



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

Schlussbericht 22. Mai 2012

---

# **PARAMETERUNTERSUCHUNG DES SOMMERLICHEN RAUMKLIMAS VON WOHNGE- BÄUDEN**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Flumroc AG, CH - 8890 Flums  
Lignatur AG, CH - 9104 Waldstatt  
Pavatex AG, CH - 6330 Cham  
Saint Gobain Isover AG, CH - 1522 Lucens  
Schweizerischer Verband für geprüfte Qualitätshäuser, CH – 2501 Biel

**Auftragnehmer:**

Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau  
Solithurnstrasse 102  
CH-2504 Biel/Bienne  
[www.ahb.bfh.ch](http://www.ahb.bfh.ch)

**Projektverantwortlicher:**

Andreas Müller, Berner Fachhochschule, [andreas.mueller@bfh.ch](mailto:andreas.mueller@bfh.ch)

**Autoren:**

Christoph Geyer, Berner Fachhochschule, [christoph.geyer@bfh.ch](mailto:christoph.geyer@bfh.ch)  
Anna Schusser, Berner Fachhochschule, [anna.schusser@bfh.ch](mailto:anna.schusser@bfh.ch)  
Daniel Kehl

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Charles Filleux

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 154240 / 103215

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Definitionen .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Projektziele .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Einführung.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Anforderungen an das Raumklima .....</b>	<b>9</b>
4.1	EN ISO 7730.....	9
4.2	SIA 382/1.....	10
4.3	Modifikation der Anforderungen der SIA 382/1 nach Frank.....	11
4.4	Anforderung der SN EN 15251.....	12
4.5	Anforderungen nach DIN 4108-2.....	13
4.6	Anforderungen des Passivhaus-Instituts (PHI) .....	14
<b>5</b>	<b>Eingabeparameter für die Simulation .....</b>	<b>15</b>
5.1	Wirksame Wärmekapazität .....	16
5.2	Interne Wärmelasten .....	17
5.3	Solare Wärmeeinträge - Verschattungsverhalten .....	19
5.4	Lüftung .....	19
5.4.1	Fensteröffnungszeiten in Wohnräumen .....	19
5.4.2	Einfluss der Fenstergeometrie auf den natürlichen Luftwechsel .....	23
<b>6</b>	<b>Nachweisverfahren.....</b>	<b>25</b>
6.1	Nachweis nach SIA 382/1.....	25
6.1.1	Einfacher Nachweis nach SIA 382/1.....	25
6.1.2	Nachweis über thermische Simulationen .....	26
<b>7</b>	<b>Referenzgebäude.....</b>	<b>27</b>
7.1	Typische Baukonstruktionen im Wohnungsbau .....	27
7.1.1	Aussenwandkonstruktionen .....	28
7.1.2	Innenwandkonstruktionen.....	30
7.1.3	Deckenkonstruktionen .....	31
7.1.4	Dachkonstruktionen.....	34
7.2	Flächen .....	36
7.2.1	Raumflächen .....	36
7.2.2	Fenster- und Glasflächen .....	38
7.3	Erstellung des Referenzgebäudes.....	42
7.4	Varianten Referenzgebäude .....	42
7.4.1	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, der Räume und des Gebäudes.....	42
7.4.2	Glasflächen .....	43

<b>8</b>	<b>Randbedingungen der Simulationen .....</b>	<b>44</b>
8.1	Lüftungs- und Verschattungsverhalten in Wohnräumen .....	44
8.2	Verschattung .....	48
8.3	Zusammenstellung der Randbedingungen für die Simulationen .....	48
<b>9</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>52</b>
9.1	Vergleich der Bewertungsmethoden .....	52
9.2	Auswertung Gesamtgebäude .....	55
9.2.1	Einfluss der Lüftung .....	55
9.2.2	Glasanteil $f_g$ .....	58
9.2.3	Nutzung des Sonnenschutzes .....	59
9.2.4	Wirksame Wärmekapazität .....	61
9.3	Auswertung der Einzelräume .....	70
9.4	Vergleich zwischen vereinfachtem Nachweis und Simulation .....	72
9.5	Art des Dämmstoffes .....	76
<b>10</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>79</b>
<b>11</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>80</b>
<b>12</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>83</b>
12.1	Physikalische Kenngrößen der verwendeten Baustoffe .....	83
12.2	Fensterlüftungsprofile .....	84
12.3	Aussenwandkonstruktionen .....	92
12.3.1	Auswertung Studierende und VGQ Häuser .....	92
12.3.2	Bauteilaufbauten .....	93
12.4	Deckenkonstruktionen .....	102
12.5	Dachkonstruktionen .....	114
12.6	Innenwandkonstruktionen .....	125
12.7	Analyse Raumgrößen .....	129
12.8	Analyse Fensterflächen .....	132
12.9	Eingabeparameter Referenzhaus .....	136
12.10	Zusammenstellung Ergebnisse – Überschreitungshäufigkeit /-Stunden .....	143
12.10.1	Überschreitungsstunden bei Glasflächenzahl $z_g = 0.08$ / $f_g = 0.06$ (Gebäude) .....	143
12.10.2	Überschreitungsstunden bei Glasflächenzahl $z_g = 0.17$ / $f_g = 0.12$ (Gebäude) .....	144
12.10.3	Überschreitungsstunden bei Glasflächenzahl $z_g = 0.31$ / $f_g = 0.22$ (Gebäude) .....	145



## Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt wird das sommerliche Raumklima von Gebäuden in Holzbauweise untersucht. Mit der Software „IDA Klima und Energie 4.0 Expert Edition“ von Equa Simulation wird eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt und einzelne Einflussparameter auf das sommerliche Raumklima, wie Fensterfläche und -ausrichtung, Verschattung, Lüftung sowie wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Holzbauten analysiert. Um die Bauteil- und Gebäudedaten möglichst nah an der Praxis zu orientieren, werden anhand von Literatur, Umfragen bei Studenten der Technikerschule an der Berner Fachhochschule in Biel und Holzhausherstellern des Schweizerischen Verbandes für Geprüfte Qualitätshäuser (VGQ) Daten über Bauteilaufbauten, Fensterflächen, Raumgrössen etc. ermittelt. Basierend auf diesen Daten wird ein Referenzgebäude erstellt, das für die Simulation als Grundlage dient und an dem die Einflussparameter variiert werden können.

Die Simulationen des sommerlichen Raumklimas für das Referenzgebäude haben ergeben, dass die wichtigsten Einflussgrössen auf die sommerlichen Raumlufttemperaturen

- die Lüftung durch Fensteröffnen und damit die Abfuhr der internen und solaren Wärmelasten sowie
- die Fenstergrösse und die Verschattung der Fenster durch Bedienung des aussenliegenden Sonnenschutzes, welche die solare Einstrahlung in das Gebäude begrenzen,

sind.

Sie belegen damit auch den grossen Einfluss des Nutzerverhaltens auf das Raumklima im Sommer.

Auch bei Gebäuden mit einer geringen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit und grossen Fensterflächen können mit einer effizienten Fensterlüftung und einer konsequenten Bedienung des Sonnenschutzes komfortable Raumlufttemperaturen im Sommer sichergestellt werden.

Die Simulationsergebnisse werden mit den unterschiedlichen Beurteilungskriterien für das sommerliche Raumklima gemäss den Richtlinien SIA 382/1, EN 15251, DIN 4108-2 und des Passivhausinstituts analysiert. Die unterschiedlichen Beurteilungsmethoden führen trotz verschiedener Bewertungskriterien zu ähnlichen Beurteilungen der Qualität des sommerlichen Raumklimas, wenn die Räume vom Nutzer effizient gelüftet werden und die Verschattung konsequent genutzt wird.

## Abstract

As part of the research project “Sommerliches Komfortklima in Wohngebäuden” the indoor climate in summer in lightweight residential buildings is investigated.

To define the geometry and construction of a typical single family house a poll were carried out among members of construction companies asking about the typical constructions and sizes of their actual buildings.

Based on this data a standard building, with typical sizes and constructions for windows, rooms and construction elements is defined.

In order to investigate the thermal behaviour of the indoor climate in this standard building and to identify the crucial parameters which determine the indoor climate in summer, various numerical simulations were performed. The parameters, effective thermal capacity of the building, air ventilation due to window opening and use of sun protection are varied in these calculations.

As a result of these thermal simulations, air ventilation and minimizing the incoming solar radiation by an effective window shadowing are the most crucial parameters to achieve an indoor climate with a satisfying thermal comfort in the summer.

Even in the standard building with a wooden construction and a small effective thermal capacity it is possible to keep the indoor temperatures within the comfort range for most of summertime. Due to the consequent use of the sun protection and effective air ventilation, the calculated indoor air temperature exceeds the comfort limits given by the Swiss standard SIA 382/1 by less than 100 hours per year.

In addition the calculated results were analysed according to the comfort criteria of the European standard EN 15251, the German standard DIN 4108-2 and the comfort criterion, which is given by the Passivhaus Institut. All criteria lead to similar ratings of the indoor climate thermal comfort.

# 1 Definitionen

Begriff	Formelzeichen	Erläuterung
<b>Nettofläche</b>	$A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche des Bauteils
<b>Glasfläche</b>	$A_g$ [m <sup>2</sup> ]	Glasfläche ohne Fensterrahmen
<b>Fassadenfläche</b>	$A_F$ [m <sup>2</sup> ]	Fläche der Fassade. Für die Ermittlung des Glasanteils wird die Bruttofläche genommen.
<b>Nettogeschossfläche</b>	$A_{NGF}$ [m <sup>2</sup> ]	Nettogeschossfläche nach SIA 416
<b>Operative Temperatur (empfundene Temp.)</b>	$\Theta_o$ [°C]	<p>Nach SIA 382/1: Für die thermische Behaglichkeit des Menschen massgebende Temperatur unter Berücksichtigung der lokalen Raumlufttemperatur und der Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen. Unter den Randbedingungen der SIA 382/1 kann die empfundene Temperatur wie folgt berechnet werden.</p> $\theta_o = \frac{\theta_a + \theta_r}{2} \quad (1)$ <p> <math>\theta_o</math> empfundene Temperatur am betrachteten Ort im Raum  <math>\theta_a</math> Lufttemperatur im Raum  <math>\theta_r</math> mittlere Strahlungstemperatur der Oberflächen bezogen auf den betrachteten Ort im Raum </p>
<b>clo- Wert</b>	[clo]	<p>Mass für den Wärmedämmwert der Bekleidung eines Menschen (clothing)</p> <p>1 clo = 0.155 m<sup>2</sup>·K/W; entspricht einer üblichen Hausbekleidung im Winter</p>
<b>Raumlufttemperatur</b>	$\Theta_i$ [°C]	Temperatur der Raumluft
<b>Aussenlufttemperatur</b>	$\Theta_e$ [°C]	Temperatur der Aussenluft
<b>Gleitender Mittelwert der Aussenlufttemperatur</b>		<p>Nach EN 15251:2007 : exponentiell gewichteter gleitender Mittelwert des Tagesmittelwertes der Aussenlufttemperatur, der wie folgt berechnet wird:</p> $\theta_{rm} = (1 - \alpha) * \theta_{ed-1} + \alpha * \theta_{rm-1}$ <p> <math>\theta_{rm}</math>...gleitender Mittelwert der Temperatur für den aktuellen Tag  <math>\theta_{rm-1}</math>...gleitender Mittelwert der Temperatur für den vorherigen Tag  <math>\theta_{ed-1}</math>...Tagesmittelwert der Aussenlufttemperatur für den vorherigen Tag  <math>\alpha</math>...Konstante: <math>\alpha = 0.8</math> </p>

Begriff	Formelzeichen	Erläuterung
<b>Wärmekapazität eines Bauteils</b>	$K_i$	Berechnung der wirksamen Wärmekapazität des Bauteils erfolgt nach EN 13786 für eine Periode von 24 Stunden.
<b>Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes</b>	$C_R$ [Wh/K]	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes wird wie folgt ermittelt: $C_R = \sum A_i \cdot \kappa_i$
<b>Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes bezogen auf die Nettogrundfläche (<math>A_{NGF}</math>)</b>	$C_R / A_{NGF}$ [Wh/m <sup>2</sup> *K]	Wirksame, auf die Nettogeschossfläche bezogene Wärmespeicherfähigkeit $C_R/A_{NGF}$ eines Raumes.
<b>Gesamtenergiedurchlassgrad</b>	$g$	Verhältnis der im Raum ankommenden zur aussen auftreffenden Strahlungsenergie. Der Gesamtenergiedurchlassgrad wird bei Fenstern mit und ohne Sonnenschutz angewendet.
<b>Glasanteil</b>	$f_g$ [-]	Verhältnis der Glasfläche zur totalen Ansichtsfläche des betrachteten Fassadenausschnitts. Der Glasanteil der Dachfläche bezeichnet man das Verhältnis der Glasfläche zur Geschossfläche des betrachteten Raumes.
<b>Infiltration</b>		Unkontrollierter Eintritt von Aussenluft in das Gebäude durch Undichtheiten der Gebäudehülle.
<b>met-Wert</b>	$met$	Mass für die Aktivität und damit die Wärmeabgabe eines Menschen (metabolic rate)
<b>Glasflächenzahl</b>	$z_g$ [-]	Verhältnis der Glasfläche zur Nettogrundfläche des dahinterliegenden Raumes

## 2 Projektziele

Es ist bekannt, dass es bei Wohngebäuden während der Sommermonate unter bestimmten Randbedingungen zu einem unbehaglichen Raumklima kommt. Dies ist umso bedeutsamer, da es auf Grund des Klimawandels [1] zukünftig wahrscheinlich immer wärmer wird. Zur Reduktion hoher Temperaturen können sowohl anlagentechnische (z.B. Klimaanlage) als auch konstruktive Massnahmen (u.a. Verschattung) eingesetzt werden.

Die konstruktiven und nutzerbedingten Mechanismen, um die Temperaturen auf ein behagliches Mass zu reduzieren, sind prinzipiell bekannt u.a. [2]-[4];[9]-[12]. Zu Massivbauten liegen dazu Erkenntnisse aus Messungen und Simulationen vor. Da Holzbauten auf Grund ihrer unterschiedlichen inneren wirksamen Wärmekapazität anders reagieren, können die Ergebnisse des Massivbaus nicht übertragen werden. Für Holzbauten mit ihren mittlerweile sehr unterschiedlichen Bauweisen (u.a. Holzrahmen-, Holzmassiv- und Holzbetonverbundbau) liegen nur vereinzelte Erkenntnisse vor [2]-[4]. Hier fehlt es an detaillierten und umfangreichen Untersuchungen. Diese Lücke zu schliessen, ist besonders von Bedeutung, da viele MINERGIE® und MINERGIE-P®-Bauten in Holz errichtet werden. Lemon Consult [8] führte bereits bei acht MINERGIE®-Wohngebäude in Holzbauweise Untersuchungen durch, wobei festgestellt werden konnte, dass je nach Nutzerverhalten das Raumklima stark variiert.

Daher sollen mittels thermischer Gebäudesimulation die einzelnen Einflussparameter, wie Fensterfläche und -ausrichtung, Verschattung, Lüftung sowie Wärmekapazität der Holzbauten und besonders deren Wechselwirkung analysiert werden. Um die Bauteil- und Gebäude-daten möglichst nah an der Praxis zu orientieren, wird zunächst eine differenzierte Datengrundlage über Bauteilaufbauten, Fensterflächen, Raumgrössen etc. anhand von Literatur, Umfrage bei Technikern der HF Biel und Holzhausherstellern des Schweizerischen Verbandes für Geprüfte Qualitätshäuser (VGQ) ermittelt. Aus den Daten wird ein Referenzhaus erstellt, das für die Simulation als Grundlage dient und an dem die Parameter wirksame Wärmekapazität, Fensterfläche und –ausrichtung variiert werden können.

Die beiden wichtigsten Einflüsse auf die Raumtemperaturen stellt das Verschattungs- und Lüftungsverhalten dar. Auf Grundlage der ermittelten Daten sollen die Parameter in der Simulation variiert und ausgewertet werden. In der Auswertung werden die Varianten herausgearbeitet, bei denen auf separate Technik (Klimaanlage, automatische Verschattung) im Sommer verzichtet werden kann.

### 3 Einführung

Die Mechanismen, um die Raumtemperaturen in einem Gebäude komfortabel zu halten, sind hinlänglich bekannt. Dabei haben

- die solaren Wärmeeinträge über Fenster (Fenstergrösse, Ausrichtung, Verschattung),
- das Lüftungsverhalten,
- die internen Wärmelasten (z.B. Elektrische Geräte, Personen etc.) und
- die wirksame Wärmekapazität des Raumes und der Bauteile

Einfluss auf das Raumklima. Der Planende kann somit konstruktiv die Fensterflächen bemessen, hat die Möglichkeit Verschattungseinrichtungen (Storen, Rollläden, Markisen etc.) vorzusehen, Fenster für die Lüftung zur Verfügung zu stellen und eine geeignete Bauweise zu wählen. Die beiden wichtigsten Faktoren der Nutzung von Verschattung und Lüftung sind allerdings stark vom Nutzer abhängig.

### 4 Anforderungen an das Raumklima

#### 4.1 EN ISO 7730

Der Mensch ist beim Aufenthalt in Räumen unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt. Das Wohlbefinden in Bezug auf Temperatur hängt im Wesentlichen von der Bekleidung, der Tätigkeit als auch vom Umgebungsklima ab. Zu letzterem gehören Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur der Umgebungsflächen, Luftgeschwindigkeit, Turbulenzgrad und relative Luftfeuchte. Allerdings reagieren nicht alle Menschen auf ein und dasselbe Umgebungsklima gleich. Daher wird in der SN EN ISO 7730:2006 „Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“ [26] ein Verfahren beschrieben, nach dem die Behaglichkeit als statistische Grösse, nämlich dem Prozentsatz der Unzufriedenen eines Versuchskollektivs, dem PPD-Index ermittelt wird.

Zur Beurteilung des Raumklimas werden dabei drei Behaglichkeitskategorien A, B und C festgelegt. Für jede Behaglichkeitsklasse werden maximale Werte für den Prozentsatz der Unzufriedenen sowohl für den thermischen Zustand des Körpers insgesamt und als auch für die lokale Unbehaglichkeit festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen.

Mit dem PPD Index, kann der Anteil der Unzufriedenen und damit die thermische Behaglichkeit exakt beschrieben werden. Allerdings ist für die Bestimmung des PPD-Indexes eine Reihe von Parametern erforderlich. Damit ist sowohl die Berechnung als auch die messtechnische Bestimmung des PPD-Index vergleichsweise aufwändig. Aus diesem Grund werden in verschiedenen Richtlinien (SIA 382/1, EN 15251 und DIN 4108-2) und auch in der

EN ISO 7730 aus den Anforderungen an den PPD-Index Anforderungen an die Raumluft- bzw. operative Temperatur abgeleitet, da diese physikalische Grösse wesentlich einfacher durch Messungen bestimmt werden kann.

In Tab. 1 sind die Anforderungen an die operative Temperatur im Sommer nach EN ISO 7730 für die Behaglichkeitskategorien zusammengestellt. Für die Ableitung der Anforderungen an die operative Raumlufttemperatur wurde für die Aktivität der Nutzer in den Büroräumen eine sitzende Tätigkeit mit einer Wärmeabgabe von  $70 \text{ W/m}^2$  angesetzt. Da in Wohnungen von einer vergleichbaren Aktivität der Nutzer ausgegangen werden kann, werden die Anforderungen an die operative Temperatur nach Tab. 1 auch für Wohnräume übernommen.

Tab. 1: Anforderungen an die operative Temperatur im Sommer für die Nutzung „Büro“ für die drei Kategorien nach EN ISO 7730.

Nutzung	Aktivität in $\text{W/m}^2$	Behaglichkeits- kategorie	Maximal zulässiger Pro- zentsatz der Unzufriedenen (PPD) in %	Operative Temperatur im Sommer in $^{\circ}\text{C}$
Einzelbüro, Bürolandschaft	70	A	< 6 %	$24.5 \pm 1.0$
		B	< 10 %	$24.5 \pm 1.5$
		C	< 15 %	$24.5 \pm 2.5$

## 4.2 SIA 382/1

Auch in der Schweizer Norm SIA 382/1:2007 „Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen“ [22] werden aus den Anforderungen an die thermische Behaglichkeit nach EN ISO 7730 Anforderungen an die Raumlufttemperaturen abgeleitet. Diese Richtlinie definiert zunächst für konditionierte Räume, deren Temperatur im Winter durch eine Heizung und im Sommer durch eine Kühlung kontrolliert wird, einen zulässigen Temperaturbereich in Abhängigkeit des Tagesmaximums der Aussenlufttemperatur. Abb. 1 zeigt den zulässigen Temperaturbereich als hellblau hinterlegte Fläche, die sich zwischen der unteren Grenzkurve (gestrichelte Linie) und der oberen Grenzkurve (rote Linie) befindet.

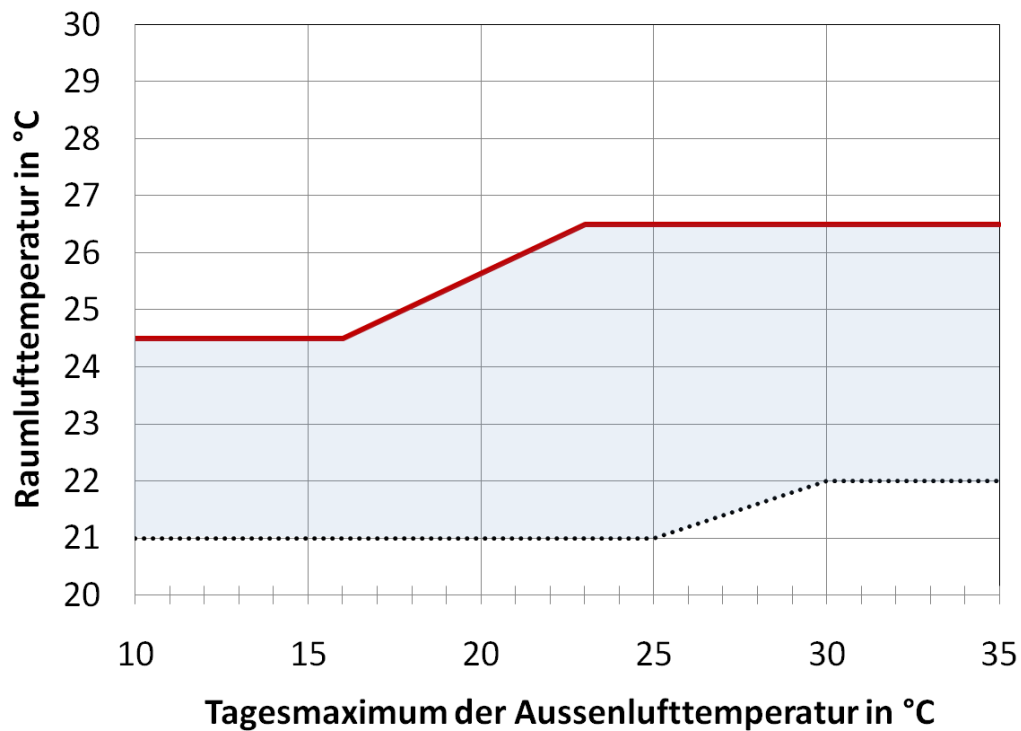


Abb. 1: Zulässiger Temperaturbereich der Raumlufte als Funktion des Tagesmaximums der Aussenlufttemperatur nach SIA 382/1 (hellblaue Fläche). Die rote Kurve bezeichnet die obere Grenzkurve des Temperaturbereichs, die schwarze gestrichelte Kurve die untere Grenzkurve.

In nicht konditionierten Räumen ohne Kühlung kann kein maximaler Wert für die auftretenden Raumlufte Temperaturen gewährleistet werden. Es wird daher für diese Art von Räumen eine maximal zulässige Überschreitungsdauer definiert. Die SIA 382/1 legt diese maximal zulässige Überschreitungsdauer der oberen Grenzkurve mit 100 h pro Jahr fest. Wird dieser Wert für die maximale Überschreitungsdauer überschritten, ist eine Kühlung des Raumes erforderlich.

#### 4.3 MODIFIKATION DER ANFORDERUNGEN DER SIA 382/1 NACH FRANK

In Wohnungen können die Nutzer ihre Aktivität, ihre Kleidung und die Lüftung durch Öffnen der Fenster besser an die Klimabedingungen anpassen als Büronutzer. Daher ist in Wohnungen die Erwartungshaltung der Nutzer an das Raumklima nicht so hoch wie in Bürogebäuden. Deshalb wurde von Thomas Frank (EMPA, Dübendorf) vorgeschlagen, die obere Grenzkurve nach SIA 382/1 für Wohnungen mit Fensterlüftung so anzupassen, dass die obere Grenzkurve bis zu einem Tagesmaximum der Aussenlufttemperatur von 28° C linear ansteigt und für Tagesmaxima der Aussenlufttemperatur oberhalb von 28° C einen konstanten Wert von 28° C beibehält. Abb. 2 stellt den zulässigen Bereich der Raumlufte Temperaturen nach SIA 382/1 mit der oberen und unteren Grenzkurve und der Modifikation nach Frank dar.



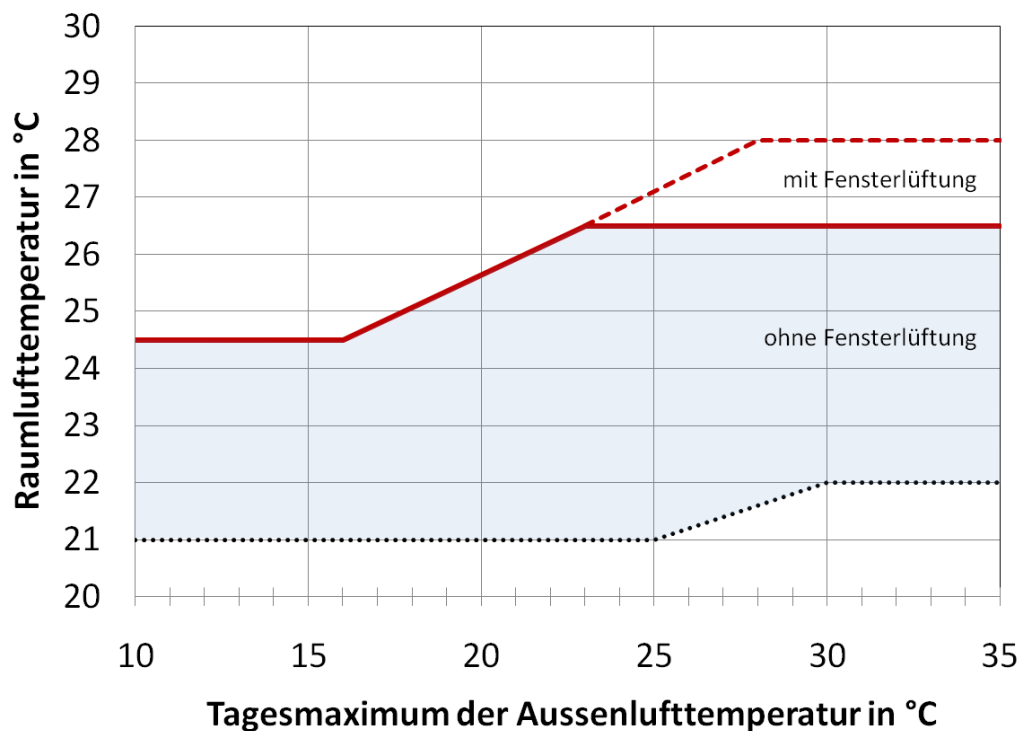


Abb. 2: Zulässiger Temperaturbereich der Raumlufte als Funktion des Tagesmaximums der Aussenlufttemperatur nach SIA 382/1: 2007 [22] (hellblaue Fläche). Die rote Kurve bezeichnet die obere Grenzkurve des Temperaturbereichs, die schwarze, gestrichelte Kurve die untere Grenzkurve. Die Modifikation der oberen Grenzkurve nach Frank ist als rot gestrichelte Kurve dargestellt.

#### 4.4 ANFORDERUNG DER SN EN 15251

Auch die Europäische Norm SN EN 15251:2007 „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftequalität, Temperatur, Licht und Akustik“ [28] definiert drei Behaglichkeitskategorien zur Beurteilung der Qualität des Raumklimas. Diese werden von Kategorie I für ein hohes Mass an Erwartungen an das Raumklima, über Kategorie II für ein normales Mass an Erwartungen, bis zur Kategorie III für ein moderates Mass an Erwartungen bezeichnet. SN EN 15251 empfiehlt die Einhaltung der Anforderungen der Kategorie I für Räume, in denen sich sehr empfindliche und anfällige Personen aufhalten, die der Kategorie II für Räume in neuen und renovierten Gebäuden, sowie die der Kategorie III für bestehende Gebäude.

Im Gegensatz zur Richtlinie SIA 382/1 formuliert die Richtlinie SN EN 15251 die Anforderungen an die Innenraumtemperaturen von Gebäuden ohne Klimatisierung als Funktion des gleitenden Mittelwerts der Aussenlufttemperatur. Hierdurch soll die Gewöhnung der Nutzer an höhere Raumlufteemperaturen während einer Hitzeperiode in den Anforderungen berücksichtigt werden. Für Wohnungen mit Fensterlüftung sind in Abb. 3 die oberen Grenzkurven der drei Behaglichkeitskategorien I bis III nach EN 15251 als Funktion des gleitenden Mittelwerts der Aussenlufttemperatur dargestellt.

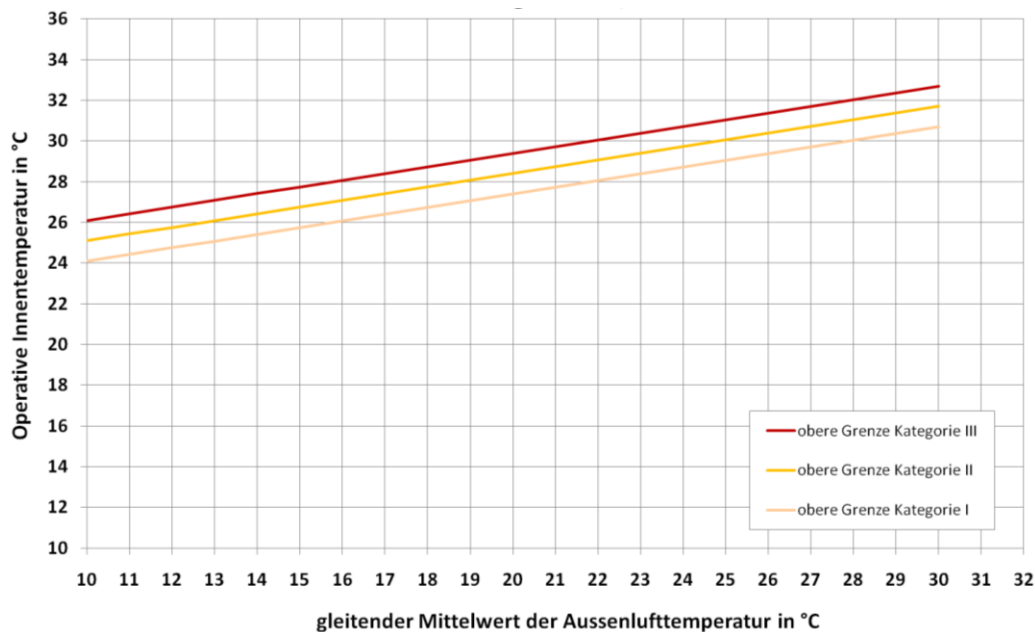


Abb. 3: Obere Grenzkurven für die zulässige Raumlufttemperatur der drei Behaglichkeitskategorien I bis III nach EN 15251 als Funktion des gleitenden Mittelwerts der Aussenlufttemperatur.

## 4.5 ANFORDERUNGEN NACH DIN 4108-2

In Deutschland werden in der DIN 4108-2:2003 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ [29] Anforderungen an maximal zulässige Innentemperaturen zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes definiert. Hierzu wird Deutschland in drei Sommerklimaregionen (sommerkühl, gemässigt und sommerheiss) in Abhängigkeit vom Höchstwert des Monatsmittels der Aussenlufttemperatur eingeteilt: Klimaregionen mit einem Höchstwert des Monatsmittels der Aussenlufttemperatur von  $\Theta_{e,m} \leq 16.5^\circ \text{C}$  gelten als sommerkühl, Regionen mit einem Höchstwert des Monatsmittels der Aussenlufttemperatur im Bereich von  $16.5^\circ \text{C} < \Theta_{e,m} < 18^\circ \text{C}$  als gemässigt und Klimaregionen mit einem Höchstwert des Monatsmittels der Aussenlufttemperatur von  $\Theta_{e,m} \geq 18^\circ \text{C}$  als sommerheiss. Die Grenzwerte für die Innenlufttemperaturen werden mit  $25^\circ \text{C}$  für sommerkühle,  $26^\circ \text{C}$  für gemässigte und  $27^\circ \text{C}$  für sommerheisse Gebiete festgelegt. Diese Grenzwerte der Innentemperatur sollen für nicht mehr als 10 % der Aufenthaltsdauer (bei Wohngebäuden 24 h/d, bei Bürogebäuden 10 h/d) überschritten werden.

Bei der Festlegung des zulässigen Absolutwerts für die Überschreitungsdauer besteht eine gewisse Unsicherheit auf welche Basis, das Jahr, das Sommerhalbjahr oder die betrachtete Zeitdauer der Simulation oder der Messung sich die 10 % beziehen.

Für die Auswertung der Simulation des Projektes nach DIN 4108-2 wird die Überschreitungsdauer auf die Zeitdauer der Simulation bezogen, d.h. die Grenztemperatur darf nicht mehr als 10 % der Simulationsdauer überschreiten. Die Simulationsdauer vom 15.04. bis 15.10. entspricht 4416 h, damit entspricht eine maximale Überschreitungsdauer von 10 % 442 h.

## **4.6 ANFORDERUNGEN DES PASSIVHAUS-INSTITUTS (PHI)**

Wolfgang Feist vom Passivhaus-Institut legt in einer Studie zum sommerlichen Raumklima [4] ein ähnliches Kriterium fest. Dabei darf die Innenlufttemperatur die Grenztemperatur von 25 °C während nicht mehr als 10 % der Jahresstunden ( $0.1 \cdot 8760 = 876$  h) überschritten werden. Die Grenze stammt aus einer Dissertation von Kohlmetz [10] und wurde mit Simulationen und Messungen am Passivhaus Kranichstein [4] und in Hannover [15] abgeglichen.

## 5 Eingabeparameter für die Simulation

Das Raumklima in einem Gebäude hängt von einer Reihe von Einflussgrössen ab. In einer Studie von Thomas Frank (EMPA) [2] wurden für einen Dachraum der Einfluss einzelner Grössen auf die maximale Raumlufttemperatur während einer Hitzeperiode bestimmt. In Abb. 4 ist der Einfluss der Parameter Nächtliche Lüftung, Sonnenschutz, interne Wärmelasten, wirksame, flächenbezogene Wärmekapazität des Raums, Dauer der Hitzeperiode und der Wärmedämmstoffart auf die max. Raumtemperaturen während einer Hitzeperiode dargestellt.

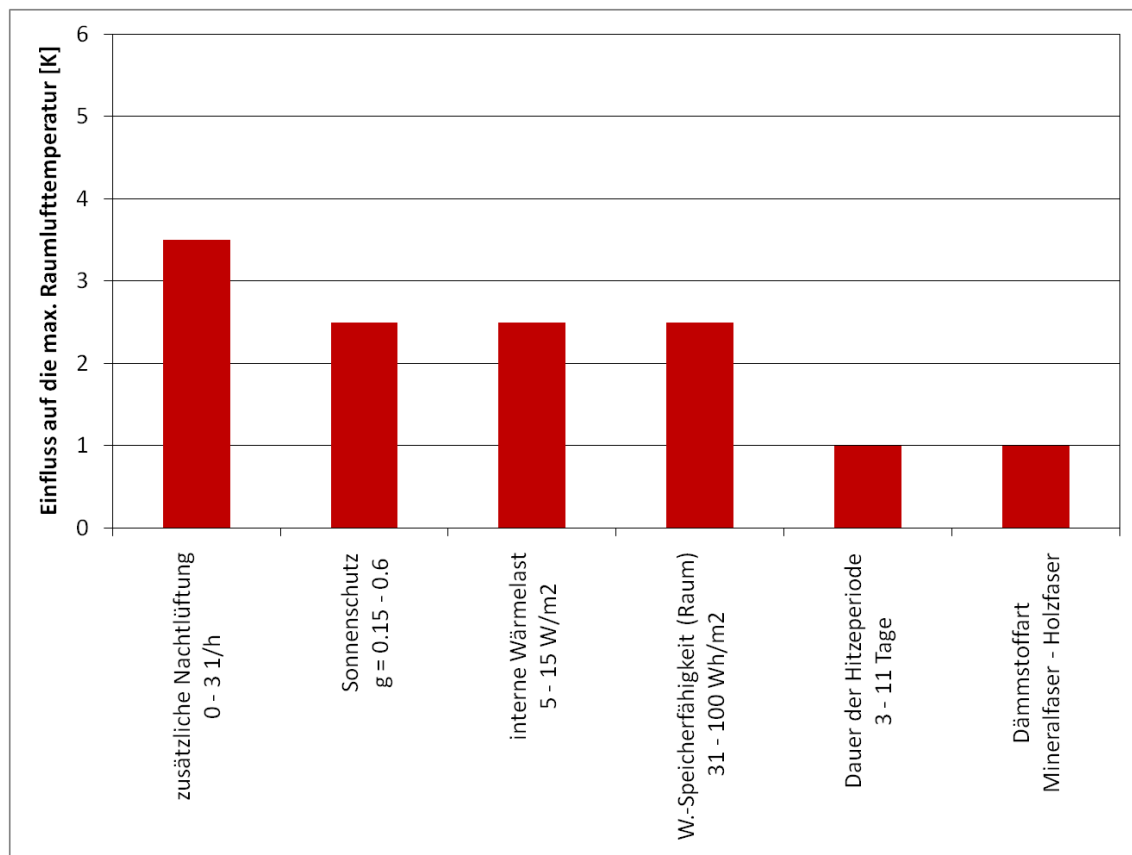


Abb. 4: Einfluss der Parameter nächtliche Lüftung, Sonnenschutz, interne Wärmelasten, wirksame, flächenbezogene Wärmekapazität des Raums, Dauer der Hitzeperiode und der Wärmedämmstoffart auf die max. Raumtemperaturen eines Dachraums (verändert nach [2]).

Im Folgenden wird die Bestimmung der einzelnen Eingabeparameter beschrieben.

## 5.1 WIRKSAME WÄRMEKAPAZITÄT

Durch die Wärmekapazität eines Raumes werden die Maxima und Minima der Raumlufttemperatur begrenzt. Allerdings steht für die Wärmespeicherung nicht die gesamte Wärmekapazität der Bauteile, sondern nur die Wärmekapazität der oberen, raumseitigen Bauteilschichten zur Verfügung. Der Anteil der Wärmekapazität der Bauteile, der für die Wärmespeicherung zur Verfügung steht, wird als wirksame Wärmespeicherfähigkeit bezeichnet. Daher wird zunächst die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der einzelnen Bauteile berechnet. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Raumes wird dann als Summe der wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten der einzelnen raumbegrenzenden Bauteile bestimmt.

Die wirksame Wärmespeicherkapazität der Bauteile wird mit den Baustoffkennwerten aus Tab. 23 (Anhang 12.1, Seite 83) nach dem detaillierten Verfahren der EN ISO 13786:2007 „Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren“ [27] ermittelt.

Bei der Berechnung der wirksamen Wärmekapazität der Bauteile mit inhomogenem Aufbau wie z.B. Holzständerwänden oder Hohlkastendecken wird zunächst der Einfluss der Holzständer, des sogenannten Holzanteils, auf die wirksame Speicherfähigkeit des Bauteils untersucht.

In Tab. 2 sind die wirksamen Wärmekapazitäten von drei verschiedenen Wandaufbauten in Holzständerbauweise dargestellt. Die wirksame Wärmekapazität wird zunächst als wirksame Wärmekapazität des Gefachbereichs ohne Holzanteil und dann als flächengewichtete wirksame Wärmekapazität aus der wirksamen Wärmekapazität des Sparrens und des Gefachs berechnet. Diese flächengewichtete wirksame Wärmekapazität wird als wirksame Wärmekapazität mit Holzanteil bezeichnet. Aus den Werten für die wirksame Wärmekapazität mit und ohne Holzanteil folgt, dass die Berücksichtigung des Holzanteils die wirksame Wärmespeicherfähigkeit lediglich um 1 % bis 4 % verändert.

Dies ist der Grund, warum der Holzanteil oftmals bei der Berechnung der wirksamen Wärmekapazität unberücksichtigt bleibt [3][13]. Nur bei Thomas Frank [2] wird er mit eingerechnet. Für die Simulationen dieses Projektes wird der Holzanteil der inhomogenen Bauteilschichten berücksichtigt.

Darüber hinaus kann die wirksame Wärmekapazität mit und ohne Wärmeübergangskoeffizienten berechnet werden. Der Einfluss des Wärmeübergangskoeffizienten auf die wirksame Wärmespeicherfähigkeit ist wesentlich grösser als der des Holzanteils.

Bei der Analyse verschiedener Normen und der Literatur zeigt sich, dass dieser Aspekt sehr unterschiedlich geregelt ist. Während in der SIA 382/1 [22] die Wärmeübergangswiderstände mit berücksichtigt werden, steht im SIA Merkblatt 2024 [25]: „Spezifische Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes  $C_m$ : Die Wärmespeicherfähigkeit wird nach EN ISO 13786 ... ohne

Berücksichtigung des Oberflächenwiderstandes  $R_{si}$  ermittelt.“ Die aktuelle SIA 180:1999 „Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau“ [20] enthält dazu keine Angaben.

In Tab. 2 sind auch die Werte für die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Holzständerwände mit und ohne Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände aufgeführt. Bei Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände unterscheiden sich die Werte für die wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Holzständerwände 6 % bis 14%.

Die wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten der Simulationen dieses Berichts werden mit den Wärmeübergangskoeffizienten berechnet.

Tab. 2: Vergleich der verschiedenen Berechnungsmethoden für die wirksame Wärmekapazität der Bauteile anhand von drei Aussenwänden in Holzständerbauweise (Bauteilbeschreibung siehe Kap. 7.1.1) mit einer Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmschicht  $\lambda = 0.032 \text{ W/mK}$ . Die wirksame Wärmekapazität wird mit und ohne inneren Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  sowie mit und ohne berücksichtigten Holzanteil in der Wärmedämmschicht berechnet.

Vergleich der verschiedenen Berechnungsmethoden			wirksame Wärmekapazität (ohne $R_{si}$ ) (WLF 032) $\text{Wh}/(\text{m}^2\text{K})$	wirksame Wärmekapazität (mit $R_{si}$ ) (WLF 032) $\text{Wh}/(\text{m}^2\text{K})$
1.1.0	Aussenwand	mit Holzanteil	10.39	8.95
		ohne Holzanteil	10.30	8.90
1.1.2	Aussenwand	mit Holzanteil	10.21	8.78
		ohne Holzanteil	10.16	8.77
1.3.0	Aussenwand	mit Holzanteil	6.63	6.21
		ohne Holzanteil	6.38	6.00

Das Spektrum der wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten bezogen auf die Nettogrundfläche ist im Holzbau gross. Wie der späteren Bauteil- und Raumanalyse zu entnehmen ist, liegt die Spannweite zwischen ca. 25 und 50  $\text{Wh}/(\text{m}^2\text{K})$ . Im Wesentlichen wird die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Raumes im Holzbau durch Art des Fussbodens und die Anzahl der raumseitigen Beplankungen bestimmt.

## 5.2 INTERNE WÄRMELASTEN

Die internen Wärmelasten des Gebäudes setzen sich aus der Wärmeabgabe der Menschen und der elektrischen Geräte zusammen. In der Literatur findet man verschiedene Angaben zu den internen Wärmelasten von Wohngebäuden. Diese Werte werden in folgender Tabelle (Tab. 3) zusammengefasst. Auf Grund von Messungen [8][15], kann man davon ausgehen, dass die interne Wärmelast im Wohnungsbau zwischen ca. 3 und 4  $\text{W/m}^2$  liegen, was sich mit der mittleren Angabe aus dem SIA Merkblatt 2024 [25] von 3.3  $\text{W/m}^2$  deckt. Thomas Frank nimmt für den Dachraum eine Einteilung der inneren Wärmelasten mit 5, 10 und 15  $\text{W/m}^2$  vor.

Tab. 3: Interne Wärmelasten für Wohnbauten in W/m<sup>2</sup> aus verschiedenen Literaturquellen.

Otto et.al. 2005 [13] <sup>1</sup>	Frank 2008 [2] <sup>2</sup>	FIW 2000 [3] <sup>2</sup>	Ménard 2009 [8] <sup>3</sup>	MB 2024 2006 [25] <sup>4</sup>	PHPP 2007 [12]	PHI 2002 [15] <sup>3</sup>
2.8	5.0 10.0 15.0	5.0	2.7	3.3	2.1	3.1±0.5

<sup>1</sup> Aus elektrischen Geräten und Personen errechnet und in thermischer Raumsimulation verwendet

<sup>2</sup> Frei gewählter Ansatz in thermischen Raumsimulationen

<sup>3</sup> Aus Messungen elektrischer Geräte abgeleitet und mit internen Wärmelasten von Personen ergänzt

<sup>4</sup> Aus der mittleren internen Wärmelast am Tag (80 Wh/m<sup>2</sup>d) ermittelt

Die internen Wärmelasten können durch ein Personenbelegungs- und Lastprofil der Betriebseinrichtung, wie es im Merkblatt 2024 angegeben ist, beschrieben werden. Allerdings sind die internen Wärmelasten individuell vom Nutzer abhängig und können daher von diesen Wärmelastprofilen abweichen.

In den Simulationen dieses Projektes wird mit einem konstanten Wert von 4 W/m<sup>2</sup> für die internen Wärmelasten gerechnet. Dieser Wert liegt etwas oberhalb des Mittelwertes des Merkblatts 2024 und liegt im Bereich der Messungen und Annahmen anderer Untersuchungen, die zwischen 2.1 und 5.0 W/m<sup>2</sup> liegen. Abb. 5 fasst die verschiedenen Literaturwerte für die inneren Wärmelasten und den Wert für die Simulation zusammen.

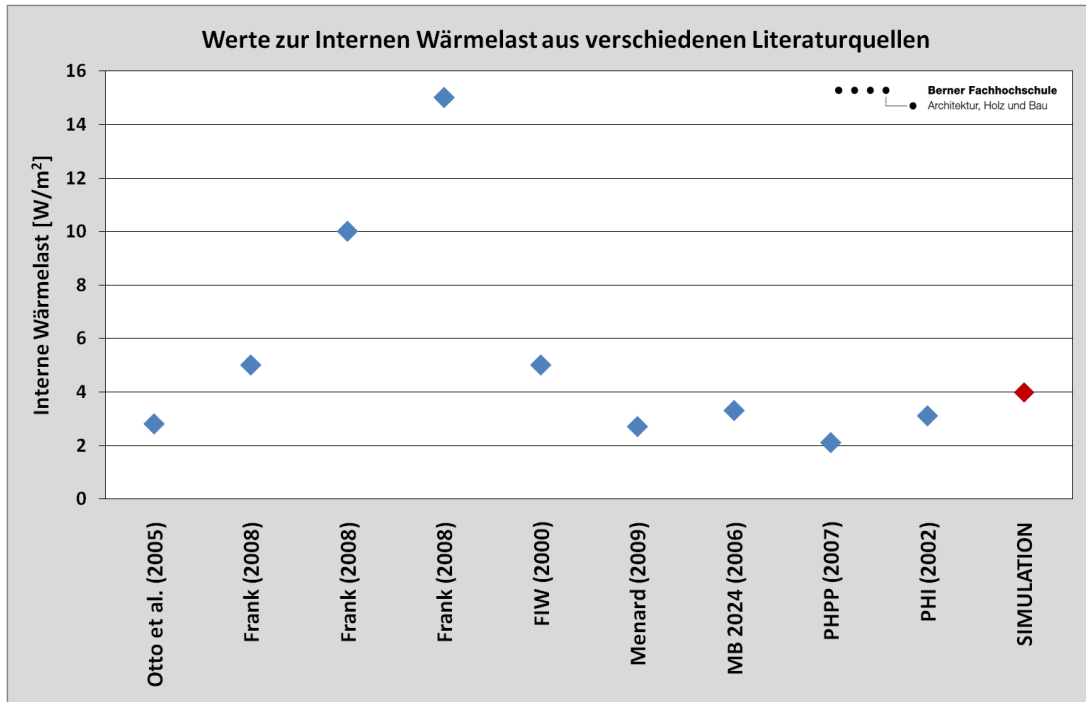


Abb. 5: Literaturwerte zur internen Wärmelast in W/m<sup>2</sup> aus verschiedenen Literaturquellen und der für die Simulationen verwendete Wert (4 W/m<sup>2</sup>) der internen Wärmelast.

### 5.3 SOLARE WÄRMEEINTRÄGE - VERSCHATTUNGSVERHALTEN

Neben den internen Wärmelasten stellt die solare Einstrahlung eine weitere Wärmelast dar. Solare Energieeinträge treten sowohl bei opaken Bauteilen als auch bei transparenten Bauteilen auf. Allerdings sind die Energieeinträge über die opaken Bauteile aufgrund des heutigen hohen Wärmedämmniveaus wesentlich geringer als die solaren Wärmeeinträge über die transparenten Bauteile. Daher sind die Verschattung der Fenster und der Gesamtenergie-durchlassgrad der Gläser von entscheidender Bedeutung für das sommerliche Raumklima.

### 5.4 LÜFTUNG

Einen wesentlichen Einfluss auf das sommerliche Raumklima hat die Lüftung der Räume. Durch einen effektiven Luftaustausch kann die Raumwärme abgeführt werden. Allerdings wird dieser Vorgang von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. So ist es entscheidend, wann (Nachts- oder Tagsüber) und wie die Fenster (gekippt oder ganz geöffnet) betätigt werden.

#### 5.4.1 Fensteröffnungszeiten in Wohnräumen

In einer von zwei Studien vom Institut Wohnen und Umwelt aus Darmstadt wurden die Fensteröffnungszeiten der Bewohner mehrerer Passivhäuser gemessen. Allerdings sind in der ersten Studie keine Untersuchungen zu den Fensteröffnungsarten (gekippt oder geöffnet) durchgeführt worden. Es kann daher keine Aussage getroffen werden, ob die Nutzer die Fenster kippen oder ganz öffnen. In Abb. 6 ist der Zusammenhang zwischen Aussenlufttemperatur und dem Tagesmittel der Fensteröffnungs-dauer dargestellt. Im Sommer liegen die Fensteröffnungszeiten zwischen 8 und 12 Stunden. Aus der Studie geht auch hervor, dass in heissen Sommerperioden etwas mehr in der Nacht (21 – 8 Uhr) als am Tag gelüftet wird.

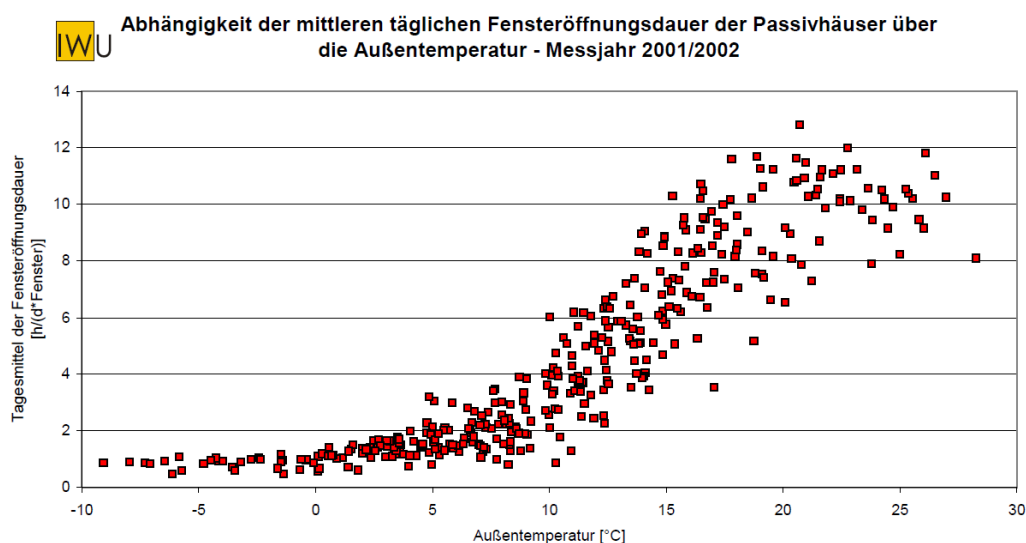


Abb. 6: Fensteröffnungszeiten in Passivhäusern in Stunden pro Fenster und Tag in Abhängigkeit zur Aussen-lufttemperatur [6].



Ein sehr ähnliches Ergebnis liefert die zweite Studie des Instituts Wohnen und Umwelt [7]. Bei dieser Studie wurden zusätzlich die Öffnungsart des Fensters (geöffnet oder gekippt) gemessen. Bei den untersuchten Gebäuden handelt es sich um 3 baugleiche Objekte, die jeweils eine Wohnung im Erdgeschoss und eine Maisonette-Wohnung im Ober- bzw. Dachgeschoss besitzen. Alle Wohnungen wurden messtechnisch begleitet, so dass für 6 Wohnungen Fensteröffnungszeiten vorliegen. Alle 3 Häuser sind nebeneinander angeordnet und somit in der gleichen Himmelsrichtung ausgerichtet. Dadurch können neben den einzelnen Fensteröffnungszeiten auch Rückschlüsse auf den Nutzer gezogen werden. In Abb. 7 wird die Fensteröffnungszeit im Gebäude in Abhängigkeit zum Tagesmittelwert der Aussenlufttemperatur dargestellt. Es wird zwischen der Fensteröffnung gekippt oder offen bzw. dem Energiestandards der Häuser unterschieden.

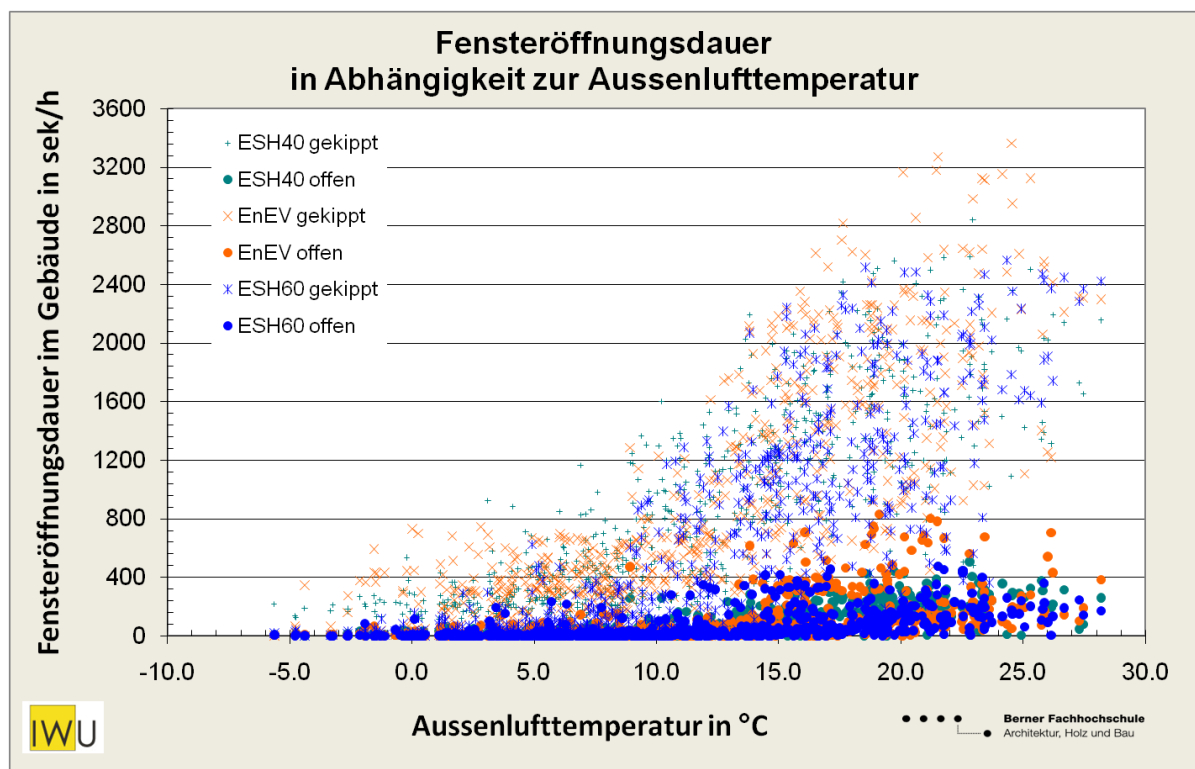


Abb. 7: Messwerte der Dauer der Fensteröffnungen in drei sanierten Wohngebäuden in Abhängigkeit des Tagesmittelwerts der Aussenlufttemperatur (Messwerte aus [7]). Die Öffnungsdauer der Fenster im gekippten Zustand sind mit Kreuzen, die der ganz geöffneten Fenster mit Kreisen gekennzeichnet. Der Energiestandard der Häuser nach der Sanierung ist wie folgt bezeichnet: ESH 40 = KfW-Energiesparhaus 40; ESH 60 = KfW-Energiesparhaus 60; EnEV = Neubau-Standard nach Energieeinsparverordnung 2007.

Die Messdaten wurden der Berner Fachhochschule durch das Institut Wohnen und Umwelt GmbH zur Verfügung gestellt. Aus den Messdaten wurden Daten zwischen dem 18.06.2006 und dem 17.07.2006 ausgewählt und weiter untersucht. Bei der Auswertung der vorliegenden 45 Räume über den angegebenen Zeitraum von 29 Tagen ergeben sich insgesamt 1305 Tagesprofile. Diese wurden auf ihre Häufigkeit hin untersucht und auf Plausibilität überprüft.

Es zeigt sich zunächst ein ähnliches Ergebnis wie in der ersten Messstudie. Bei steigender Aussenlufttemperatur steigt auch die Zeit der Fensteröffnungsdauer. Durch die Einteilung in gekippte und geöffnete Fenster lässt sich ablesen, dass die Fenster im Wesentlichen gekippt werden (siehe Abb. 7). Es wird die erste Untersuchung des IWU bestätigt, dass in den Sommermonaten Juni-August die monatlich gemittelte Fensteröffnungszeit pro Tag zwischen 10 bis 12 Stunden liegt. Hinzu kommt noch die Zeit von bis zu 15 Minuten pro Stunde, in der die Fenster vollständig geöffnet werden.

Aus den Messdaten wurden für die Parameterstudie verschiedene nutzungsabhängige Tagesprofile für die Fensteröffnung in den verschiedenen Räumen erstellt. Abb. 8 zeigt das Lüftungsprofil des Schlafzimmers. Im Anhang 12.2 sind alle Fensterlüftungsprofile der einzelnen Räume angefügt. Es sind die Öffnungsdauern des gekippten und des ganz geöffneten Fensters als Funktion der Tageszeit aufgetragen. Die Tagesprofile wurden so festgelegt, dass die aus den Lüftungsprofilen abgeleiteten täglichen Fensteröffnungszeiten im Bereich der Messwerte der Tagesöffnungszeiten der IWU Studie liegen. Abb. 9 zeigt einen Vergleich der Messwerte für die Zeitdauer der gekippten und der geöffneten Fenster und der Werte die sich aus den Lüftungsprofilen ergeben als Funktion des Tagesmittels der Aussenlufttemperatur.

Mit diesen zeitlichen Fensteröffnungsprofilen wurden Simulationen durchgeführt. Trotz der guten Übereinstimmung der Fensteröffnungszeiten mit den Messwerten des IWU traten bei den Simulationen teils hohe Luftwechsel bei Verwendung der Fensterlüftungsprofile über die gesamte Sommerperiode auf. Während bei kleinen und mittleren Fensterflächen der Luftwechsel in den Simulationen mit Fensterlüftungsprofilen noch zwischen  $1.5 \text{ h}^{-1}$  und  $2.3 \text{ h}^{-1}$  lag und damit vergleichbar zu einer Studie vom Passivhausinstitut [15], lag er bei grossen Fenstern bei durchschnittlich über  $4 \text{ h}^{-1}$ . In der Studie vom Passivhausinstitut [15] wurde bei ausgiebiger Fensterlüftung (alle Fenster im Sommer fast ständig geöffnet) eine geringere Luftwechselrate von ca.  $3 \text{ h}^{-1}$  abgeleitet.

Darüber hinaus wirkt sich eine Veränderung der Fenstergrösse nicht nur auf die solare Einstrahlung, sondern auch die Luftwechselrate aus. Dadurch wird es schwierig, bei Parameteruntersuchungen bei der Veränderung des Parameters „Fenstergrösse“ den Einfluss der solaren Einstrahlung vom dem der Lüftungswechselraten zu trennen.

Für die Untersuchung der Auswirkung einer Veränderung der Luftwechselraten auf das sommerliche Raumklima wurde deshalb ein Lüftungsmodell entwickelt, welches konstante Luftwechselraten in Abhängigkeit des Tagesmittelwerts der Aussenlufttemperatur verwendet (siehe Kapitel 8.1).

