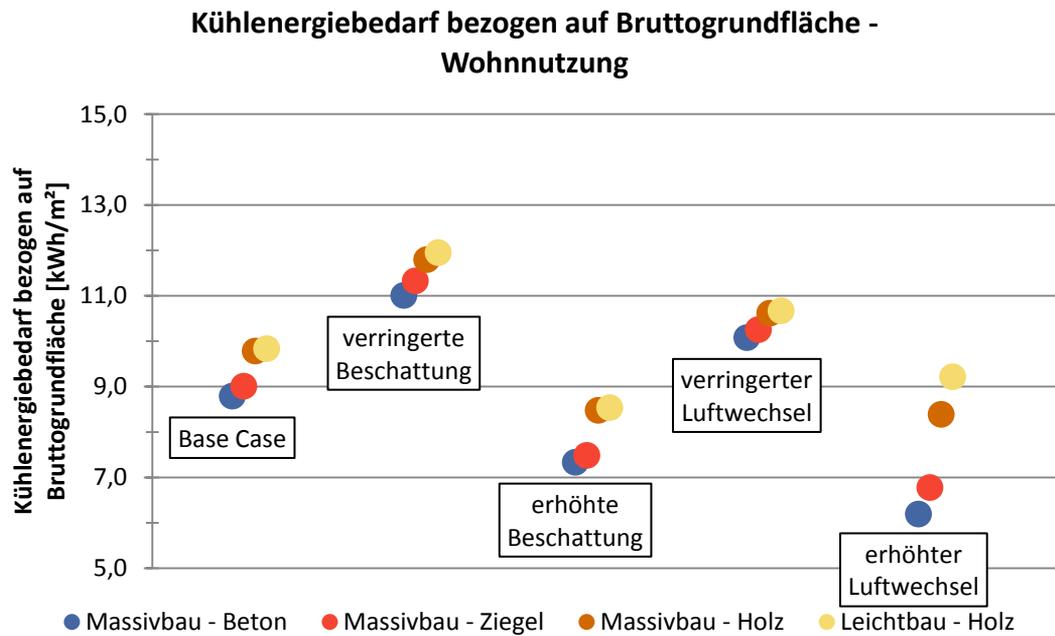


Diagramm 5: Kühlenergiebedarf (BGF) - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.2.6 Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche

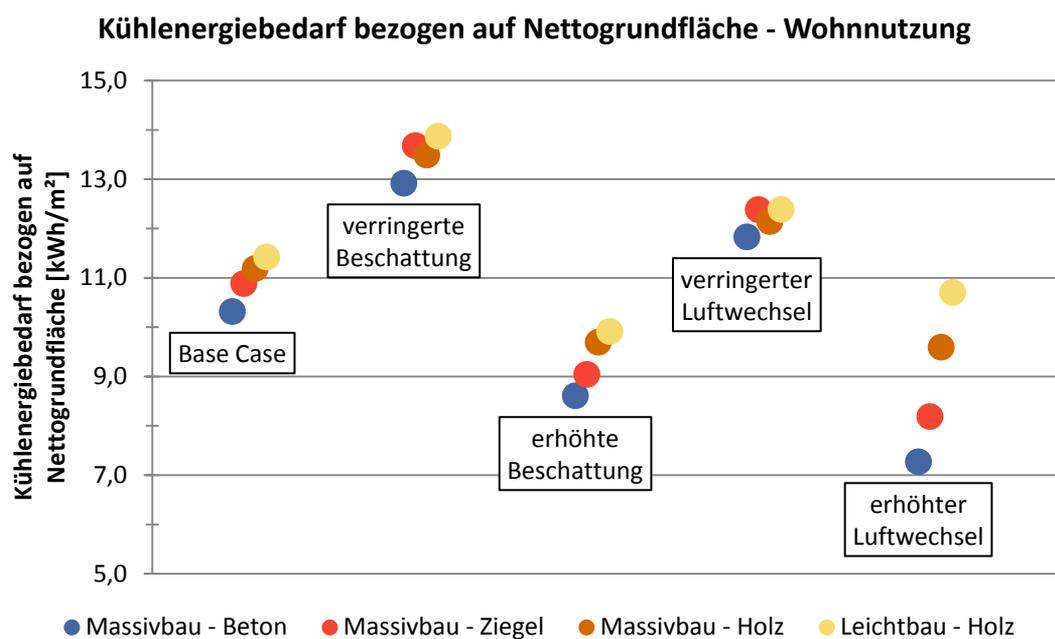


Diagramm 6: Kühlenergiebedarf (NGF) - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.3 Auswertung: Gesamtzeitraum - Büronutzung (gesamtes Regelgeschoss)

#### 5.3.1 Operative Temperatur

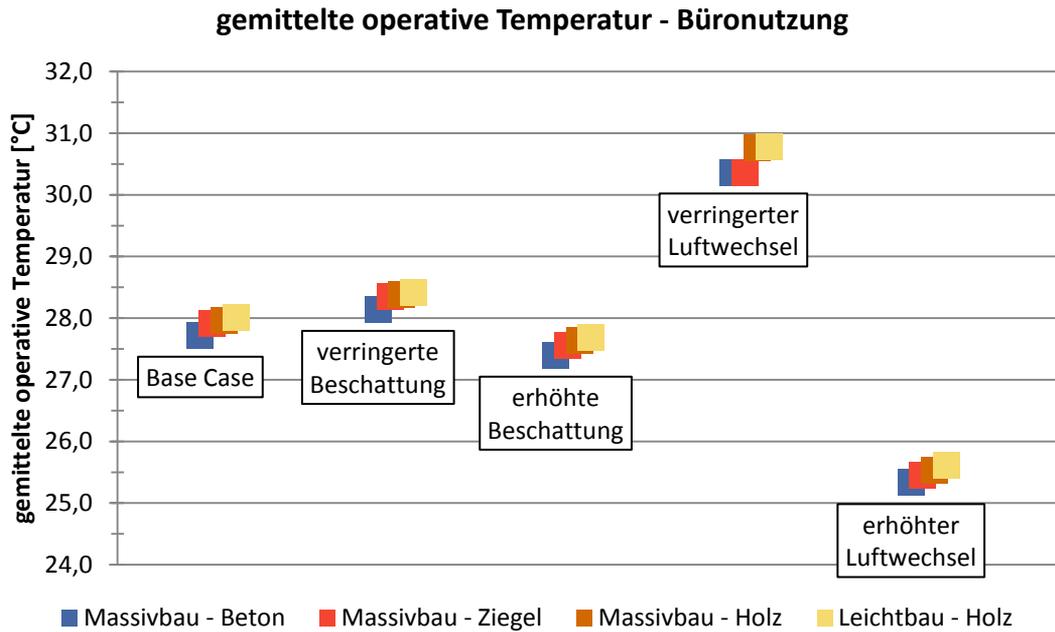


Diagramm 7: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss

#### 5.3.2 Überschreitungsstunden > 27 °C

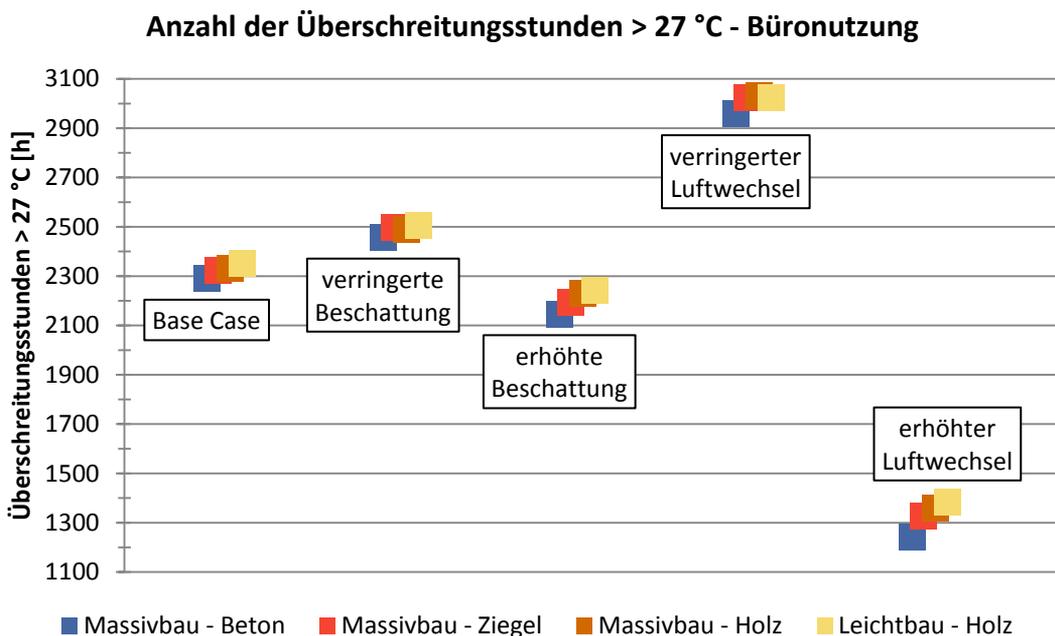


Diagramm 8: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Büronutzung – Regelgeschoss

### 5.3.3 Überschreitungstage > 27 °C

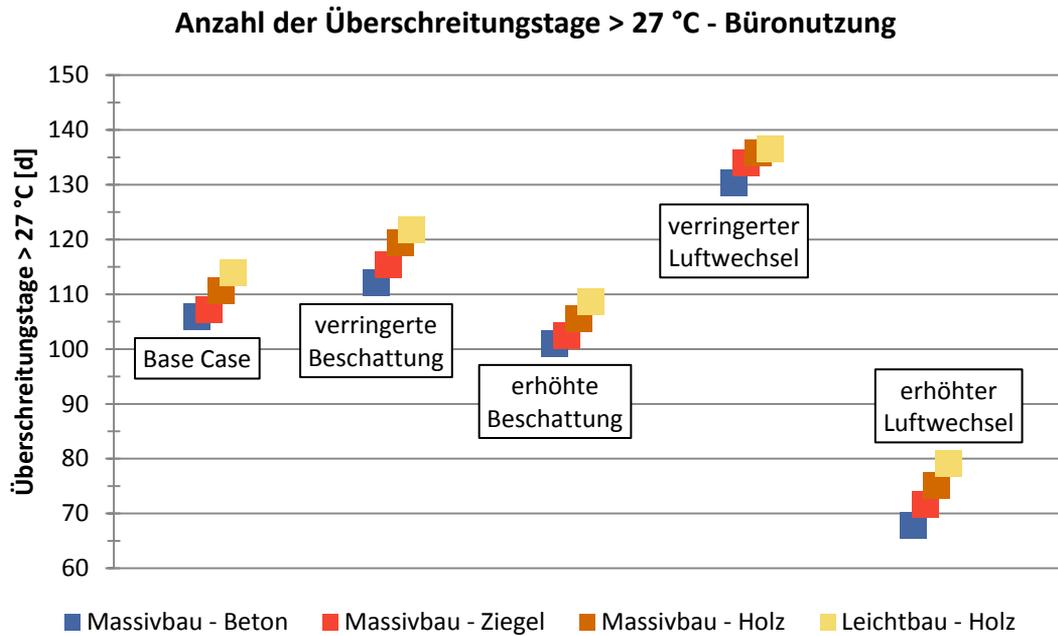


Diagramm 9: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.3.4 Überschreitungsnächte > 25 °C

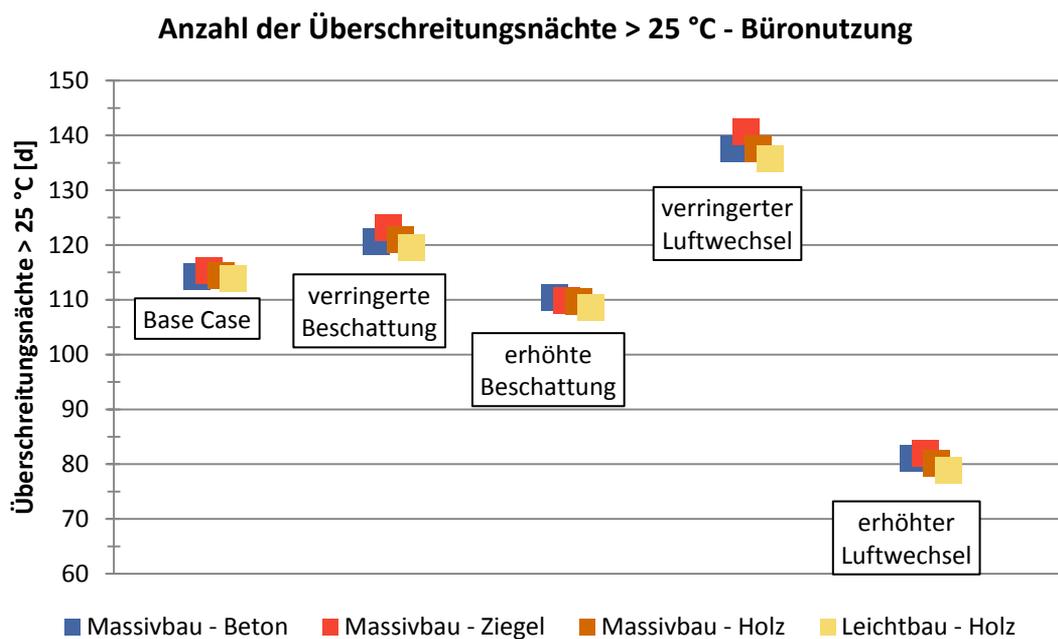


Diagramm 10: Überschreitungsnächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.3.5 Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche

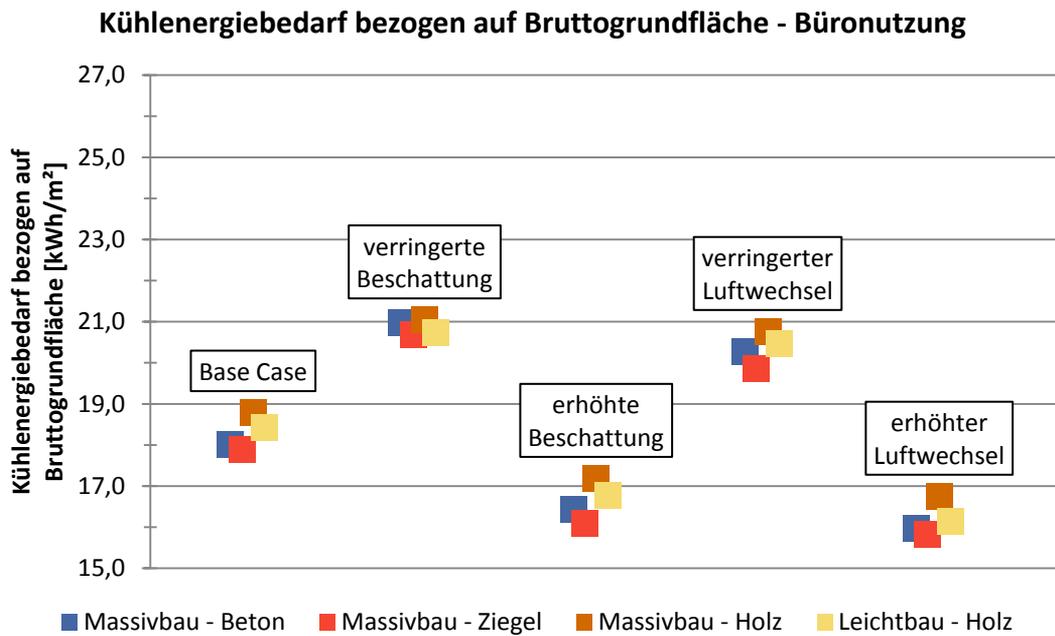


Diagramm 11: Kühlenergiebedarf (BGF) - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.3.6 Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche

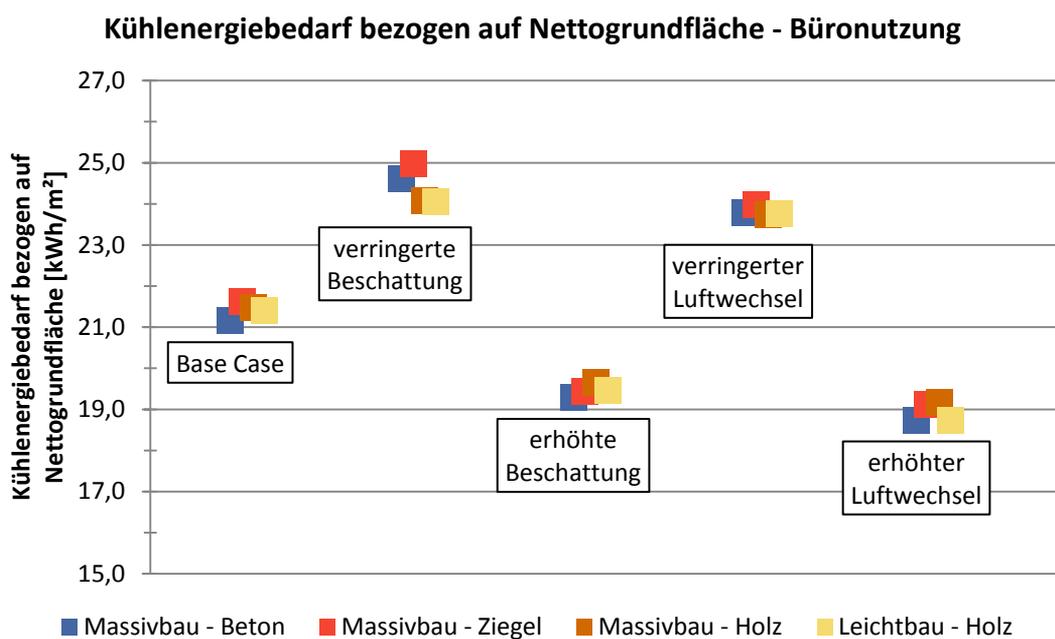


Diagramm 12: Kühlenergiebedarf (NGF) - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss

## 5.4 Auswertung: heißeste Woche - Wohnnutzung (gesamtes Regelgeschoss)

### 5.4.1 Operative Temperatur

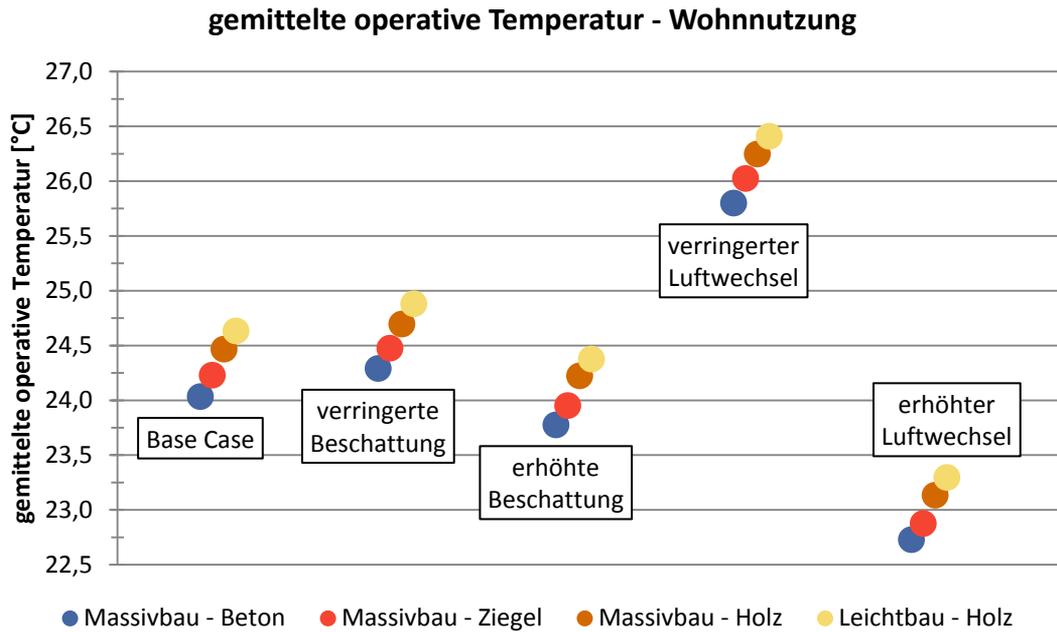


Diagramm 13: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.4.2 Überschreitungsstunden > 27 °C

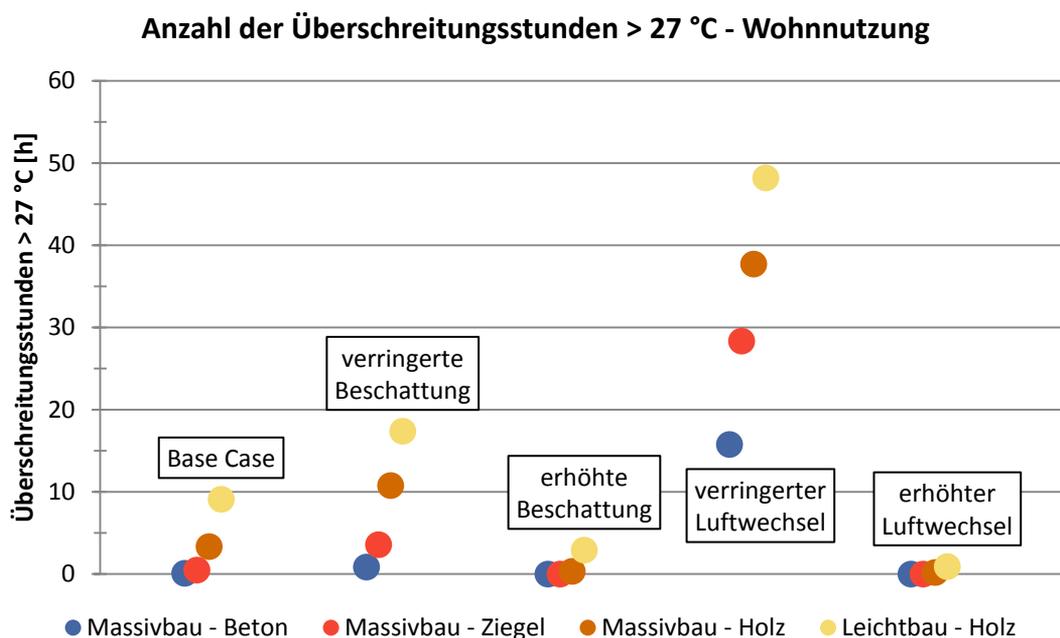


Diagramm 14: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.4.3 Überschreitungstage > 27 °C

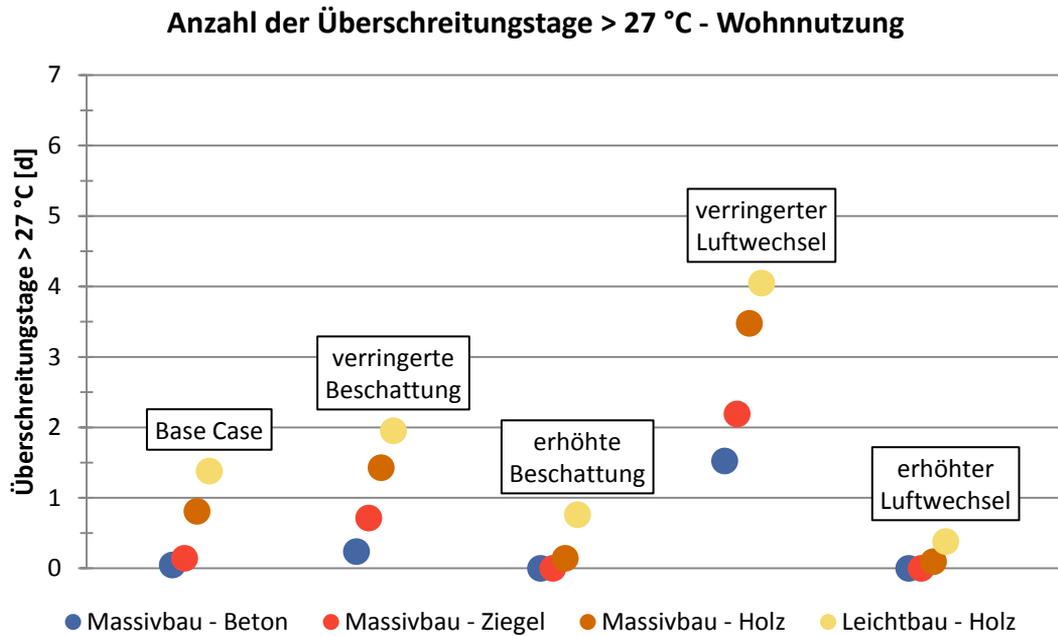


Diagramm 15: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.4.4 Überschreitungsnächte > 25 °C

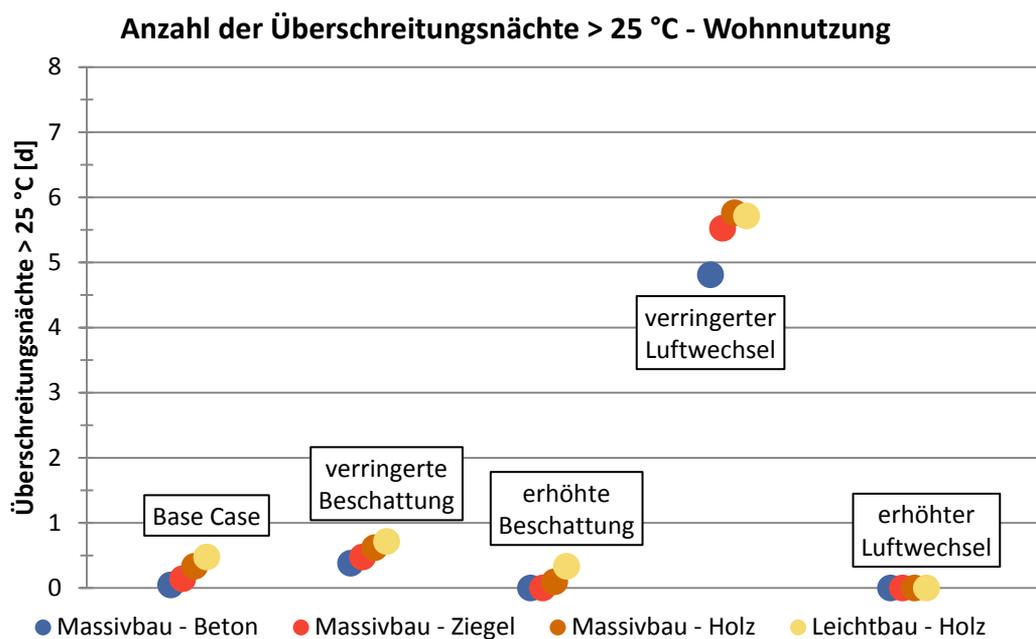


Diagramm 16: Überschreitungsnächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.4.5 Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche

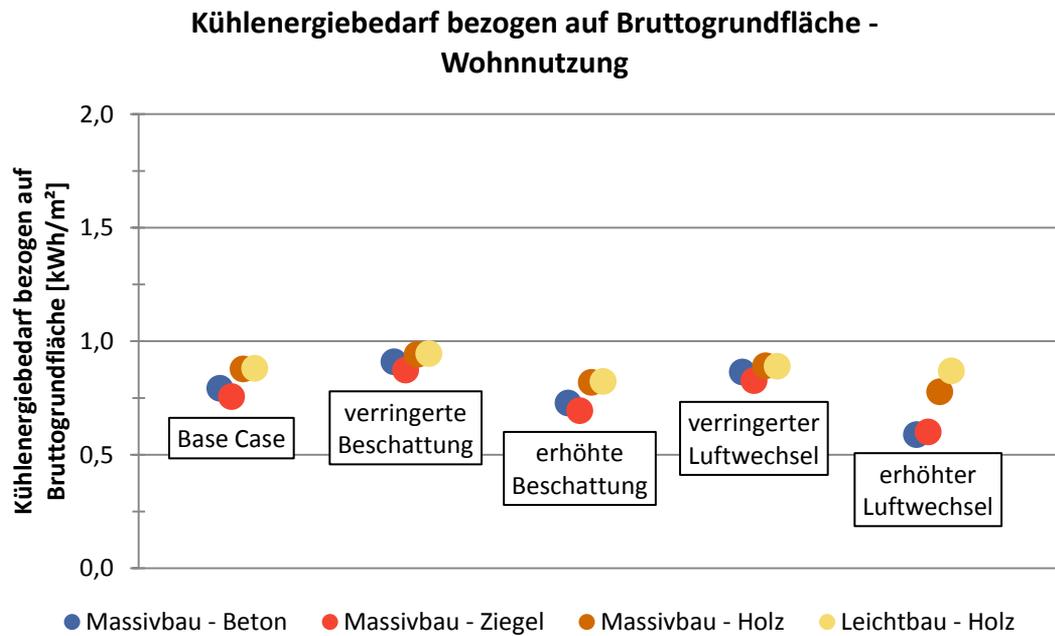


Diagramm 17: Kühlenergiebedarf (BGF) - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss

### 5.4.6 Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche

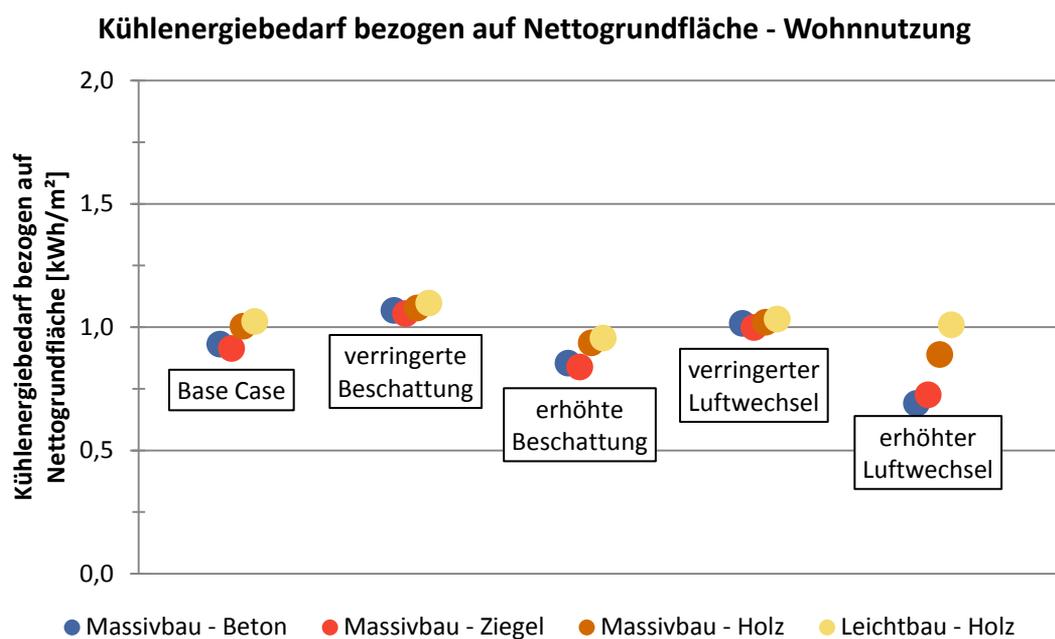


Diagramm 18: Kühlenergiebedarf (NGF) - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss

## 5.5 Auswertung: heißeste Woche - Büronutzung (gesamtes Regelgeschoss)

### 5.5.1 Operative Temperatur

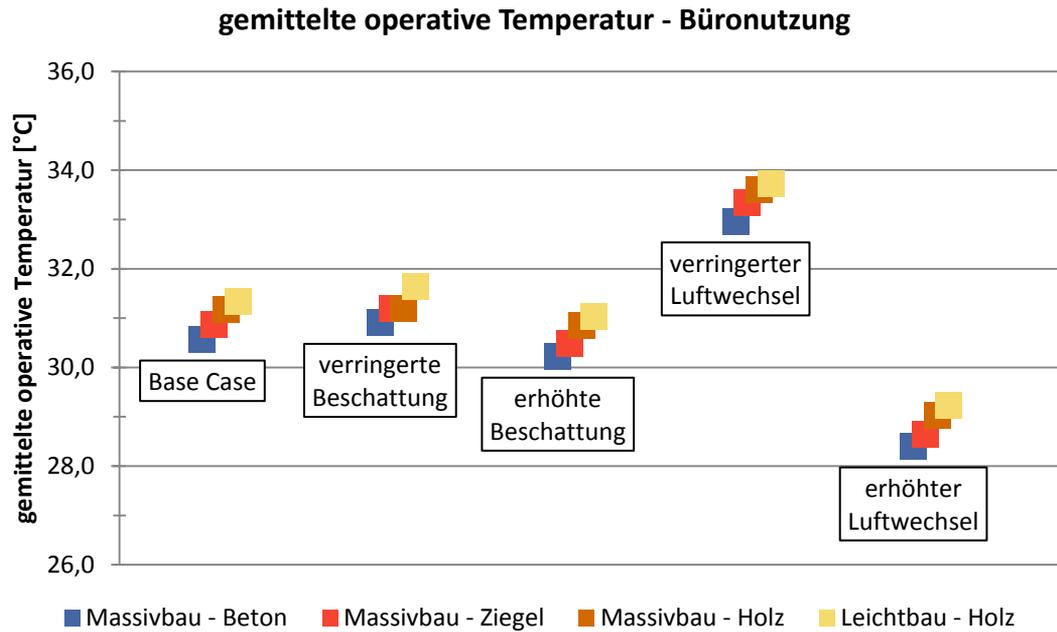


Diagramm 19: Operative Temperatur - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.5.2 Überschreitungsstunden > 27 °C

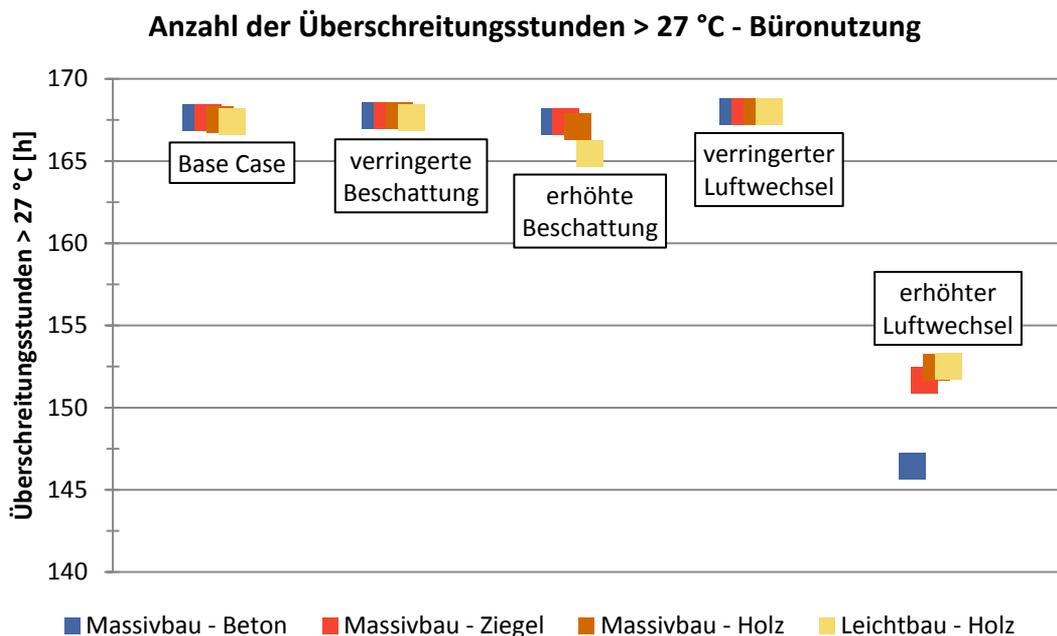


Diagramm 20: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.5.3 Überschreitungstage > 27 °C

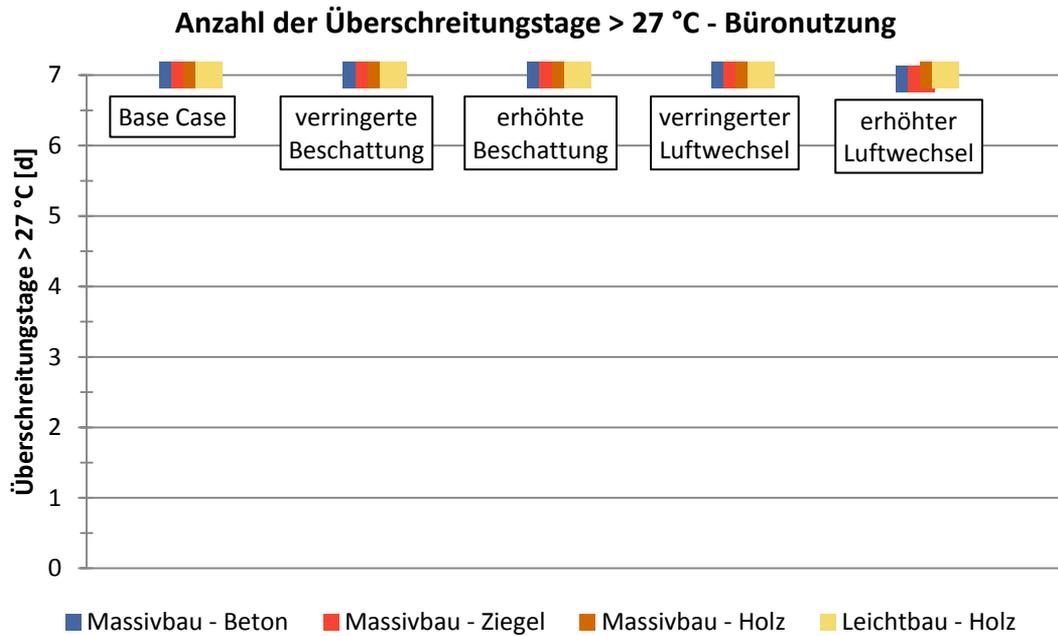


Diagramm 21: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.5.4 Überschreitungsnächte > 25 °C

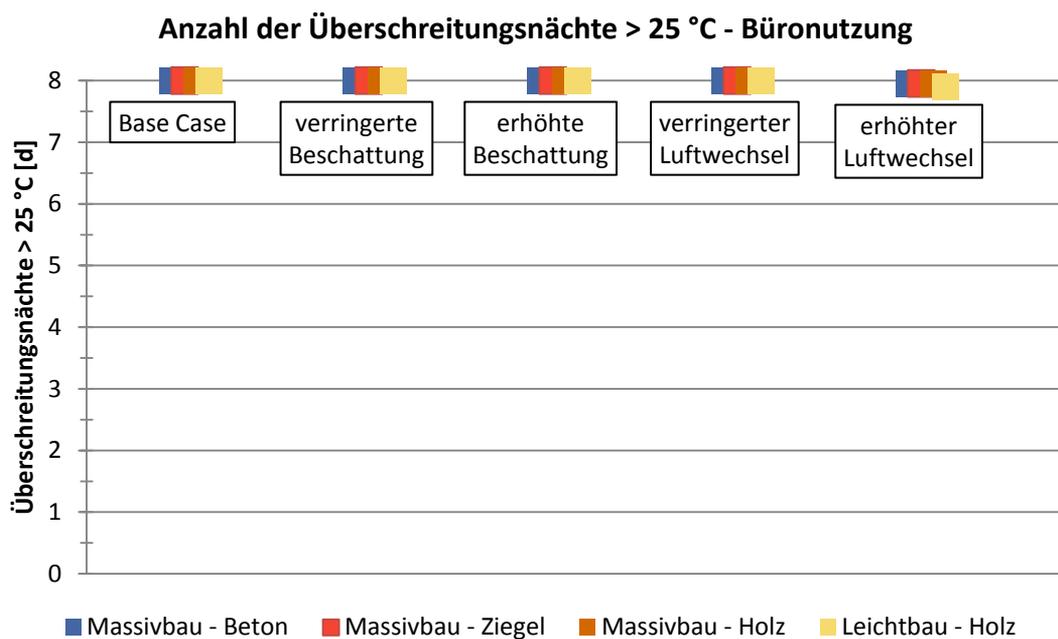


Diagramm 22: Überschreitungsnächte > 25 °C - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.5.5 Kühlenergiebedarf bezogen auf Bruttogrundfläche