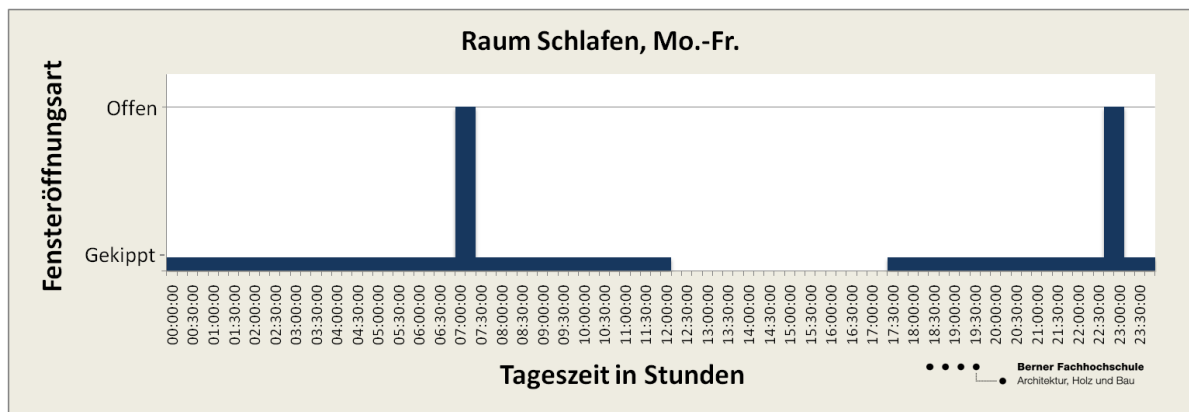


Abb. 8: Beispiel des Fensterlüftungsprofils für das Schlafzimmer; Es wird die Fensteröffnungsdauer und die Fensteröffnungsart für das gekippte und das ganz geöffnete Fenster als Funktion der Tageszeit angegeben.

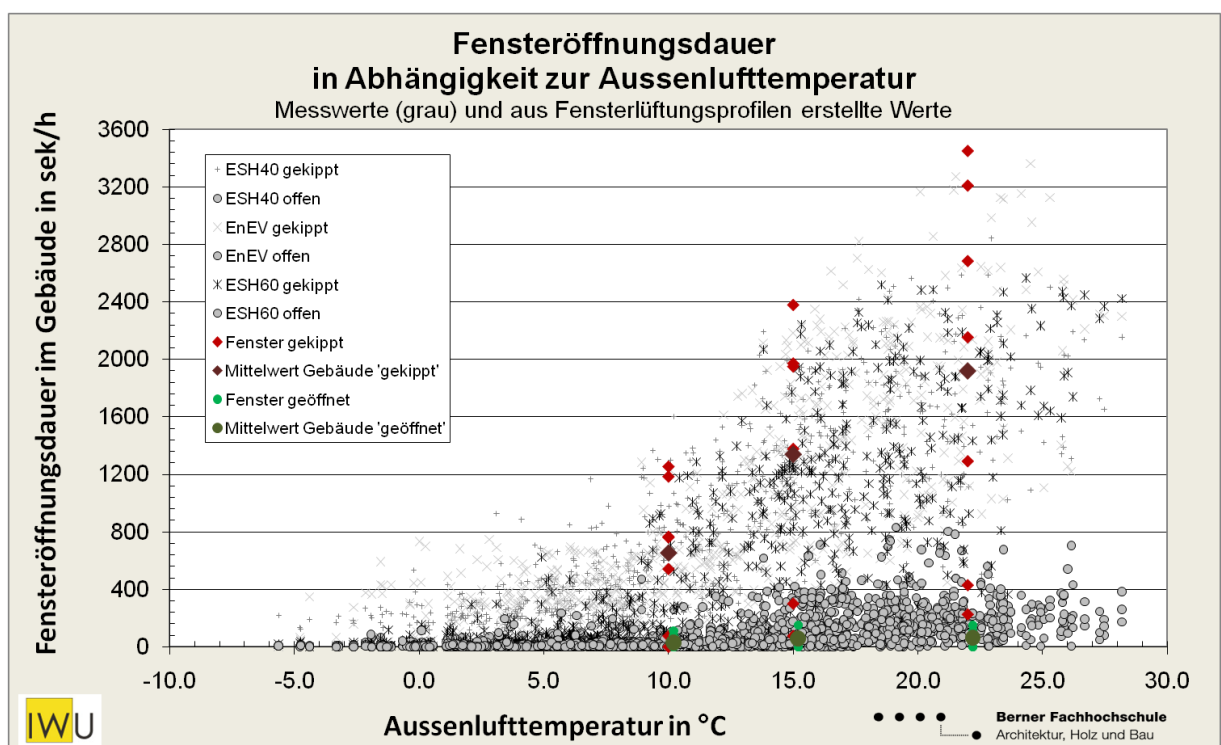


Abb. 9: Vergleich der Messwerte der Fensteröffnungszeiten aus [7] und der aus den Lüftungsprofilen abgeleiteten Fensteröffnungszeiten in Abhängigkeit zum Tagesmittelwert der Aussenlufttemperatur. Die grauen Kreuze kennzeichnen die Messwerte für die Fensteröffnungszeiten der gekippten Fenster, die grauen Kreise die Messwerte für die ganz geöffneten Fenster. Die aus den Fensterlüftungsprofilen abgeleiteten Werte für die gekippten Fenster sind mit farbigen Rauten, für die ganz geöffneten Fenster mit farbigen Kreisen dargestellt. Der Energiestandard der Häuser nach der Sanierung ist wie folgt bezeichnet: ESH 40 = KfW-Energiesparhaus 40; ESH 60 = KfW-Energiesparhaus 60; EnEV = Neubau-Standard nach Energieeinsparverordnung 2007.

#### 5.4.2 Einfluss der Fenstergeometrie auf den natürlichen Luftwechsel

In diesem Kapitel soll der Einfluss der Fenstergeometrie, der Öffnungsart, des Temperaturunterschieds zwischen innen und aussen, der Druckunterschiede durch Windanströmung des Gebäudes auf den natürlichen Luftwechsel diskutiert werden.

Fenster werden unter anderem nach den Bewegungsmöglichkeiten beim Öffnen unterschieden. In der Regel werden mehrheitlich sogenannte Drehkippflügelfenster verwendet. Drehflügelfenster erreichen Öffnungswinkel von mehr als 90°, wohingegen Kippflügelfenster auf etwa 10° begrenzt sind.

Selbst bei quadratischen Fenstergeometrien und gleichen Öffnungswinkeln erreicht das Drehflügelfenster einen 1.7-fach höheren Luftwechsel als das Kippflügelfenster [17]. Daher muss bei gleicher freier Querschnittsfläche des Fensters auch stets die Öffnungsart beachtet werden.

Bei der freien Fensterlüftung muss darüber hinaus zwischen der einseitigen Lüftung und der Querlüftung unterschieden werden. Für die einseitige Lüftung, unter der man die Belüftung eines Raumes mit einem oder mehreren Fenstern auf derselben Seite versteht, liegen Berechnungsmodelle für den Volumenstroms vor [16]. Ähnliche Zusammenhänge sind auch in SIA Merkblatt 2023:2008 - „Lüftung in Wohnbauten“ zu finden.

In Schnieders [16] werden jeweils ein rein temperaturgetriebener (Temperaturunterschied zwischen innen und aussen) und ein rein windgetriebener Strömungsanteil betrachtet. Bei der Querlüftung mit Fenstern auf verschiedenen Höhen erhöht sich der rein temperaturgetriebene Anteil deutlich. Bei Fenstern auf verschiedenen Seiten wirkt sich der rein windgetriebene Strömungsanteil dominant aus, sodass der Temperatureinfluss bei nennenswertem Wind vernachlässigt werden kann. Die geografische Lage des Gebäudes bzw. der Fenster und die damit verbundenen Anströmrichtung des Windes spielt kaum eine Rolle [16][17].

Stellt man die verschiedenen Lüftungsvarianten unter gleichen Randbedingungen gegenüber, werden die Unterschiede der möglichen Luftvolumenströme deutlich (Abb. 10). Es sind deutlich die höheren Luftvolumenströme der Drehflügelfenster gegenüber den Kippflügelfenstern erkennbar.

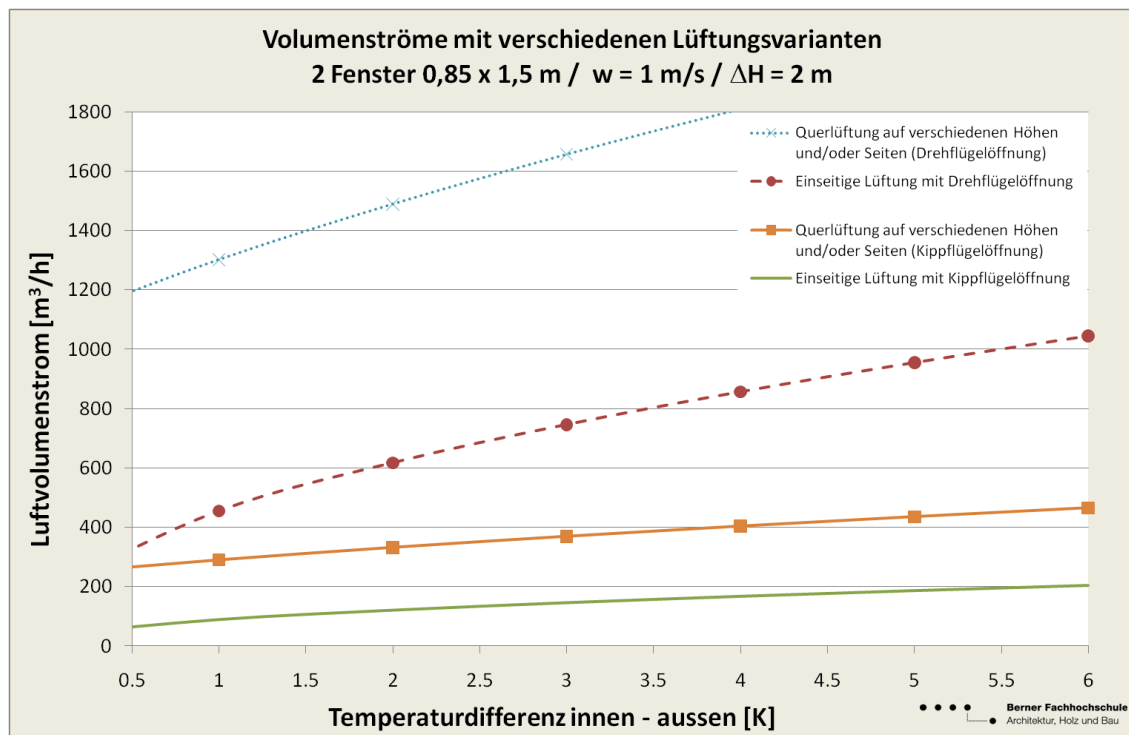


Abb. 10: Volumenströme durch freie Fensterlüftung unterschiedlicher Lüftungsvarianten (Berechnet nach Schnieders [16]) in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen;  
 Randbedingung: Fenstergrösse 0.85m x 1.5m; w = Wind;  $\Delta H$  = Höhendifferenz der Fenster

## 6 Nachweisverfahren

Für den sommerlichen Wärmeschutz liegen verschiedene vereinfachte Nachweisverfahren vor. In der Regel sind es sogenannte „Ja-Nein“ Verfahren, die dazu dienen, die kritischen Räume in einem Gebäude, die einer genaueren Untersuchung zu unterziehen sind, zu identifizieren. Sie geben damit kaum Auskunft über die Qualität des sommerlichen Raumklimas. Folgend wird ein Nachweisverfahren aufgeführt und in Kapitel 9.4 mit den Ergebnissen der Parameteruntersuchung verglichen.

### 6.1 NACHWEIS NACH SIA 382/1

Die Norm SIA 382/1 [22] ist für die Bemessung von Lüftungs- und Klimageräten im Wesentlichen für konditionierte Räume konzipiert. Um einen effizienten Einsatz der Heiz- und Kühlgeräte zu gewährleisten, werden in dieser Richtlinie auch bauliche Anforderungen an die Räume gestellt. Auch für Gebäude ohne Kühlung ist danach die Einhaltung dieser Anforderungen anzustreben. Es muss ein vereinfachter Nachweis geführt werden, bei dem die Anforderungen an den Sonnenschutz (Verglasung und Verschattung), die Wärmespeicherfähigkeit des Raumes und die internen Wärmelasten eingehalten werden. Können die baulichen Anforderungen des vereinfachten Verfahrens nicht erfüllt werden, muss über thermische Gebäudesimulationen der Nachweis erbracht werden, dass die Behaglichkeit für den Nutzer eingehalten wird.

#### 6.1.1 Einfacher Nachweis nach SIA 382/1

Der vereinfachte Nachweis berücksichtigt die Glasfläche, den Sonnenschutz, die Lüftung und das Wärmespeichervermögen des zu untersuchenden Raumes.

##### 6.1.1.1 Anforderung Fensterlüftung

Für eine wirksame Fensterlüftung müssen mind. 3 % der Nettogeschossfläche des Raumes als freie Strömungsfläche vorhanden sein. Zudem werden Angaben zur Anordnung der Fenster im Raum und zur Fenstergeometrie gemacht.

##### 6.1.1.2 Glasflächen und Sonnenschutz

Es werden Anforderungen an den Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  (Verglasung mit Sonnenschutz), je nach Orientierung des Fassadenfensters und des Glasanteiles  $f_g$  des Raumes, gestellt. Für Eckräume werden zusätzlich Gewichtungsfaktoren für die Fassadenfenster angewendet. Bei Räumen mit mehr als 3 Fassaden bzw. Fassadenfenstern oder mit gegenüberliegenden Fassaden (Abstand  $< 10$  m) kann der vereinfachte Nachweis nicht geführt werden.

#### 6.1.1.3 Wärmespeicherfähigkeit des Raumes

*Die wirksame, auf die Nettogeschossfläche bezogene Wärmespeicherfähigkeit  $C_R/A_{NGF}$  eines Raumes muss mindestens  $30 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$  betragen. Die Berechnung der Wärmespeicherfähigkeit erfolgt nach EN 13786 unter Berücksichtigung der Übergangswiderstände.*

#### 6.1.2 Nachweis über thermische Simulationen

Wenn kein vereinfachter Nachweis erbracht werden kann, ist der Nachweis mittels thermischer Gebäudesimulation durchzuführen. Die zu verwendenden Randbedingungen sind in der Norm beschrieben.

## 7 Referenzgebäude

Die Parameterstudie wird für ein Referenzgebäude durchgeführt. Daher sollten sowohl die Bauteile als auch die Räume des Referenzgebäudes möglichst gut den Gebäuden der Praxis entsprechen. Um eine Übersicht der heute üblichen zur Anwendung kommenden Konstruktionsarten zu erhalten, wurden sowohl Daten der Studierenden der Technikerschule an der Berner Fachhochschule in Biel als auch Aufbauten der Mitgliederfirmen vom Schweizerischen Verband für geprüfte Qualitätshäuser VGQ erfasst und ausgewertet.

### 7.1 TYPISCHE BAUKONSTRUKTIONEN IM WOHNUNGSBAU

Da ein Grossteil der MINERGIE® und MINERGIE-P®-Bauten in Holzbauweise erstellt werden, beziehen sich die Untersuchungen im Wesentlichen auf Holzkonstruktionen. Zum Vergleich wird auch eine massive Backstein-Konstruktion untersucht.

Wie sich aus der Bauteiluntersuchung ergibt, können die Baukonstruktionen in drei Gruppen mit niedriger, mittlerer und hoher Wärmekapazität unterteilt werden. Die Einteilung erfolgte aufgrund der berechneten wirksamen Wärmekapazitäten der Bauteile. Je nach Bauteil (Aussenwand, Innenwand, Decke, Dach) ergeben sich unterschiedliche Wertebereiche, wodurch die Einteilung für jedes Bauteil mit anderen Grenzen für die wirksame Wärmekapazität erfolgt. In Tab. 4 sind die Werte der oberen und unteren Grenze der Kategorie für die Einteilung in geringe, mittlere und hohe wirksame Wärmekapazität des jeweiligen Bauteils aufgelistet. Die farbliche Markierung der verschiedenen Kategorien wird auch in späteren Kapiteln verwendet.

Tab. 4: Obere und untere Grenze der Kategorien für die Einteilung in geringe, mittlere und hohe wirksame Wärmekapazität des jeweiligen Bauteils.

Bauteil	Obere und untere Grenze der wirksamen Wärmekapazität in Wh/m²K		
	gering	mittel	hoch
Aussenwand	6.0-7.9	8.0-9.9	10.0-14.0
Dach	5.0-6.9	7.0-8.0	8.1-15.0
Fussboden	7.0-11.9	12.0-31.9	32.0-43.0
Decke	7.0-7.9	8.0-11.9	12.0-15.0
Innenwand	5.0-7.9	8.0-11.9	12.0-15.0



### 7.1.1 Aussenwandkonstruktionen

Es wurden insgesamt 60 Aufbauten analysiert. Diese wurden hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus, der inneren Beplankung, der raumseitigen Installationsebene und der Dämmstoffart untersucht und gegenübergestellt. Alle Auswertungsergebnisse (Anteil der inneren Beplankung, des inneren Aufbautyps und der Dämmung in der Installationsebene) sind im Anhang 12.3.1 zu finden. Folgende Punkte lassen sich zusammenfassen:

- Für die Innere Beplankung werden überwiegend Gipsfaser- oder Gipskartonplatten verwendet (88 %).
- Etwa die Hälfte der Konstruktionen wird mit einer innenseitigen Installationsebene ausgeführt (48 %); siehe Abb. 11.
- Die Installationsebene wird überwiegend gedämmt (67 %).
- Als Dämmstoff kommen meist mit einer Häufigkeit von 41 % organische Dämmstoffe (Zellulose und Holzfaser) oder mit einer Häufigkeit von 56 % mineralische Dämmstoffe (Glaswolle und Steinwolle) zu Anwendung.
- Die Dicke der wärmedämmenden Schicht liegt zwischen 220 mm und 320 mm und beträgt im Mittel 240 mm.

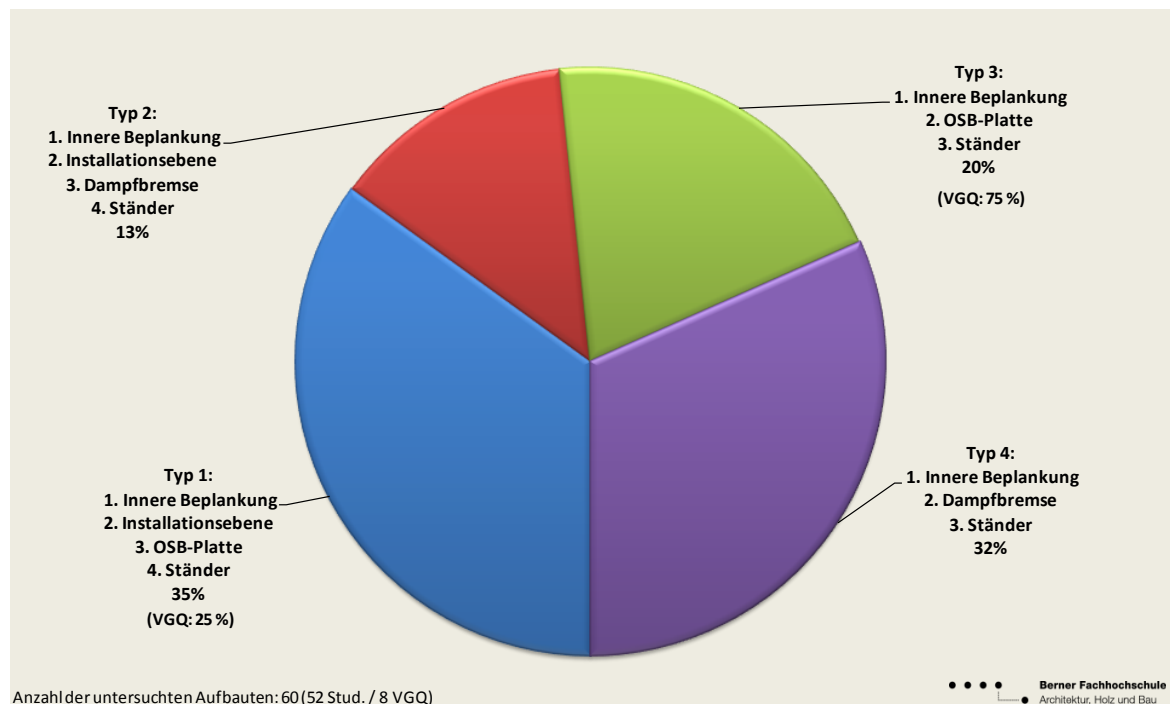


Abb. 11: Auswertung der Innenaufbauten typischer Aussenwandkonstruktionen.

Auf Grund der Bauteilanalyse wurden zunächst acht typische Konstruktionsvarianten für die inneren Bauteilschichten erstellt. Diese sind mit unterschiedlichen Wärmedämmstoffen (Mi-

neralwolle, Steinwolle und Holzfaser) der Wände kombiniert worden, sodass 24 verschiedene Aufbauten zur weiteren Untersuchung zur Verfügung standen.

Für diese wurden der Wärmedurchgangskoeffizient und die wirksame Wärmekapazität berechnet. Die Ergebnisse aller Konstruktionen der einzelnen Wandaufbauten sind im Anhang 12.3.2 zu finden. Diese Konstruktionen werden durch eine Massivbaukonstruktion (Backsteinmauerwerkswand mit Kompaktfassade) ergänzt.

Die Aufbauten sind in Tab. 5 aufgelistet. Für die weiteren Berechnungen werden die durch Fettdruck hervorgehobenen Referenzaufbauten verwendet. Prinzipskizzen dieser Aufbauten sind in Abb. 12 dargestellt.

Tab. 5: Übersicht der neun Aussenwandkonstruktionen und ihre Einteilung in Kategorien nach der wirksamen Wärmekapazität.

Nr.	Aussenwandspezifikation	Dicke der einzelnen Schichten mit Angabe der äussersten Schicht* Angaben in mm	Wärmedurchgangskoeffizient (WLF 032 / 036 / 038) W/(m²K)	Wärmekapazität (ohne R <sub>s</sub> ) (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m²·K)	Wärmekapazität (mit R <sub>s</sub> ) (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m²·K)
1.2.0	Installationsebene gedämmt	15-40-15-220-16 MDF	0.14 / 0.15 / 0.16	7.4 / 7.6 / 7.9	6.6 / 6.7 / 6.8
1.2.1	Installationsebene gedämmt	15-40-15-220-22 HFD	0.12 / 0.13 / 0.14	7.2 / 7.5 / 7.7	6.4 / 6.6 / 6.8
1.3.0	<b>Einschalig</b>	<b>15-220-16 MDF</b>	<b>0.17 / 0.19 / 0.20</b>	<b>6.6 / 7.2 / 7.5</b>	<b>6.2 / 6.6 / 6.8</b>
1.1.0	Installationsebene ungedämmt	15-40-15-220-16 MDF	0.16 / 0.18 / 0.19	10.4 / 10.4 / 10.3	8.9 / 8.8 / 8.7
1.1.1	Installationsebene ungedämmt	15-40-15-220-22 HFD	0.15 / 0.16 / 0.17	10.4 / 10.3 / 10.3	8.9 / 8.8 / 8.7
1.1.2	<b>Installationsebene ungedämmt</b>	<b>15-15-180-60 HF</b>	<b>0.16 / 0.17 / 0.17</b>	<b>10.2 / 10.2 / 10.2</b>	<b>8.8 / 8.7 / 8.6</b>
1.3.1	ohne Installationsebene	30-220-16 MDF	0.17 / 0.19 / 0.19	10.8 / 11.1 / 11.3	9.5 / 9.6 / 9.6
1.4.0	<b>Massivholzkonstruktion</b>	<b>80-220 Holz</b>	<b>0.16 / 0.17 / 0.18</b>	<b>14.5 / 14.2 / 14.0</b>	<b>10.8 / 10.7 / 10.5</b>
1.5.0	<b>Backstein mit Kompaktfassade</b>	<b>150-160 EPS</b>	<b>- / - / 0.19 (EPS)</b>	<b>22.2</b>	<b>13.9</b>

\* MDF Mitteldichte Holzfaserplatte  
 HFD Holzfaserdämmplatte  
 HF Hinterlüftung  
 EPS Expandiertes Polystyrol

geringe Wärmekapazität Holzbau  
 mittlere Wärmekapazität Holzbau  
 hohe Wärmekapazität Holzbau  
 Wärmekapazität Massivbau

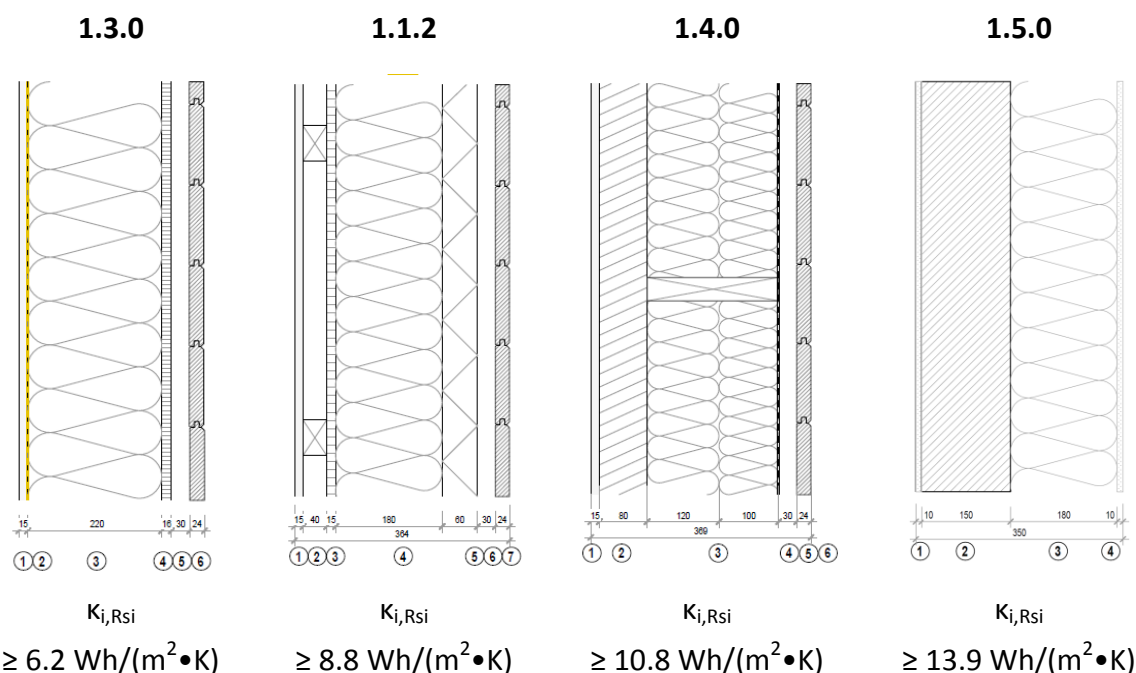


Abb. 12: Ausgewählte Referenzaufbauten der Aussenwände für die Simulation und ihre wirksame Wärmekapazität  $K_{i,R_{si}}$ . Angaben zu den Aufbauten sind im Anhang 12.3.2 zusammengestellt.

## 7.1.2 Innenwandkonstruktionen

Der typische Innenwandaufbau besteht aus einer gedämmten Holzrahmenbaukonstruktion, die entweder beidseitig mit einer Gipsfaserplatte oder kombiniert mit einer OSB-Platte (Oriented Strand Board) gefolgt von einer Gipsfaserplatte beplankt wird (4.1 bzw. 4.2 in Tab. 6). Des Weiteren wurde eine Vollholzkonstruktion, beidseitig beplankt mit Gipsfaserplatte (4.4 in Tab. 6), und eine beidseitig verputzte Backsteinwand gewählt (4.5 in Tab. 6). Die Aufbauten sind in Tab. 6 aufgelistet. Für die weiteren Berechnungen werden die durch Fettdruck hervorgehobenen Referenzaufbauten verwendet. Prinzipskizzen dieser Aufbauten sind in Abb. 13 dargestellt.

Tab. 6: Übersicht der vier herausgearbeiteten Innenwandkonstruktionen und Einteilung in Gruppen.

Nr.	Innenwandspezifikation	Dicke der einzelnen Schichten mit Angabe zum Material * Angaben in mm	Wärmekapazität (ohne $R_{si}$ ) (WLF 032 / 036 / 038) $Wh/(m^2 \cdot K)$	Wärmekapazität (mit $R_{si}$ ) (WLF 032 / 036 / 038) $Wh/(m^2 \cdot K)$
4.1	Einfach beplankt	15 GFP - 100 WD - 15 GFP	5.9 / 6.6 / 7.3	5.7 / 6.4 / 6.8
4.2	Doppelt beplankt	15/15 GFP/OSB-100 WD-15/15 OSB/GFP	10.4 / 11.0 / 11.5	9.4 / 9.8 / 10.0
4.4	Vollholz	15 GFP - 100 Holz - 15 GFP	12.9	10.8
4.5	Backstein	20 Innenputz - 125 Backstein - 20 Innenputz	28.5	17.6

geringe Wärmekapazität Holzbau  
 mittlere Wärmekapazität Holzbau  
 hohe Wärmekapazität Holzbau  
 Wärmekapazität Massivbau

\* GFP Gipsfaserplatte  
 WD Wärmedämmung  
 OSB Oriented Strand Board

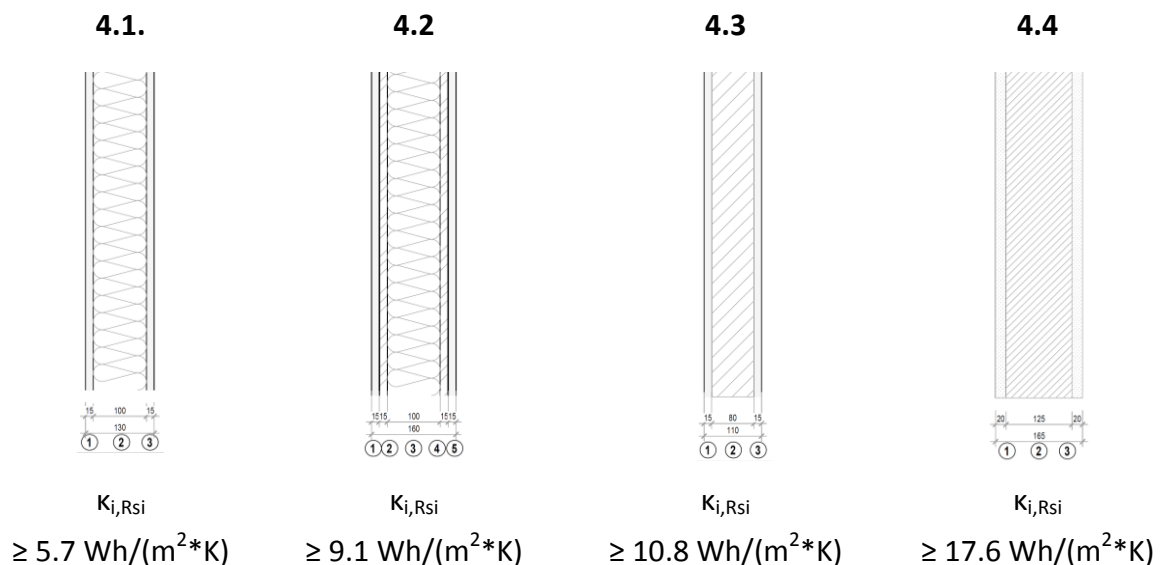


Abb. 13: Ausgewählte Referenzaufbauten (Innenwände) für die Simulation und deren wirksame Wärmekapazität  $K_{i,Rsi}$ . Die Aufbauten sind im Anhang 12.6 zusammengestellt.

### 7.1.3 Deckenkonstruktionen

Insgesamt wurden 32 Aufbauten analysiert. Die Deckenkonstruktionen sind hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus, der unteren Beplankung und des Fussbodenaufbaus untersucht und gegenübergestellt worden.

Folgende Punkte lassen sich zusammenfassen:

- Der Fussbodenaufbau einer Geschossdecke wird als Trockenkonstruktion oder als Zementunterlagsboden ausgebildet.
- Der Zementunterlagsboden (Fliessestrich) wird häufig mit Dicken über 50 mm eingebaut. 8 von 22 Konstruktionen mit Fliessestrich weisen eine Dicke von 80 mm auf (siehe Abb. 15).

Abb. 14 zeigt die Prozentsätze der Häufigkeit, mit der die verschiedenen Fussbodenkonstruktionen ausgeführt werden (Estrichelement (Gipsfaser), Dielen/Holzwerkstoffplatte und Unterlagsboden/Fliessestrich).

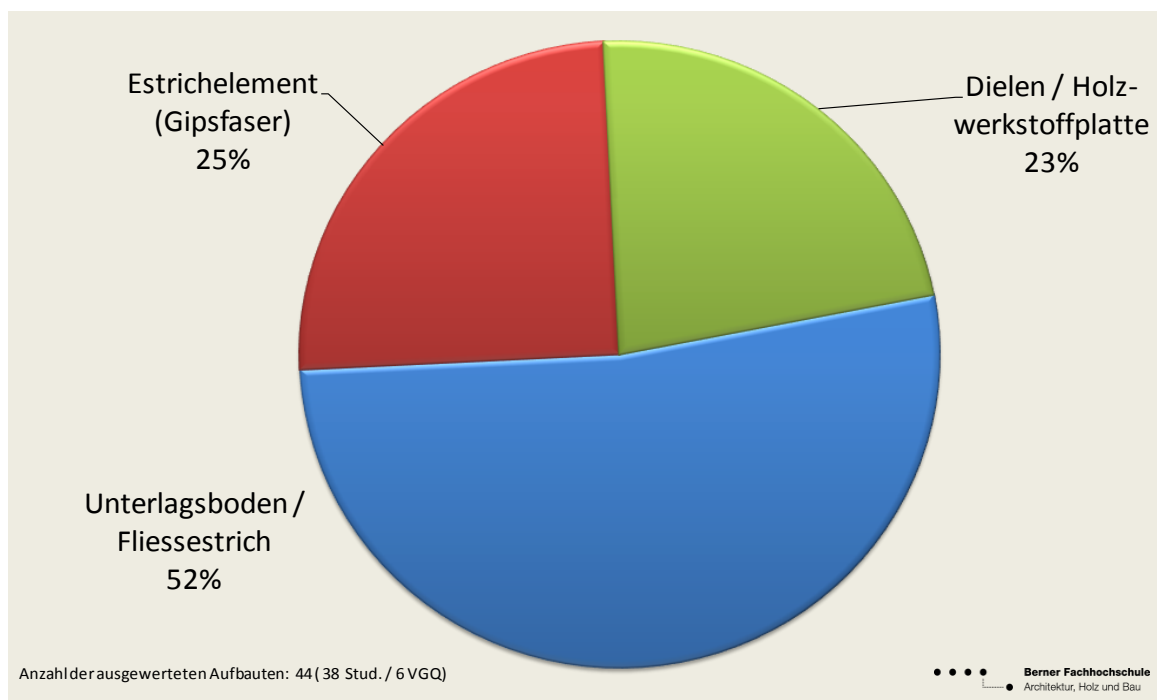


Abb. 14: Auswertung zur Ausführung des oberen Belages für typische Geschossdecken

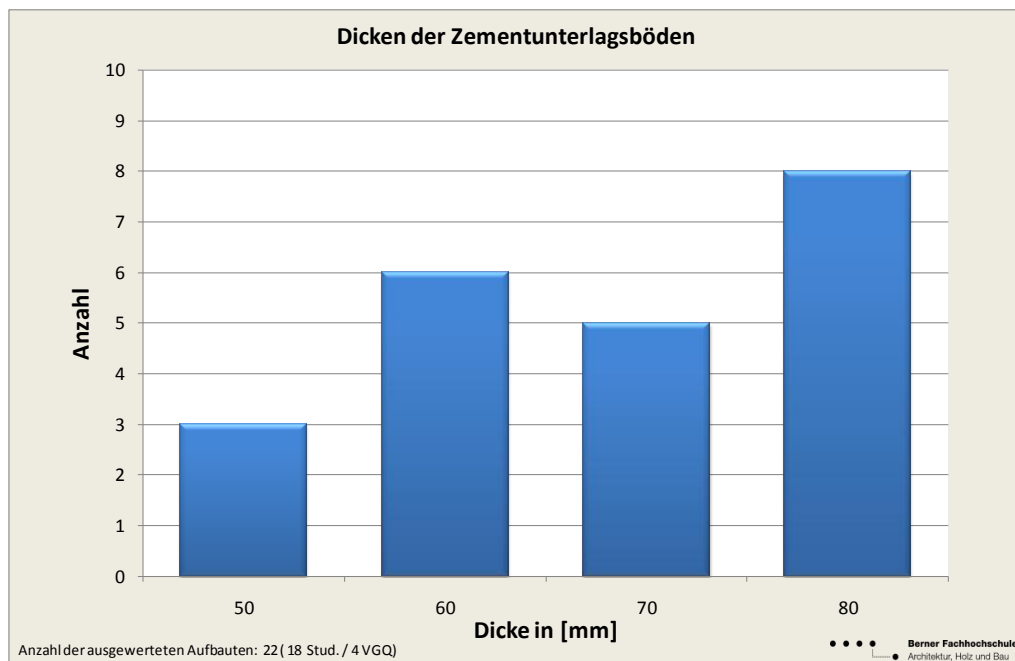


Abb. 15: Auswertung der Dicke der Unterlagsböden (Fliessestrich) auf Decken.

Prinzipiell hängt die Wirksamkeit der Geschossdecken auf den sommerlichen Wärmeschutz eines Raumes von ihrer Anordnung zum Raum ab. Geschossdecken werden nämlich als Boden- bzw. Deckenelement eingesetzt. Je nach Einbauort steht nur die wirksame Wärmekapazität der oberen oder der unteren Bauteilschichten für den angrenzenden Raum zur Verfügung. Daher wird die wirksame Wärmekapazität einerseits für die Deckenkonstruktionen als untere raumabschliessende Fläche, d.h. als Fussboden und andererseits als obere Raumbegrenzungsfläche, d.h. als Decke berechnet.

Tab. 7 bzw. Tab. 8 geben eine Übersicht der Deckenkonstruktionen und ihre Einteilung in Kategorien gemäss der wirksamen Wärmekapazität. Für die weiteren Berechnungen werden die durch Fettdruck hervorgehobenen Referenzaufbauten verwendet. Ergänzend zu den Holzbalkendecken und den Deckensystemen werden eine Vollholzdecke und eine Massivdecke (Beton) untersucht. Die Berechnungsergebnisse (Bauteilaufbau, Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmekapazität) aller Konstruktionen sind im Anhang 12.4 zu finden. Prinzipskizzen der gewählten Aufbauten sind in Abb. 16 dargestellt.

Tab. 7: Übersicht der Deckenkonstruktionen (oben als Fussboden); Die fett hervorgehobenen Aufbauten werden für die spätere Parameteruntersuchung verwendet.

Nr.	Geschossdeckenspezifikation (oben als Fussboden)	Dicke der einzelnen Schichten mit Angabe der obersten und untersten Schicht*  Angaben in mm	Wärmekapazität (ohne $R_s$ )  (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m <sup>2</sup> *K)	Wärmekapazität (mit $R_s$ )  (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m <sup>2</sup> *K)
3.1.3	<b>Holzbalkendecke</b>	<b>25 Holz-30-22-140/100-30-15 GFP</b>	<b>7.1 / 7.3 / 7.7</b>	<b>6.2 / 6.4 / 6.6</b>
3.2.3	Lignaturdecke LFE	25 Holz-30-31-138-31 Holz	7.4 / 7.6 / 8.2	6.6 / 6.7 / 7.2
3.1.0	Holzbalkendecke	25 GF-30-22-140/100-30-15 GFP	9.8 / 10.1 / 10.6	8.5 / 8.6 / 8.9
3.2.0	Lignaturdecke LFE	25 GF-20-30-31-138-31 Holz	10.7 / 11.0 / 11.6	8.8 / 9.0 / 9.4
3.1.1	Holzbalkendecke	50 KZUB-30-22-140/100-30-15 GFP	31.7 / 31.9 / 32.4	19.9 / 19.8 / 19.9
3.2.1	<b>Lignaturdecke LFE</b>	<b>50 KZUB-30-31-138-31 Holz</b>	<b>32.3 / 32.5 / 33.3</b>	<b>20.4 / 20.4 / 20.5</b>
3.2.4	Lignaturdecke LFE	50 KZUB-30-31-138 (35 S)-31 Holz	32.1 / 32.3 / 32.9	20.1 / 20.1 / 20.2
3.2.5	Lignaturdecke LFE	50 KZUB-30-31-138 (70 S)-31 Holz	31.6 / 31.8 / 32.4	19.8 / 19.8 / 19.9
3.4.0	<b>Massivholzdecke</b>	<b>50 KZUB-30-160 Holz</b>	<b>31.3</b>	<b>19.7</b>
3.5.0	<b>Massivdecke (Beton)</b>	<b>50 KZUB-30-180-10 Innenputz</b>	<b>32.3</b>	<b>19.5</b>
3.1.2	Holzbalkendecke	70 KZUB-30-22-140/100-30-15 GFP	42.5 / 42.6 / 42.9	21.9 / 21.8 / 21.8
3.2.2	Lignaturdecke LFE	70 KZUB-30-31-138-31 Holz	43.2 / 43.4 / 43.9	22.3 / 22.3 / 22.4

geringe Wärmekapazität Holzbau  
 mittlere Wärmekapazität Holzbau  
 hohe Wärmekapazität Holzbau  
 Wärmekapazität Massivbau

\* GFP Gipsfaserplatte  
 GF Gipsfaserboden  
 KZUB Kalkzement-Unterlagsboden  
 S Schüttung

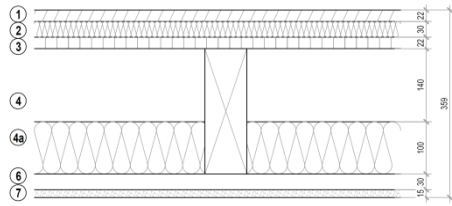
Tab. 8: Übersicht der herausgearbeiteten Deckenkonstruktionen (unten als Decke); Die fett hervorgehobenen Aufbauten werden für die spätere Parameteruntersuchung verwendet.

Nr.	Geschossdeckenspezifikation (unten als Decke)	Dicke der einzelnen Schichten mit Angabe der obersten und untersten Schicht*  Angaben in mm	Wärmekapazität (ohne $R_s$ )  (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m <sup>2</sup> *K)	Wärmekapazität (mit $R_s$ )  (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m <sup>2</sup> *K)
3.1.0	Holzbalkendecke	25 GF-30-22-140/100-30-15 GFP	7.0 / 7.5 / 7.9	6.4 / 6.7 / 6.9
3.1.1	Holzbalkendecke	50 KZUB-30-22-140/100-30-15 GFP	7.1 / 7.5 / 7.9	6.3 / 6.5 / 6.8
3.1.2	Holzbalkendecke	70 KZUB-30-22-140/100-30-15 GFP	7.0 / 7.5 / 7.8	6.2 / 6.7 / 6.7
3.1.3	<b>Holzbalkendecke</b>	<b>25 Holz-30-22-140/100-30-15 GFP</b>	<b>7.1 / 7.6 / 7.9</b>	<b>6.5 / 6.8 / 7.0</b>
3.2.0	Lignaturdecke LFE	25 GF-20-30-31-138-31 Holz	10.9 / 10.9 / 10.9	8.6 / 8.7 / 8.7
3.2.1	<b>Lignaturdecke LFE</b>	<b>50 KZUB-30-31-138-31 Holz</b>	<b>11.0 / 10.9 / 11.1</b>	<b>9.0 / 9.0 / 9.0</b>
3.2.2	Lignaturdecke LFE	70 KZUB-30-31-138-31 Holz	11.2 / 11.2 / 11.3	8.9 / 8.9 / 8.9
3.2.3	Lignaturdecke LFE	25 Holz-30-31-138-31 Holz	11.1 / 11.0 / 11.2	9.0 / 9.0 / 9.1
3.4.0	<b>Massivholzdecke</b>	<b>50 KZUB-30-160 Holz</b>	<b>11.1</b>	<b>8.4</b>
3.2.4	Lignaturdecke LFE	50 KZUB-30-31-138 (35 S)-31 Holz	14.6 / 14.6 / 14.6	10.4 / 10.5 / 10.4
3.2.5	Lignaturdecke LFE	50 KZUB-30-31-138 (70 S)-31 Holz	14.9 / 14.9 / 15.0	10.3 / 10.3 / 10.3
3.5.0	<b>Massivdecke (Beton)</b>	<b>50 KZUB-30-180-10 Innenputz</b>	<b>72.7</b>	<b>22.6</b>

geringe Wärmekapazität Holzbau  
 mittlere Wärmekapazität Holzbau  
 hohe Wärmekapazität Holzbau  
 Wärmekapazität Massivbau

\* GFP Gipsfaserplatte  
 GF Gipsfaserboden  
 KZUB Kalkzement-Unterlagsboden  
 S Schüttung

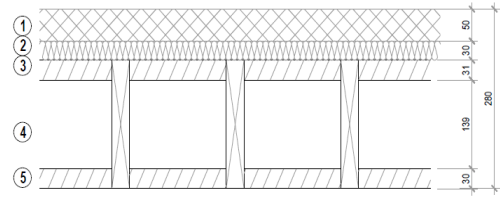
### 3.1.3



$$\kappa_{i,o,Rsi} \geq 6.2 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\kappa_{i,u,Rsi} \geq 6.5 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

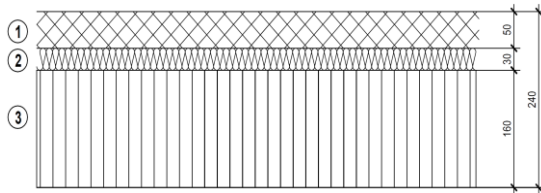
### 3.2.1



$$\kappa_{i,o,Rsi} \geq 20.4 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\kappa_{i,u,Rsi} \geq 9.0 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

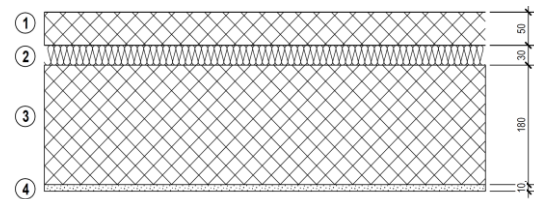
### 3.4.0



$$\kappa_{i,o,Rsi} \geq 19.7 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\kappa_{i,u,Rsi} \geq 8.4 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### 3.5.0



$$\kappa_{i,o,Rsi} \geq 19.5 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\kappa_{i,u,Rsi} \geq 22.6 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Abb. 16: Prinzipskizzen der Referenzaufbauten (Decken) für die spätere Simulation und deren wirksame Wärmekapazität  $\kappa_{i,Rsi}$  in Abhängigkeit von ihrem Einbauort (o = oben als Decke; u = unten als Fussboden).

## 7.1.4 Dachkonstruktionen

Insgesamt wurden 59 Aufbauten analysiert. Die Dachkonstruktionen wurden hinsichtlich des konstruktiven Aufbaus (Beplankung, Dämmstoffart, Dämmstoffdicke) untersucht und gegenübergestellt.

Tab. 9 gibt eine Übersicht der Dachkonstruktionen und ihre Einteilung in Kategorien gemäss der wirksamen Wärmekapazität. Für die weiteren Berechnungen werden die durch Fett-druck hervorgehobenen Referenzaufbauten verwendet. Die Berechnungsergebnisse (Bau-teilaufbau, Wärmedurchgangskoeffizient, Wärmekapazität) aller Konstruktionen sind im An-hang 12.5 zu finden. Prinzipskizzen der gewählten Aufbauten sind in Abb. 17 dargestellt.

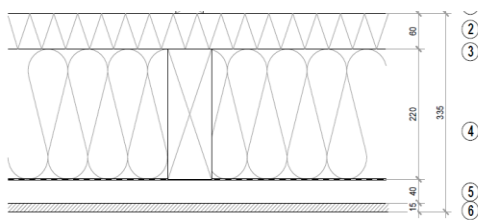
Tab. 9: Übersicht der herausgearbeiteten Dachkonstruktionen; Die fett hervorgehobenen Aufbauten werden für die spätere Parameteruntersuchung verwendet.

Nr.	Dachspezifikation	Dicke der einzelnen Schichten mit Angabe der innersten Schicht* Angaben in mm	Wärmedurch- gangskoeffizient (WLF 032 / 036 / 038) W/(m²K)	Wärmekapazität (ohne R <sub>s</sub> ) (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m²*K)	Wärmekapazität (mit R <sub>s</sub> ) (WLF 032 / 036 / 038) Wh/(m²*K)
<b>2.2.0-C</b>	<b>Installationsebene (ungedämmt)</b>	<b>60-220-40-15 Täger</b>	<b>0.15 / 0.16 / 0.16</b>	<b>5.7 / 5.9 / 6.2</b>	<b>5.2 / 5.4 / 5.5</b>
2.1.0-C	Installationsebene (ungedämmt)	16-240-40-15 GFP	0.18 / 0.19 / 0.19	7.5 / 7.8 / 8.0	6.9 / 7.0 / 7.0
2.1.1-C	Installationsebene (ungedämmt)	35-240-40-15 GFP	0.16 / 0.17 / 0.17	7.4 / 7.6 / 7.8	6.7 / 6.8 / 6.9
2.1.2-C	Installationsebene (ungedämmt)	60-180-40-15 GFP	0.18 / 0.19 / 0.19	7.4 / 7.7 / 7.9	6.7 / 6.9 / 7.0
2.2.1-C	ohne Installationsebene	60-220-27 DSP	0.15 / 0.16 / 0.17	7.4 / 7.7 / 7.9	6.7 / 6.8 / 6.9
<b>2.3.0</b>	<b>Lignaturelement LFE (voll gedämmt)</b>	<b>80-200 (138 WD) Holz</b>	<b>0.18 / 0.18 / 0.19</b>	<b>7.7 / 8.0 / 8.3</b>	<b>6.9 / 7.1 / 7.2</b>
2.3.3	Lignaturelement LFE (Akustik)	200-200 (98/40 Luft/WD) Holz	0.14 / 0.14 / 0.17	8.2 / 8.1 / 7.9	7.0 / 7.0 / 6.8
2.3.1	Lignaturelement LFE (Aufdachdämmung)	220-200 (138 Luft) Holz	0.15 / 0.15 / 0.18	11.0 / 10.9 / 10.3	8.7 / 8.6 / 8.2
<b>2.4.0</b>	<b>Massivholzdach</b>	<b>160/180-160 Holz</b>	<b>0.18 / 0.18 / 0.19</b>	<b>10.6 / 10.6 / 10.5</b>	<b>8.3 / 8.3 / 8.2</b>
2.3.2	Lignaturelement LFE (mit Schüttung)	220-200 (103/35 Luft/S) Holz	0.15 / 0.15 / 0.18	14.1 / 14.0 / 13.6	10.0 / 10.0 / 9.8
<b>2.5.0</b>	<b>Massivflachdach (Beton)</b>	<b>200-200-10 Innenputz</b>	<b>0.18 (0.038)</b>	<b>72.0</b>	<b>22.1</b>

\* GFP Gipsfaserplatte  
 DSP Dreischichtplatte  
 WD Wärmedämmung  
 S Schüttung

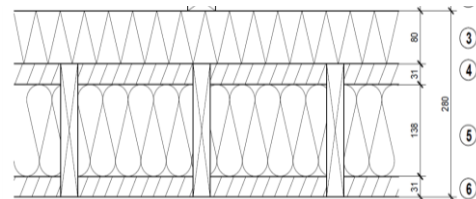
geringe Wärmekapazität Holzbau  
 mittlere Wärmekapazität Holzbau  
 hohe Wärmekapazität Holzbau  
 Wärmekapazität Massivbau

**2.2.0 C**



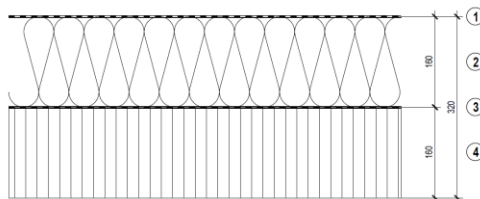
$$K_{i,Rsi} \geq 5.2 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**2.3.0**



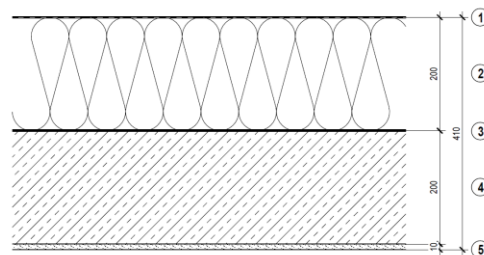
$$K_{i,Rsi} \geq 6.9 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**2.4.0**



$$K_{i,Rsi} \geq 8.3 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**2.5.0**



$$K_{i,Rsi} \geq 22.6 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Abb. 17: Prinzipskizzen der Referenzaufbauten (Dach) für die spätere Simulation und deren wirksame Wärmekapazität  $K_{i,Rsi}$ .



## 7.2 FLÄCHEN

### 7.2.1 Raumflächen

Um sicherzustellen, dass die gewählte Gebäude- bzw. Raumgeometrie repräsentativ ist, wurden die typischen Raumgrößen im Schweizer Hausbau durch eine Umfrage festgestellt. Hierzu wurden mehrere gebaute Einfamilienhäuser von verschiedenen Herstellern analysiert, von denen die Mehrzahl im Schweizerischen Verband für geprüfte Qualitätshäuser (VGQ) Mitglied ist. Es wurden 143 Räume in 15 Objekten verschiedener Hersteller ausgewertet. Alle Diagramme zur Analyse (Nettogrundfläche verschiedener Räume) sind im Anhang 12.7 zu finden.

Es wurden zunächst die durchschnittlichen Nettogrundflächen verschiedener Räume ermittelt. In Abb. 18 sind ausgewählte Räume nach ihrer Nutzung (Wohnen/Essen, Küche, Schlafzimmer, Kinderzimmer, Bad und WC/Dusche) und deren Flächen dargestellt. Es ist jeweils der Mittelwert, der grösste und kleinste Wert für die Raumnutzung aufgezeichnet. Zum Vergleich sind im Diagramm auch die typischen Raumgrößen nach SIA Merkblatt 2024 [25] als grüner Balken eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die Durchschnittsflächen des SIA Merkbatts 2024 zwischen den Maximal- und den Minimalwerten der Grundflächen der Räume aus der Umfrage liegen.

Es hat sich bei der Umfrage auch herausgestellt, dass der Wohn- und Essbereich vorwiegend in einem Raum zusammengefasst ist. Da in der Norm keine Angabe zu kombinierten Räumen (z.B. Wohn-Essräume) zu finden ist, wurde für den Wohn- und Essbereich der doppelte Wert des Wohnraumes nach SIA Merkblatt 2024 angesetzt. In Abb. 19 ist die Nettogrundfläche von 15 untersuchten Wohn-Essräumen dargestellt. Der gewählte Wert von 32 m<sup>2</sup> liegt innerhalb der ermittelten Spannweite und nah am Mittelwert für den Wohn- und Essbereich (39 m<sup>2</sup>).

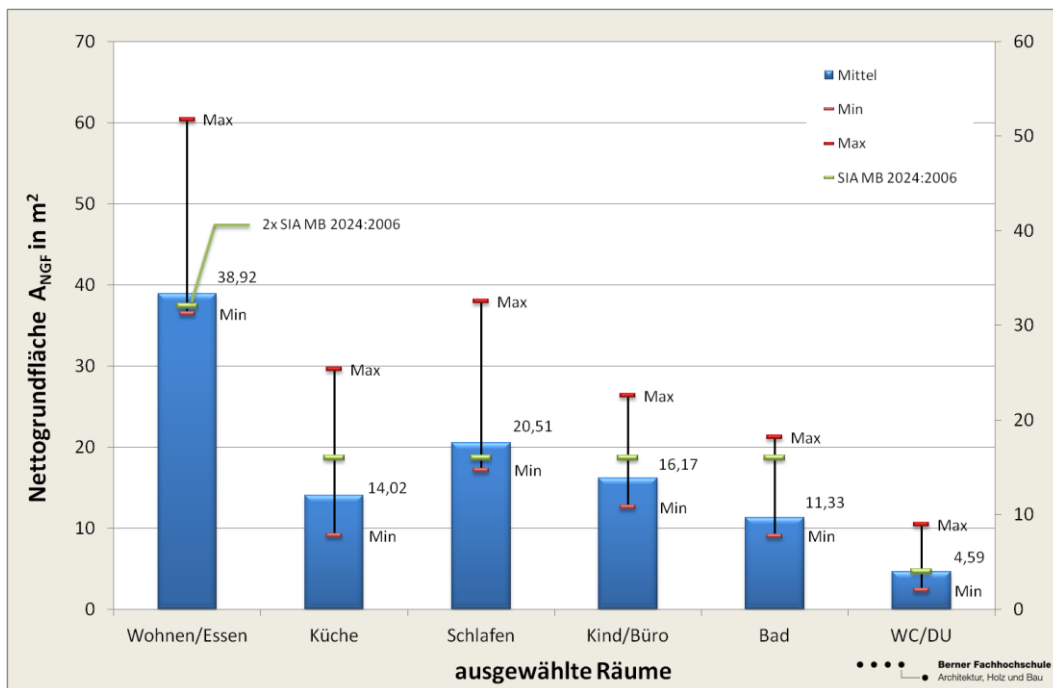


Abb. 18: Durchschnittliche Raumflächen der untersuchten Einfamilienhäuser. Darstellung der Minimal- und Maximalwerte, des arithmetischen Mittelwertes und der typischen Raumgrössen nach SIA Merkblatt 2024 (grüner Balken).

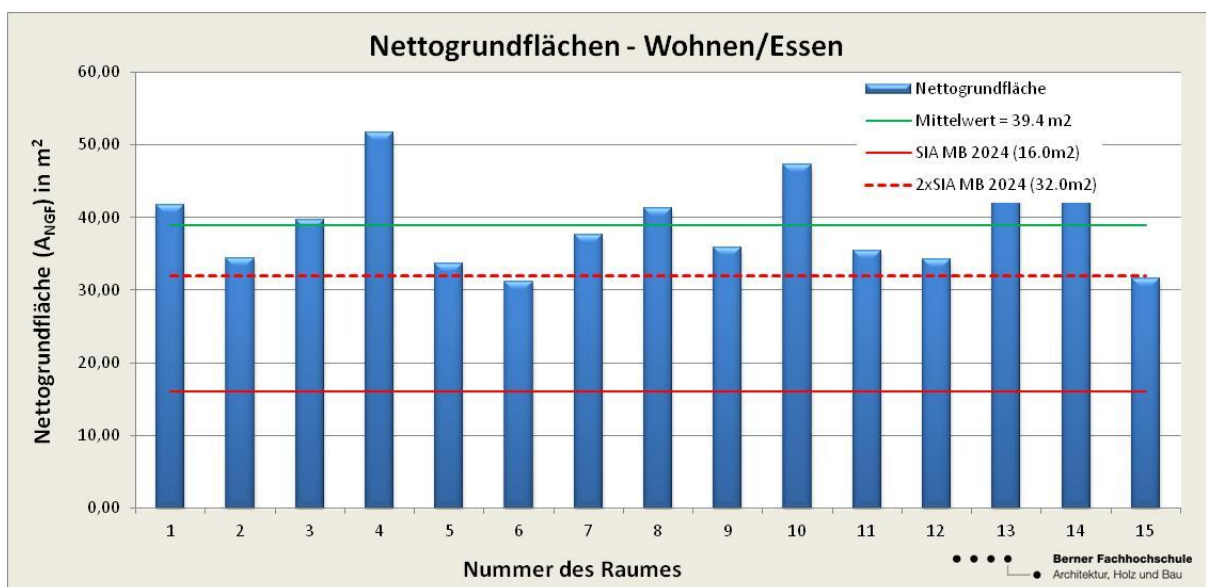


Abb. 19: Nettogrundfläche vom Wohn-Essbereich von 15 untersuchten Räumen. Im Durchschnitt beträgt die Fläche 39  $\text{m}^2$  (grüne Linie). Der doppelte Wert nach dem Merkblatt SIA 2024 liegt bei 32  $\text{m}^2$  (gestrichelte rote Linie). Die typische Raumgrösse für Wohnraum liegt bei 16  $\text{m}^2$  nach dem Merkblatt SIA 2024 (durchgezogene rote Linie).

Des Weiteren hat die Analyse ergeben, dass sich der Wohn- und Essbereich, die Küche und das WC bzw. der Duschraum mehrheitlich im Erdgeschoss befinden, wohingegen die Schlaf- und Aufenthaltsräume von Eltern und Kindern im Ober- bzw. Dachgeschoss angeordnet sind.

Bei einer weiteren Untersuchung zu den Ausrichtungen der Räume wurde festgestellt, dass die Fassaden der kombinierten Wohn- und Essbereiche mehrheitlich in die Himmelsrichtungen Südost, Südwest und Nordwest weisen. Alle anderen Räume verfügen über Fassaden in 2 Himmelsrichtungen, orientiert nach Südosten und Südwesten.

### 7.2.2 Fenster- und Glasflächen

Fenster nehmen bei der Betrachtung der thermischen Hüllfläche von Gebäuden eine besondere Stellung ein. Sie weisen wesentlich andere bauphysikalische Eigenschaften auf als die raumabschliessenden opaken Bauelemente und bestimmen die solaren Wärmegevinne des Gebäudes. Da die solaren Wärmegevinne für das sommerliche Komfortklima entscheidend sind, werden auch die Fenstergrössen analysiert. Für die Ermittlung der Flächen müssen verschiedene Begriffsdefinitionen beachtet werden.

In Abb. 20 werden die Bezeichnungen der Bezugsgrössen von Fenstern dargestellt. Als Fensterfläche gilt nach SIA 416/1 [20] das lichte Mass der Wandöffnung an der Aussenseite. Die Fensteröffnungsfläche hingegen beschreibt die lichte Öffnungsfläche des Blendrahmens und die Glasfläche den lichtdurchlässigen Teil des Fensters.

Bei der Untersuchung des sommerlichen Raumklimas spielt der solare Energieeintrag bei der Erwärmung der Wohnräume eine wesentliche Rolle. Deshalb steht die Glasfläche von Fenstern im Vordergrund der Betrachtung. Sind keine Angaben zu der Glasfläche eines Fensters gegeben, wird häufig ein Faktor in Bezug auf die Fensterfläche angegeben. Diese Angaben zu den Glasanteilen bzw. Glasflächenfaktoren schwanken bei Fenstern mit einem Flügel und ohne Sprossenaufteilung in der Regel zwischen 80 - 90 %.

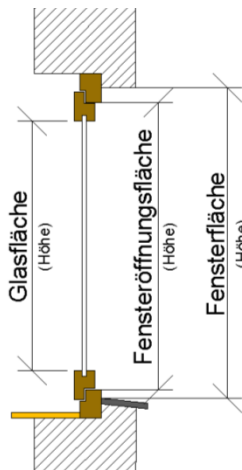


Abb. 20: Darstellung der unterschiedlichen Bezugsgrössen zur Beschreibung eines Fensters.

Um einen Parameter für die wirksame Grösse der Glasfläche zu erhalten, kann die Glasfläche entweder auf die betreffende Fassadenfläche ( $A_F$ ) oder auf die Nettogrundfläche ( $A_{NGF}$ ) des Raumes bezogen werden. Dabei erhält man nach SIA 416/1 je nach Bezugsfläche den Glasanteil  $f_g$  oder die Glasflächenzahl  $z_g$  (siehe Abb. 21).

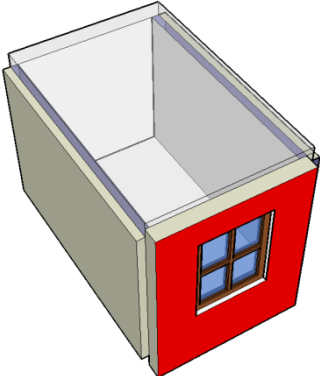
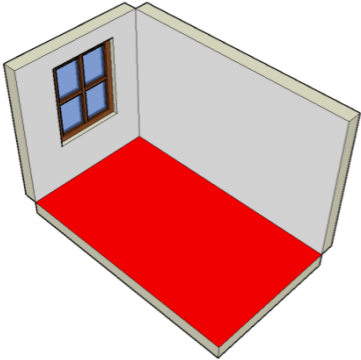
Glasanteil $f_g$	Glasflächenzahl $z_g$
<p>Der Glasanteil der Fassade <math>f_g</math> ergibt sich aus der Summe der lichtdurchlässigen Glasflächen <math>A_g</math> zur betreffenden Bruttofassadenfläche <math>A_{F,brutto}</math>, die nach SIA 416/1 [20] (2.2.3) berechnet wird.</p> $f_G = \frac{A_g}{A_{F,Brutto}}$ 	<p>Die Glasflächenzahl <math>z_g</math> eines Raumes ist gleich dem Verhältnis der lichtdurchlässigen Glasfläche <math>A_g</math> zur Nettogrundfläche <math>A_{NGF}</math> des Raumes.</p> $z_G = \frac{A_g}{A_{NGF}}$ 

Abb. 21: Darstellung der möglichen Bezugsflächen für die Glasfläche. Der Glasanteil  $f_g$  ist die Glasfläche  $A_g$  bezogen auf die Fassadenfläche  $A_F$ . Die Glasflächenzahl  $z_g$  ist die Glasfläche  $A_g$  bezogen auf die Nettogrundfläche des Raumes  $A_{NGF}$ .

Für die Parameteruntersuchung zum sommerlichen Raumklima wurden der Glasanteil  $f_g$  und die Glasflächenzahl  $z_g$  der in Abb. 18 aufgeführten Räume sowie die Glasflächenzahl von in der Studie von Lemon Consult [8] definierten kritischen Räumen erfasst. Abb. 22 bzw. Abb. 23 zeigen die Verteilung der Glasflächenzahl  $z_g$  bzw. des Glasanteils  $f_g$  der untersuchten Räume bzw. Fassaden. Aus der daraus erfolgten Analyse geht hervor, dass der Grossteil der Werte für die Glasflächenzahl  $z_g$  zwischen 10 und 30 % liegt (siehe Abb. 22). Die Auswertung nach dem Glasanteil  $f_g$  ergibt eine etwas andere Verteilung. Hier liegen die Werte bei etwa 5 bis 25 % bezogen auf die Fassadenfläche (siehe Abb. 23).

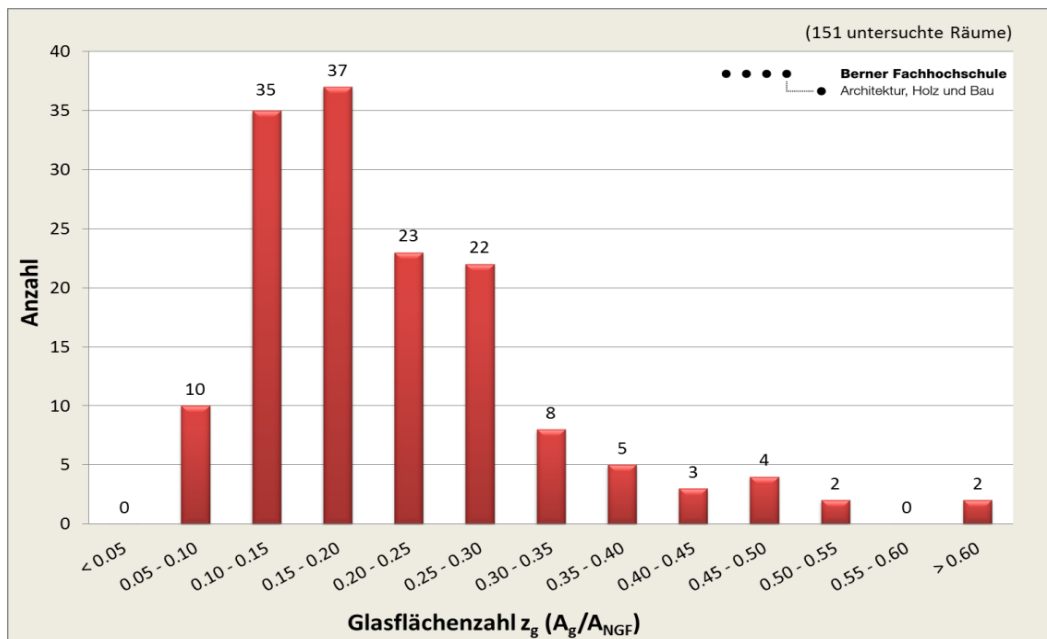


Abb. 22: Verteilung der Glasflächenzahl  $z_g$  (Glasfläche ( $A_g$ ) bezogen auf die Nettogrundfläche des dahinter liegenden Raumes ( $A_{NGF}$ ) von 151 untersuchten Räumen.

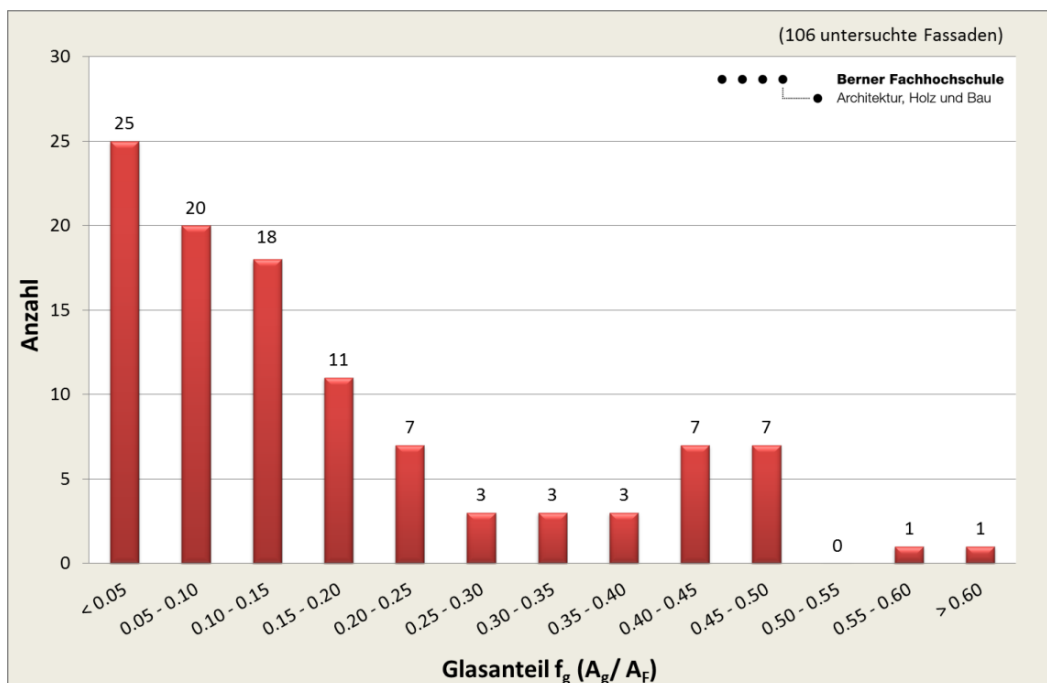


Abb. 23: Verteilung des Glasanteils  $f_g$  (Glasfläche ( $A_g$ ) bezogen auf die Fassadenfläche des betreffenden Raumes ( $A_F$ ) von 106 untersuchten Fassaden.

Die Analyse der Glasflächen wurde auch raumweise durchgeführt, was zu spezifischen Glasflächenzahlen  $z_g$  bzw. Glasanteilen  $f_g$ , je nach Raumnutzung führt. Exemplarisch ist die Verteilung der Glasflächenzahl von 16 untersuchten Schlafräumen in Abb. 24 dargestellt. Alle weiteren Auswertungen der Glasflächen (Verteilung der Glasflächenzahl  $z_g$ ) aller untersuchten Räume sind im Anhang 12.8 zu finden.

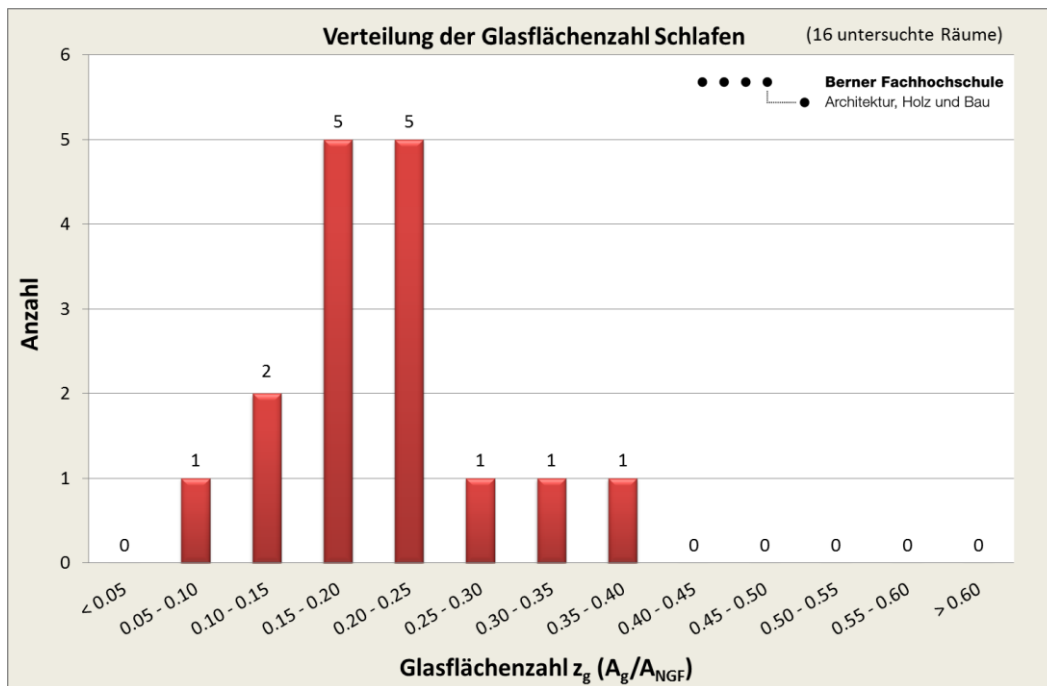


Abb. 24: Verteilung der Glasflächenzahl  $z_g$  (Glasfläche ( $A_g$ ) bezogen auf die Nettogrundfläche des dahinter liegenden Raumes ( $A_{NGF}$ ) am Beispiel der 16 untersuchten Schlafräume.

Nach der Auswertung von Maximal-, Minimal- und Mittelwerten der Glasflächenzahlen  $z_g$  (siehe Abb. 25) kann die Fenstergrösse für die Parameteruntersuchung an diese Analyse angepasst werden.

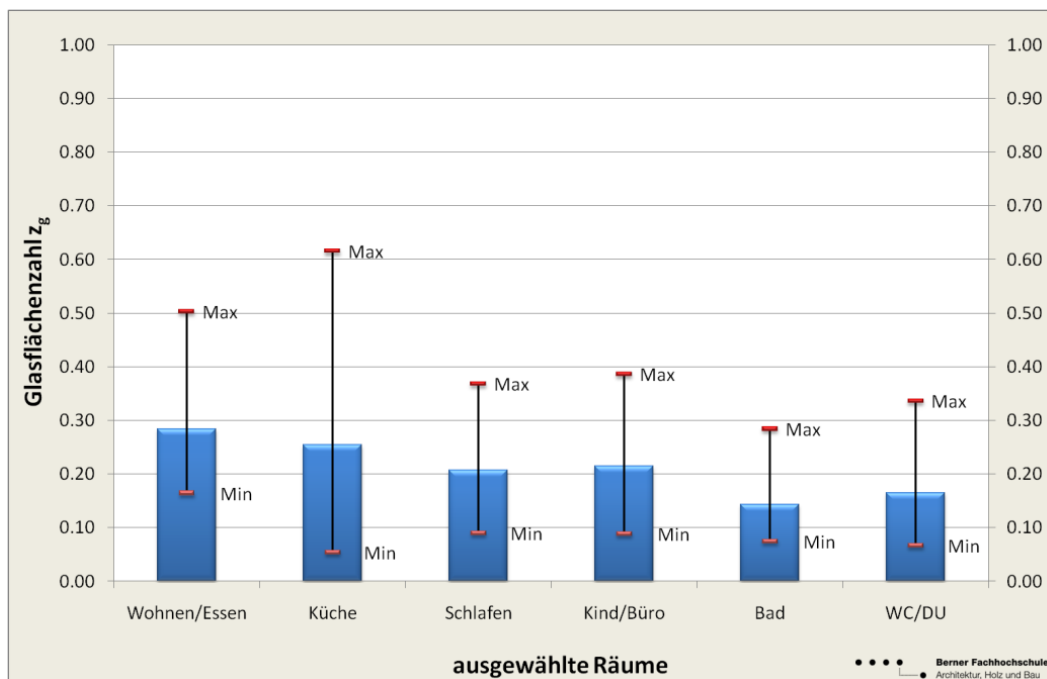


Abb. 25: Auswertung (Minimal- und Maximalwerte bzw. arithmetischer Mittelwert) der durchschnittlichen Glasflächen (Glasfläche ( $A_g$ ) bezogen auf die Nettogrundfläche des dahinter liegenden Raumes ( $A_{NGF}$ ) der 143 analysierten Räume als Funktion der Raumnutzung.

## 7.3 ERSTELLUNG DES REFERENZGEBÄUDES

Aus der Raum- und Fensteranalyse wurde ein Referenzgebäude erstellt. In Abb. 26 sind die Grundrisse vom Erd- und Obergeschoss dargestellt. Eine Übersicht zu den Eingabeparametern (Raumflächen, Bauteile, Fenstergrössen) ist im Anhang 12.9 zu finden.

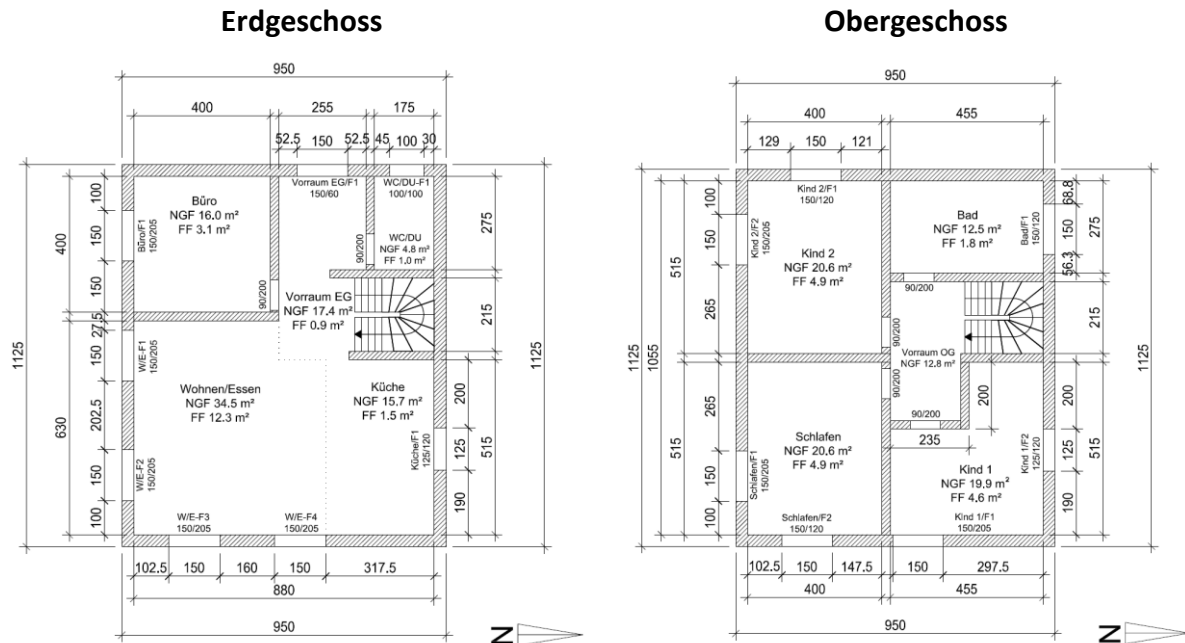


Abb. 26: Grundrisse des Referenzgebäudes mit mittleren Glasflächen. Die Nettogrundfläche ist mit NGF, die Fensterfläche ist mit FF bezeichnet.

## 7.4 VARIANTEN REFERENZGEBÄUDE

Beim Referenzgebäude werden in der Parameterstudie folgende Eingabeparameter variiert:

### 7.4.1 Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, der Räume und des Gebäudes

Aus der Bauteilanalyse (Kapitel 7.1) wurden verschiedene wirksame Wärmespeicherfähigkeiten für die Räume ermittelt. Um eine möglichst grosse Bandbreite der Bauweisen zu erfassen, wurden die Bauteile so ausgewählt, dass sich drei Varianten der Bauweise mit unterschiedlicher wirksamer Wärmekapazität ergeben:

- Holzrahmenbau mit einfacher Beplankung der Wände und Decken mit Holzfussboden mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von  $24 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{K}$
- Holzrahmenbau mit doppelter Beplankung der Wände und Decken mit Zementunterlagsboden mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von  $47 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{K}$
- Massivbacksteinbau mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von ca.  $75 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{K}$

Zusätzlich wurde eine reine Massivholzkonstruktion gewählt. Ihre wirksame Wärmekapazität liegt sehr nahe an der Holzrahmenbauvariante mit doppelter Beplankung der Wände und Decken mit Zementunterlagsboden, wird aber als eigene Bauweise gesondert betrachtet:

- Massivholzbau mit Zementunterlagsboden mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von  $50 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{K}$

#### 7.4.2 Glasflächen

Um den solaren Energieeintrag zu verändern, werden die Glasflächen variiert. Dabei wurden drei Varianten „niedriger“, „mittlerer“ und „hoher“ Glasflächenanteil gewählt, die den Minimal- und Maximalwerten bzw. Mittelwerten aus der Analyse in Kapitel 7.2.2 (siehe Abb. 24) entsprechen. In der folgenden Tabelle (Tab. 10) ist eine Übersicht der Glasflächen der drei Varianten zu finden. Zusätzlich werden die Nettogrundfläche und die Orientierung der einzelnen Fassaden aufgelistet.

Tab. 10: Übersicht über die Glasflächen des Referenzgebäudes

Raumliste			Raumdaten	Glasfläche $z_g = 0.08$			Glasfläche $z_g = 0.17$			Glasfläche $z_g = 0.31$		
			Nettogrundfläche $A_{NGF}$ $\text{m}^2$	Fläche $\text{m}^2$	$z_g$ -	$f_g$ -	Fläche $\text{m}^2$	$z_g$ -	$f_g$ -	Fläche $\text{m}^2$	$z_g$ -	$f_g$ -
Gesch.	Bezeichnung	Orient.										
Erdgeschoss	Wohnen/Essen	O, S	34.5	<b>4.90</b>	<b>0.14</b>	<b>0.11</b>	<b>10.46</b>	<b>0.30</b>	<b>0.23</b>	<b>16.03</b>	<b>0.46</b>	<b>0.35</b>
	Küche	N, O	15.7	<b>0.31</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02</b>	<b>1.28</b>	<b>0.08</b>	<b>0.08</b>	<b>4.01</b>	<b>0.26</b>	<b>0.26</b>
	(W/E-Küche)*	N, O, S	50.2	<b>5.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>	<b>11.73</b>	<b>0.23</b>	<b>0.19</b>	<b>20.04</b>	<b>0.40</b>	<b>0.33</b>
	WC/DU	W, N	4.8	<b>0.43</b>	<b>0.09</b>	<b>0.03</b>	<b>0.85</b>	<b>0.18</b>	<b>0.06</b>	<b>1.70</b>	<b>0.35</b>	<b>0.12</b>
	Büro	S, W	16.0	<b>1.53</b>	<b>0.10</b>	<b>0.06</b>	<b>2.61</b>	<b>0.16</b>	<b>0.11</b>	<b>6.10</b>	<b>0.38</b>	<b>0.25</b>
	Flur	-	17.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Obergeschoss	Schlafen	O, S	20.6	<b>2.07</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>4.14</b>	<b>0.20</b>	<b>0.14</b>	<b>6.27</b>	<b>0.30</b>	<b>0.21</b>
	Kind 1	N, O	19.9	<b>2.07</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>3.89</b>	<b>0.20</b>	<b>0.12</b>	<b>8.02</b>	<b>0.40</b>	<b>0.25</b>
	Kind 2	S, W	20.6	<b>2.07</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>4.14</b>	<b>0.20</b>	<b>0.14</b>	<b>8.02</b>	<b>0.39</b>	<b>0.27</b>
	Bad	W, N	12.5	<b>1.28</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>1.53</b>	<b>0.12</b>	<b>0.06</b>	<b>3.49</b>	<b>0.28</b>	<b>0.14</b>
	Flur/Treppe	-	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>GEBÄUDE</b>			<b>174.8</b>	<b>14.65</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>28.90</b>	<b>0.17</b>	<b>0.12</b>	<b>53.63</b>	<b>0.31</b>	<b>0.22</b>

\*Wohnen/Essen und Küche als ein Raum betrachtet

Fassadenfläche des Gebäudes:  $248.17 \text{ m}^2$

Die Fensterfläche des jeweiligen Raumes wurde so aufgeteilt, dass die Summe der Flächen dieser Fenster etwa den Fensterflächen der obigen Tabelle entspricht. Für das Kinderzimmer 1 mit knapp  $20 \text{ m}^2$  Nettogrundfläche bedeutet dies beispielsweise:  
Geringe Fensterfläche: 1 Fenstertüre mit  $0.80 \times 2.05 \text{ m}$  und 1 Fenster mit  $0.80 \times 1.00 \text{ m}$   
Mittlere Fensterfläche: 1 Fenstertüre mit  $1.50 \times 2.05 \text{ m}$  und 1 Fenster mit  $1.25 \times 1.20 \text{ m}$   
Grosse Fensterfläche: 2 Fenstertüren mit  $2.30 \times 2.05 \text{ m}$

Die zugehörigen Fenstergrößen der restlichen Räume sind im Anhang 12.9 aufgelistet.



## 8 Randbedingungen der Simulationen

### 8.1 LÜFTUNGS- UND VERSCHATTUNGSVERHALTEN IN WOHNRÄUMEN

In Raum- und Gebäudesimulationen sollte das Lüftungs- und Verschattungsverhalten möglichst realitätsnah abgebildet werden. In der Literatur findet man verschiedenste Ansätze für die Lüftung [1][3][13], wie sie bei Simulationen angesetzt werden kann. Peper und Feist in [15] haben die Luftwechsel für weitergehende Parameteruntersuchungen aus Messungen hergeleitet. Auf die Messungen und den Abgleich mit den Simulationen wird im Folgenden näher eingegangen.

Sören Peper und Wolfgang Feist vom Passivhaus-Institut in Darmstadt hatten die Möglichkeit 27 bewohnte Passivhäuser in einer Modellsiedlung in Hannover-Kronsberg messtechnisch zu begleiten und später auch Simulationen des sommerlichen Raumklimas durchzuführen.

Durch die gleiche Bauweise der Häuser und die grosse Anzahl der Gebäude an einem Standort, konnten die Daten gut ausgewertet und analysiert werden. Die Raumtemperaturen wurden zunächst über 27 Häuser gemittelt. Dadurch wurde extremes Nutzerverhalten in Bezug auf Lüftung und Verschattung herausgefiltert und ein durchschnittliches Nutzerverhalten ermittelt. Für die Rekonstruktion der Messungen durch Simulationen lagen den Autoren Peper und Feist keine dezidierten Daten des Lüftungs- und Verschattungsverhaltens vor.

Durch die vorhandenen Erkenntnisse, dass das Lüftungsverhalten von der Aussenlufttemperatur abhängt und die Fenster eher gekippt als geöffnet werden, wurde folgendes Lüftungsverhalten (Durchschnitts-/Normallüfter) und Verschattungsverhalten in der Simulation von Peper/Feist angesetzt:

- Der Grundluftwechsel beträgt je nach Hausgrösse zwischen 0.4 und 0.53 h<sup>-1</sup>.
- Der Volumenstrom eines normal grossen, gekippten Fensters wird mit 80 m<sup>3</sup>/h nach [17] angesetzt.
- Anzahl der gekippten Fenster:
  - Bei einem Tagesmittel der Aussenlufttemperatur von < 11°C wird 1 Fenster im Haus gekippt.
  - Bei einem Tagesmittel der Aussenlufttemperatur zwischen 11° C und 18° C werden 3 Fenster im Haus gekippt.
  - Bei einem Tagesmittel der Aussenlufttemperatur von > 18° C werden 6 Fenster (alle) gekippt.
- Bei einem Tagesmittel der Solarstrahlung auf die Südfassade von 50 W/m<sup>2</sup> wird angenommen, dass der Sonnenschutz zumindest teilweise geschlossen wird. Die Reduktion der Solarstrahlung gegenüber der Situation ohne Verschattung wird mit 70 % angesetzt.

Abb. 27 zeigt den gemessenen mittleren Raumtemperaturverlauf aller Häuser im Vergleich zur Modellrechnung. Durch die Mittelwertbildung von 27 bauähnlichen Passivhäusern wird extremes Nutzerverhalten „herausgemittelt“. Anschliessend differenzieren die Autoren zwischen verschiedenen Nutzerverhalten und greifen einzelne Häuser für die Analyse heraus: U. a. „Weniglüfter mit und ohne Sonnenschutz“; „Normallüfter mit Sonnenschutz“ etc.

Fazit der Untersuchung ist unter anderem:

- Der „Normallüfter mit guter Verschattung“ stellt den Nutzungsdurchschnitt dar und kann über das Modell gut abgebildet werden. Bei der Einzelhausbetrachtung ist die Korrelation nicht so gut, da z.B. die Nutzer über einen längeren Zeitraum abwesend und das Lüftungs- und Verschattungsverhalten nicht genau bekannt waren.
- Auch Weniglüfter erreichen bei gut genutzter Verschattung ein komfortables Innenraumklima. Dies ist auch aus den Messungen und der Parameteruntersuchung ablesbar.
- Die Korrelation zwischen Simulationsmodell und Messung ist bei den „Viellüftern“ am besten, da durch den hohen Luftwechsel die Innenraumtemperatur nur geringfügig von der Aussenlufttemperatur abweichen und andere Einflüsse dadurch überlagert werden.

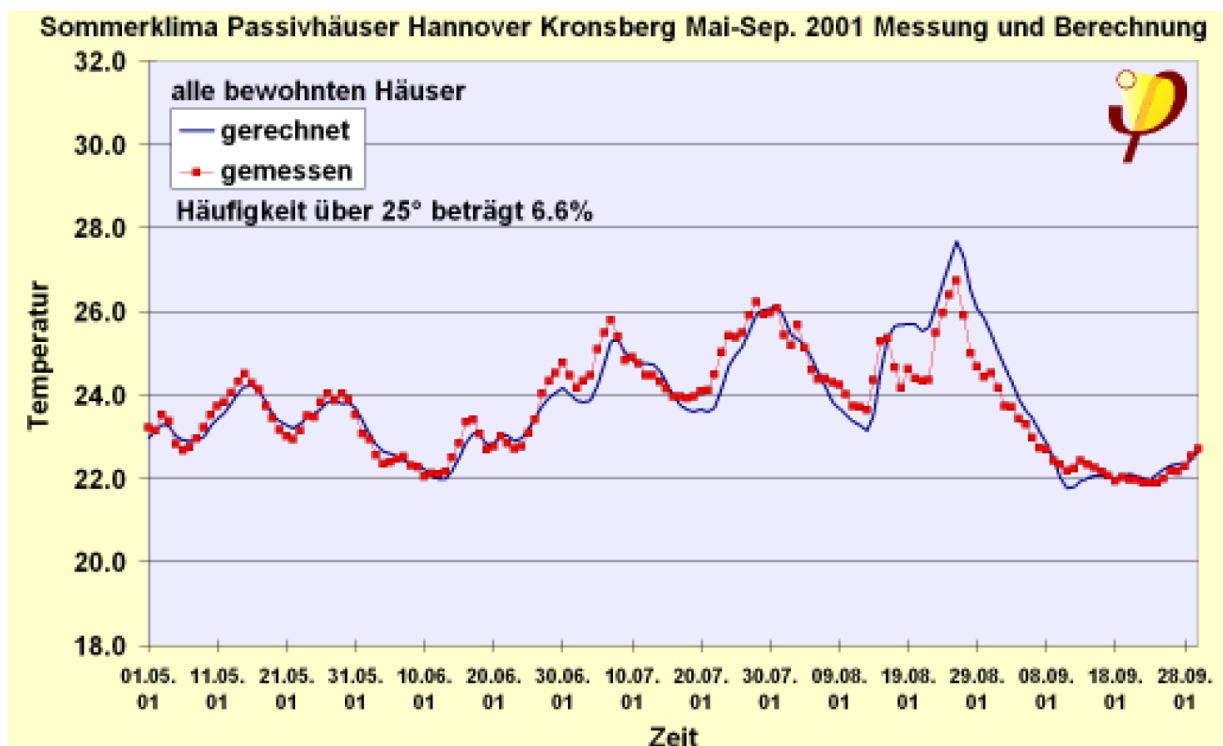


Abb. 27: Vergleich der Raumlufttemperatur zwischen Berechnung und Messung von Peper/Feist [15].

Das Lüftungsmodell für die Simulation wurde auf das Referenzgebäude für die Untersuchung des Einflusses der Lüftung übertragen. Da sich die Gebäude von Peper/Feist in Grösse und

Fensteranzahl zum Referenzgebäude unterscheiden, wurde die Anzahl der Fenster, die sich bei bestimmten Aussenlufttemperaturen öffnen, angepasst. Um den Einfluss der Lüftung aufzuzeigen, wird in der Parameteruntersuchung das Lüftungsmodell in drei verschiedenen Varianten, dem Wenig-, Normal- und Viellüfter gerechnet. Je nach Aussenlufttemperatur werden unterschiedlich viele Fenster geöffnet. In Tab. 11 ist die Anzahl der gekippten Fenster je nach Lüftungsvariante in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur dargestellt. Steigt die Aussenlufttemperatur über die Raumlufthtemperatur, werden die Fenster geschlossen. Bei gekipptem Fenster wird mit einem konstanten Luftvolumenstrom von 80 m<sup>3</sup>/h gerechnet.

Tab. 11: Lüftungsstrategien (Wenig-, Normal-, Viellüfter) für die Simulation des Referenzgebäudes mit der Angabe zur Anzahl der gekippten Fenster je nach Aussenlufttemperatur.

Anzahl der gekippten Fenster			
Aussenlufttemp.	Weniglüfter	Normallüfter	Viellüfter
< 11 °C	1.0	1.0	3.0
11-18 °C	2.0	4.0	7.0
> 18 °C	4.0	8.0	14.0

Neben dem Luftvolumenstrom durch Fensteröffnung wird ein Grundluftwechsel von 0.5 h<sup>-1</sup> angenommen. Dieser deckt sich mit einer Vielzahl anderer Simulationsstudien, die einen Grundluftwechsel zwischen 0.4 und 0.6 in der Simulation ansetzen [2][3][4][13]. Der Grundluftwechsel beinhaltet die Lüftung über Luftundichtheiten innerhalb der Gebäudehülle und kurzzeitiges Fenster- und Türöffnen (unabhängig vom sommerlichen Lüftungsverhalten). Damit wird der hygienisch notwendige Luftwechsel sichergestellt. Der Grundluftwechsel kann auch über eine mechanische Lüftungsanlage erfolgen.

In der folgenden Abbildung (Abb. 28) wird die Regelung des Lüftungsmodells erläutert. In der betrachteten Woche (21.05.-25.07.) ermittelt das Simulationsprogramm IDA-ICE zunächst die mittlere Aussenlufttemperatur des Vortages. Die Fensteröffnung erfolgt dann in Abhängigkeit dieses Aussenlufttemperaturwertes.

Dieses Lüftungsmodell (Wenig-, Normal- und Viellüfter) wird zur Untersuchung der Luftwechselraten in den Simulationen angewandt. Ausserdem werden die Simulationen mit dem „Fensterlüftungsprofil“ (siehe Kap. 5.4) und dem Fenstermodell des Programms IDA-ICE durchgeführt, mit dem die Luftwechsel der geöffneten Fenster als Funktion der Temperaturdifferenzen und des Windeinflusses abgebildet werden, durchgeführt.

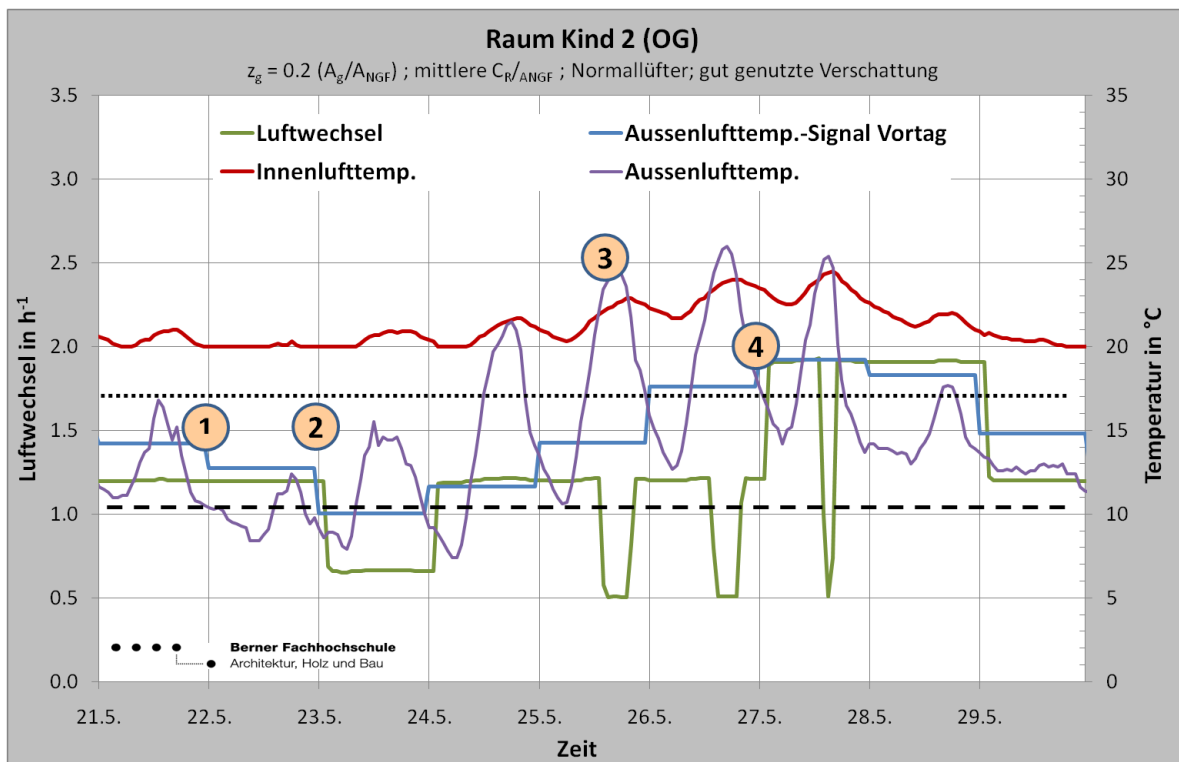


Abb. 28: Regelung der Lüftung im Simulationsprogramm IDA-ICE für einen Normallüfter

**Pos. 1:** Die mittlere Aussenlufttemperatur beträgt über 11 °C. Demnach müssen im gesamten Haus beim Normallüfter 4 Fenster geöffnet werden. Damit ergibt sich ein Volumenstrom von  $4 \times 80 \text{ m}^3/\text{h} = 240 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dies entspricht einer Luftwechselrate von  $0.7 \text{ h}^{-1}$ . Damit ergibt sich mit der Grundluftwechselrate von  $0.5 \text{ h}^{-1}$  eine Gesamtluftwechselrate von  $0.7 \text{ h}^{-1} + 0.5 \text{ h}^{-1} = 1.2 \text{ h}^{-1}$ .

**Pos. 2:** Sinkt die Aussenlufttemperatur unter 11 °C ist nur noch 1 Fenster geöffnet. Damit ergibt sich ein Volumenstrom von  $1 \times 80 \text{ m}^3/\text{h} = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dies entspricht einer Luftwechselrate von  $0.17 \text{ h}^{-1}$ . Damit ergibt sich mit der Grundluftwechselrate von  $0.5 \text{ h}^{-1}$  eine Gesamtluftwechselrate von  $0.17 \text{ h}^{-1} + 0.5 \text{ h}^{-1} = 0.67 \text{ h}^{-1}$ .

**Pos. 3:** Ein zusätzliches Signal wird ausgelöst, wenn die Aussenlufttemperatur über die Innentemperatur steigt. Dann werden die Fenster geschlossen und nur noch der Grundluftwechsel von  $0.5 \text{ h}^{-1}$  ist vorhanden.

**Pos. 4:** Steigt die mittlere Aussenlufttemperatur des Vortages über 18 °C werden beim Normallüfter 8 Fenster geöffnet. Damit ergibt sich ein Volumenstrom von  $8 \times 80 \text{ m}^3/\text{h} = 640 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dies entspricht einer Luftwechselrate von  $1.4 \text{ h}^{-1}$ . Damit ergibt sich mit der Grundluftwechselrate von  $0.5 \text{ h}^{-1}$  eine Gesamtluftwechselrate von  $1.4 \text{ h}^{-1} + 0.5 \text{ h}^{-1} = 1.9 \text{ h}^{-1}$ .

Danach stellen sich über den Simulationszeitraum auch verschiedene Luftwechsel je Monat und Lüftungsverhalten ein. In Tab. 12 sind die resultierenden Monatsmittelwerte des Luftwechsels dargestellt.

Tab. 12: Resultierende Monatsmittelwerte und Mittelwert des Simulationszeitraum vom 15.04.-15.10. der Luftwechselrate für die verschiedenen Lüftungsstrategien.

Luftwechsel $\text{h}^{-1}$			
Monat	Weniglüfter	Normallüfter	Viellüfter
April	0.7	0.8	1.2
Mai	0.8	1.1	1.5
Juni	1.0	1.4	2.0
Juli	1.0	1.5	2.2
August	1.1	1.6	2.3
September	0.9	1.2	1.7
Oktober	0.7	0.8	1.2
<b>Mittelwert</b>	<b>0.9</b>	<b>1.3</b>	<b>1.8</b>

## 8.2 VERSCHATTUNG

Das Verschattungsverhalten, das ebenfalls sehr stark vom Nutzer abhängig ist, ist ähnlich komplex wie das Lüftungsverhalten. Es wird ebenfalls der Ansatz für das Verschattungsverhalten aus der Studie des Passivhaus-Institutes [15] verwendet. Dabei wird zwischen einer „wenig genutzten Verschattung“ und einer „gut genutzten Verschattung“ unterschieden, um aufzuzeigen, wie sich das Innenraumklima je nach Verschattungsweise verändert.

Bei der „wenig genutzten Verschattung“ wird davon ausgegangen, dass die aussenliegenden Storen nur bis zur Hälfte heruntergefahren werden. Dadurch ergibt sich eine Reduktion des Gesamtenergiedurchlassgrades ( $g_{\text{tot}}$ -Wert) um 40 % und des Solartransmissionsgrades des Glases und des Sonnenschutzes ( $\tau_e$ ) um 45 %.

Bei der „gut genutzten Verschattung“ wird davon ausgegangen, dass die aussenliegenden Storen ganz herunter gefahren werden und sich die Lamellen in Arbeitsstellung ( $45^\circ$ ) befinden. Dadurch ergibt sich eine Reduktion des Gesamtenergiedurchlassgrades ( $g_{\text{tot}}$ -Wert) um 80 % und des Solartransmissionsgrades ( $\tau_e$ ) um 90 %. Die Werte wurden nach SN EN 13363 [30] ermittelt.

## 8.3 ZUSAMMENSTELLUNG DER RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE SIMULATIONEN

In den letzten beiden Kapiteln wurden die beiden wichtigsten Eingabeparameter, die Lüftung und die Verschattung der Fenster erläutert. Da aber eine Vielzahl von weiteren Einstellungen in der Simulation vorgenommen werden können, werden sie hier für die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen nochmals aufgeführt. Für die Simulation zum sommerlichen Raumklima wurde die Software „IDA Klima und Energie 4.0 Expert Edition“ von Equa Simulation verwendet. Diese Software beinhaltet ein Mehrzonenmodell und ist nach EN 13791 validiert. Die SIA 382/1 [22] enthält Berechnungsvoraussetzungen für dynamische Simulationen. In

der folgender Tabelle (Tab. 13) werden die Anforderungen und gewählten Kriterien für die Simulation gegenübergestellt.

Tab. 13: Vergleich der Vorgaben für Simulationen nach SIA 382/1 und der gewählten Werte für die Eingabeparameter

Vorgaben nach SIA 382/1		Gewählt für die Simulation
<b>Zeitschritt</b>	1 h oder kleiner	1 h
<b>Klimadaten</b>	DRY (Design Reference Year)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zürich-Meteo Schweiz (normal)</li> <li>- Klimadaten gemäss SIA 2028;</li> <li>- Mittleres DRY: Für die Messperiode typisches Jahr</li> <li>- Klimaregion: 3 Nordöstliches Mittelland</li> <li>- Lage: Südhanglage, städtische Überbauung/Agglomeration</li> </ul>
<b>Beobachtungsperiode</b>	15.04.-15.10.1987	15.04.-15.10.1987
<b>Sonnenschutz</b>	Der Sonnenschutz wird geschlossen, wenn das Produkt aus Globalstrahlung und Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g-Wert grösser als 90 W/m <sup>2</sup> ist.	<p>Nach SIA 382/1 wird der Sonnenschutz bei 90 W/m<sup>2</sup> hinter der Verglasung geschlossen. Mit dem gewählten g-Wert folgt daraus eine solare Einstrahlung auf die Fassade von:</p> $\frac{90 \text{ W/m}^2}{0.57} = 160 \text{ W/m}^2$ <p>Der Sonnenschutz wird in IDA ICE bei einer direkten Einstrahlung von 75 W/m<sup>2</sup> hinter der Glasscheibe geschlossen. Daraus ergibt sich eine globale Einstrahlung auf die Fassade von:</p> $\frac{75 \text{ W/m}^2}{\tau_e} = \frac{75 \text{ W/m}^2}{0.45} = 160 \text{ W/m}^2$ <p>Das verwendete Kriterium entspricht also den Vorgaben.</p>
<b>Interne Wärmequellen</b>	lt. Merkblatt SIA 2024 Personen, Beleuchtung, Bürogeräte	Es wird eine konstante innere Wärmelast mit einer Leistung von 4 W/m <sup>2</sup> angesetzt. Dies entspricht einer Energie von 96 Wh/m <sup>2</sup> d pro Tag (Begründung siehe Kapitel 5.2).
<b>Berechnungsmodell Fensterlüftung</b>	Berechnungsverfahren nach EN ISO 13791/ Anhang J oder Vereinfachung mit Luftwechselzahlen nach Anhang B	Es werden sowohl Simulationen mit konstanten Luftwechselraten der Fenster als auch mit Lüftungsprofilen und variablen Luftwechselraten der Fenster durchgeführt (siehe Kapitel 8.1).

Ansonsten wurden folgende Annahmen für die Simulation vorgenommen:

a) Verglasung und Verschattung

Für die Verglasungsflächen wurde ein Zweifach-Wärmeschutzglas nach SIA 382/1:2007 mit folgenden Parametern gewählt:

- Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung  $U_g = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung  $g = 0.57$
- Direkter Transmissionsgrad  $\tau_e = 0.45$
- Lichttransmissionsgrad der Verglasung  $\tau_{vis} = 0.75$
- Innerer und äusserer Emissionsgrad der Verglasung  $\epsilon = 0.837$

Für den Sonnenschutz wurde je nach Verschattungsverhalten (wenig oder gut genutzte Verschattung) unterschiedliche Werte für die lichttechnischen Kennwerte des Storen gewählt. Diese verändern dann auch die lichttechnischen Kennwerte des Gesamtsystems Fenster mit Sonnenschutz, wenn der Sonnenschutz herabgelassen wird. Für eine gut genutzte Verschattung mit einem ganz geschlossenen Sonnenschutz werden folgende Werte angesetzt:

- Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes  $F_c = 0,20$ . Damit ergibt sich der totale Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters mit Sonnenschutz,  
 $g_{total} = g \cdot F_c = 0.57 \cdot 0.20 = 0.114$
- Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes für den direkten Transmissionsgrad  $\tau_{e,c} = 0.10$ . Damit ergibt sich der direkte Transmissionsgrad des Fensters mit Sonnenschutz zu  $\tau_{e,tot} = \tau_e \cdot \tau_{e,c} = 0.45 \cdot 0.1 = 0.045$
- Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung  $= 1.0$

Für eine wenig genutzte Verschattung mit halb geschlossenem Sonnenschutz werden folgende Werte verwendet:

- Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes  $F_c = 0,60$ . Damit ergibt sich der totale Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters mit Sonnenschutz,  
 $g_{total} = g \cdot F_c = 0.57 \cdot 0.6 = 0.342$
- Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes für den direkten Transmissionsgrad  $\tau_{e,c} = 0.55$ . Damit ergibt sich der direkte Transmissionsgrad des Fensters mit Sonnenschutz zu  $\tau_{e,tot} = \tau_e \cdot \tau_{e,c} = 0.45 \cdot 0.55 = 0.248$
- Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes für den Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung  $= 1.0$

Bei den Systemparametern in der Software IDA ICE wurde festgelegt, dass ab  $75 \text{ W/m}^2$  solarer Wärmegewinn hinter der Glasfläche und einem Minimalwert für den solaren Einstrahlungswinkel von  $90^\circ$  der integrierte Sonnenschutz (ausenliegende Storen) zu 100% geschlossen wird.

Zusätzlich wird die Verschattung einer 18 cm tiefen Fensternische als ausenliegende Sonnenschutzvorrichtung berücksichtigt. Es werden keine weiteren Verschattungen durch das Gebäude selbst, wie Balkone und auch keine Verschattung durch umgebende Objekte (Häuser, Bäume,...) angesetzt.

#### b) Interne Wärmelasten und Speicherkapazität der Möblierung

Es wird mit einer konstanten internen Wärmelast von  $4 \text{ W/m}^2$  gerechnet. Daraus ergibt sich für die Räume eine bestimmte Leistung pro Raum (Interne Wärmelast), die in Tab. 14 dargestellt ist.

Für die Speicherkapazität der Möblierung wurden ein Regal, ein Tisch, ein Schrank und ein Bett aus Holz angesetzt, was eine Möbelfläche von  $22.5 \text{ m}^2$  ergibt. Für den Vorraum wurde nur die Hälfte der Fläche verwendet und für das Bad keine Möbelfläche. Die wirksame Wärmespeicherkapazität der Möbel für die einzelnen Räume ist in Tab. 14 aufgelistet.

Tab. 14: Angenommene interne Wärmelasten und Speicherkapazitäten der Möbel für die einzelnen Räume.

Raum	Nettogrundfläche	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Möbel	Gewählte Interne Wärmelast	
	$A_{NGF}$ $\text{m}^2$		$\text{W/m}^2$	W
Wohnen/Essen	34.50	100.00	4.00	138
Küche	15.70	100.00	4.00	63
WC/DU	4.80	0.00	4.00	19
Büro	16.00	100.00	4.00	64
Flur	17.40	50.00	4.00	70
Schlafen	20.60	100.00	4.00	82
Kind 1	19.90	100.00	4.00	80
Kind 2	20.60	100.00	4.00	82
Bad	12.50	0.00	4.00	50
Flur/Treppe	12.80	50.00	4.00	51

#### c) Innentüren

Die Innentüren sind bis auf die Bad- und die WC-Tür immer offen. Bei Bad und WC werden geschlossene Türen mit einer Infiltrationsfläche in der Türfläche von  $0.2 \text{ m}^2$  angenommen.



## 9 Ergebnisse

Nach der Herleitung aller wichtigen Parameter werden diese variiert, um zu analysieren, wie ihr Einfluss auf das sommerliche Raumklima ist. Dazu wird zunächst das thermische Verhalten des Gesamtgebäudes betrachtet. Eine Analyse einzelner Räume erfolgt danach.

### 9.1 VERGLEICH DER BEWERTUNGSMETHODEN

Für die Bewertung der Ergebnisse werden die verschiedenen Methoden nach SIA 382/1, EN 15251, DIN 4108-2 und nach Passivhaus-Institut, die bereits in Kapitel 4 erläutert wurden, verwendet. Anhand der ermittelten Werte werden die Methoden miteinander verglichen und analysiert. Sie werden nochmals kurz zusammengefasst:

- Die SIA 382/1 legt fest, dass die obere Grenzkurve (siehe Abb. 1, S.11) während nicht mehr als 100 h überschritten werden darf.
- Weiters werden die Überschreitungsstunden der modifizierten Grenzkurve nach Frank (siehe Kap. 4.3) betrachtet. Auch hier wird das 100 h Kriterium der SIA 382/1 herangezogen.
- Die SN EN 15251 nennt in Anhang G ein Kriterium für die maximalen Überschreitungsstunden für die Bewertung der Ergebnisse: *„Der Parameter in den Räumen, die 95 % des Aufenthaltsbereiches darstellen, weicht um nicht mehr als z. B. 3 % (oder 5 %) der Belegungsstunden am Tag, in der Woche, im Monat oder Jahr von den Grenzwerten der entsprechenden Kategorie ... ab.“* Geht man einer 24 h Belegung für Wohngebäude aus und bezieht die 3 % Überschreitungshäufigkeit auf die Simulationsperiode der SIA 382/1 (15. 04. bis 15.10. = 4416 h), ergeben sich 132 h Überschreitungsstunden.

Gemäss der Einteilung der sommerlichen Klimabedingungen nach DIN 4108-2 wird Zürich mit einer Monatsmitteltemperatur von  $\Theta_{e,m} = 18.8^\circ \text{C}$  im Juli als sommerheiss eingestuft. Damit ergibt sich als Bewertungskriterium für die Qualität des sommerlichen Raumklimas die Überschreitungsdauer der Raumlufttemperatur eines Grenzwertes von  $27^\circ \text{C}$  während 10 % der Simulationsperiode von 442 h.

- Das Passivhaus-Institut begrenzt die Dauer der Überschreitung der Grenztemperatur von  $25^\circ \text{C}$ . Diese darf im Jahr 876 h oder als Häufigkeit ausgedrückt 10 % der Gesamtjahresstunden nicht überschreiten (siehe Kap. 4.6).

Anhand folgender Tabelle (Tab. 15) wird der Unterschied zwischen den Bewertungsmethoden erläutert. Für die Simulationen der in Tab. 15 dargestellten Ergebnisse wurden folgende Parameter gewählt:

- Vier verschiedene Lüftungsverhalten (Wenig-, Normal-, und Viellüfter sowie Fensterlüftungsprofil). Das Fensterlüftungsprofil entspricht einem raum- und zeitabhängigen Fensteröffnungsprofil (kippen und ganz öffnen) Diese Lüftungsvariante mit den zugehörigen mittleren Luftwechseln der Simulationsperiode sind in den Kopfzeilen der Tabelle angegeben.
- Es wird eine Verschattung mittels Storen bei einem mittleren Glasanteil von  $f_g = 0.12$  vorausgesetzt.
- Es wird eine Holzbauweise mit einer geringen wirksamen Wärmekapazität von  $24 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$  angesetzt.

Durch die farbliche Markierung der einzelnen Zellen sind die Ergebnisse der verschiedenen Bewertungsmethoden abzulesen. Die Farben zeigen für das jeweilige Kriterium, ob es erfüllt wird:

- Für das Kriterium der SIA 382/1 und für das modifizierte Kriterium der SIA 382/1 nach Frank:
  - grün für eine Überschreitungsdauer von bis zu 100 h
  - rot für Überschreitungsdauern von mehr als 100 h
- Für die Kategorien der EN 15251:
  - grün für Überschreitungsdauern von bis zu 132 h der oberen Grenzkurve der Kategorie I
  - gelb für Überschreitungsdauern von bis zu 132 h der oberen Grenzkurve der Kategorie II
  - orange für Überschreitungsdauern von bis zu 132 h der oberen Grenzkurve der Kategorie III
  - rot für Überschreitungsdauern von mehr als 132 h der oberen Grenzkurve der Kategorie III
- Für das Kriterium der DIN 4108-2:
  - grün für eine Überschreitungsdauer von bis zu 442 h
  - rot für Überschreitungsdauern von mehr als 442 h
- Für das Kriterium des Passivhauses:
  - grün für eine Überschreitungsdauer von bis zu 876 h
  - rot für Überschreitungsdauern von mehr als 876 h

Die Bewertungsmethoden kommen für diese Simulationen für die Varianten mit gut genutzter Verschattung zur gleichen Einschätzung des sommerlichen Raumklimas für das „Fensterlüftungsprofil“ und die Variante „Viellüfter“. Die Beurteilung der Varianten „Normallüfter“ und „Weniglüfter“ unterscheidet sich nach den verschiedenen Richtlinien.

Für die Varianten mit wenig genutzter Verschattung ergibt sich nur bei der Variante „Weniglüfter“ die gleiche Bewertung nach den verschiedenen Richtlinien.

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse und Bewertungen für die übrigen Simulationen ist im Anhang 12.10 zu finden.

Tab. 15: Ergebnisse der Bewertungen nach den verschiedenen Bewertungsmethoden der SIA 382/1, SIA 382/1 modifiziert nach Frank, DIN 4108-2, des Passivhausinstituts und der drei Kategorien der EN 15251 für einen Holzbau mit geringer wirksamen Wärmekapazität und einem durchschnittlichen Glasanteil von  $f_g = 0.12$ . Die Überschreitungsdauern sind sowohl in Stunden, als auch in Prozent der Simulationsdauern angegeben.

**$C_R/A_{NGF} = 24 \text{ Wh/m}^2\text{K}$  (Holzbau - Einfach beplankt - Holzfussboden)**

Luftwechsel $\text{h}^{-1}$ (15.04-15.10)		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0,92	0,91	1,30	1,28	1,94	1,88	2,58	2,48
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	20,9%	8,2%	8,7%	3,2%	4,0%	1,7%	3,1%	1,5%
	h	922,2	363,9	385,3	143,4	174,5	73,1	136,3	64,7
SIA 382/1 - Frank	%	17,8%	5,0%	5,6%	1,4%	1,9%	0,5%	1,3%	0,4%
	h	783,9	220,7	247,3	64,0	83,3	22,9	56,9	19,0
PHI	25 °C [%]	15,6%	9,3%	9,0%	4,6%	4,9%	2,3%	3,7%	1,8%
	25 °C [h]	1366,7	814,0	790,4	402,8	430,5	199,8	320,1	154,4
DIN 4108-2	27 °C [%]	14,8%	5,6%	6,1%	2,3%	3,0%	1,1%	2,2%	0,9%
	27 °C [h]	652,4	245,4	271,5	101,3	130,5	49,5	99,1	41,5
EN 15251	Kat. I [%]	16,3%	3,8%	6,2%	1,1%	2,4%	0,3%	1,8%	0,2%
	Kat. I [h]	721,4	168,6	275,3	47,3	108,5	13,9	78,0	10,2
	Kat. II [%]	8,1%	1,1%	2,4%	0,2%	0,9%	0,0%	0,6%	0,0%
	Kat. II [h]	359,5	47,8	104,5	10,4	38,9	1,1	25,1	1,1
	Kat. III [%]	3,5%	0,2%	0,8%	0,0%	0,2%	0,0%	0,1%	0,0%
	Kat. III [h]	153,0	9,8	36,5	0,8	10,1	0,0	5,5	0,0

## 9.2 AUSWERTUNG GESAMTGEBÄUDE

In diesem Kapitel wird der Einfluss der einzelnen Parameter auf das sommerliche Raumklima des gesamten Gebäudes und einzelner Räume diskutiert.

Da die Überschreitung der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 seit mehreren Jahren Anwendung findet, werden im Folgenden die Überschreitungsstunden dieser Grenzkurve für die Diskussion des Einflusses der einzelnen Parameter ausgewertet.

Es wird zunächst das thermische Verhalten des Gesamtgebäudes bewertet. Dabei wird auf die Parameter Lüftung, solare Wärmeeinträge (Glasfläche und Verschattung) und wirksame Wärmekapazität des Gebäudes genauer eingegangen.

### 9.2.1 Einfluss der Lüftung

Wie bereits in Kapitel 8.1 beschrieben, werden die Simulationen mit verschiedenen Lüftungsmodellen durchgeführt, um den Einfluss der Lüftung auf das sommerliche Raumklima zu studieren. In Abb. 29 sind die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 für den „Viellüfter“, in Abb. 30 die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 für den „Normallüfter“, in Abb. 31 die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 für den „Weniglüfter“ und in Abb. 32 die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 für die „Fensterlüftungsprofile“ als Funktion des Glasanteils des Gebäudes dargestellt.

Durch die Lüftung des Gebäudes werden die solaren Energieeinträge aus dem Gebäude abgeführt und so die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 reduziert. Der Einfluss der Lüftungsraten zeigt sich besonders bei grossen solaren Wärmelasten, welche bei einem grossen Fensterflächenanteil von  $f_g = 0.22$  und einer schlecht genutzten Verschattung, in den Abbildungen als WGV bezeichnet, und einer geringen wirksamen Wärmekapazität, auftreten. Hier wird die obere Grenzkurve bei der Variante „Weniglüfter“ während 2023 h überschritten. Bei der Variante „Normallüfter“ ergibt sich eine Überschreitungsdauer von 1327 h, während bei der Variante „Viellüfter“ nur noch 766 h Überschreitungsstunden auftreten.

Bei der Variante mit den Fensterlüftungsprofilen, die zeitabhängige Lüftungsraten als Funktion der Temperaturdifferenz zwischen Innen und Aussen und der Druckunterschiede infolge Windanströmung berücksichtigen, ergeben sich für diesen Fall die geringsten Überschreitungsstunden von 337 h.