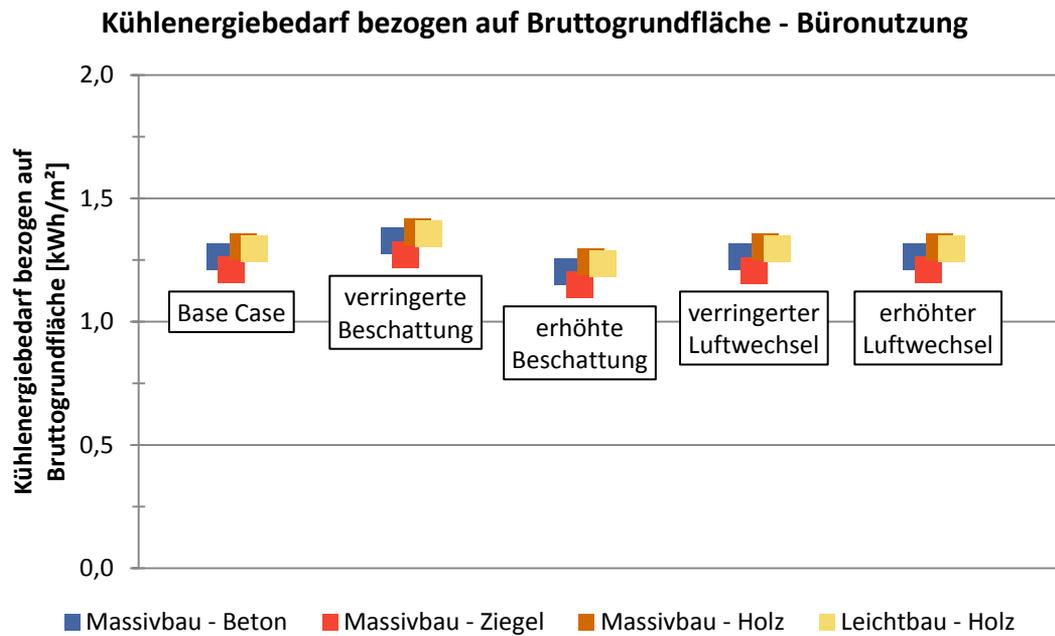


Diagramm 23: Kühlenergiebedarf (BGF) - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss

### 5.5.6 Kühlenergiebedarf bezogen auf Nettogrundfläche

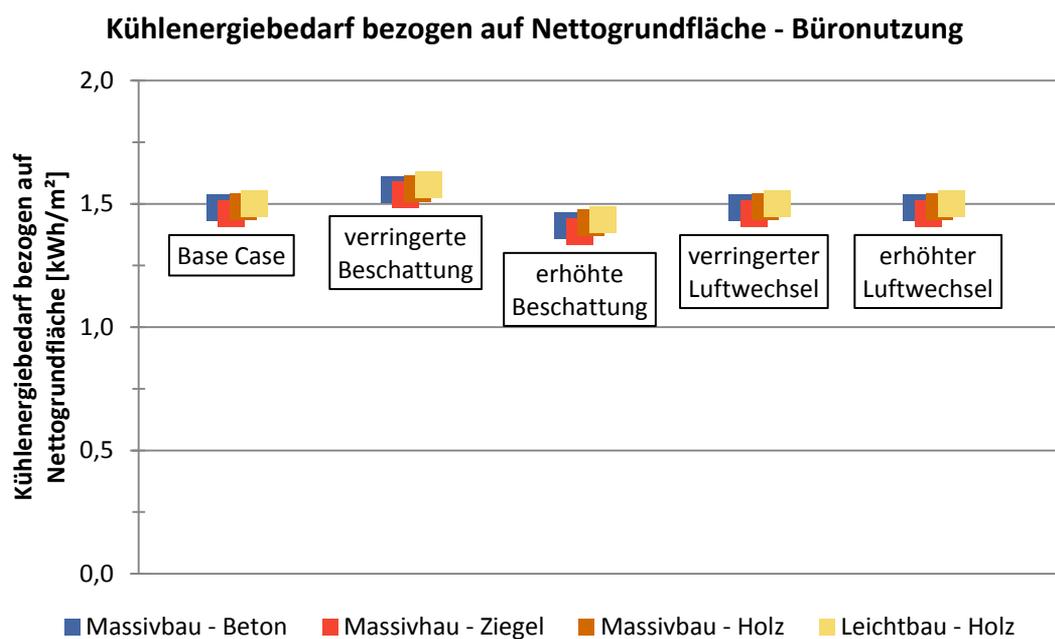


Diagramm 24: Kühlenergiebedarf (NGF) - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss

## 5.6 Auswertung: Gesamtzeitraum - Wohnnutzung (kritischer Einzelraum)

### 5.6.1 Operative Temperatur

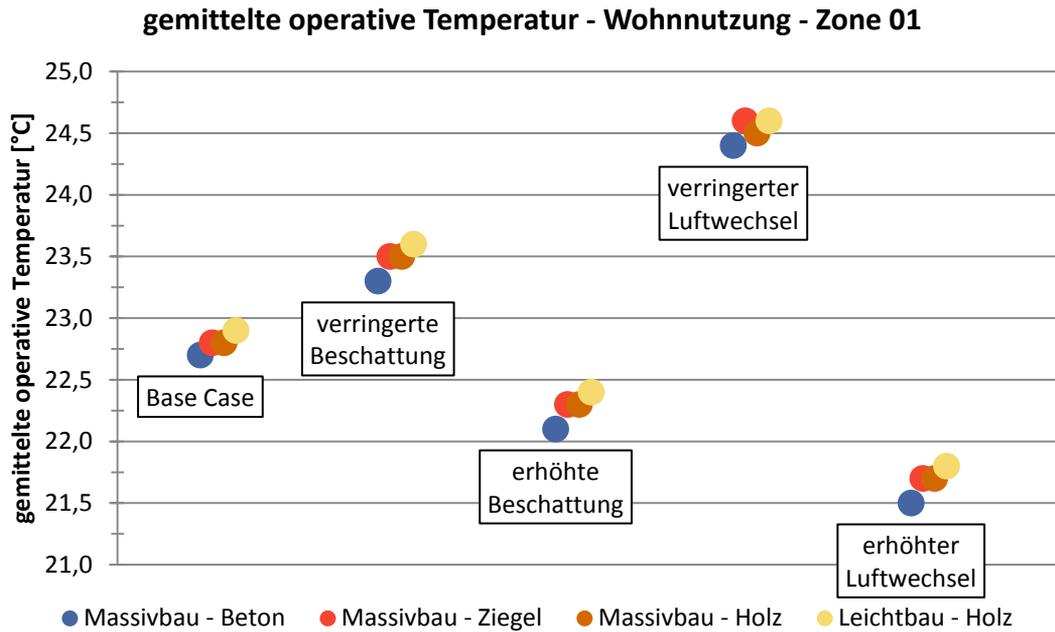


Diagramm 25: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01

### 5.6.2 Überschreitungsstunden > 27 °C

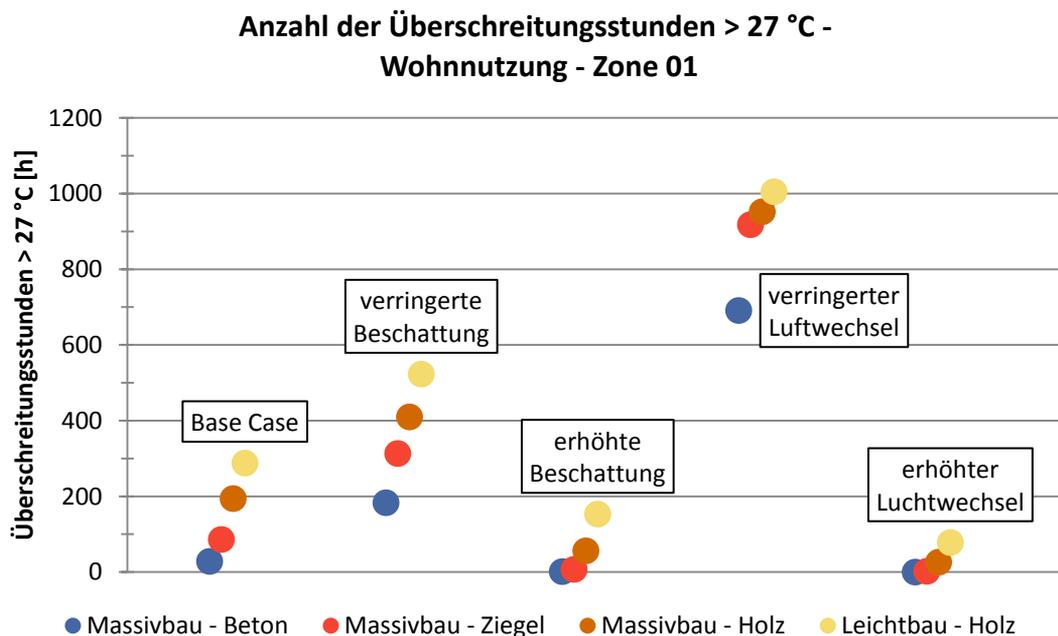


Diagramm 26: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01

### 5.6.3 Überschreitungstage > 27 °C

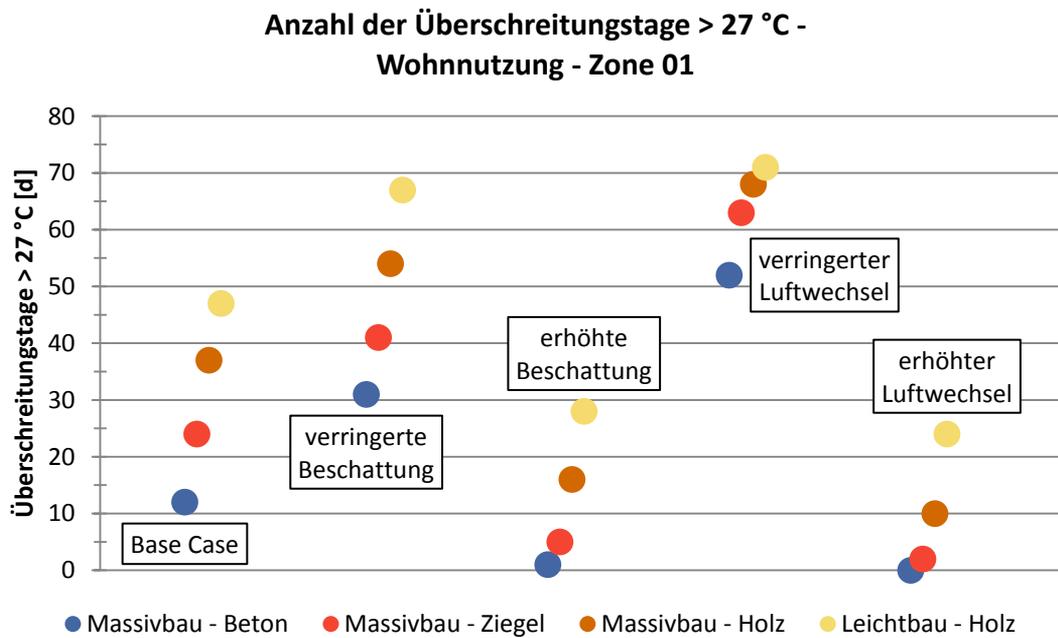


Diagramm 27: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01

### 5.6.4 Überschreitungsnächte > 25 °C

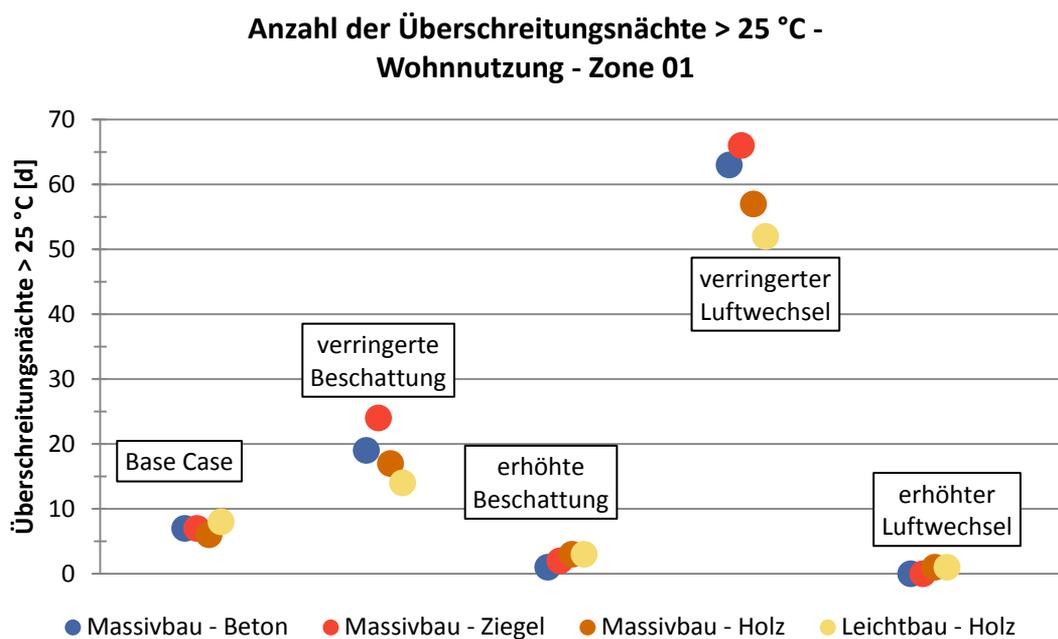


Diagramm 28: Überschreitungsnächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01

## 5.7 Auswertung: heißeste Woche - Wohnnutzung (kritischer Einzelraum)

### 5.7.1 Operative Temperatur

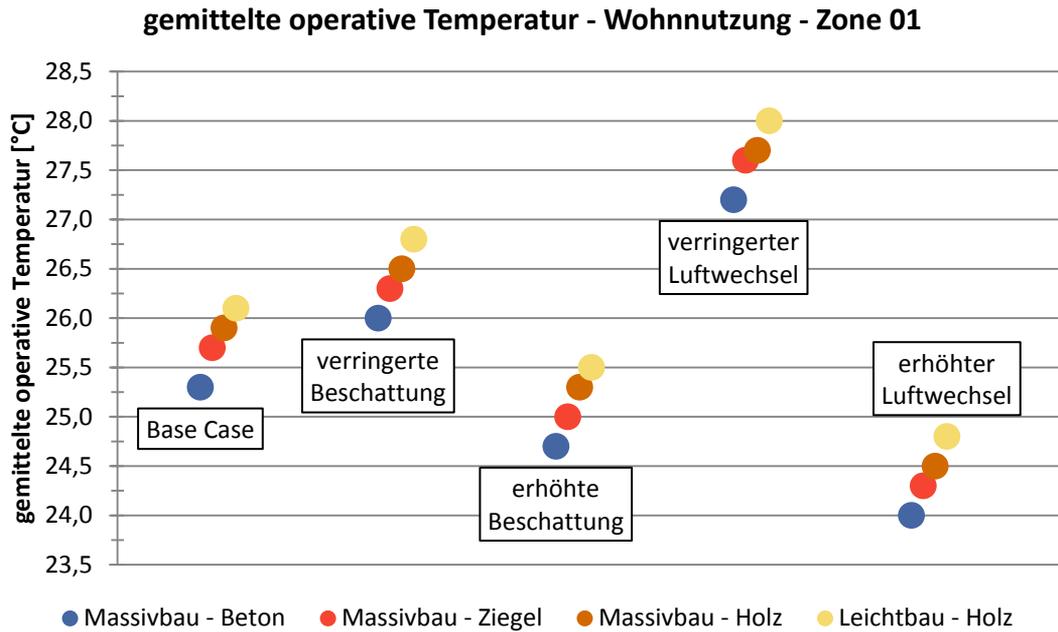


Diagramm 29: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01

### 5.7.2 Überschreitungsstunden > 27 °C

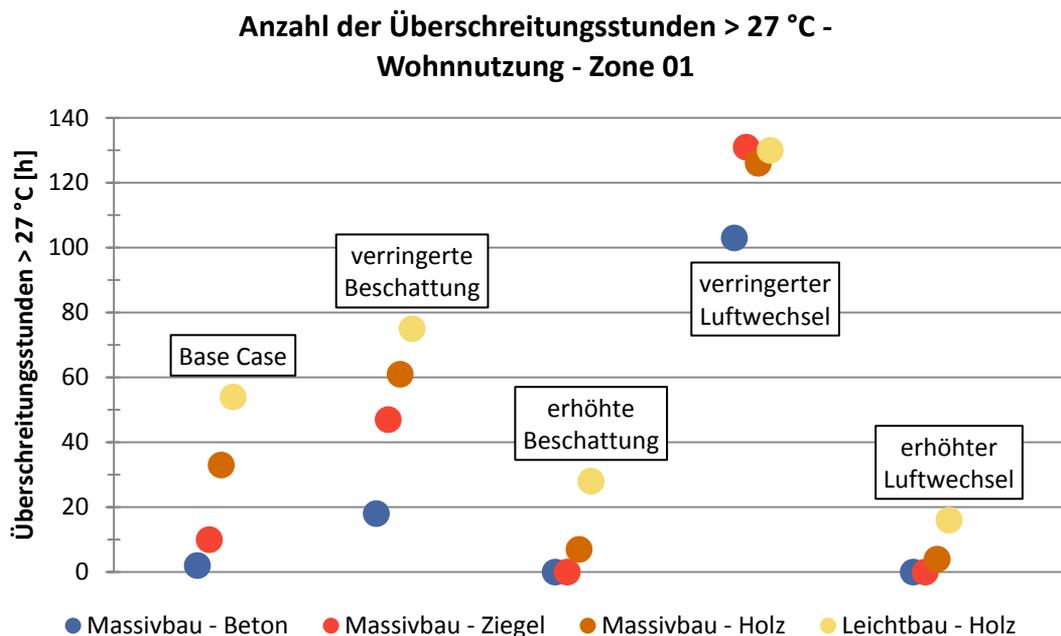


Diagramm 30: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01

### 5.7.3 Überschreitungstage > 27 °C

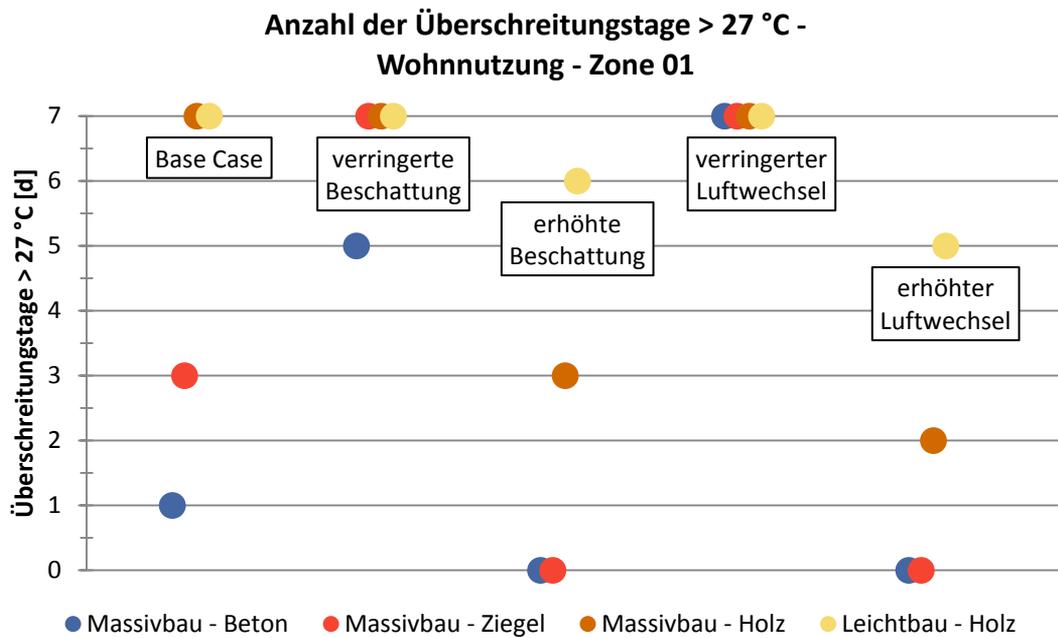


Diagramm 31: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01

### 5.7.4 Überschreitungsnächte > 25 °C

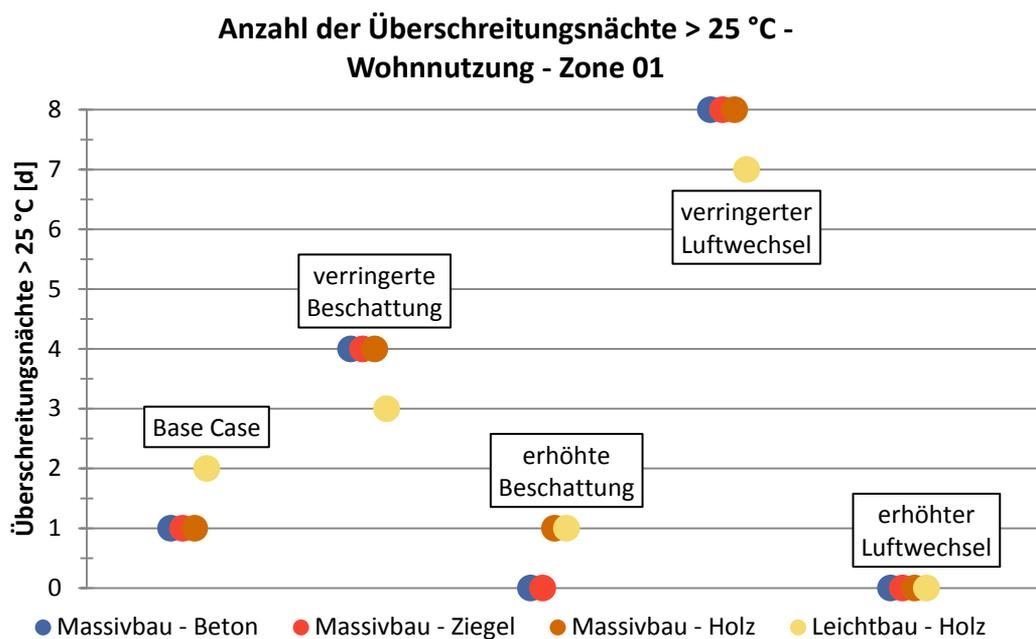


Diagramm 32: Überschreitungsnächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01

## 5.8 Falschfarbendarstellung: Gesamtzeitraum Wohnnutzung

### 5.8.1 Base Case

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperaturen

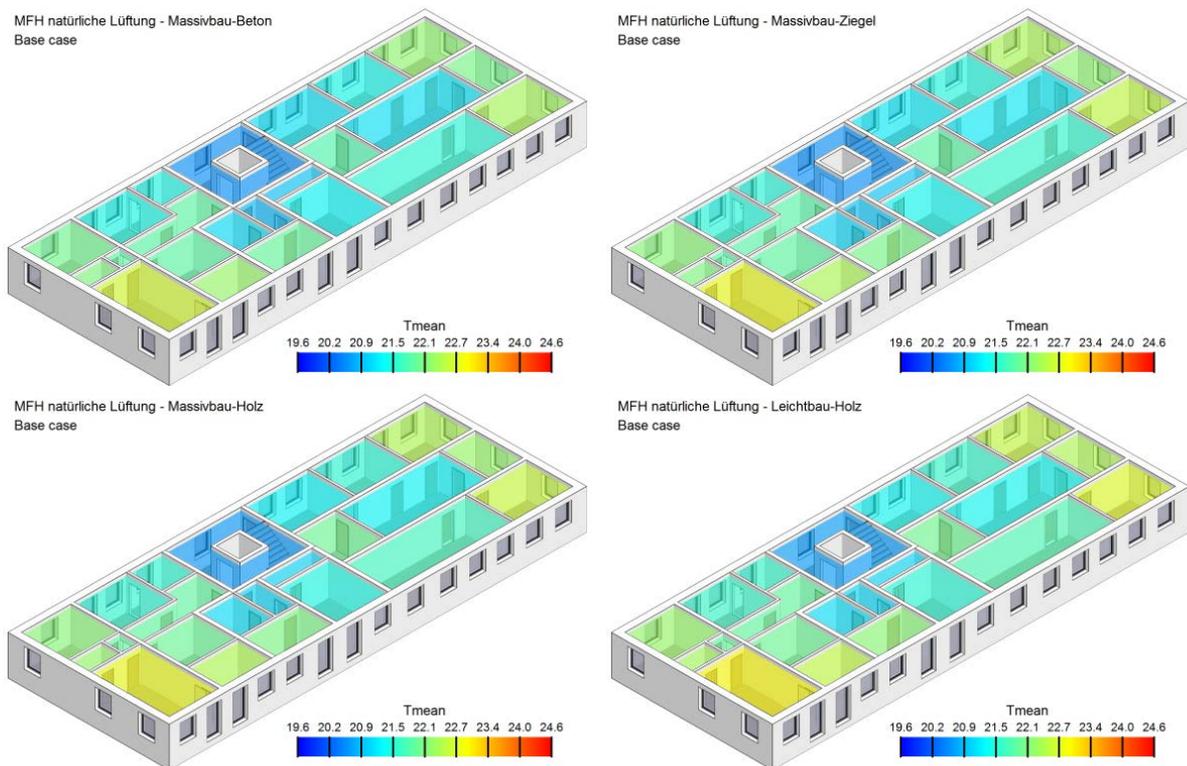


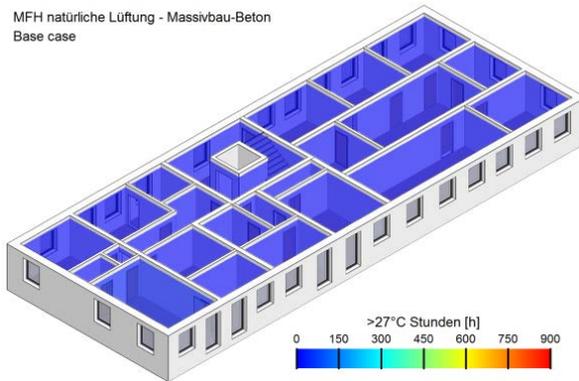
Abbildung 46: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case

Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Anschließend kommen die Zonen 15, 16 und 17, welche an der Ostseite situiert sind. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 21,6°C und 21,9°C.

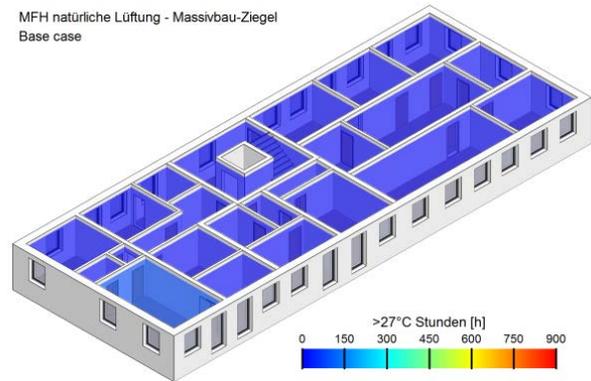
Anmerkung: Bei Betrachtung der stündlichen Werte bzw. der Minimal- und Maximaltemperaturen treten größere Unterschiede auf. Die Mittelung der Temperaturen kommt einer energetischen Betrachtung gleich. Bei dieser ergeben sich nur geringe Unterschiede innerhalb und zwischen den Bauweisen.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

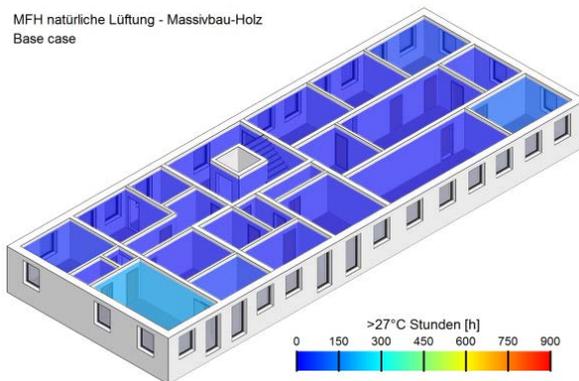
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
Base case

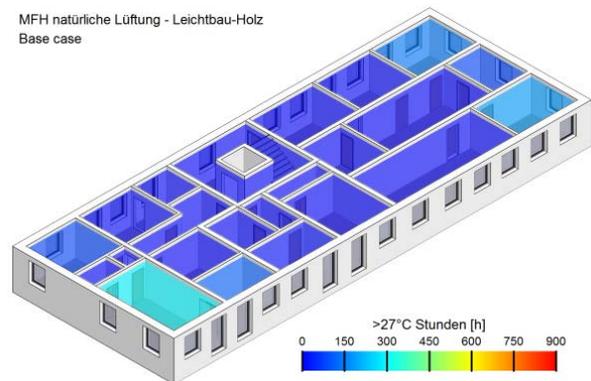


Abbildung 47: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 288 Stunden auf.

Der Auswertezeitraum von Mai bis September weist insgesamt 3672 Stunden auf.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

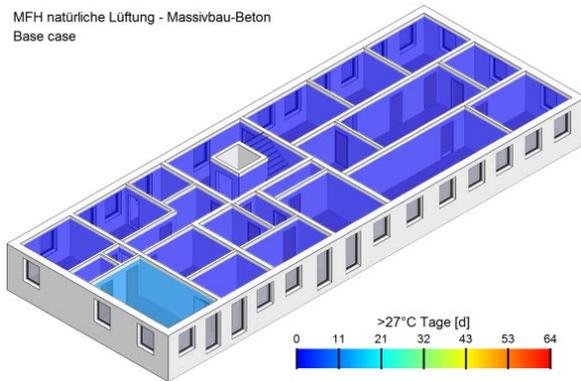
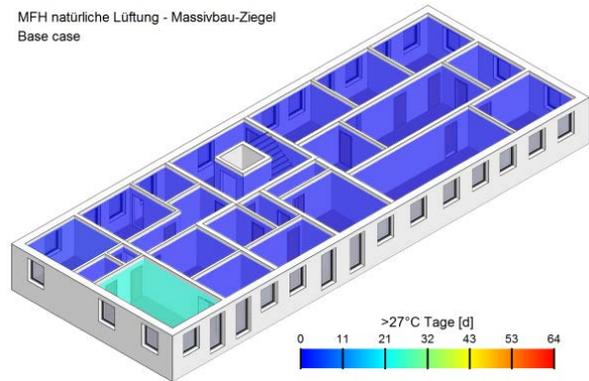
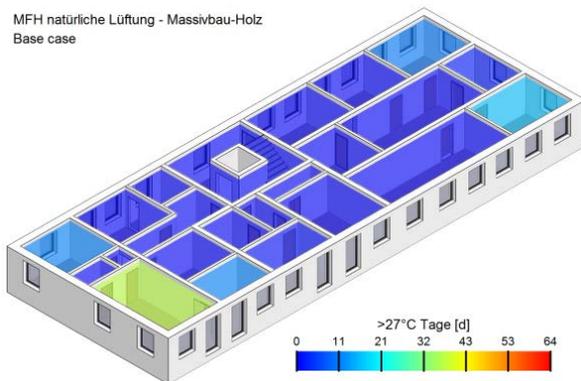
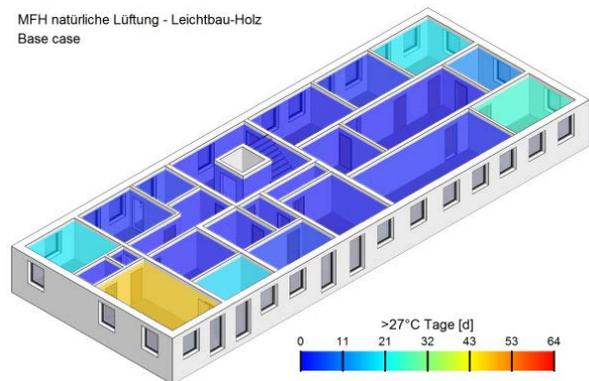
 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
Base case

 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
Base case

 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
Base case

 MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
Base case


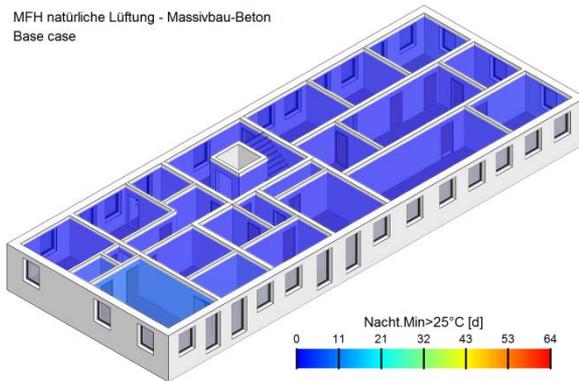
Abbildung 48: Überschreitungstage &gt; 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist die Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 47 Tagen, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 37 Tagen, auf. Für die Massivbauweise-Ziegel und die Massivbauweise-Beton ergeben sich für die Zone 01 24 bzw. 12 Überschreitungstage. Für die soeben erwähnten 47 Tage ergeben sich durchschnittlich 6,1 Stunden, welche eine operative Temperatur größer 27 °C haben.

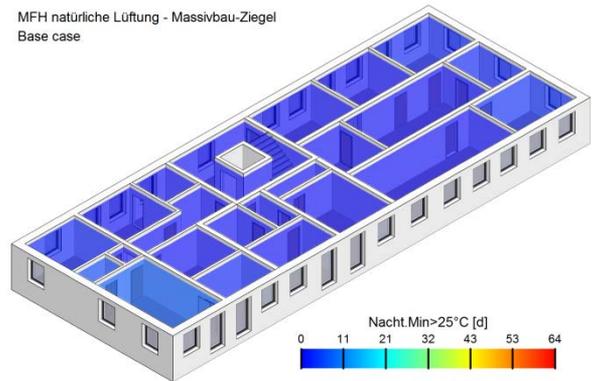
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C-Marke liegt. Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 153 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

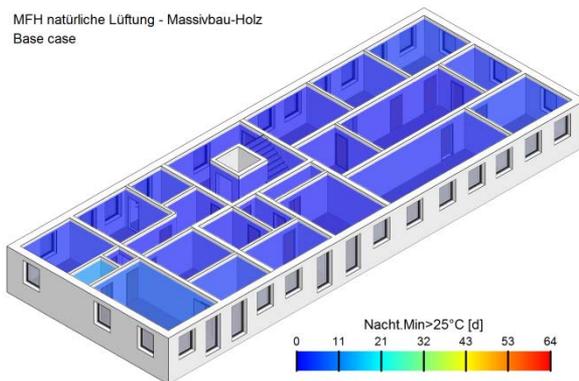
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
Base case

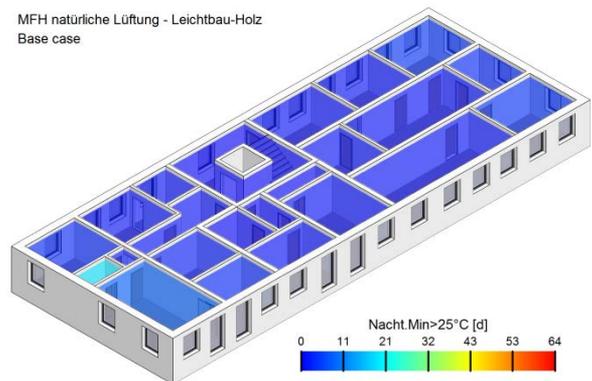


Abbildung 49: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Da dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume gilt, kann grundsätzlich gesagt werden, dass es unabhängig von der Bauweise eingehalten wird.

## Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 39 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 39: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	22,7	22,3	21,8	22,1	21,8	22,0	21,4	21,4	21,9	21,3	21,1	20,8	20,9	21,5	22,4	22,0	22,2	21,4	21,8	21,1	20,5
	>27°C-Stunden [h]	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	7	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
MZ	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	22,8	22,4	21,9	22,1	21,8	22,2	21,5	21,5	22,0	21,3	21,0	20,9	20,9	21,6	22,5	22,2	22,4	21,4	21,8	21,2	20,5
	>27°C-Stunden [h]	86	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	24	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	7	2	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0
MH	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	22,8	22,4	22,0	22,3	21,9	22,2	21,5	21,5	22,1	21,4	21,1	21,0	21,0	21,7	22,6	22,3	22,4	21,5	22,0	21,3	20,6
	>27°C-Stunden [h]	194	42	0	0	0	29	0	0	3	0	0	0	0	0	100	8	52	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	37	11	0	0	0	11	0	0	1	0	0	0	0	0	16	2	10	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	6	3	1	12	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	3	2	3	1	0	0
LH	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	22,9	22,5	22,0	22,4	21,9	22,3	21,6	21,6	22,2	21,5	21,1	21,0	21,0	21,7	22,7	22,4	22,6	21,6	22,0	21,3	20,6
	>27°C-Stunden [h]	288	112	0	0	0	80	6	6	12	0	0	0	0	4	185	79	143	6	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	47	18	0	0	0	20	2	2	3	0	0	0	0	1	25	11	20	2	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	8	3	2	19	1	3	1	1	1	1	0	0	0	1	4	3	4	1	1	1	1

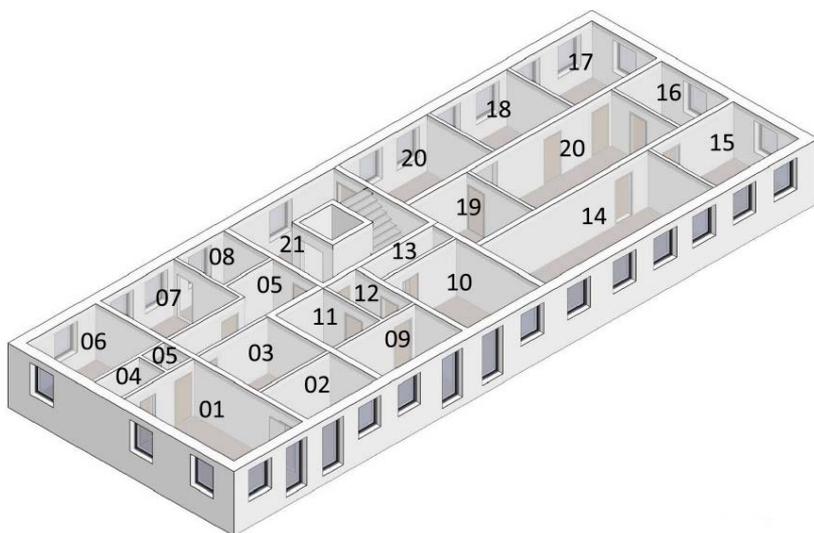


Abbildung 50: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

## 5.8.2 Erhöhter Luftwechsel

### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

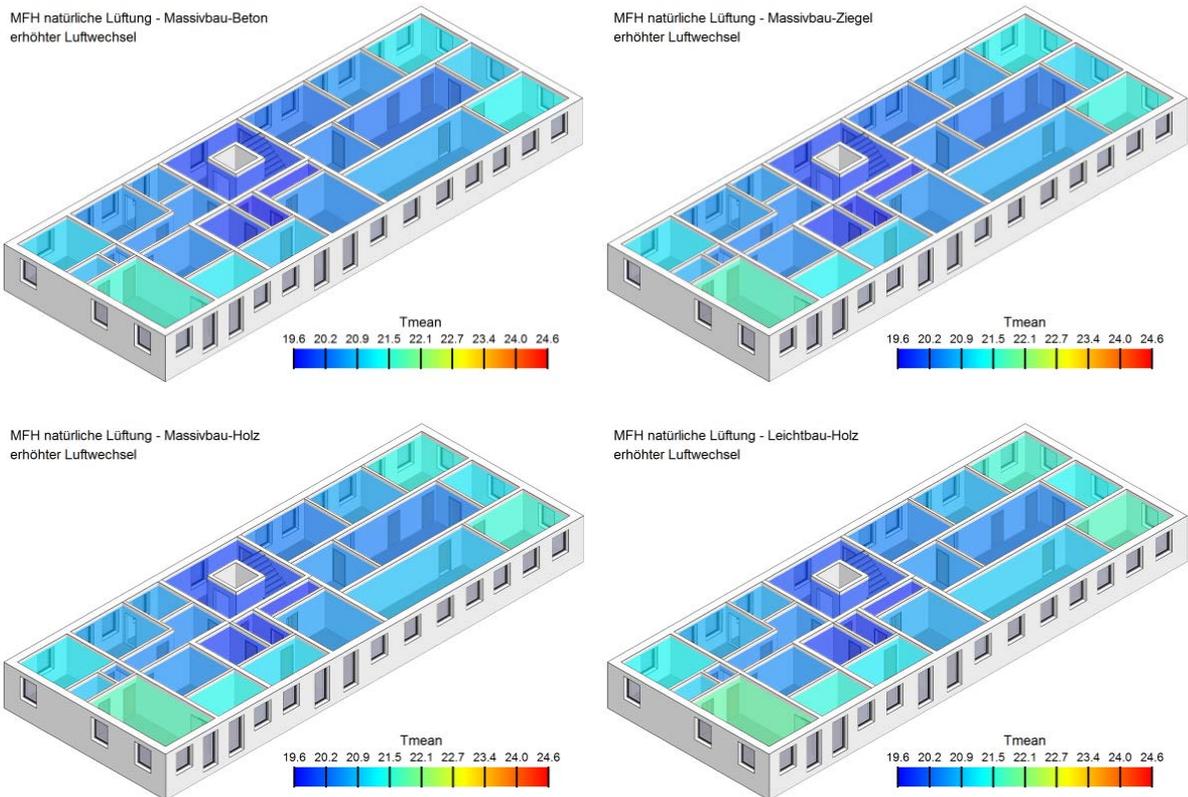
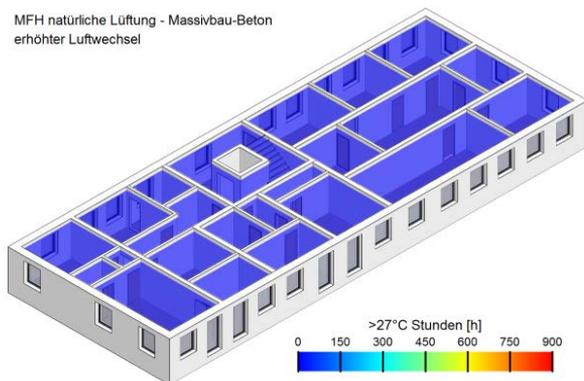


Abbildung 51: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

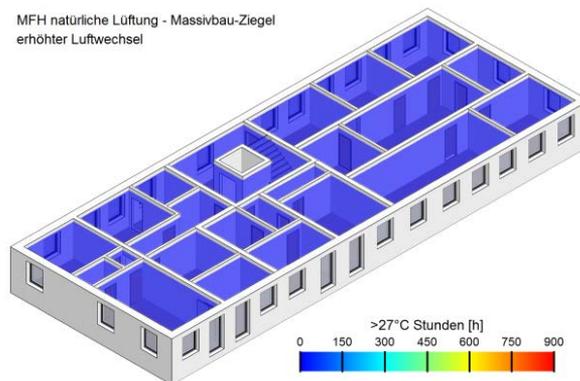
Anmerkung: Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise die Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 20,6°C und 20,8°C.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

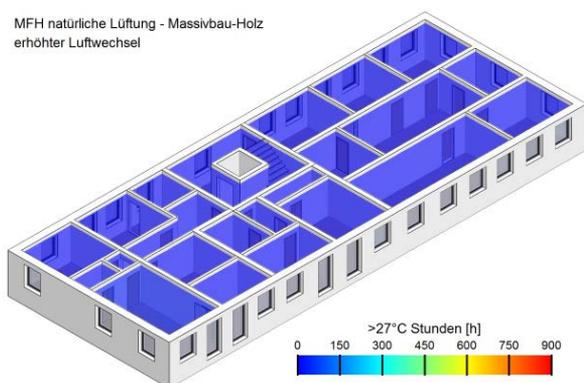
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel

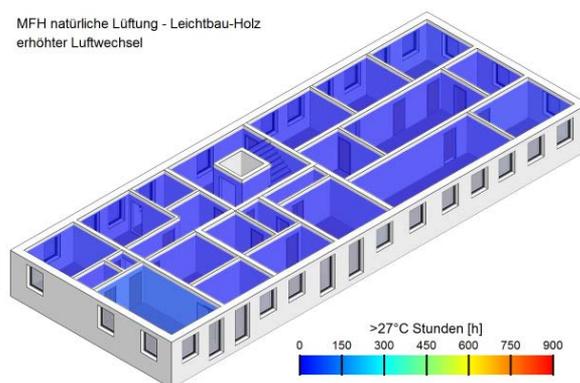
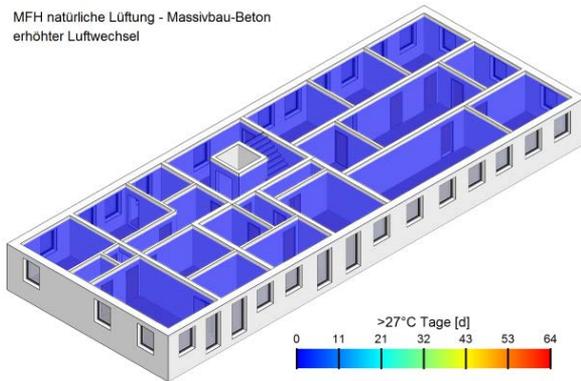


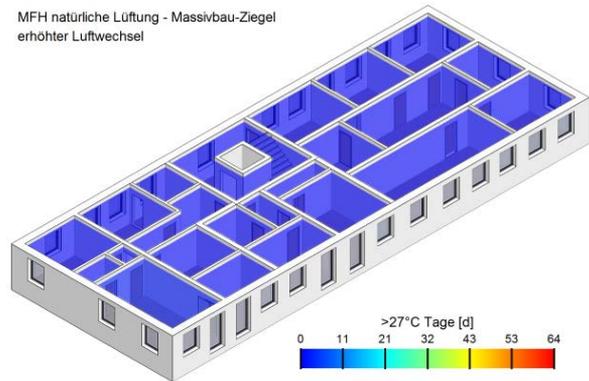
Abbildung 52: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel  
Bei erhöhtem kühlungswirksamen Luftwechsel wird das 27 °C bei allen Bauweisen weitgehend eingehalten. Geringe und kurzzeitige Überschreitungen kommen in einzelnen Zonen vor und können im Detail Tabelle 40 am Ende dieses Abschnitts entnommen werden.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

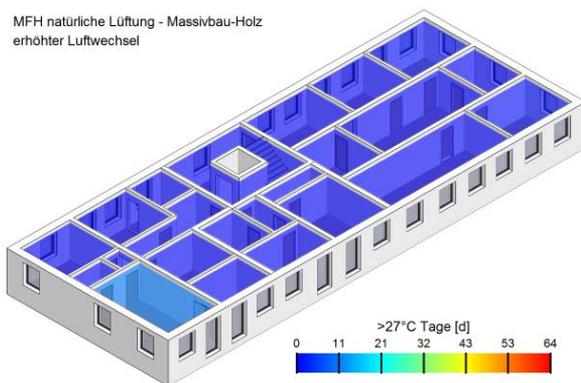
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel

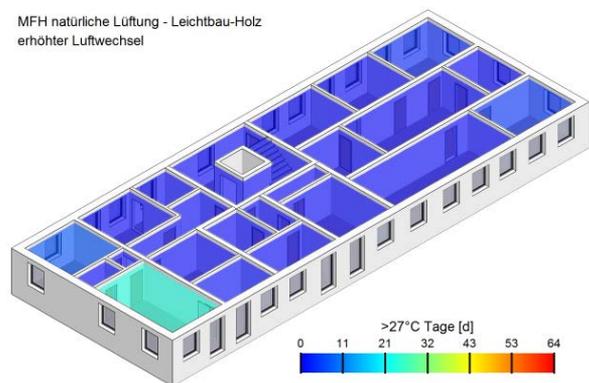


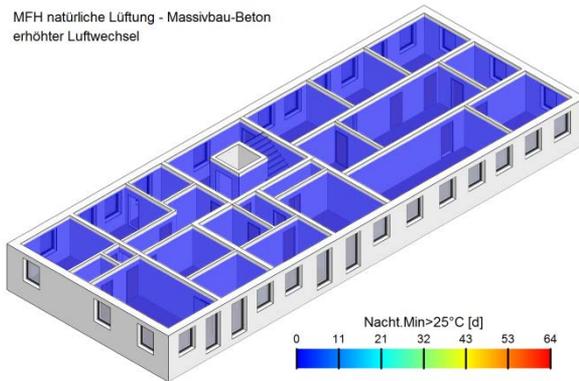
Abbildung 53: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Wenn ein erhöhter Luftwechsel gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium unabhängig von der Bauweise in der Regel eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist die Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 24 Tagen, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 10 Tagen, auf. An den erwähnten 24 Tagen wurde die 27 °C Marke durchschnittlich für 3,3 Stunden pro Tag überschritten.

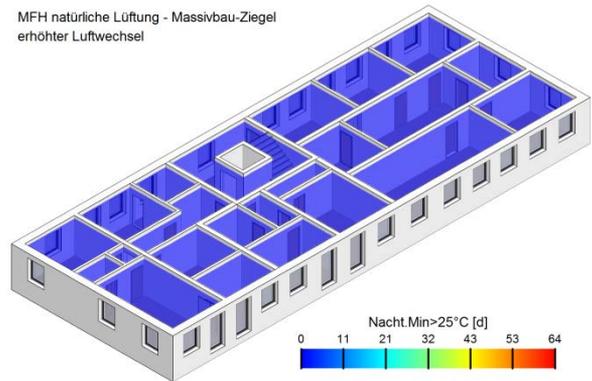
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C-Marke liegt. Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 153 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

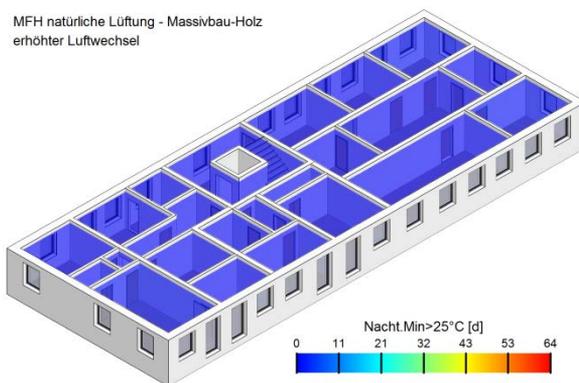
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel

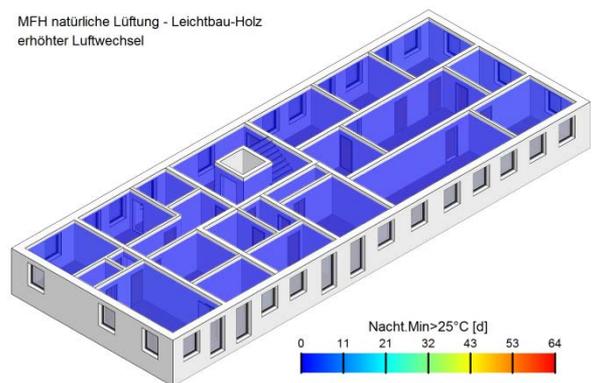


Abbildung 54: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Wenn ein erhöhter Luftwechsel gegeben ist, wird das Kriterium unabhängig von der Bauweise weitgehend eingehalten.

## Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 40 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 40: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	21,5	21,2	20,4	20,8	20,4	21,0	20,5	20,5	20,9	20,4	19,8	19,6	19,7	20,6	21,3	20,9	21,2	20,5	20,3	20,2	19,9
	>27°C-Stunden [h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MZ	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	21,7	21,3	20,4	20,7	20,4	21,1	20,6	20,5	21,0	20,5	19,8	19,7	19,7	20,7	21,4	21,0	21,3	20,6	20,4	20,3	19,9
	>27°C-Stunden [h]	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	21,7	21,4	20,5	20,9	20,4	21,2	20,7	20,6	21,1	20,6	19,9	19,8	19,8	20,8	21,5	21,2	21,4	20,7	20,5	20,4	19,9
	>27°C-Stunden [h]	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
LH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	21,8	21,5	20,5	20,9	20,4	21,3	20,7	20,7	21,2	20,7	19,9	19,8	19,8	20,9	21,7	21,3	21,5	20,7	20,5	20,4	20,0
	>27°C-Stunden [h]	78	5	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	16	0	15	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	24	1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

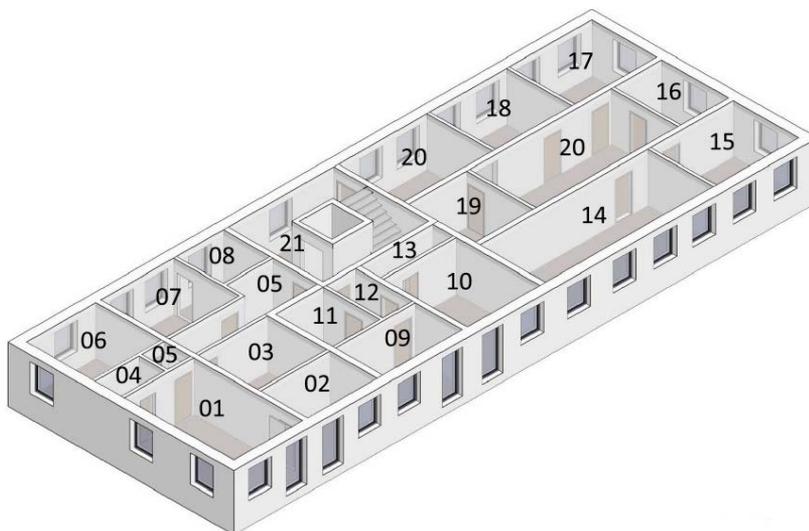


Abbildung 55: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

### 5.8.3 Verringerter Luftwechsel

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

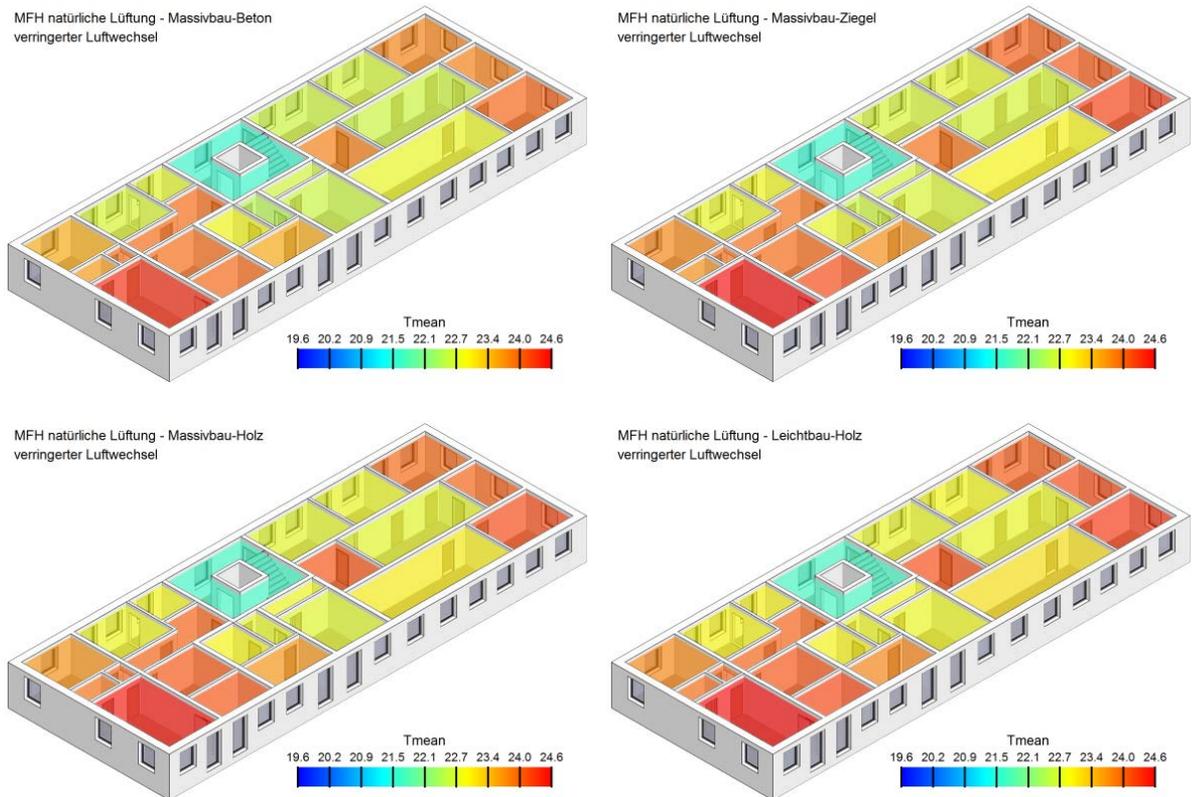


Abbildung 56: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel

Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise die Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 23,2°C und 23,5°C. Infolge des zu geringen kühlungswirksamen Luftwechsels kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der Temperaturen in allen Zonen. Besonders betroffen sind die Zonen mit hohem solarem Eintrag. Die Temperaturerhöhungen sind bei allen Bauweisen sehr ähnlich.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

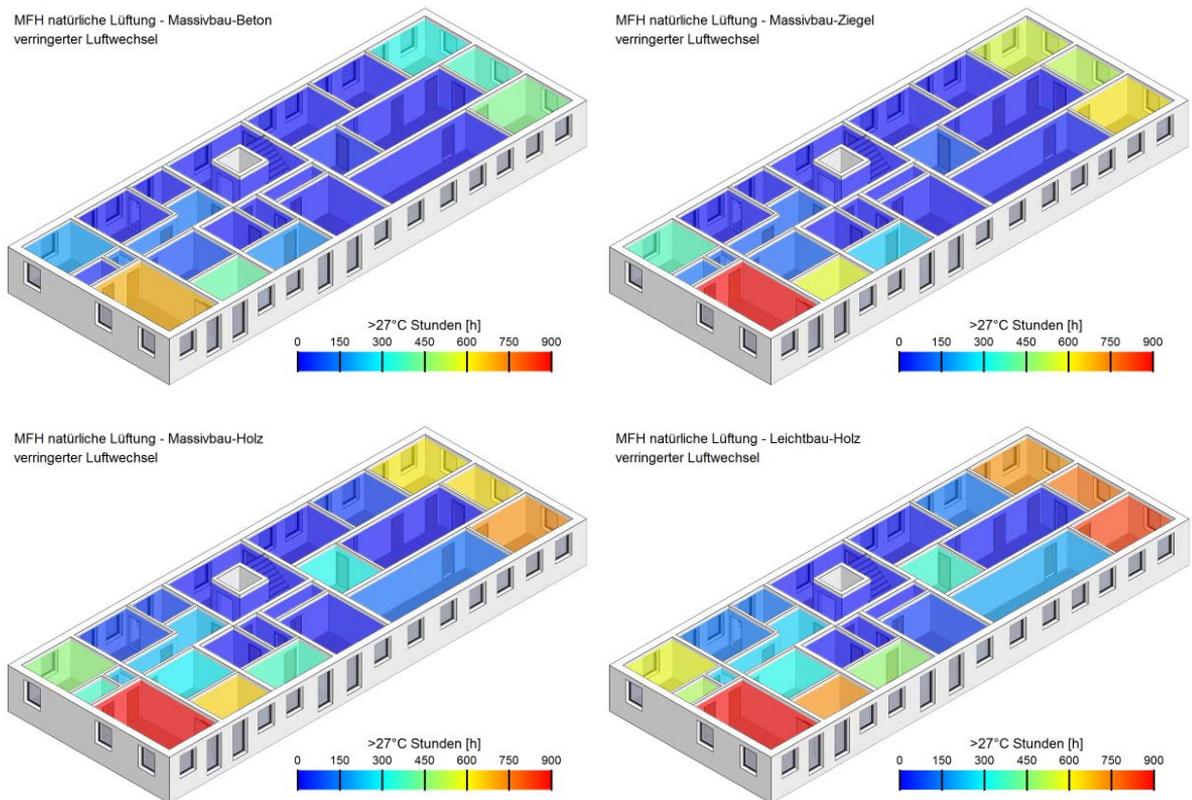


Abbildung 57: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Bei einem verringerten Luftwechsel wird das Kriterium unabhängig von der Bauweise in einigen Zonen nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 1005 Stunden, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 952 Stunden auf. Bei der Massivbauweise-Ziegel ergeben sich in dieser Zone 918 Überschreitungsstunden, bei der Massivbauweise-Beton sind es 691 Überschreitungsstunden. Abhängig von der Dauer der Hitzeperiode nehmen diese Unterschiede ab und kehren sich, sofern in den Nachtstunden ein kühlungswirksamer Luftwechsel gegeben ist, bei längeren Hitzeperioden für den Nachtfall um.

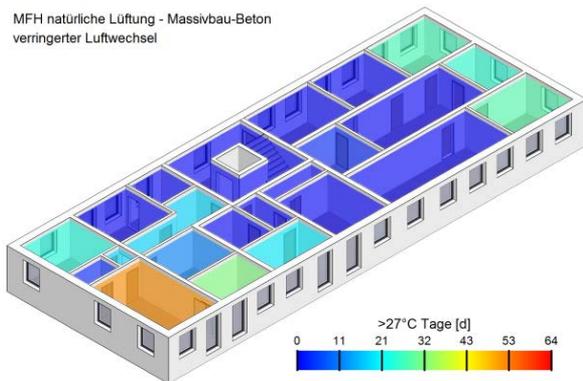
Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 3672 Stunden auf.

Bei dieser Abbildung ist gut ersichtlich, dass die Eckräume, welche nach Osten und Süden sowie nach Süden und Westen ausgerichtet sind, eine höhere operative Temperatur und somit auch mehr Überschreitungsstunden aufweisen, verglichen mit Räume, welche ausschließlich nach Süden orientiert sind. Der Fensterflächenanteil der südlich-östlich orientierten Zone 15 beträgt 25% und liegt damit unter jener der südlich orientierten Zone 09 (28%). Dennoch ist Zone 15 an der Süd-Ost-Ecke deutlich mehr von der Überwärmung betroffen. Dies liegt daran, dass in Zone 15 infolge der nach Süden und Osten ausgerichteten Fenster mehr direkte Sonnenstrahlung eindringen kann. Der bei allen Räumen gleichzeitig aktive Sonnenschutz überlagert diesen Vorgang na-

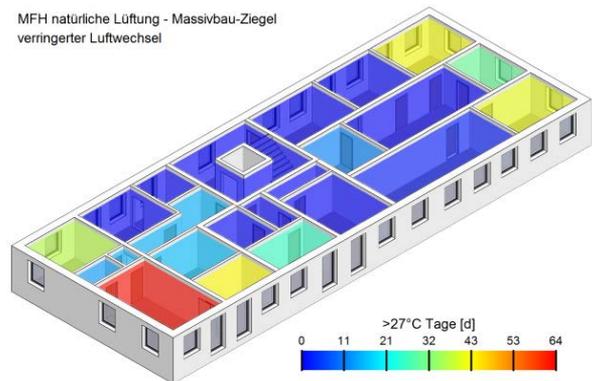
türlich zusätzlich. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der kritischste Raum nicht ausschließlich nach Süden orientiert sein muss.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

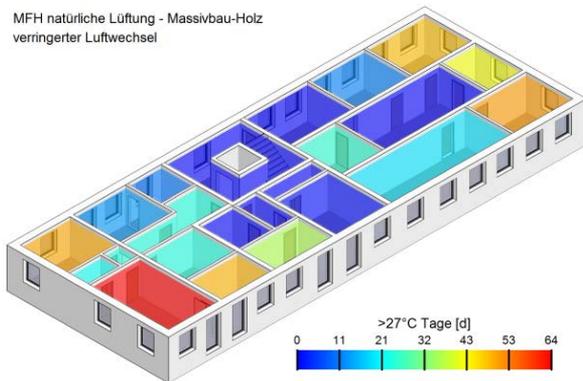
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringertes Luftwechsel

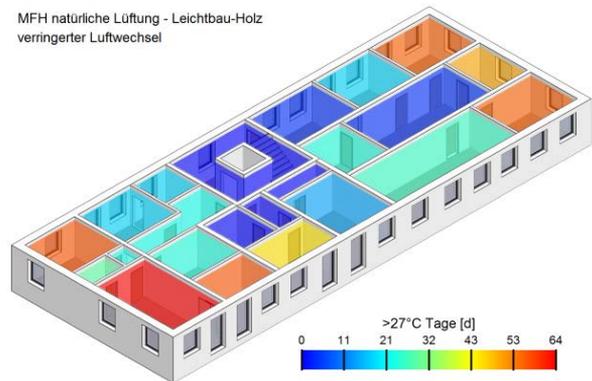


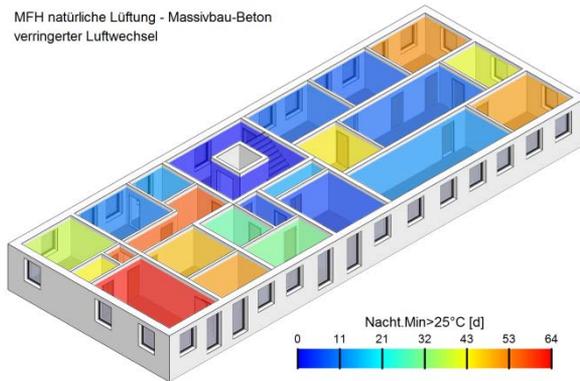
Abbildung 58: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringertes Luftwechsel

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Bei einem verringerten Luftwechsel wird das 27 °C-Kriterium unabhängig von der Bauweise in einigen Zonen nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist die Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 71 Tagen, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 68 Tagen, auf. Für die Massivbauweise-Ziegel und die Massivbauweise-Beton ergeben sich für die Zone 01 63 bzw. 42 Überschreitungstage. Für die erwähnten 71 Tage ergeben sich durchschnittlich 14,2 Überschreitungsstunden je Überschreitungstag.

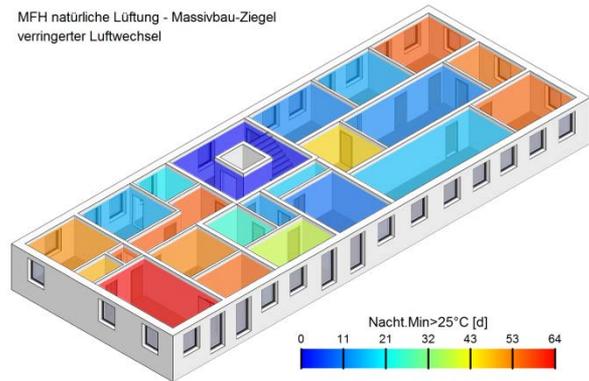
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C Marke liegt. Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 153 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

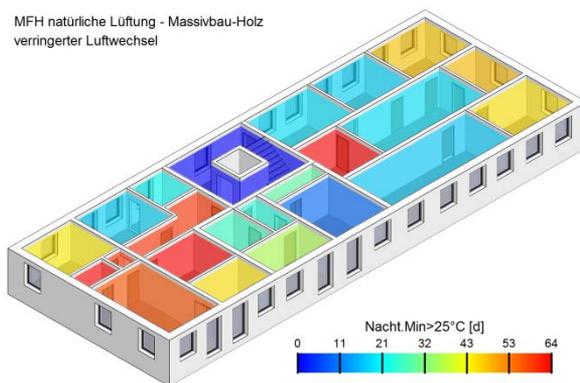
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringertes Luftwechsel

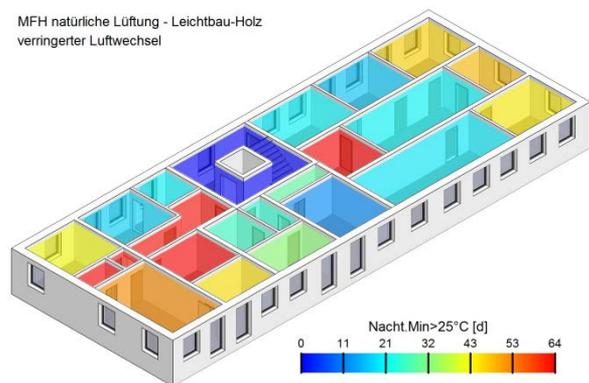


Abbildung 59: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringertes Luftwechsel

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Wenn ein verringertes Luftwechsel gegeben ist, wird das Kriterium unabhängig von der Bauweise in einigen Zonen nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungs Nächten weist die Zone 01 der Massivbauweise-Ziegel mit 66 Nächten, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Beton mit 63 Nächten, auf. Für die Leichtbauweise-Holz und die Massivbauweise-Holz ergeben sich für die Zone 01 52 bzw. 57 Überschreitungs Nächten. Die erhöhte speicherwirksame Masse wirkt sich bei reduziertem kühlungswirksamen Luftwechsel in Hinblick auf die nächtliche Abkühlung also negativ aus. Zwar werden die Tagesspitzen des Temperaturverlaufs gedämpft, aber ebenso wird dadurch die Möglichkeit zur nächtlichen Abkühlung reduziert.

Abhängig von der Dauer der Hitzeperiode und den Fall, dass in den Nachtstunden ein kühlungswirksamer Luftwechsel gegeben ist, ergeben sich Vorteile für Bauweisen mit wenig speicherwirksamer Masse.

## Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 41 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 41: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,4	24,0	23,9	23,6	24,0	23,5	22,7	22,8	23,5	22,6	22,9	22,5	22,7	22,8	24,0	23,8	23,8	22,7	23,8	22,6	21,6
	>27°C-Stunden [h]	691	410	73	24	127	186	0	0	162	0	0	0	0	0	441	372	324	0	25	0	0
	>27°C-Tage [d]	52	32	11	3	18	24	0	0	20	0	0	0	0	0	28	25	27	0	3	0	0
	>25°C-Nächte [d]	63	51	48	43	57	38	10	13	31	5	29	5	14	12	51	41	52	7	44	8	0
MZ	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,6	24,2	24,0	23,7	23,9	23,8	22,8	22,9	23,7	22,7	22,8	22,6	22,7	22,9	24,3	24,1	24,1	22,8	23,9	22,7	21,6
	>27°C-Stunden [h]	918	570	103	122	95	380	0	0	241	0	0	0	0	14	627	520	547	0	80	0	0
	>27°C-Tage [d]	63	43	16	13	15	37	0	0	26	0	0	0	0	2	41	30	42	0	11	0	0
	>25°C-Nächte [d]	66	56	53	49	57	52	15	20	38	9	25	13	17	16	56	55	57	14	46	11	0
MH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,5	24,1	24,1	23,9	24,0	23,7	22,9	22,9	23,7	22,8	22,9	22,8	22,9	23,0	24,2	24,0	24,0	22,8	24,1	22,8	21,6
	>27°C-Stunden [h]	952	651	289	362	225	465	64	60	370	5	0	0	0	116	732	637	619	56	312	0	0
	>27°C-Tage [d]	68	49	24	22	24	50	13	10	36	1	0	0	0	19	51	42	48	11	25	0	0
	>25°C-Nächte [d]	57	45	66	67	60	44	18	22	36	9	26	24	29	17	45	48	47	18	66	19	0
LH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,6	24,2	24,1	24,0	24,0	23,8	22,9	23,0	23,8	22,9	22,9	22,9	22,9	23,1	24,3	24,2	24,1	22,9	24,2	22,8	21,7
	>27°C-Stunden [h]	1005	732	318	505	249	579	137	129	470	61	0	0	0	192	834	769	726	132	354	11	0
	>27°C-Tage [d]	71	57	24	29	23	57	18	18	45	14	0	0	0	26	56	50	56	18	24	4	0
	>25°C-Nächte [d]	52	45	68	68	63	42	18	21	33	12	26	25	29	20	44	48	46	17	69	21	0

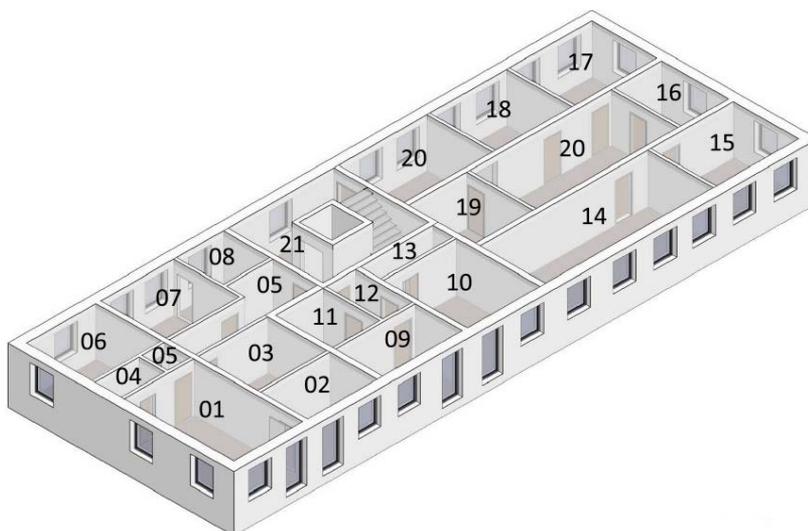


Abbildung 60: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

### 5.8.4 Erhöhte Beschattung

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

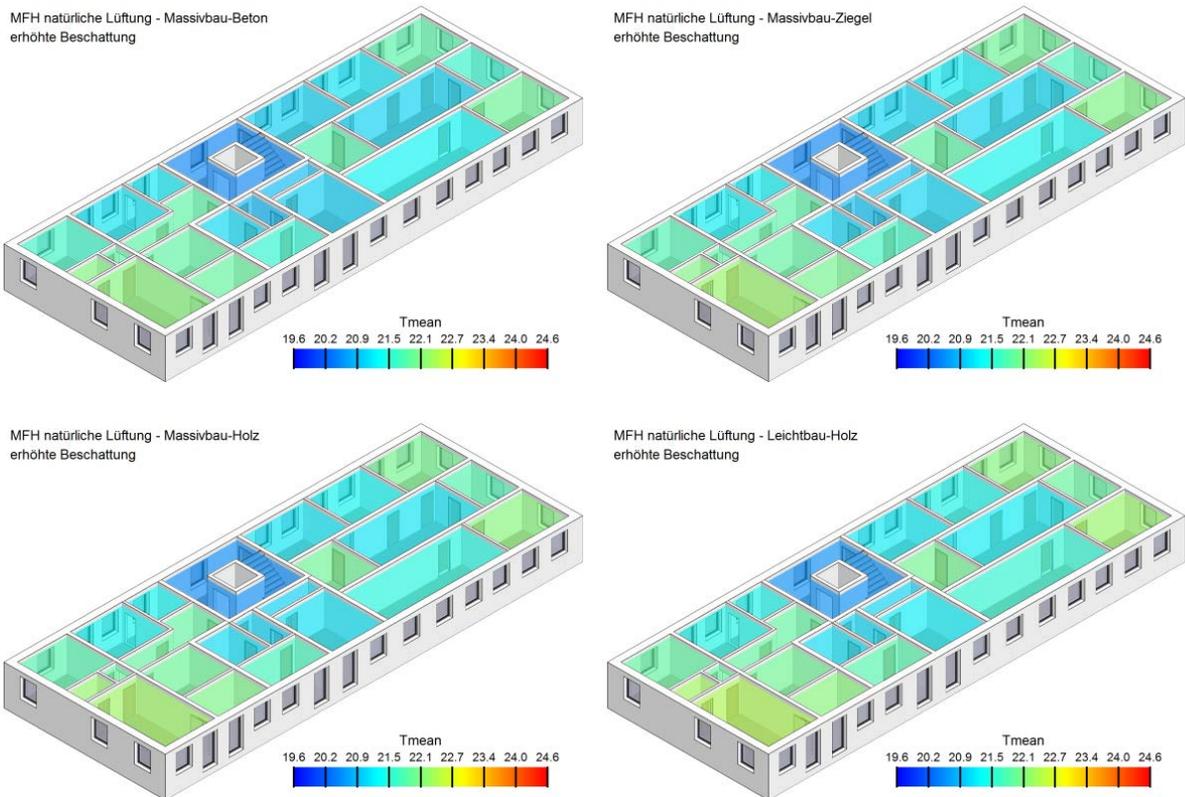
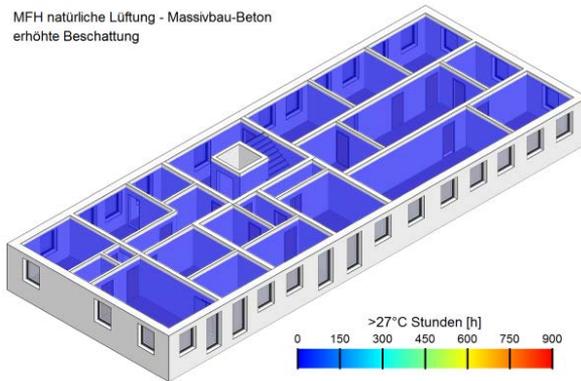


Abbildung 61: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

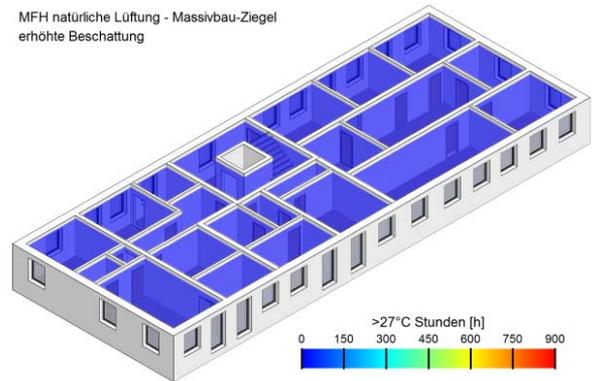
Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 21,4°C und 21,6°C.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

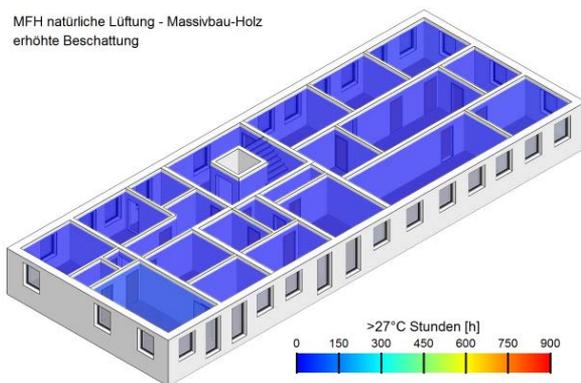
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhte Beschattung

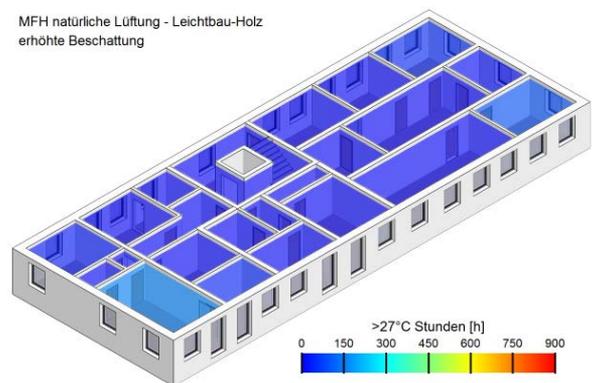


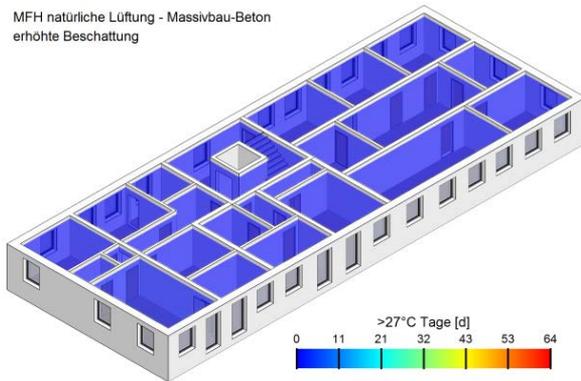
Abbildung 62: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Wenn eine erhöhte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium bis auf wenige Ausnahmen bei der Leichtbauweise-Holz weitgehend eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 153 Stunden auf.