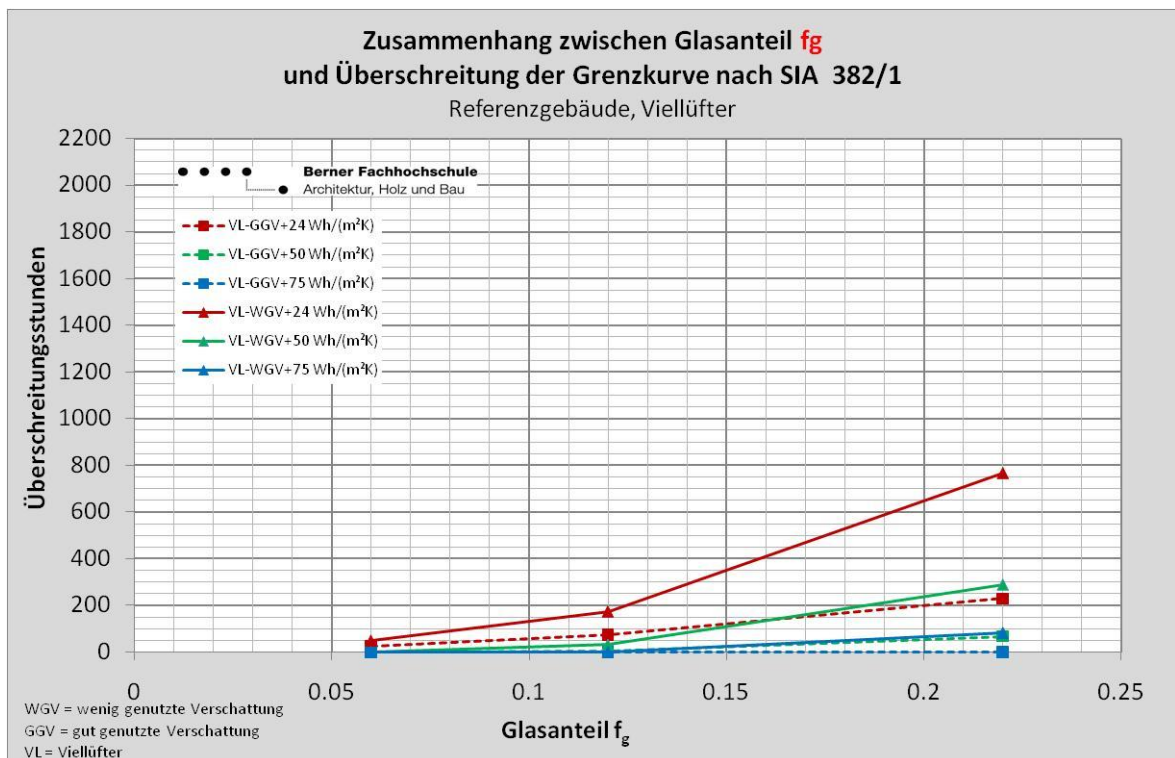


Abb. 29: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, den Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve der SIA 382/1, dem Lüftungsverhalten „Viellüfter“ und dem Verschattungsverhalten (gut bzw. wenig genutzte Verschattung) sowie dem Glasanteil  $f_g$ .

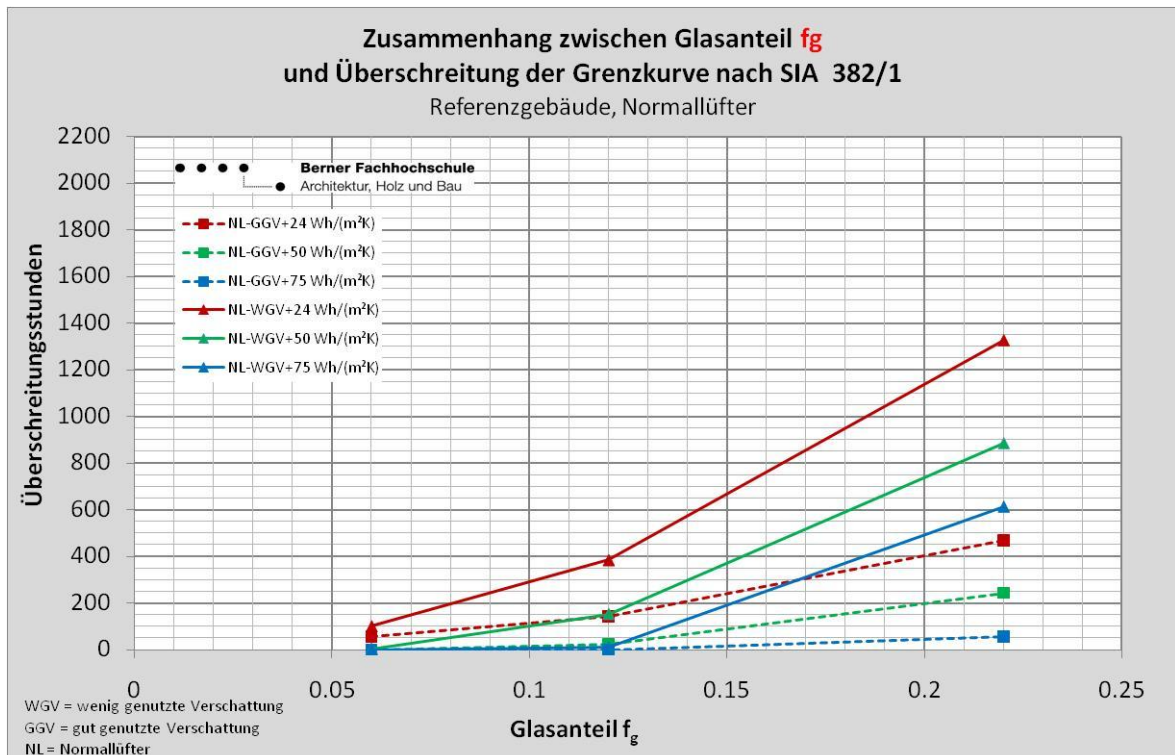


Abb. 30: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, den Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1, dem Lüftungsverhalten „Normallüfter“ und dem Verschattungsverhalten (gut bzw. wenig genutzte Verschattung) sowie dem Glasanteil  $f_g$ .

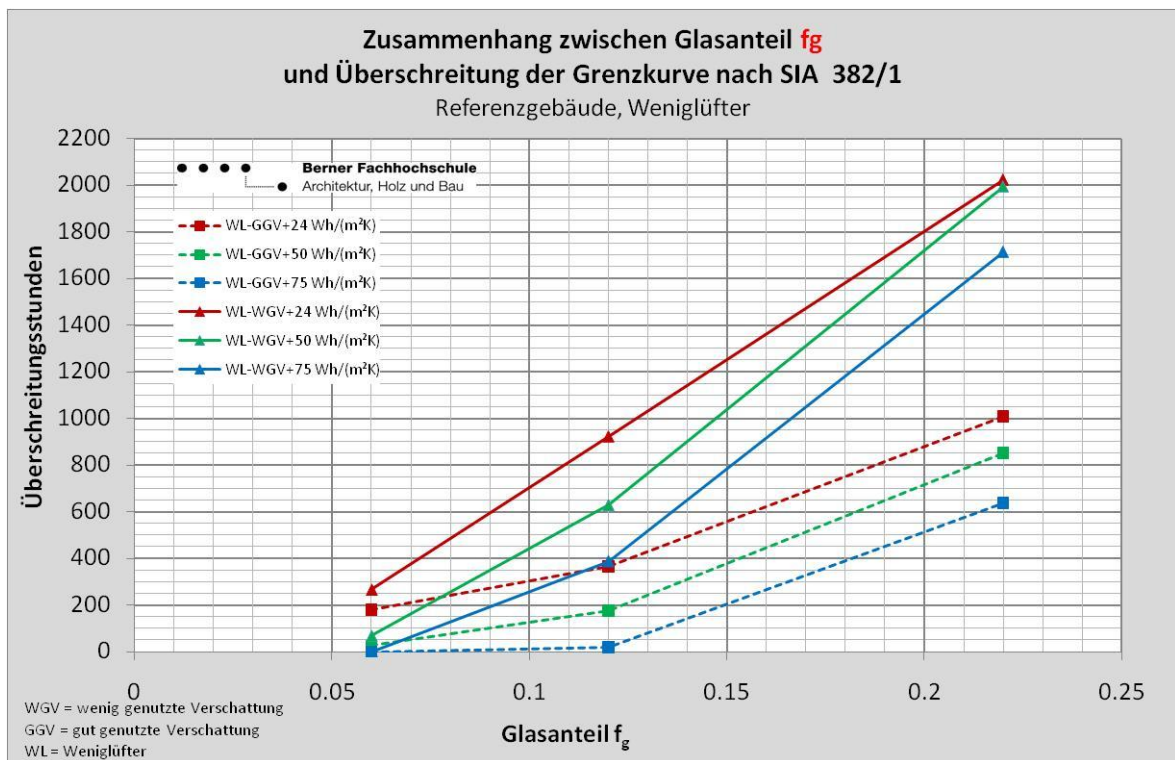


Abb. 31: Zusammenhang zwischen wirksamer Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, den Überschreitungsstunden der SIA Grenzkurve, dem Lüftungsverhalten „Weniglüfter“ und dem Verschattungsverhalten (gut bzw. wenig genutzte Verschattung) sowie dem Glasanteil  $f_g$ .

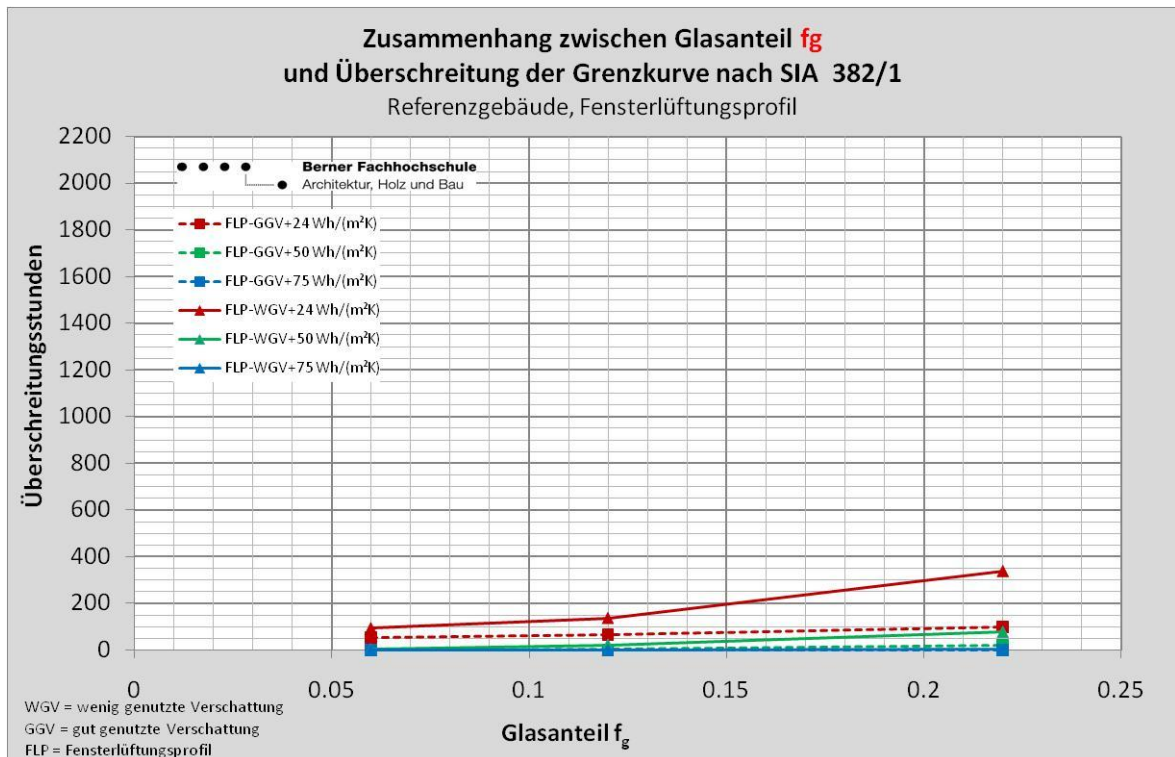


Abb. 32: Zusammenhang zwischen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, den Überschreitungsstunden der SIA Grenzkurve, dem Lüftungsverhalten „Fensterlüftungsprofil“ und dem Verschattungsverhalten (gut bzw. wenig genutzte Verschattung) sowie dem Glasanteil  $f_g$ .

### 9.2.2 Glasanteil $f_g$

Die Glasflächen des Referenzgebäudes werden auf Grund der Raumanalyse (siehe Kap. 7.2.2) innerhalb der ermittelten Spannweiten (Minimal, Maximal- und Mittelwerte) angepasst. Daraus ergeben sich für das gesamte Gebäude drei verschiedene Glasflächenzahlen  $z_g$  (Glasfläche bezogen auf Nettogrundfläche  $A_g / A_{NGF}$ ) bzw. Glasanteile  $f_g$  (Glasfläche bezogen auf Bruttofassadenfläche  $A_g / A_F$ ). In der folgenden Tabelle (Tab. 16) ist eine Übersicht der Glasflächenanteile der drei Varianten zu finden. Zusätzlich werden die Nettogrundfläche und die Orientierung der einzelnen Räume aufgelistet.

Tab. 16: Zusammenstellung der Glasflächenzahlen / Glasanteile der Parameteruntersuchung

Raumliste			Raumdaten	Glasfläche z <sub>g</sub> = 0.08; f <sub>g</sub> = 0.06			Glasfläche z <sub>g</sub> = 0.17; f <sub>g</sub> = 0.12			Glasfläche z <sub>g</sub> = 0.31; f <sub>g</sub> = 0.22		
			Nettogrundfläche A <sub>NGF</sub> m <sup>2</sup>	Fläche m <sup>2</sup>	z <sub>g</sub> -	f <sub>g</sub> -	Fläche m <sup>2</sup>	z <sub>g</sub> -	f <sub>g</sub> -	Fläche m <sup>2</sup>	z <sub>g</sub> -	f <sub>g</sub> -
Gesch.	Bezeichnung	Orient.										
Erdgeschoss	Wohnen/Essen	O, S	34.5	4.90	0.14	0.11	10.46	0.30	0.23	16.03	0.46	0.35
	Küche	N, O	15.7	0.31	0.02	0.02	1.28	0.08	0.08	4.01	0.26	0.26
	(W/E-Küche)*	N, O, S	50.2	5.20	0.10	0.09	11.73	0.23	0.19	20.04	0.40	0.33
	WC/DU	W, N	4.8	0.43	0.09	0.03	0.85	0.18	0.06	1.70	0.35	0.12
	Büro	S, W	16.0	1.53	0.10	0.06	2.61	0.16	0.11	6.10	0.38	0.25
	Flur	-	17.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Obergeschoss	Schlafen	O, S	20.6	2.07	0.10	0.07	4.14	0.20	0.14	6.27	0.30	0.21
	Kind 1	N, O	19.9	2.07	0.10	0.07	3.89	0.20	0.12	8.02	0.40	0.25
	Kind 2	S, W	20.6	2.07	0.10	0.07	4.14	0.20	0.14	8.02	0.39	0.27
	Bad	W, N	12.5	1.28	0.10	0.05	1.53	0.12	0.06	3.49	0.28	0.14
	Flur/Treppe	-	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GEBÄUDE			174.8	14.65	0.08	0.06	28.90	0.17	0.12	53.63	0.31	0.22

\*Wohnen/Essen und Küche als ein Raum betrachtet

Fassadenfläche des Gebäudes: 248.17  $m^2$

Da die solaren Wärmeeinträge mit der Fenstergrösse zunehmen, steigen die Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve der SIA 382/1 mit steigendem Glasanteil überproportional an.

In Abb. 33 sind die Überschreitungsdauern für die Variante „Fensterlüftungsprofile“ als Funktion des Glasanteils  $f_g$  dargestellt. Damit die Unterschiede zwischen den Varianten besser erkennbar werden, wird ein kleinerer Massstab für die Überschreitungsdauern gewählt. Für den Holzbau mit einer geringen wirksamen Wärmekapazität von 24 Wh/ $m^2K$  erhöhen sich bei einer Erhöhung des Glasanteils von  $f_g = 0.12$  auf  $f_g = 0.22$  und einer wenig genutzten Verschattung die Überschreitungsdauern von 136 h auf 337 h.

Bei einer gut genutzten Verschattung ergeben sich auch für den Holzbau mit einer geringen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit auch bei einem Fensterflächenanteil von  $f_g = 0.22$  Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 von nur 99 h. Dies zeigt, wie wich-



tig die Minimierung der solaren Einträge durch eine gut genutzte Verschattung für ein komfortables Raumklima im Sommer ist.

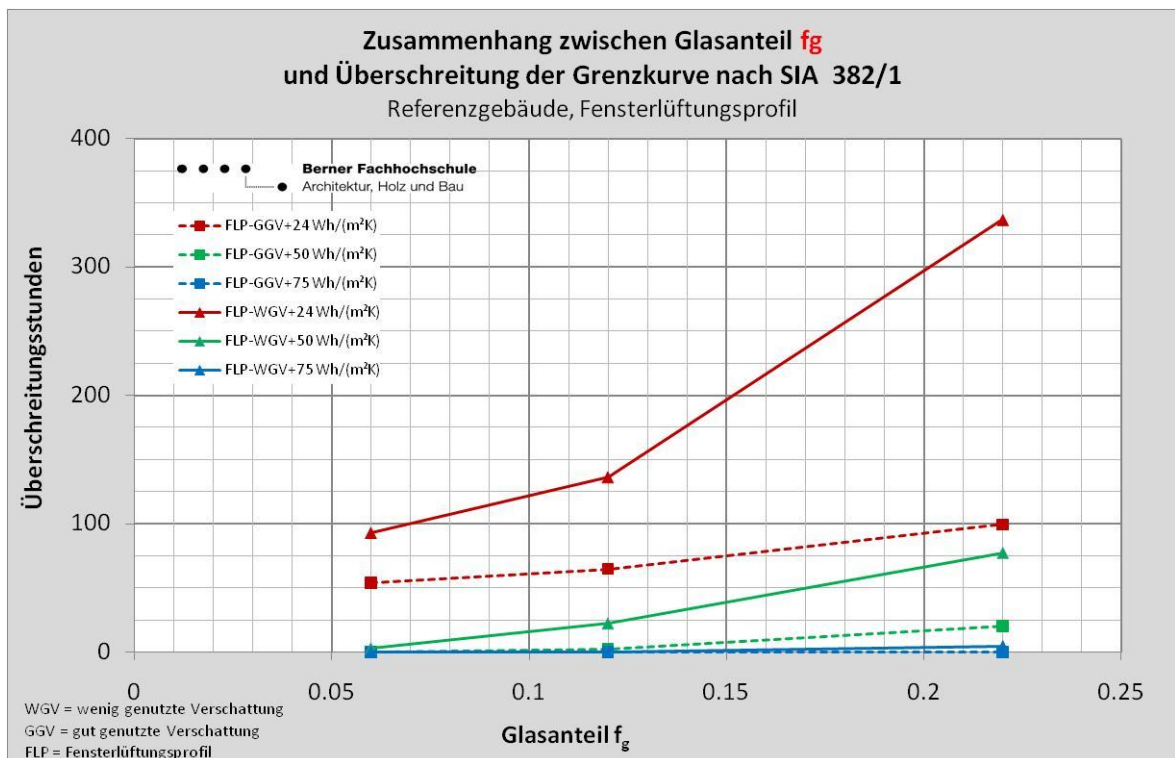


Abb. 33: Zusammenhang zwischen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, den Überschreitungsstunden über der SIA Grenzkurve, dem Lüftungsverhalten „Fensterlüftungsprofil“ und dem Verschattungsverhalten (gut bzw. wenig genutzte Verschattung) sowie dem Glasanteil  $f_g$ .

### 9.2.3 Nutzung des Sonnenschutzes

Der solare Energieeintrag über die Fenster wird neben dem Glasanteil auch massgeblich von der Verschattung der Fenster und damit von der Betätigung des Sonnenschutzes beeinflusst. Wie in Kapitel 0 erläutert, wird zwischen einer wenig genutzten und gut genutzten Verschattung unterscheiden.

Wird der aussenliegende Sonnenschutz wenig genutzt, steigen die Überschreitungsstunden mit dem Glasanteil an (siehe Abb. 34). Der Anstieg ist umso grösser, je geringer die wirksame Wärmekapazität des Gebäudes ist. Wird hingegen der Sonnenschutz gut genutzt, steigen die Überschreitungsstunden im Vergleich zu der kaum genutzten Verschattung wesentlich geringer mit zunehmendem Glasanteil  $f_g$  (siehe Abb. 35). Bei einem Glasanteil von  $f_g = 0.06$  und einem Holzbau mit einer geringen wirksamen Wärmekapazität von 24 Wh/m²K sinken die Überschreitungsstunden nach SIA 382/1 von über 90 h mit wenig genutzter Verschattung auf 54 h mit gut genutzter Verschattung, also auf fast die Hälfte. Bei höheren Glasanteilen nimmt der Einfluss der Verschattung noch zu: Bei einem Glasanteil von  $f_g = 0.22$  beträgt die Reduktion durch ein verändertes Verschattungsverhalten über 2/3 von 337 h auf 100 h. Das richtige Verhalten des Nutzers wird bei steigendem Glasanteil daher immer wichtiger.



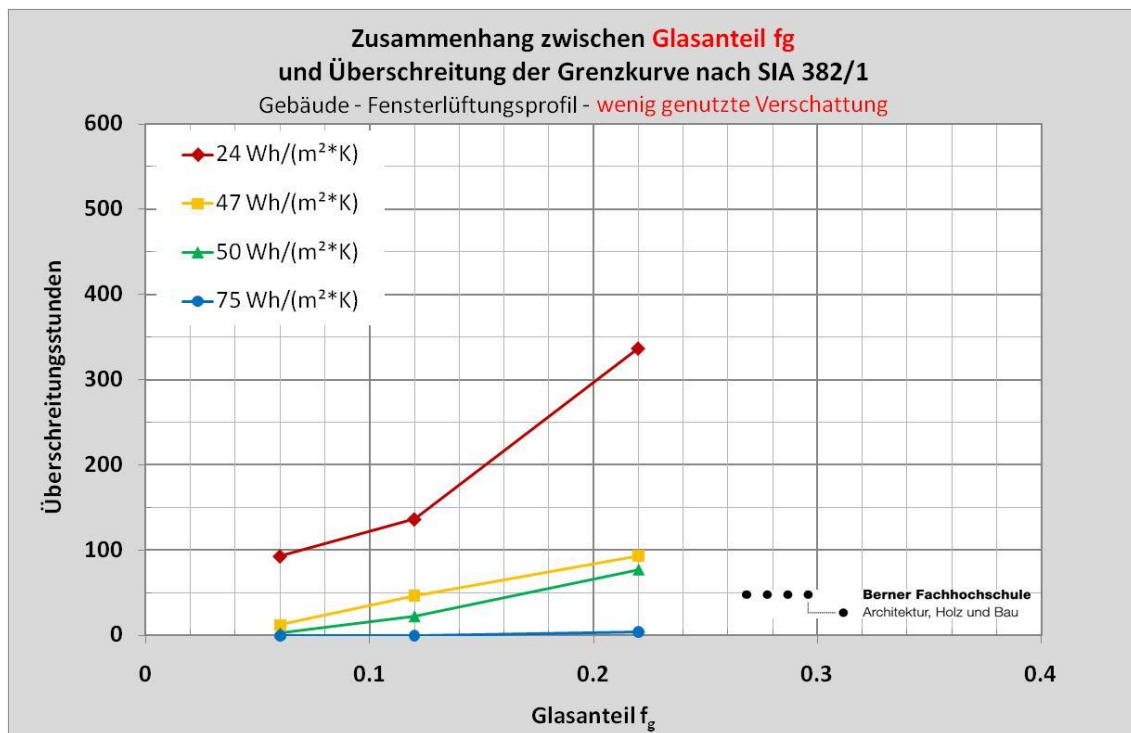


Abb. 34: Zusammenhang zwischen dem Glasanteil  $f_g$  und den Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 bei verschiedenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten des Gebäudes für das Fensterlüftungsprofil und eine wenig genutzte Verschattung.

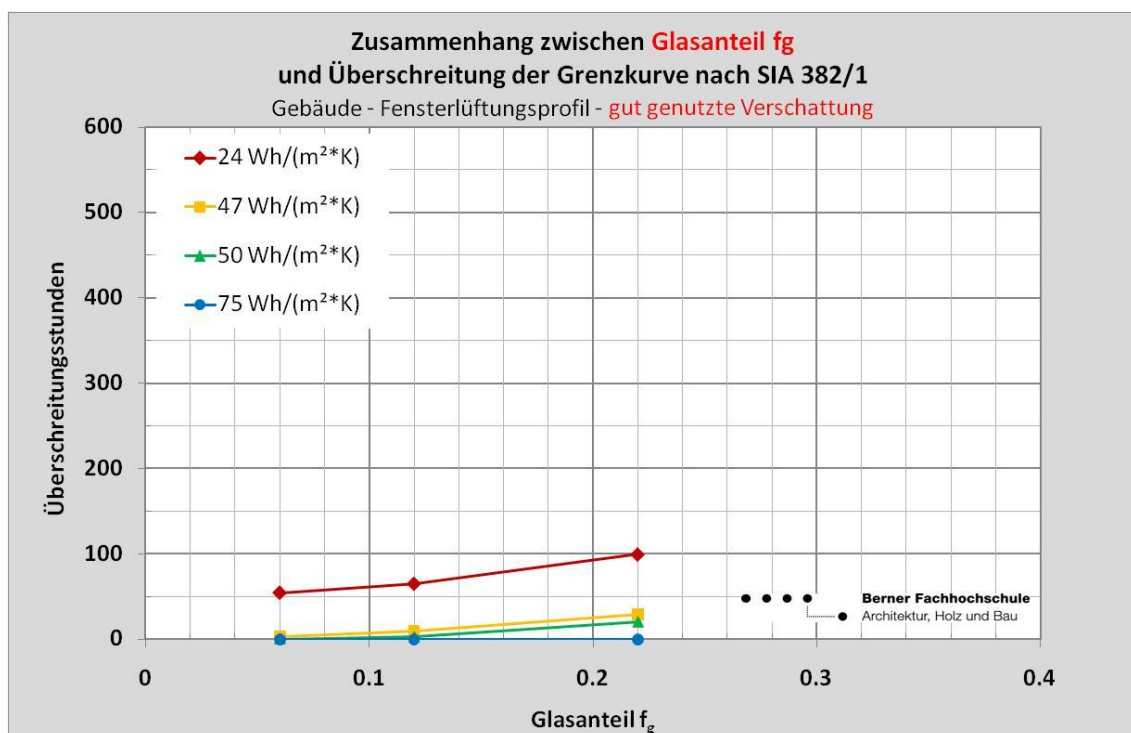


Abb. 35: Zusammenhang zwischen den Glasanteil  $f_g$  und den Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve bei verschiedenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten des Gebäudes für die Variante „Fensterlüftungsprofile“ und gut genutzter Verschattung.

#### 9.2.4 Wirksame Wärmekapazität

Wie in Kapitel 7.4 erläutert, werden die Simulationen für das Referenzgebäude mit unterschiedlich grosser, wirksamer Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes durchgeführt:

- Holzrahmenbau mit einfacher Beplankung der Wände und Decken mit Holzfussboden mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von  $24 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Holzrahmenbau mit doppelter Beplankung der Wände und Decken mit Zementunterlagsboden mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von  $47 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Massivholzbau mit Zementunterlagsboden mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von  $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Massivbacksteinbau mit einer wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des gesamten Gebäudes von ca.  $75 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Die Auswirkung der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes auf die Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 sind ebenfalls in Abb. 34 und Abb. 35 zu erkennen: bei einer gut genutzten Verschattung ergibt sich bei einem Glasanteil von  $f_g = 0.12$  beim Holzbau mit einer geringen wirksamen Wärmekapazität von  $24 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  eine Überschreitungsdauer von 65 h, beim Holzbau mit einer hohen wirksamen Wärmekapazität von  $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  dagegen nur mehr 3 h Überschreitungsdauer.

Um für verschiedene wirksame Wärmekapazitäten und unterschiedliche Glasanteile des Gebäudes die Überschreitungsstunden bestimmen zu können, werden die Simulationsergebnisse der Variante mit Fensterlüftungsprofilen nochmals, diesmal aber als Funktion der wirksamen Wärmekapazität für verschiedene Glasanteile  $f_g$  in Abb. 36 dargestellt. Die Abbildung enthält die Berechnungsergebnisse für das Gebäude mit der Lüftungsvariante „Fensterlüftungsprofile“ und einer gut genutzten Verschattung. So können für verschiedene wirksame Wärmekapazitäten und Glasanteile des Gebäudes die Überschreitungsstunden ermittelt werden. Hat man beispielsweise ein Gebäude mit einer Wärmespeicherkapazität von  $40 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und im Gebäude einen Glasanteil von 18 % liegt man knapp über 40 Überschreitungsstunden (siehe Abb. 36).

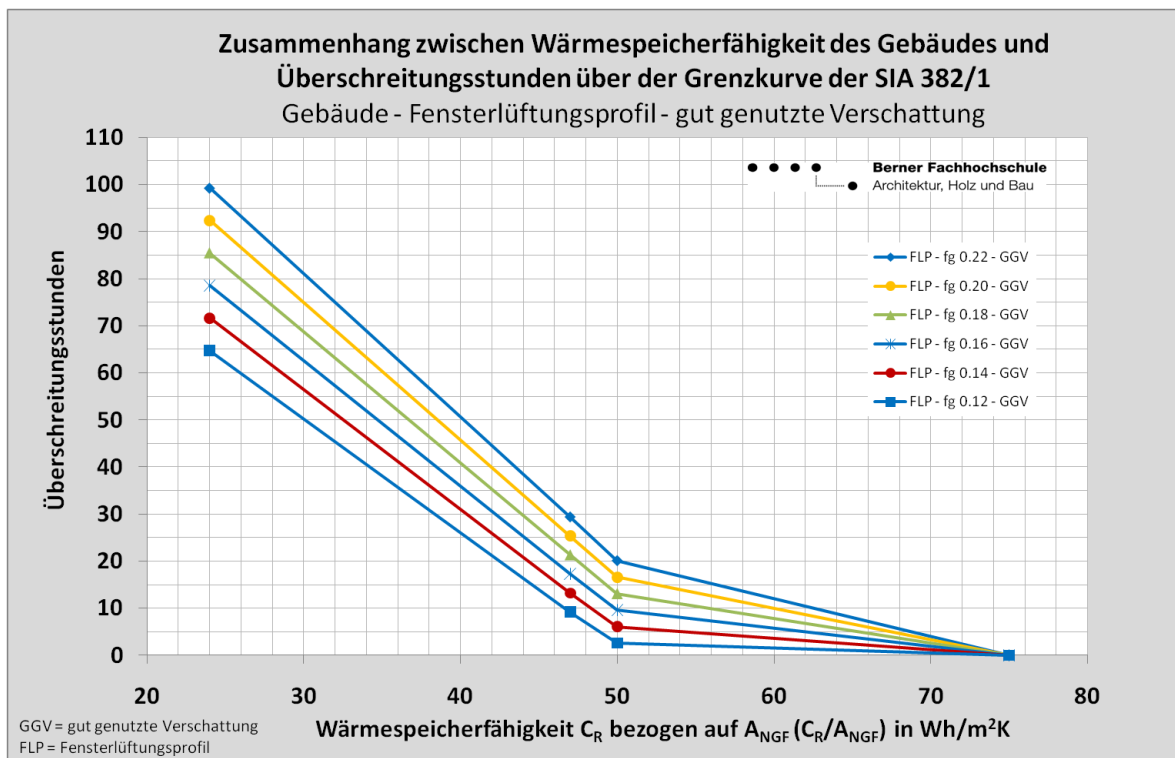


Abb. 36: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$ .

Folgend sollen nun die Ergebnisse für die Überschreitungsdauern der verschiedenen Kriterien für die Variante „Fensterlüftungsprofile“ als Funktion des Glasanteils und der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes dargestellt werden. Wie in Kapitel 4 dargestellt, sind dies die Überschreitungsdauern:

- der oberen Grenzkurve der SIA 382/1 und der modifizierten Grenzkurve nach Frank (siehe Abb. 37 bis Abb. 40)
- der Raumlufttemperatur von 25° C gemäss Passivhausinstitut (siehe Abb. 41 und Abb. 42)
- der Raumlufttemperatur von 27° C nach DIN 4108-2 (siehe Abb. 43 und Abb. 44)
- der oberen Grenzkurven der Kategorien I, II und III der EN 15251 (siehe Abb. 45 bis Abb. 50)

Es ist wieder zu erkennen, dass sich für die verschiedenen Kriterien unterschiedliche Werte für die Überschreitungsdauern ergeben. Deutlich wird auch, dass das Verschattungsverhalten besonders bei geringeren wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten einen wesentlichen Einfluss auf die Überschreitungsstunden hat.

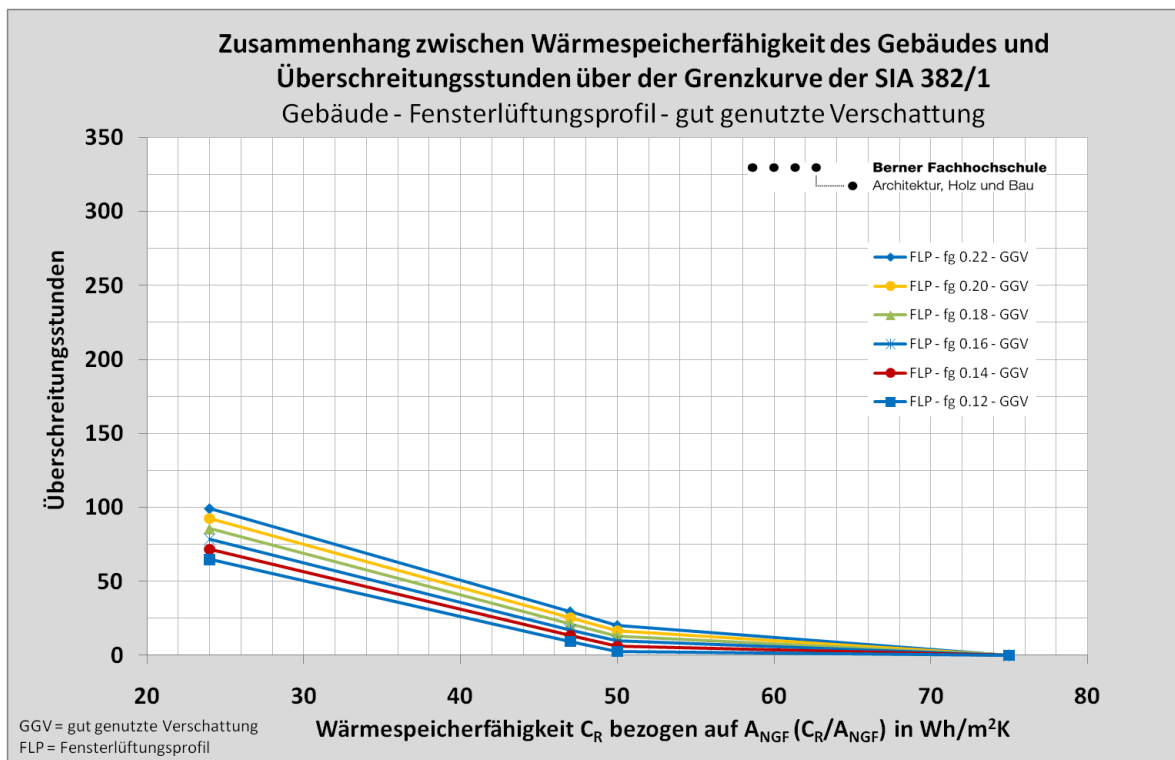


Abb. 37: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der SIA 382/1 in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

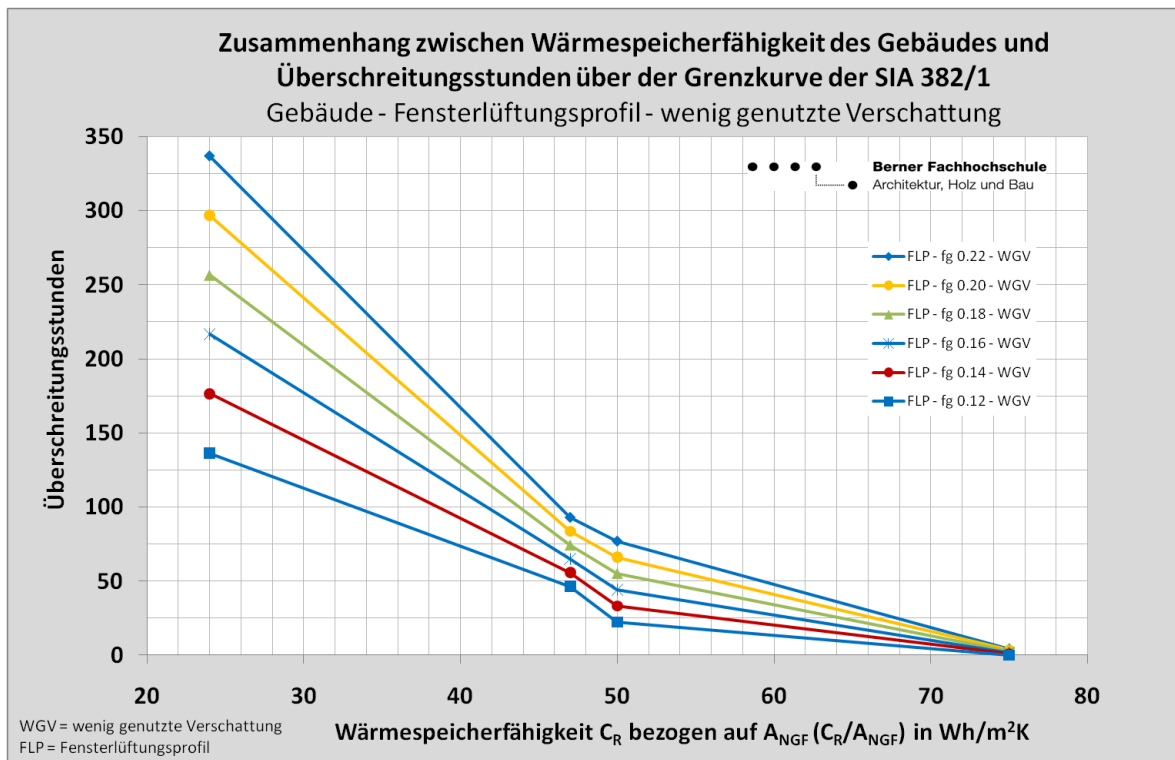


Abb. 38: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der SIA 382/1 in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.

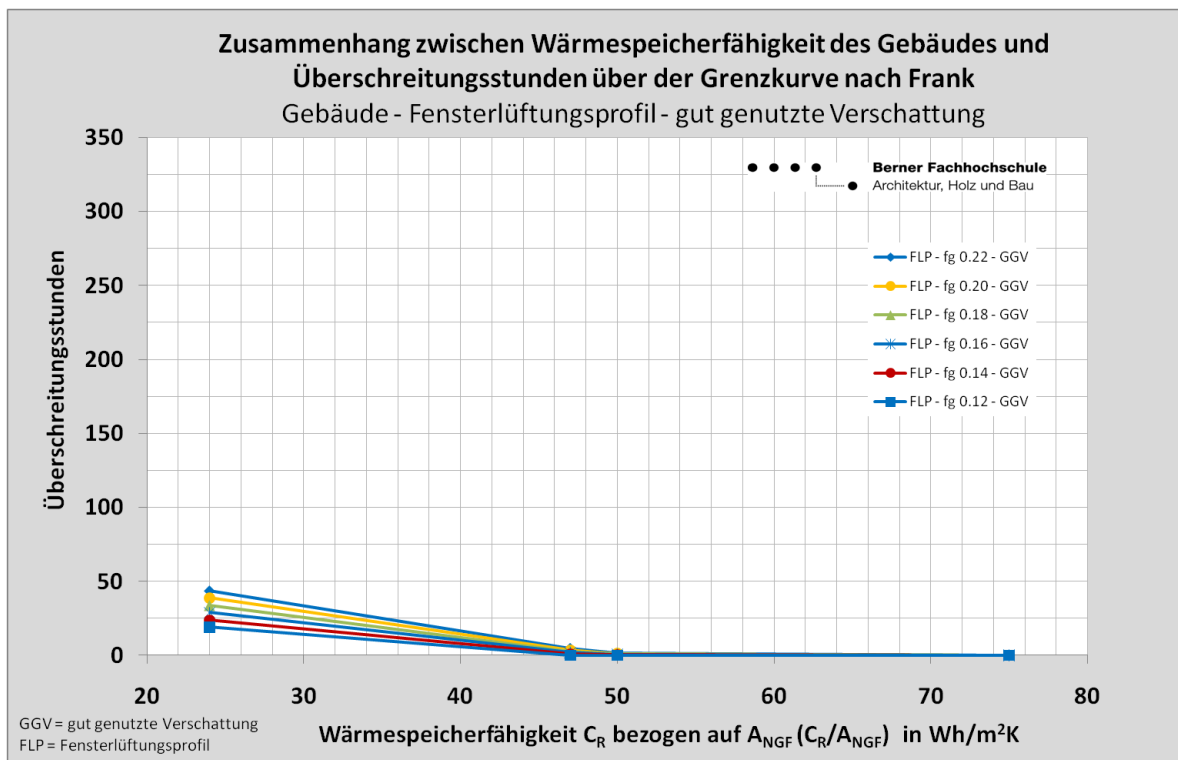


Abb. 39: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve nach Frank in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

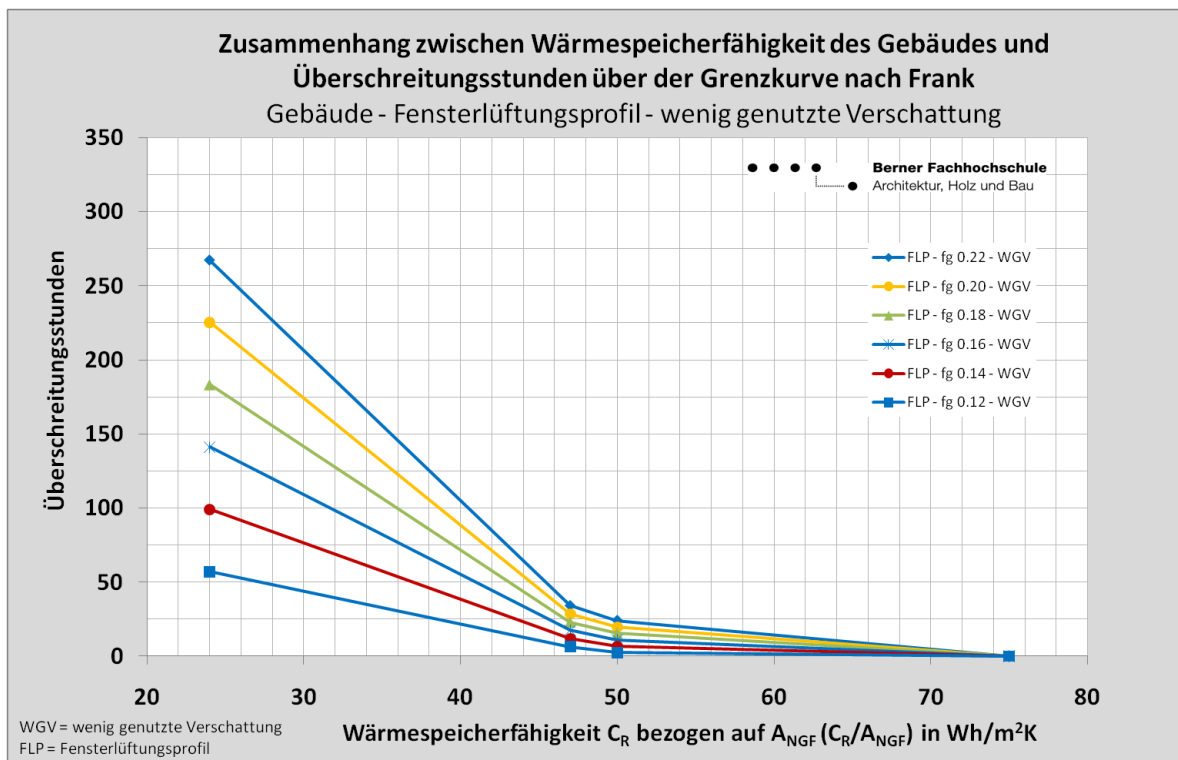


Abb. 40: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve nach Frank in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.

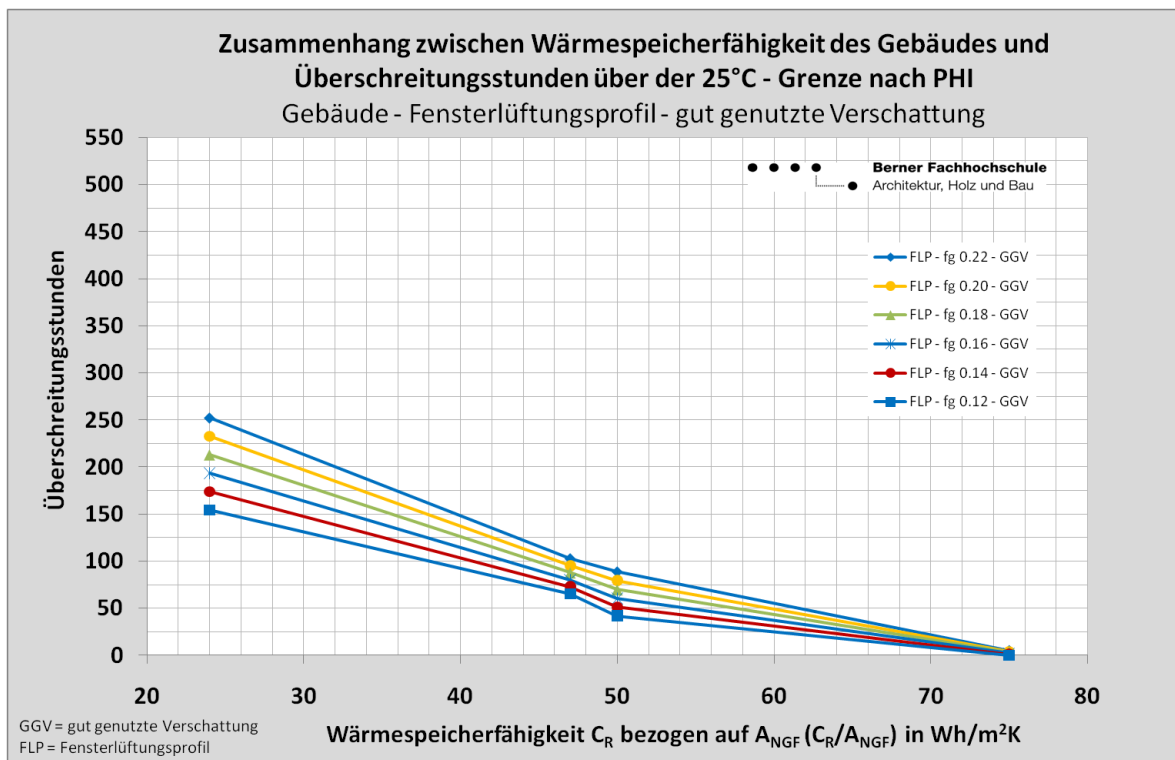


Abb. 41: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der 25°C-Grenze nach Passivhausinstitut in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

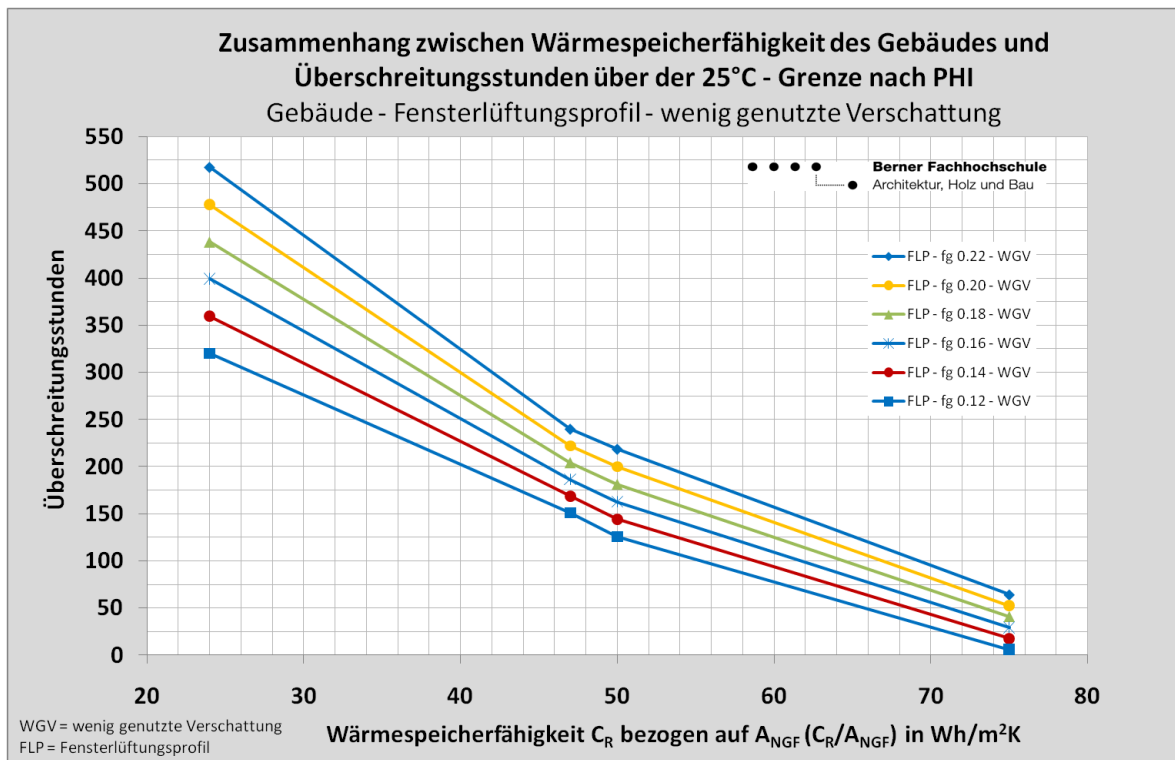


Abb. 42: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der 25°C-Grenze nach Passivhausinstitut in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.

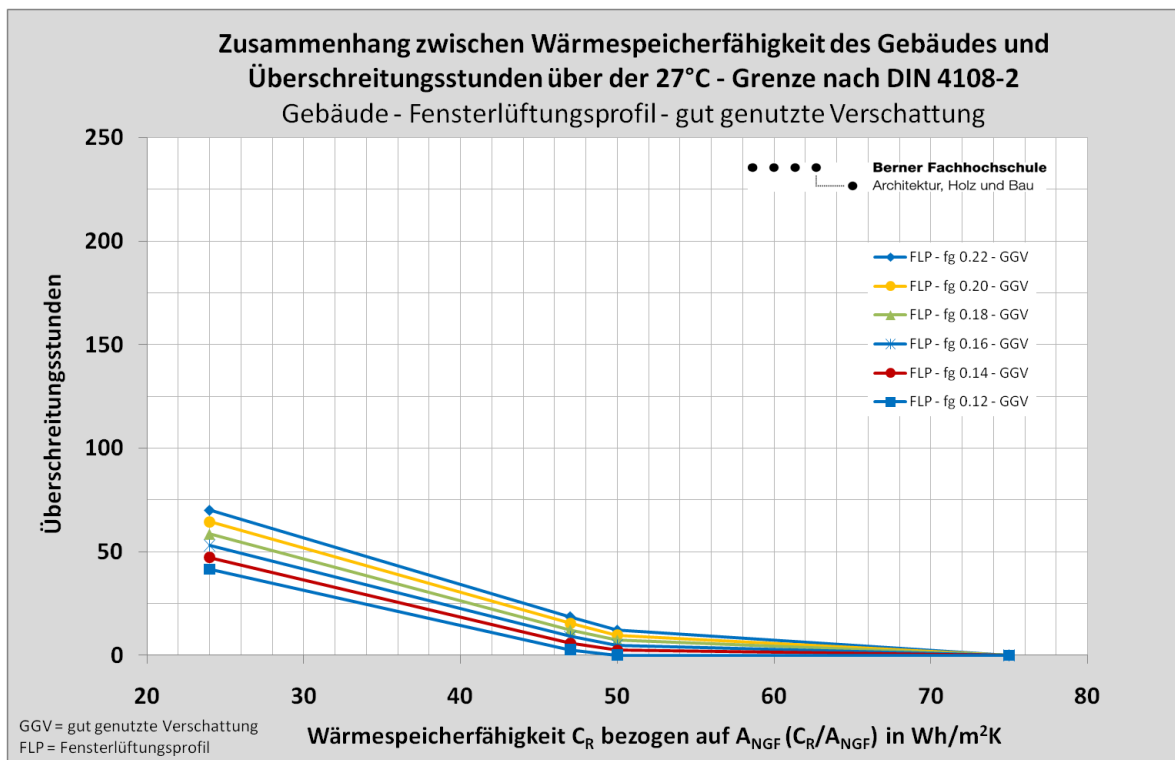


Abb. 43: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der 27°C-Grenze nach DIN 4108-2 in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

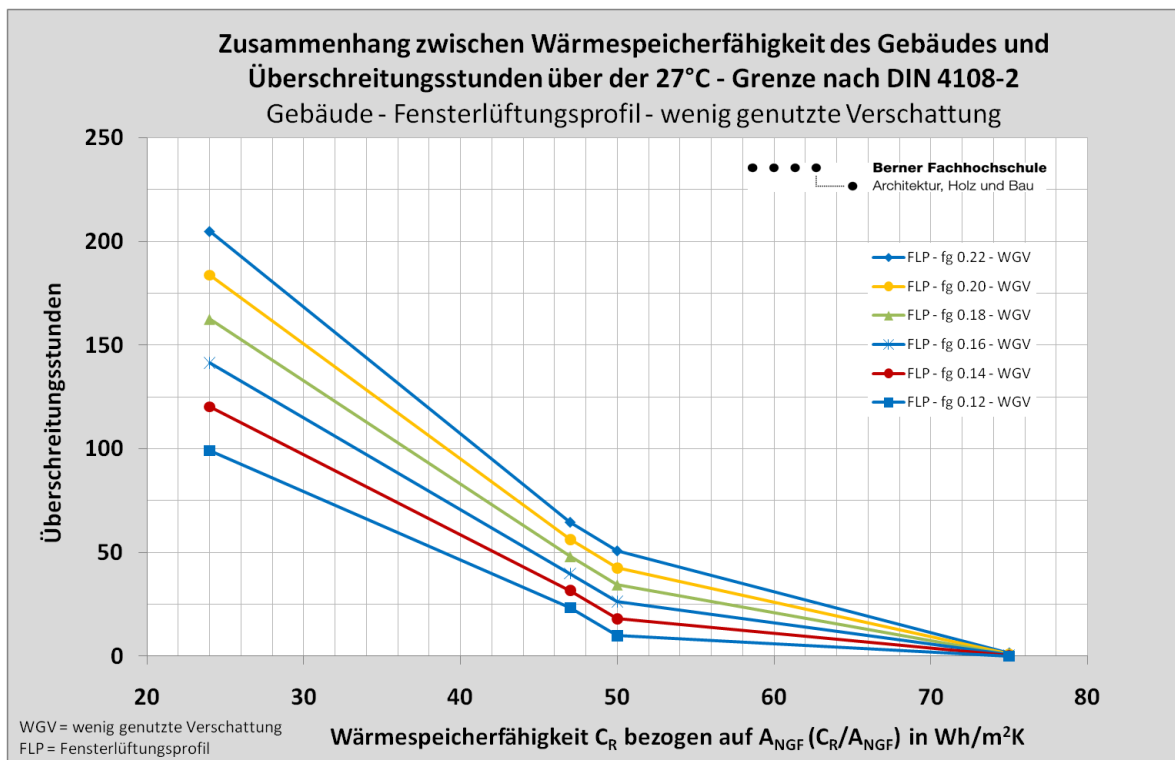


Abb. 44: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der 27°C-Grenze nach DIN 4108-2 in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.

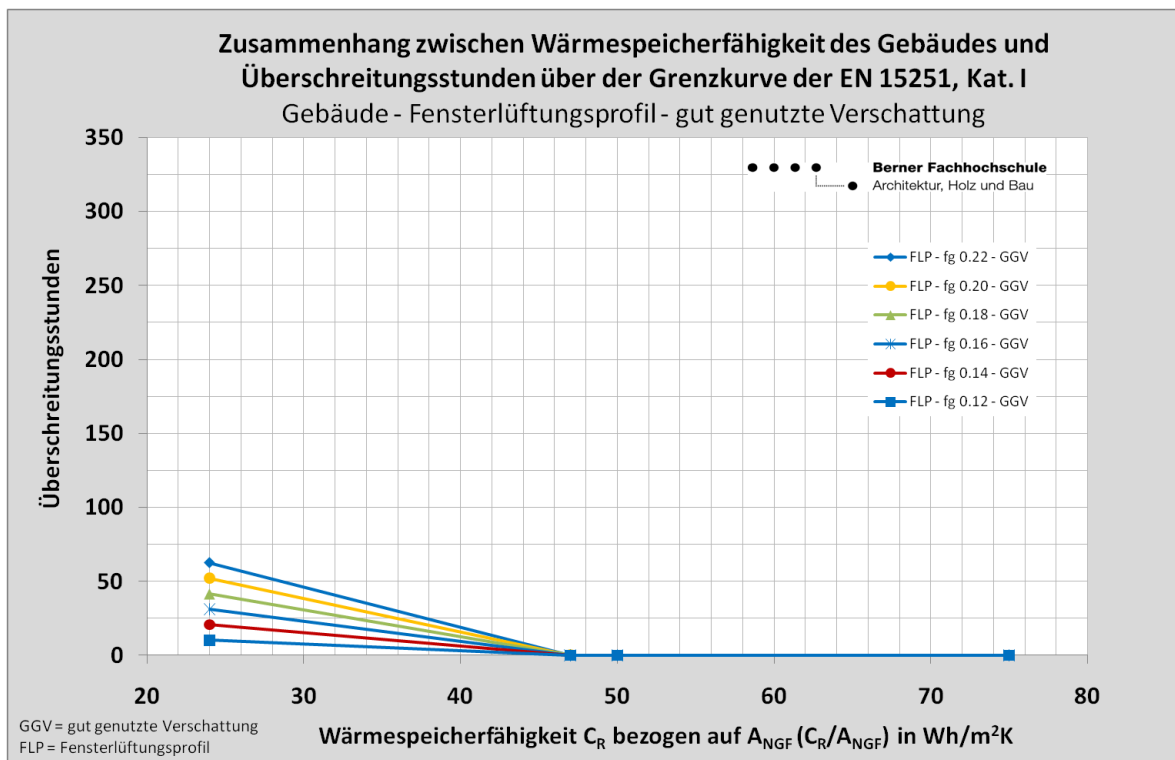


Abb. 45: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der EN 15251 (Kategorie I) in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

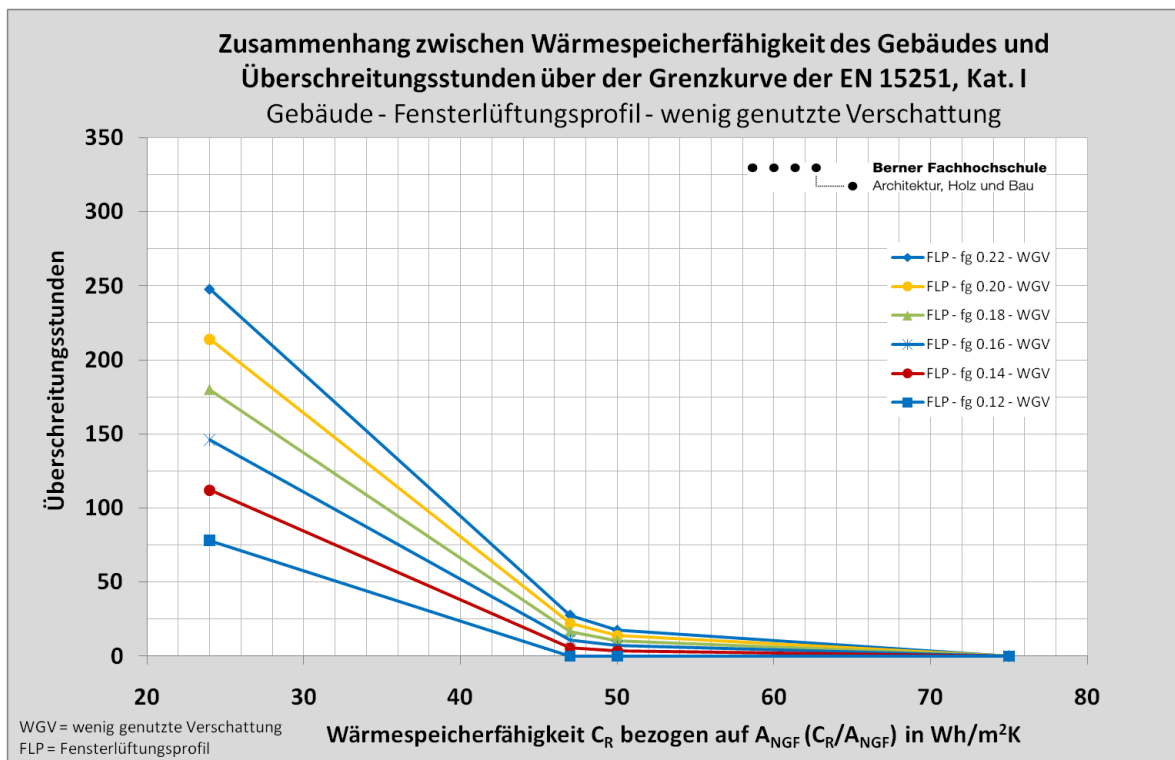


Abb. 46: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der EN 15251 (Kategorie I) in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.



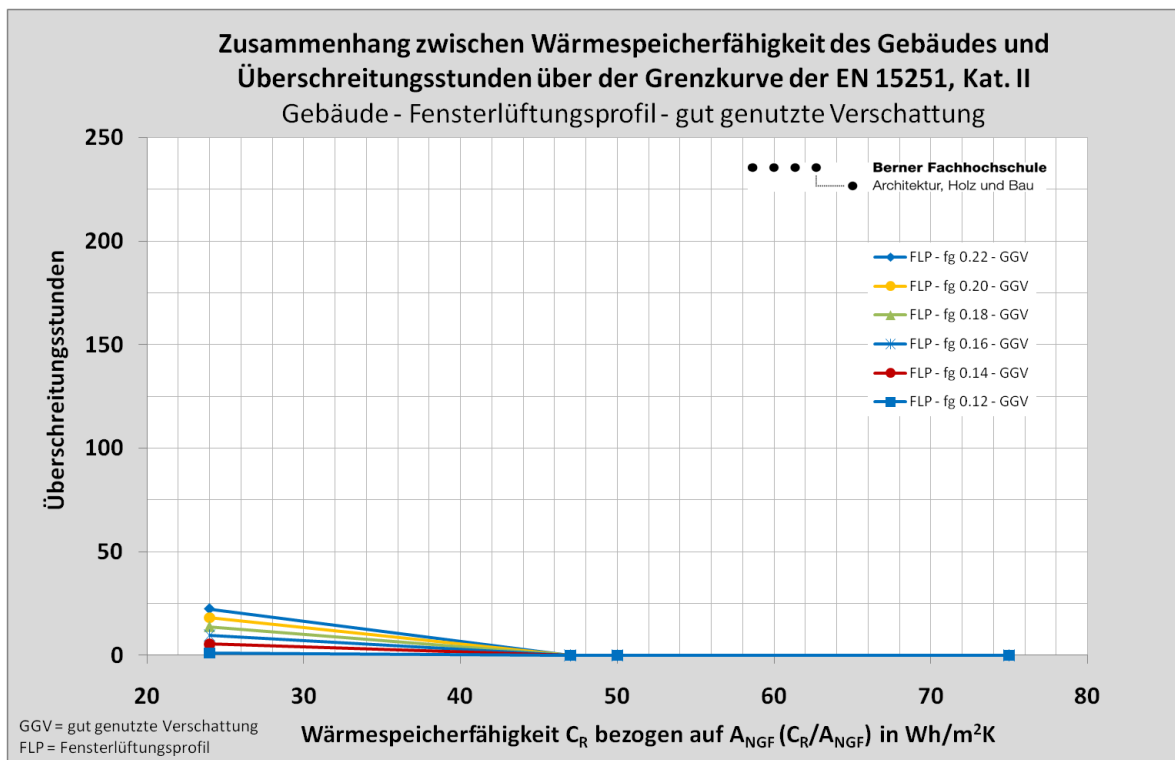


Abb. 47: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der EN 15251 (Kategorie II) in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

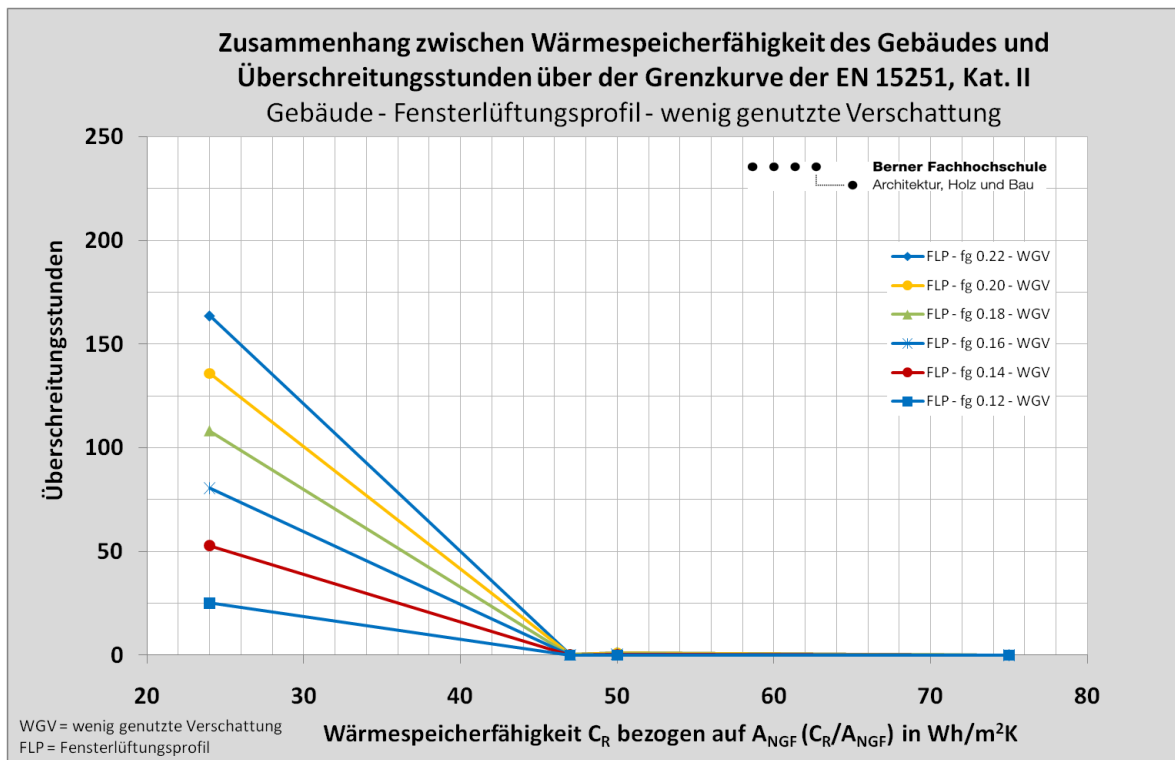


Abb. 48: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der EN 15251 (Kategorie II) in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.

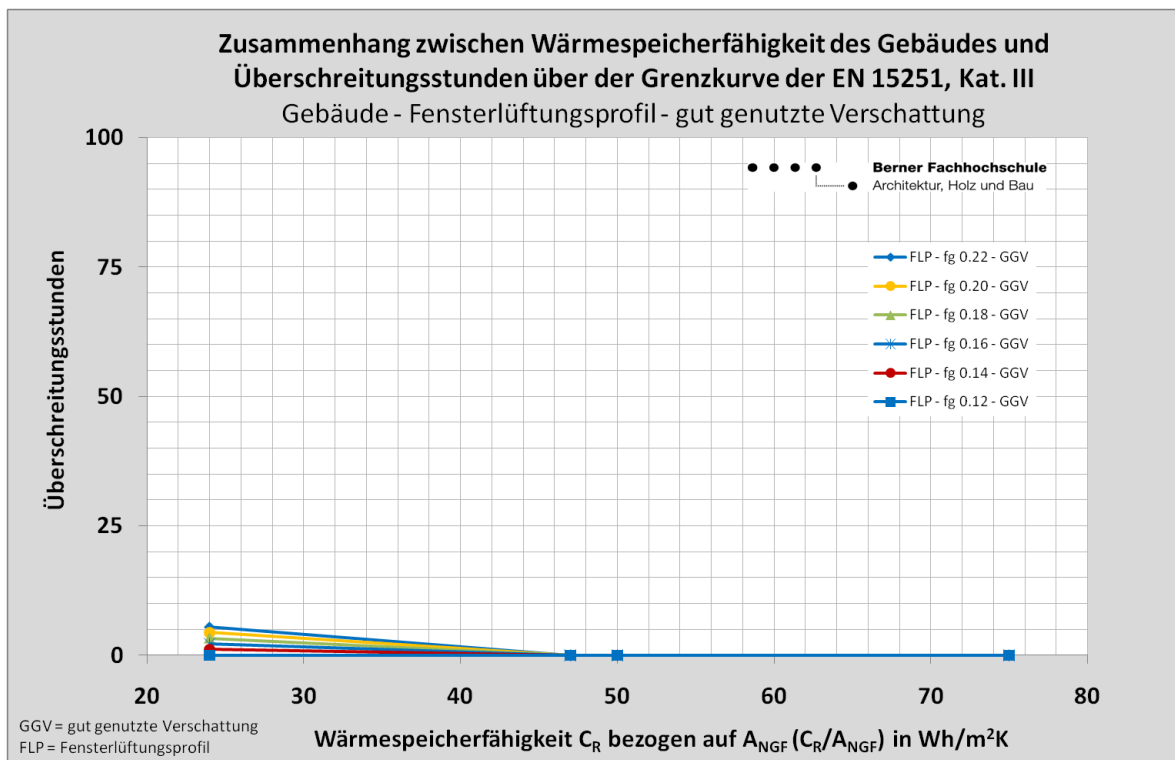


Abb. 49: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der EN 15251 (Kategorie III) in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit gut genutzter Verschattung.

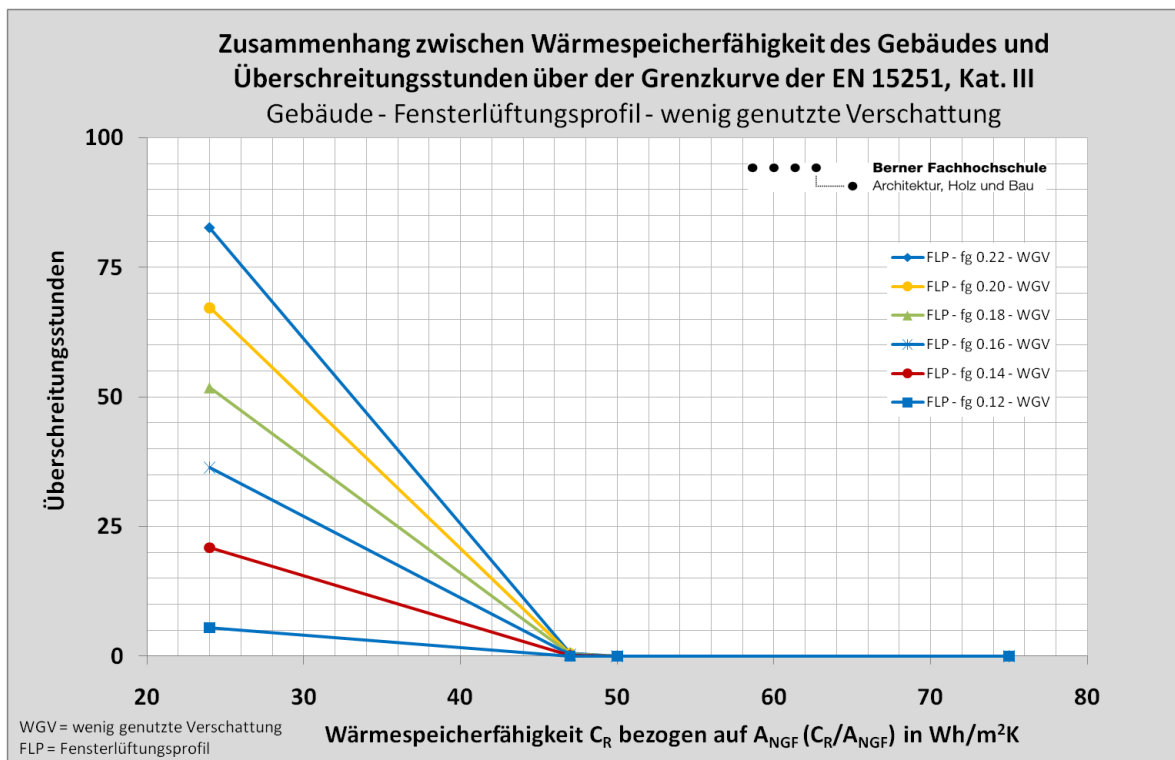


Abb. 50: Zusammenhang zwischen der wirksamen Wärmekapazität des Gebäudes und den Überschreitungsstunden der Grenzkurve der EN 15251 (Kategorie III) in Abhängigkeit des Glasanteils  $f_g$  für die Variante „Fensterlüftungsprofil“ mit wenig genutzter Verschattung.

### 9.3 AUSWERTUNG DER EINZELRÄUME

Die in einem Einfamilienhaus oder einer Wohnung befindlichen Räume stehen durch Türen und Öffnungen in einem thermischen Verbund. D. h. die Temperaturen gleichen sich innerhalb einer Wohneinheit durch Wärmeströme und über Luftströmungen zwischen den einzelnen Zonen des Gebäudes aus. Daher sollte ein einzelner Raum im Kontext mit der gesamten Wohneinheit betrachtet werden. Deshalb ist es wichtig, zunächst das Gebäude und dann die Einzelräume zu analysieren. Die folgenden beiden Abbildungen sollen dies verdeutlichen. Abb. 51 zeigt zunächst die Jahresdauerlinie der Einzelräume und des Gesamtgebäudes. Die Jahresdauerlinie summiert die Überschreitungsstunden über ein Jahr auf, während der die Raumlufttemperatur einen bestimmten Wert überschreitet. Es zeigt sich, dass sich die Räume innerhalb eines Gebäudes ähnlich verhalten. Dies wurde bereits 1998 von Feist [4] anhand von Messungen und Simulationen im Passivhaus Kranichstein belegt.

In Abb. 51 ist zu erkennen, dass die Raumlufttemperatur des Hauses während 4.6 % der Jahresdauer die 25° C Grenze überschreitet. Die einzelnen Räume schwanken um diesen Wert zwischen 5.3 und 3.8 %. Die höheren Werte stammen alle aus dem OG, die niedrigeren Werte alle aus dem Erdgeschoss. Die Überschreitung der Raumlufttemperatur der 27 °C Grenze nach DIN 4108-2 wird vom Gesamtgebäude zu 1.2 % überschritten. Die Werte der einzelnen Räume schwanken wesentlich geringer zwischen 1.4 % und 0.8 %.

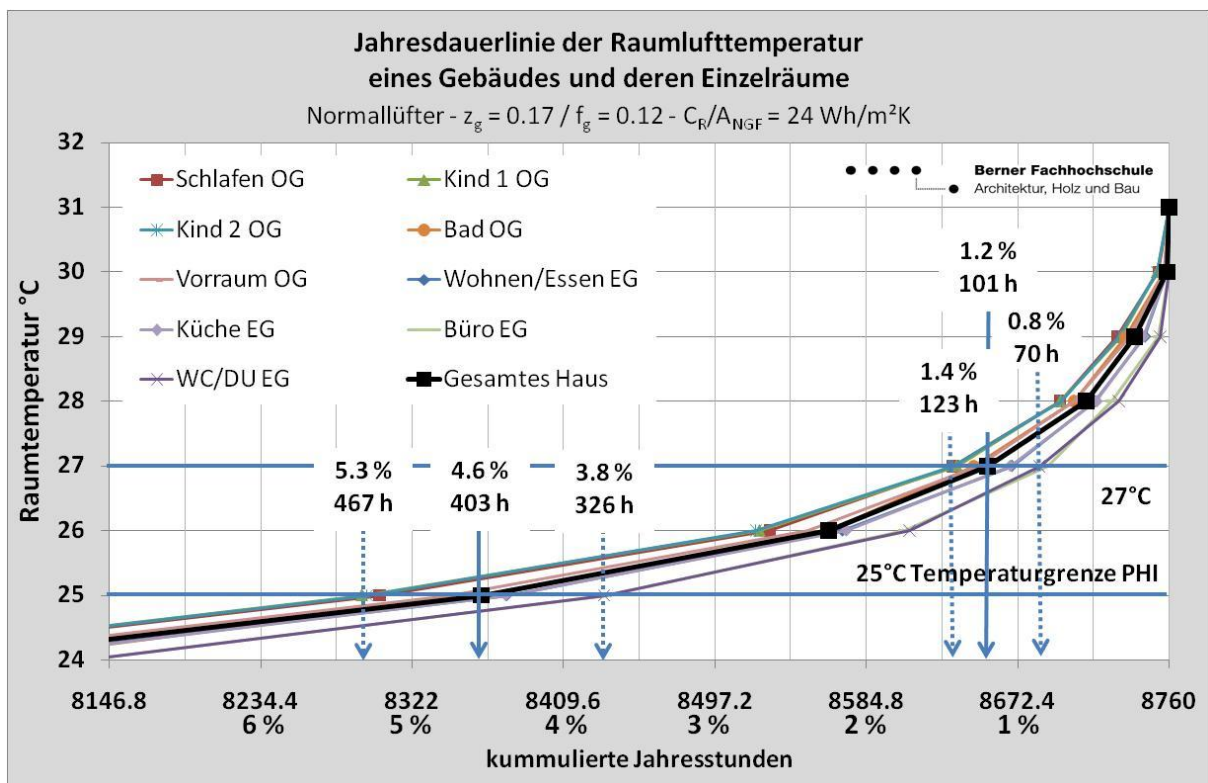


Abb. 51: Jahresdauerlinie des gesamten Referenzhauses und der zugehörigen Einzelräume.

Bei der Einzelraumbetrachtung ist festzustellen, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Glasanteil  $f_g$  des einzelnen Raumes und den darin auftretenden Überschreitungsstunden gibt. Abb. 52 zeigt einen Vergleich der Überschreitungsdauern nach SIA 382/1 des gesamten Gebäudes und von Einzelräumen als Funktion des Glasanteils  $f_g$ . Die Überschreitungsstunden in den Räumen werden durch die Gesamtglasfläche des Gebäudes bestimmt, eine Abhängigkeit vom Glasanteil des einzelnen Raumes ist dagegen nicht zu erkennen. Selbst der Wohn-Ess-Küchenraum mit sehr grossen Fensterflächen weist ähnlich hohe Überschreitungsdauern auf wie das Bad mit nur der Hälfte der Glasfläche. Wenn also der sommerliche Wärmeschutz auf der Grundlage der Betrachtung eines Einzelraums erfolgt, sollte dieser Raum einen vergleichbar grossen Fensterflächenanteil aufweisen, wie das Gesamtgebäude. Dies gilt aber nur für Räume, die mit dem übrigen Gebäude in einem thermischen Verbund stehen.

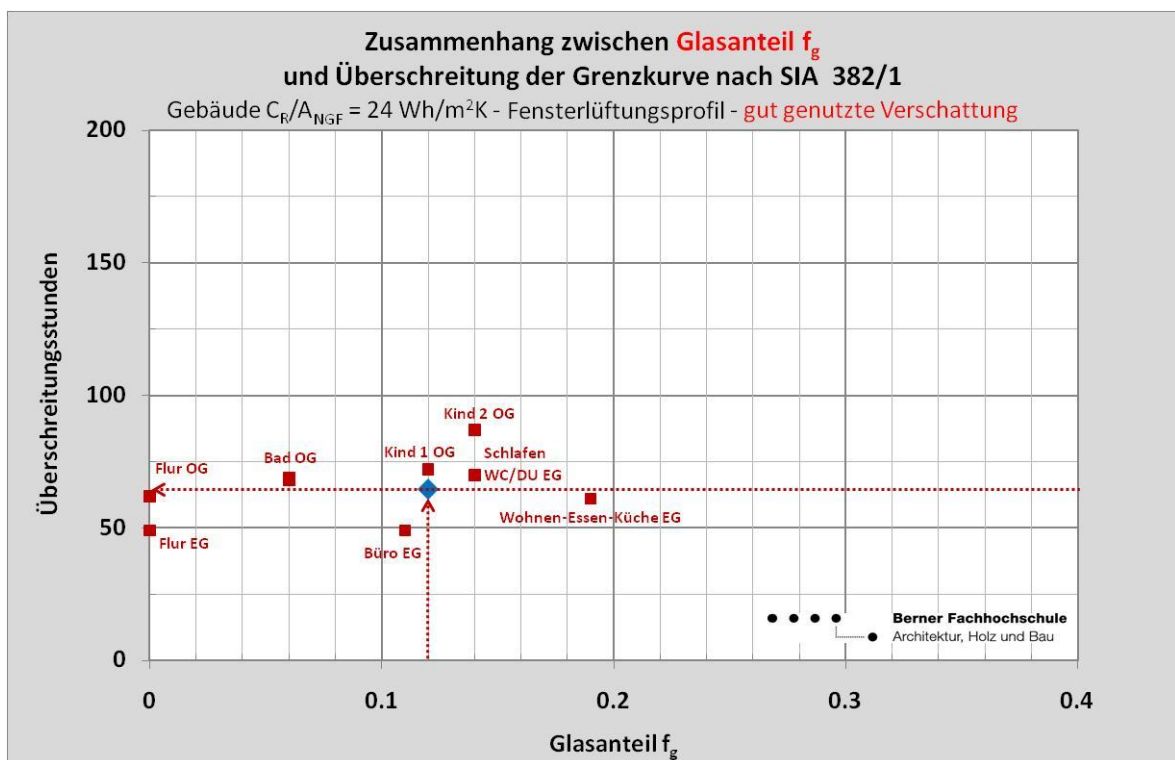


Abb. 52: Vergleich der Überschreitungsdauern nach SIA 382/1 des gesamten Gebäudes (blaue Raute) und von Einzelräumen (rote Quadrate) als Funktion des Glasanteils  $f_g$ .

## 9.4 VERGLEICH ZWISCHEN VEREINFACHTEM NACHWEIS UND SIMULATION

Die SIA 382/1 ermöglicht bereits heute einen vereinfachten Nachweis für einzelne kritische Räume, um zu ermitteln, ob der Raum gekühlt werden muss. Dieser Nachweis wird für das Referenzgebäude geführt. Folgend werden die einzelnen Anforderungen aufgelistet.

### a) Sonnenschutz - Gesamtenergiedurchlassgrad

Beim Referenzgebäude wird ein SIA Zweifach-Wärmeschutzglas mit einem U-Wert von  $U_g = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$  und einem aussenliegenden Sonnenschutz gewählt. Dadurch kann ein Gesamtenergiedurchlassgrad  $g = 0.09$  (Verglasung inkl. geschlossenen Sonnenschutz) erzielt werden.

Der Wohn-Essraum inkl. Küche besitzt mehr als drei Fassadenseiten und kann demnach nur mittels thermischen Energiebilanzen oder Simulationen betrachtet werden. Dies kann man in Anlehnung an MINERGIE® nachweisen, in dem man z. B. die nordorientierte Fensterfläche der Fassadenfläche der Ost- oder Westseite mit 50 % zuweist, wie dies in den Nachweisen von MINERGIE® gehandhabt wird (siehe [19], Abschnitt 2.6.7). Für andere Himmelsrichtungen kann entsprechend verfahren werden.

WC/Dusche, Büro und Bad haben nur an einer Fassadenseite Fenster. Schlafen, Kind 1 und Kind 2 sind Eckräume und haben Fenster an 2 Fassadenseiten, wodurch Gewichtungsfaktoren berücksichtigt werden müssen und eine fassadenweise sowie kombinierte Betrachtung durchgeführt werden muss.

Grundsätzlich können alle Anforderungen in jedem Raum mit dem gewählten g-Wert (Verglasung mit Sonnenschutz) von 0.09 erfüllt werden. Tab. 17 gibt eine Übersicht zu den Anforderungen für die Einzelräume.

Tab. 17: Anforderung an den g-Wert (Verglasung mit Sonnenschutz) nach SIA 382/1 für jeden Raum. Es wird zwischen den unterschiedlichen Fenstervariationen (Gesamtgebäude  $f_g = 0.06$ ,  $f_g = 0.12$ ,  $f_g = 0.22$ ) unterschieden. Die grün markierten Werte erfüllen die Anforderung.

Raumliste			Glasfläche		Anforderung	Glasfläche		Anforderung	Glasfläche		Anforderung
			Fläche	$f_g$	g - Wert	Fläche	$f_g$	g - Wert	Fläche	$f_g$	g - Wert
Gesch.	Bezeichnung	Orient.	$\text{m}^2$	-	-	$\text{m}^2$	-	-	$\text{m}^2$	-	-
Erdgeschoss	Wohnen/Essen	O, S	4.90	0.11	0.15	10.46	0.23	0.15	16.03	0.35	0.09
	Küche	N, O	0.31	0.02	0.50	1.28	0.08	0.50	4.01	0.26	0.50
	(W/E-Küche)*	N, O, S	5.20	0.09	-	11.73	0.19	-	20.04	0.33	-
	WC/DU	W, N	0.43	0.03	0.15	0.85	0.06	0.15	1.70	0.12	0.15
	Büro	S, W	1.53	0.06	0.15	2.61	0.11	0.15	6.10	0.25	0.14
	Flur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Obergeschoss	Schlafen	O, S	2.07	0.07	0.15	4.14	0.14	0.15	6.27	0.21	0.13
	Kind 1	N, O	2.07	0.07	0.15	3.89	0.12	0.15	8.02	0.25	0.15
	Kind 2	S, W	2.07	0.07	0.15	4.14	0.14	0.15	8.02	0.27	0.12
	Bad	W, N	1.28	0.05	0.50	1.53	0.06	0.50	3.49	0.14	0.50
	Flur/Treppe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GEBÄUDE			14.65	0.06	-	28.90	0.12	-	53.63	0.22	-

\*Wohnen/Essen und Küche als ein Raum betrachtet

*b) Sonnenschutz - Innere Oberflächentemperatur der Verglasung*

Die innere Oberflächentemperatur in der Mitte der Glasoberfläche des Fensters oder eines innen liegenden Sonnenschutzes darf nie mehr als 5 K über der Raumlufttemperatur liegen. In der SIA 382/1 wird nicht aufgeführt, wie dieser Nachweis erfolgen sollte.

*c) Wirksame Wärmekapazität*

Die Anforderung zur Wärmekapazität  $C_R/A_{NGF}$  für Räume mit Kühlung liegt bei einem Minimalwert von 30 Wh/m<sup>2</sup>K. Damit können die Räume mit einfacher Beplankung und Holzfußboden auf Grund der geringen wirksamen Wärmekapazität (24 Wh/m<sup>2</sup>K < 30 Wh/m<sup>2</sup>K) nicht nachgewiesen werden (siehe Tab.18).

Tab. 18: Wirksame Wärmekapazität der einzelnen Räume. Die rot markierten Werte können die Anforderung nach SIA 382/1 von  $C_R/A_{NGF} = 30$  Wh/m<sup>2</sup>K nicht erfüllen. Referenzgebäude mit einer Glasflächenzahl von  $z_g = 0.17$  bzw. einem Glasanteil von  $f_g = 0.12$

		Wärmekapazität $z_g = 0.17 / f_g = 0.12$ (Anforderung SIA 382/1: mind. 30 Wh/(m <sup>2</sup> *K) )			
Raum	Nettogrund- fläche $A_{NGF}$ [m <sup>2</sup> ]	24 Wh/m <sup>2</sup> K $C_R / A_{NGF}$ [Wh/(m <sup>2</sup> *K)]	47 Wh/m <sup>2</sup> K $C_R / A_{NGF}$ [Wh/(m <sup>2</sup> *K)]	50 Wh/m <sup>2</sup> K $C_R / A_{NGF}$ [Wh/(m <sup>2</sup> *K)]	75 Wh/m <sup>2</sup> K $C_R / A_{NGF}$ [Wh/(m <sup>2</sup> *K)]
		mit Rs	mit Rs	mit Rs	mit Rs
Wohnen/Essen	34.50	17.80	36.97	37.20	54.96
Küche	15.70	23.09	44.59	46.51	67.38
WE-Küche	50.20	19.50	39.44	40.21	58.99
WC/DU	4.80	38.31	68.27	74.47	109.34
Büro	16.00	26.41	50.30	52.96	78.48
Flur	17.40	39.80	71.84	79.98	129.01
Schlafen	20.60	23.27	45.34	49.43	73.21
Kind 1	19.90	24.64	47.41	51.90	76.80
Kind 2	20.60	23.27	45.34	49.43	73.21
Bad	12.50	27.85	52.21	57.67	84.93
Flur/Treppe	12.80	24.52	47.83	49.80	74.93

In der Tab. 19 sind die Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve der SIA 382/1 für die unterschiedlichen Lüftungsvarianten für das Holzgebäude mit einer geringen wirksamen Wärmekapazität von 24 Wh/m<sup>2</sup>K dargestellt. Obwohl die wirksame Wärmekapazität des Gebäudes die Anforderungen des Kurzverfahrens nach SIA 382/1 nicht erfüllt, ergibt die Simulation für die gut genutzte Verschattung und das Fensterlüftungsprofil für alle Fensterflächenanteile weniger als 100 h Überschreitung der oberen Grenzkurve der SIA 382/1.

Tab. 19: Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 für das gesamte Gebäude. Unterschieden wird zwischen den unterschiedlichen Lüftungsvarianten (Wenig-, Normal-, Viellüfter und Fensterlüftungsprofil), dem Verschattungsverhalten (GGV = gut genutzte Verschattung, WGV = wenig genutzte Verschattung) und dem Glasanteil  $f_g$ . Die grün markierten Werte sind unterhalb der 100 h Grenze nach SIA 382/1.

Überschreitungsstunden nach SIA 382/1		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		WGV	GGV	WGV	GGV	WGV	GGV	WGV	GGV
$f_g = 0.06$	h	264,7	179,3	102,6	54,9	49,7	23,7	92,9	54,2
$f_g = 0.12$	h	922,2	363,9	385,3	143,4	174,5	73,1	136,3	64,7
$f_g = 0.22$	h	2023,3	1008,8	1326,6	468,3	766,0	229,2	336,9	99,3

#### d) Fensterlüftung

In allen Räumen sind Fenster zum Öffnen vorhanden, wodurch eine Lüftung Tag und Nacht möglich ist. Die Anforderung zur freien Strömungsfläche (mind. 3 % der Nettogeschossfläche des Raumes) kann nur die Küche mit einem Glasanteil  $f_g$  von 0.02 nicht erfüllen. Tab. 20 gibt eine Übersicht für alle Glasflächenvarianten der einzelnen Räume zu dieser Anforderung. Der rot markierte Wert kennzeichnet die nicht erfüllte Anforderung im Raum „Küche“.

Die Anordnung der Fenster richtet sich zusätzlich nach der Raumtiefe. Hier ist das Verhältnis von Raumtiefe zur Raumhöhe entscheidend. Die Raumhöhe beträgt 2.6 m. Nur im Wohn-Essraum mit Küche müssen Fenster mind. auf 2 Fassadenseiten angeordnet werden, was auch erfüllt werden kann (Orientierung nach Norden, Osten und Süden).

Tab. 20: Anforderung zur freien Strömungsfläche nach SIA 382/1 (mind. 3 % der Nettogeschossfläche des Raumes). Unterschieden wird zwischen den unterschiedlichen Varianten des Glasanteils  $f_g$ . Die rot markierten Werte erfüllen die Anforderung nach SIA 382/1 nicht.

Raum	Nettogrundfläche [m <sup>2</sup> ]	Fensterlüftung (Fensterfläche > 3% der NGF)					
		Glasanteil $f_g$ 0.06		Glasanteil $f_g$ 0.12		Glasanteil $f_g$ 0.22	
		Fensteröffnungsfläche in m <sup>2</sup>	Anforderung	Fensteröffnungsfläche in m <sup>2</sup>	Anforderung	Fensteröffnungsfläche in m <sup>2</sup>	Anforderung
Wohnen/Essen	34.50	5.76	erfüllt	12.30	erfüllt	18.86	erfüllt
Küche	15.70	0.36	nicht erfüllt	1.50	erfüllt	4.72	erfüllt
WE-Küche	50.20	6.12	erfüllt	13.80	erfüllt	23.58	erfüllt
WC/DU	4.80	0.50	erfüllt	1.00	erfüllt	2.00	erfüllt
Büro	16.00	1.80	erfüllt	3.08	erfüllt	7.18	erfüllt
Flur	17.40	-	-	-	-	-	-
Schlafen	20.60	2.44	erfüllt	4.88	erfüllt	7.38	erfüllt
Kind 1	19.90	2.44	erfüllt	4.58	erfüllt	9.43	erfüllt
Kind 2	20.60	2.44	erfüllt	4.88	erfüllt	9.43	erfüllt
Bad	12.50	1.50	erfüllt	1.80	erfüllt	4.10	erfüllt
Flur/Treppe	12.80	-	-	-	-	-	-

### e) Kühlung

Die Notwendigkeit einer Kühlung wird auch in Abhängigkeit der internen Wärmequellen bestimmt. Tab. 21 vergleicht die inneren Wärmelasten mit dem maximal zulässigen Wert nach SIA 382/1. Demnach ist keine Kühlung notwendig.

Tab. 21: Nachweis zur Notwendigkeit einer Kühlung nach SIA 382/1 in Abhängigkeit der internen Wärmelast nach SIA 2024.

	Nettogrundfläche $A_{NGF}$	Notwendigkeit einer Kühlung	
		Interne Wärmelast SIA 2024	Nachweis SIA 382/1
Raum	[m <sup>2</sup> ]	Wh/m <sup>2</sup> *d	
Wohnen/Essen	34.50	80.00	nicht notwendig
Küche	15.70	80.00	nicht notwendig
<b>WE-Küche</b>	50.20	-	-
WC/DU	4.80	70.00	nicht notwendig
Büro	16.00	80.00	nicht notwendig
Flur	17.40	-	-
Schlafen	20.60	80.00	nicht notwendig
Kind 1	19.90	80.00	nicht notwendig
Kind 2	20.60	80.00	nicht notwendig
Bad	12.50	70.00	nicht notwendig
Flur/Treppe	12.80	-	-

Es können also nicht alle Räume nach dem vereinfachten Verfahren der SIA 382/1 nachgewiesen werden. Die Tab. 22 zeigt noch einmal eine Übersicht über den Nachweis mit den erfüllten bzw. nicht erfüllten Anforderungen für das Referenzgebäude mit einem Glasanteil von  $f_g = 0.12$  und einer Wärmekapazität von 24 Wh/m<sup>2</sup>K. Die Anforderung zur Wärmekapazität mit 30 Wh/m<sup>2</sup>K kann von fast keinem Raum erfüllt werden. Die gewählte Verglasung mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad  $g = 0.09$  (Verglasung inkl. Sonnenschutz) entspricht den Anforderungen. Alle Räume erfüllen diese Anforderung, ausser wenn man Wohn-Essraum und Küche als einen Raum betrachtet, der dann mehr als 3 Fassadenseiten aufweist. Die Fensteröffnungsfläche der Räume ist auch ausreichend. Bezüglich der internen Wärmelasten wäre auch keine Kühlung notwendig.

Damit müsste nach dem Kurzverfahren der SIA 382/1 wegen der nicht erreichten wirksamen Wärmekapazität eine Simulation durchgeführt werden. Trotzdem ergeben die Simulationen für das Fensterlüftungsprofil, bei einer gut genutzten Verschattung und den grössten betrachteten Fensterflächenanteil von  $f_g = 0.12$ , Werte für die Überschreitungsstunden der einzelnen Räume zwischen 49 h und 87 h. Damit wäre nach den Simulationen keine Kühlung notwendig.



Tab. 22: Vergleich der Anforderungen mit den Werten für die einzelnen Räume gemäss Nachweisverfahren nach SIA 382/1 und Überschreitungsstunden der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1. Die rot markierten Werte erfüllen die Anforderung nicht, die grün markierten Werte erfüllen die Anforderung. (Randbedingungen für die Simulation:  $f_g = 0.12$ , Fensterlüftungsprofil,  $C_R / A_{NGF} = 24 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ , GGV = gut genutzte Verschattung, WGV = wenig genutzte Verschattung)

Referenzgebäude $z_g = 0.17 / f_g = 0.12$		Anforderungen				Überschreitungs- stunden		
		Wärmekapazität	Gesamtenergiedurchlassgrad	Anzahl Fassadenseite	Fensteröffnungsfläche		Notwendigkeit einer Kühlung	
Raum	Nettogrundfläche $A_{NGF}$	24 Wh/m²K $C_R / A_{NGF}$ [Wh/(m²*K)]	gewählt für Referenzgebäude: $g = 0,09$ (Verglasung inkl. Sonnenschutz)	weniger als 3 Fassadenseiten	Fensterfläche > 3% der NGF	Grenzwerte bezüglich Interne Wärmelast SIA 2024	Überschreitungsstunden [h] nach SIA 382/1 für Fensterlüftungsprofil	
	[m²]	mit $R_s$	Anforderung	Anforderung	Anforderung	Notwendigkeit	WGV	GGV
Wohnen/Essen	34.50	17.80	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	134	61
Küche	15.70	23.09	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	133	59
WE-Küche	50.20	19.50	nicht nachweisbar	nicht erfüllt	erfüllt	-	-	-
WC/DU	4.80	38.31	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	124	69
Büro	16.00	26.41	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	118	49
Flur	17.40	39.80	-	-	-	-	108	49
Schlafen	20.60	23.27	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	161	70
Kind 1	19.90	24.64	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	140	72
Kind 2	20.60	23.27	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	187	87
Bad	12.50	27.85	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht notwendig	102	68
Flur/Treppe	12.80	24.52	-	-	-	-	118	62

## 9.5 ART DES DÄMMSTOFFES

Wie bereits viele Studien belegen, unterscheiden sich die Ergebnisse verschiedener Dämmstoffarten bei heutigen Wärmedurchgangskoeffizienten mit  $U = 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$  kaum voneinander.

Der Unterschied zwischen Wärmedämmstoffen mit geringer Rohdichte und spez. Wärmekapazität (z.B. Mineralfasern oder Polyurethan) zu Wärmedämmstoffen mit höheren Rohdichten und spez. Wärmekapazitäten (z.B. Holzfaser, Zellulose) sind bei Räumen mit geringen Raumspeichervermögen (Einfachbeplankung, Holzfussboden) und Wärmelasten (kleine Fenster und gute Verschattung) noch am grössten. Selbst dort unterscheiden sich die max. Raumtemperatur und die Überschreitungszeit im Normalfall (Normallüfter und gut genutzte Verschattung) nur sehr geringfügig (siehe Abb. 53).

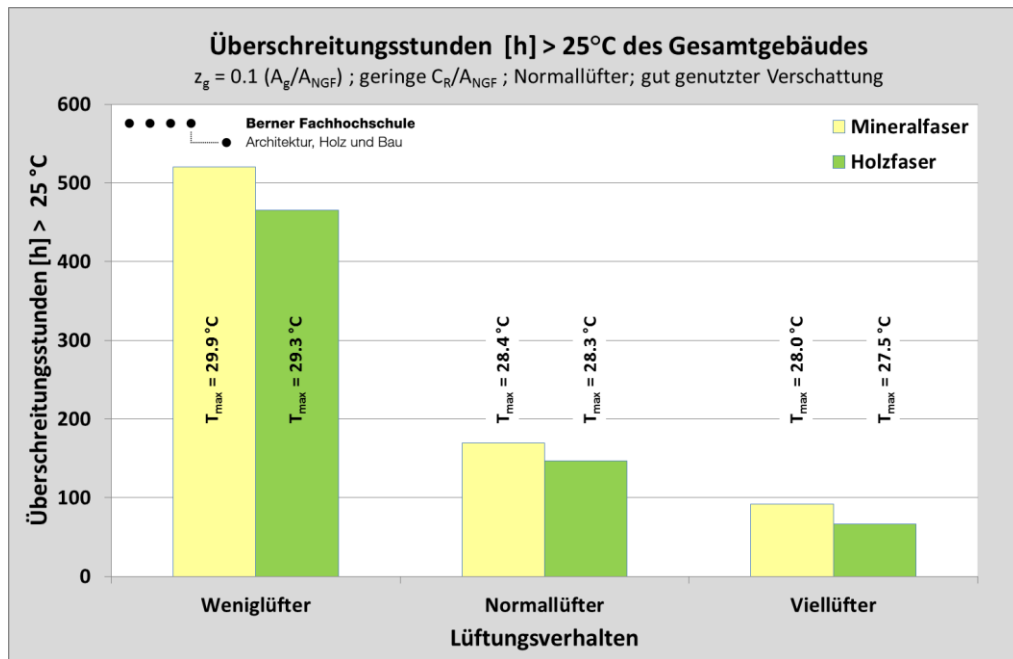


Abb. 53: Anzahl der Stunden die 25°C überschreiten (Überschreitungsstunden) bei unterschiedlichem Lüftungsverhalten und unterschiedlichen Dämmstoffen.

Randbedingung: Gebäude mit geringer Glasflächenzahl  $z_g = 0.1$ ; geringe Wärmekapazität ( $24 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ ); gut genutzte Verschattung

Betrachtet man den Temperaturverlauf in der heissesten Woche des Jahres (siehe Abb. 54) ist in der Aufheizzeit die Dämpfung durch die Holzfaser gut zu erkennen. Gleichzeitig ist aber zu sehen, dass sich der Effekt der Dämpfung in der Abkühlzeit ebenso einstellt.

Der Unterschied zwischen den Dämmstoffen wird nur deutlich, wenn der solare Eintrag gering und die Speicherfähigkeit niedrig ist. Vergrössert man die Fensterflächen und erhöht die Wärmespeicherfähigkeit des Raumes, ist der oben beschriebene Effekt verschwunden und die beiden Dämmstoffe gleichen sich an (siehe Abb. 55).

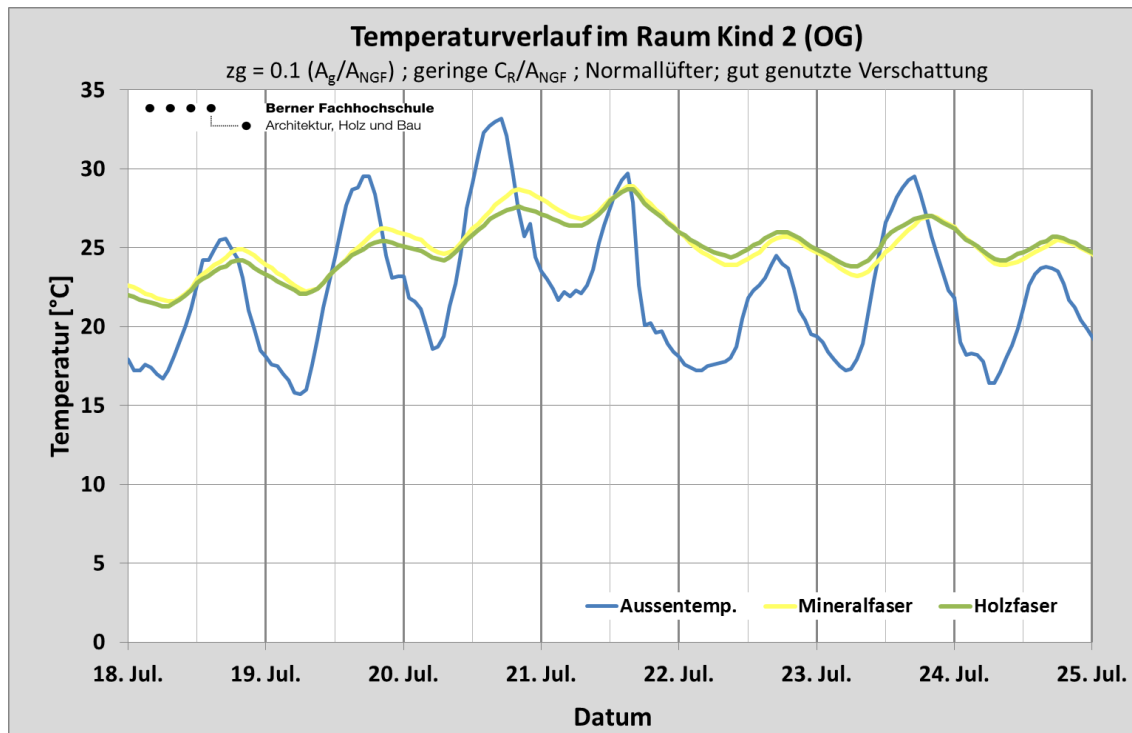


Abb. 54: Temperaturverlauf in einem Zimmer im Referenzgebäude.

Randbedingung: Raum mit geringer Glasflächenzahl  $z_g = 0.1$ ; geringe Wärmekapazität ( $24 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ ); gut genutzte Verschattung.

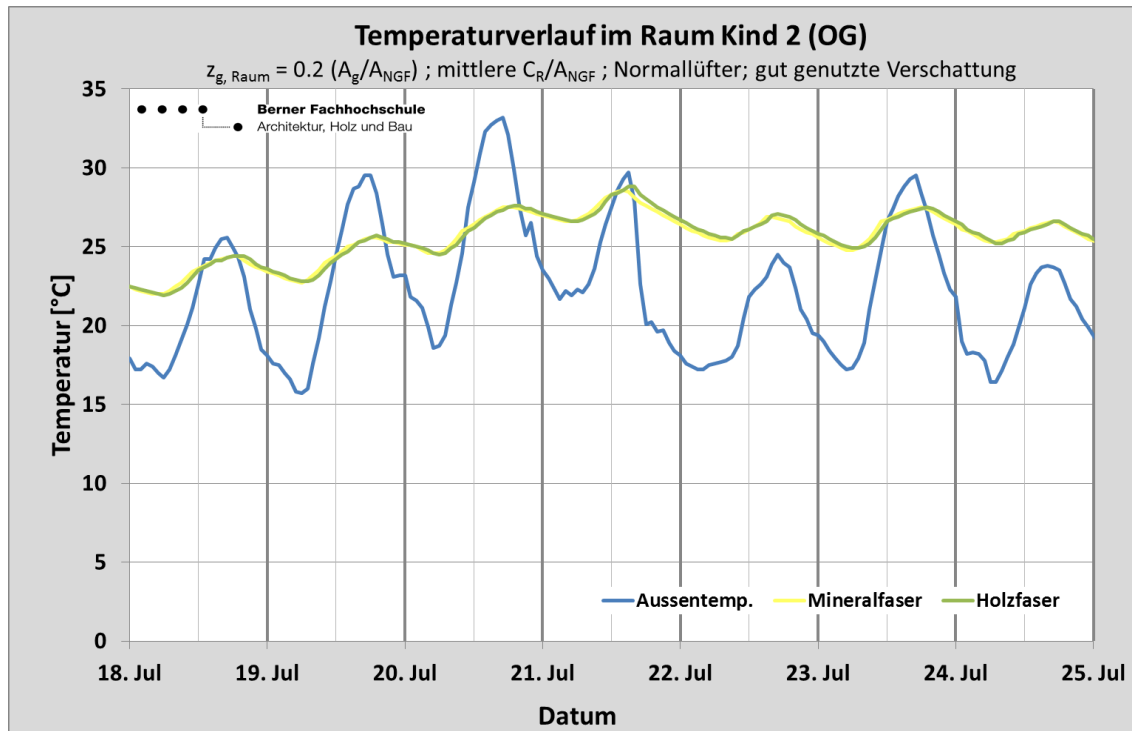


Abb. 55: Temperaturverlauf in einem Zimmer des Referenzgebäudes.

Randbedingung: Raum mit mittlerer Glasflächenzahl  $z_g = 0.2$ ; gehobener Wärmekapazität ( $47 \text{ Wh/m}^2\text{K}$ ); gut genutzte Verschattung.

## 10 Fazit

Durch die Simulationen des sommerlichen Raumklimas werden für das Referenzgebäude die wichtigsten Einflussgrössen auf die sommerlichen Raumlufthtemperaturen ermittelt. Dies sind

- die Lüftung durch Fensteröffnen und damit die Abfuhr der internen und solaren Wärmelasten,
- die Fenstergrösse und die Verschattung der Fenster durch Bedienung des aussenliegenden Sonnenschutzes, welche die solare Einstrahlung in das Gebäude begrenzen.

Die Simulationen zeigen, dass auch im Referenzgebäude mit der geringsten wirksamen Wärmekapazität von  $24 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$  und grossen Fensterflächen mit einem Glasanteil des Gebäudes von  $f_g = 0.22$  mit einer effizienten Fensterlüftung und einer konsequenten Bedienung des Sonnenschutzes komfortable Raumlufthtemperaturen im Sommer mit Überschreitungsdauern der oberen Grenzkurve nach SIA 382/1 von weniger als 100 h sichergestellt werden können.

Die Simulationsergebnisse werden auch mit den unterschiedlichen Beurteilungskriterien der Richtlinien SIA 382/1, EN 15251, DIN 4108-2 und des Passivhausinstituts analysiert. Die unterschiedlichen Beurteilungsmethoden führen trotz verschiedener Bewertungskriterien zu ähnlichen Beurteilungen der Qualität des sommerlichen Raumklimas, wenn die Räume vom Nutzer effizient gelüftet werden und die Verschattung konsequent genutzt wird.

Es können nicht alle Anforderungen des vereinfachten Verfahrens der SIA 382/1 für die verschiedenen Räume des Referenzgebäudes mit der geringsten wirksamen Wärmekapazität von  $24 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{K})$  und einem mittleren Glasanteil von  $f_g = 0,12$  nachgewiesen werden. Die thermische Gebäudesimulation ergibt dagegen für alle Räume Überschreitungsdauern von maximal 87 h.

Bei den heute üblichen Wärmedurchgangskoeffizienten der Aussenbauteile von  $U < 0.20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  hat die Art des Wärmedämmstoffes keinen nennenswerten Einfluss mehr auf das sommerliche Raumklima.

## 11 Literatur

- [1] Brunner, C.; Steinemann, U.: Bauen, wenn es wärmer wird – Notwendige Umkehrung normativen Denkens, Beitrag zum 14. Schweizerischen Status Seminar <<Energie- und Umweltforschung im Bauwesen>>, Zürich 2006
- [2] Frank, Th.: Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen - Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima, Bericht 444'383d im Auftrag der isover AG, Dübendorf 2008
- [3] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München, Hrsg. : Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau mit und ohne Berücksichtigung eines Sonnenschutzes, Bericht C1-14b/00 München 2000
- [4] Feist, W.; Hrsg.: Passivhaus Sommerklima Studie, Fachinformation PHI-1998/10 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 1998
- [5] Nicol, F.; Humphreys M.: Maximum temperatures in buildings to avoid heat discomfort, Beitrag zur International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini, Greece
- [6] Institut Wohnen und Umwelt, Hrsg.: Fensteröffnung in Passivhäusern, Beitrag in der Zeitschrift Bauphysik Heft 2-2004, Ernst und Sohn Verlag, Berlin 2004
- [7] Grossklos M. et. al. Sanierung von drei kleinen Wohngebäuden in Hofheim, Forschungsbericht des Instituts Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt 2008
- [8] Ménard, M.; Nutt, M.; Keller, P.: Sommerlicher Wärmeschutz bei Wohngebäuden in Holzbauweise - Messungen in acht Minergie Einfamilienhäusern, Forschungsbericht des BFE, Eigenverlag, Bern 2009
- [9] Feist, W. Hrsg.: Lüftungsstrategien für den Sommer, Protokollband 22 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 2003
- [10] Kolmetz, S.: Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen - Ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Raumtemperaturen in Gebäuden im Sommer und deren Häufigkeit, Dissertation Universität Gesamthochschule Kassel 1996
- [11] Humphreys, M.; Fergus Nicol, J., Raja, I.: Field Studies of Indoor Thermal Comfort and the Progress of the Adaptive Approach, Beitrag in Advances building energy research, Vol. 1; 2007
- [12] Passivhausinstitut, Hrsg.: Passivhaus Projektierungspaket (PHPP), Software für die energetische Bilanzierung von Passivhaus, Eigenverlag, Darmstadt 2007
- [13] Otto, F.; Ringeler, M.: Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaser-Dämmplatten, Studie im Auftrag des Verbandes Holzfaserdämmstoffe e.V., Eigenverlag 2005

- [14] Hinrichs, J.P.; Holm, A.: Thermische Untersuchungen an einem Metaldach mit Zwischensparrendämmung aus Mineralwolle und Holzfaserdämmplatten, Beitrag in Zeitschrift Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz, Brandschutz, Ladenburg 2008
- [15] Peper, S.; Feist W.: Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg - Analyse im dritten Betriebsjahr, Eigenverlag Darmstadt 2002
- [16] Schnieders, J.: Beitrag „Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels“ im Protokollband 22 – Lüftungsstrategien im Sommer, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Phase III, Passivhausinstitut, Darmstadt 2003
- [17] Maas, A.: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, Dissertation am Fachbereich Architektur der Gesamthochschule Kassel, Kassel 1995
- [18] Achermann, M.; Zweifel, G.: Praxisnahe Validierung von Simulationsprogrammen Beitrag zu IEA Solar Task 22, Hrsg. Bundesamt für Energie, Bern 2003
- [19] Anwendungshilfe MINERGIE® und MINERGIE-P®, Fassung Mai 2011, Minergie Agentur Bau, MuttENZ 2011
- [20] SIA 180 – 1999: Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 1997
- [21] E SIA 180 – 2010: Entwurf: Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2010
- [22] SIA 382/1 – 2007: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007
- [23] SIA/HSLU, Hrsg.: SIA 382/1 Vertiefende Abklärungen zu einzelnen neuen Anforderungen - Schlussbericht Ver. 6, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich und Hochschule Luzern, 2005
- [24] SIA 416/1 - 2007: Kennzahlen für die Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein , Zürich 2007
- [25] SIA Merkblatt 2024 - 2006: Merkblatt 2024 - Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein , Zürich 2006
- [26] SN EN ISO 7730 – 2006: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein , Zürich 2006
- [27] SN EN ISO 13786 - 2007: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007
- [28] SN EN 15251 - 2007: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007

- [29] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe 2003-07, Beuth-Verlag, Berlin 2003
- [30] SN EN 13363-1+A1 - 2007: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007
- [31] SN EN 13791 - 2004: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik, Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich 2007

## 12 Anhang

### 12.1 PHYSIKALISCHE KENNGRÖSSEN DER VERWENDETEN BAUSTOFFE

Folgende Baustoffeigenschaften werden für die Bauteilanalyse verwendet.