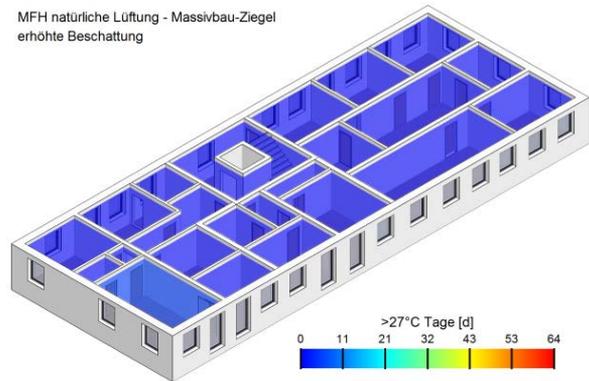
Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 3672 Stunden auf.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

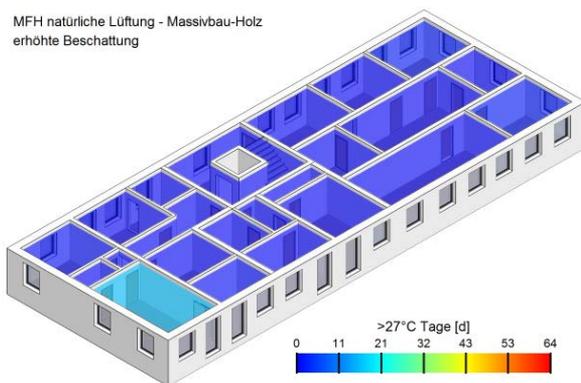
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhte Beschattung

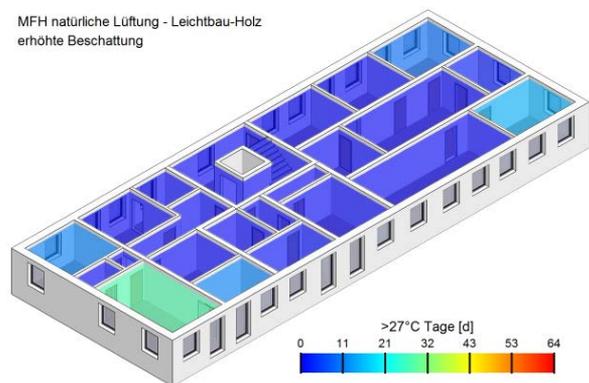


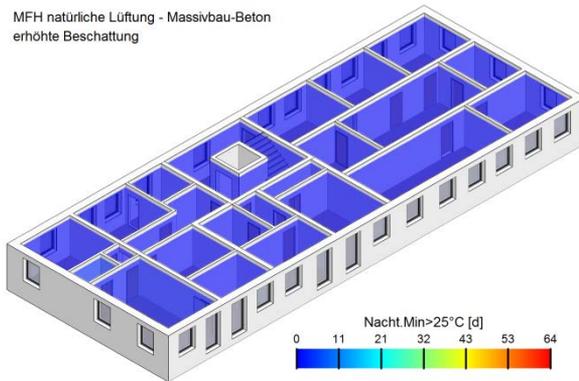
Abbildung 63: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Wenn eine erhöhte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium bis auf ein paar Zonen bei der Leichtbauweise-Holz in der Regel eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 28 Tagen, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 16 Tagen, auf. Bei den 28 Überschreitungstagen lag die Temperatur durchschnittlich an 5,5 Stunden über der 27 °C Marke.

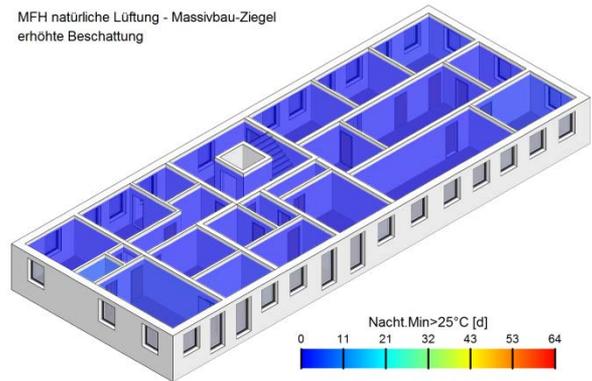
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C Marke liegt. Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 153 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

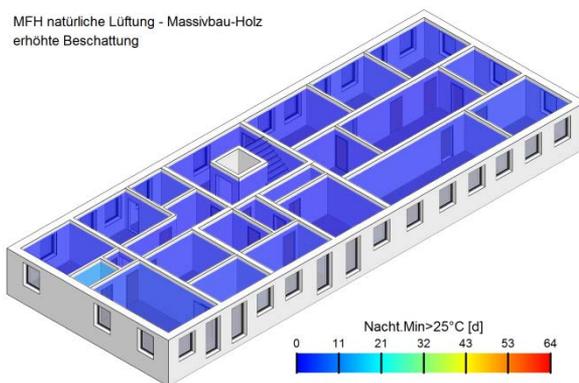
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhte Beschattung

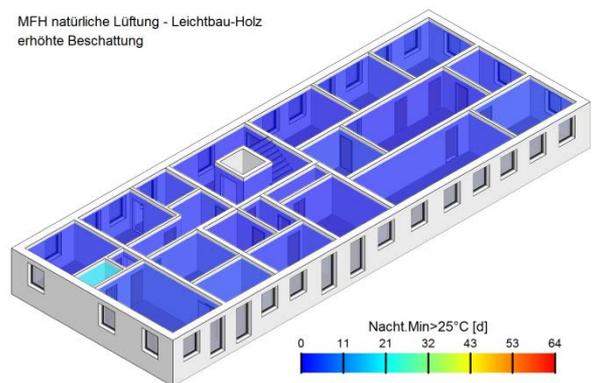


Abbildung 64: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Da dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume gilt, kann grundsätzlich gesagt werden, dass es unabhängig von der Bauweise eingehalten wird.

### Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 42 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 42: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	22,1	21,9	21,8	22,1	21,8	21,6	21,2	21,2	21,5	21,0	21,1	20,8	20,9	21,3	21,9	21,6	21,8	21,1	21,8	21,0	20,5
	>27°C-Stunden [h]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MZ	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	22,3	22,0	21,9	22,1	21,8	21,7	21,2	21,2	21,6	21,0	21,0	20,9	20,9	21,3	22,1	21,7	21,9	21,2	21,8	21,1	20,5
	>27°C-Stunden [h]	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	2	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0
MH	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	22,3	22,1	21,9	22,3	21,9	21,8	21,3	21,3	21,7	21,1	21,1	21,0	21,0	21,4	22,1	21,8	22,0	21,3	22,0	21,2	20,5
	>27°C-Stunden [h]	56	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	13	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	16	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	3	2	1	12	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	2	1	1	1	0	0
LH	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	22,4	22,1	22,0	22,3	21,9	21,9	21,4	21,4	21,8	21,2	21,1	21,0	21,0	21,5	22,3	21,9	22,1	21,4	22,0	21,2	20,6
	>27°C-Stunden [h]	153	39	0	0	0	25	0	0	4	0	0	0	0	0	94	9	45	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	28	11	0	0	0	11	0	0	1	0	0	0	0	0	15	2	9	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	3	3	2	19	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	3	1	2	1	2	0

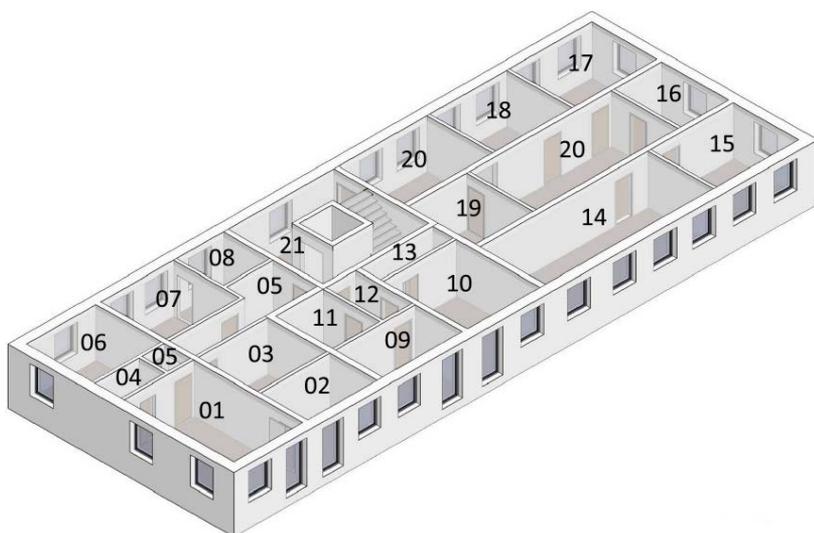


Abbildung 65: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

### 5.8.5 Verringerte Beschattung

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

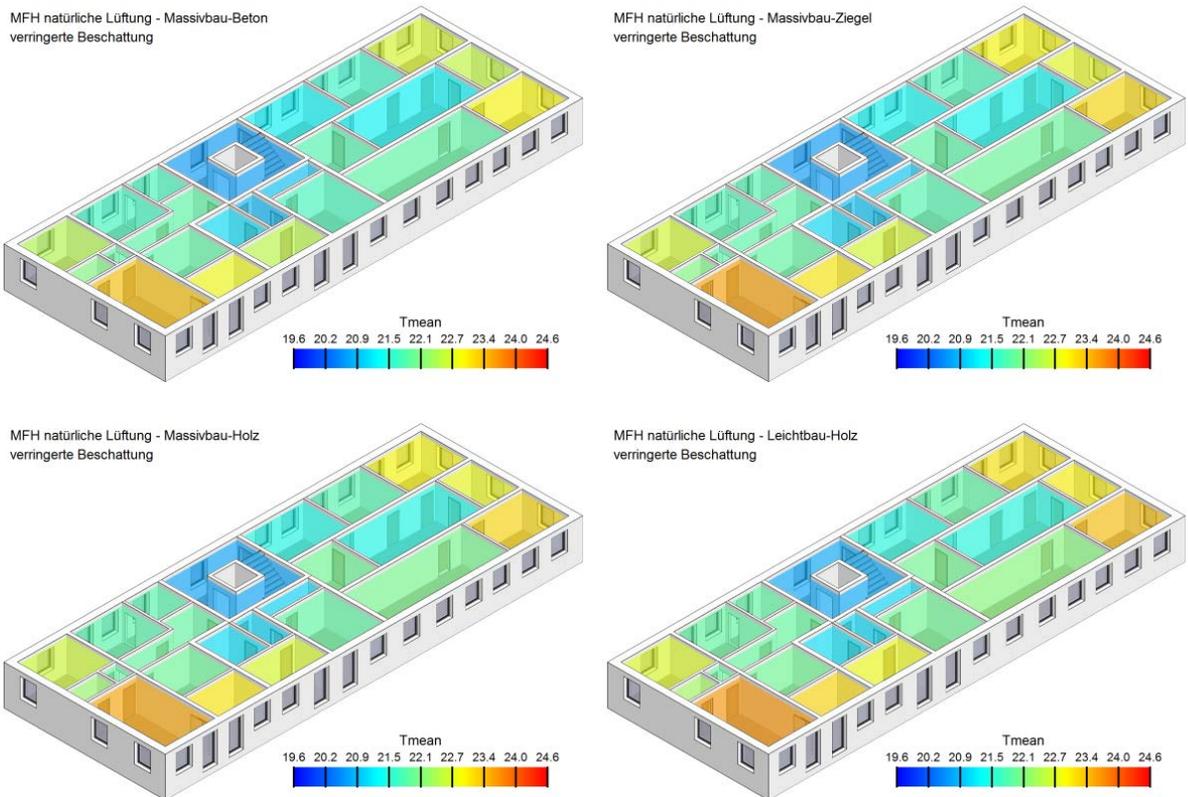
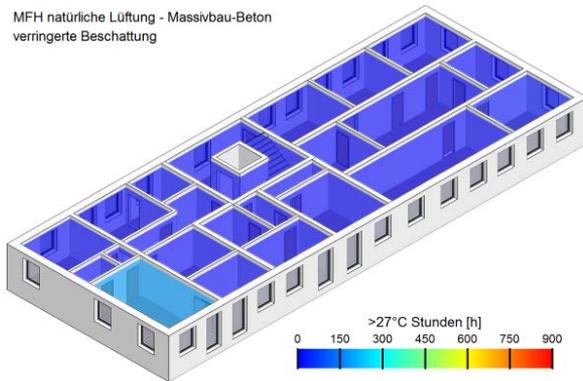


Abbildung 66: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

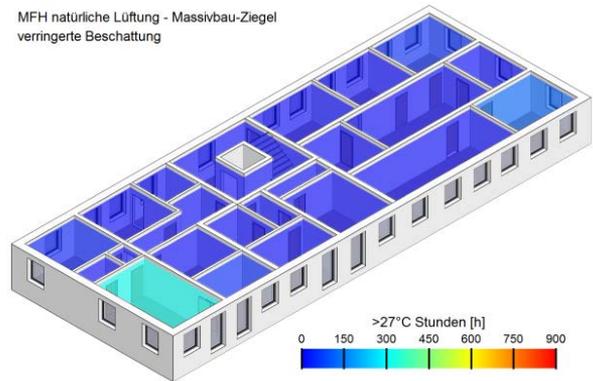
Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Anschließend kommen die Zonen 15, 16 und 17, welche an der Ostseite situiert sind, sowie die Zone 02, welche neben Zone 01 liegt und ausschließlich nach Süden orientiert ist. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 21,9°C und 22,1°C.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

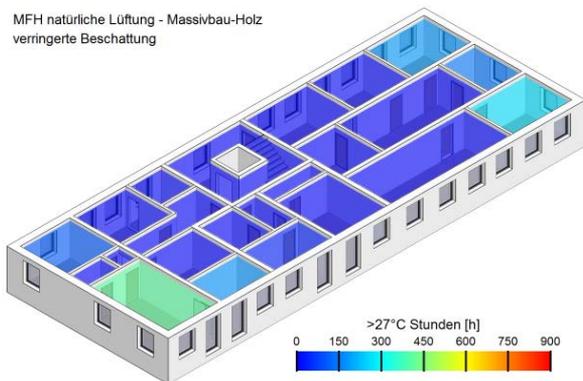
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringerte Beschattung

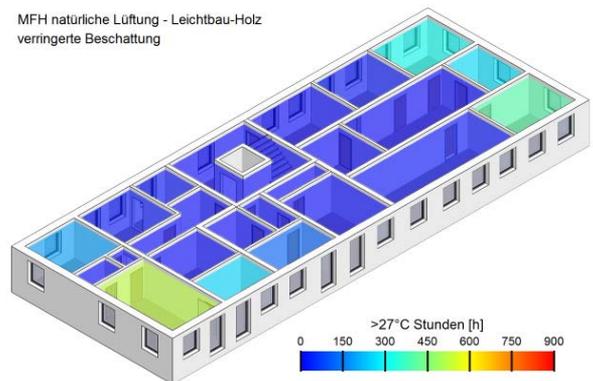
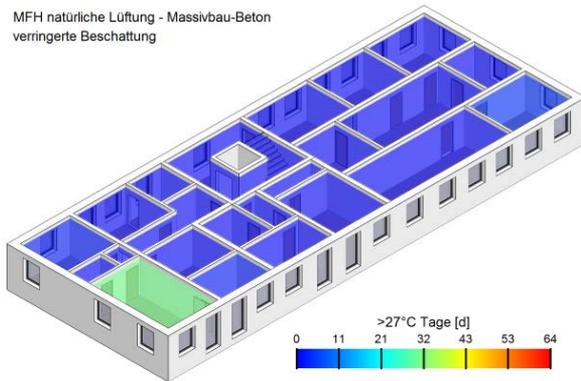


Abbildung 67: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung  
Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Wenn eine verringerte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium vor allem bei den Bauweisen mit wenig speicherwirksamer Masse in einigen Zonen nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 523 Stunden, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 410 Stunden, auf. Für die Massivbauweise-Ziegel und die Massivbauweise-Beton ergeben sich für Zone 01 313 bzw. 183 Überschreitungsstunden.

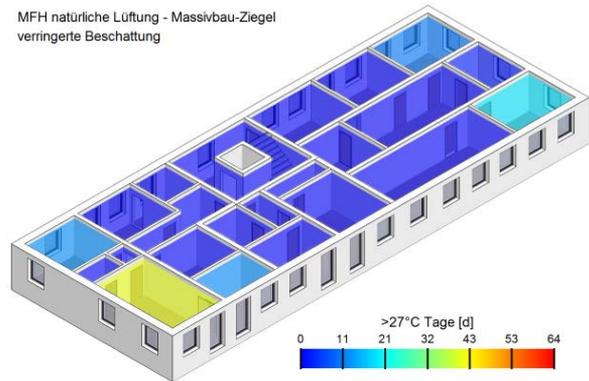
Der Auswertezeitraum von Mai bis September weist insgesamt 3672 Stunden auf.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

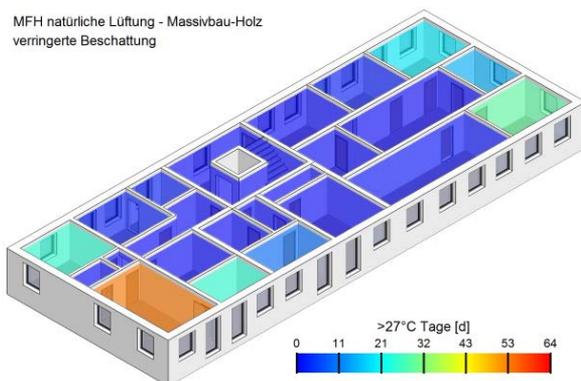
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringerte Beschattung

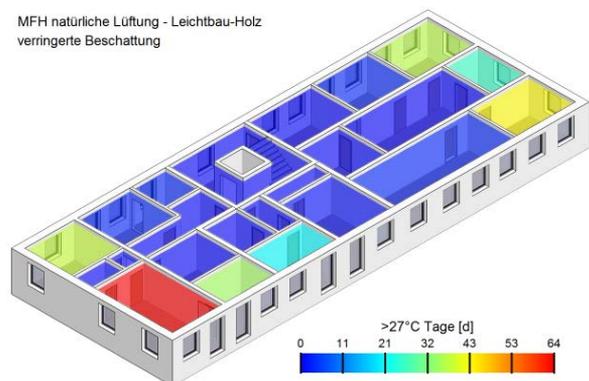


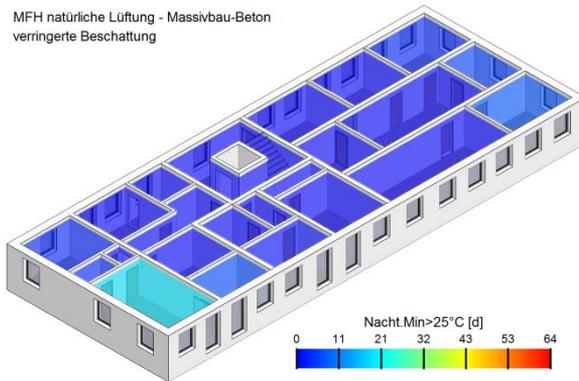
Abbildung 68: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Wenn eine verringerte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium in einigen Zonen, besonders in den Eckräumen, nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist die Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 67 Tagen, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 54 Tagen, auf. Für die Massivbauweise-Ziegel und die Massivbauweise-Beton ergeben sich für die Zone 01 41 bzw. 31 Überschreitungstage. Bei den 67 Überschreitungstagen lagen im Durchschnitt jeweils 7,8 Stunde über der 27 °C Marke.

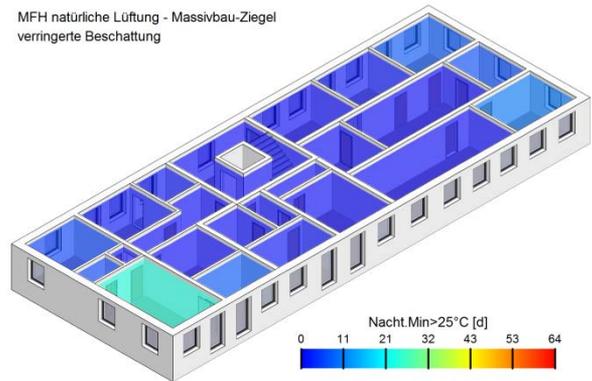
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C Marke liegt. Der Auswertzeitraum von Mai bis September weist insgesamt 153 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

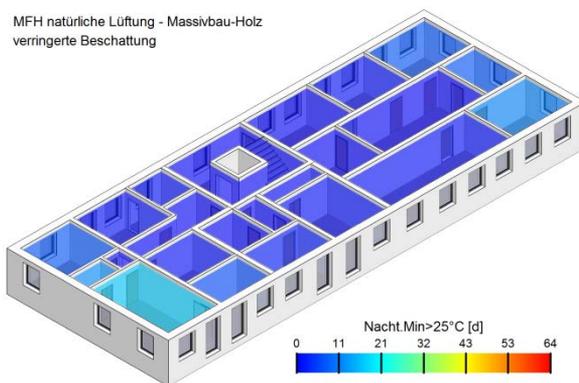
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringerte Beschattung

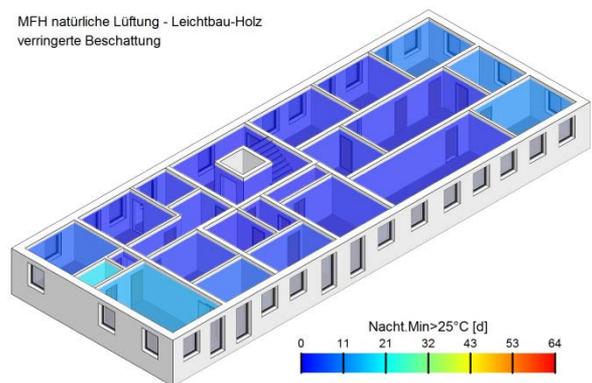


Abbildung 69: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Da dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume gilt, kann gesagt werden, dass es bis auf wenige Ausnahmen grundsätzlich eingehalten wird. Die größte Anzahl an Überschreitungs Nächten weist die Zone 01 der Massivbauweise-Ziegel mit 24 Nächten, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Beton mit 19 Nächten, auf. Für die Massivbauweise-Holz und die Leichtbauweise-Holz ergeben sich für die Zone 01 17 bzw. 14 Überschreitungs Nächten.

## Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 43 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 43: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	23,3	22,9	21,8	22,1	21,8	22,5	21,6	21,7	22,5	21,7	21,1	20,8	20,9	21,8	22,9	22,6	22,7	21,6	21,8	21,3	20,6
	>27°C-Stunden [h]	183	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	31	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	19	6	0	3	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	7	5	3	0	0	0	0
MZ	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	23,5	23,1	21,9	22,1	21,8	22,7	21,7	21,8	22,7	21,8	21,0	20,9	20,9	21,9	23,2	22,8	22,9	21,7	21,8	21,3	20,6
	>27°C-Stunden [h]	313	44	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	118	3	45	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	41	12	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	19	2	10	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	24	7	0	5	0	5	1	1	1	0	0	0	0	0	10	6	7	1	0	0	0
MH	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	23,5	23,1	22,0	22,3	21,9	22,6	21,8	21,8	22,7	21,9	21,1	21,0	21,0	22,0	23,2	22,8	22,9	21,8	22,0	21,4	20,7
	>27°C-Stunden [h]	410	173	0	0	0	107	6	6	37	0	0	0	0	3	264	140	181	6	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	54	25	0	0	0	25	2	2	9	0	0	0	0	1	29	15	20	2	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	17	6	1	12	0	7	1	1	2	1	0	0	0	1	11	7	7	1	0	0	0
LH	$T_{\text{mean,operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	23,6	23,2	22,0	22,4	21,9	22,7	21,9	21,9	22,8	22,0	21,1	21,0	21,0	22,1	23,3	23,0	23,1	21,8	22,0	21,4	20,7
	>27°C-Stunden [h]	523	254	0	0	0	189	20	16	116	2	0	0	0	15	398	266	314	18	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	67	35	0	0	0	38	3	3	21	1	0	0	0	3	43	26	37	3	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	14	6	2	19	1	6	1	1	3	1	0	0	0	1	11	10	9	1	1	1	0

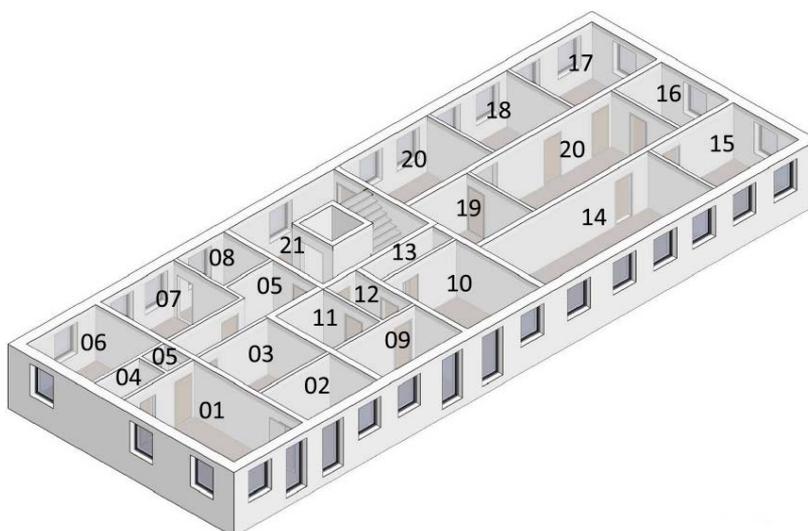


Abbildung 70: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

## 5.9 Falschfarbendarstellung: heißeste Woche Wohnnutzung

### 5.9.1 Base Case

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

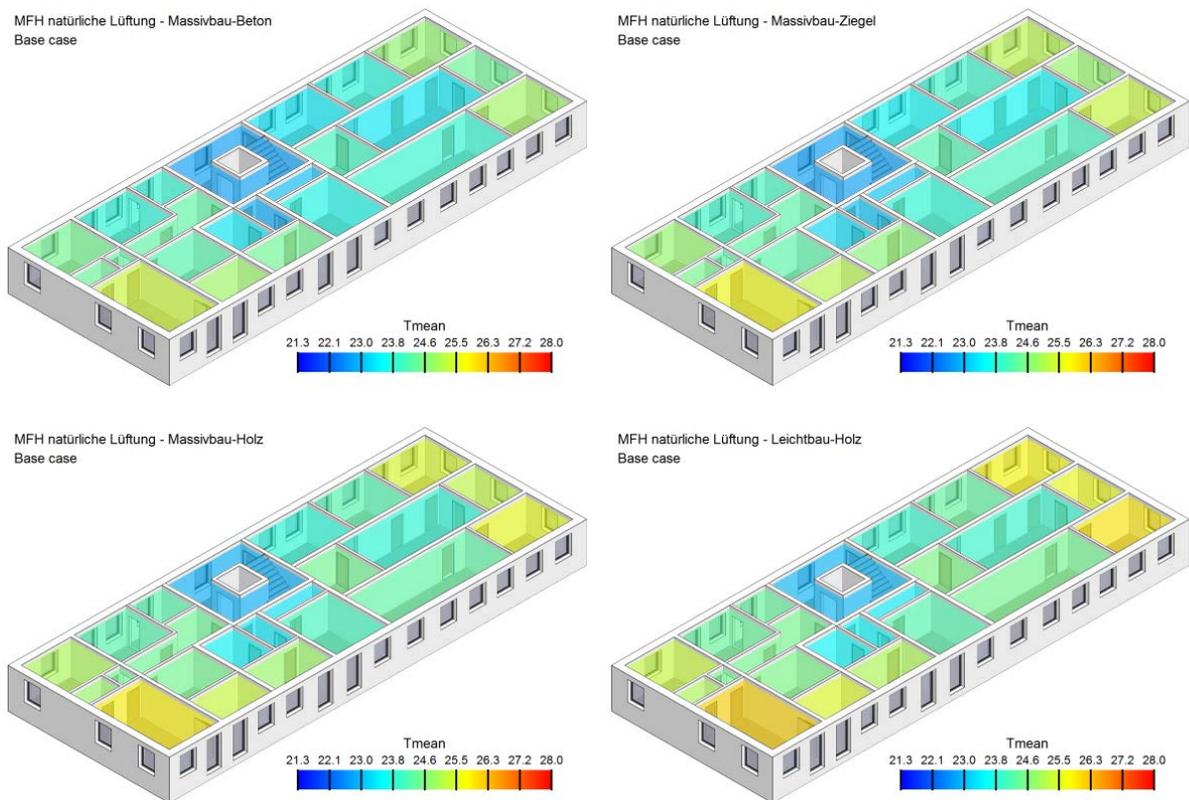
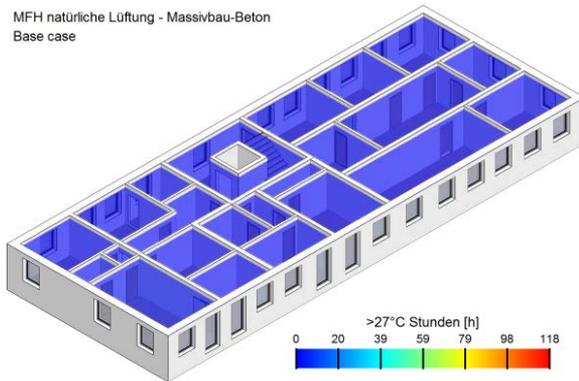


Abbildung 71: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case

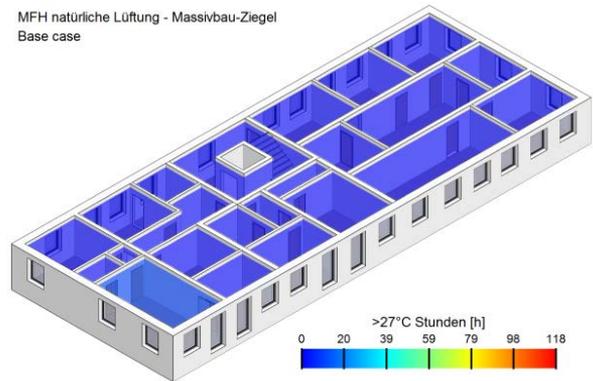
Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Anschließend kommen die Zonen 15, 16 und 17, welche an der Ostseite situiert sind, sowie Zone 02, welche neben Zone 01 liegt und ausschließlich nach Süden orientiert ist. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 24,0 °C und 24,6 °C.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

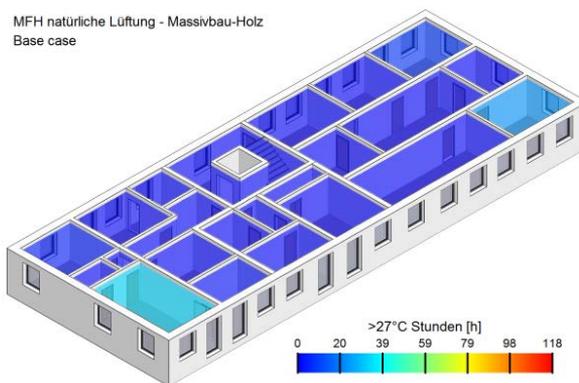
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
Base case

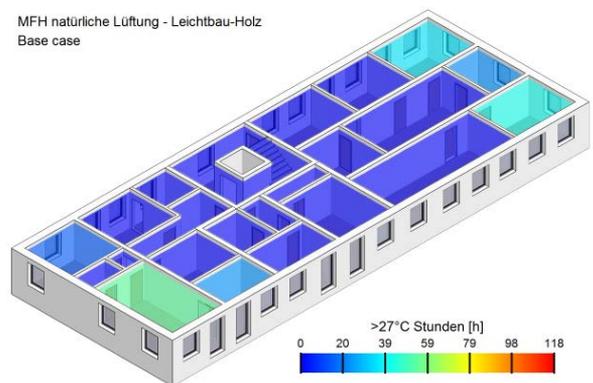


Abbildung 72: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 54 Stunden, gefolgt von Zone 15 derselben Bauweise mit 42 Stunden, auf.

Der Auswertzeitraum der heißesten Woche umfasst insgesamt 168 Stunden.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

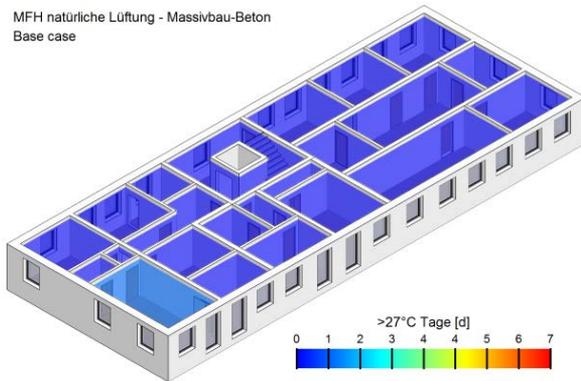
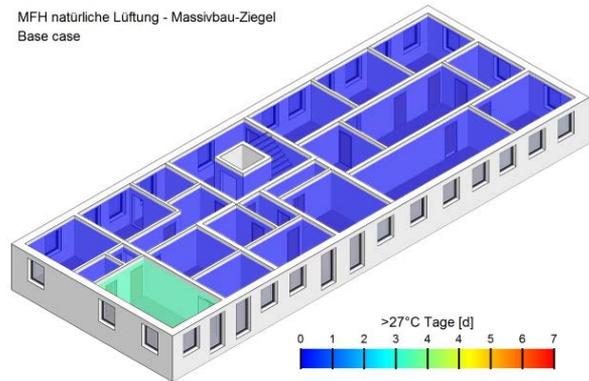
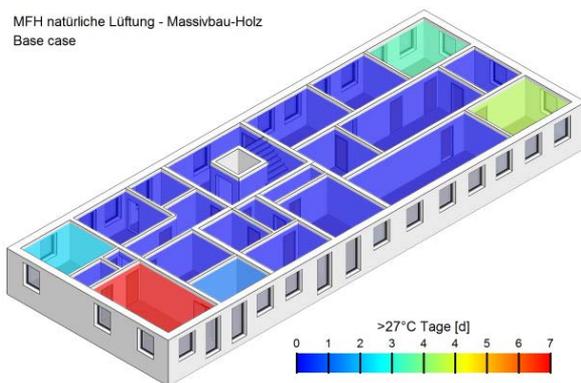
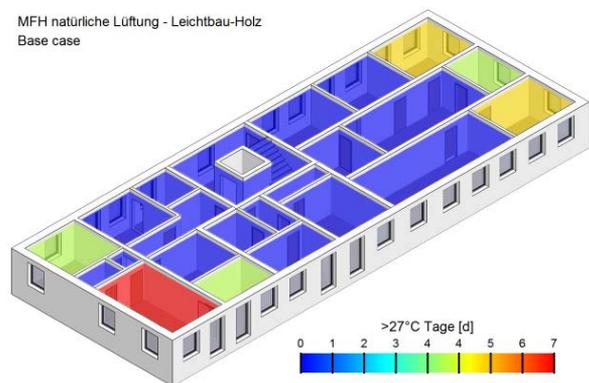
 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
Base case

 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
Base case

 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
Base case

 MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
Base case


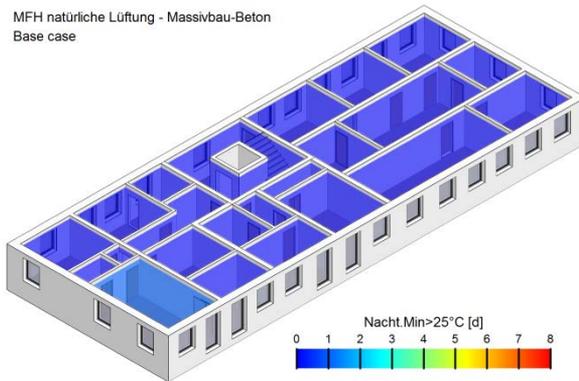
Abbildung 73: Überschreitungstage &gt; 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist Zone 01 der Leicht- sowie Massivbauweise-Holz mit jeweils 7 Tagen auf. Für die soeben erwähnten 7 Tage ergeben sich für die Leichtbauweise-Holz durchschnittlich 7,7 Stunden, für die Massivbauweise-Holz durchschnittlich 4,7 Stunden mit einer operativen Temperatur größer 27 °C.

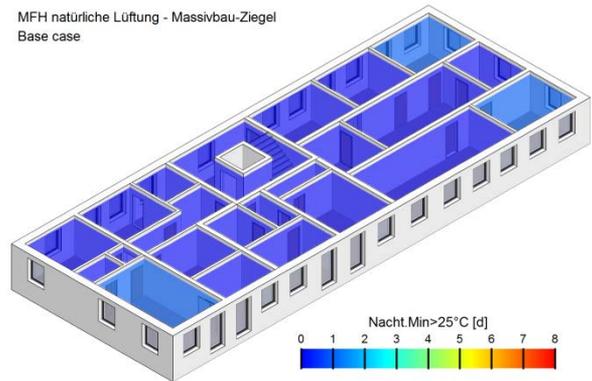
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C Marke liegt. Der Auswertez Zeitraum der heißesten Woche weist 7 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

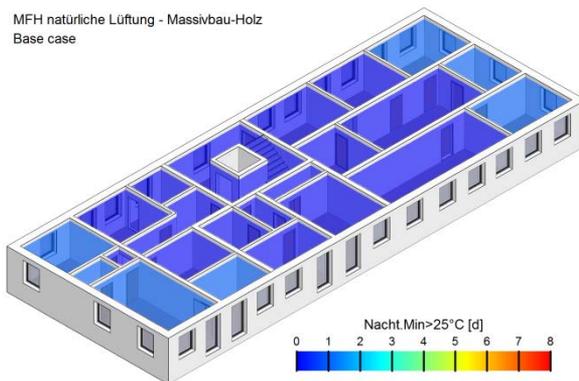
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
Base case



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
Base case

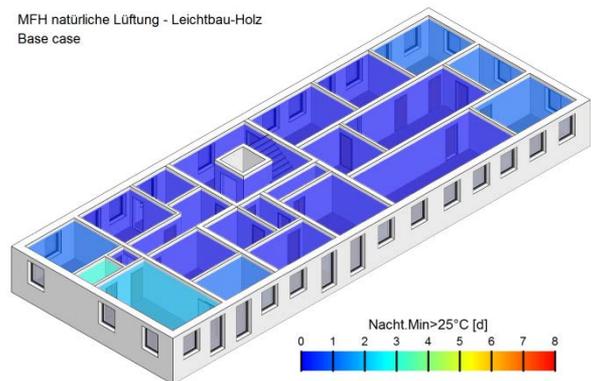


Abbildung 74: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Das Kriterium wird unabhängig von der Bauweise bis auf wenige Ausnahmen eingehalten. Zone 04 der Leichtbauweise-Holz wird nicht weiter berücksichtigt, da dieser Raum als Abstell- bzw. Vorratsraum genutzt wird. Die somit größte Anzahl an Überschreitungs Nächten weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 2 Nächten auf.