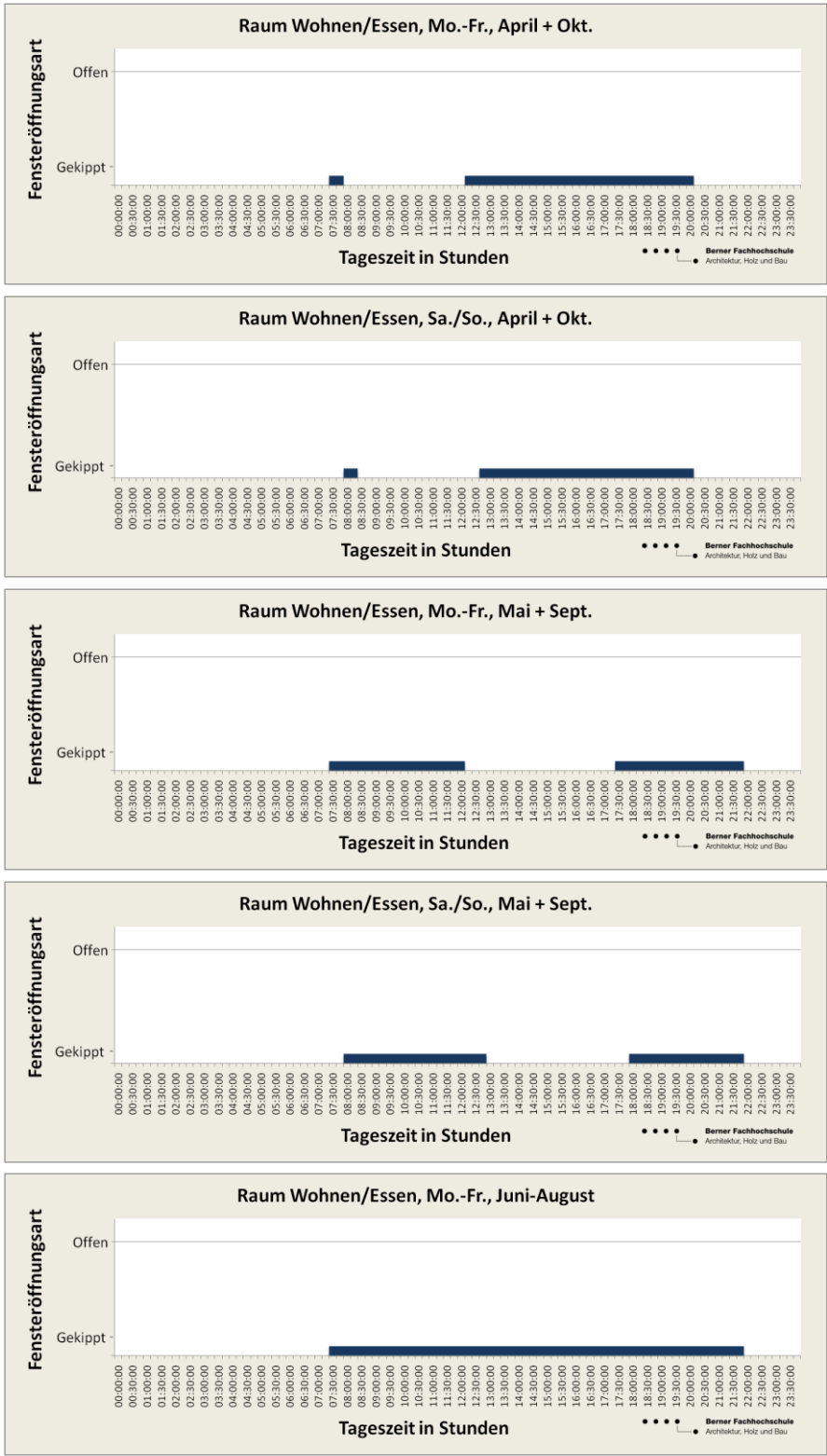
Tab. 23: Übersicht der verwendeten Baustoffe und deren physikalischen Eigenschaften

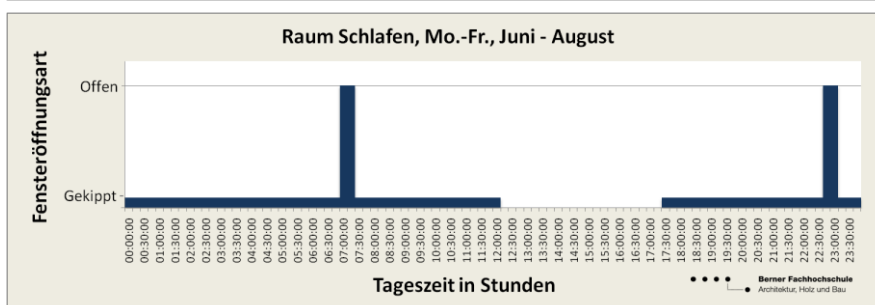
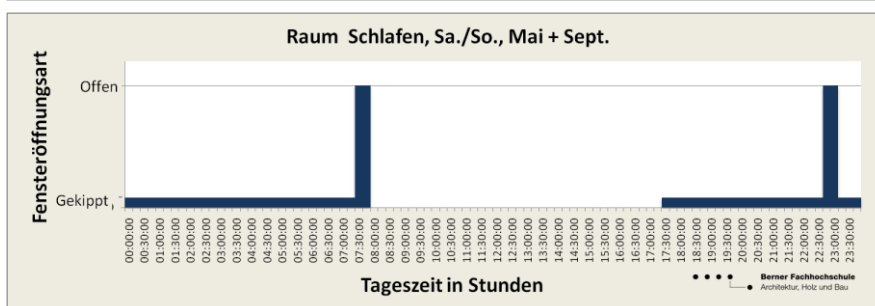
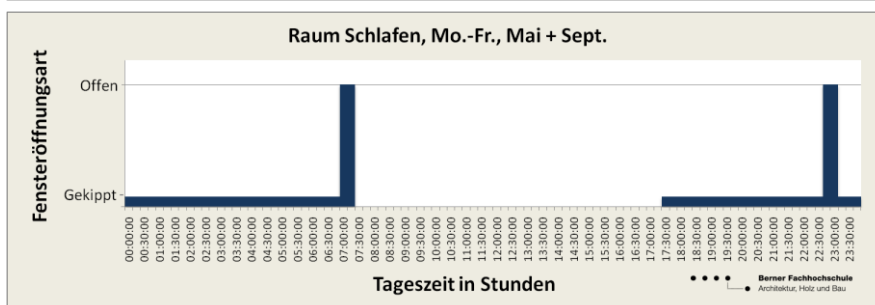
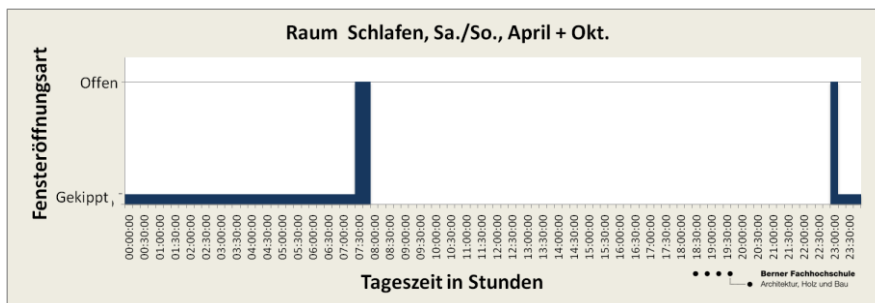
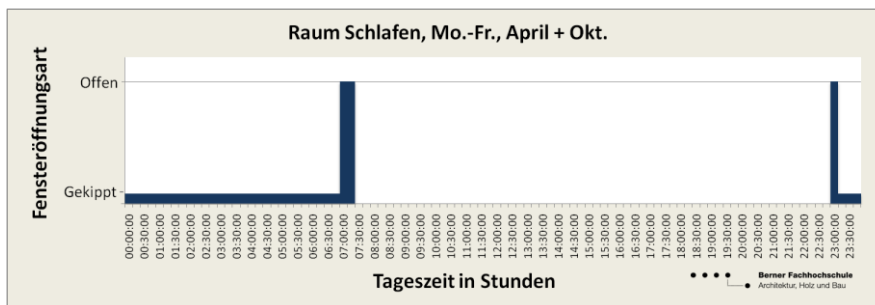
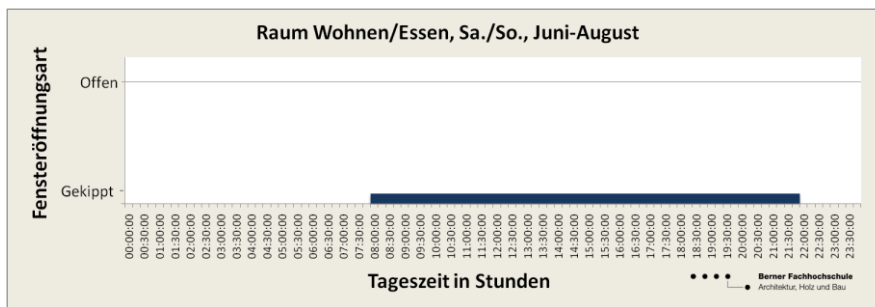
Baustoff	Roh- dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda_D$ W/(m·K)	Quelle	Spezifische Wärmekapazität $C_p$		Quelle
				J/(kg·K)	Wh/(kg·K)	
Aussenputz	1800	0.870	SN EN 12524	1000	0.278	SN EN 12524
Beton 1 % armiert	2300	2.300	EN ISO 10456	1000	0.278	EN ISO 10456
EPS-Dämmung	20	0.038	EN ISO 10456	1450	0.402	EN ISO 10456
Gipsfaserplatten	1150	0.320	Hersteller	1000	0.278	EN ISO 10456
Gipskartonplatten	900	0.250	EN ISO 10456	1000	0.278	EN ISO 10456
Glaswolle	30	0.032	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Glaswolle TSD	80	0.032	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Glaswolle FD	100	0.038	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Holz	500.00	0.130	EN ISO 10456	1600	0.444	EN ISO 10456
Holzfaserdämmplatte UD	240	0.047	Hersteller	2000	0.556	EN ISO 10456
Holzfaserdämmplatte ZSD	55	0.038	Hersteller	2000	0.556	EN ISO 10456
Holzfaserdämmplatte TSD	135	0.038	Hersteller	2000	0.556	EN ISO 10456
Innenputz	1400	0.700	SN EN 12524	900	0.250	SN EN 12524
Luft	1	*	EN ISO 10456	1008	0.280	EN ISO 10456
MDF-Platte	400	0.100	EN ISO 10456	1700	0.472	EN ISO 10456
Modulbackstein	1100	0.440	SN EN 12524	940	0.261	SN EN 12524
OSB-Platte	650	0.130	EN ISO 10456	1700	0.472	EN ISO 10456
mineralische Schüttung	1400	0.700	-	1000	0.278	-
Steinwolle	90	0.036	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Steinwolle FD	120	0.038	Hersteller	1030	0.286	EN ISO 10456
Zellulose	60	0.039	Hersteller	1600	0.444	EN ISO 10456
Zementunterlagsboden	2200	1.4	SN EN 12524	1000.0	0.278	SN EN 12524

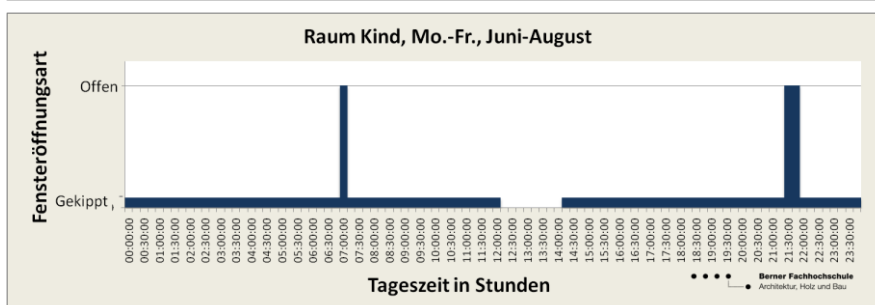
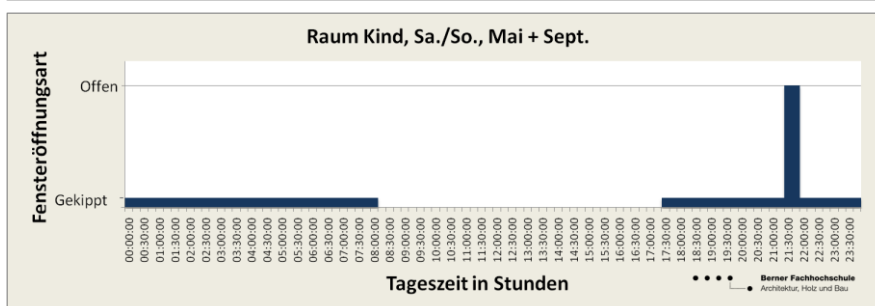
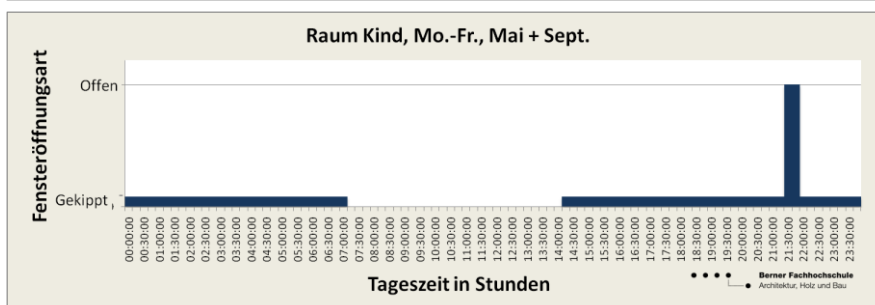
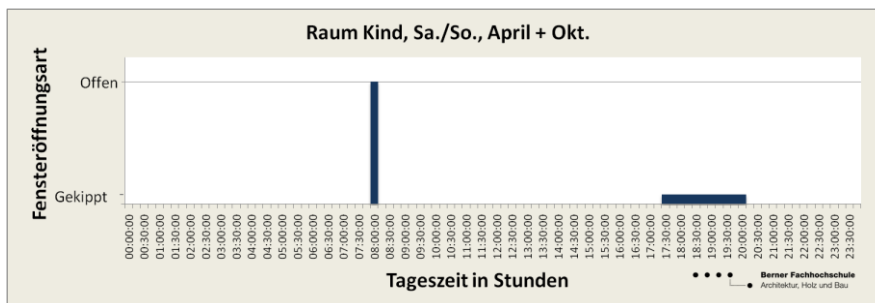
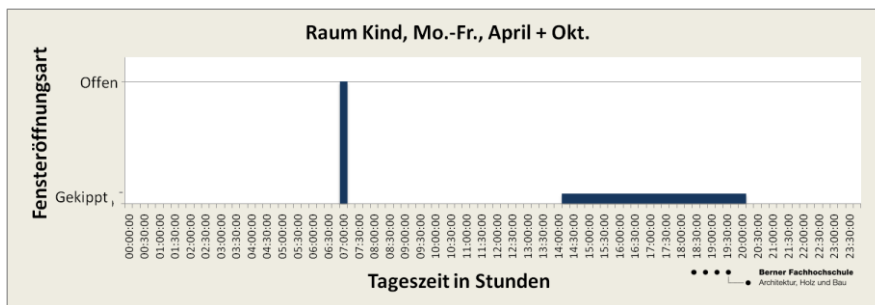
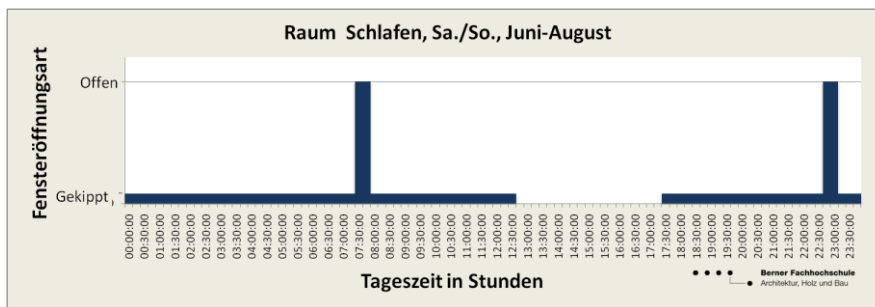
\* hängt von Dicke und Richtung des Wärmestroms ab

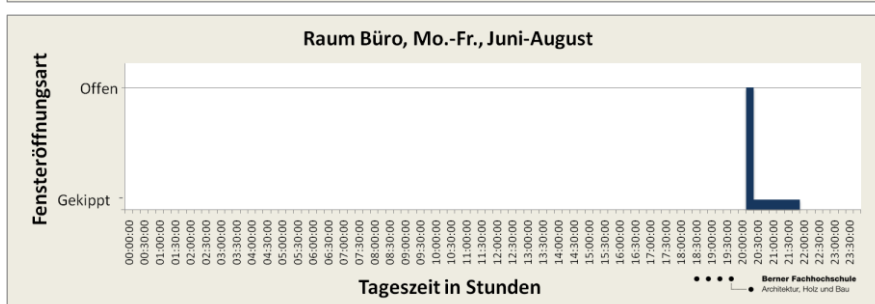
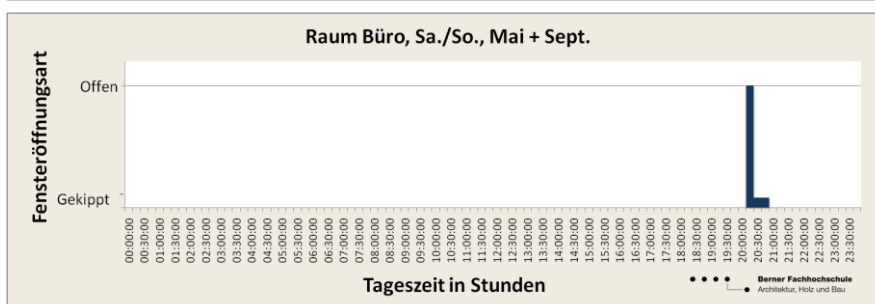
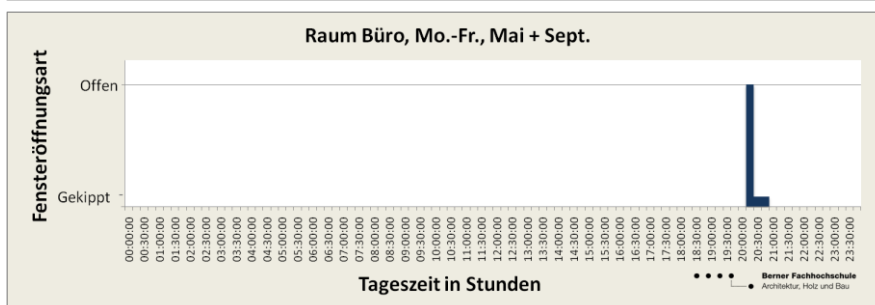
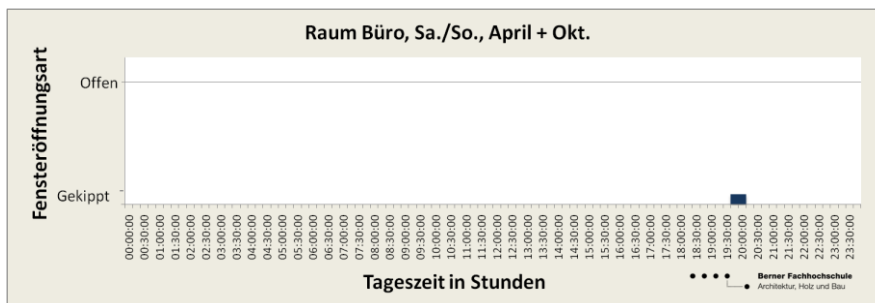
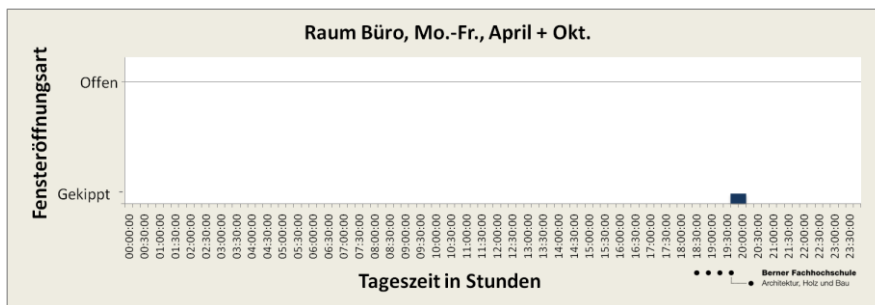
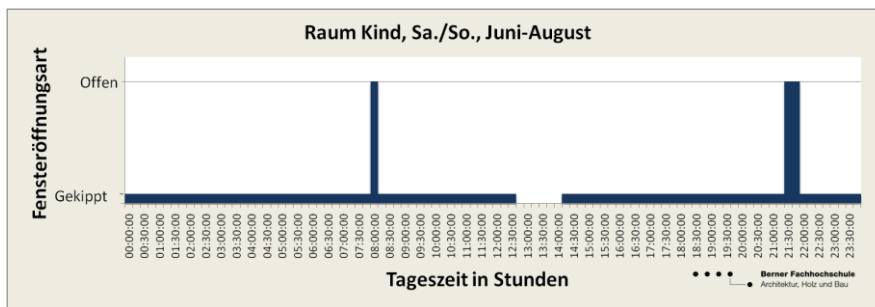


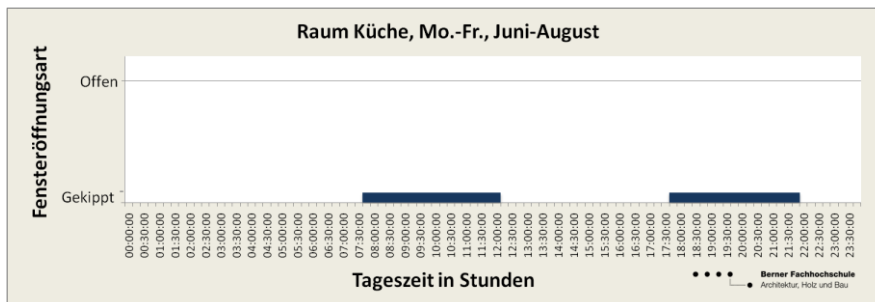
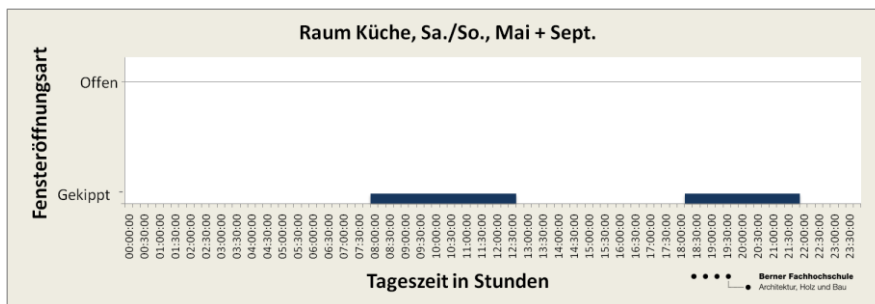
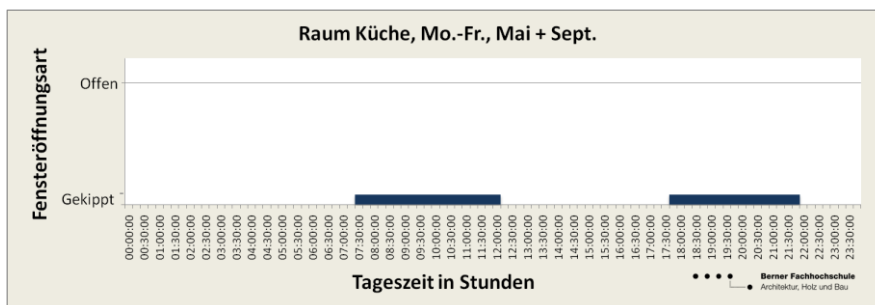
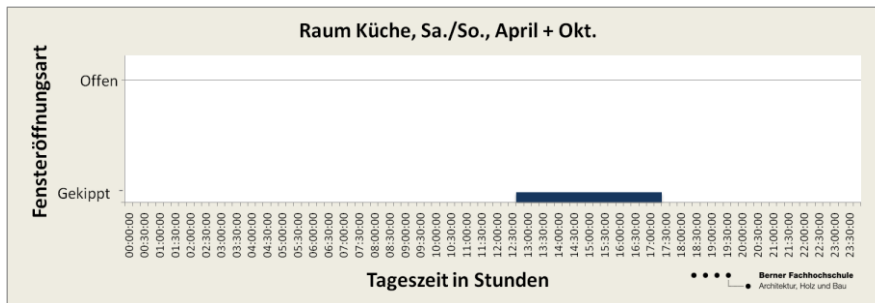
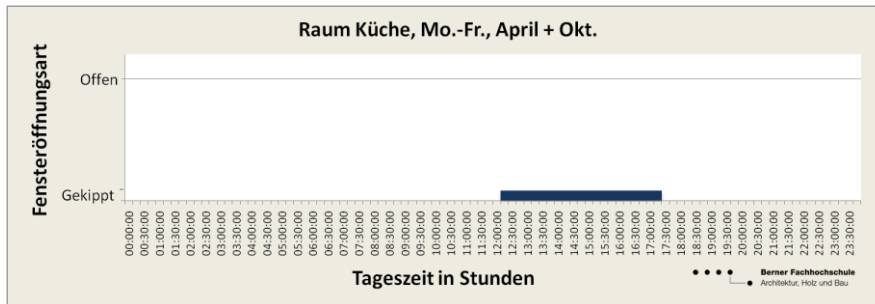
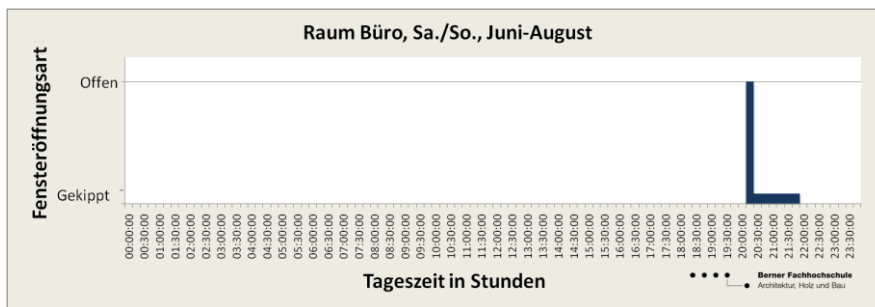
# 12.2 FENSTERLÜFTUNGSPROFILE

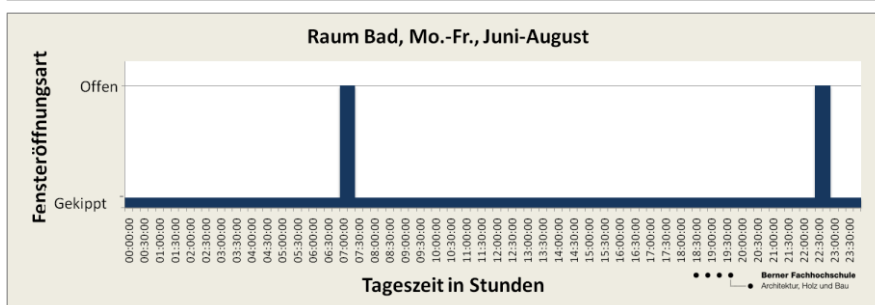
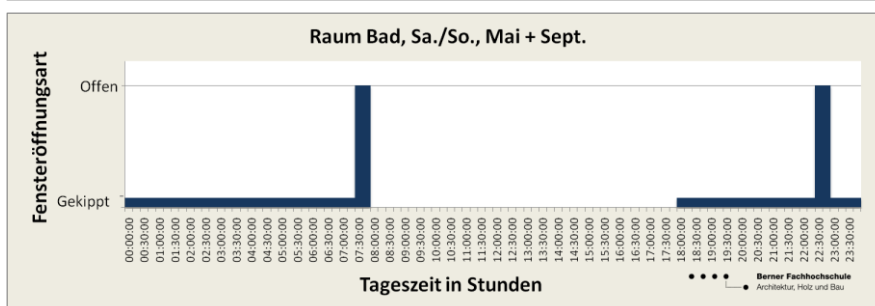
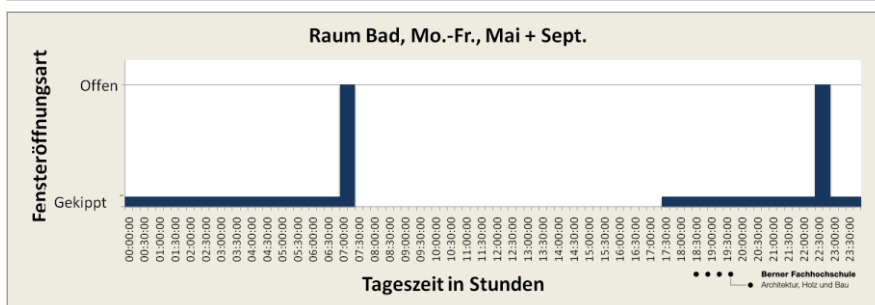
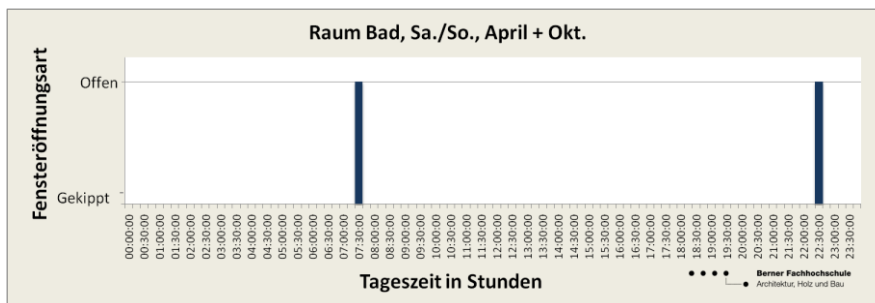
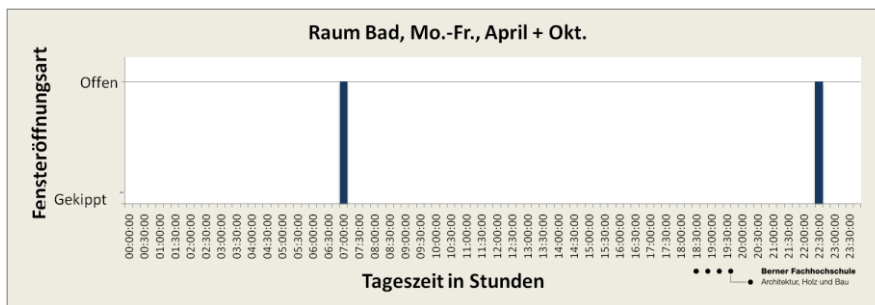
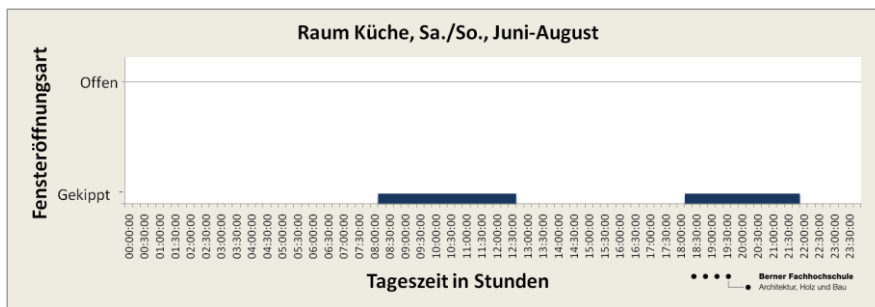


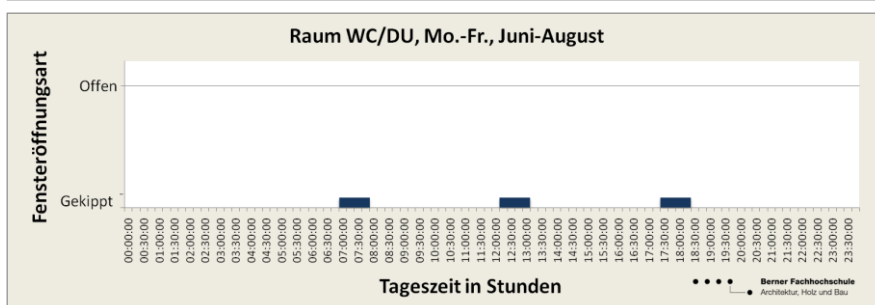
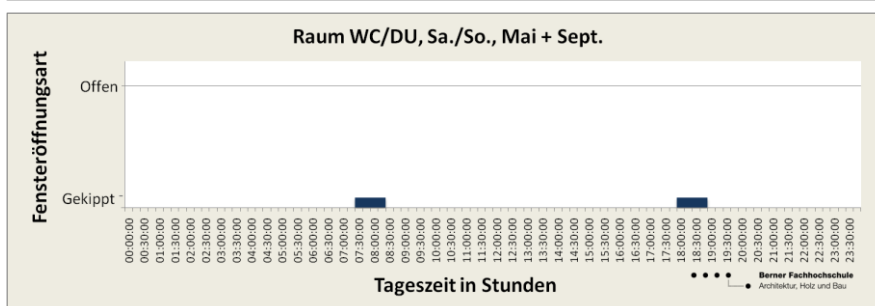
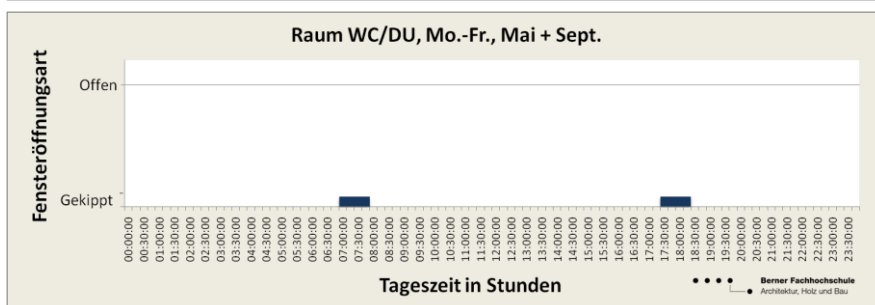
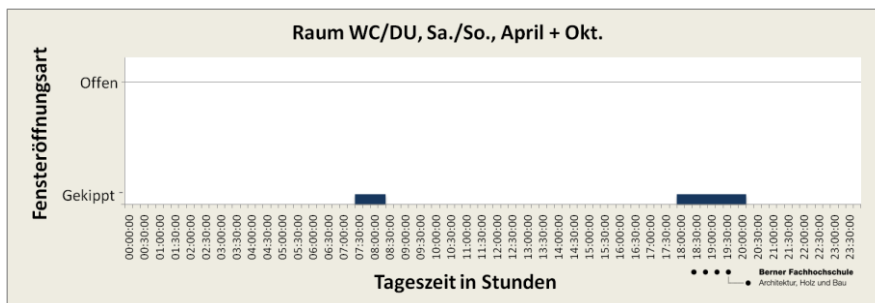
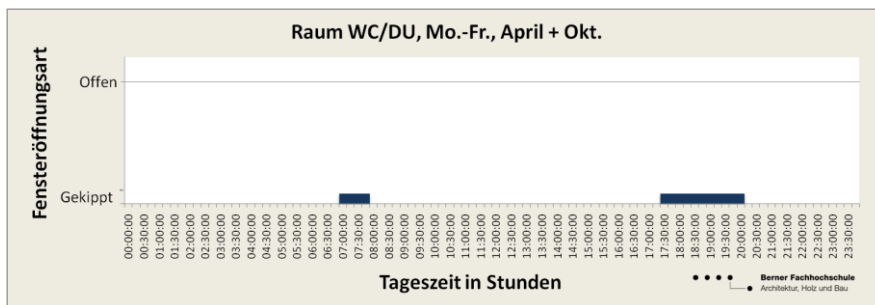
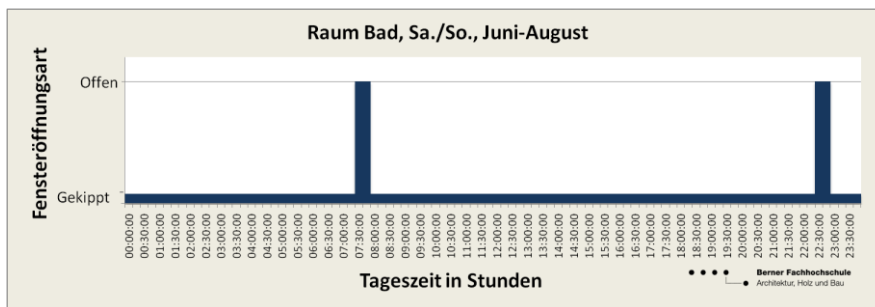


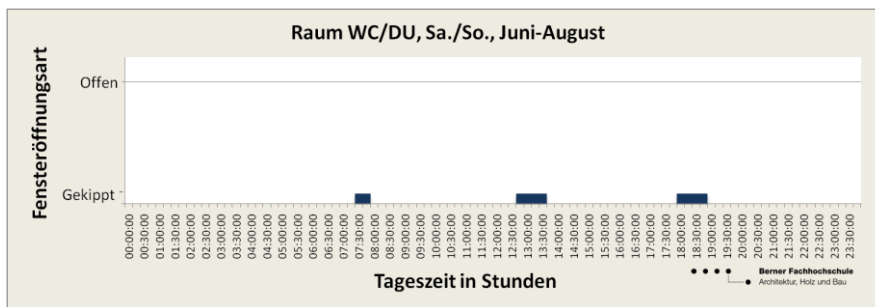








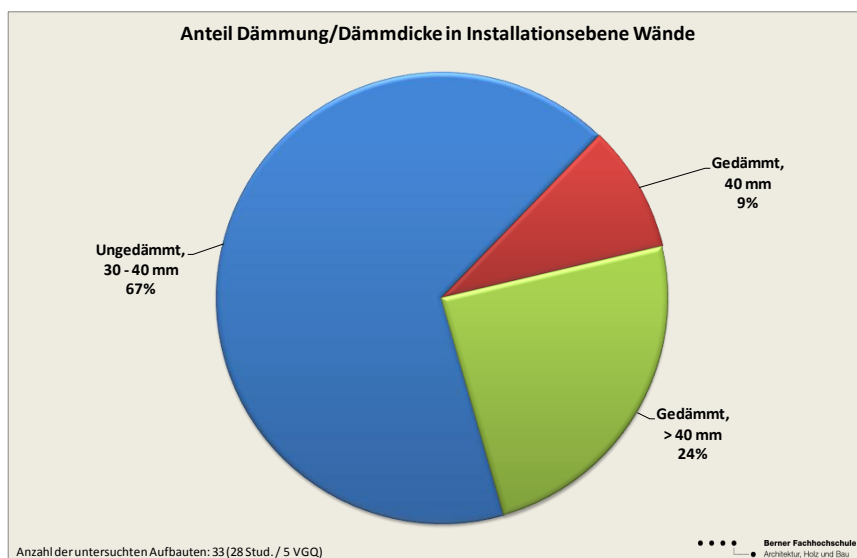
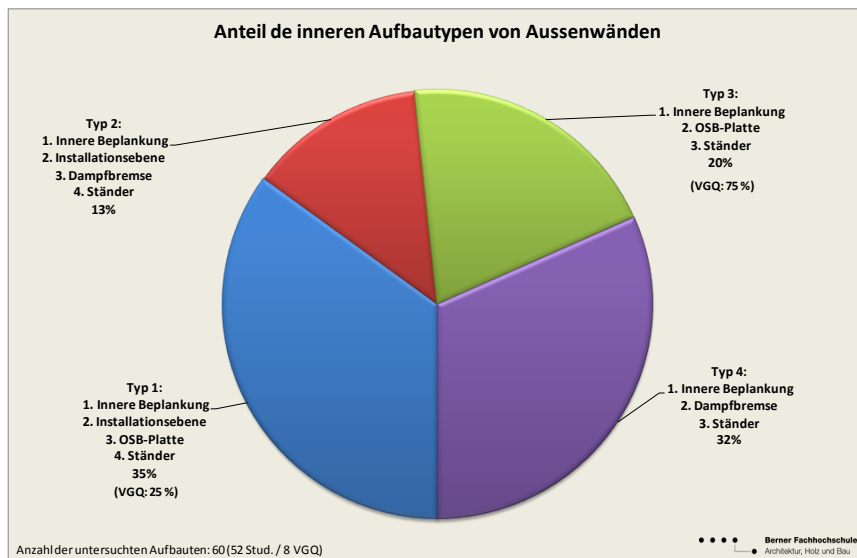
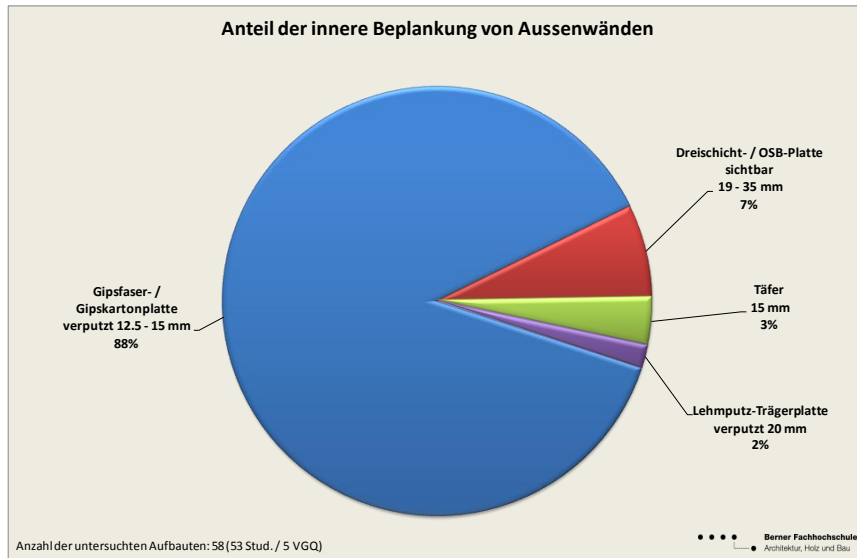




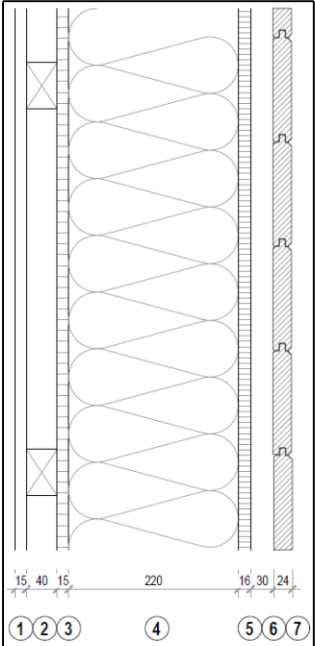


## 12.3 AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN

### 12.3.1 Auswertung Studierende und VGQ Häuser



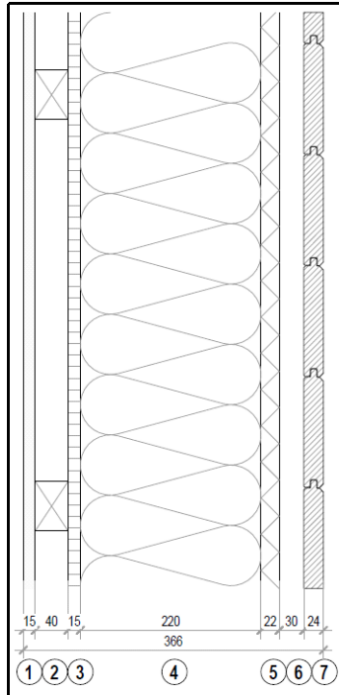
## 12.3.2 Bauteilaufbauten

Konstruktionsdatenblatt							
<b>Querschnitt (Zeichnung)</b>  		• • • • Berner Fachhochschule • • • • Architektur, Holz und Bau					
		<b>Bauteilnummer</b> 1.1.0					
		<b>Baugruppe</b> Aussenwand					
		<b>Bezeichnung</b> Aussenwand mit Installationsebene (ungedämmt)					
<b>Beschreibung</b>  <p>Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 220 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.</p> <p>Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm starken OSB-Platte. Innen folgt eine 40 mm Installationsebene mit einer horizontalen Holzlatzung im Abstand von 500 mm. Der Installationsraum ist nicht mit Dämmstoff gefüllt. Die innere Beplankung besteht aus einer 15 mm dicke Gipsfaserplatten.</p> <p>Die äussere Beplankung besteht aus einer 16 mm starke MDF-Platte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.</p>							
<b>Gesamtdicke</b>		360		mm			
<b>Masse pro m<sup>2</sup></b>		52.4	kg	WLF 0.032			
		64.3	kg	WLF 0.036			
		57.3	kg	WLF 0.038			
<b>Aufbau</b> von innen (oben) nach aussen (unten)							
Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)	
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278	
2	Luftschicht	40	440	0.217	1	0.280	
2a	Latlung	40	60	0.130	500	0.444	
3	OSB-Platte	15		0.130	650	0.472	
4	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556	
4a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444	
5	MDF-Platte	16		0.100	400	0.472	
6	Hinterlüftung	30		-	-	-	
7	Fassade	24		-	-	-	
<b>Ergebnisse</b>							
U-Wert / $d_{eq}$				WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		$U_m$		0.16	0.18	0.18	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		$U_{gefach}$		0.13	0.15	0.15	W/(m <sup>2</sup> ·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)		$d_{eq}$		24.7	22.9	21.1	cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)		$\Delta d_{eq}$		5.7	4.5	4.0	cm
Wärmekapazitäten				WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit
				ohne R	mit R	ohne R	mit R
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen		$\chi_i$		10.39	8.95	10.40	8.83
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen		$\chi_e$		4.75	4.55	5.20	4.89
				10.34	8.71	10.34	8.71
						Wh/(m <sup>2</sup> ·K)	

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.1.1

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand mit Installationsebene (ungedämmt)

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 220 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.

Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm starken OSB-Platte. Innen folgt eine 40 mm Installationsebene mit einer horizontalen Holzlattung im Abstand von 500 mm. Der Installationsraum ist nicht mit Dämmstoff gefüllt. Die innere Beplankung besteht aus einer 15 mm dicke Gipsfaserplatten.

Die äussere Beplankung besteht aus einer 22 mm starke Holzweichfaserplatte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 366 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

51.2	kg	WLF 0.032
63.2	kg	WLF 0.036
56.2	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Luftschicht	40	440	0.217	1	0.280
2a	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
3	OSB-Platte	15		0.130	650	0.472
4	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
4a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444
5	Holzfaserdämmplatte	22		0.047	240	0.556
6	Hinterlüftung	30		-	-	-
7	Fassade	24		-	-	-

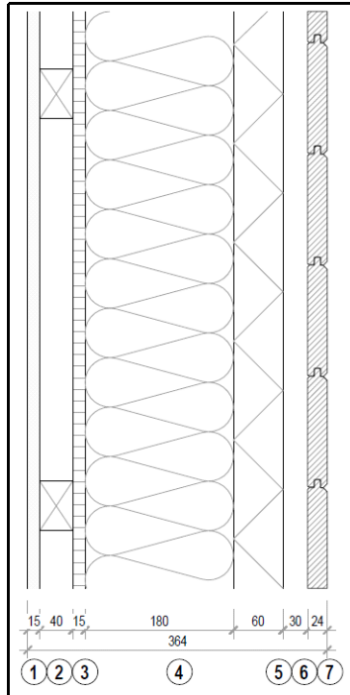
### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>			WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		U <sub>m</sub>	0.15		0.17		0.17		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		U <sub>gefach</sub>	0.13		0.14		0.15		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)		d <sub>eq</sub>	26.1		24.2		23.4		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)		Δd <sub>eq</sub>	5.5		4.3		3.9		cm
Wärmekapazitäten			WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
			ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen		χ <sub>i</sub>	10.36	8.91	10.32	8.76	10.26	8.65	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen		χ <sub>e</sub>	4.22	4.01	4.43	4.15	4.52	4.22	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.1.2

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand mit Installationsebene (ungedämmt)

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 180 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.

Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm starken OSB-Platte. Innen folgt eine 40 mm Installationsebene mit einer horizontalen Holzlattung im Abstand von 500 mm. Der Installationsraum ist nicht mit Dämmstoff gefüllt. Die innere Beplankung besteht aus einer 15 mm dicke Gipsfaserplatten.

Die äussere Beplankung besteht aus einer 60 mm starke Holzweichfaserplatte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 364 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

57.4	kg	WLF 0.032
67.1	kg	WLF 0.036
61.4	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Luftschicht	40	440	0.217	1	0.280
2a	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
3	OSB-Platte	15		0.130	650	0.472
4	Wärmedämmung	180	565	0.032/0.036/0.038	30/90/60	0.286/0.286/0.556
4a	Holzständer	180	60	0.130	500	0.444
5	Holzfaserdämmplatte	60		0.047	240	0.556
6	Hinterlüftung	30		-	-	-
7	Fassade	24		-	-	-

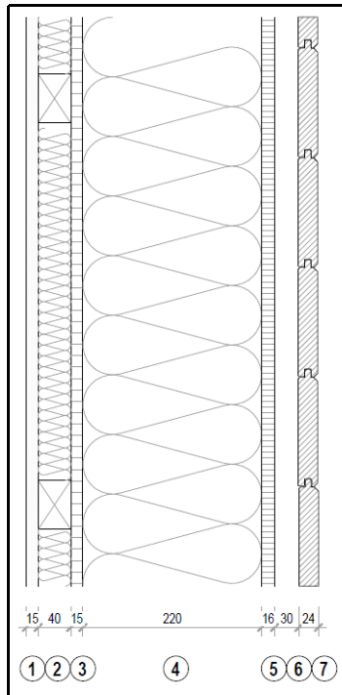
### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		U <sub>m</sub>	0.16	0.17		0.17		W/(m²K)	
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		U <sub>gefach</sub>	0.13	0.15		0.15		W/(m²K)	
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)		d <sub>eq</sub>	25.6	24.0		23.3		cm	
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)		Δd <sub>eq</sub>	4.2	3.3		2.9		cm	
Wärmekapazitäten			WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
			ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen		χ <sub>i</sub>	10.21	8.78	10.21	8.67	10.19	8.59	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen		χ <sub>e</sub>	5.52	5.09	5.34	4.91	5.20	4.79	Wh/(m²K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.2.0

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand mit Installationsebene (gedämmt)

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 220 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.

Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm starken OSB-Platte. Innen folgt eine 40 mm Installationsebene mit einer horizontalen Holzlattung im Abstand von 500 mm. Der Installationsraum ist mit Dämmstoff gefüllt. Die innere Beplankung besteht aus einer 15 mm dicke Gipsfaserplatten.

Die äussere Beplankung besteht aus einer 16 mm starke MDF-Platte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 360 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

53.4	kg	WLF 0.032
67.4	kg	WLF 0.036
59.2	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Wärmedämmung	40	440	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
2a	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
3	OSB-Platte	15		0.130	650	0.472
4	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
4a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444
5	MDF-Platte	16		0.100	400	0.472
6	Hinterlüftung	30		-	-	-
7	Fassade	24		-	-	-

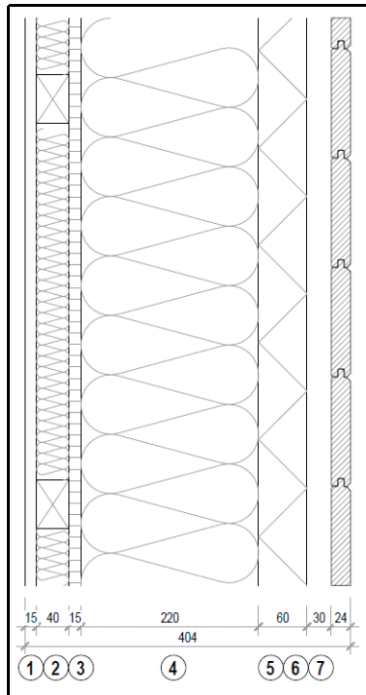
### Ergebnisse

U-Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.14	0.15	0.16	W/(m²K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.12	0.13	0.14	W/(m²K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	d <sub>eq</sub>	28.5	26.1	25.1	cm			
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	6.2	4.9	4.4	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
		ohne R	mit R	ohne R	mit R			
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	7.37	6.55	7.63	6.70	7.86	6.84	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	4.56	4.36	4.99	4.72	5.27	4.96	Wh/(m²K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.2.1

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand mit Installationsebene (gedämmt)

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 220 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.

Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm starken OSB-Platte. Innen folgt eine 40 mm Installationsebene mit einer horizontalen Holzlattung im Abstand von 500 mm. Der Installationsraum ist mit Dämmstoff gefüllt. Die innere Beplankung besteht aus einer 15 mm dicken Gipsfaserplatten.

Die äussere Beplankung besteht aus einer 60 mm starken Holzweichfaserplatte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 404 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

61.4	kg	WLF 0.032
75.4	kg	WLF 0.036
67.2	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Wärmedämmung	40	440	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
2a	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
3	OSB-Platte	15		0.130	650	0.472
4	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
4a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444
5	Holzfaserdämmplatte	60		0.047	240	0.556
6	Hinterlüftung	30		-	-	-
7	Fassade	24		-	-	-

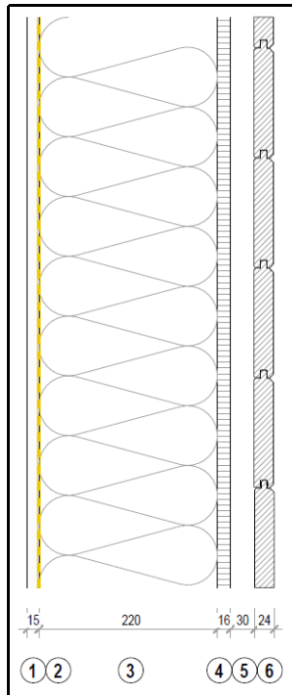
### Ergebnisse

U-Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.12		0.13		0.13		W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.10		0.11		0.12		W/(m²K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	33.2		30.8		29.7		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	5.9		4.7		4.2		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	7.16	6.37	7.46	6.56	7.74	6.76	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	5.28	4.89	5.12	4.75	5.03	4.67	Wh/(m²K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.3.0

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand einschlig

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 220 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.

Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm dicke Gipsfaserplatten.

Die äussere Beplankung besteht aus einer 15 mm starke MDF Platte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 305 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

40.2	kg	WLF 0.032
52.1	kg	WLF 0.036
45.2	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Dampfbremse	-		-	-	-
3	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
3a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444
4	MDF-Platte	16		0.100	400	0.472
5	Hinterlüftung	30		-	1	0.280
6	Fassade	24		-	-	-

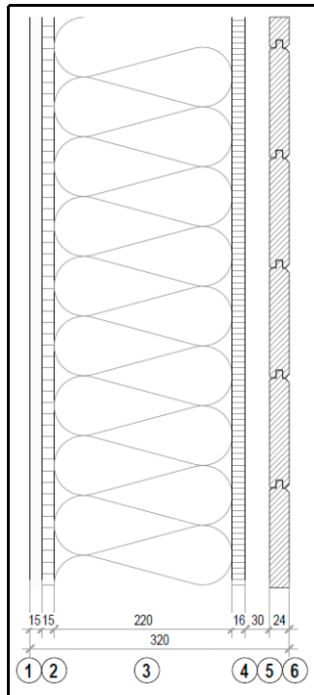
### Ergebnisse

U-Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.17	0.19	0.19	W/(m²K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.14	0.15	0.16	W/(m²K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	23.3	21.2	20.7	cm			
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	5.9	4.6	4.1	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
		ohne R	mit R	ohne R	mit R			
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	6.63	6.21	7.21	6.60	7.53	6.79	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	4.73	4.60	5.35	5.09	5.57	5.23	Wh/(m²K)

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.3.1

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand mit Installationsebene (gedämmt)

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer Holzrahmenkonstruktion mit 220 mm dicken Dämmebene. Die Holzständer stehen in einem Raster (Achsabstand) von 625 mm.

Die innere aussteifende Beplankung besteht aus einer 15 mm starken OSB-Platte. Die innere Beplankung besteht aus einer 15 mm dicken Gipsfaserplatten.

Die äussere Beplankung besteht aus einer 16 mm starken MDF-Platte auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 320 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

49.9	kg	WLF 0.032
61.9	kg	WLF 0.036
54.9	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	OSB-Platte	15		0.130	650	0.472
3	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
3a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444
4	MDF-Platte	16		0.100	400	0.472
5	Hinterlüftung	30		-	1	0.280
6	Fassade	24		-	-	-

### Ergebnisse

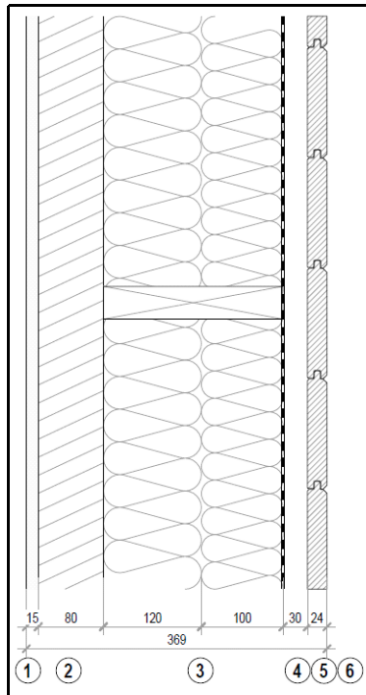
U-Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.17	0.18	0.19	W/(m²K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.14	0.15	0.16	W/(m²K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	23.8	22.0	21.2	cm			
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	5.8	4.6	4.1	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
		ohne R	mit R	ohne R	mit R			
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	10.79	9.52	11.12	9.60	11.25	9.59	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	4.76	4.59	5.27	4.97	5.54	5.16	Wh/(m²K)



## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.4.0

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand (Massivholzkonstruktion)

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einer 80 mm starken Massivholzwand. Vorgesetzt ist eine Holzkonstruktion mit 220 mm Dämmebene. Die Holzständer sind in einem Abstand von 625 mm senkrecht nebeneinander angeordnet. Die Zwischenräume sind mit Wärmedämmung ausgefüllt.

Als innere Beplankung ist eine 15 mm dicke Gipsfaserplatten angebracht.

Der äussere besteht aus einer Winddichtung auf der eine hinterlüftete Fassade aufgebracht ist.

**Gesamtdicke** 369 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

73.8	kg	WLF 0.032
85.7	kg	WLF 0.036
78.8	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Massivholzwand	80		0.130	500	0.444
3	Wärmedämmung	220	565	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
3a	Holzständer	220	60	0.130	500	0.444
4	Winddichtung	0.1		-	-	-
5	Hinterlüftung	30		-	-	-
6	Fassade	24		-	-	-

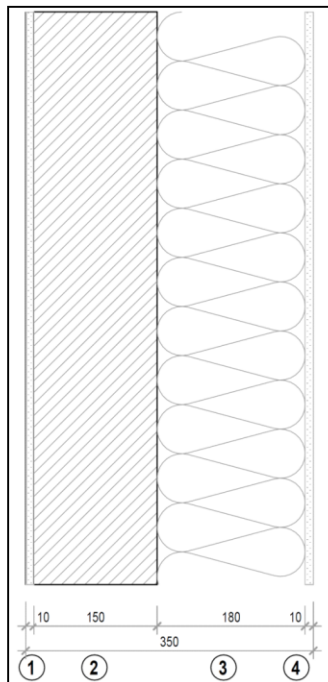
### Ergebnisse

U-Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.16		0.17		0.18		W/(m²K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.13		0.14		0.15		W/(m²K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	25.3		23.5		22.7		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	5.6		4.4		4.0		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	14.46	10.83	14.20	10.66	14.02	10.54	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	2.13	1.99	2.79	2.61	3.23	3.02	Wh/(m²K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 1.5.0

**Baugruppe** Aussenwand

**Bezeichnung** Aussenwand Kompaktfassade

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Aussenwandaufbau besteht aus einem 150 mm dicken Backsteinmauerwerk.

Auf der Innenseite ist ein 10 mm Innenputz aufgebracht.

Auf der Aussenseite ist eine 180 mm dicke Wärmedämmung aus EPS gefolgt von einem 10 mm starken Aussenputz vorgesehen.

**Gesamtdicke** 330 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>** 183.6 kg

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Innenputz	10		0.700	1400	0.250
2	Backstein	150		0.350	1000	0.261
3	EPS Dämmung	180		0.038	20	0.390
4	Aussenputz	10		0.870	1600	0.278

### Ergebnisse

U-Wert / $d_{eq}$				Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.19		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{gefach}$	-		W/(m <sup>2</sup> K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	$d_{eq}$	21.4		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	$\Delta d_{eq}$	-		cm
Wärmekapazitäten				Einheit
		ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	$\chi_i$	22.23	13.97	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	$\chi_e$	5.34	5.14	Wh/(m <sup>2</sup> K)

## 12.4 DECKENKONSTRUKTIONEN

Konstruktionsdatenblatt									
Bauteilnummer	3.1.0	• • • •	<b>Berner Fachhochschule</b> Architektur, Holz und Bau						
Baugruppe	Geschossdecke	Gesamtdicke	362	mm					
Bezeichnung	Holzbalkendecke Gipsfaser-Unterlagsboden	Masse pro m <sup>2</sup>	89	kg					
<b>Beschreibung</b> <p>Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus 120 mm breiten und 240 hohen Holzbalken, die in einem Abstand von 720 mm angeordnet sind. Die Zwischenräume sind mit 100 mm Wärmedämmung ausgefüllt.</p> <p>Auf der Oberseite folgt eine 22 mm dicke Holzwerkstoffplatte auf der eine 30 mm starke Trittschalldämmung aufgebracht ist. Den oberen Abschluss bildet ein 25 mm starker Gipsfaser-Unterlagsboden.</p> <p>Auf der Unterseite ist eine 30 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatten befestigt ist.</p>									
<b>Querschnitt (Zeichnung)</b> 									
<b>Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)</b>									
Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)			
1	Gipsfaserboden	25		0.320	1150	0.278			
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556			
3	Holz/Holzwerkstoff	22		0.130	500	0.444			
4	Luft	140	600	0.857	1	0.280			
4a	Deckenbalken	140	120	0.130	500	0.444			
5	Wärmedämmung	100	600	0.032/0.036/0.038	30/90/60	0.286/0.286/0.556			
5a	Deckenbalken	100	120	0.130	500	0.444			
6	Luft	30	450	0.184	1	0.280			
6a	Lattung	30	50	0.130	500	0.444			
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278			
<b>Ergebnisse</b>									
U-Wert / $d_{eq}$			WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		$U_m$	0.23	0.25	0.26	W/(m <sup>2</sup> ·K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		$U_{gefach}$	0.20	0.22	0.23	W/(m <sup>2</sup> ·K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)		$d_{eq}$	17.1	15.9	15.1	cm			
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)		$\Delta d_{eq}$	2.7	2.1	1.7	cm			
Wärmekapazitäten			WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
			ohne R	mit R	ohne R	mit R			
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben		$\chi_i$	9.83	8.46	10.07	8.58	10.64	8.91	Wh/(m <sup>2</sup> ·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten		$\chi_e$	7.03	6.39	7.48	6.69	7.85	6.92	Wh/(m <sup>2</sup> ·K)

## Konstruktionsdatenblatt

**Bauteilnummer** 3.1.1

• • • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 387 mm

**Bezeichnung** Holzbalkendecke Zement-Unterlagsboden

**Masse pro m<sup>2</sup>** 170 kg

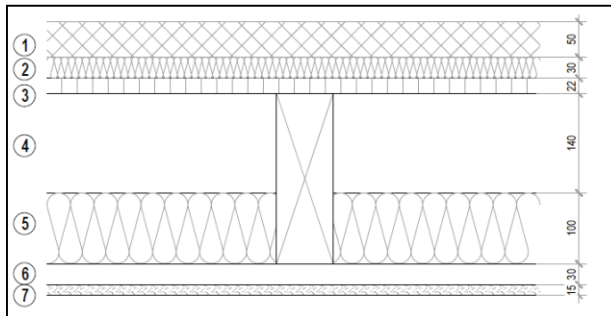
### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus 120 mm breiten und 240 hohen Holzbalken, die in einem Abstand von 720 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind mit 100 mm Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 22 mm dicke Holzwerkstoffplatte auf der eine 30 mm starke Trittschalldämmung aufgebracht ist. Den oberen Abschluss bildet ein 50 mm starker Zement-Unterlagsboden.

Auf der Unterseite ist eine 30 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatten befestigt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	50		1.400	2200	0.278
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz/Holzwerkstoff	22		0.130	500	0.444
4	Luft	140	600	0.857	1	0.280
4a	Deckenbalken	140	120	0.130	500	0.444
5	Wärmedämmung	100	600	0.032/0.036/0.038	30/90/60	0.286/0.286/0.556
5a	Deckenbalken	100	120	0.130	500	0.444
6	Luft	30	450	0.184	1	0.280
6a	Lattung	30	50	0.130	500	0.444
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.24	0.25	0.26	W/(m²K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.20	0.23	0.24	W/(m²K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	16.9	15.7	15.0	cm			
Differenz der äquivalenten Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	2.7	2.1	1.7	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
		ohne R	mit R	ohne R	mit R			
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	χ <sub>i</sub>	31.73	19.85	31.90	19.83	32.40	19.84	Wh/(m²K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	χ <sub>e</sub>	7.05	6.25	7.49	6.54	7.87	6.77	Wh/(m²K)

## Konstruktionsdatenblatt

**Bauteilnummer** 3.1.2

• • • • • Berner Fachhochschule  
• • • • • Architektur, Holz und Bau

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 407 mm

**Bezeichnung** Holzbalkendecke Zement-Unterlagsboden

**Masse pro m<sup>2</sup>** 214 kg

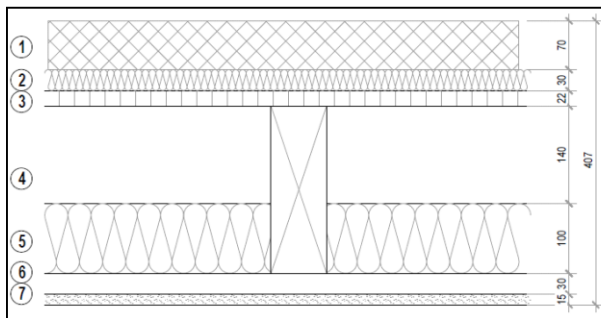
### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus 120 mm breiten und 240 hohen Holzbalken, die in einem Abstand von 720 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind mit 100 mm Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 22 mm dicke Holzwerkstoffplatte auf der eine 30 mm starke Trittschalldämmung aufgebracht ist. Den oberen Abschluss bildet ein 70 mm starker Zement-Unterlagsboden.

Auf der Unterseite ist eine 30 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatten befestigt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	70		1.400	2200	0.278
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz/Holzwerkstoff	22		0.130	500	0.444
4	Luft	140	600	0.857	1	0.280
4a	Deckenbalken	140	120	0.130	500	0.444
5	Wärmedämmung	100	600	0.032/0.036/0.038	30/90/60	0.286/0.286/0.556
5a	Deckenbalken	100	120	0.130	500	0.444
6	Luft	30	450	0.184	1	0.280
6a	Lattung	30	50	0.130	500	0.444
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.24		0.25		0.26		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.20		0.23		0.23		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	17.0		15.8		15.0		cm
Differenz der äquivalenten Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	2.7		2.1		1.7		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	χ <sub>i</sub>	42.50	21.85	42.60	21.83	42.97	21.76	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	χ <sub>e</sub>	7.04	6.17	7.47	6.74	7.83	6.70	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.1.3

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 362 mm

**Bezeichnung** Holzbalkendecke Holzboden

**Masse pro m<sup>2</sup>** 72 kg

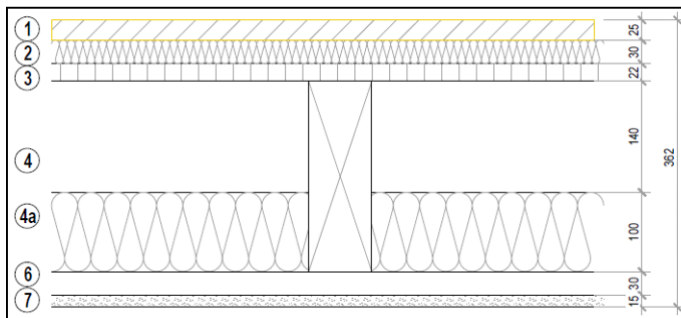
### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus 120 mm breiten und 240 hohen Holzbalken, die in einem Abstand von 720 mm angeordnet sind. Die Zwischenräume sind mit 100 mm Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 22 mm dicke Holzwerkstoffplatte auf der eine 30 mm starke Trittschalldämmung aufgebracht ist. Den oberen Abschluss bildet ein 70 mm starker Zement-Unterlagsboden.

Auf der Unterseite ist eine 30 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatten befestigt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Holz/Holzwerkstoff	25		0.130	500	0.444
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz/Holzwerkstoff	22		0.130	500	0.444
4	Luft	140	600	0.857	1	0.280
4a	Deckenbalken	140	120	0.130	500	0.444
5	Wärmedämmung	100	600	0.032/0.036/0.038	30/90/60	0.286/0.286/0.556
5a	Deckenbalken	100	120	0.130	500	0.444
6	Luft	30	450	0.184	1	0.280
6a	Lattung	30	50	0.130	500	0.444
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.23	0.25	0.25	W/(m²·K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.20	0.22	0.23	W/(m²·K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	17.6	16.4	15.6	cm			
Differenz der äquivalenten Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	2.7	2.1	1.7	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	χ <sub>i</sub>	7.09	6.24	7.28	6.35	7.74	6.64	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	χ <sub>e</sub>	7.14	6.49	7.58	6.79	7.94	7.01	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt



**Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.2.0

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 275 mm

**Bezeichnung** Lignaturdecke LFE Gipsfaser

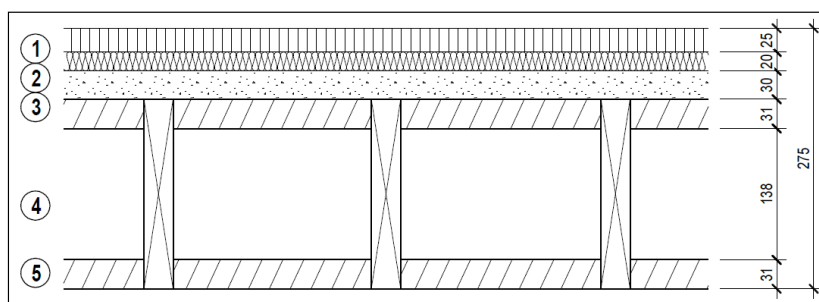
**Masse pro m<sup>2</sup>** 113 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Das Deckengefach ist nicht gefüllt.