## Tabellarische Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 44 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 44: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	25,3	24,9	24,2	24,4	24,3	24,5	23,8	23,9	24,5	23,7	23,4	22,8	23,0	23,9	24,9	24,5	24,8	23,8	24,0	23,4	22,7
	>27°C-Stunden [h]	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MZ	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	25,7	25,2	24,3	24,5	24,3	24,9	24,0	24,1	24,7	23,8	23,3	23,0	23,1	24,1	25,3	24,8	25,2	24,0	24,2	23,6	22,7
	>27°C-Stunden [h]	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
MH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	25,9	25,3	24,5	24,9	24,5	25,1	24,2	24,2	24,9	24,1	23,5	23,4	23,3	24,3	25,6	25,2	25,5	24,2	24,5	23,8	22,9
	>27°C-Stunden [h]	33	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	8	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
LH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	26,1	25,5	24,6	25,1	24,5	25,3	24,4	24,4	25,1	24,2	23,5	23,5	23,4	24,5	25,9	25,6	25,8	24,4	24,6	24,0	22,9
	>27°C-Stunden [h]	54	23	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	42	22	36	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	5	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	2	1	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

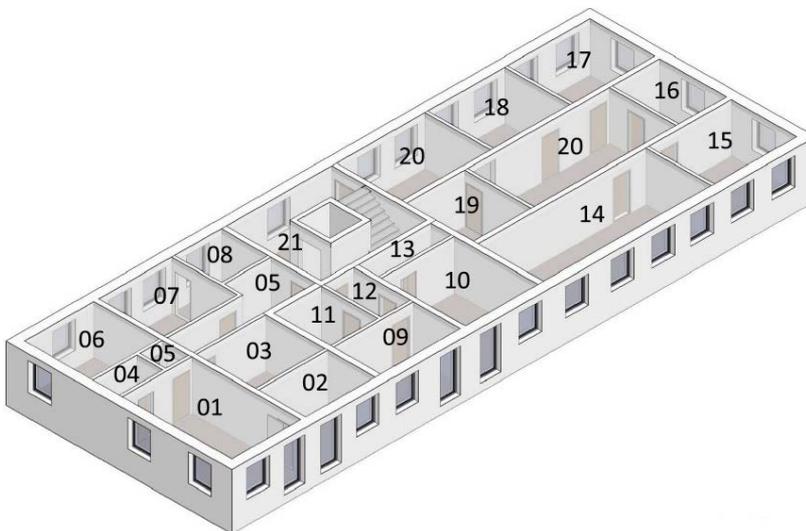


Abbildung 75: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

## 5.9.2 Erhöhter Luftwechsel

### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

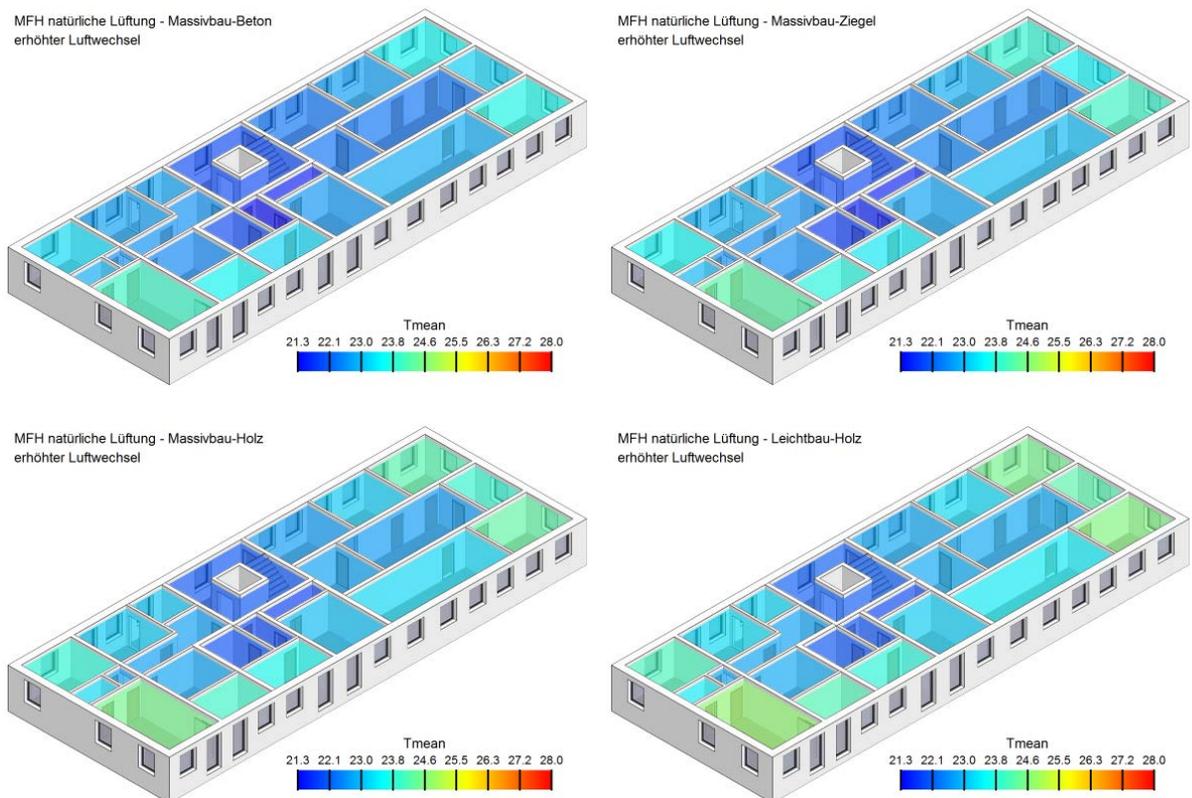
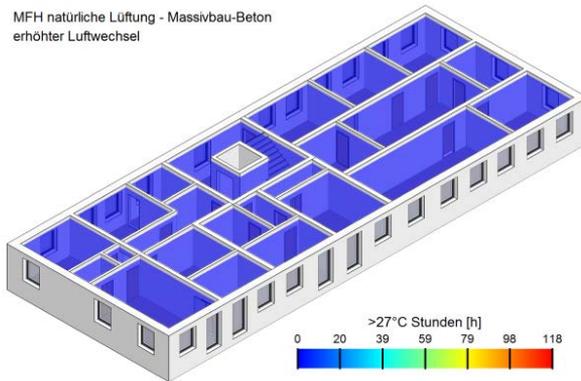


Abbildung 76: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

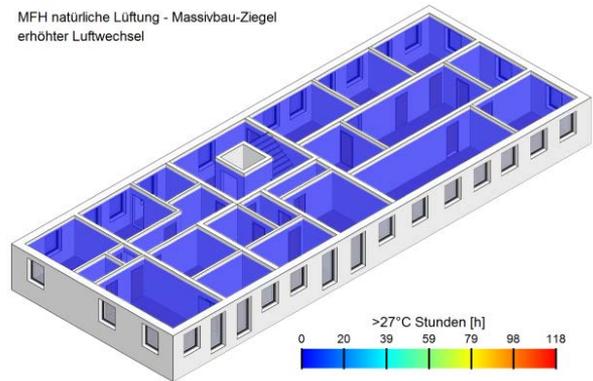
Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 22,7 °C und 23,3 °C.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

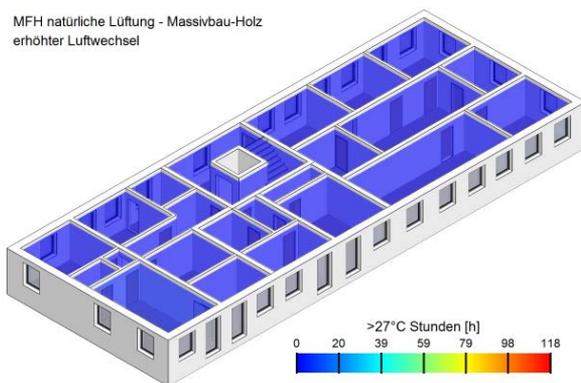
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel

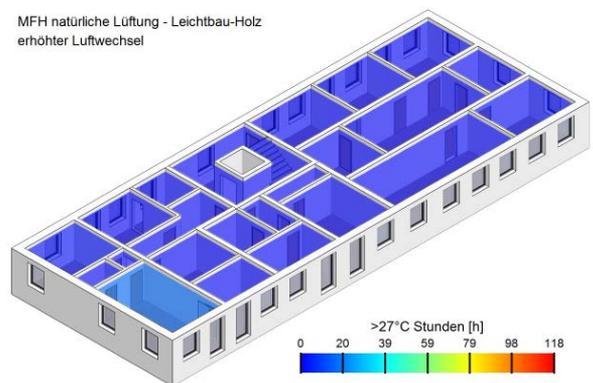


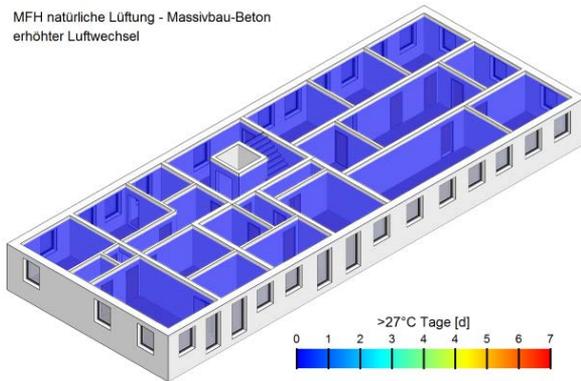
Abbildung 77: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

Anmerkung: Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Wenn ein erhöhter Luftwechsel gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium unabhängig von der Bauweise in der Regel eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 16 Stunden auf.

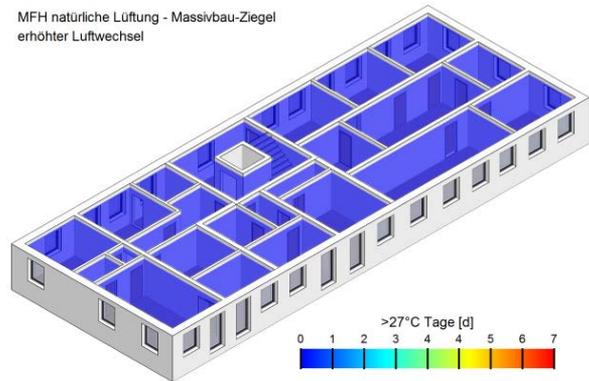
Der Auswertezeitraum der heißesten Woche umfasst insgesamt 168 Stunden.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

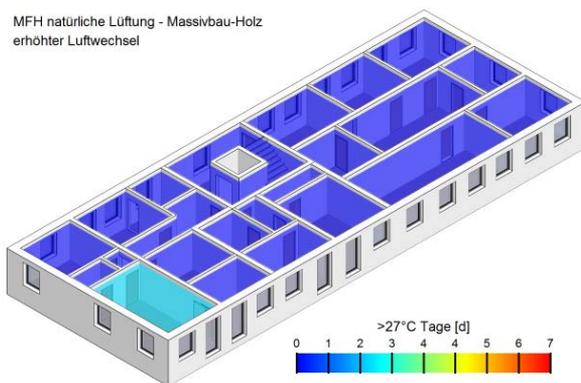
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel

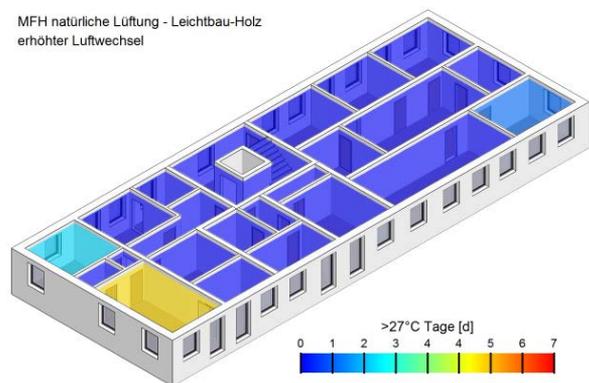


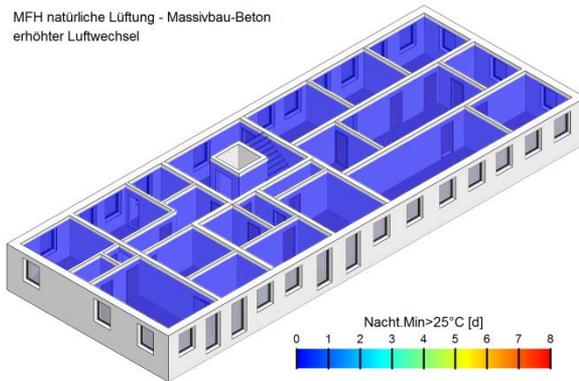
Abbildung 78: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Wenn ein erhöhter Luftwechsel gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium unabhängig von der Bauweise in der Regel eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 5 Tagen, gefolgt von Zone 01 der Massivbauweise-Holz mit 2 Tagen, auf. An den erwähnten 5 Tagen wurde die 27 °C Marke durchschnittlich für 3,2 Stunden pro Tag überschritten.

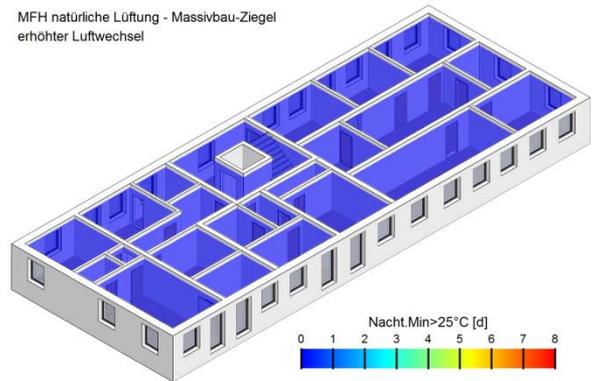
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C-Marke liegt. Der Auswertez Zeitraum der heißesten Woche weist 7 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

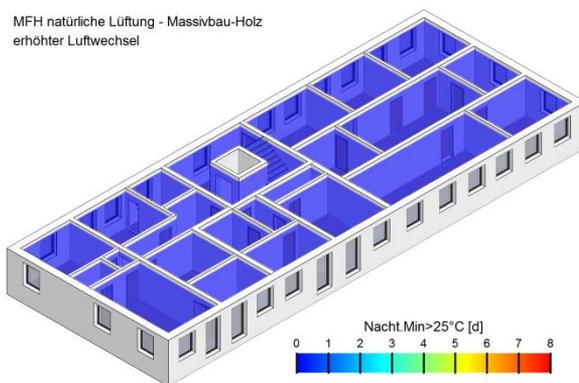
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhter Luftwechsel

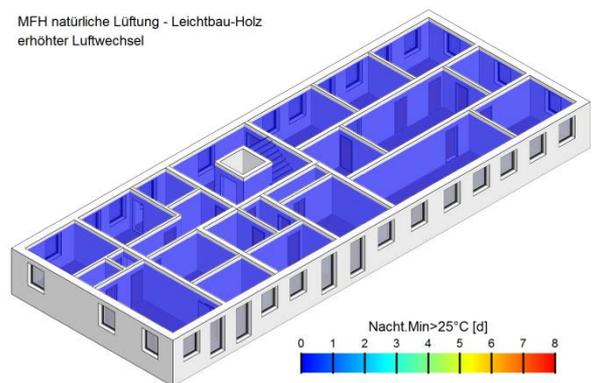


Abbildung 79: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- bzw. Ruheräume.

Wenn ein erhöhter Luftwechsel gegeben ist, wird das Kriterium unabhängig von der Bauweise zur Gänze eingehalten.

## Tabellarische Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 45 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 45: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,0	23,6	22,5	22,9	22,6	23,3	22,7	22,7	23,2	22,6	21,9	21,3	21,5	22,8	23,7	23,2	23,6	22,7	22,3	22,3	21,9
	>27°C-Stunden [h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MZ	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,3	23,8	22,5	22,9	22,6	23,6	22,9	22,9	23,4	22,7	21,8	21,5	21,5	23,0	24,0	23,5	23,9	22,9	22,4	22,4	21,9
	>27°C-Stunden [h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,5	24,0	22,8	23,3	22,7	23,8	23,1	23,1	23,6	23,0	22,0	21,9	21,8	23,3	24,3	23,9	24,2	23,1	22,7	22,7	22,0
	>27°C-Stunden [h]	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,8	24,2	22,8	23,5	22,7	24,1	23,3	23,2	23,8	23,1	22,0	22,0	21,9	23,4	24,7	24,2	24,5	23,3	22,8	22,8	22,1
	>27°C-Stunden [h]	16	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

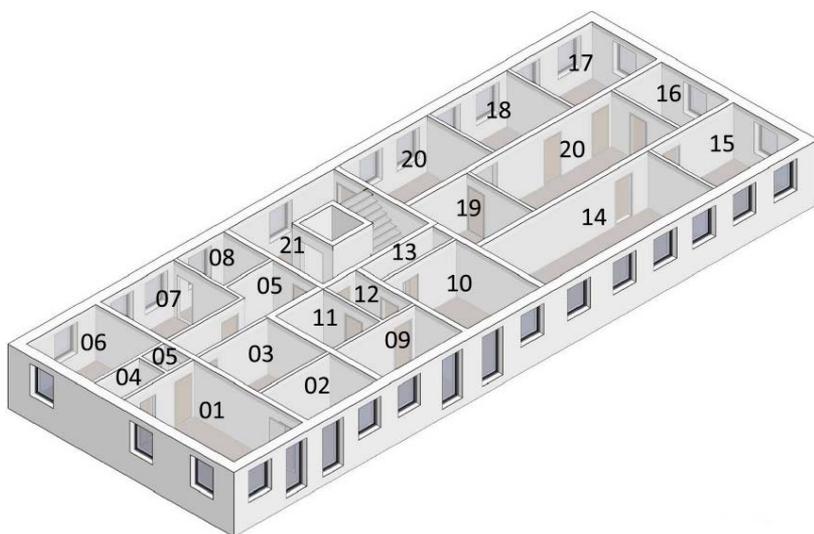


Abbildung 80: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

### 5.9.3 Verringerter Luftwechsel

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

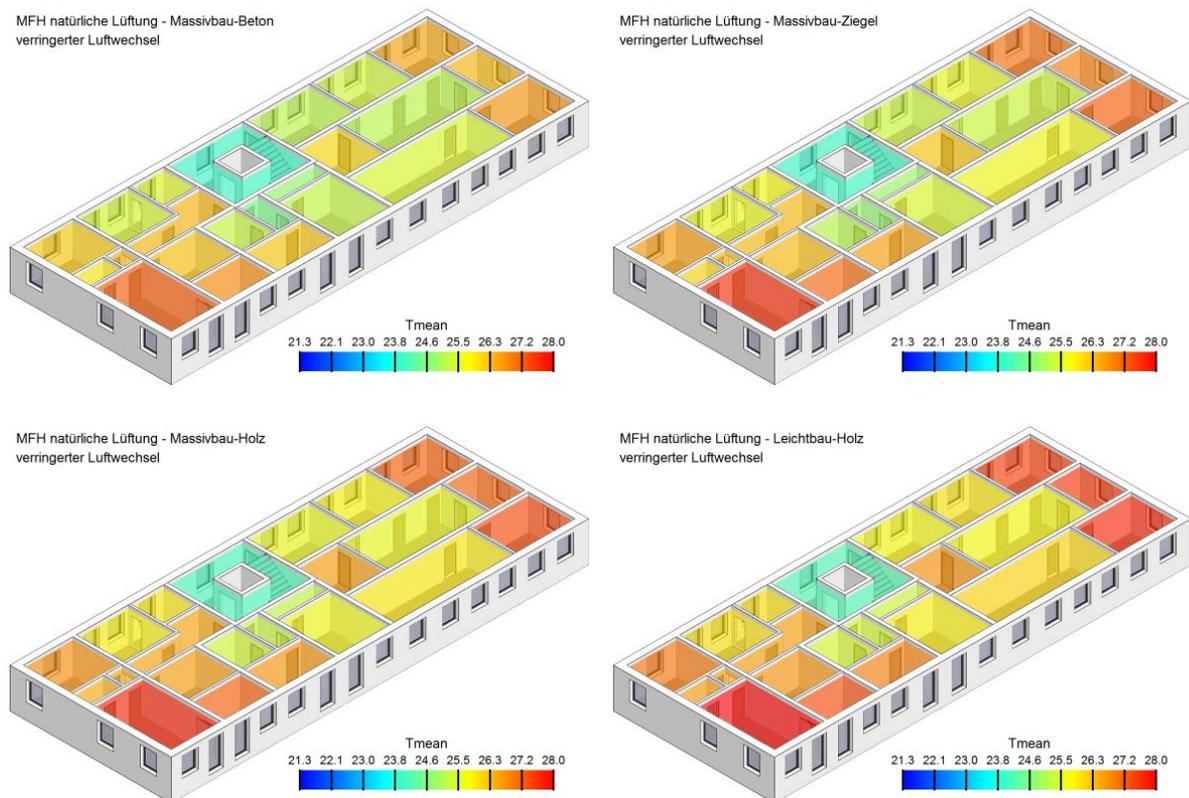
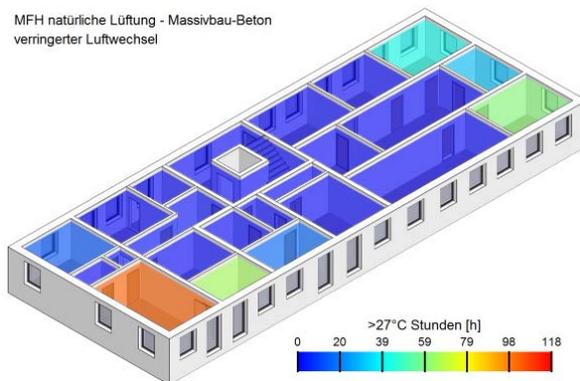


Abbildung 81: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel

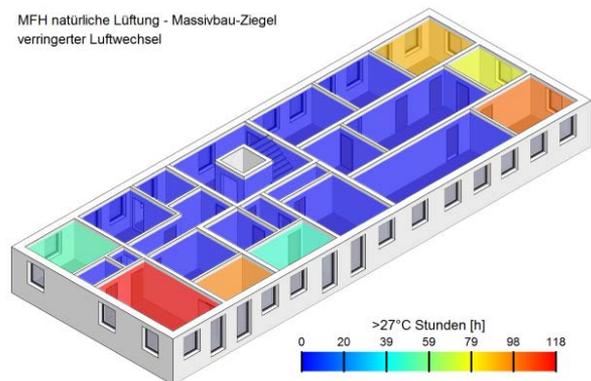
Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, die nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Anschließend kommen die Zonen 15, 16 und 17, welche an der Ostseite situiert sind, sowie Zone 02, welche neben Zone 01 liegt und ausschließlich nach Süden orientiert ist. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 25,8 °C und 26,4 °C. Infolge des zu geringen kühlungswirksamen Luftwechsels kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der Temperaturen in allen Zonen. Besonders betroffen sind die Zonen mit hohen solaren Einträgen. Die Temperaturerhöhungen sind bei allen Bauweisen sehr ähnlich.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

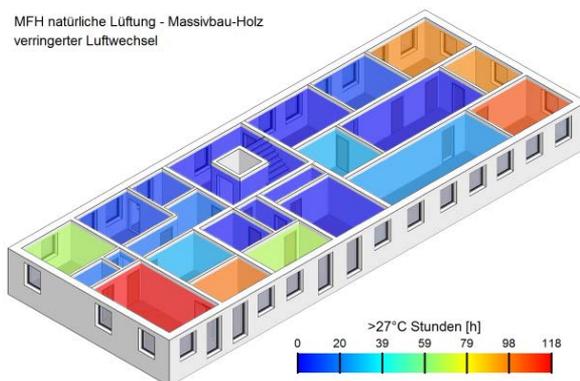
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringertes Luftwechsel

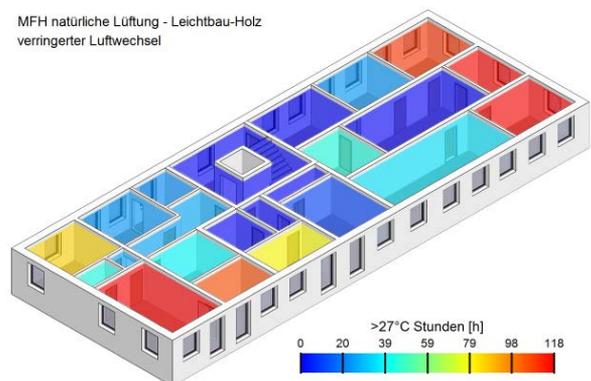


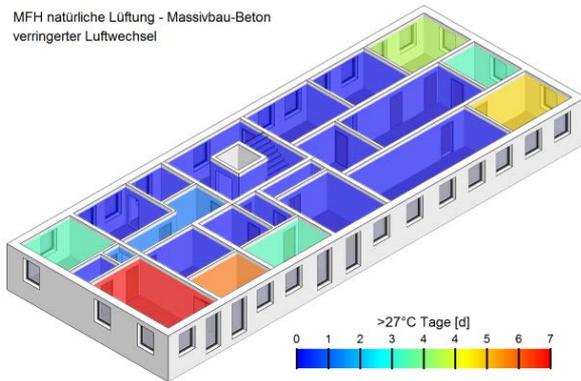
Abbildung 82: Überschreitungsstunden > 27 °C - G heißeste Woche - Wohnnutzung - verringertes Luftwechsel

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Bei einem verringerten Luftwechsel wird das Kriterium unabhängig von der Bauweise in einigen Zonen nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Massivbauweise-Ziegel mit 131 Stunden, gefolgt von Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 130 Stunden auf. Bei der Massivbauweise-Holz ergeben sich in dieser Zone 126 Überschreitungsstunden, bei der Massivbauweise-Beton sind es 103 Überschreitungsstunden. Der Auswertzeitraum der heißesten Woche umfasst insgesamt 168 Stunden.

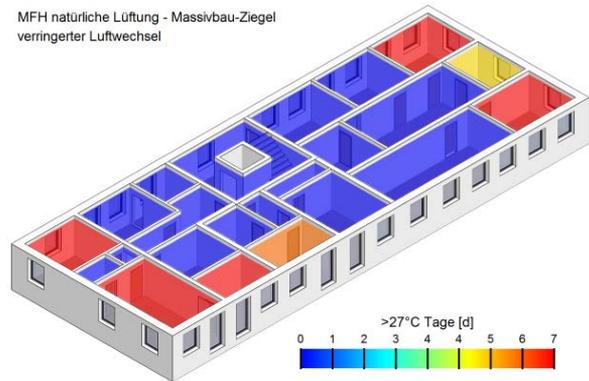
Bei dieser Abbildung ist gut ersichtlich, dass die Eckräume, welche nach Osten und Süden sowie nach Süden und Westen ausgerichtet sind, eine höhere operative Temperatur und somit auch mehr Überschreitungsstunden aufweisen, verglichen mit Räumen, welche ausschließlich nach Süden orientiert sind. Der Fensterflächenanteil der südlich-östlich orientierten Zone 15 beträgt 25 % und liegt damit unter jener der südlich orientierten Zone 09 (28 %). Dennoch ist Zone 15 an der Süd-Ost-Ecke deutlich mehr von der Überwärmung betroffen. Dies liegt daran, dass in Zone 15 infolge der nach Süden und Osten ausgerichteten Fenster mehr direkte Sonnenstrahlung eindringen kann. Der bei allen Räumen gleichzeitig aktive Sonnenschutz überlagert diesen Vorgang natürlich zusätzlich. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der kritischste Raum nicht zwingend ausschließlich nach Süden orientiert sein muss.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

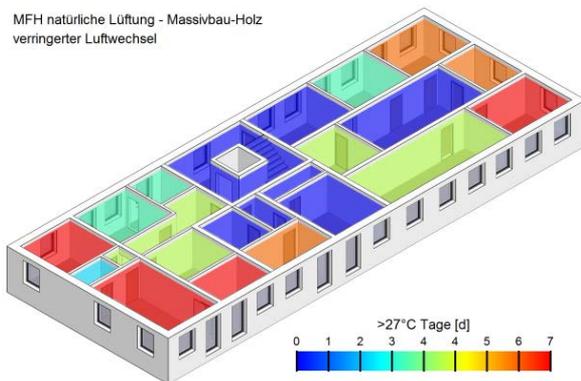
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringertes Luftwechsel

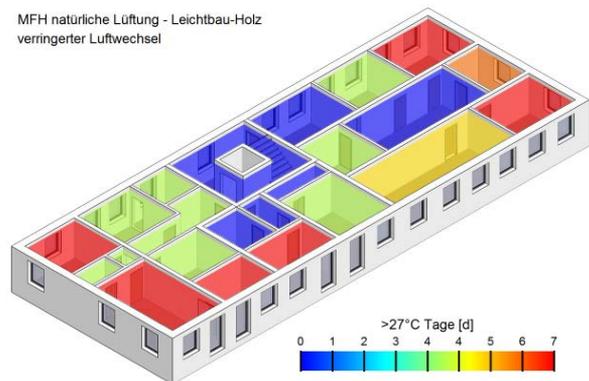


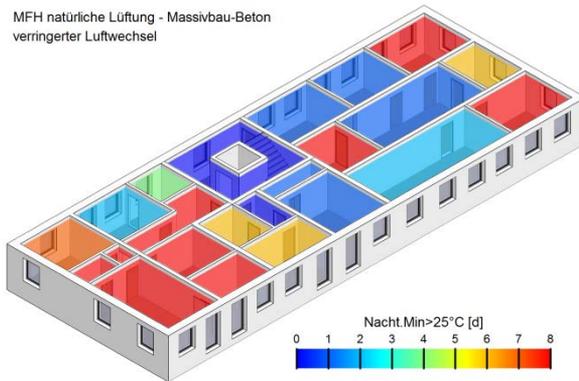
Abbildung 83: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringertes Luftwechsel

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Bei einem verringerten Luftwechsel wird das 27 °C-Kriterium unabhängig von der Bauweise in einigen Zonen nicht eingehalten. Die rote Einfärbung der einzelnen Zonen in der obigen Abbildung zeigt deutlich, dass es in mehreren Zonen zu täglichen Überschreitungen der 27 °C-Marke kommt. Für Zone 01 der Massivbauweise-Ziegel ergeben sich durchschnittlich 18,7 Überschreitungsstunden je Überschreitungstag.

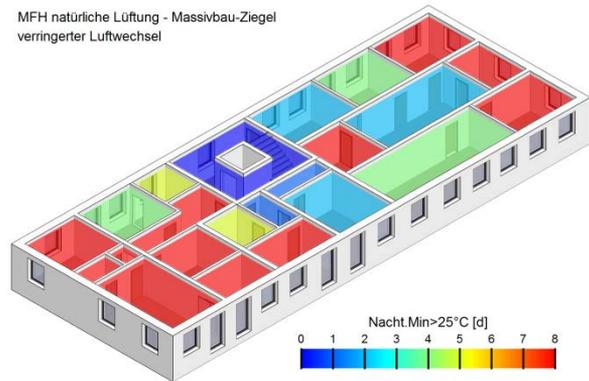
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C-Marke liegt. Der Auswertzeitraum der heißesten Woche weist 7 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

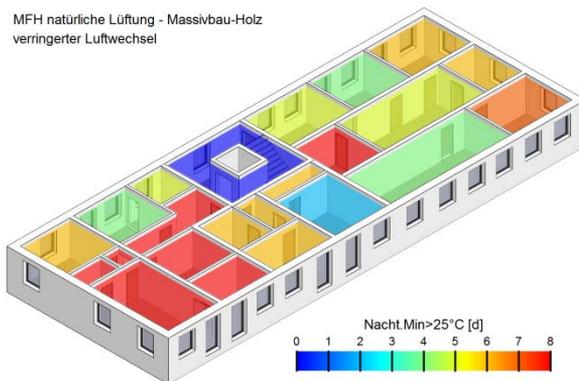
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringertes Luftwechsel



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringertes Luftwechsel

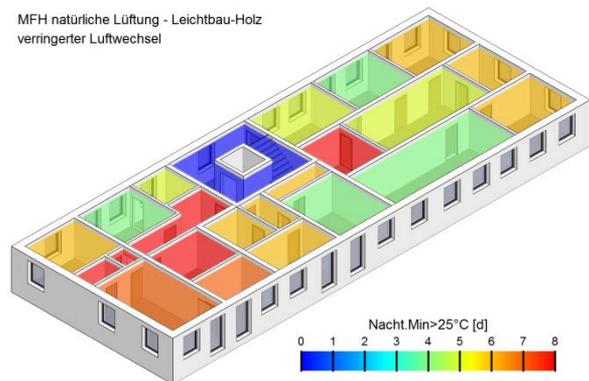


Abbildung 84: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringertes Luftwechsel

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Wenn ein verringertes Luftwechsel gegeben ist, wird das Kriterium unabhängig von der Bauweise in einigen Zonen nicht eingehalten. Die rote Einfärbung der einzelnen Zonen in der obigen Abbildung zeigt deutlich, dass in einigen Zonen in jeder Nacht das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird.

## Tabellarische Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 46 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 46: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	27,2	26,8	26,3	25,9	26,4	26,2	25,4	25,5	26,3	25,3	25,3	24,6	24,8	25,5	26,7	26,4	26,5	25,4	26,1	25,2	24,0
	>27°C-Stunden [h]	103	65	0	0	2	13	0	0	16	0	0	0	0	0	60	30	42	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	6	0	0	1	3	0	0	3	0	0	0	0	0	5	3	4	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	8	8	8	8	8	7	2	4	6	1	6	0	1	2	8	6	8	1	8	1	0
MZ	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	27,6	27,1	26,3	26,1	26,3	26,6	25,7	25,8	26,6	25,5	25,2	24,8	24,9	25,7	27,2	26,9	27,0	25,6	26,2	25,4	24,0
	>27°C-Stunden [h]	131	98	0	0	0	51	0	0	47	0	0	0	0	0	102	76	90	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	7	0	0	0	7	0	0	6	0	0	0	0	0	7	5	7	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	8	8	8	8	8	8	4	5	8	2	5	1	1	4	8	8	8	4	8	2	0
MH	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	27,7	27,2	26,6	26,5	26,6	26,7	25,8	25,9	26,7	25,7	25,4	25,3	25,3	25,9	27,4	27,2	27,2	25,8	26,6	25,6	24,1
	>27°C-Stunden [h]	126	101	27	15	15	66	8	7	67	0	0	0	0	23	107	97	98	8	27	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	7	4	2	4	7	3	3	6	0	0	0	0	4	7	6	6	3	4	0	0
	>25°C-Nächte [d]	8	8	8	8	8	6	4	5	6	2	6	6	6	4	7	6	6	4	8	5	0
LH	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	28,0	27,4	26,7	26,6	26,6	27,0	26,0	26,0	26,9	25,8	25,4	25,4	25,3	26,1	27,7	27,6	27,5	26,0	26,7	25,7	24,2
	>27°C-Stunden [h]	130	106	39	43	26	85	24	22	79	10	0	0	0	35	118	117	110	24	44	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	7	4	4	4	7	4	4	7	4	0	0	0	5	7	6	7	4	4	0	0
	>25°C-Nächte [d]	7	7	8	8	8	6	4	5	6	4	6	6	6	4	6	6	6	4	8	5	0

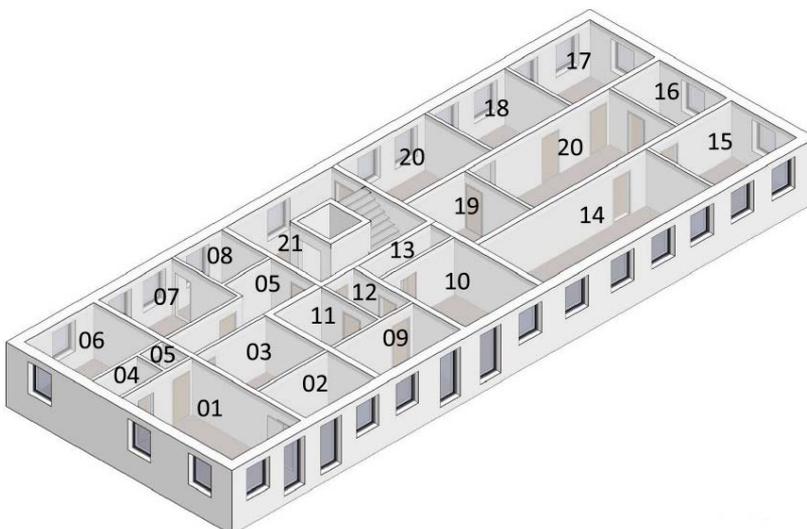


Abbildung 85: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

### 5.9.4 Erhöhte Beschattung

#### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

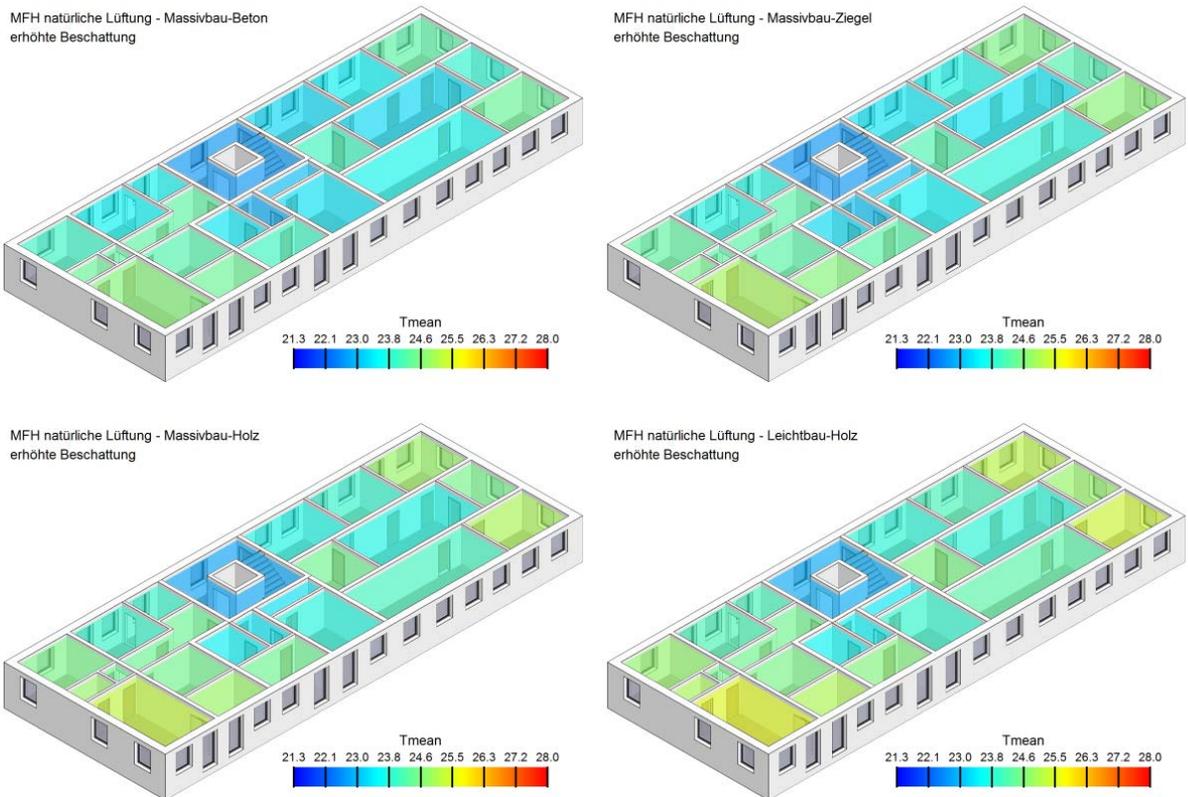
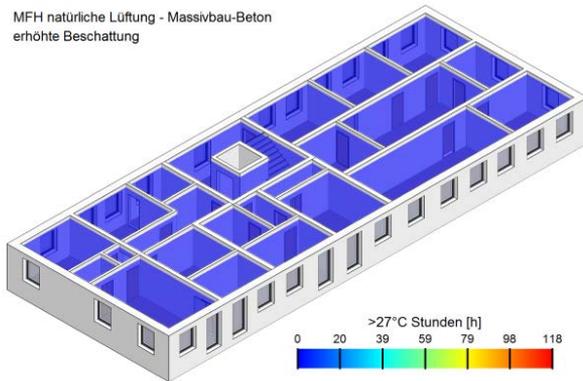


Abbildung 86: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

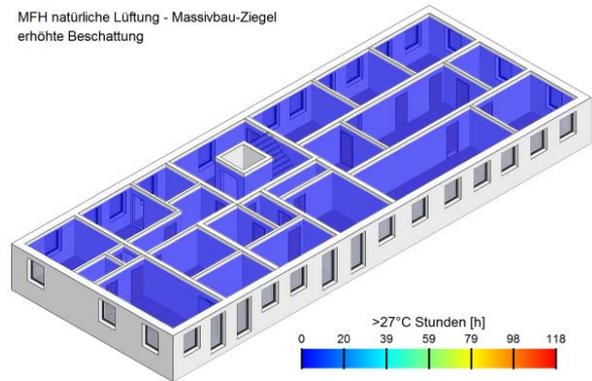
Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 23,8 °C und 24,4 °C. Unabhängig von der Bauweise weist Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur auf.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

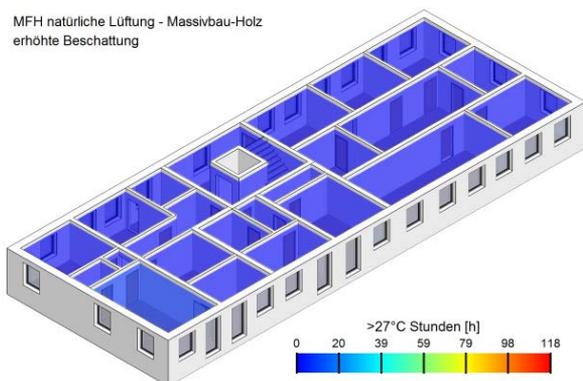
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhte Beschattung

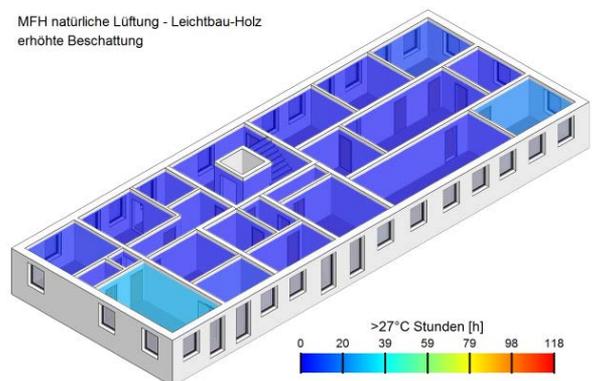


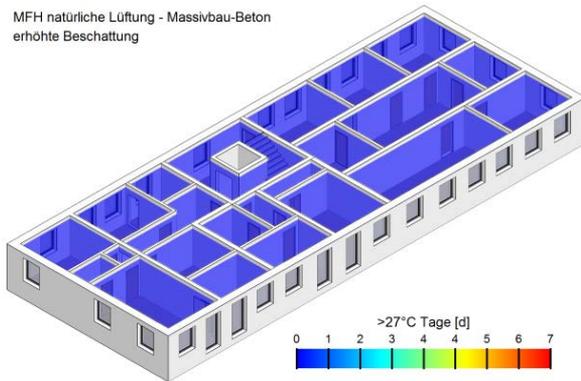
Abbildung 87: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Wenn eine erhöhte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium bis auf wenige Ausnahmen bei der Leicht- und Massivbauweise-Holz weitgehend eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 28 Stunden auf. Bei der Massivbauweise-Holz ergeben sich in dieser Zone 7 Überschreitungsstunden, bei den beiden weiteren Bauweisen wurde die 27 °C-Marke nicht überschritten.

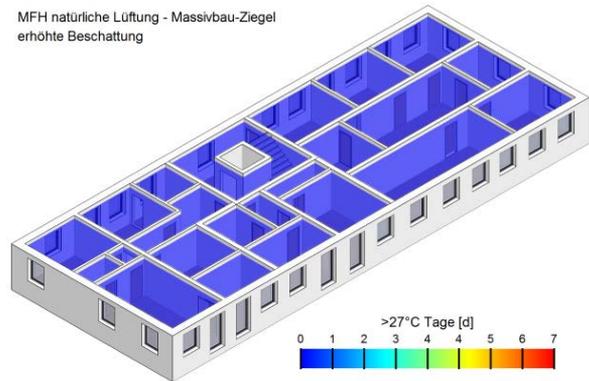
Der Auswerteperiodenraum der heißesten Woche umfasst insgesamt 168 Stunden.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

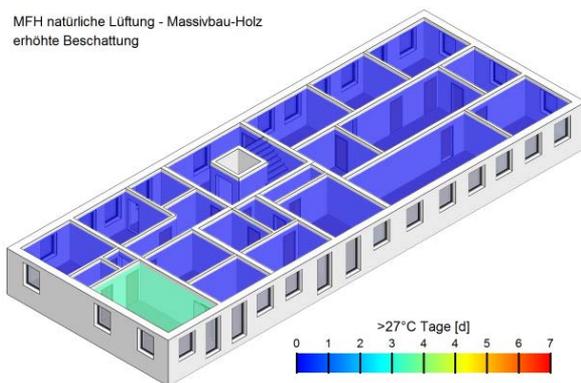
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhte Beschattung

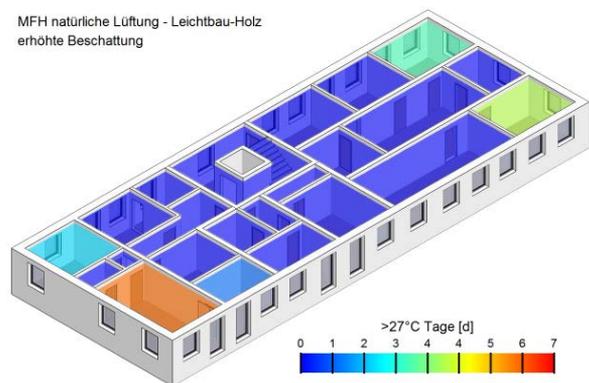


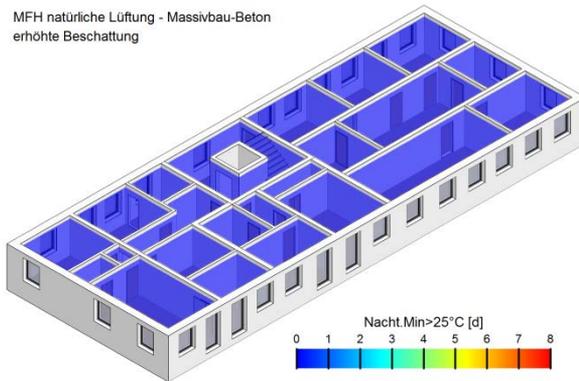
Abbildung 88: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Wenn eine erhöhte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium bis auf wenige Ausnahmen eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungstagen weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 6 Tagen, gefolgt von Zone 15 derselben Bauweise mit 4 Überschreitungstagen, auf.

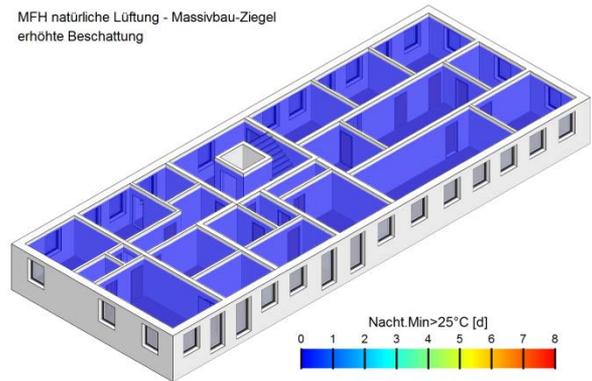
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C-Marke liegt. Der Auswertezeitraum der heißesten Woche weist 7 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

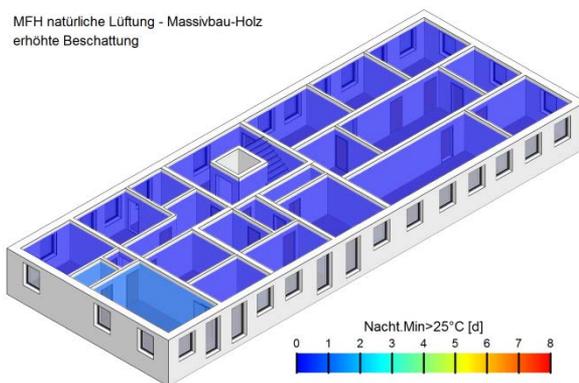
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
erhöhte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
erhöhte Beschattung

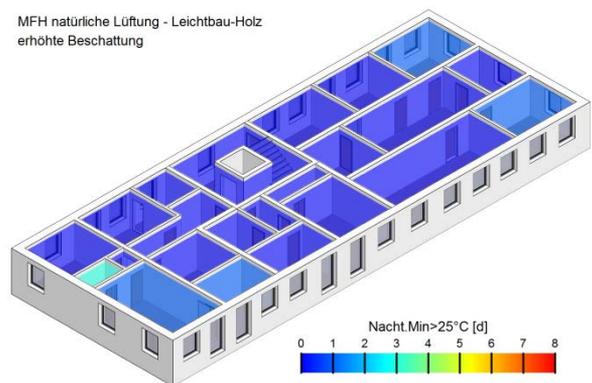


Abbildung 89: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Da dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume gilt, kann grundsätzlich gesagt werden, dass es unabhängig von der Bauweise eingehalten wird.

## Tabellarische Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 47 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 47: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	24,7	24,5	24,2	24,4	24,3	24,0	23,5	23,6	24,0	23,3	23,4	22,8	23,0	23,6	24,4	23,9	24,3	23,5	24,0	23,3	22,6
	>27°C-Stunden [h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MZ	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	25,0	24,7	24,3	24,5	24,3	24,3	23,7	23,8	24,3	23,5	23,3	23,0	23,1	23,8	24,7	24,2	24,6	23,7	24,2	23,4	22,6
	>27°C-Stunden [h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	25,3	24,9	24,5	24,9	24,5	24,6	24,0	24,0	24,5	23,8	23,5	23,4	23,3	24,1	25,0	24,6	24,9	23,9	24,5	23,7	22,8
	>27°C-Stunden [h]	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LH	$T_{\text{mean, operativ}} [^{\circ}\text{C}]$	25,5	25,1	24,6	25,1	24,5	24,8	24,1	24,1	24,7	23,9	23,5	23,5	23,4	24,3	25,4	24,9	25,2	24,1	24,6	23,8	22,8
	>27°C-Stunden [h]	28	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	7	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	6	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

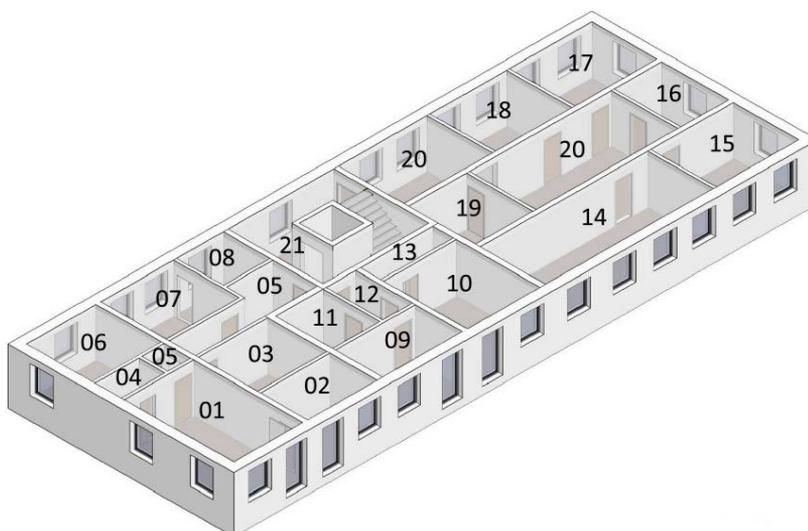


Abbildung 90: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps

## 5.9.5 Verringerte Beschattung

### Übersicht der gemittelten operativen Temperatur

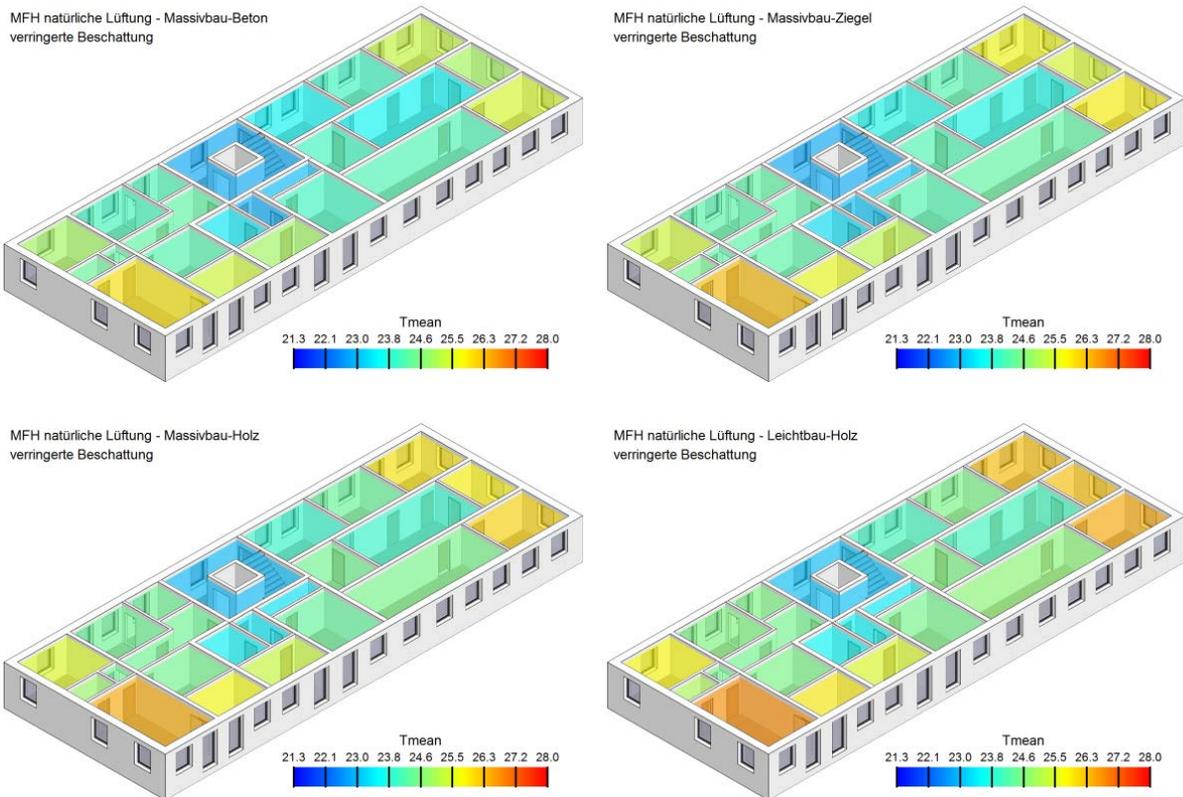


Abbildung 91: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss. Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, die größte operative Temperatur aufweist. Anschließend kommen die Zonen 15, 16 und 17, welche an der Ostseite situiert sind, sowie die Zone 02, welche neben Zone 01 liegt und ausschließlich nach Süden orientiert ist. Die Mittelwerte über alle Zonen der einzelnen Bauweisen liegen zwischen 24,3 °C und 24,9 °C.

## Übersicht der Überschreitungsstunden > 27 °C

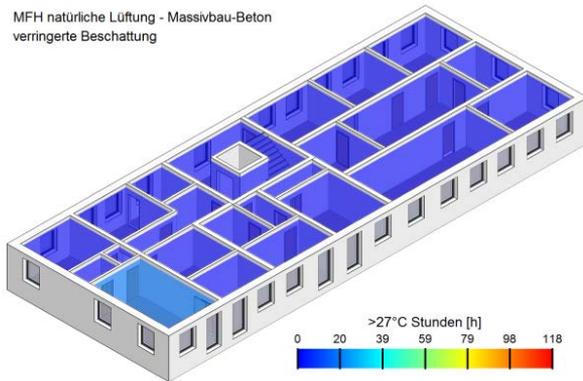
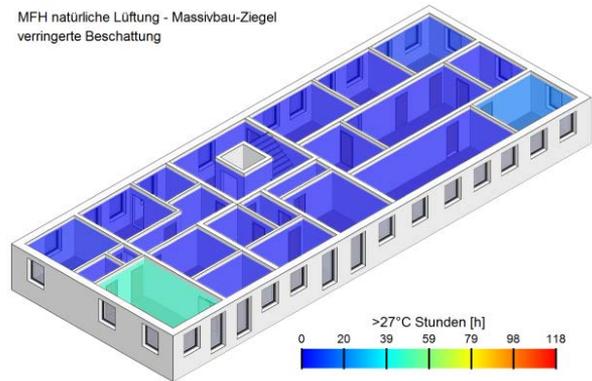
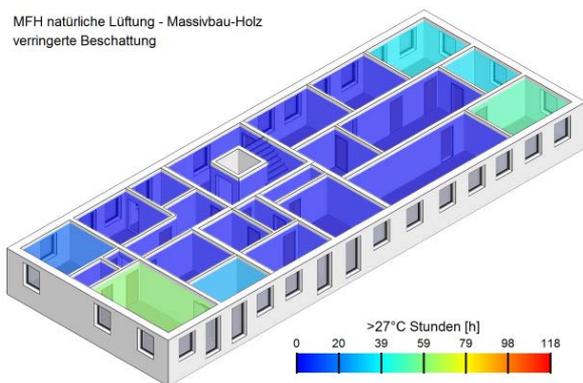
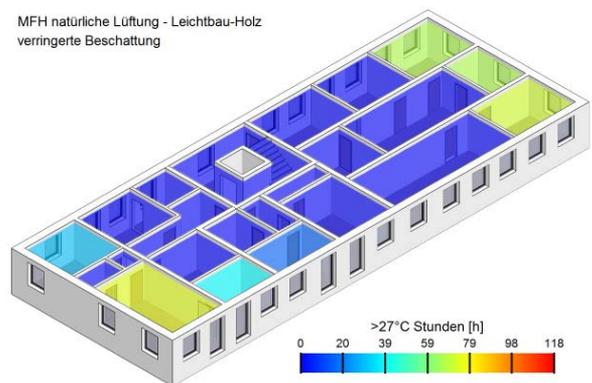
 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
 verringerte Beschattung

 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
 verringerte Beschattung

 MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
 verringerte Beschattung

 MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
 verringerte Beschattung


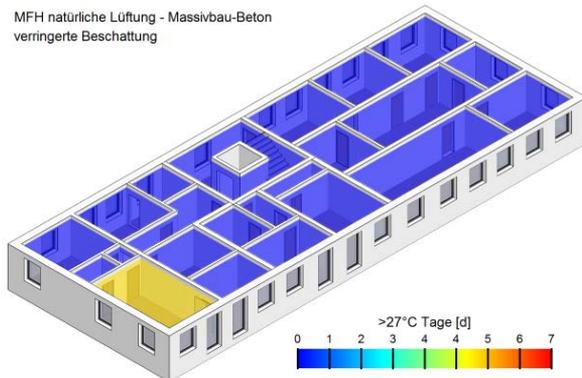
Abbildung 92: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungsstunden, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungsstunden deutlich größer ist. Wenn eine verringerte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium vor allem bei den Bauweisen mit wenig speicherwirksamer Masse in einigen Zonen nicht eingehalten. Die größte Anzahl an Überschreitungsstunden weist Zone 01 der Leichtbauweise-Holz mit 75 Stunden, gefolgt von Zone 15 derselben Bauweise mit 72 Überschreitungsstunden auf. Für die Massivbauweise-Holz, -Ziegel und -Beton ergeben sich für Zone 01 61, 47 bzw. 18 Überschreitungsstunden. Sehr deutlich zu erkennen sind die Unterschiede zwischen den ungünstigen, kritischen Räumen und den anderen.

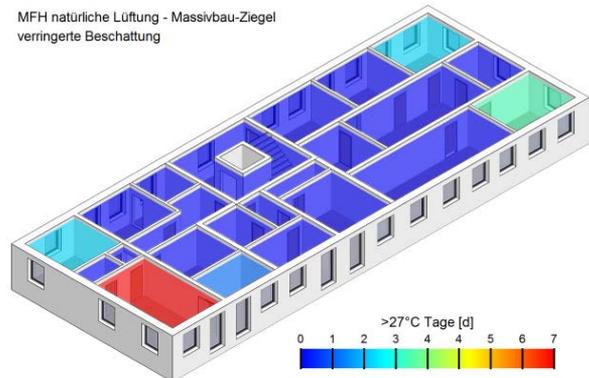
Der Auswertez Zeitraum der heißesten Woche umfasst insgesamt 168 Stunden.

## Übersicht der Überschreitungstage > 27 °C

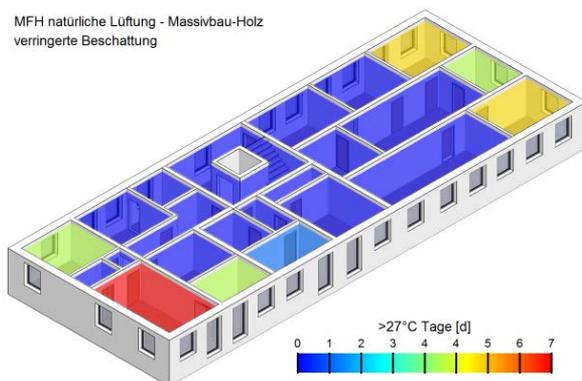
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringerte Beschattung

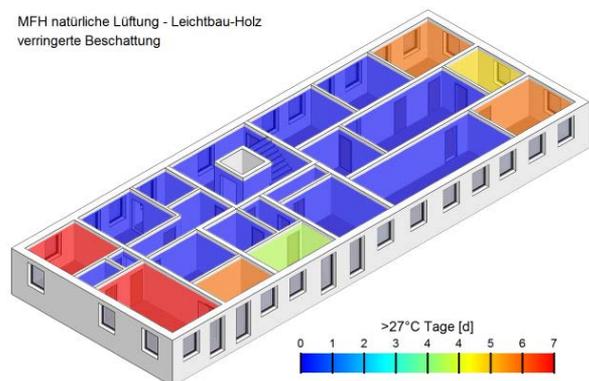


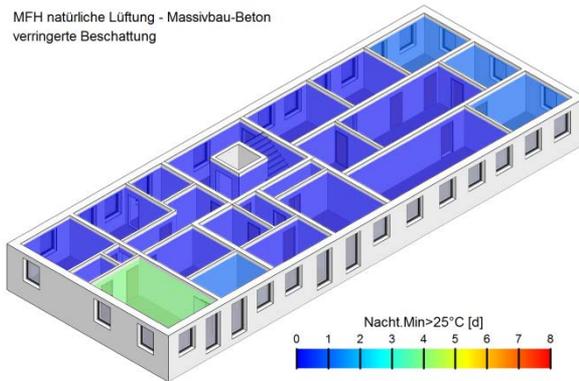
Abbildung 93: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

Die Bauweise hat einen Einfluss auf die Anzahl der 27 °C-Überschreitungstage, wobei der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung auf die Überschreitungstage deutlich größer ist. Wenn eine verringerte Beschattung gegeben ist, wird das 27 °C-Kriterium in einigen Zonen, besonders in den Eckräumen, nicht eingehalten. Die rote Einfärbung der einzelnen Zonen in der obigen Abbildung zeigt deutlich, dass es in mehreren Zonen zu täglichen Überschreitungen der 27 °C-Marke kommt. Für Zone 01 der Leichtbauweise-Holz ergeben sich durchschnittlich 10,7 Überschreitungsstunden je Überschreitungstag. Sehr deutlich zu erkennen sind die Unterschiede zwischen den ungünstigen, kritischen Räumen und den anderen.

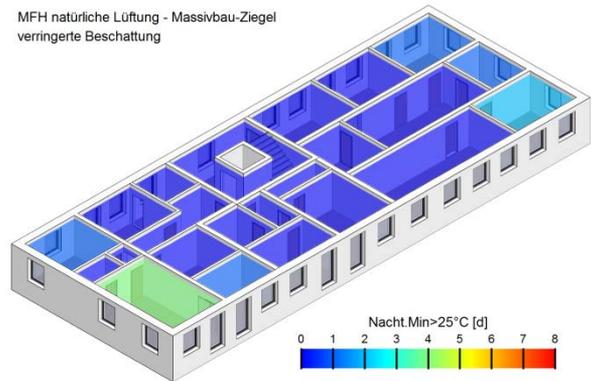
Ein Überschreitungstag ist so definiert, dass innerhalb eines Tages zumindest ein Stundenwert über der 27 °C-Marke liegt. Der Auswertezeitraum der heißesten Woche weist 7 Tage auf.

## Übersicht der Überschreitungs Nächte (25 °C - Kriterium)

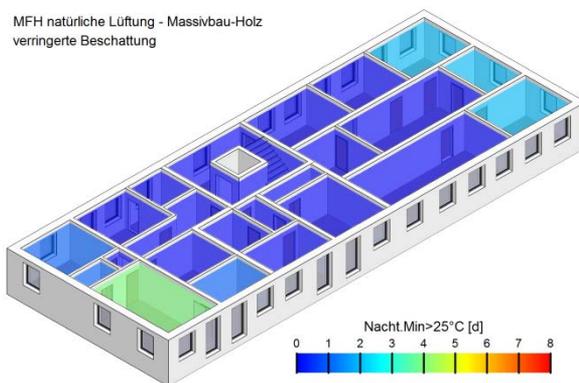
MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Beton  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Ziegel  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Massivbau-Holz  
verringerte Beschattung



MFH natürliche Lüftung - Leichtbau-Holz  
verringerte Beschattung

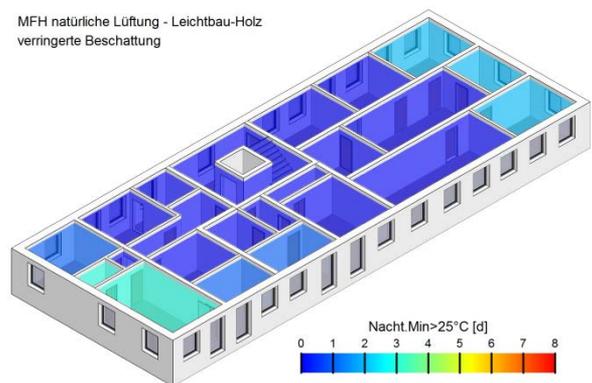


Abbildung 94: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

In dieser Abbildung sind für alle Bauweisen und Zonen die Anzahl der Nächte ersichtlich, in denen das 25 °C-Kriterium nicht eingehalten wird. Berücksichtigt werden die Nachtstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr. Das Kriterium wird eingehalten, wenn die minimale operative Temperatur in den Nachtstunden den Wert von 25 °C erreicht bzw. unterschreitet. Laut ÖNORM B 8110-3 gilt dieses Kriterium nur für Schlaf- und Ruheräume.

Es ist ersichtlich, dass unabhängig von der Bauweise Zone 01, welche nach Süden und Westen orientiert ist, sowie die Zonen 15, 16 und 17, welche an der Ostseite situiert sind, die größte Anzahl an Überschreitungs Nächten aufweisen.

### Tabellarische Übersicht der verarbeiteten Daten

Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Zonendarstellungen innerhalb der fünf Varianten zu gewährleisten, wurde eine einheitliche Skalierung gewählt. Dadurch kann der Fall eintreten, dass kleinere Unterschiede innerhalb einer Variante zwischen den einzelnen Bauweisen nur mäßig bis gar nicht erkennbar sind. Aus diesem Grund sind in Tabelle 48 alle Daten ersichtlich, welche in den Falschfarben-Abbildungen dargestellt wurden.

Tabelle 48: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung

Zonen-Nr.		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
MB	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	26,0	25,4	24,2	24,4	24,3	25,0	24,1	24,2	24,9	24,0	23,4	22,8	23,0	24,2	25,5	25,0	25,3	24,0	24,0	23,6	22,8
	>27°C-Stunden [h]	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
MZ	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	26,3	25,6	24,3	24,5	24,3	25,4	24,3	24,3	25,2	24,2	23,3	23,0	23,1	24,3	25,9	25,4	25,7	24,2	24,2	23,7	22,8
	>27°C-Stunden [h]	47	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	6	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0
MH	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	26,5	25,7	24,5	24,9	24,5	25,5	24,5	24,5	25,3	24,4	23,5	23,4	23,3	24,6	26,1	25,8	25,9	24,4	24,5	23,9	22,9
	>27°C-Stunden [h]	61	26	0	0	0	15	0	0	1	0	0	0	0	0	51	35	37	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	4	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	5	4	5	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	4	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0
LH	T <sub>mean, operativ</sub> [°C]	26,8	25,9	24,6	25,1	24,5	25,8	24,6	24,6	25,5	24,5	23,5	23,5	23,4	24,8	26,5	26,3	26,3	24,6	24,6	24,1	23,0
	>27°C-Stunden [h]	75	39	0	0	0	30	0	0	15	0	0	0	0	0	72	67	67	0	0	0	0
	>27°C-Tage [d]	7	6	0	0	0	7	0	0	4	0	0	0	0	0	6	5	6	0	0	0	0
	>25°C-Nächte [d]	3	1	0	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0

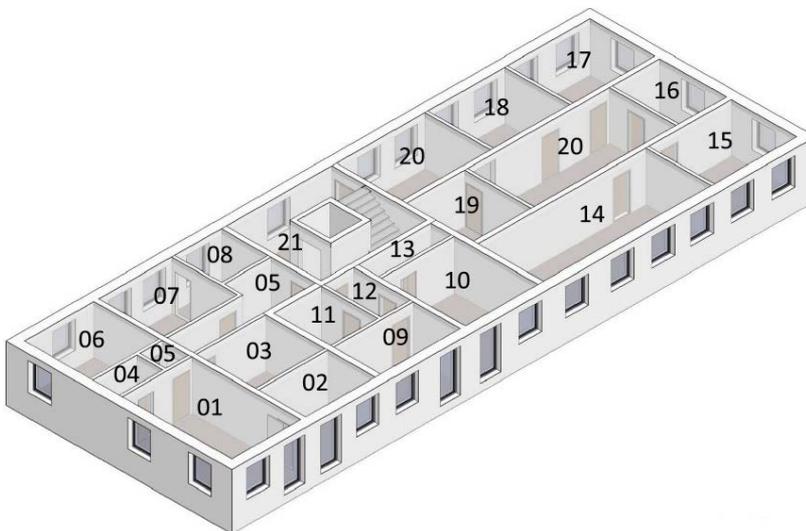


Abbildung 95: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps



## **6 Berechnungen lt. ÖN B 8110-3 und Aufbereitung dieser Ergebnisse**

### **6.1 Allgemeines**

Neben den bereits erwähnten Simulationsberechnungen wurde gemäß ÖNORM B 8110-3 der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung für den als kritisch eingestuften Einzelraum (Zone 01) durchgeführt. Dafür sind in der entsprechenden Norm zwei unterschiedliche Berechnungsverfahren vorgesehen. Im allgemein gültigen Verfahren wird der Tagesverlauf der operativen Temperatur errechnet. Dazu kann eine Berechnungssoftware verwendet werden, wobei die Anforderungen an diese in der ÖNORM EN ISO 13791 geregelt sind. Beim zweiten Verfahren wird ein vereinfachter Nachweis geführt, bei welchem eine immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse errechnet und einer Mindestanforderung gegenübergestellt wird. Dieses Verfahren darf ausschließlich angewendet werden, wenn es sich um ein Wohngebäude handelt, der Tagesmittelwert der anzusetzenden Außentemperatur nicht größer als 23,0 °C ist und sämtliche Fenster des kritisch betrachteten Einzelraumes nachts offen (gekippt ist zu wenig) gehalten werden können. Die Berechnungsverfahren wurden unter 2.5.7 bereits erklärt.

Anzumerken ist, dass die verwendeten Klimadaten (siehe 6.2) naturgemäß nicht jenen Klimadaten entsprechen (siehe 4.5), welche für die Simulationsberechnungen herangezogen wurden. Die Ergebnisse in diesem Kapitel bilden daher nur den Status quo in Bezug auf die unterschiedlichen Bauweisen ab. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aufgrund der unterschiedlichen Klimadaten ist in Kapitel 7.5 erfolgt.

Beim Nachweisverfahren in dieser Norm wird davon ausgegangen, dass der angesetzte Luftwechsel (siehe Tabelle 13) ständig gegeben ist. Es handelt sich dabei aber nur um ein Modell. Es wird davon ausgegangen, dass jeder Luftwechsel auch kühlungswirksam ist, was besonders in warmen Nächten, in städtischer Bebauung, aber auch zukünftig bei einer Zunahme der Anzahl der Tropennächte nicht gegeben sein wird. Darüber hinaus wird in der Praxis nur selten auf den gleichzeitig erforderlichen Einbruchsschutz, Schlagregenschutz und Sturmschutz geachtet.

## 6.2 Annahmen

Als Standort wurde der Flughafen Wien-Schwechat, KG Mannswörth, mit einer Seehöhe von 163 m.ü.A. gewählt. Die anzusetzende Außenlufttemperatur mit einer Überschreitungshäufigkeit von 130 Tagen in 10 Jahren wurde gemäß ÖNORM B 8110-5 Beiblatt 2 ermittelt. Dabei ergab sich eine Normsommeraußentemperatur von 23,0 °C. Das vereinfachte Verfahren ist somit noch zulässig. Das Maximum und Minimum des Temperaturtagesgangs wurden nach Anhang A von ÖNORM B 8110-3 zu 29,6 °C und 15,7 °C errechnet.

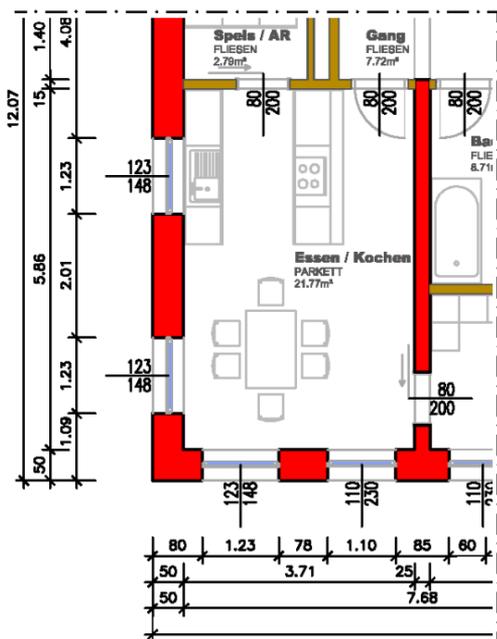


Abbildung 96: Zone 01 - kritischer Einzelraum

Aufgrund der Simulationsergebnisse hat sich gezeigt, dass der für den Nachweis relevante Einzelraum die Zone 01 ist. Dabei handelt es sich um die Essküche von Top A mit einer Nettofläche von 21,77 m<sup>2</sup> und einem Glasflächenanteil von 26 %. Gefordert ist ein Glasflächenanteil von 11 % der Nettofläche. Die transparenten Außenbauteile sind nach Süden und Westen orientiert. Die lichte Höhe beträgt 2,60 m.

Die Berechnungen wurden für alle definierten Bauweisen durchgeführt (siehe 3.1). Die verwendeten Bauteile sowie die Parameter der transparenten Außenbauteile (teilweise wurden vereinfachte Annahmen getroffen) sind in folgenden Tabellen ersichtlich. Die Masse der Einrichtung wurde pauschal mit 38 kg/m<sup>2</sup> Wohnfläche berücksichtigt.

Tabelle 49: Verwendete Bauteile beim Nachweisverfahren lt. ÖNORM B 8110-3

Bauteiltypen	Massivbau - Beton	Massivbau - Ziegel	Massivbau - Holz	Leichtbau - Holz
Außenwand	AW 01	AW 02	AW 03	AW 04
Zwischenwände tragend	ZW 02	ZW 03	ZW 04	ZW 05
Zwischenwände nicht tragend	ZW 01	ZW 01	ZW 01	ZW 01
Zwischendecken	ZD 01	ZD 01	ZD 02	ZD 03

Tabelle 50: Fenstergeometrie - Standard- und Balkonfenster

	Fenster - Standard	Fenster - Balkon
Außenabmessung	123 cm x 148 cm	110 cm x 230 cm
Glasflächenanteil	70 %	70 %
Glasscheiben	3	3
Energiedurchlassgrad	0,60	0,60
U-Wert Glas	0,60 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K
U-Wert gesamt	0,80 W/m <sup>2</sup> K	0,80 W/m <sup>2</sup> K

Die Innentüren wurden als standardisierte Türen ohne Glasanteil berücksichtigt. Beim vereinfachten Verfahren ist es erforderlich, abhängig von der Anzahl der Fassadenebenen mit Lüftungsöffnungen, eine Luftwechselzahl festzulegen. Dabei handelt es sich um Vorgabegrößen. Beim Nachweisverfahren mittels Berechnung des Tagesverlaufs der operativen Temperatur wurde eine hygienisch erforderliche Luftwechselzahl von 0,4 /h gewählt. Es wurde angenommen, dass die Fenster in den Nachtstunden unabhängig von diversen Randbedingungen (Wind, Regen, Einbruch, Vandalismus,...) geöffnet gehalten werden.

Die Berechnungen wurden mit einer Studentenversion der Software GEQ durchgeführt. Neben den vier unterschiedlichen Bauweisen wurde auch die Sonnenschutzeinrichtung der transparenten Außenbauteile variiert (kein Sonnenschutz, innenliegender Sonnenschutz, außenliegender Sonnenschutz). Der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung wurde mit beiden in der ÖNORM B 8110-3 geregelten Verfahren durchgeführt.

## 6.3 Ergebnisse

### 6.3.1 Nachweis mit vereinfachtem Verfahren

Bei dieser Nachweisform muss die vorhandene speicherwirksame Masse größer bzw. gleich der mindesterforderlichen speicherwirksamen Masse sein. Die speicherwirksamen Massen werden auf die vorhandene Immissionsfläche bezogen.

Tabelle 51: Ergebnisse - Nachweis mit vereinfachtem Verfahren

Wien Schwechat	Massivbau - Beton	Massivbau - Ziegel	Massivbau - Holz	Leichtbau - Holz	Anforderung
Sonnenschutz	speicherwirksame Masse [kg/m <sup>2</sup> ]				
nein	5.247	3.448	1.297	1.171	≥ 8.000
innen	9.124	5.995	2.255	2.036	≥ 4.197
außen	34.980	22.983	8.646	7.804	≥ 2.000

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sofern kein Sonnenschutz vorhanden ist unabhängig von der Bauweise der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung nicht erfüllt wird. Wird ein innenliegender Sonnenschutz verwendet, wird der Nachweis bei den beiden Holzbauweisen auch nicht erfüllt. Mit einem außenliegenden Sonnenschutz wird der Nachweis unabhängig von der Bauweise immer erfüllt. Ein außenliegender Sonnenschutz ist erwartungsgemäß unabhängig von der gewählten Bauweise der effektivste Schutz vor unerwünschter Erwärmung der Innenräume durch Sonneneinstrahlung.