Auf der Oberseite ist eine 30 mm starke Schüttung aufgebracht auf der eine 20 mm starke Trittschalldämmung liegt. Auf dieser ist ein 25 mm starker Gipsfaser-Unterlagsboden verlegt.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserboden	25		0.320	1150	0.278
2	Trittschalldämmung	20		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Schüttung	30		0.090	1400	0.278
4	Holz	31		0.130	500	0.444
5	Luft	138	210	0.851	1	0.280
5a	Holz	138	31	0.130	500	0.444
6	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.50		0.52		0.53		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{\text{gefach}}$	0.52		0.54		0.54		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	$\chi_i$	10.69	8.84	11.02	9.03	11.57	9.37	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	$\chi_e$	10.90	8.61	10.95	8.65	10.97	8.65	Wh/(m <sup>2</sup> K)

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.2.1

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 280 mm

**Bezeichnung** Lignaturdecke LFE 50 mm Zement

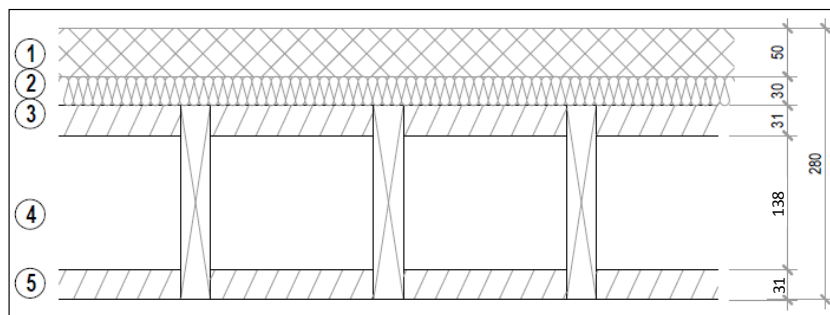
**Masse pro m<sup>2</sup>** 154 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Der Zwischenraum ist nicht gefüllt.

Auf der Oberseite liegt eine 30 mm starke Trittschalldämmung, auf der ein 25 mm starker Gipsfaser-Unterlagsboden aufgebracht ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	50		1.400	2200	0.278
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz	31		0.130	500	0.444
4	Luft	138	210	0.851	1	0.280
4a	Holz	138	31	0.130	500	0.444
5	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.52		0.55		0.56		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{\text{gefach}}$	0.53		0.57		0.58		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	$\chi_i$	32.31	20.37	32.53	20.40	33.27	20.52	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	$\chi_e$	11.02	9.04	10.98	9.04	11.10	9.03	Wh/(m <sup>2</sup> K)



## Konstruktionsdatenblatt



**Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.2.2

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 300 mm

**Bezeichnung** Lignaturdecke LFE 70 mm Zement

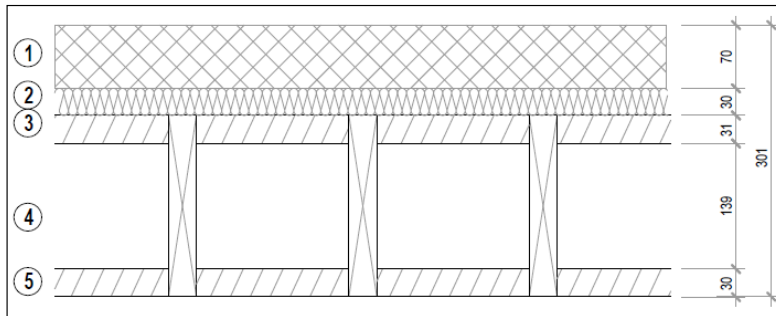
**Masse pro m<sup>2</sup>** 198 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Der Zwischenraum ist nicht gefüllt.

Auf der Oberseite liegt eine 30 mm starke Trittschalldämmung, auf der ein 70 mm starker Kalkzement-Unterlagsboden aufgebracht ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> *K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg*K)
1	Kalkzement	70		1.400	2200	0.278
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz	31		0.130	500	0.444
4	Luft	138	210	0.851	1	0.280
4a	Holz	138	31	0.130	500	0.444
5	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.52	0.55	0.56	W/(m <sup>2</sup> *K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{\text{gefach}}$	0.53	0.56	0.58	W/(m <sup>2</sup> *K)
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	$\chi_i$	43.19	22.32	43.36	22.33
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	$\chi_e$	11.19	8.90	11.16	8.89

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
 ● Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.2.3

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 255 mm

**Bezeichnung** Lignaturdecke LFE Holz

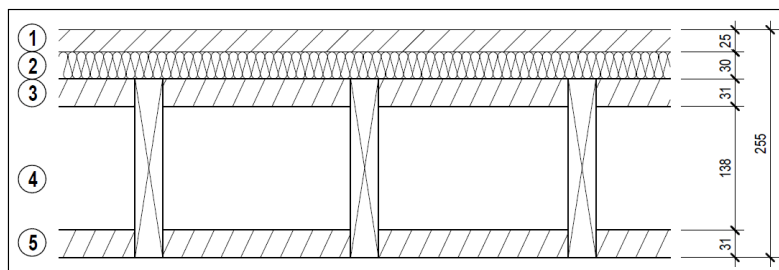
**Masse pro m<sup>2</sup>** 55.0 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Das Deckengefach ist nicht gefüllt.

Auf der Oberseite liegt eine 30 mm starke Trittschalldämmung, auf der ein 25 mm starker Dielenboden verlegt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Holz	25		0.130	500	0.444
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz	31		0.130	500	0.444
4	Luft	138	210	0.851	1	0.280
4a	Holz	138	31	0.130	500	0.444
5	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert			WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		U <sub>m</sub>	0.48		0.51		0.52		W/(m²*K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		U <sub>gefach</sub>	0.49		0.52		0.53		W/(m²*K)
Wärmekapazitäten			WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
			ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben		χ <sub>i</sub>	7.37	6.59	7.55	6.72	8.20	7.16	Wh/(m²*K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten		χ <sub>e</sub>	11.06	9.02	11.03	9.01	11.15	9.06	Wh/(m²*K)

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
 ● Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.2.4

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 280 mm

**Bezeichnung** Lignaturdecke LFE mit 35 mm Schüttung

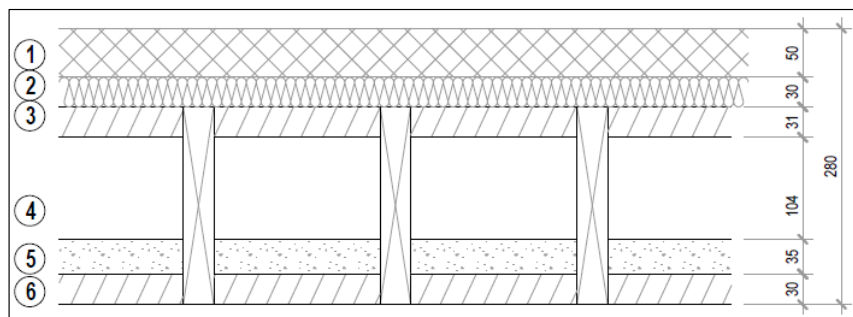
**Masse pro m<sup>2</sup>** 197 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Der Zwischenraum ist mit 35 mm Schüttung gefüllt.

Auf der Oberseite liegt eine 30 mm starke Trittschalldämmung, auf der ein 50 mm starker Kalkzement-Unterlagsboden aufgebracht ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	50		0.130	500	0.444
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz	31		0.130	500	0.444
4	Luft	103	210	0.634	1	0.280
4a	Holz	103	31	0.130	500	0.444
5	Schüttung	35	210	0.700	1400	0.278
5a	Holz	35	31	0.130	500	0.444
6	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.51		0.53		0.55		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{\text{Gefach}}$	0.52		0.55		0.56		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	$\chi_i$	32.07	20.05	32.29	20.07	32.96	20.17	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	$\chi_e$	14.56	10.43	14.58	10.45	14.62	10.43	Wh/(m <sup>2</sup> K)

## Konstruktionsdatenblatt



**Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.2.5

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 280 mm

**Bezeichnung** Lignaturdecke LFE mit 70 mm Schüttung

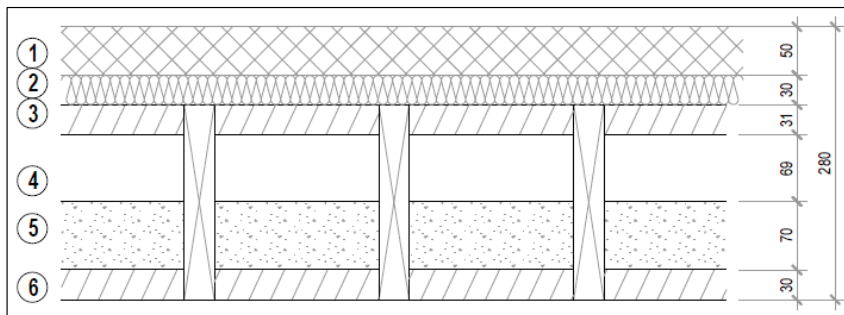
**Masse pro m<sup>2</sup>** 239 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Der Zwischenraum ist mit 70 mm Schüttung gefüllt.

Auf der Oberseite liegt eine 30 mm starke Trittschalldämmung auf der 50 mm starker Kalkzement-Unterlagsboden aufgebracht ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	50		0.130	500	0.444
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz	31		0.130	500	0.444
4	Luft	68	210	0.637	1	0.280
4a	Holz	68	31	0.130	500	0.444
5	Schüttung	70	210	0.700	1400	0.278
5a	Holz	70	31	0.130	500	0.444
6	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.49		0.52		0.53		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{\text{gefach}}$	0.51		0.54		0.55		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	$\chi_i$	31.62	19.82	31.80	19.82	32.44	19.91	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	$\chi_e$	14.94	10.30	14.98	10.33	15.00	10.31	Wh/(m <sup>2</sup> K)

## Konstruktionsdatenblatt



**Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 3.4.0

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 240 mm

**Bezeichnung** Massivholzdecke

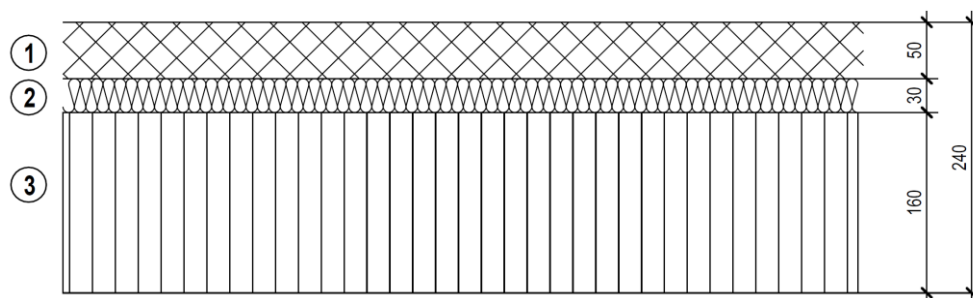
**Masse pro m<sup>2</sup>** 194 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 160 mm hohem Massivholzelement.

Auf der Oberseite folgt eine 30 mm starke Trittschalldämmung. Den oberen Abschluss bildet ein 50 mm starker Kalkzement-Unterlagsboden.

### Querschnitt (Zeichnung)



**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	50		1.400	2200	0.278
2	Trittschalldämmung	30		0.032/0.036/0.038	80/90/135	0.286/0.286/0.556
3	Holz	160		1.300	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.41		0.42		0.43		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.41		0.42		0.43		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	9.9		9.4		15.6		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	-		-		-		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	χ <sub>i</sub>	31.32	19.66	31.50	19.65	32.10	19.73	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	χ <sub>e</sub>	11.09	8.43	11.14	8.46	11.14	8.44	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

**Bauteilnummer** 3.5.0

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Baugruppe** Geschossdecke

**Gesamtdicke** 270 mm

**Bezeichnung** Massivdecke

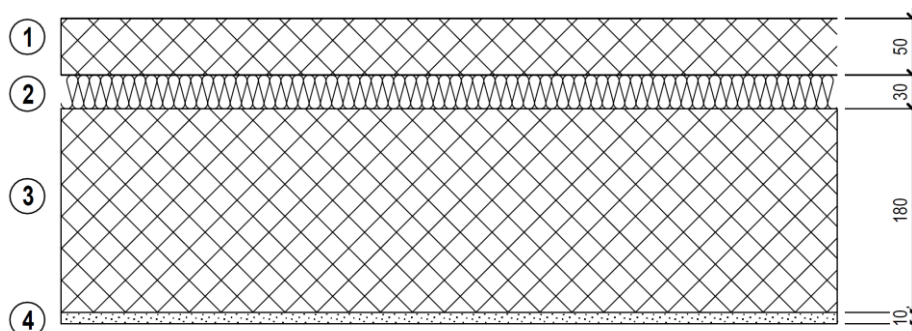
**Masse pro m<sup>2</sup>** 541 kg

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Deckenaufbau besteht aus einem 180 mm starken Betondecke, die von unten mit 10 mm Innenputz versehen ist.

Auf der Oberseite folgt nach einer 30 mm dicken Trittschalldämmung. Den oberen Abschluss bildet ein 50 mm starker Kalkzement-Unterlagsboden.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Kalkzement	50		0.700	2200	0.361
2	Trittschalldämmung	30		0.032	80	0.286
3	Beton	180		2.300	2300	0.278
4	Innenputz	10		0.700	1400	0.250
5						
6						

### Ergebnisse

U- Wert / $d_{eq}$				Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.75		W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{gefach}$	0.75		W/(m <sup>2</sup> K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	$d_{eq}$	6.1		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	$\Delta d_{eq}$	-		cm
Wärmekapazitäten				Einheit
		ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität oben	$\chi_i$	32.29	19.54	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität unten	$\chi_e$	72.72	22.59	Wh/(m <sup>2</sup> K)

## 12.5 DACHKONSTRUKTIONEN

Konstruktionsdatenblatt							
<b>Bauteilnummer</b>	2.1.0-C	● ● ● ●	Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau				
<b>Baugruppe</b>	Dach	<b>Gesamtdicke</b>	311	mm			
<b>Bezeichnung</b>	Dach mit Installationsebene (MDF)	<b>Masse pro m<sup>2</sup></b>	52.09	kg	WLF 0.032		
		(ohne Dachdeckung)	64.09	kg	WLF 0.036		
<b>Beschreibung</b>			57.09	kg	WLF 0.038		
<p>Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus 100 mm breiten und 240 mm hohen Sparren, die in einem Abstand von 600 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.</p> <p>Auf der Oberseite folgt eine 16 mm dicke MDF-Platte. Auf einer Konterlattung gefolgt von der Dachlattung kommt die Dachdeckung zu liegen. Der Zwischenraum ist hinterlüftet.</p> <p>Auf der Unterseite ist nach einer Dampfbremse eine 40 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatte befestigt ist.</p>							
<b>Querschnitt (Zeichnung)</b>							
<b>Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)</b>							
Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)	
1	Dachdeckung	-		-	-	-	
2	Hinterlüftung	-		-	-	-	
3	MDF-Platte	16		0.100	400	0.472	
4	Sparren	240	100	0.130	500	0.444	
4a	Wärmedämmung	240	500	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556	
5	Dampfbremse	-		-	-	-	
6	Lattung	40	60	0.130	500	0.444	
6a	Luft	40	440	0.245	1	0.280	
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278	
<b>Ergebnisse</b>							
U-Wert / $d_{eq}$			WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		$U_m$	0.180	0.19	0.190	W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		$U_{gefach}$	0.120	0.14	0.150	W/(m <sup>2</sup> ·K)	
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)		$d_{eq}$	22.8	21.4	20.8	cm	
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)		$\Delta d_{eq}$	9.6	7.6	6.8	cm	
Wärmekapazitäten			WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit	
			ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen		$\chi_i$	7.5	6.9	7.8	7.0	8.0
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen		$\chi_e$	5.2	4.9	5.6	5.2	5.9
							Wh/(m <sup>2</sup> ·K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.1.1-C

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 330 mm

**Bezeichnung** Dach mit Installationsebene (Holzfaser)

**Masse pro m<sup>2</sup>** 54.09 kg WLF 0.032

(ohne Dachdeckung) 66.09 kg WLF 0.036

**Beschreibung**

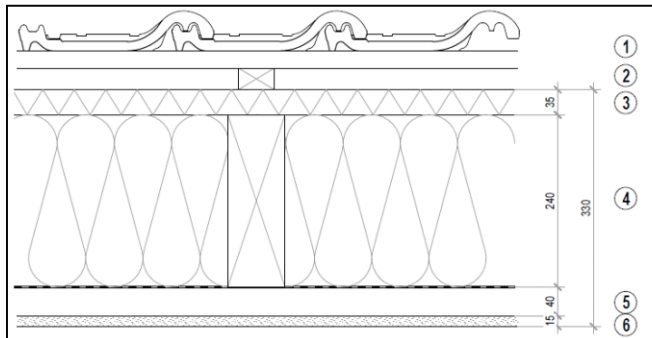
59.09 kg WLF 0.038

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus 100 mm breiten und 240 mm hohen Sparren, die in einem Abstand von 600 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 35 mm dicke Holzfaserdämmplatte. Auf einer Konterlattung gefolgt von der Dachlattung kommt die Dachdeckung zu liegen. Der Zwischenraum ist hinterlüftet.

Auf der Unterseite ist nach einer Dampfbremse eine 40 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatte befestigt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Dachdeckung	-		-	-	-
2	Hinterlüftung	-		-	-	-
3	Holzfaserdämmplatte	35		0.047	240	0.556
4	Sparren	240	100	0.130	500	0.444
4a	Wärmedämmung	240	500	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
5	Dampfbremse	-		-	-	-
6	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
6a	Luft	40	440	0.245	1	0.280
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.160	0.17	0.170	W/(m²·K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.120	0.13	0.140	W/(m²·K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	25.5	24.0	23.4	cm			
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	9.2	7.3	6.6	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	7.4	6.7	7.6	6.8	7.8	6.9	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	5.0	4.7	5.0	4.6	4.9	4.6	Wh/(m²·K)



## Konstruktionsdatenblatt

• • • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.1.2-C

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 295 mm

**Bezeichnung** Dach mit Installationsebene (Holzfaser)

**Masse pro m<sup>2</sup>** 53.59 kg WLF 0.032  
(ohne Dachdeckung) 62.59 kg WLF 0.036

**Beschreibung**

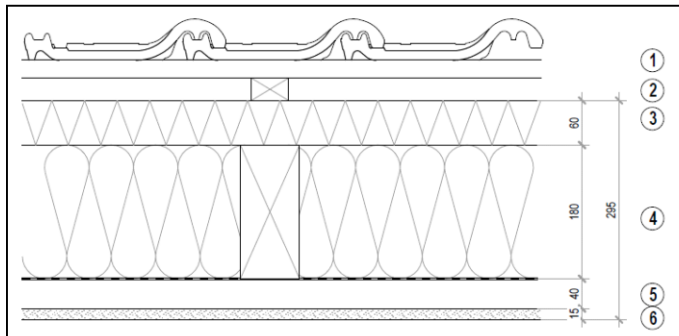
57.34 kg WLF 0.038

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus 100 mm breiten und 160 mm hohen Sparren, die in einem Abstand von 600 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 60 mm dicke Holzfaserdämmplatte. Auf einer Konterlattung gefolgt von der Dachlattung kommt die Dachdeckung zu liegen. Der Zwischenraum ist hinterlüftet.

Auf der Unterseite ist nach einer Dampfbremse eine 40 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Gipsfaserplatte befestigt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Dachdeckung	-		-	-	-
2	Hinterlüftung	-		-	-	-
3	Holzfaserdämmplatte	60		0.047	240	0.556
4	Sparren	180	100	0.130	500	0.444
4a	Wärmedämmung	180	500	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
5	Dampfbremse	-		-	-	-
6	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
6a	Luft	40	440	0.245	1	0.280
7	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.18	0.19	0.19	W/(m²·K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.14	0.15	0.16	W/(m²·K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	22.8	21.6	20.8	cm			
Differenz der äquivalenten Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	6.5	5.2	4.4	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	7.4	6.7	7.7	6.9	7.9	7.0	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	5.5	5.1	5.3	4.9	5.2	4.8	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.2.0-C

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 335 mm

**Bezeichnung** Dach mit Installationsebene (Täfer)

**Masse pro m<sup>2</sup>** 48.18 kg WLF 0.032

(ohne Dachdeckung) 59.18 kg WLF 0.036

**Beschreibung**

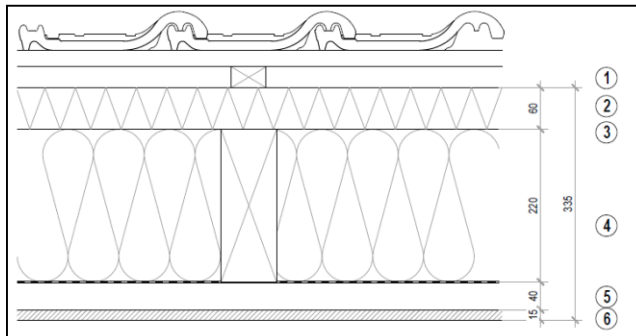
52.76 kg WLF 0.038

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus 100 mm breiten und 220 mm hohen Sparren, die in einem Abstand von 600 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 60 mm dicke Holzfaserdämmplatte. Auf einer Konterlattung gefolgt von der Dachlattung kommt die Dachdeckung zu liegen. Der Zwischenraum ist hinterlüftet.

Auf der Unterseite ist nach einer Dampfbremse eine 40 mm dicke Tragkonstruktion aus Holz angebracht an der eine 15 mm dicke Täferschicht befestigt ist.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Dachdeckung	-		-	-	-
2	Hinterlüftung	-		-	-	-
3	Holzfaserdämmplatte	60		0.047	240	0.556
4	Sparren	220	100	0.130	500	0.444
4a	Wärmedämmung	220	500	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
5	Dampfbremse	-		-	-	-
6	Lattung	40	60	0.130	500	0.444
6a	Luft	40	440	0.245	1	0.280
7	Täfer	15		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.15		0.16		0.16		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.12		0.13		0.13		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	26.5		25.1		24.4		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	8.1		6.4		5.8		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	5.7	5.2	5.9	5.4	6.2	5.5	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	5.3	4.9	5.2	4.8	5.0	4.7	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.2.1-C

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 307 mm

**Bezeichnung** Dach ohne Installationsebene (Dreischichtplatte) **Masse pro m<sup>2</sup>** 51.73 kg WLF 0.032  
(ohne Dachdeckung) 62.73 kg WLF 0.036

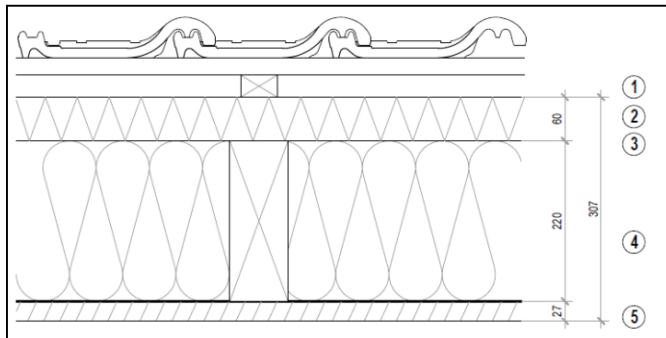
**Beschreibung** 56.32 kg WLF 0.038

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus 100 mm breiten und 220 mm hohen Sparren, die in einem Abstand von 600 mm nebeneinander angeordnet sind. Die Zwischenräume sind vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 60 mm dicke Holzfaserdämmplatte. Auf einer Konterlattung gefolgt von der Dachlattung kommt die Dachdeckung zu liegen. Der Zwischenraum ist hinterlüftet.

Auf der Unterseite ist nach einer Dampfbremse eine 27 mm dicke Dreischichtplatte befestigt.

### Querschnitt (Zeichnung)



### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Dachdeckung	-		-	-	-
2	Hinterlüftung	-		-	-	-
3	Holzfaserdämmplatte	60		0.047	240	0.556
4	Sparren	220	100	0.130	500	0.444
4a	Wärmedämmung	220	500	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
5	Dampfbremse	-		-	-	-
6	Dreischichtplatte	27		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.15	0.16	0.17	W/(m²K)			
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.12	0.13	0.13	W/(m²K)			
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	26.1	24.7	24.1	cm			
Differenz der äquivalenten Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	8.1	6.5	5.8	cm			
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit			
		ohne R	mit R	ohne R	mit R			
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	7.4	6.7	7.7	6.8	7.9	6.9	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	5.3	4.9	5.2	4.8	5.0	4.7	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.3.0

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 280 mm

**Bezeichnung** Lignaturelement LFE (Steildach)

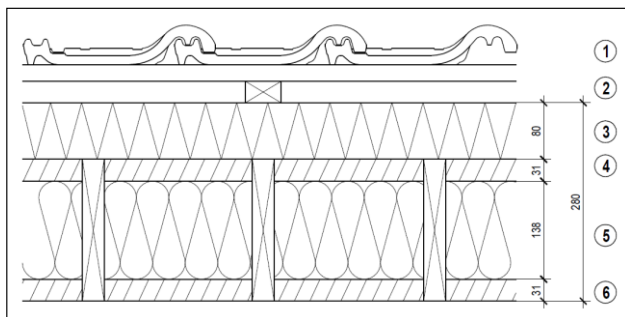
**Masse pro m<sup>2</sup>**  
(ohne Dachdeckung) 62.68 kg WLF 0.032  
69.90 kg WLF 0.036  
65.69 kg WLF 0.038

**Beschreibung**

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Das Gefach ist vollständig mit Wärmedämmung gefüllt.

Auf der Oberseite folgt eine 80 mm dicke Holzfaserdämmplatte sowie die Dachdeckung inkl. Lattung.

### Querschnitt (Zeichnung)



**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> *K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg*K)
1	Dachdeckung	-		-	-	-
2	Hinterlüftung	-		-	-	-
3	Holzfaserdämmplatte	80		0.047	240	0.556
4	Holz	31		0.130	500	0.444
5	Wärmedämmung	138	210	0.032/0.036/0.038	30/90/55	0.286/0.286/0.556
5a	Holz	138	31	0.130	500	0.444
6	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.18		0.18		0.19		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.15		0.16		0.17		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	22.9		21.8		21.3		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	3.9		3.1		2.8		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	7.7	6.9	8.0	7.1	8.3	7.2	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	4.9	4.6	4.9	4.5	4.9	4.5	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
 ● Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.3.1

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 420 mm

**Bezeichnung** Lignaturelement LFE (Flachdach)

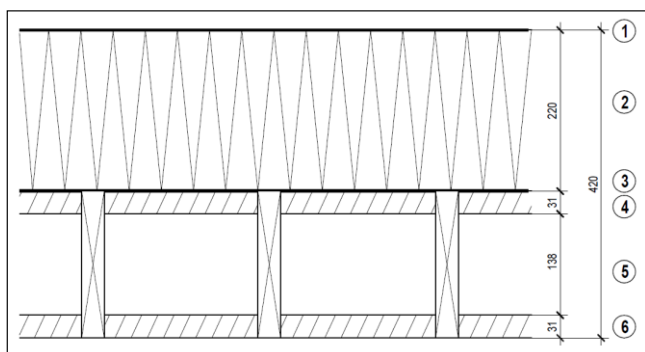
**Masse pro m<sup>2</sup>**  
 (ohne Dachdeckung) 62.00 kg WLF 0.032  
 66.40 kg WLF 0.036  
 92.80 kg WLF 0.038

**Beschreibung**

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement.

Auf der Oberseite folgt nach einer ersten Abdichtung eine 220 mm dicke Holzfaserdämmplatte. Als Abschluss folgt eine Flachdachabdichtung.

### Querschnitt (Zeichnung)



**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Abdichtung	-		-	-	-
2	Wärmedämmung	220		0.038/0.038/0.047	100/120/240	0.286/0.286/0.556
3	Abdichtung	-		-	-	-
4	Holz	31		0.130	500	0.444
5	Luft	138	210	0.300	1	0.280
5a	Holz	138	31	0.130	500	0.444
6	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.15		0.15		0.18		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.15		0.15		0.18		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	26.60		26.60		22.20		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	-0.20		-0.20		-0.20		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032		WLF 0.036		WLF 0.038		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	11.0	8.7	10.9	8.6	10.3	8.2	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	2.3	2.2	2.4	2.3	4.9	4.7	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
 ● Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.3.2

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 420 mm

**Bezeichnung** Lignaturelement LFE (Flachdach) / Schüttung

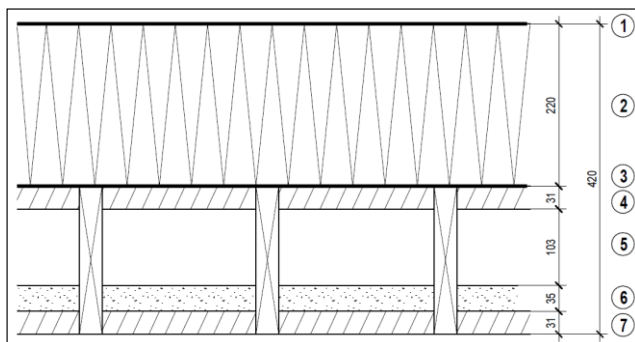
**Masse pro m<sup>2</sup>**  
 104.66 kg WLF 0.038  
 (ohne Dachdeckung) 109.06 kg WLF 0.038  
 135.46 kg WLF 0.047

**Beschreibung**

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Das Gefach ist mit 35 mm Schüttung gefüllt.

Auf der Oberseite folgt nach einer ersten Abdichtung eine 220 mm dicke Wärmedämmung. Als Abschluss folgt eine Flachdachabdichtung.

### Querschnitt (Zeichnung)



**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> *K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg*K)
1	Abdichtung	-		-	-	-
2	Wärmedämmung	220		0.038/0.038/0.047	100/120/240	0.286/0.286/0.556
3	Abdichtung	-		-	-	-
4	Holz	31		0.130	500	0.444
5	Luft	103	210	0.631	1	0.280
5a	Holz	103	31	0.130	500	0.444
6	Splitt	35	210	0.700	1400	0.286
6a	Holz	35	31	0.130	500	0.444
7	Holz	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / $d_{eq}$		WLF 0.038	WLF 0.038	WLF 0.047	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$	0.15	0.15	0.18	W/(m <sup>2</sup> *K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{gefach}$	0.15	0.15	0.18	W/(m <sup>2</sup> *K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	$d_{eq}$	26.8	26.8	22.4	cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	$\Delta d_{eq}$	-0.2	-0.2	-0.2	cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.038	WLF 0.038	WLF 0.047	Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	$\chi_i$	14.0	10.0	14.0	13.6
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	$\chi_e$	2.2	2.1	2.3	2.2

## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
 ● Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.3.3

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 400 mm

**Bezeichnung** Lignaturelement LFE Akustik

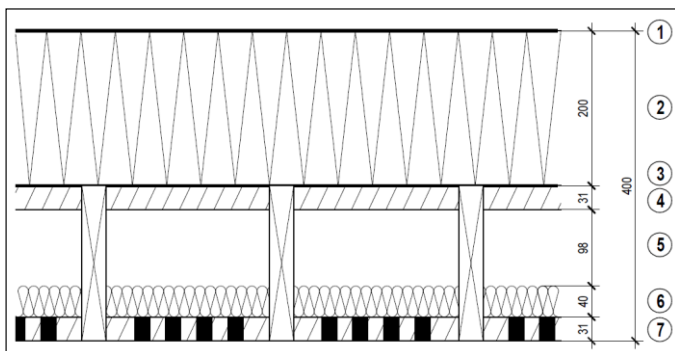
**Masse pro m<sup>2</sup>**  
 (ohne Dachdeckung) 61.01 kg WLF 0.038  
 65.01 kg WLF 0.038  
 89.88 kg WLF 0.047

**Beschreibung**

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus einem 200 mm hohen Lignatur-Deckenelement. Das Gefach ist unten mit 40 mm Schallabsorptionsplatten gefüllt.

Auf der Oberseite folgt nach einer ersten Abdichtung eine 200 mm dicke Wärmedämmung. Als Abschluss folgt eine Flachdachabdichtung.

### Querschnitt (Zeichnung)



**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Abdichtung	-		-	-	-
2	Wärmedämmung	200		0.038/0.038/0.047	100/120/240	0.286/0.286/0.556
3	Abdichtung	-			-	-
4	Holz	31		0.130	500	0.444
5	Luft	98	210	0.600	1	0.280
5a	Holz	98	31	0.130	500	0.444
6	Holzfaserdämmung	40	210	0.038	55	0.556
7	Holz	40	31	0.130	500	0.444
8	Holz (perforiert)	31		0.130	500	0.444

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.038		WLF 0.038		WLF 0.047		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.14		0.14		0.17		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.14		0.14		0.16		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	28.0		28.2		24.0		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	0.5		0.5		0.5		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.038		WLF 0.038		WLF 0.047		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	8.2	7.0	8.1	7.0	7.9	6.8	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	2.1	2.1	2.3	2.2	4.9	4.7	Wh/(m²·K)

## Konstruktionsdatenblatt

**Bauteilnummer** 2.4.0

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
Architektur, Holz und Bau

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 320 mm

**Bezeichnung** Massivholzdach (Flachdach)

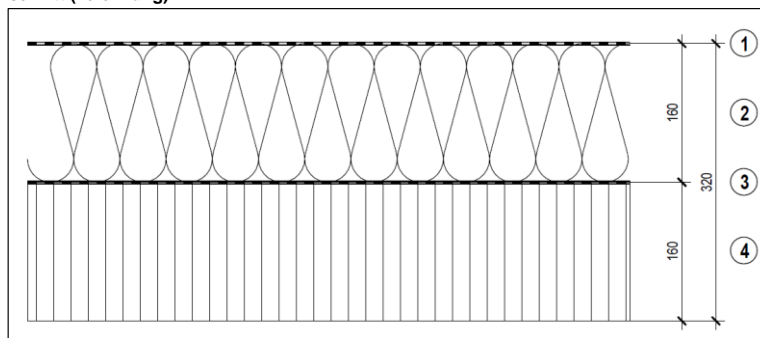
**Masse pro m<sup>2</sup>**  
96.00 kg WLF 0.038  
99.20 kg WLF 0.038  
123.20 kg WLF 0.047

**Beschreibung**

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus einer 160 mm dicken Massivholzdecke.

Auf der Oberseite folgt nach eine Abdichtungsbahn mit einer 160 mm dicken Wärmedämmung. Als Abschluss folgt eine Flachdachabdichtung.

### Querschnitt (Zeichnung)



**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleitfähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Abdichtung	-		-	-	-
2	Wärmedämmung	160*		0.038/0.038/0.047	100/120/240	0.286/0.286/0.556
3	Abdichtung	-		-	-	-
4	Holz	160		0.130	500	0.444

\* Bei der Holzfaserdämmung wurde eine Dicke von 180 mm verwendet

### Ergebnisse

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.038		WLF 0.038		WLF 0.047		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.18		0.18		0.19		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.18		0.18		0.19		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	22.4		22.4		20.9		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	-		-		-		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.038		WLF 0.038		WLF 0.047		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	10.6	8.3	10.6	8.2	10.5	8.2	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	2.0	1.9	2.2	2.1	4.9	4.7	Wh/(m²·K)



## Konstruktionsdatenblatt

● ● ● ● ● **Berner Fachhochschule**  
 ● Architektur, Holz und Bau

**Bauteilnummer** 2.5.0

**Baugruppe** Dach

**Gesamtdicke** 410 mm

**Bezeichnung** Massivdach

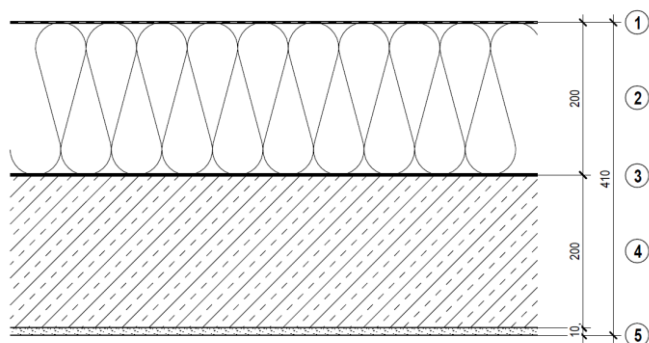
**Masse pro m<sup>2</sup>** 494.00 kg WLF 0.038  
 498.00 kg WLF 0.038

**Beschreibung**

Der statisch konstruktive Dachaufbau besteht aus einer 200 mm dicken Betondecke die auf der Unterseite mit 10 mm Innenputz versehen ist.

Auf der Oberseite folgt nach eine Abdichtungsbahn mit einer 160 mm dicken Wärmedämmung. Als Abschluss folgt eine Flachdachabdichtung .

**Querschnitt (Zeichnung)**



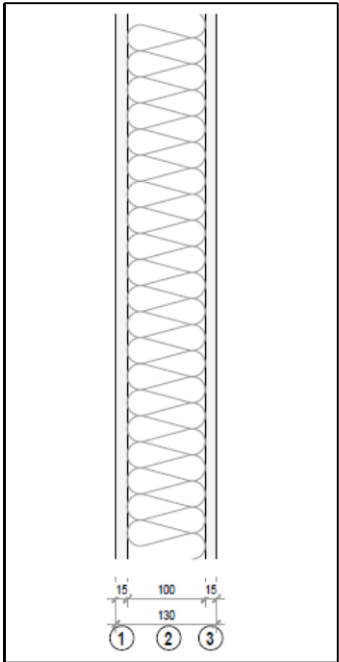
**Aufbau** von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Abdichtung	-		-	-	-
2	Wärmedämmung	200		0.038/0.038/-	100/120/-	0.286/0.286/-
3	Abdichtung	-		-	-	-
4	Beton	200		2.300	2300	0.278
5	Innenputz	10		0.700	1400	0.250

**Ergebnisse**

U- Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.038		WLF 0.038		-		Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>	0.18		0.18		-		W/(m²·K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>	0.18		0.18		-		W/(m²·K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>	22.1		22.1		-		cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	Δd <sub>eq</sub>	-		-		-		cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.038		WLF 0.038		-		Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	χ <sub>i</sub>	72.0	22.1	71.9	22.1	-	-	Wh/(m²·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	χ <sub>e</sub>	2.3	2.0	2.5	2.2	-	-	Wh/(m²·K)

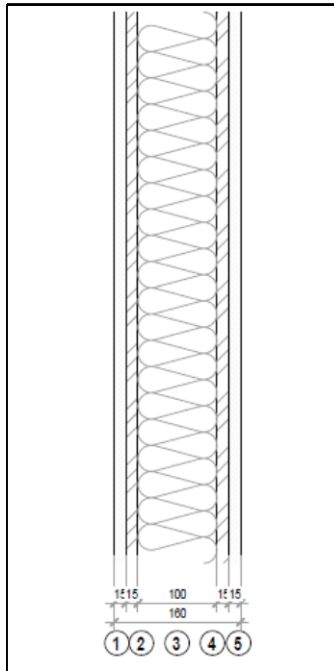
## 12.6 INNENWANDKONSTRUKTIONEN

Konstruktionsdatenblatt								
<b>Querschnitt (Zeichnung)</b>  		<div style="text-align: right; font-size: small;">             Berner Fachhochschule              Architektur, Holz und Bau           </div> <b>Bauteilnummer</b> 4.1  <b>Baugruppe</b> Innenwand  <b>Bezeichnung</b> Innenwand einfach  <b>Beschreibung</b>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Der statisch konstruktive Innenwandaufbau besteht aus 100 mm dicken und 60 mm breiten Holzständern, die in einem Abstand von 625 mm vertikal nebeneinander angeordnet sind. Der Zwischenraum ist vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.</p> <p>Die Innenwand ist beidseitig mit jeweils einer 15 mm dicken Gipsfaserplatten belegt.</p> </div>						
<b>Gesamtdicke</b>		130		mm				
<b>Masse pro m<sup>2</sup></b>		42.01	kg	WLF 0.032				
		47.44	kg	WLF 0.036				
		44.27	kg	WLF 0.038				
<b>Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)</b>								
Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm <small>(falls variiert)</small>	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)		
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278		
2	Wärmedämmung	100	565	0.032 / 0.036 / 0.038	30 / 90 / 55	0.286 / 0.286 / 0.556		
2a	Holzständer	100	60	0.130	500	0.444		
3	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278		
<b>Ergebnisse</b>								
U-Wert / $d_{eq}$				WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.039	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)		$U_m$					W/(m <sup>2</sup> K)	
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)		$U_{gefach}$					W/(m <sup>2</sup> K)	
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)		$d_{eq}$					cm	
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)		$\Delta d_{eq}$					cm	
Wärmekapazitäten				WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.039	Einheit	
				ohne R	mit R	ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen		$\chi_i$	5.9	5.7	6.6	6.4	7.3	Wh/(m <sup>2</sup> K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen		$\chi_e$	5.9	5.7	6.6	6.4	7.3	Wh/(m <sup>2</sup> K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
• • • • Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 4.2

**Baugruppe** Innenwand

**Bezeichnung** Innenwand doppelt

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Innenwandaufbau besteht aus 100 mm dicken und 60 mm breiten Holzständern, die in einem Abstand von 625 mm vertikal nebeneinander angeordnet sind. Der Zwischenraum ist vollständig mit Wärmedämmung ausgefüllt.

Die Innenwand ist beidseitig mit jeweils einer 15 mm dicken OSB Platte, gefolgt von einer 15 mm dicken Gipsfaserplatten belegt.

**Gesamtdicke** 160 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>**

61.51	kg	WLF 0.032
66.94	kg	WLF 0.036
63.77	kg	WLF 0.038

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	OSB Platte	15		0.130	650	0.472
3	Wärmedämmung	100	565	0.032 / 0.036 / 0.038	30/90/55	0.286 / 0.286 / 0.556
3a	Holzständer	100	60	0.130	500	0.444
4	OSB Platte	15		0.130	650	0.472
5	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

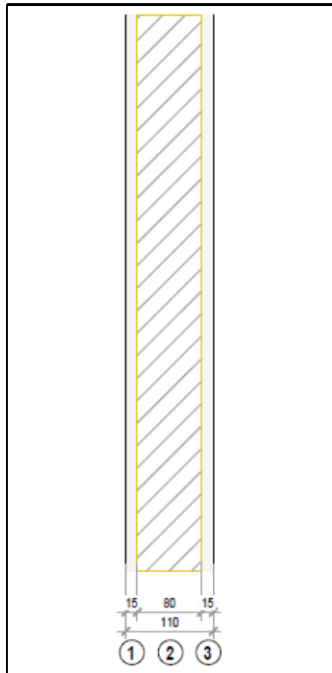
### Ergebnisse

U - Wert / d <sub>eq</sub>		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>				W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>				W/(m <sup>2</sup> K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>				cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	$\Delta d_{eq}$				cm
Wärmekapazitäten		WLF 0.032	WLF 0.036	WLF 0.038	Einheit
		ohne R	mit R	ohne R	mit R
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	$\chi_i$	10.4	9.4	11.0	9.8
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	$\chi_e$	10.4	9.4	11.0	9.8

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 4.3

**Baugruppe** Innenwand

**Bezeichnung** Innenwand als Vollholzkonstruktion

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Innenwandaufbau besteht aus einer 80 mm dicken Massivholzwand.

Die Massivholzwand ist beidseitig mit einer 15 mm dicken Gipsfaserplatten belegt.

**Gesamtdicke** 110 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>** 74.50 kg

### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278
2	Massivholzwand	80		0.130	500	0.444
3	Gipsfaserplatte	15		0.320	1150	0.278

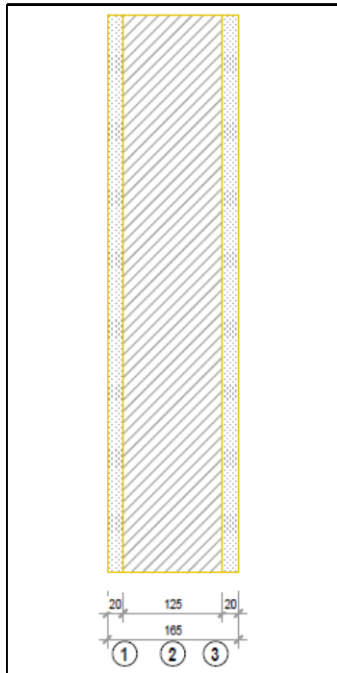
### Ergebnisse

U - Wert / $d_{eq}$				Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	$U_m$			W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	$U_{gefach}$			W/(m <sup>2</sup> K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	$d_{eq}$			cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	$\Delta d_{eq}$			cm
Wärmekapazitäten				Einheit
		ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	$\chi_i$	12.9	10.8	Wh/(m <sup>2</sup> ·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	$\chi_e$	12.9	10.8	Wh/(m <sup>2</sup> ·K)

## Konstruktionsdatenblatt

• • • • Berner Fachhochschule  
• • • • Architektur, Holz und Bau

### Querschnitt (Zeichnung)



**Bauteilnummer** 4.4

**Baugruppe** Innenwand

**Bezeichnung** Innenwand Massiv

### Beschreibung

Der statisch konstruktive Innenwandaufbau besteht aus 125 mm dicken Backsteinen der zu beiden Seiten mit jeweils 20 mm Innenputz versehen ist.

**Gesamtdicke** 165 mm

**Masse pro m<sup>2</sup>** 243.50 kg

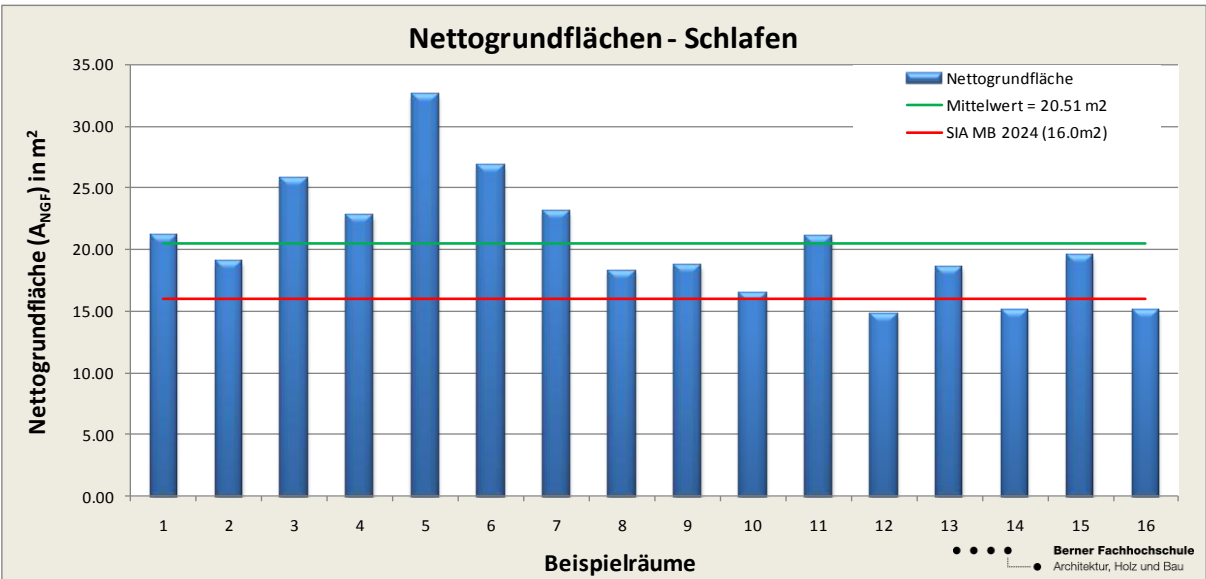
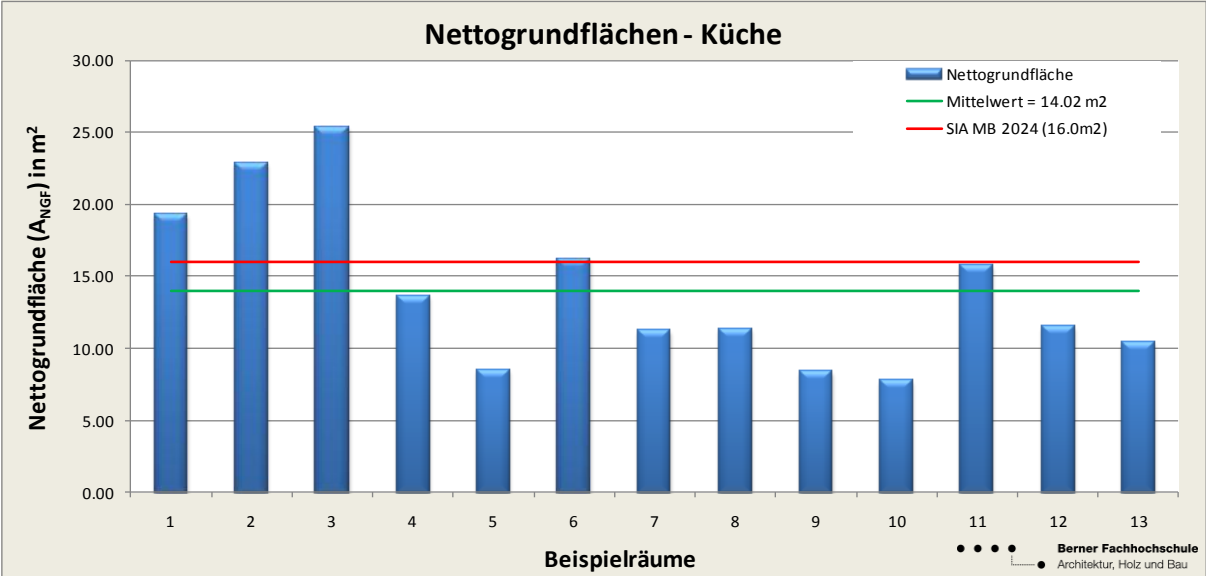
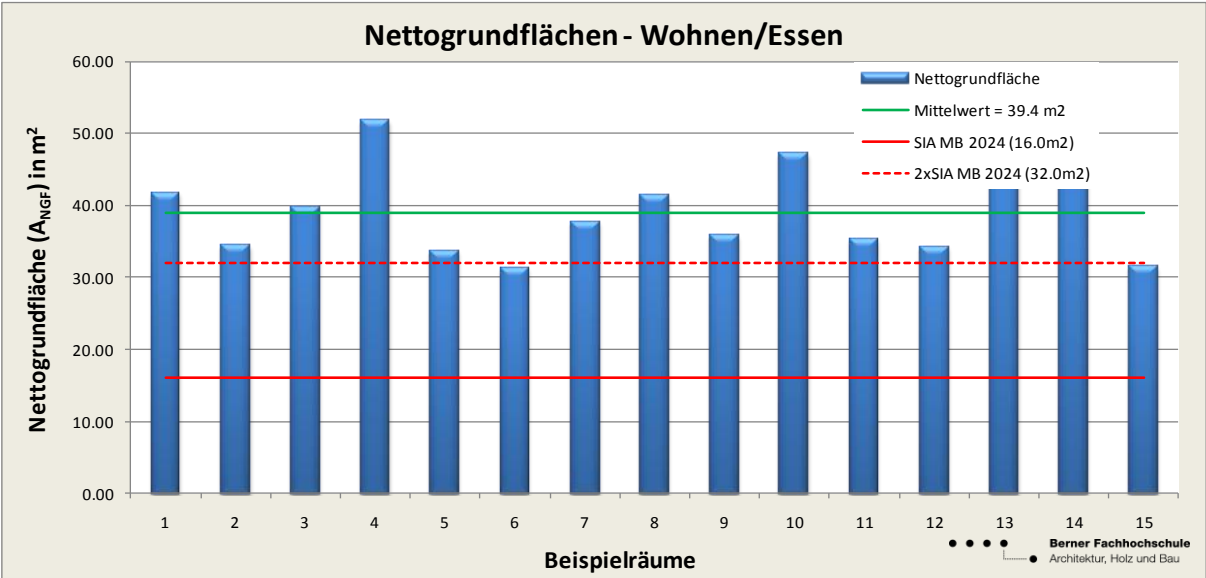
### Aufbau von innen (oben) nach aussen (unten)

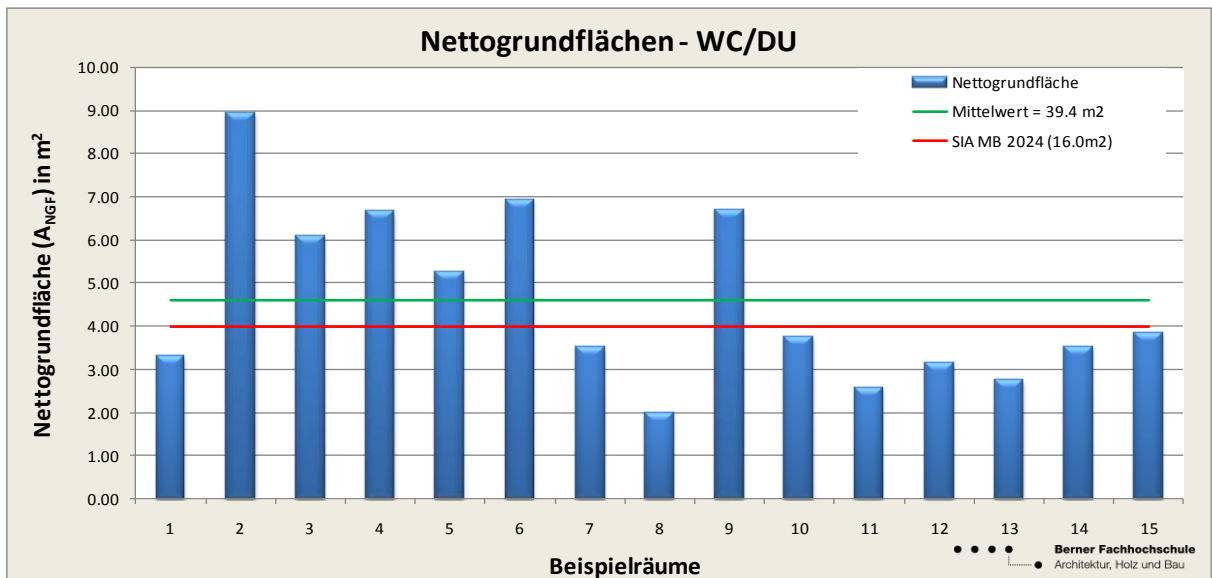
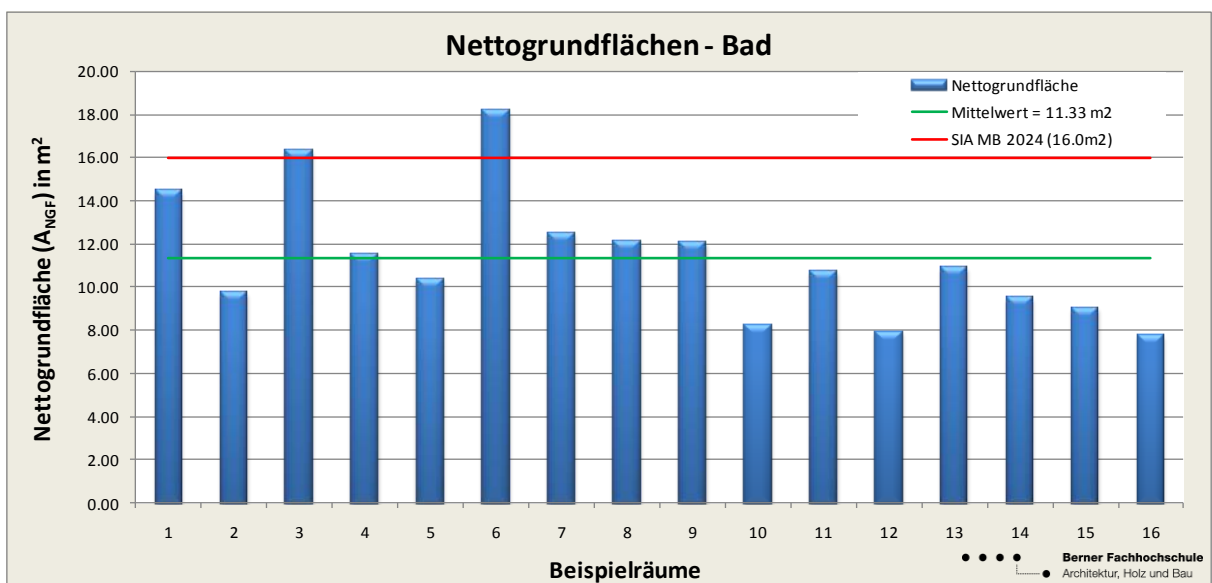
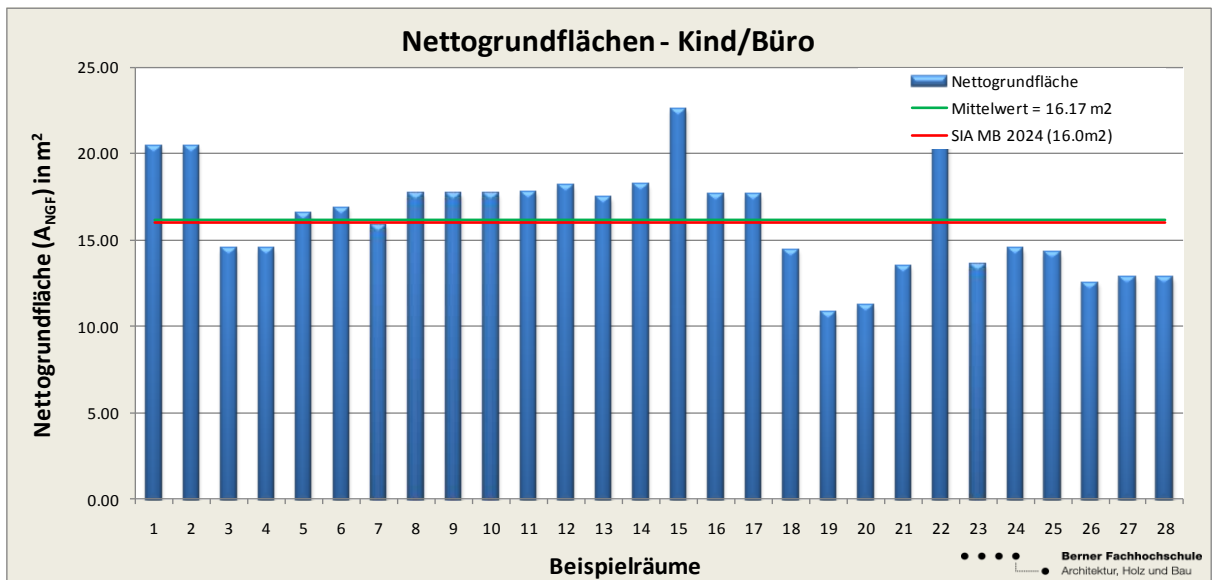
Nr.	Baustoff	Dicke d in mm	Breite b in mm (falls variiert)	Wärmeleit- fähigkeit (WLF) $\lambda$ in W/(m <sup>2</sup> K)	Rohdichte $\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	spez. Wärmekapazität $C_p$ in Wh/(kg·K)
1	Innenputz	20		0.700	1400	0.250
2	Backstein	125		0.500	1500	0.261
3	Innenputz	20		0.700	1400	0.250