Die Vorgabe an die mindesterforderliche speicherwirksame Masse (Soll-Wert) ergibt sich aus dem immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom. Dieser hängt vom Raumvolumen, einer fiktiven Luftwechselzahl und der Immissionsfläche ab, welche wiederum von der Art des Sonnenschutzes und weiteren Parametern abhängig ist. Der Wert für die vorhandene speicherwirksame Masse (Ist-Wert) ergibt sich aus einer Summation über die einzelnen speicherwirksamen Massen der raumabschließenden Bauteile und der speicherwirksamen Masse der Einrichtung. Bleiben die Randbedingungen bei der Errechnung der mindesterforderlichen speicherwirksamen Masse ident, dann ist die Erfüllung des Kriteriums ausschließlich von der Quantität der vorhandenen speicherwirksamen Masse der Bauteile abhängig. Damit hat die Art der Bauweise bei diesem Nachweisverfahren einen direkten und nahezu linearen Einfluss.

### 6.3.2 Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung

Dieser Nachweis wird erfüllt, wenn die maximal vorhandene operative Temperatur 27 °C nicht übersteigt. Zusätzlich darf in Schlaf- und Ruheräumen während der Nachtstunden von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr das erreichte Temperaturminimum die 25 °C Marke nicht überschreiten.

Aufgrund der Ergebnisse geht hervor, dass der Nachweis ausschließlich bei den Varianten mit außenliegendem Sonnenschutz erfüllt wird.

Tabelle 52: Ergebnisse - Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung

Wien Schwechat	Massivbau - Beton	Massivbau - Ziegel	Massivbau - Holz	Leichtbau - Holz	Anforderung	
	operative Temperatur min. [°C] max. [°C]		operative Temperatur min. [°C] max. [°C]		operative Temperatur min. [°C] max. [°C]	
kein Sonnenschutz	23,0 30,5	22,3 31,2	20,9 32,4	20,6 32,9	≤ 25,0	≤ 27,0
innen	22,0 27,5	21,5 28,0	20,4 29,2	20,2 29,8	≤ 25,0	≤ 27,0
außen	20,6 24,2	20,3 24,6	19,7 25,1	19,5 25,5	≤ 25,0	≤ 27,0

Es ist zu erkennen, dass bei Reduktion der Speichermasse die maximal erreichte operative Temperatur zunimmt. Bei der minimalen operativen Temperatur ist der Zusammenhang umgekehrt. Es ergibt sich für Bauweisen mit weniger Speichermasse eine geringere minimale operative Temperatur. Auf den Mittelwert der operativen Temperatur hat die Bauweise einen nur sehr geringen Einfluss. Auftretende Unterschiede bewegen sich im Zehntelgradbereich. Die Zusammenhänge sind in Diagramm 33 deutlich zu erkennen.

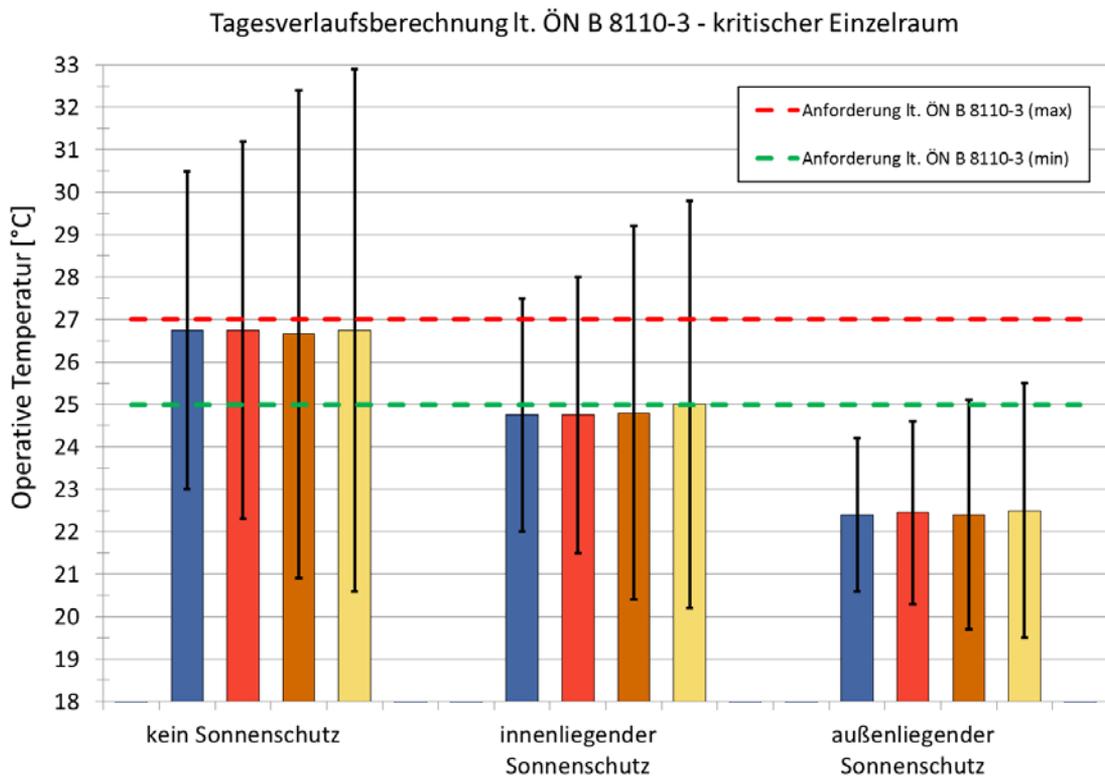


Diagramm 33: Ergebnisse - Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung



## **7 Aufbereitung und Interpretation der Ergebnisse**

### **7.1 Auswertung der operativen Temperatur auf Monatsbasis**

In folgenden Diagrammen sind Simulationsergebnisse der Variante Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung ersichtlich. Aufbereitet wurden die Daten der operativen Temperatur für das gesamte Regelgeschoss (Zonenmittelwerte) und den kritischen Einzelraum (Zone 01 - Top A - Essen/Kochen). Die Daten wurden mithilfe einer Quartilenauswertung (Boxplot) und einer Standardauswertung mit arithmetischen Mittelwert, Maximum und Minimum aufbereitet.

Anmerkung zum Boxplot: Die Symbole zeigen die vorherrschenden operativen Temperaturen aufgeteilt in vier zeitlich gleich große Abschnitte. Die farbigen Rechtecke repräsentieren jenen Temperaturbereich, der in der Hälfte der betrachteten Zeit vorherrscht. Die in der Mitte liegende horizontale Linie stellt den Median dar. Die äußeren Bereiche kennzeichnen dementsprechend das untere und das obere Viertel und werden jeweils durch die minimale und maximale operative Temperatur begrenzt (kleiner horizontaler Strich).

Die operativen Temperaturen der Monate Mai und September sind deshalb so niedrig, da die Klimatisierung mithilfe natürlicher Lüftung erfolgte und unter den definierten Randbedingungen das maximal mögliche Kühlpotential ausgeschöpft wurde. Die beiden Monate dienen nur der Orientierung bezüglich des maximal vorhandenen Kühlpotentials bei natürlicher Lüftung und entsprechen aus diesem Grund nicht den geforderten thermischen Behaglichkeitskriterien (siehe 2.4).

#### **7.1.1 Quartilenauswertung für das gesamte Regelgeschoss**

Wird jeweils nur ein Monat betrachtet, so ist ersichtlich, dass die einzelnen Mediane nur sehr gering schwanken. Die Bauweise hat somit auf den Median der operativen Temperatur nur einen geringen Einfluss. Die Unterschiede bewegen sich im Zehntelgradbereich ( $\Delta T_{\max} = 0,4 \text{ °C}$  im Mai).

Leichte Bauweisen reagieren rascher auf nächtliche oder wetterbedingte Temperaturänderungen. Deshalb weist die Bauweise Leichtbau-Holz den größten Schwankungsbereich des Temperaturganges auf.

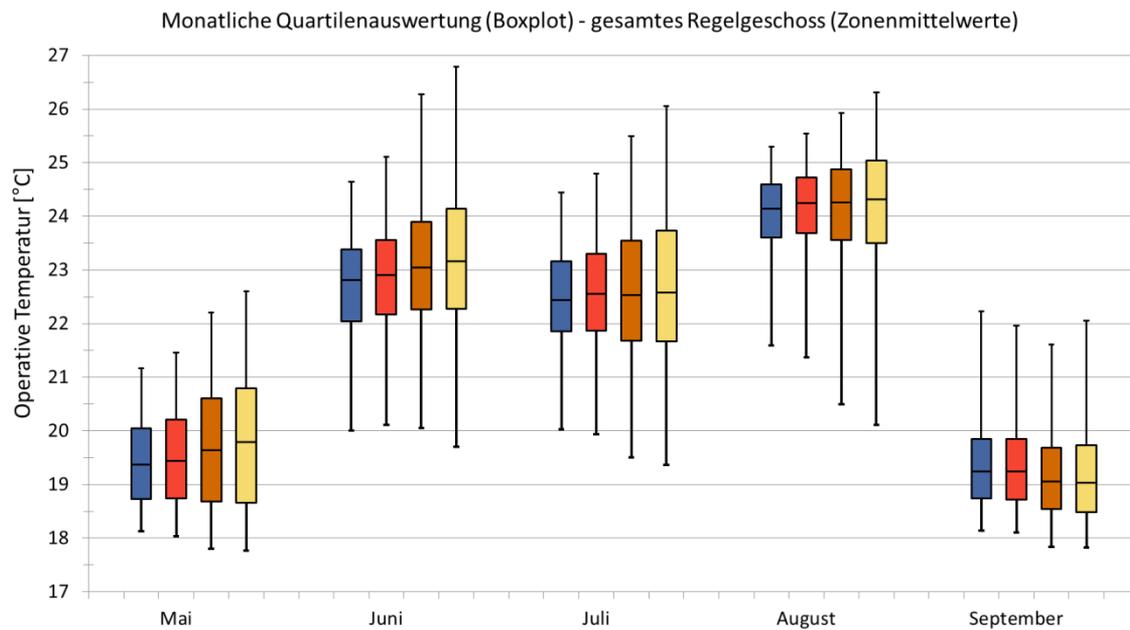


Diagramm 34: Monatliche Quartilenauswertung für das gesamte Regelgeschoss (Zonenmittelwerte)

### 7.1.2 Quartilenauswertung für den kritischen Einzelraum

Wird jeweils nur ein Monat betrachtet, so ist ersichtlich, dass die einzelnen Mediane nur sehr gering schwanken. Die Bauweise hat somit auf den Median der operativen Temperatur nur einen geringen Einfluss. Die Unterschiede bewegen sich im Zehntelgradbereich ( $\Delta T_{\max} = 0,6 \text{ °C}$  im Mai).

Es ist zu erkennen, dass bei einer Reduktion der Speichermasse die maximale operative Temperatur zunimmt. Nimmt die Speichermasse zu, sinkt die maximale operative Temperatur ab. Leichte Bauweisen reagieren rascher auf nächtliche oder wetterbedingte Temperaturänderungen.

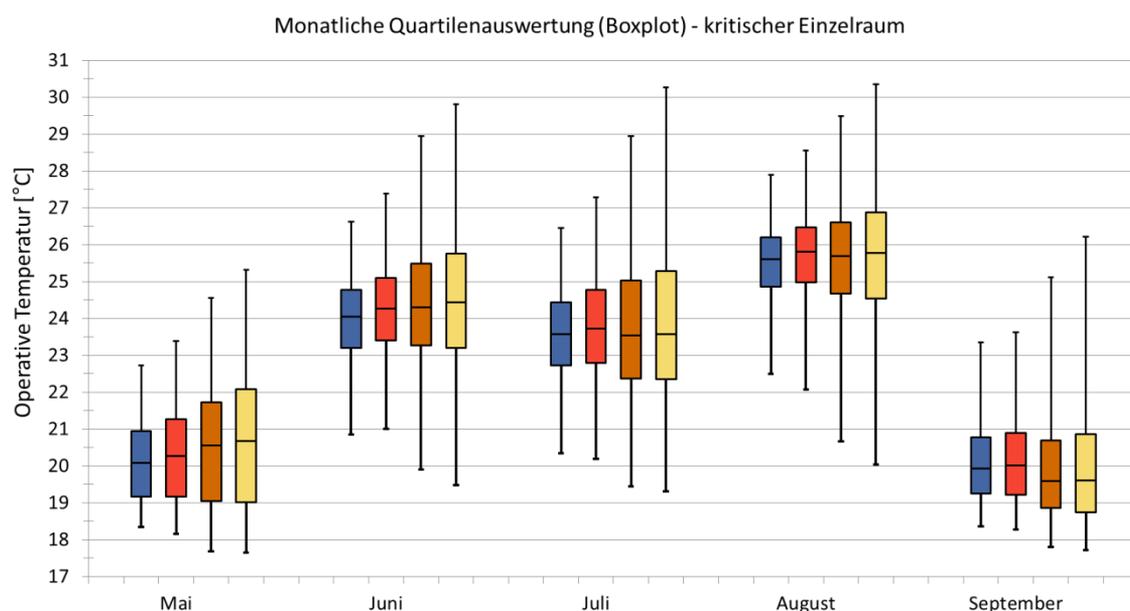


Diagramm 35: Monatliche Quartilenauswertung für den kritischen Einzelraum (Zone 01)

In folgender Tabelle sind die Mediane sowie die Differenzen ersichtlich. Gemittelt über alle Monate und Bauweisen ergibt sich für den kritischen Einzelraum ein um 1,1 °C höherer Median.

Tabelle 53: Übersicht - Median kritischer Einzelraum und Median gesamtes Regelgeschoss

Auswertezeitraum	Mai				Juni				Juli				August				September			
	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH
kritischer Einzelraum [°C]	20,1	20,3	20,6	20,7	24,1	24,3	24,3	24,4	23,6	23,7	23,5	23,6	25,6	25,8	25,7	25,8	19,9	20,0	19,6	19,6
Regelgeschoss [°C]	19,4	19,4	19,6	19,8	22,8	22,9	23,0	23,2	22,4	22,6	22,5	22,6	24,1	24,2	24,3	24,3	19,2	19,2	19,1	19,0
$\Delta T$ [°C]	0,7	0,8	0,9	0,9	1,2	1,4	1,3	1,3	1,1	1,2	1,0	1,0	1,5	1,6	1,4	1,5	0,7	0,8	0,5	0,6

### 7.1.3 Standardauswertung für das gesamte Regelgeschoss

In Diagramm 36 sind der arithmetische Mittelwert, welcher nicht mit dem Median zu verwechseln ist, sowie das Minimum und Maximum dargestellt. Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur einen geringen Einfluss. Die Unterschiede bewegen sich im Zehntelgradbereich ( $\Delta T_{\max} = 0,5$  °C im Juni).

Die größte Abweichung zwischen Mittelwert und Median findet man im September bei der Bauweise Leichtbau-Holz (Mittelwert = 19,2 °C, Median = 19,0 °C,  $\Delta T = 0,2$  °C).

Wird der gesamte Auswertezeitraum von Anfang Mai bis Ende September betrachtet (Mittelwert aus 3672 Einträgen), so bewegen sich die mittleren operativen Temperaturen abhängig von der Bauweise zwischen 24,0 °C und 24,6 °C (gültig für die Variante Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung).

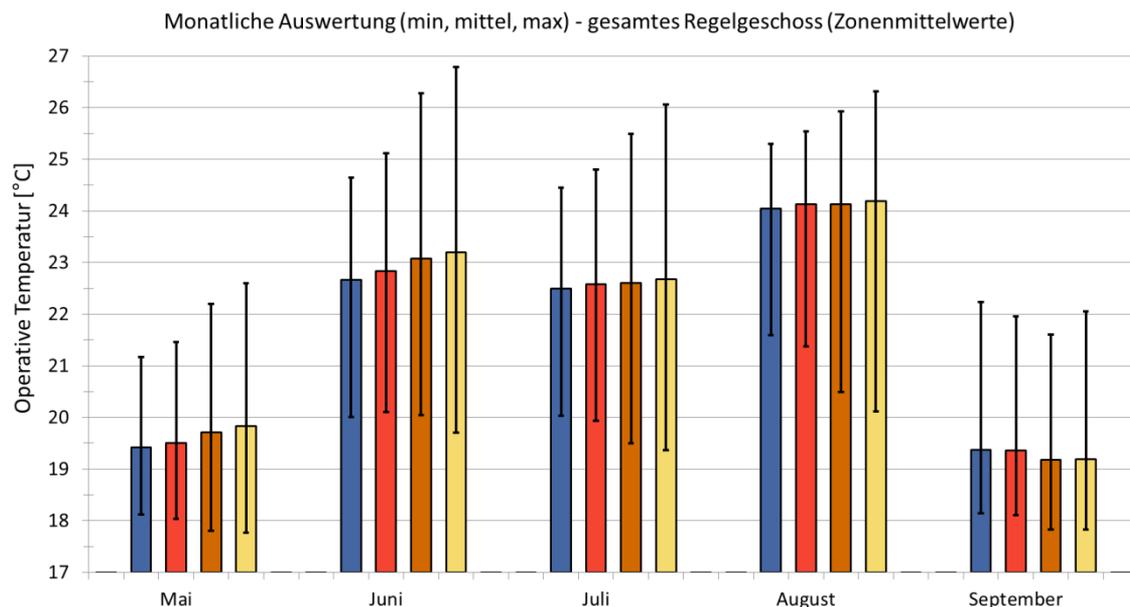


Diagramm 36: Standardauswertung für das gesamte Regelgeschoss (Zonenmittelwerte)

### 7.1.4 Standardauswertung für den kritischen Einzelraum

In Diagramm 37 sind der arithmetische Mittelwert, welcher nicht mit dem Median zu verwechseln ist, sowie das Minimum und Maximum dargestellt. Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur einen geringen Einfluss. Die Unterschiede bewegen sich im Zehntelgradbereich ( $\Delta T_{\max} = 0,6 \text{ °C}$  im Mai). Die größte Abweichung zwischen Mittelwert und Median findet man im September bei der Bauweise Leichtbau-Holz (Mittelwert =  $20,0 \text{ °C}$ , Median =  $19,6 \text{ °C}$ ,  $\Delta T = 0,4 \text{ °C}$ ). Die Differenz ergibt sich aufgrund der „Ausreißer“ der Daten im oberen Quartil.

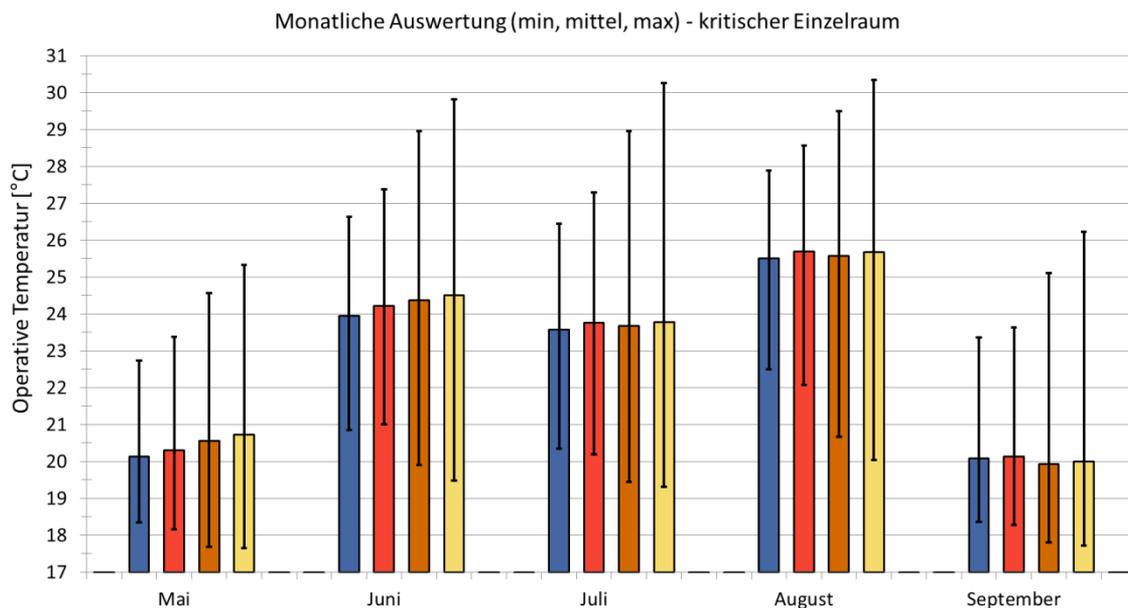


Diagramm 37: Standardauswertung für den kritischen Einzelraum (Zone 01)

In folgender Tabelle sind die Mittelwerte sowie die Differenzen ersichtlich. Gemittelt über alle Monate und Bauweisen ergibt sich für den kritischen Einzelraum ein um  $1,1 \text{ °C}$  höherer Mittelwert.

Tabelle 54: Übersicht - Mittelwert kritischer Einzelraum und Mittelwert gesamtes Regelgeschoss

Auswertezeitraum	Mai				Juni				Juli				August				September			
	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH	MB	MZ	MH	LH
kritischer Einzelraum [°C]	20,1	20,3	20,6	20,7	24,0	24,2	24,4	24,5	23,6	23,8	23,7	23,8	25,5	25,7	25,6	25,7	20,1	20,1	19,9	20,0
Regelgeschoss [°C]	19,4	19,5	19,7	19,8	22,7	22,8	23,1	23,2	22,5	22,6	22,6	22,7	24,0	24,1	24,1	24,2	19,4	19,4	19,2	19,2
$\Delta T$ [°C]	0,7	0,8	0,8	0,9	1,3	1,4	1,3	1,3	1,1	1,2	1,1	1,1	1,5	1,6	1,5	1,5	0,7	0,8	0,7	0,8

## 7.2 Darstellung des Verlaufs der operativen Temperaturen

In folgenden Diagrammen wird der Verlauf der operativen Temperatur des kritischen Einzelraumes (Zone 01 - Top A - Essen/Kochen) für alle vier Bauweisen auf Basis der stündlich ermittelten Werte dargestellt. Verwendet wurden die Simulationsergebnisse der Variante Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung.

Es ist ersichtlich, dass die Bauweise Leichtbau - Holz vielfach die höchsten Tagesmaxima aufweist (Ausnahme von 30.07. bis 01.08.). Gleichzeitig hat diese Bauweise aber auch in den Nachtstunden oft die niedrigsten Temperaturen. Anhand der Verläufe lässt sich erkennen, je länger eine Hitzeperiode dauert, desto kleiner werden die Unterschiede bei den Minimaltemperaturen während der Nachtstunden (z.B. ab 02.08.).

Schwere Bauweisen verhalten sich sehr träge und reagieren daher mit einer, verglichen zu leichten Bauweisen, langen Zeitverzögerung auf nächtliche bzw. wetterbedingte Temperaturänderungen. Der tägliche Schwankungsbereich zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum ist dementsprechend geringer. Leichte Bauweisen reagieren rascher auf wetterbedingte Temperaturänderungen. Dies ist in den folgenden Diagrammen sowohl bei einer Erwärmung (z.B. ab 15.07.) als auch bei einer Abkühlung (z.B. ab 28.07.) erkennbar.

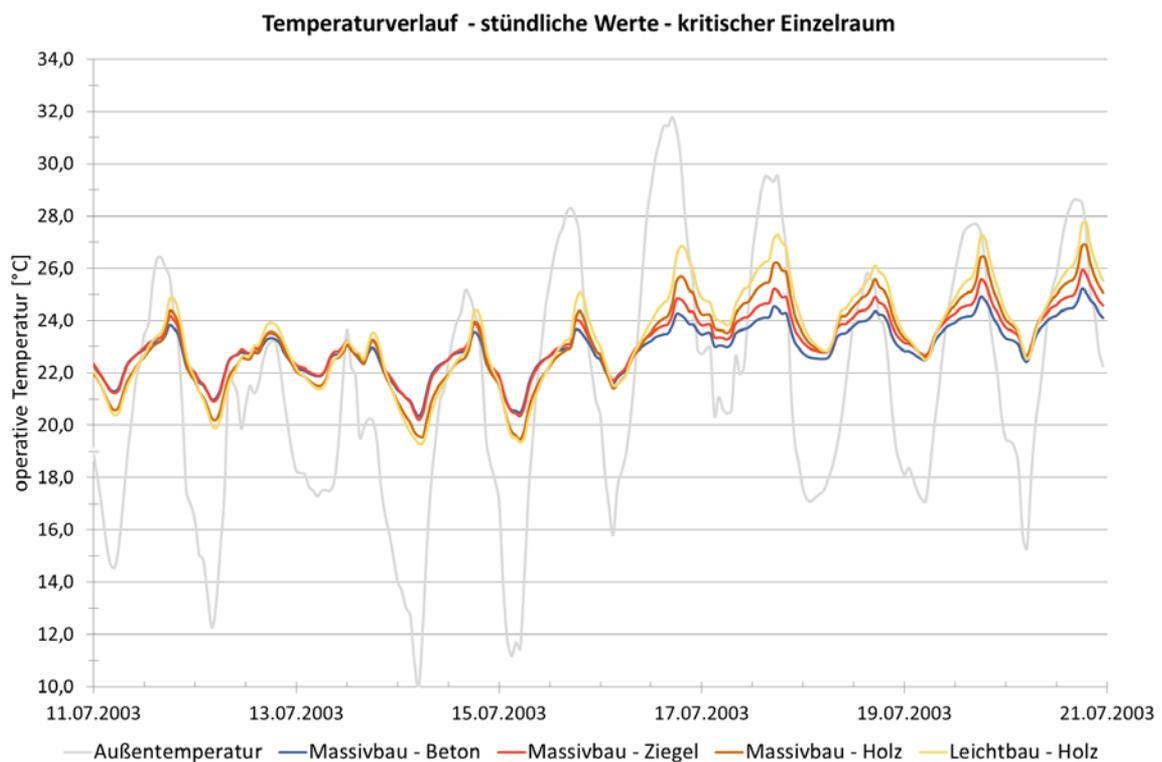


Diagramm 38: Stündlicher Verlauf der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (11.07. bis 20.07)

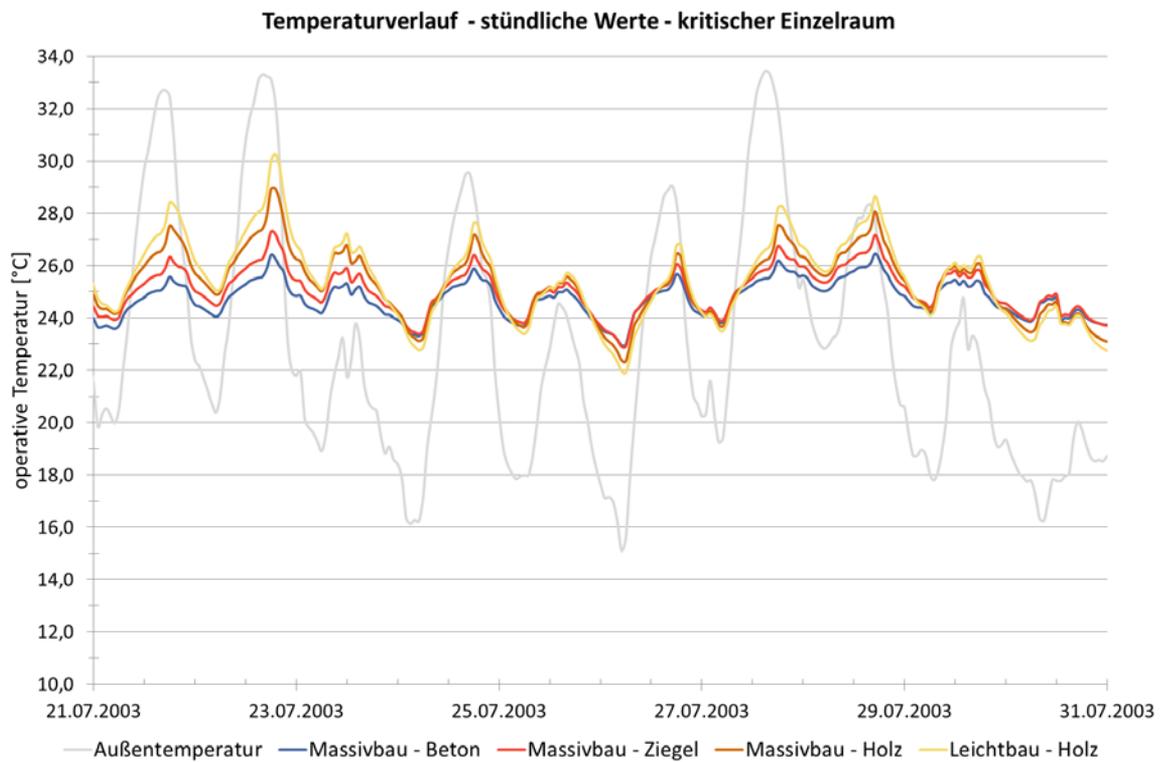


Diagramm 39: Stündlicher Verlauf der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (21.07. bis 30.07.)

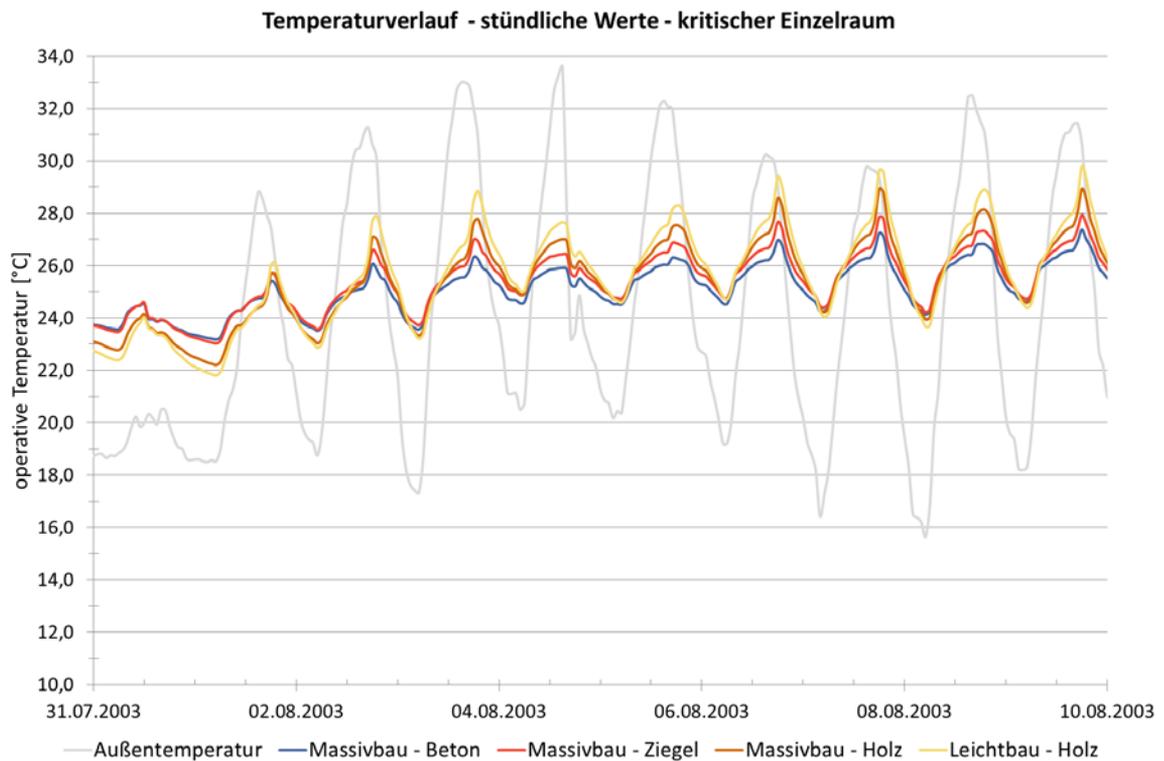


Diagramm 40: Stündlicher Verlauf der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (31.07. bis 09.08.)

In Diagramm 41 wird der Verlauf der auf 24-Stundenbasis gemittelten Werte der operativen Temperatur des kritischen Einzelraumes (Zone 01 - Top A - Essen/Kochen) für alle vier Bauweisen dargestellt. Verwendet wurden die Simulationsergebnisse der Variante Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung.

Aufgrund der Mittelung der Werte können die unterschiedlichen Reaktionszeiten der einzelnen Bauweisen auf wetterbedingte Temperaturänderungen abgebildet werden. Schwere Bauweisen verhalten sich sehr träge und reagieren daher mit einer, verglichen zu leichten Bauweisen, langen Zeitverzögerung auf nächtliche bzw. wetterbedingte Temperaturänderungen. Der tägliche Schwankungsbereich zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum ist dementsprechend geringer. Leichte Bauweisen reagieren rascher auf wetterbedingte Temperaturänderungen.

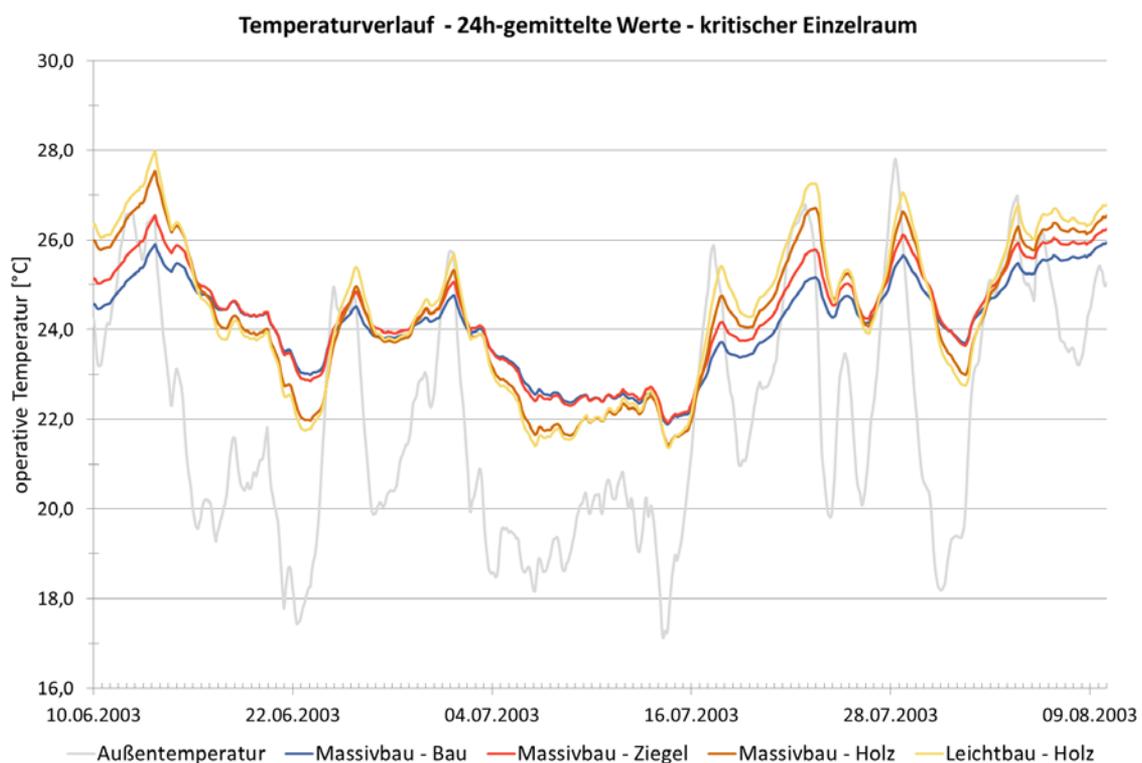


Diagramm 41: Verlauf der auf 24-Stundenbasis gemittelten Werte der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (10.06 bis 09.08)

### 7.3 Vereinfachte Ermittlung der Periodendauer

Um die Trägheit des Gebäudes in Bezug auf die Außenlufttemperatur zu ermitteln, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Dabei wurden die aus den Simulationsergebnissen bekannten operativen Temperaturen der Variante Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung mit dem jeweils infolge unterschiedlicher Periodendauer ermittelten gleitenden exponentiellen Mittelwert (Glättungsfaktor =  $2 / (n + 1)$ ) der Außenlufttemperatur korreliert.

Eine Vergleichbarkeit der einzelnen Bauweisen ist möglich, da die primären Einflüsse (natürliche Lüftung und Beschattung) über die Anwesenheit sowie dem Schaltpunkt der Beschattungseinrichtung und somit unabhängig von der jeweiligen Bauweise gesteuert werden.

Die Korrelation wurde mit den Zonenmittelwerten auf Stundenbasis der operativen Temperatur für das gesamte Regelgeschoss und mit den Stundenmittelwerten der operativen Temperatur des kritischen Einzelraumes durchgeführt. Betrachtet wurde der gesamten Auswertzeitraum von 01. Mai bis 30. September.

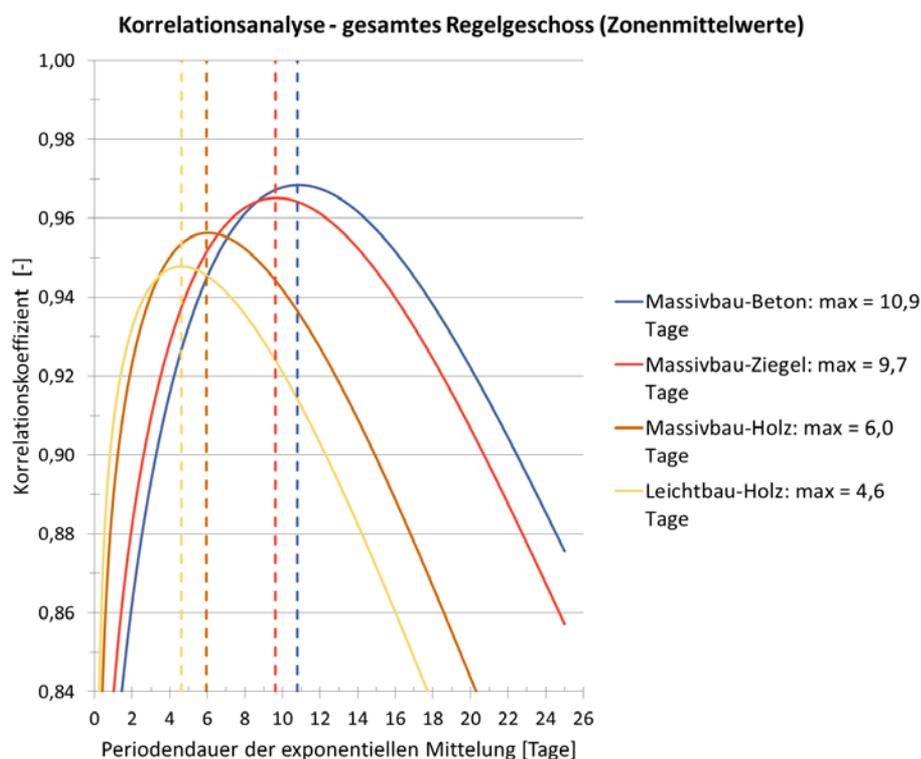


Diagramm 42: Korrelationsanalyse - gesamtes Regelgeschoss

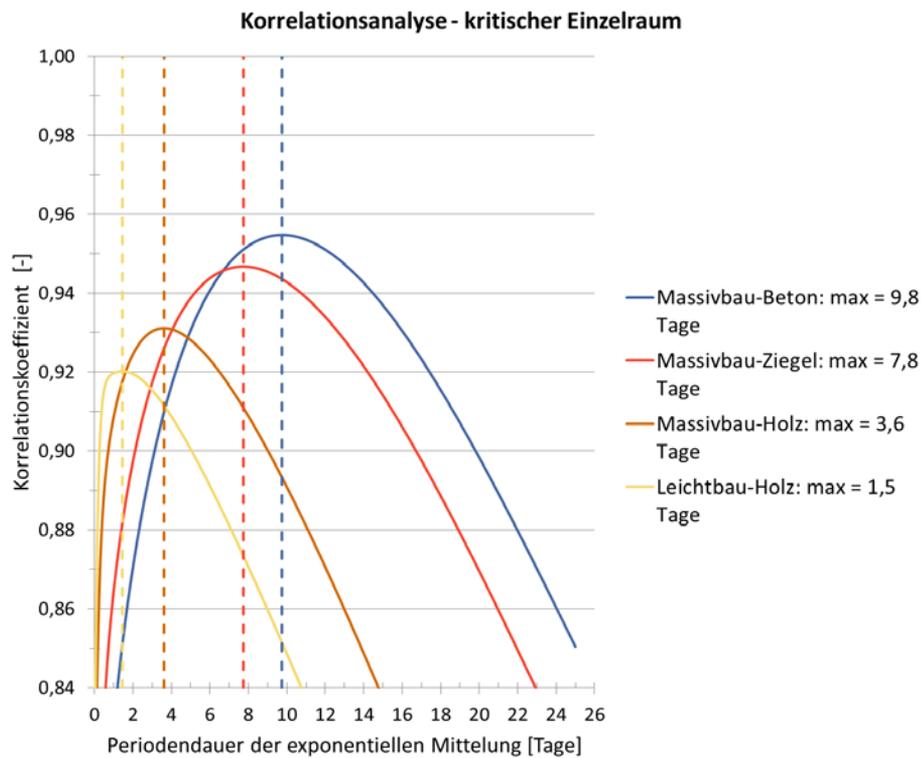


Diagramm 43: Korrelationsanalyse - kritischer Einzelraum

Tabelle 55: ermittelte Periodendauer bei maximaler Korrelation

Bauweise	Periodendauer bei maximaler Korrelation	
	gesamtes Regelgeschoss	kritischer Einzelraum
Massivbau-Beton	10,9 Tage	9,8 Tage
Massivbau-Ziegel	9,7 Tage	7,8 Tage
Massivbau-Holz	6,0 Tage	3,6 Tage
Leichtbau-Holz	4,6 Tage	1,5 Tage

Betrachtet man das gesamte Regelgeschoss, so kann aufgrund dieser Ergebnisse gesagt werden, dass bei der Bauweise Massivbau-Beton für die aktuell vorherrschende operative Temperatur die Außenlufttemperaturen der vorherigen 10,9 Tage maßgebend sind. Für die Bauweise Leichtbau-Holz sind im Mittel die Außenlufttemperaturen der letzten 4,6 Tage entscheidend für die aktuell vorherrschende operative Temperatur.

Wird nur der kritische Einzelraum betrachtet, so gelten die Werte der rechten Spalte. Anzumerken ist, dass diese Werte auf Basis der Simulationsergebnisse ermittelt wurden und deshalb auch die angrenzenden Zonen Einfluss auf das Verhalten des kritischen Einzelraumes haben.

## 7.4 Erkenntnisse aufgrund der Simulationsberechnungen

Die Parametervariationen der umfangreichen Simulationsberechnungen haben gezeigt, dass in erster Linie entscheidend für den sommerlichen Wärmeschutz die Einflüsse der Beschattung und des kühlungswirksamen Luftwechsels und nicht, wie man vielleicht vermutet hätte, die Einflüsse der Bauweisen und der damit im Zusammenhang stehenden speicherwirksamen Massen sind.

Die größten Wärmegewinne für den Innenraum werden tagsüber über den solaren Eintrag der transparenten Außenbauteile erzielt. Bei der Auswertung der Simulationsergebnisse hat sich gezeigt, dass auch die nach Norden orientierten Räume aufgrund der ganztägig vorhandenen diffusen Einstrahlung einen erheblichen Wärmeeintrag erfahren. Erfolgt die Klimatisierung mithilfe der natürlichen Lüftung, ergibt sich aufgrund der nächtlichen Abkühlung in Kombination mit einem kühlungswirksamen Luftwechsel eine Möglichkeit um die Wärmeeinträge abzuführen.

Bereits bei der Eingrenzung des Parameterbereichs hat sich gezeigt, dass die Simulationsergebnisse primär von den Parametern Beschattung und natürliche Lüftung abhängig sind. Diese Parameter sind jedoch sehr schwer quantifizierbar, da diese unter anderem vom individuellen Nutzerverhalten und der Anwesenheit abhängig sind. Für den Luftwechsel sind zusätzlich unter anderem Auswirkungen aufgrund des thermischen Auftriebs, der Umgebungssituation oder der direkten Strömungseinflüsse wesentlich. Diese Einflüsse konnten mit der gewählten Software jedoch nicht abgebildet werden. Aus diesem Grund wurde eine Variation hinsichtlich der Parameter Beschattung und natürliche Lüftung durchgeführt.

Die Menge der vorhandenen Speichermasse beeinflusst das Verhalten, ist aber nicht ausschließlich entscheidend für die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung. Ausschlaggebend ist die vom kühlungswirksamen Luftwechsel aktivierte Speichermasse. Kühlungswirksam ist ein Luftwechsel, wenn die Temperatur der Speichermasse höher als die Lufttemperatur ist und zusätzlich die kühlere Luft bei den zu kühlenden Bauteilen vorbeizieht.

Die Variation der speicherwirksamen Masse führt zu einer Änderung der Reaktionszeit des Gebäudes infolge nächtlicher bzw. wetterbedingter Temperaturänderungen. Die Reaktionszeit ist grundsätzlich symmetrisch bezüglich Erwärmung und Abkühlung. Bei einer Reduktion der Speichermasse ergeben sich dabei Vorteile hinsichtlich der rascheren (nächtlichen) Abkühlungsmöglichkeiten, dem gegenüber steht aber der rasche Temperaturanstieg bei einer wetterbedingten Erwärmung. Wird die Speichermasse verringert, nimmt der tägliche Schwankungsbereich zwischen Tagesminimum und Tagesmaximum zu. Bei einer Zunahme der Speichermasse verhält sich das Gebäude genau gegengleich. Die Bauweise und somit die Menge der Speichermasse hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur geringen Einfluss.

Erfolgt die Klimatisierung des Gebäudes aufgrund der hohen inneren Lasten bzw. der vorrangigen Nutzung während des Tages (z.B. bei Büronutzung - somit ist eine natürliche Lüftung während der Nachtstunden nicht möglich) mit einer Klimaanlage, so spielt die vorhandene Speichermasse und somit auch die Bauweise nur eine untergeordnete Rolle (z.B. bei intermittierendem Betrieb oder Ausfall). Wird die Leistung der Klimaanlage reduziert oder diese ausgeschaltet (z.B. während der

Nachtstunden bzw. während dem Wochenende), kann sich eine große Speichermasse aufgrund der vorhandenen Trägheit als unvorteilhaft bezüglich der erforderlichen Anlaufzeit bzw. der höheren erforderlichen Anfangsleistung und den damit verbundenen höheren Energiekosten gegenüber einer geringen Speichermasse erweisen. Im eingespielten Betrieb ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Speichermassen keine wesentlichen Vor- bzw. Nachteile. Regelungstechnisch sind Gebäude mit geringeren Trägheiten, und somit Bauweisen mit geringen oder mäßigen Speichermassen, einfacher und reaktionsschneller zu bedienen.

## 7.5 Gegenüberstellung Simulation vs. Tagesverlaufsberechnung

In Diagramm 44 werden die Ergebnisse der durchgeführten Gebäudesimulation für den kritischen Einzelraum (Zone 01 - Top A - Essen/Kochen) mit jenen der Tagesverlaufsberechnung mit außenliegendem Sonnenschutz gegenübergestellt.

Dazu wurden die stündlich ermittelten Werte der operativen Temperatur für Juli der Variante Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung herangezogen. Die Ergebnisse der Tagesverlaufsberechnung mit außenliegendem Sonnenschutz sind bereits in Diagramm 33 abgebildet. Abgesehen von der unterschiedlichen Berechnungsweise ergeben sich auch Unterschiede infolge der unterschiedlichen Klimadaten. Bei der Tagesverlaufsberechnung wurde die Normsommeraußen-temperatur von 23,0 °C mit einem definierten Tagesgang nach ÖNORM B 8110-3 verwendet. Bei den Gebäudesimulationen wurden die im Juli 2003 aufgezeichneten stündlichen Wetterdaten der Wetterstation in Schwechat herangezogen. Im Mittel ergibt sich bei den Simulationsberechnungen eine um 1,3 °C höhere operative Temperatur.

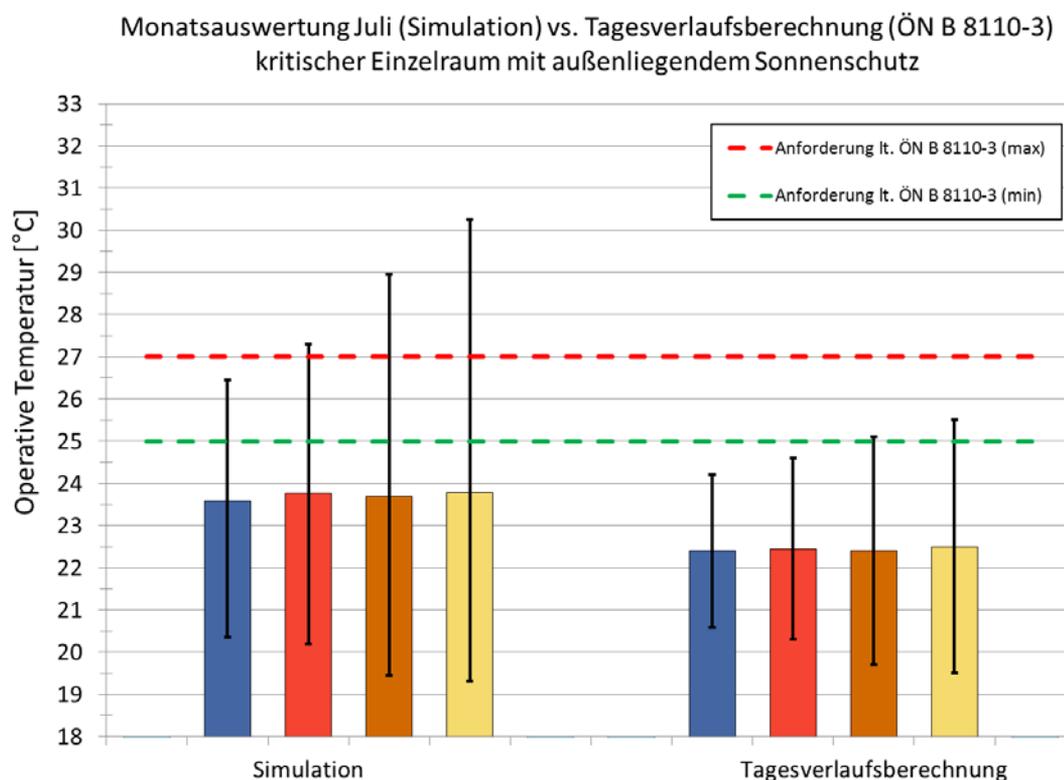


Diagramm 44: Gegenüberstellung Monatsauswertung Juli (Simulation) vs. Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung (B 8110-3) - kritischer Einzelraum - außenliegender Sonnenschutz

Die qualitativen Zusammenhänge sind bei den Ergebnissen trotz der unterschiedlichen Berechnungsmethoden sehr ähnlich. Die Bauweise hat auf den Mittelwert der operativen Temperatur nur einen geringen Einfluss. Wenn Unterschiede auftreten, bewegen sich diese im Zehntelgradbereich. Es ist zu erkennen, dass bei Reduktion der Speichermasse die maximal erreichte operative

Temperatur zunimmt. Bei der minimalen operativen Temperatur ist der Zusammenhang umgekehrt. Es ergibt sich für Bauweisen mit weniger Speichermasse eine geringere minimale operative Temperatur. Je schwerer die Bauweise, desto geringer ist der Temperaturtagesgang.

Gemäß ÖNORM B 8110-3 gilt der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung als erfüllt, wenn unter Berücksichtigung der Klimaangaben lt. ÖNORM B 8110-5 die operative Temperatur im kritischen Einzelraum 27 °C nicht überschreitet. Zusätzlich muss in Schlaf- und Ruheräumen das 25 °C-Kriterium eingehalten werden. Diese Regelung liefert jedoch keine ausreichend zufriedenstellende Beurteilung hinsichtlich der Vermeidung der sommerlichen Überwärmung.

Das Überschreitungskriterium gilt es zu hinterfragen, da grundsätzlich der kritische Einzelraum nicht repräsentativ für das gesamte Gebäude bzw. die gesamte Wohnung sein muss. Die höchsten operativen Temperaturen treten in der Regel nachmittags auf. Dabei werden beispielsweise Überschreitungen in Schlafräumen die thermische Behaglichkeit der Regelbewohner nicht negativ beeinflussen. Wird das Kriterium überschritten, wird weder die Dauer noch die Höhe der Überschreitung thematisiert. Eine einmalige Überschreitung des 27 °C-Kriterium im kritischen Einzelraum gibt nur bedingt die Gesamtsituation hinsichtlich der sommerlichen Überwärmung für das gesamte Gebäude bzw. die gesamte Wohnung wieder. Gleichzeitig werden tageszeitliche Abkühlungen (mit Ausnahme bei den Schlaf- und Ruheräumen) nicht berücksichtigt.



## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Gemäß ÖNORM B 8110-3 gilt der Nachweis zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung als erfüllt, wenn die maximal vorhandene operative Temperatur im kritischen Einzelraum 27 °C nicht übersteigt. Zusätzlich darf in Schlaf- und Ruheräumen zwischen 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr das Temperaturminimum der operativen Temperatur 25 °C nicht überschreiten. Diese Regelung liefert jedoch keine ausreichend zufriedenstellende Beurteilung hinsichtlich der Vermeidung der sommerlichen Überwärmung und sollte daher kritisch hinterfragt werden.

Sofern in den Nachtstunden ein kühlungswirksamer Luftwechsel gegeben ist, ergeben sich für Bauweisen mit geringen oder mäßigen Speichermassen Vorteile hinsichtlich einer rascheren nächtlichen Abkühlung, demgegenüber steht aber der rasche Temperaturanstieg bei einer wetterbedingten Erwärmung. Verringert sich die Speichermasse, nimmt der tägliche Schwankungsbereich zwischen Tagesminimum und Tagesmaximum zu. Bauweisen mit hoher Speichermasse verhalten sich gegengleich. Aus diesem Grund schneiden Bauweisen mit hohen Speichermassen bei der Beurteilung des kritischen Einzelraumes bezüglich des 27 °C-Kriteriums besser ab, als vergleichsweise Bauweisen mit geringen Speichermassen. Auf den Mittelwert der operativen Temperatur hat die Bauweise und somit die Speichermasse nur geringen Einfluss.

Entscheidend für den sommerlichen Wärmeschutz sind primär die Beschattung und die Erzielung eines kühlungswirksamen Luftwechsels. Auf diese beiden Parameter sollte in Zukunft sowohl planerisch als auch normativ größeres Augenmerk gelegt werden.

Da die solaren Wärmeeinträge einen Großteil der inneren Lasten ausmachen, sollte in Zukunft vermehrt auf die Planung und Ausführung der Beschattungseinrichtungen eingegangen werden. Zum einen muss sichergestellt werden, dass die vorhandene Beschattungseinrichtung verwendet wird, zusätzlich sollten die Nutzer dadurch nicht eingeschränkt bzw. eingeengt werden. Aufgrund der häufigen Abwesenheit während des Tages (Wohnnutzung) sowie der unterschiedlichen Wahrnehmungen der einzelnen Nutzer (Büronutzung) sollte die Beschattungseinrichtung über eine automatisch gesteuerte Anlage mithilfe von Sensoren geregelt werden.

Die vorhandene Speichermasse beeinflusst das Verhalten des Gebäudes, ist aber nicht ausschließlich entscheidend für die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung. Ausschlaggebend ist die vom kühlungswirksamen Luftwechsel aktivierte Speichermasse. Die Aktivierung der Speichermasse hängt von einigen Parametern ab. Es wird zwischen baulichen und nutzerbedingten Voraussetzungen unterschieden.

- Bauliche Voraussetzungen

Von den Strömungsverhältnissen im Gebäude hängt ab, ob ein effizienter Luftaustausch möglich ist. Um ideale Strömungsverhältnisse zu gewährleisten, muss die Grundrissgestaltung dementsprechend optimiert werden (Gebäudegeometrie und -orientierung hinsichtlich der Hauptwindrichtung, Querlüftungsmöglichkeiten sowie Größe und Anordnung der Fenster, Kamineffekt über Stiegenhaus,...). Um hier geeignete Vorgaben für die Praxis zu erarbeiten, sollten in Zukunft Untersuchungen mithilfe von CFD-Modellen durchgeführt werden.

Für die Öffnungsmöglichkeiten muss sichergestellt werden, dass diese auch in den Nachtstunden, wenn primär die kühlende Außenluft vorhanden ist, offen gehalten werden können. Daher müssen bereits bei der Planung diverse Randbedingungen berücksichtigt werden (Schallschutz, Einbruchschutz, Schlagregenschutz,...).

Im städtischen Bereich ist auch bei der Raumplanung verstärkt auf die Ermöglichung eines kühlungswirksamen Luftwechsels hin zu arbeiten. Die Umgebung des Gebäudes sollte so beschaffen sein, dass sich die Außenluft nicht zusätzlich erwärmt. Eine mögliche Abkühlung der Außenluft kann unter anderem durch städtebauliche Maßnahmen wie die Entwicklung von Beschattungsmöglichkeiten sowie Verdunstungsflächen, die Schaffung von mehr Grünflächen und die Begrünung von Flachdächern sowie durch Berücksichtigung der Reflexions- und Absorptionseigenschaften der Fassaden und Straßenzüge beeinflusst werden. Auch in diesem Bereich ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

- Nutzerbedingte Voraussetzungen

Wenn die Außenlufttemperatur die Innenlufttemperatur übersteigt, sind die Fenster zu schließen. In der Regel müssen in den Sommermonaten die Fenster tagsüber geschlossen bleiben. Ist die Außenlufttemperatur kühlungswirksam, sind die Fenster zu öffnen. Das wird in den Sommermonaten grundsätzlich während den Nachtstunden der Fall sein. Daher erfordert die manuelle Betätigung eine nicht zu unterschätzende Selbstdisziplin der Nutzer. Abhilfe könnte eine automatisierte Steuerung der Öffnungsmöglichkeiten darstellen.

Wird in Zukunft vermehrt auf die angesprochenen Parameter Rücksicht genommen, so sollte bei einem kühlungswirksamen Luftwechsel und einem (nächtlichen) Absinken der Außenlufttemperatur unabhängig von der Bauweise und ohne maschinelle Klimatisierung die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung möglich sein. Werden die soeben erwähnten Kriterien nicht erfüllt, wird es auch zukünftig Bereiche geben, in denen die Vermeidung der sommerlichen Überwärmung nur mithilfe maschineller Klimatisierung erreicht werden kann.

Wird auf eine maschinelle Klimatisierung zurückgegriffen, spielt die vorhandene Speichermasse und somit auch die Bauweise grundsätzlich keine Rolle.

Anzumerken ist, dass Modelle bezüglich der Entwicklung der zukünftigen Windverhältnisse stark streuen und daher mit Vorsicht zu interpretieren sind. Es lässt sich jedoch ein Trend erkennen, dass eher mit einer leichten Abnahme der Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist. Österreicherweit lässt sich erkennen, dass eine Zunahme von heißen Tagen und warmen Nächten sowie gleichzeitig eine Abnahme von kalten Tagen und kalten Nächten stattfindet. Durch den Anstieg der Nachttemperaturen wird es zu einer Zunahme von Schlaf- und Gesundheitsproblemen kommen. Aufgrund der dichteren Bebauung und des Wärmeinseleffekts wird die nächtliche Abkühlung in den Städten geringer als im ländlichen Raum ausfallen.



## Literaturverzeichnis

### Bücher, Forschungsberichte, Normen, Richtlinien und Vorlesungsunterlagen

**Fischer, Heinz-Martin, et al. 2008.** Lehrbuch der Bauphysik. *Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima*. Wiesbaden : Vieweg + Teubner Verlag, 2008.

**Gerersdorfer, Thomas, et al. 2009.** Untersuchung zur nächtlichen Abkühlung in einem sich ändernden Klima. Wien : Institut für Meteorologie (BOKU-Met) Department Wasser - Atmosphäre - Umwelt Universität für Bodenkultur, 2009.

**Institut für Hochbau. 2012.** Vorlesungsunterlage Bauphysik 1. *Wärmeschutz & Feuchtigkeitsschutz*. Graz : TU Graz, 2012.

**Koralewski, H. E. 2006.** Energiehaushalt und Temperaturregulation. Berlin : Charité, 2006.

**Kromp-Kolb, Helga, et al. 2014.** Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien : Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2014.

**Kromp-Kolb, Helga, Formayer, Herbert und Clementschitsch, Lukas. 2007.** Auswirkungen des Klimawandels auf Wien unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien. Wien : Institut für Meteorologie (BOKU-Met) Department Wasser - Atmosphäre - Umwelt Universität für Bodenkultur, 2007.

**Loibl, Wolfgang. 2011.** PUBLIZIERBARER Endbericht Studien. *reclip:century-Entwicklung eines Basisdatensatzes regionalisierter Klimaszenarien*. Wien : Klima- und Energiefonds, 2011.

**Mair am Tinkhof, Oskar. 2014.** Auswahl von Klimadatensätzen für die Simulation. Wien : unveröffentlicht, 2014.

**Neufert, Ernst und Kister, Johannes. 2009.** Bauentwurfslehre. Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2009.

**Österreichisches Institut für Bautechnik. 2011.** OIB-Richtlinie 2. *Brandschutz*. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.

**Österreichisches Institut für Bautechnik. 2011.** OIB-Richtlinie 3. *Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz*. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.

**Österreichisches Institut für Bautechnik. 2011.** OIB-Richtlinie 5. *Schallschutz*. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.

- Österreichisches Institut für Bautechnik. 2011.** OIB-Richtlinie 6. *Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Wien : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2012.** ÖNORM B 8110-3 (2012-03-15). *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2011.** ÖNORM B 8110-5 (2011-03-01). *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2011.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2010.** ÖNORM B 8110-5 Beiblatt 2 (2010-03-01). *Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofil*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2010.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2007.** ÖNORM EN 15251 (2007-09-01). *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2007.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2008.** ÖNORM EN ISO 13786 (2008-04-01). *Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2008.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2012.** ÖNORM EN ISO 13791 (2012-06-01). *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2012.
- Österreichisches Normungsinstitut. 2006.** ÖNORM EN ISO 7730 (2006-05-01). *Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch den PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2006.
- Schild, Kai und Willems, Wolfgang M. 2011.** *Wärmeschutz. Grundlagen - Berechnung - Bewertung PRAXIS*. Wiesbaden : Vieweg + Teubner Verlag, 2011.
- Speckmann, Erwin Josef, Hescheler, Jürgen und Köhling, Rüdiger. 2013.** *Physiologie*. München : Urban & Fischer in Elsevier, 2013.
- Willems, Wolfgang, et al. 2013.** *Lehrbuch der Bauphysik. Schall - Wärme - Feuchte - Licht - Brand - Klima*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2013.

## Internetquellen

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic\\_spectrum\\_c.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_c.svg) [07.01.2015]

<http://www.glas-nowak.de/de-de/produkte/sonnenschutzglas/grundlagen.aspx> [24.01.2015]

[http://www.baunetzwissen.de/index/Sonnenschutz-Arten-und-Formen\\_767022.html](http://www.baunetzwissen.de/index/Sonnenschutz-Arten-und-Formen_767022.html).

[24.01.2015]

[http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info\\_und\\_Service/Publikationen/Sommertauglich\\_Bauen\\_2013.pdf](http://www.esv.or.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Sommertauglich_Bauen_2013.pdf) [24.01.2015]

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen/wohnungs\\_und\\_gebaeudebestand/022982.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/022982.html) [07.03.2015]

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen/wohnungs\\_und\\_gebaeudebestand/Gebaeude/074079.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/Gebaeude/074079.html) [07.03.2015]

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/index.html)

[07.11.2014]

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen/wohnungs\\_und\\_gebaeudebestand/022982.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/022982.html) [07.03.2015]

[http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/bevoelkerung/demographische\\_prognosen/haushalts\\_und\\_familienprognosen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/demographische_prognosen/haushalts_und_familienprognosen/index.html) [07.03.2015]

[http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten\\_oesterreich\\_1971\\_frame1.htm](http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm) [07.03.2015]

<http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/wien-wird-heisser-klimaforschung-und-staedtebau-untersuchen-massnahmen-gegen-hitzebelastung> [07.03.2015]

<https://remo-rcm.de/REMO-UBA.1189.0.html> [07.03.2015]

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Wärmeübertragungsvorgänge	4
Abbildung 2: Elektromagnetische Spektrum	7
Abbildung 3: Einflüsse der Wärmebildung und Wärmeabgabe	10
Abbildung 4: Verlauf der Isothermen im Körper einer ruhenden, unbedeckten Person bei einer Lufttemperatur von 20 °C und 35 °C	10
Abbildung 5: Anteil der Wärmeabgabe für die einzelnen Wärmetransportmechanismen für eine leicht bedeckte Person unter Ruhebedingungen in einem Innenraum mit einer operativen Temperatur von 24 °C. Ein Wandschirm verringert den Anteil der Strahlungsverluste	12
Abbildung 6: Thermische Behaglichkeit abhängig von intermediären, physikalischen und physiologischen Bedingungen, unterteilt in primäre, sekundäre und zusätzliche Faktoren	13
Abbildung 7: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen	14
Abbildung 8: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur und der Luftgeschwindigkeit	15
Abbildung 9: Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit der Raumlufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und der körperlichen Tätigkeit	16
Abbildung 10: Zulässige Innentemperatur für Gebäude ohne maschinelle Kühlung	20
Abbildung 11: PPD-Index als Funktion des PMV-Index	25
Abbildung 12: Unterschiede bei der direkt bestrahlten Bodenfläche aufgrund unterschiedlicher Neigung der transparenten Außenbauteile	28
Abbildung 13: Strahlungsintensität der direkten, diffusen und reflektierten Strahlung auf eine vertikale Ebene in Abhängigkeit der Zeit und Orientierung, gemessen in Holzkirchen (GER)	29
Abbildung 14: Beispielhafte Aufteilung der einfallenden Sonnenstrahlung bei einer Zweifachverglasung	30
Abbildung 15: Definition der Neigung und Orientierung der Flächennormalen	37
Abbildung 16: Simulationsprototyp Einfamilienhaus - Grundrisse	46
Abbildung 17: Simulationsprototyp Einfamilienhaus - Ansicht Südwest und Nordwest	47

Abbildung 18: Simulationsprototyp Einfamilienhaus - Ansicht Nordost und Südost	47
Abbildung 19: Simulationsprototyp Wohnnutzung	50
Abbildung 20: Simulationsprototyp Büronutzung	51
Abbildung 21: Parametervariation hinsichtlich Beschattung und Luftwechsel	72
Abbildung 22: Parametervariation hinsichtlich der Bauweisen	73
Abbildung 23: Parametervariation hinsichtlich Nutzung und Klimatisierung	73
Abbildung 24: Reduziertes Modell für Implementierung in DesignBuilder	75
Abbildung 25: Simulationsmodell aus DesignBuilder, Außenwände werden transparent dargestellt	75
Abbildung 26: Abmessung Standard-Fenster	76
Abbildung 27: Abmessung Balkontür	76
Abbildung 28: Energetische Gewinne und Verluste gültig für die Simulationsberechnung Base Case - Wohnnutzung - natürliche Lüftung und den gesamten Auswertzeitraum von Mai bis September	78
Abbildung 29: Gemittelte tägliche Beschattungsdauer in Stunden/Tag	81
Abbildung 30: Entwicklung der Haushalte bis 2030	85
Abbildung 31: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur	86
Abbildung 32: Anzahl der Sommertage (Tage mit Temperaturtagesmaximum $\geq 25$ °C)	87
Abbildung 33: Anzahl der heißen Tage (Tage mit Temperaturtagesmaximum $\geq 30$ °C)	87
Abbildung 34: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit	88
Abbildung 35: Monatssummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche; Anmerkung: für Hörsching und Schwechat sind keine Daten vorhanden	88
Abbildung 36: oben: aktuelle Landnutzung von Wien und Umgebung (Stand: 2007 / 2008) unten: hypothetische Zukunft der Landnutzung von Wien und Umgebung	90
Abbildung 37: Jahresverlauf der Außenlufttemperatur [°C]	93
Abbildung 38: Jahresverlauf der relativen Luftfeuchte der Außenluft [%]	94
Abbildung 39: Jahresverlauf des atmosphärischen Luftdrucks [h Pa]	95
Abbildung 40: Jahresverlauf des Niederschlags [mm]	96
Abbildung 41: Jahresverlauf der Windgeschwindigkeit [m/s]	97
Abbildung 42: Jahresverlauf der Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m <sup>2</sup> ]	98
Abbildung 43: Jahresverlauf der Direktstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m <sup>2</sup> ]	99

Abbildung 44: Jahresverlauf der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m <sup>2</sup> ]	100
Abbildung 45: Jahresverlauf der Direktnormalstrahlung [W/m <sup>2</sup> ]	101
Abbildung 46: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case	122
Abbildung 47: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case	123
Abbildung 48: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case	124
Abbildung 49: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case	125
Abbildung 50: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	126
Abbildung 51: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	127
Abbildung 52: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	128
Abbildung 53: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	129
Abbildung 54: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	130
Abbildung 55: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	131
Abbildung 56: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	132
Abbildung 57: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	133
Abbildung 58: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	134
Abbildung 59: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	135
Abbildung 60: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	136
Abbildung 61: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	137
Abbildung 62: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	138
Abbildung 63: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	139
Abbildung 64: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	140
Abbildung 65: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	141
Abbildung 66: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	142
Abbildung 67: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	143
Abbildung 68: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	144
Abbildung 69: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	145
Abbildung 70: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	146
Abbildung 71: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case	147

Abbildung 72: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case	148
Abbildung 73: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case	149
Abbildung 74: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case	150
Abbildung 75: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	151
Abbildung 76: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	152
Abbildung 77: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	153
Abbildung 78: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	154
Abbildung 79: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	155
Abbildung 80: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	156
Abbildung 81: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	157
Abbildung 82: Überschreitungsstunden > 27 °C - G heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	158
Abbildung 83: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	159
Abbildung 84: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	160
Abbildung 85: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	161
Abbildung 86: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	162
Abbildung 87: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	163
Abbildung 88: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	164
Abbildung 89: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	165
Abbildung 90: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	166
Abbildung 91: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	167
Abbildung 92: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	168
Abbildung 93: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	169
Abbildung 94: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	170
Abbildung 95: Zoneneinteilung des Simulationsprototyps	171
Abbildung 96: Zone 01 - kritischer Einzelraum	174

## Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss	106
Diagramm 2: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss	106
Diagramm 3: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss	107
Diagramm 4: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss	107
Diagramm 5: Kühlenergiebedarf (BGF) - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss	108
Diagramm 6: Kühlenergiebedarf (NGF) - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Regelgeschoss	108
Diagramm 7: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss	109
Diagramm 8: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Büronutzung – Regelgeschoss	109
Diagramm 9: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss	110
Diagramm 10: Überschreitungs Nächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss	110
Diagramm 11: Kühlenergiebedarf (BGF) - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss	111
Diagramm 12: Kühlenergiebedarf (NGF) - Gesamtzeitraum - Büronutzung - Regelgeschoss	111
Diagramm 13: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss	112
Diagramm 14: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss	112
Diagramm 15: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss	113
Diagramm 16: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss	113
Diagramm 17: Kühlenergiebedarf (BGF) - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss	114
Diagramm 18: Kühlenergiebedarf (NGF) - heißeste Woche - Wohnnutzung - Regelgeschoss	114
Diagramm 19: Operative Temperatur - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss	115
Diagramm 20: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss	115
Diagramm 21: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss	116
Diagramm 22: Überschreitungs Nächte > 25 °C - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss	116
Diagramm 23: Kühlenergiebedarf (BGF) - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss	117

Diagramm 24: Kühlenergiebedarf (NGF) - heißeste Woche - Büronutzung - Regelgeschoss	117
Diagramm 25: Operative Temperatur - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01	118
Diagramm 26: Überschreitungsstunden > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01	118
Diagramm 27: Überschreitungstage > 27 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01	119
Diagramm 28: Überschreitungsächte > 25 °C - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Zone 01	119
Diagramm 29: Operative Temperatur - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01	120
Diagramm 30: Überschreitungsstunden > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01	120
Diagramm 31: Überschreitungstage > 27 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01	121
Diagramm 32: Überschreitungsächte > 25 °C - heißeste Woche - Wohnnutzung - Zone 01	121
Diagramm 33: Ergebnisse - Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung	177
Diagramm 34: Monatliche Quartilenauswertung für das gesamte Regelgeschoss (Zonenmittelwerte)	180
Diagramm 35: Monatliche Quartilenauswertung für den kritischen Einzelraum (Zone 01)	180
Diagramm 36: Standardauswertung für das gesamte Regelgeschoss (Zonenmittelwerte)	181
Diagramm 37: Standardauswertung für den kritischen Einzelraum (Zone 01)	182
Diagramm 38: Stündlicher Verlauf der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (11.07. bis 20.07)	183
Diagramm 39: Stündlicher Verlauf der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (21.07. bis 30.07)	184
Diagramm 40: Stündlicher Verlauf der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (31.07. bis 09.08)	184
Diagramm 41: Verlauf der auf 24-Stundenbasis gemittelten Werte der operativen Temperatur im kritischen Einzelraum (10.06 bis 09.08)	185
Diagramm 42: Korrelationsanalyse - gesamtes Regelgeschoss	186
Diagramm 43: Korrelationsanalyse - kritischer Einzelraum	187
Diagramm 44: Gegenüberstellung Monatsauswertung Juli (Simulation) vs. Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung (B 8110-3) - kritischer Einzelraum - außenliegender Sonnenschutz	190

## Formelverzeichnis

Formel 1: Reflexion, Absorption und Transmission	8
Formel 2: gleitender Mittelwert der Außentemperatur	19
Formel 3: PMV - Index - 1	21
Formel 4: PMV - Index - 2	22
Formel 5: PMV - Index - 3	22
Formel 6: PMV - Index - 4	22
Formel 7: PPD - Index	25
Formel 8: immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse	35
Formel 9: Immissionsfläche	36
Formel 10: immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom	39
Formel 11: gesamte speicherwirksame Masse eines Raumes	40
Formel 12: speicherwirksame Masse eines Bauteils	40
Formel 13: flächenbezogene speicherwirksame Masse eines Bauteils	41
Formel 14: flächenbezogene wirksame Wärmespeicherkapazität eines Bauteils	41

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rohdichte $\rho$ und Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ einiger ausgewählter Stoffe bei 20°C	6
Tabelle 2: Beschreibung der Kategorien	17
Tabelle 3: Auswahl von Richtwerten für Gebäude mit Raumlufteinrichtungen	18
Tabelle 4: Empfohlene Kategorie unter Berücksichtigung des PPD- und PMV-Index für die Auslegung maschinell geheizter und gekühlter Bauwerke	19
Tabelle 5: Kategorien des Umgebungsklimas	21
Tabelle 6: Bewertungsskala mit dazugehörigem PPD-Index	21
Tabelle 7: Energieumsätze bei unterschiedlichen Tätigkeiten	23
Tabelle 8: Wärmedurchlasswiderstände für ausgewählte Bekleidungsvarianten	23
Tabelle 9: Mindest erforderliche immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse in Abhängigkeit vom immissionsflächenbezogenen stündlichen Luftvolumenstrom	36
Tabelle 10: $Z_{ON}$ -Faktoren zur Berücksichtigung der Neigung und Orientierung der Verglasungen	37
Tabelle 11: Richtwerte für transparente Bauteile bei bestehenden Gebäuden	38
Tabelle 12: Richtwerte für transparente Bauteile bei Neubauten und Sanierungen	39
Tabelle 13: Anzunehmende Luftwechselzahl in Räumen und Raumverbänden in Abhängigkeit von der Lage der Lüftungsöffnungen bei vollständiger Öffnung	40
Tabelle 14: Fensterflächenanteil Einfamilienhaus	46
Tabelle 15: Fensterflächenanteil Regelgeschoss Wohnnutzung	49
Tabelle 16: Fensterflächenanteil Regelgeschoss Büronutzung	50
Tabelle 17: Fenstergeometrie	76
Tabelle 18: Simulationsparameter der Beleuchtung	77
Tabelle 19: angenommene Luftwechselzahlen	79
Tabelle 20: Schwellwerte für die Beschattung	80
Tabelle 21: Belegungsdichte der einzelnen Einheiten	82

Tabelle 22: Annahme zur Anwesenheit der Bewohner bzw. des Büropersonals je Einheit	82
Tabelle 23: Bestand an Wohngebäuden und Wohnungen per 31.10.2011	84
Tabelle 24: Übersicht der Parameter, Auswertezeitraum Mai bis inklusive September	89
Tabelle 25: Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	93
Tabelle 26: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchte der Außenluft [%]	94
Tabelle 27: Monatsmittelwerte des atmosphärischen Luftdrucks [h Pa]	95
Tabelle 28: Monatssummen des Niederschlags [mm]	96
Tabelle 29: Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit [m/s]	97
Tabelle 30: Prozentuelle monatliche Verteilung der Windrichtung für $v < 5$ m/s	97
Tabelle 31: Prozentuelle monatliche Verteilung der Windrichtung für $v \geq 5$ m/s	98
Tabelle 32: Mittlere monatliche Tagessummen der Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche [ $\text{W h/m}^2$ ]	98
Tabelle 33: Mittlere monatliche Tagessummen der Direktstrahlung auf die horizontale Fläche [ $\text{W h/m}^2$ ]	99
Tabelle 34: Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [ $\text{W h/m}^2$ ]	100
Tabelle 35: Mittlere monatliche Tagessummen der Direktnormalstrahlung [ $\text{W h/m}^2$ ]	101
Tabelle 36: Gegenüberstellung der Bauweisen	104
Tabelle 37: Übersicht Diagramme	104
Tabelle 38: Übersicht Falschfarbendarstellung	105
Tabelle 39: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - Base Case	126
Tabelle 40: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	131
Tabelle 41: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	136
Tabelle 42: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	141
Tabelle 43: Übersicht der verarbeiteten Daten - Gesamtzeitraum - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	146
Tabelle 44: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - Base Case	151
Tabelle 45: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhter Luftwechsel	156
Tabelle 46: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerter Luftwechsel	161
Tabelle 47: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - erhöhte Beschattung	166
Tabelle 48: Übersicht der verarbeiteten Daten - heißeste Woche - Wohnnutzung - verringerte Beschattung	171
Tabelle 49: Verwendete Bauteile beim Nachweisverfahren lt. ÖNORM B 8110-3	175

Tabelle 50: Fenstergeometrie - Standard- und Balkonfenster	175
Tabelle 51: Ergebnisse - Nachweis mit vereinfachtem Verfahren	176
Tabelle 52: Ergebnisse - Nachweis mit Tagesverlaufsberechnung	177
Tabelle 53: Übersicht - Median kritischer Einzelraum und Median gesamtes Regelgeschoss	181
Tabelle 54: Übersicht - Mittelwert kritischer Einzelraum und Mittelwert gesamtes Regelgeschoss	182
Tabelle 55: ermittelte Periodendauer bei maximaler Korrelation	187