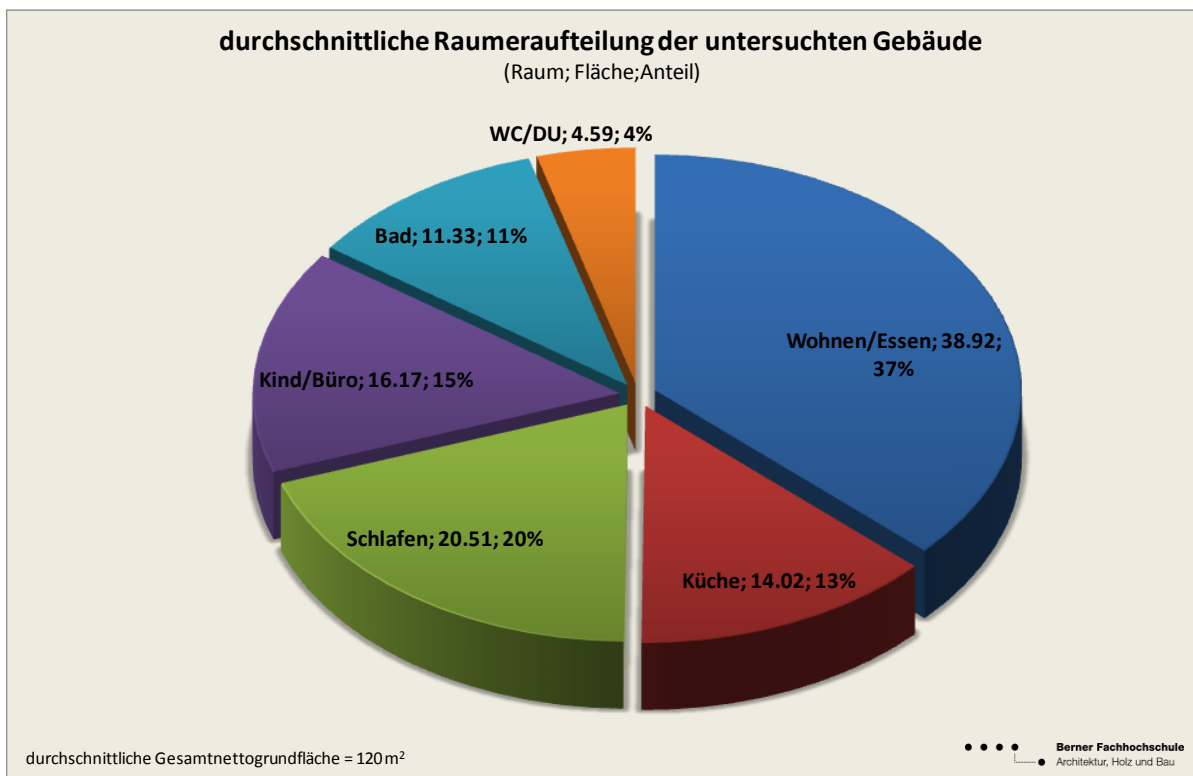
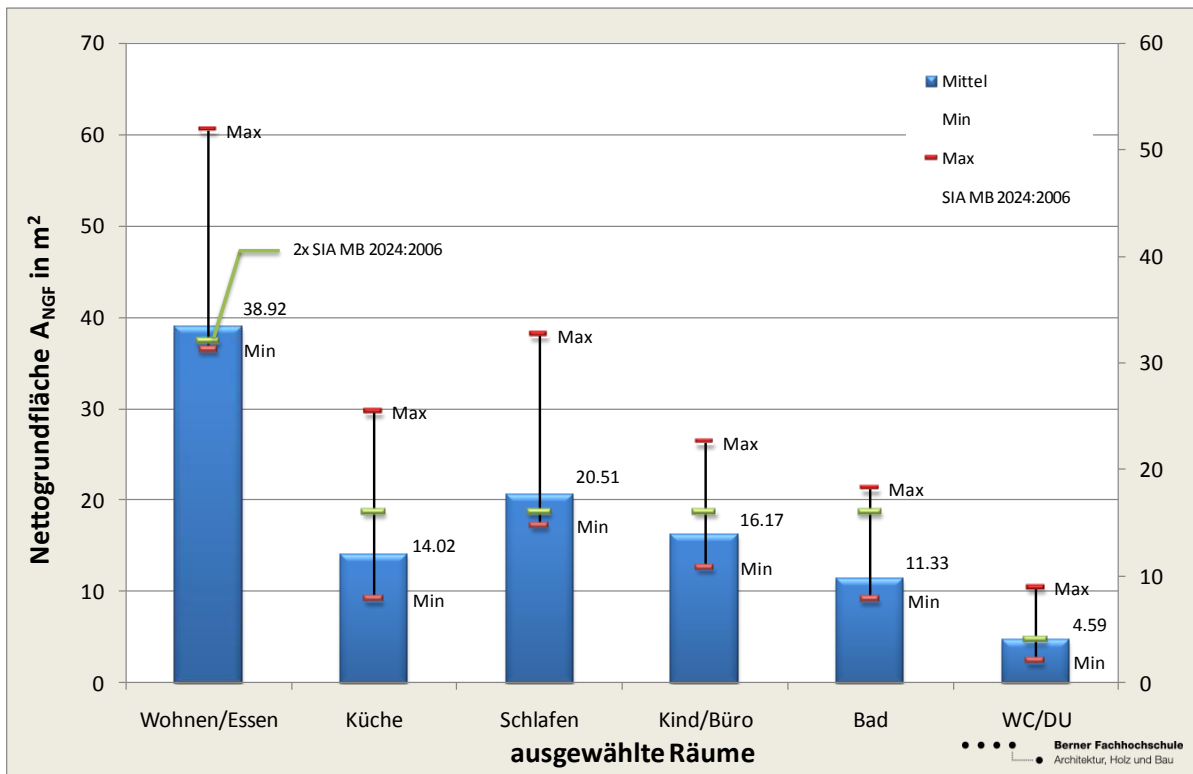
### Ergebnisse

U - Wert / d <sub>eq</sub>				Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient (Mittelwert)	U <sub>m</sub>			W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmedurchgangskoeffizient (Gefach)	U <sub>gefach</sub>			W/(m <sup>2</sup> K)
Äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert)	d <sub>eq</sub>			cm
Differenz der äquivalente Dämmstoffdicke (Mittelwert/Gefach)	$\Delta d_{eq}$			cm
Wärmekapazitäten				Einheit
		ohne R	mit R	
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität innen	$\chi_i$	28.5	17.6	Wh/(m <sup>2</sup> ·K)
Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität aussen	$\chi_e$	28.5	17.6	Wh/(m <sup>2</sup> ·K)

12.7 ANALYSE RAUMGRÖSSEN

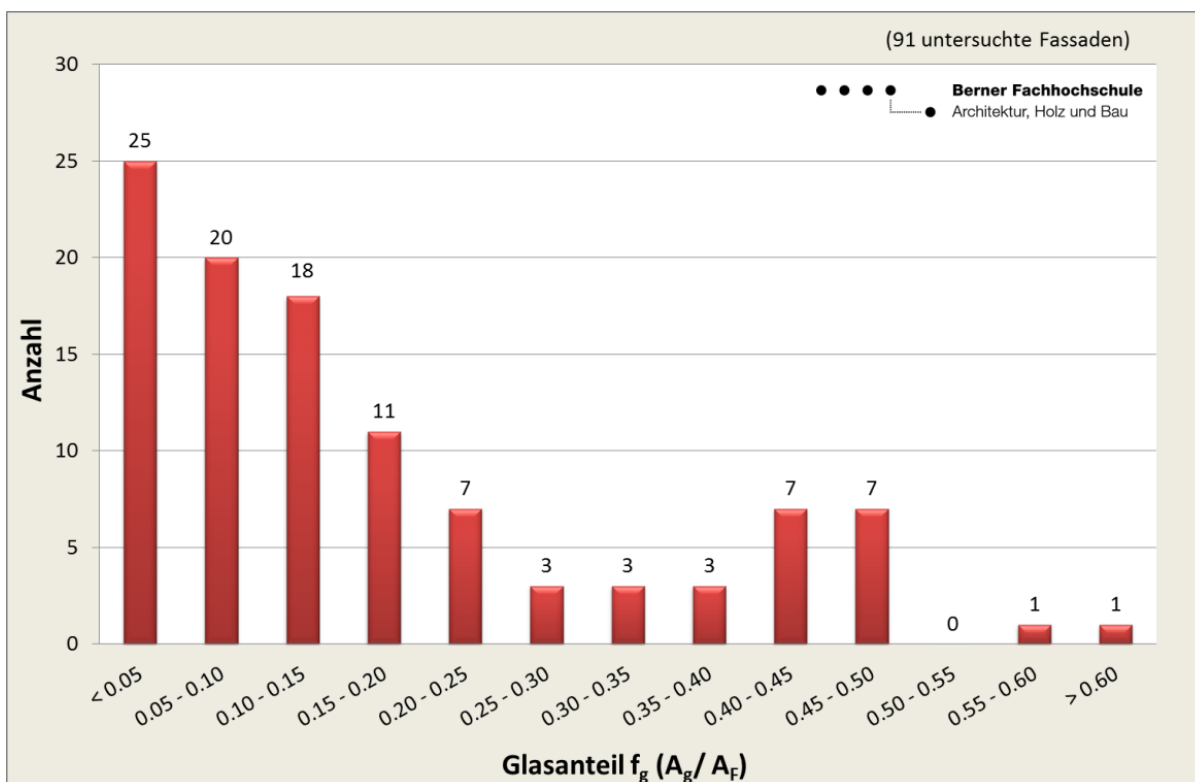
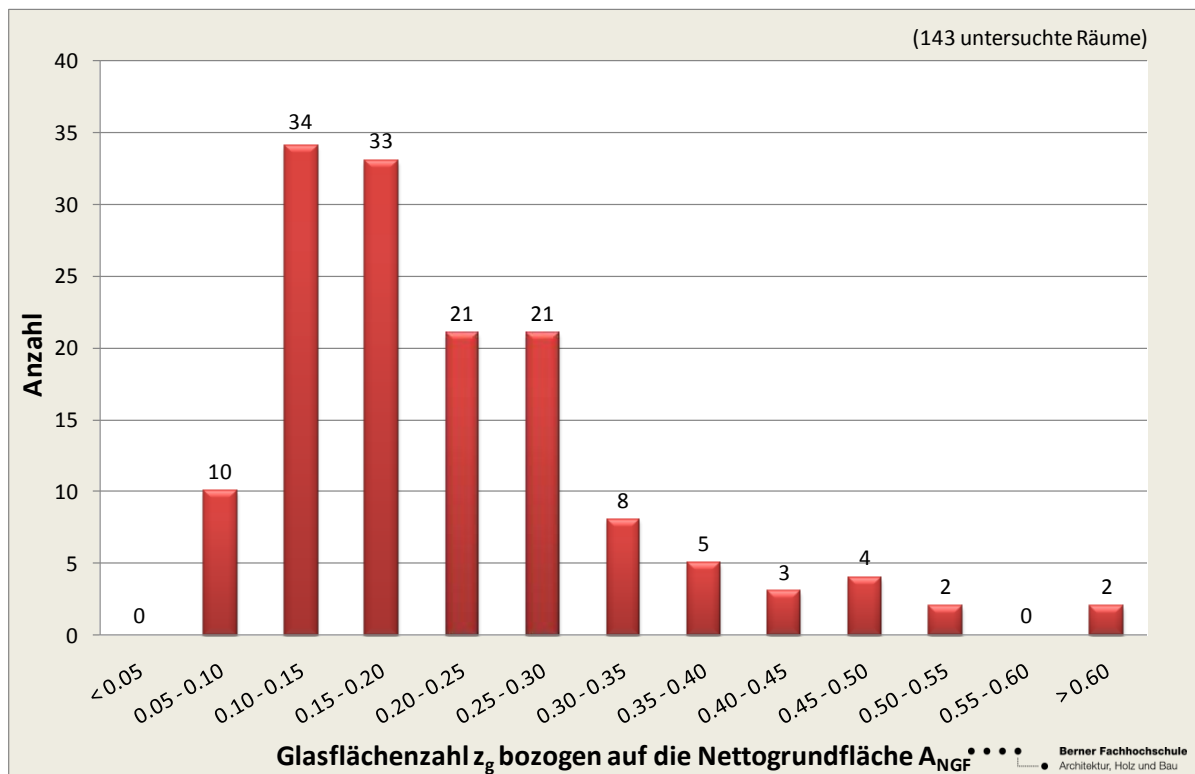


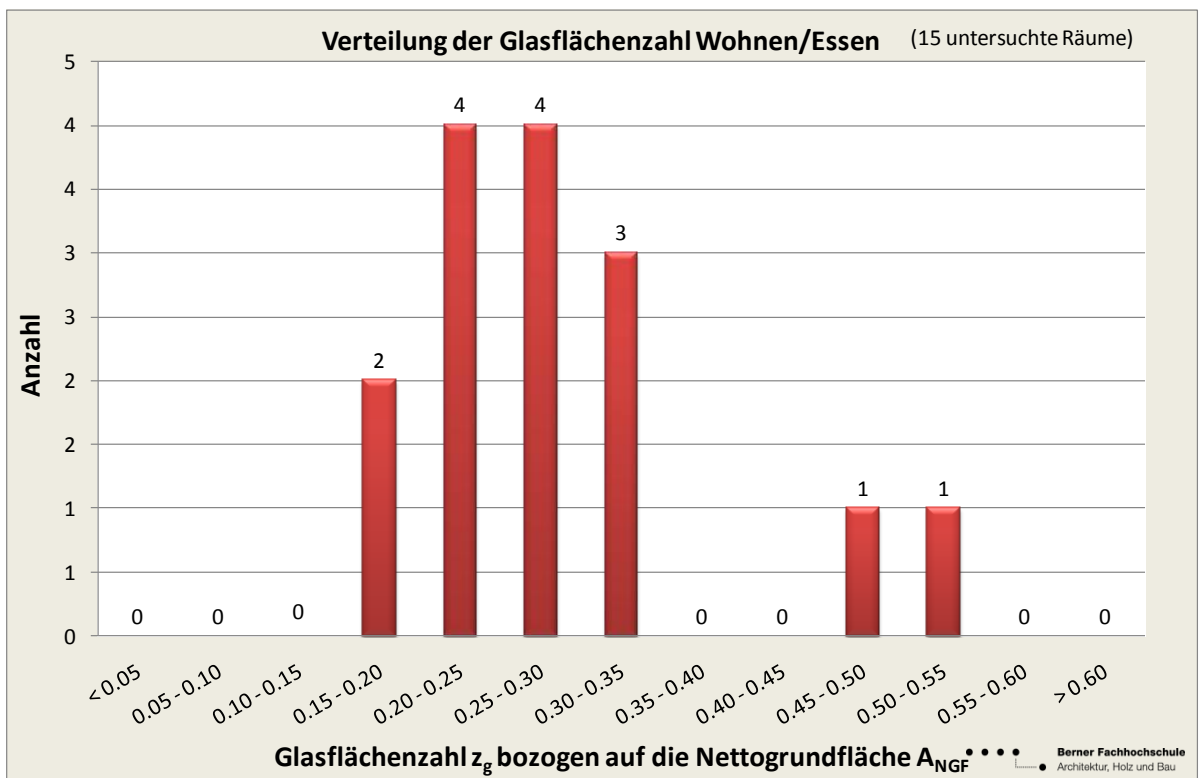
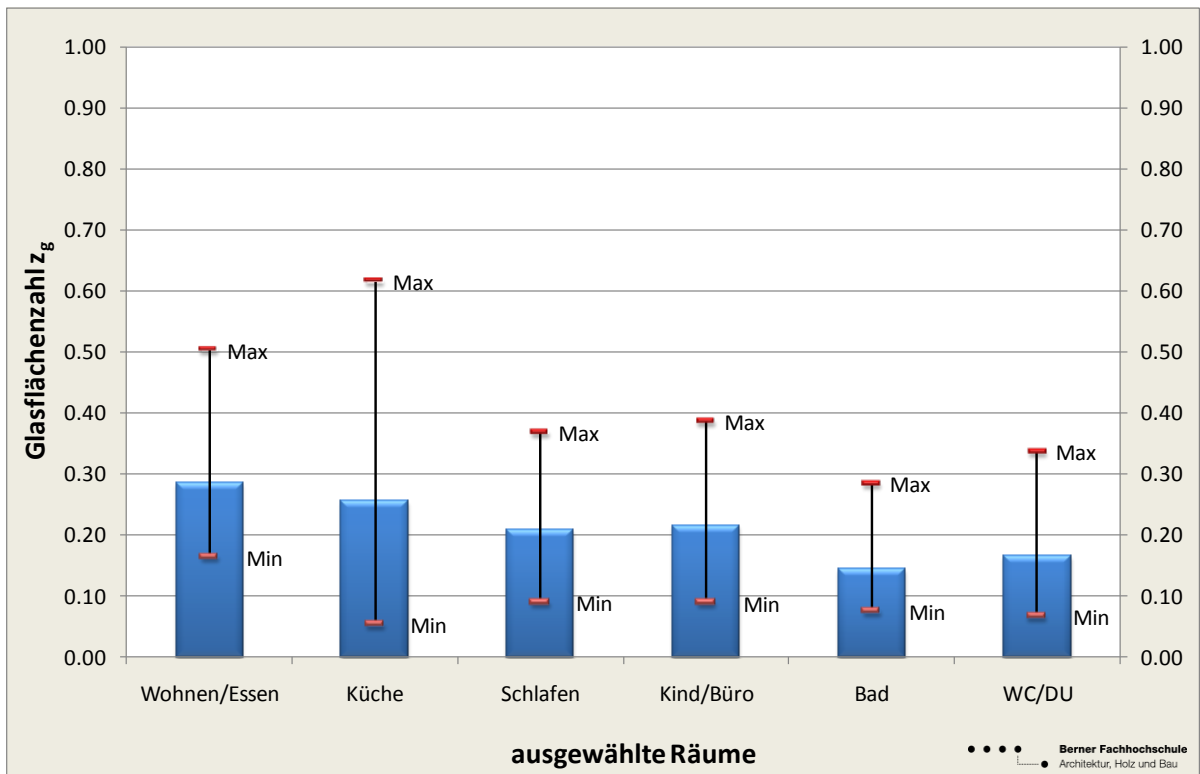


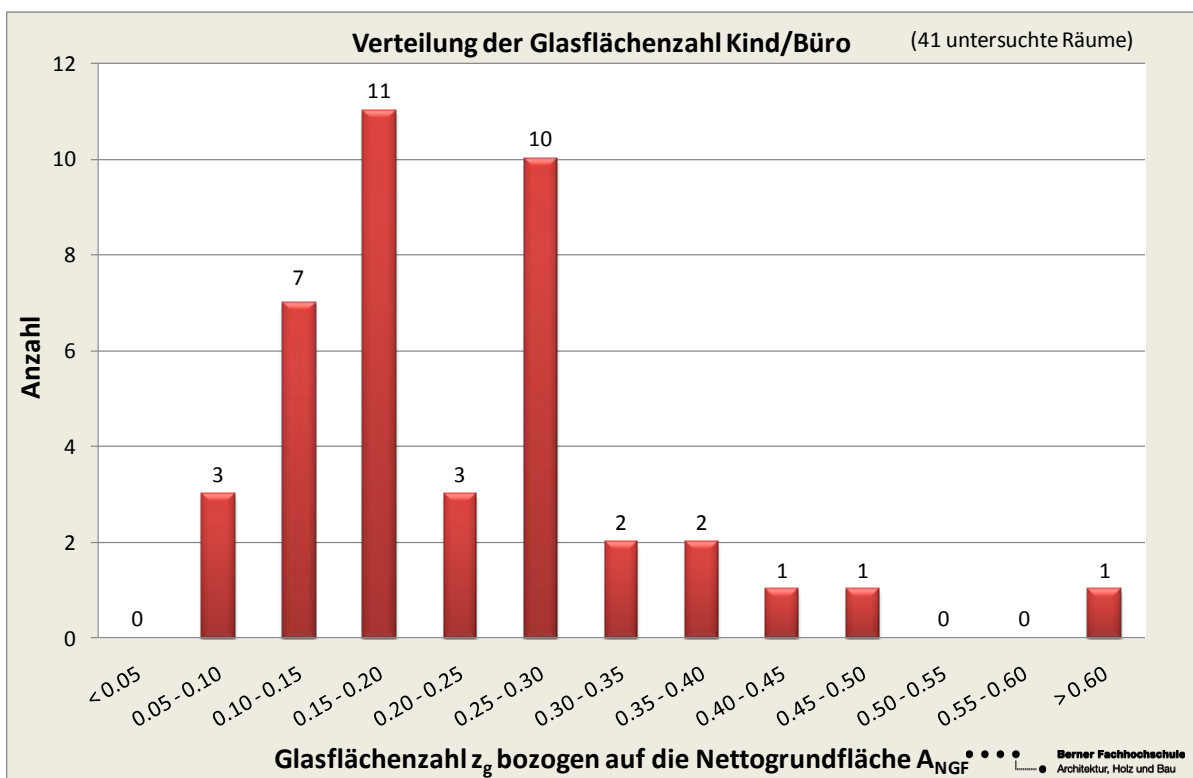
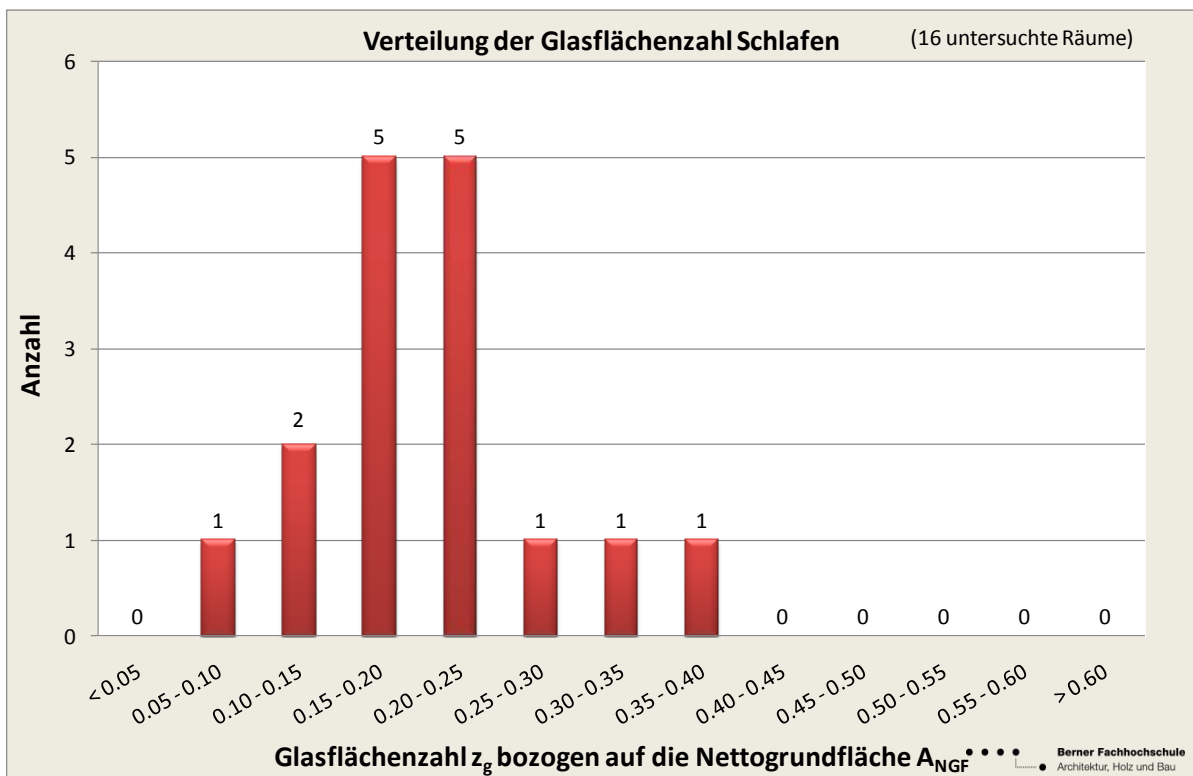


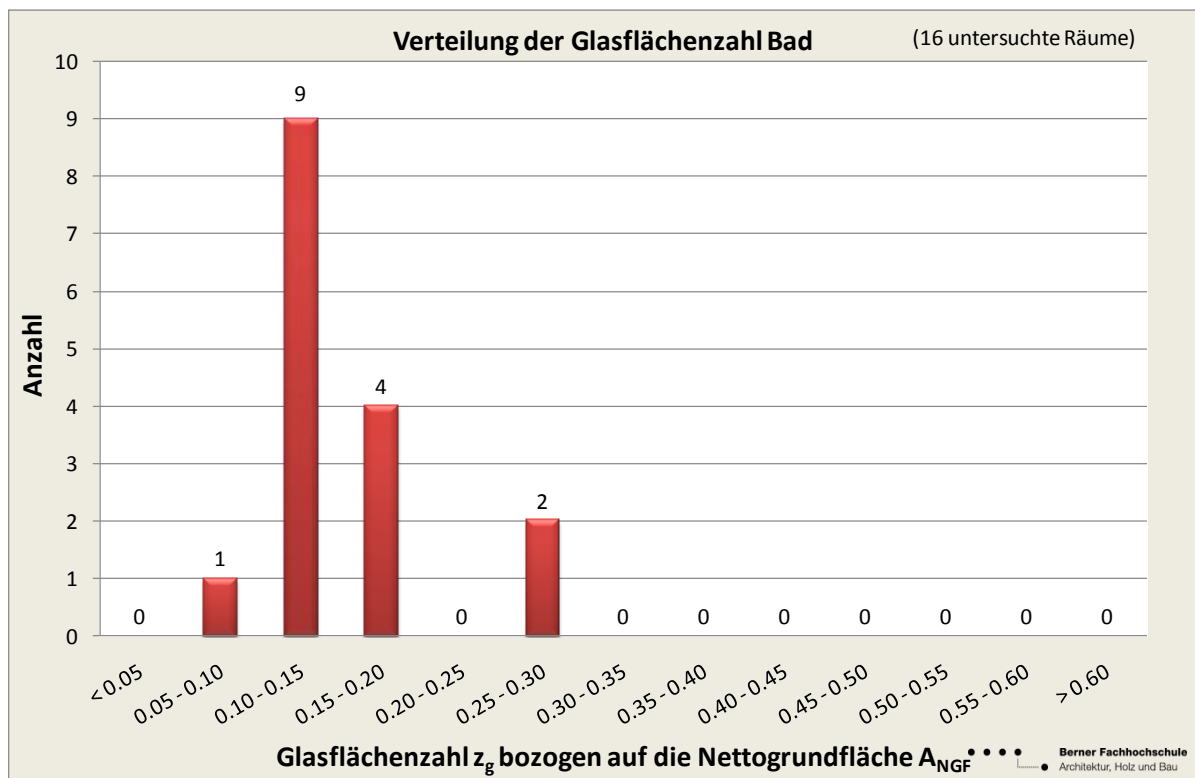


## 12.8 ANALYSE FENSTERFLÄCHEN

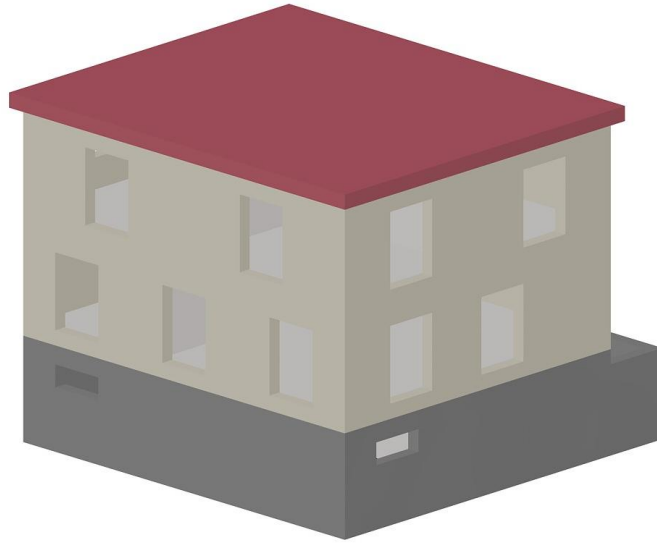




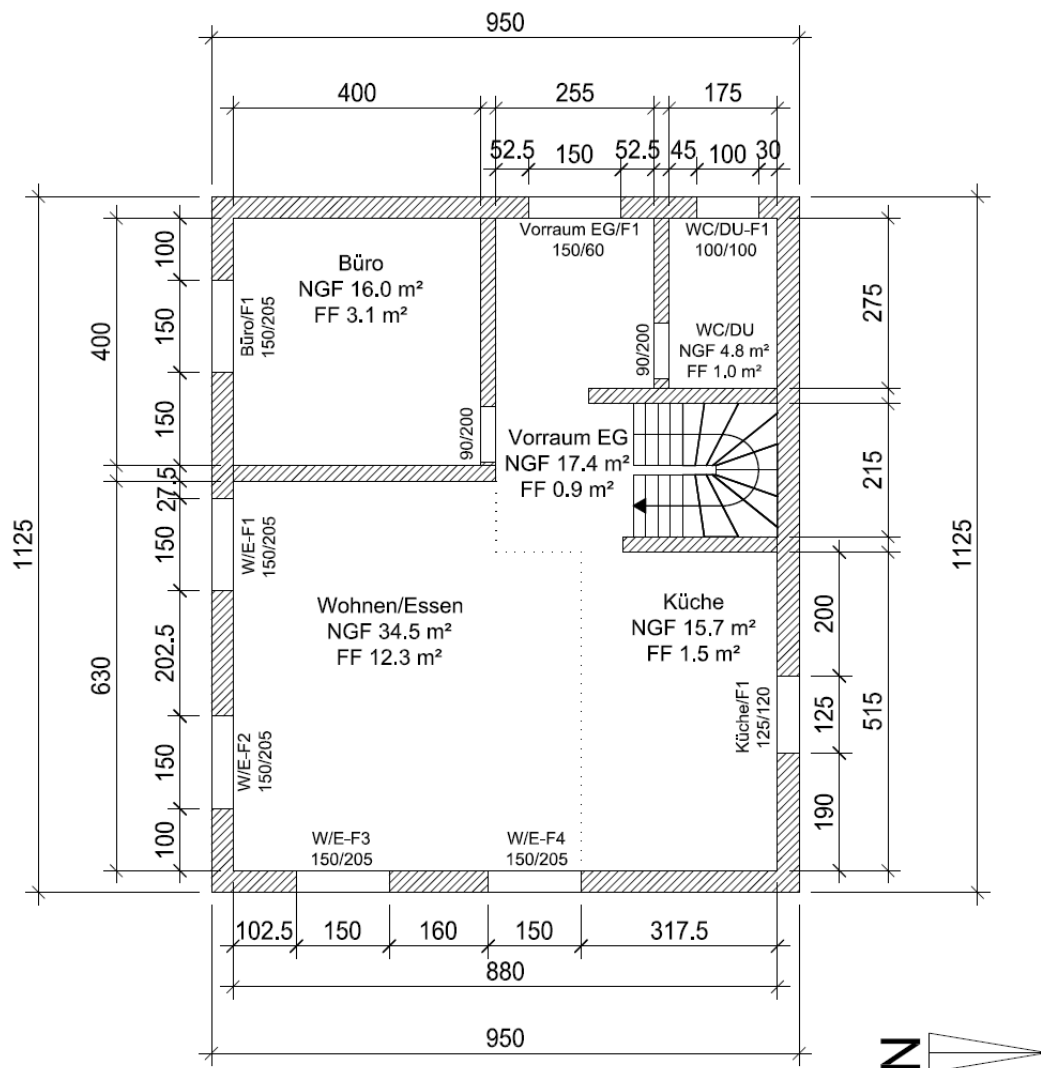




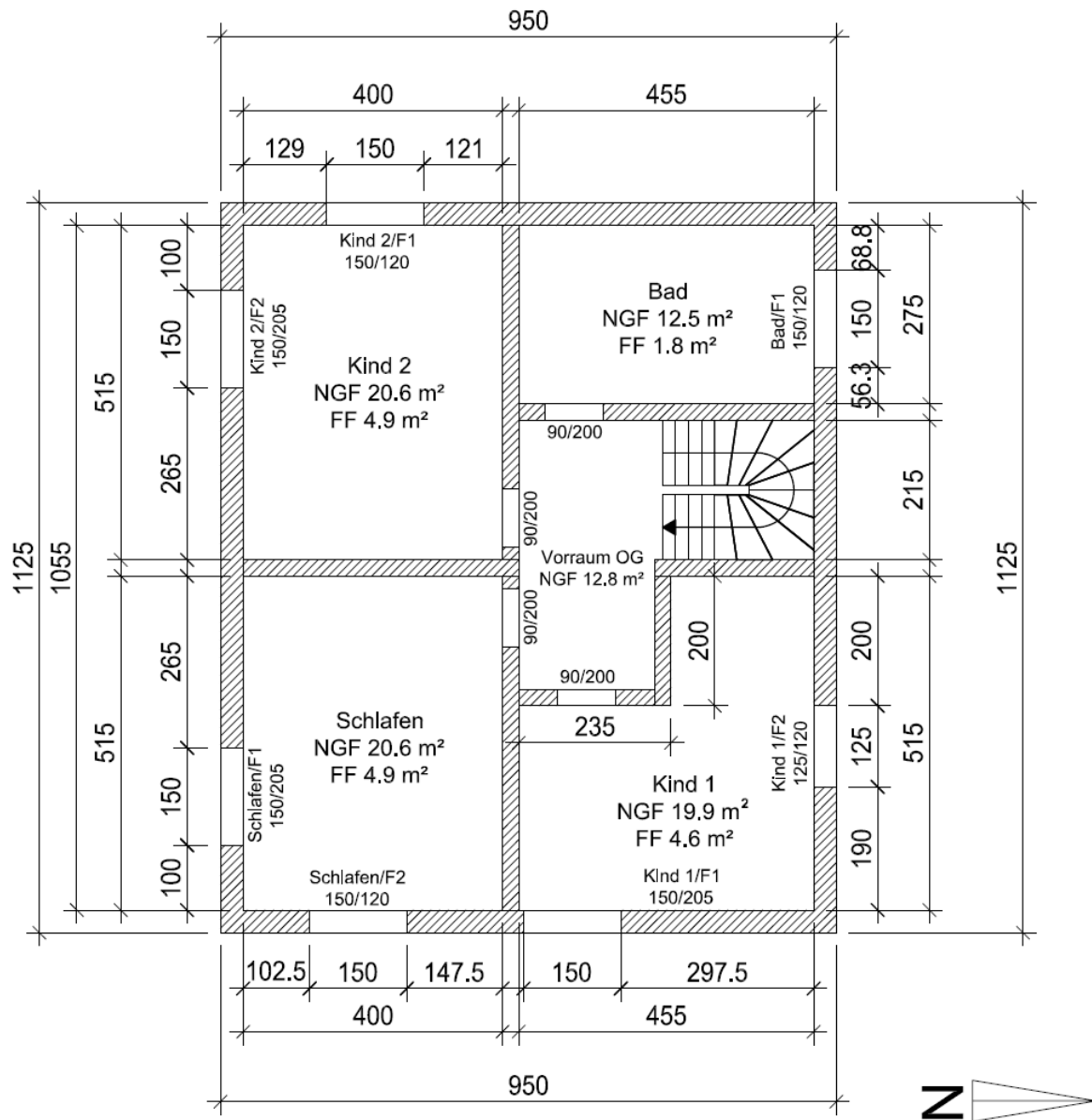
## 12.9 EINGABEPARAMETER REFERENZHAUS



### Erdgeschoss



# Obergeschoss

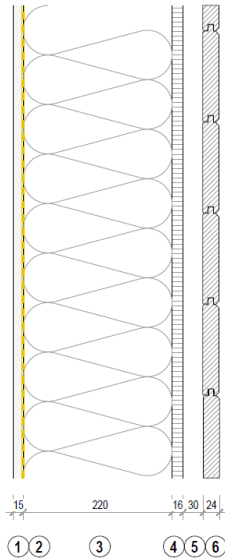


## Referenzgebäude

Holzrahmenbau – einfach beplankt – Holzfussboden

Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes: 24 Wh/m<sup>2</sup>\*K

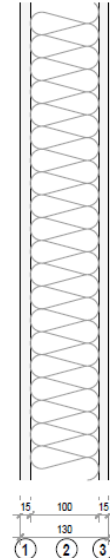
### 1.3.0 Aussenwand



#### Technische Daten (WLF 0.032):

U-Wert =	0.17	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne R <sub>si</sub> ) =	6.6	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit R <sub>si</sub> ) =	6.2	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

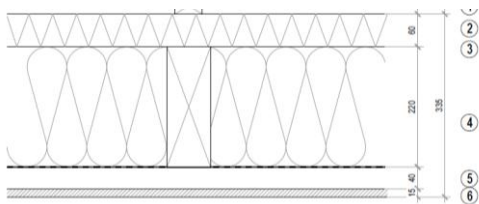
### 4.1 Innenwand



#### Technische Daten (WLF 0.032):

C <sub>i</sub> (ohne R <sub>si</sub> ) =	5.9	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit R <sub>si</sub> ) =	5.7	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

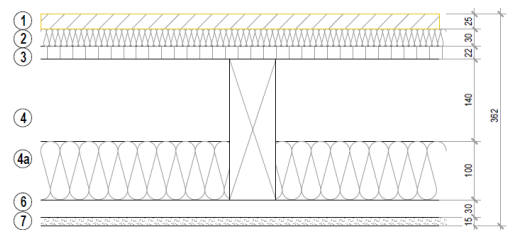
### 2.2.0-C Dach



#### Technische Daten (WLF 0.032):

U-Wert =	0.15	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne R <sub>si</sub> ) =	5.7	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit R <sub>si</sub> ) =	5.2	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

### 3.1.3 Decke/Fussboden



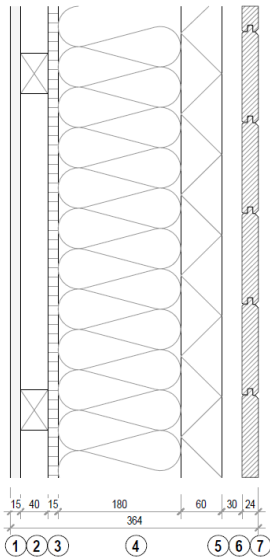
#### Technische Daten (WLF 0.032):

U-Wert =	0.23	W/m <sup>2</sup> *K
Oben als Decke:		
C <sub>i</sub> (ohne R <sub>si</sub> ) =	7.1	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit R <sub>si</sub> ) =	6.2	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
Unten als Fussboden:		
C <sub>i</sub> (ohne R <sub>si</sub> ) =	7.1	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit R <sub>si</sub> ) =	6.5	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

## Holzrahmenbau – doppelt beplankt – Zementunterlagsboden

Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes: 47 Wh/m<sup>2</sup>\*K

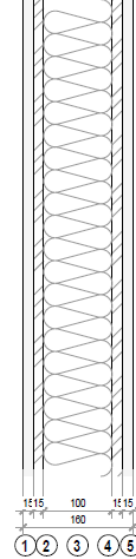
### 1.1.2 Aussenwand



**Technische Daten (WLF 0.032):**

U-Wert =	0.16	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	10.2	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	8.8	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

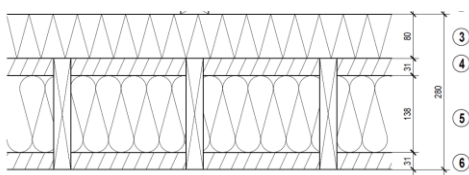
### 4.2 Innenwand



**Technische Daten (WLF 0.032):**

C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	10.4	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	9.4	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

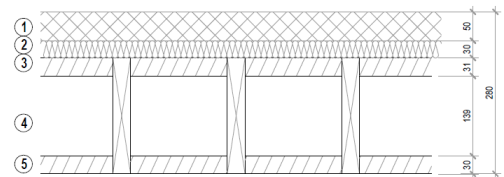
### 2.3.0 Dach



**Technische Daten (WLF 0.032):**

U-Wert =	0.18	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	7.7	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	6.9	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

### 3.2.1 Decke/Fussboden



**Technische Daten (WLF 0.032):**

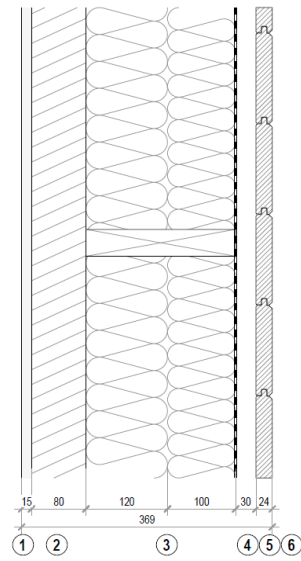
U-Wert =	0.52	W/m <sup>2</sup> *K
Oben als Decke:		
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	32.3	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	20.4	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
Unten als Fussboden:		
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	11.0	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	9.0	Wh/(m <sup>2</sup> *K)



## Holzmassivkonstruktion – Zementunterlagsboden

Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes: 50 Wh/m<sup>2</sup>\*K

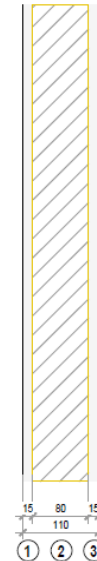
### 1.4.0 Aussenwand



#### Technische Daten (WLF 0.032):

U-Wert =	0.16	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	14.5	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	10.8	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

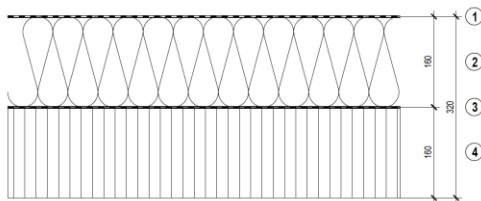
### 4.4 Innenwand



#### Technische Daten:

C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	12.9	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	10.8	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

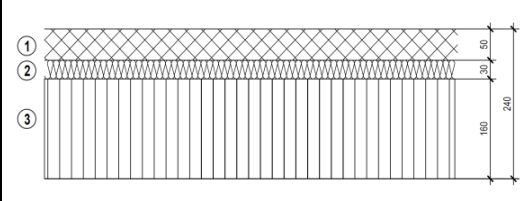
### 2.4.0 Dach



#### Technische Daten (WLF 0.038):

U-Wert =	0.18	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	10.6	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	8.3	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

### 3.4.0 Decke/Fussboden



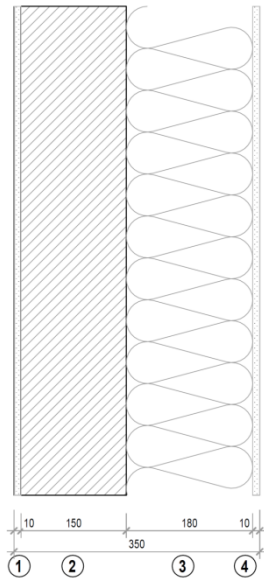
#### Technische Daten (WLF 0.032):

U-Wert =	0.41	W/m <sup>2</sup> *K
Oben als Decke:		
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	31.3	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	19.7	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
Unten als Fussboden:		
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	11.1	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	8.4	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

## Backsteinmassivkonstruktion – Zementunterlagsboden

Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes: 75 Wh/m<sup>2</sup>\*K

### 1.5.0 Aussenwand



#### Technische Daten (WLF 0.038):

U-Wert =	0.19	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	22.2	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	13.9	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

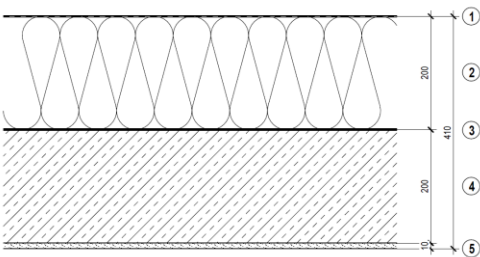
### 4.5 Innenwand



#### Technische Daten:

C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	28.5	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	17.6	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

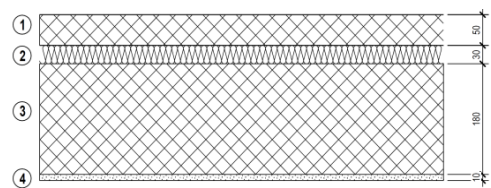
### 2.5.0 Dach



#### Technische Daten (WLF 0.038):

U-Wert =	0.18	W/m <sup>2</sup> *K
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	72.0	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	22.1	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

### 3.5.0 Decke/Fussboden



#### Technische Daten (WLF 0.032):

U-Wert =	0.75	W/m <sup>2</sup> *K
Oben als Decke:		
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	32.3	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	19.5	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
Unten als Fussboden:		
C <sub>i</sub> (ohne Rsi) =	72.7	Wh/(m <sup>2</sup> *K)
C <sub>i</sub> (mit Rsi) =	22.6	Wh/(m <sup>2</sup> *K)

## Variation der Fenstergrössen für die Parameteruntersuchung

### Referenzhaus zg 0.08

Raum	Geschoss	Orient.	Fenster-anzahl	Fenster 1 - Breite [m]	Fenster 1- Höhe [m]	Fenster 2 - Breite [m]	Fenster 2- Höhe [m]	Fenster-öffnungs-fläche [m <sup>2</sup> ]	Faktor für Glasfläche	Glasfläche [m <sup>2</sup> ]
Wohnen/Essen	EG	O, S	4	0,80	1,80	-	-	5,76	0,85	4,90
Küche	EG	N, O	1	0,60	0,60	-	-	0,36	0,85	0,31
W/E-Küche	EG	N, O, S	5	0,80	1,80	0,60	0,60	6,12	0,85	5,20
WC/DU	EG	W, N	1	1,00	0,50	-	-	0,50	0,85	0,43
Büro	EG	S, W	1	0,90	2,00	-	-	1,80	0,85	1,53
Flur	EG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schlafen	OG	O, S	2	0,80	2,05	0,80	1,00	2,44	0,85	2,07
Kind 1	OG	N, O	2	0,80	2,05	0,80	1,00	2,44	0,85	2,07
Kind 2	OG	S, W	2	0,80	1,00	0,80	2,05	2,44	0,85	2,07
Bad	OG	W, N	1	1,50	1,00	-	-	1,50	0,85	1,28
Flur/Treppe	OG	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### Referenzhaus zg 0.17

Raum	Geschoss	Orient.	Fenster-anzahl	Fenster 1 - Breite [m]	Fenster 1- Höhe [m]	Fenster 2 - Breite [m]	Fenster 2- Höhe [m]	Fenster-öffnungs-fläche [m <sup>2</sup> ]	Faktor für Glasfläche	Glasfläche [m <sup>2</sup> ]
Wohnen/Essen	EG	O, S	4	1,50	2,05	-	-	12,30	0,85	10,46
Küche	EG	N, O	1	1,25	1,20	-	-	1,50	0,85	1,28
W/E-Küche	EG	N, O, S	5	1,50	2,05	1,25	1,20	13,80	0,85	11,73
WC/DU	EG	W, N	1	1,00	1,00	-	-	1,00	0,85	0,85
Büro	EG	S, W	1	1,50	2,05	-	-	3,08	0,85	2,61
Flur	EG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schlafen	OG	O, S	2	1,50	2,05	1,50	1,20	4,88	0,85	4,14
Kind 1	OG	N, O	2	1,50	2,05	1,25	1,20	4,58	0,85	3,89
Kind 2	OG	S, W	2	1,50	1,20	1,50	2,05	4,88	0,85	4,14
Bad	OG	W, N	1	1,50	1,20	-	-	1,80	0,85	1,53
Flur/Treppe	OG	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### Referenzhaus zg 0.31

Raum	Geschoss	Orient.	Fenster-anzahl	Fenster 1 - Breite [m]	Fenster 1- Höhe [m]	Fenster 2 - Breite [m]	Fenster 2- Höhe [m]	Fenster-öffnungs-fläche [m <sup>2</sup> ]	Faktor für Glasfläche	Glasfläche [m <sup>2</sup> ]
Wohnen/Essen	EG	O, S	4	1,50	2,05	-	-	12,30	0,85	10,46
Küche	EG	N, O	1	1,25	1,20	-	-	1,50	0,85	1,28
W/E-Küche	EG	N, O, S	5	1,50	2,05	1,25	1,20	13,80	0,85	11,73
WC/DU	EG	W, N	1	1,00	1,00	-	-	1,00	0,85	0,85
Büro	EG	S, W	1	1,50	2,05	-	-	3,08	0,85	2,61
Flur	EG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Schlafen	OG	O, S	2	1,50	2,05	1,50	1,20	4,88	0,85	4,14
Kind 1	OG	N, O	2	1,50	2,05	1,25	1,20	4,58	0,85	3,89
Kind 2	OG	S, W	2	1,50	1,20	1,50	2,05	4,88	0,85	4,14
Bad	OG	W, N	1	1,50	1,20	-	-	1,80	0,85	1,53
Flur/Treppe	OG	-	-	-	-	-	-	-	-	-

# 12.10 ZUSAMMENSTELLUNG ERGEBNISSE – ÜBERSCHREITUNGSHÄUFIGKEIT /-STUNDEN

## 12.10.1 Überschreitungsstunden bei Glasflächenzahl $z_g = 0.08$ / $f_g = 0.06$ (Gebäude)

Wärmespeicherfähigkeit 24 Wh/m²K (Holzbau - Einfach beplankt - Holzfußboden)

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.91	0.90	1.27	1.25	1.86	1.83	1.57	1.54
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	6.0%	4.1%	2.3%	1.2%	1.1%	0.5%	2.1%	1.2%
	h	264.7	179.3	102.6	54.9	49.7	23.7	92.9	54.2
SIA 382/1 - Frank	%	3.4%	2.2%	0.8%	0.2%	0.2%	0.0%	0.8%	0.2%
	h	150.6	96.6	34.3	10.9	10.5	1.5	33.5	10.5
PHI	25 °C [%]	7.7%	5.9%	3.3%	1.9%	1.6%	1.0%	2.8%	1.8%
	25 °C [h]	675.8	520.5	292.8	169.8	142.2	91.7	247.4	155.5
DIN 4108-2	27 °C [%]	3.9%	2.7%	1.6%	0.7%	0.7%	0.3%	1.5%	0.7%
	27 °C [h]	171.3	120.3	70.6	33.1	30.8	12.8	65.9	32.3
EN 15251	Kat. I [%]	1.9%	0.9%	0.4%	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%	0.0%
	Kat. I [h]	82.2	40.7	17.9	2.2	2.7	0.1	14.8	1.8
	Kat. II [%]	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	20.9	5.3	1.8	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0
	Kat. III [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wärmespeicherfähigkeit 47 Wh/m²K (Holzbau - Doppelte Beplankung - Zementunterlagsboden)

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.90	0.89	1.25	1.23	1.81	1.78	1.56	1.53
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	2.8%	1.3%	0.4%	0.1%	0.1%	0.0%	0.3%	0.1%
	h	122.8	58.4	17.5	4.3	3.6	0.3	12.2	3.4
SIA 382/1 - Frank	%	1.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	42.0	9.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PHI	25 °C [%]	5.9%	4.1%	1.8%	0.8%	0.5%	0.2%	1.4%	0.7%
	25 °C [h]	518.7	359.5	154.3	70.9	43.6	17.5	125.4	58.9
DIN 4108-2	27 °C [%]	1.2%	0.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%
	27 °C [h]	54.3	20.8	5.4	0.9	1.4	0.1	4.5	0.4
EN 15251	Kat. I [%]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	4.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wärmespeicherfähigkeit 50 Wh/m²K (Holzmassivbau - Zementunterlagsboden)

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.90	0.89	1.25	1.23	1.81	1.78	1.56	1.53
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	1.6%	0.6%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%
	h	68.6	25.2	4.3	0.2	0.0	0.0	2.9	0.1
SIA 382/1 - Frank	%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	15.2	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PHI	25 °C [%]	5.3%	3.2%	1.3%	0.4%	0.2%	0.1%	0.9%	0.3%
	25 °C [h]	467.5	280.7	110.4	33.2	18.6	5.0	82.2	26.5
DIN 4108-2	27 °C [%]	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	27 °C [h]	19.1	5.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EN 15251	Kat. I [%]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Wärmespeicherfähigkeit 75 Wh/m²K (Backsteinmassivbau - Zementunterlagsboden)

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.89	0.89	1.23	1.21	1.76	1.73	1.55	1.52
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SIA 382/1 - Frank	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PHI	25 °C [%]	1.7%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	25 °C [h]	146.6	57.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DIN 4108-2	27 °C [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	27 °C [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EN 15251	Kat. I [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	Anforderungen werden überschritten
	Anforderungen für Komfortstufe III (Bestand - moderates Mass an Erwartungen) werden erfüllt
	Anforderungen für Komfortstufe II (Neubau, Renovation - normales Mass an Erwartungen) werden erfüllt
	Anforderungen werden erfüllt; auch für Komfortstufe I (Neubau - Renovation - hohes Mass an Erwartungen)

## 12.10.2 Überschreitungsstunden bei Glasflächenzahl $z_g = 0.17$ / $f_g = 0.12$ (Gebäude)

### Wärmespeicherfähigkeit 24 Wh/m²K (Holzbau - Einfach beplankt - Holzfussboden)

Luftwechsel $h^{-1}$ (15.04-15.10)		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.92	0.91	1.30	1.28	1.94	1.88	2.58	2.48
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	20.9%	8.2%	8.7%	3.2%	4.0%	1.7%	3.1%	1.5%
	h	922.2	363.9	385.3	143.4	174.5	73.1	136.3	64.7
SIA 382/1 - Frank	%	17.8%	5.0%	5.6%	1.4%	1.9%	0.5%	1.3%	0.4%
	h	783.9	220.7	247.3	64.0	83.3	22.9	56.9	19.0
PHI	25 °C [%]	15.6%	9.3%	9.0%	4.6%	4.9%	2.3%	3.7%	1.8%
	25 °C [h]	1366.7	814.0	790.4	402.8	430.5	199.8	320.1	154.4
DIN 4108-2	27 °C [%]	14.8%	5.6%	6.1%	2.3%	3.0%	1.1%	2.2%	0.9%
	27 °C [h]	652.4	245.4	271.5	101.3	130.5	49.5	99.1	41.5
EN 15251	Kat. I [%]	16.3%	3.8%	6.2%	1.1%	2.4%	0.3%	1.8%	0.2%
	Kat. I [h]	721.4	168.6	275.3	47.3	108.5	13.9	78.0	10.2
	Kat. II [%]	8.1%	1.1%	2.4%	0.2%	0.9%	0.0%	0.6%	0.0%
	Kat. II [h]	359.5	47.8	104.5	10.4	38.9	1.1	25.1	1.1
	Kat. III [%]	3.5%	0.2%	0.8%	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%
	Kat. III [h]	153.0	9.8	36.5	0.8	10.1	0.0	5.5	0.0

### Wärmespeicherfähigkeit 47 Wh/m²K (Holzbau - Doppelte Beplankung - Zementunterlagsboden)

Gesamtluftwechsel $h^{-1}$		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.91	0.90	1.28	1.26	1.88	1.84	2.54	2.44
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	15.3%	4.9%	4.2%	1.1%	1.3%	0.2%	1.0%	0.2%
	h	675.7	216.1	186.1	46.8	56.9	9.3	46.4	9.2
SIA 382/1 - Frank	%	11.2%	2.5%	1.8%	0.1%	0.2%	0.0%	0.1%	0.0%
	h	494.5	110.1	80.2	3.0	7.2	0.0	6.3	0.0
PHI	25 °C [%]	13.8%	7.4%	6.4%	2.8%	2.4%	0.9%	1.7%	0.7%
	25 °C [h]	1210.1	644.5	561.1	245.8	213.3	75.7	150.9	65.4
DIN 4108-2	27 °C [%]	9.4%	2.4%	2.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%	0.1%
	27 °C [h]	414.3	105.1	109.7	20.1	30.7	3.5	23.4	2.7
EN 15251	Kat. I [%]	6.7%	0.3%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	293.8	12.6	24.9	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	63.5	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### Wärmespeicherfähigkeit 50 Wh/m²K (Holzmassivbau - Zementunterlagsboden)

Gesamtluftwechsel $h^{-1}$		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.91	0.90	1.28	1.25	1.88	1.82	2.53	2.38
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	15.7%	4.0%	3.5%	0.5%	0.7%	0.1%	0.5%	0.1%
	h	629.7	175.1	152.7	21.7	32.1	3.5	22.3	2.6
SIA 382/1 - Frank	%	11.4%	1.8%	1.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
	h	504.1	80.5	47.0	0.0	2.5	0.0	2.3	0.0
PHI	25 °C [%]	13.9%	7.5%	6.1%	2.3%	2.1%	0.6%	1.4%	0.5%
	25 °C [h]	1220.2	657.6	537.5	200.5	185.7	52.8	125.6	41.8
DIN 4108-2	27 °C [%]	9.1%	1.6%	1.8%	0.2%	0.3%	0.0%	0.2%	0.0%
	27 °C [h]	403.0	72.4	80.2	6.7	13.9	0.2	9.9	0.1
EN 15251	Kat. I [%]	6.4%	0.3%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	281.1	13.2	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	52.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### Wärmespeicherfähigkeit 75 Wh/m²K (Backsteinmassivbau - Zementunterlagsboden)

Gesamtluftwechsel $h^{-1}$		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.90	0.89	1.26	1.23	1.83	1.78	2.50	2.41
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	8.8%	0.4%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	386.4	18.1	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SIA 382/1 - Frank	%	5.4%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	239.6	11.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PHI	25 °C [%]	10.9%	3.6%	3.1%	0.4%	0.3%	0.0%	0.1%	0.0%
	25 °C [h]	953.8	318.5	267.4	31.2	24.2	0.0	6.0	0.0
DIN 4108-2	27 °C [%]	2.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	27 °C [h]	90.8	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EN 15251	Kat. I [%]	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	43.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	Anforderungen werden überschritten
	Anforderungen für Komfortstufe III (Bestand - moderates Mass an Erwartungen) werden erfüllt
	Anforderungen für Komfortstufe II (Neubau, Renovation - normales Mass an Erwartungen) werden erfüllt
	Anforderungen werden erfüllt; auch für Komfortstufe I (Neubau - Renovation - hohes Mass an Erwartungen)

## 12.10.3 Überschreitungsstunden bei Glasflächenzahl $z_g = 0.31$ / $z_g = 0.22$ (Gebäude)

**Wärmespeicherfähigkeit 24 Wh/m²K (Holzbau - Einfach beplankt - Holzfussboden)**

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.92	0.92	1.31	1.31	1.97	1.94	4.33	4.17
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	45.8%	22.8%	30.0%	10.6%	17.3%	5.2%	7.6%	2.2%
	h	2023.3	1008.8	1326.6	468.3	766.0	229.2	336.9	99.3
SIA 382/1 - Frank	%	43.9%	20.1%	28.1%	7.8%	15.3%	2.8%	6.1%	1.0%
	h	1940.6	887.6	1242.2	345.9	673.5	123.4	267.3	43.7
PHI	25 °C [%]	25.7%	16.2%	18.5%	9.8%	12.1%	5.9%	5.9%	2.9%
	25 °C [h]	2249.4	1420.9	1618.4	858.0	1058.4	514.0	517.4	252.4
DIN 4108-2	27 °C [%]	33.6%	16.0%	20.8%	7.7%	11.2%	3.8%	4.6%	1.6%
	27 °C [h]	1482.7	708.6	917.3	338.5	495.8	166.5	204.9	70.1
EN 15251	Kat. I [%]	38.7%	18.3%	24.7%	7.7%	14.2%	3.6%	6.2%	1.4%
	Kat. I [h]	1710.6	807.8	1089.6	341.6	628.7	158.7	247.8	62.5
	Kat. II [%]	30.2%	9.9%	17.7%	3.5%	8.8%	1.4%	3.7%	0.5%
	Kat. II [h]	1331.7	438.1	780.8	156.3	388.3	63.5	163.5	22.4
	Kat. III [%]	22.7%	4.8%	11.4%	1.3%	4.8%	0.6%	1.9%	0.1%
	Kat. III [h]	1001.0	213.9	502.0	58.7	213.6	24.7	82.6	5.5

**Wärmespeicherfähigkeit 47 Wh/m²K (Holzbau - Doppelte Beplankung - Zementunterlagsboden)**

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.92	0.91	1.31	1.29	1.95	1.90	4.34	4.08
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	42.9%	18.2%	20.4%	6.0%	7.1%	2.1%	2.1%	0.7%
	h	1896.1	803.3	902.2	264.8	314.1	93.5	93.0	29.4
SIA 382/1 - Frank	%	40.3%	13.9%	16.6%	3.5%	4.2%	0.6%	0.8%	0.1%
	h	1780.7	611.7	734.7	153.1	184.3	26.8	34.1	4.6
PHI	25 °C [%]	24.7%	15.0%	15.8%	7.8%	8.3%	3.4%	2.7%	1.2%
	25 °C [h]	2164.3	1316.8	1387.2	685.0	730.4	299.3	239.9	102.7
DIN 4108-2	27 °C [%]	29.4%	11.3%	13.5%	3.8%	4.9%	1.3%	1.5%	0.4%
	27 °C [h]	1299.3	498.6	595.4	167.1	218.5	59.5	64.5	18.6
EN 15251	Kat. I [%]	36.7%	9.8%	14.9%	1.5%	4.0%	0.2%	0.6%	0.0%
	Kat. I [h]	1618.5	432.9	656.2	68.1	177.5	10.9	27.7	0.1
	Kat. II [%]	23.5%	3.0%	6.4%	0.3%	1.1%	0.0%	0.1%	0.0%
	Kat. II [h]	1039.4	130.8	281.5	11.8	50.4	0.0	0.2	0.0
	Kat. III [%]	12.5%	0.5%	2.1%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	553.8	24.1	92.3	0.0	12.2	0.0	0.6	0.0

**Wärmespeicherfähigkeit 50 Wh/m²K (Holzmassivbau - Zementunterlagsboden)**

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.92	0.91	1.30	1.29	1.94	1.89	4.33	4.08
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	44.3%	19.3%	20.0%	5.5%	6.5%	1.5%	1.7%	0.5%
	h	1995.1	850.8	883.8	243.4	287.9	68.0	77.0	20.1
SIA 382/1 - Frank	%	41.6%	14.9%	16.1%	2.8%	3.5%	0.3%	0.5%	0.0%
	h	1837.7	656.7	709.1	124.2	153.8	11.4	24.1	1.4
PHI	25 °C [%]	25.3%	15.5%	15.7%	7.7%	8.0%	3.1%	2.5%	1.0%
	25 °C [h]	2216.3	1359.6	1379.4	672.1	703.0	270.8	218.6	88.7
DIN 4108-2	27 °C [%]	29.6%	11.6%	13.1%	3.2%	4.5%	0.8%	1.1%	0.3%
	27 °C [h]	1307.3	511.6	576.3	142.6	197.7	37.1	50.7	12.1
EN 15251	Kat. I [%]	37.2%	10.1%	14.1%	1.1%	3.3%	0.1%	0.4%	0.0%
	Kat. I [h]	1642.0	444.0	620.5	47.6	146.5	3.7	17.5	0.0
	Kat. II [%]	23.3%	2.7%	5.7%	0.1%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	1029.8	119.6	251.4	3.8	33.1	0.0	1.2	0.0
	Kat. III [%]	12.2%	0.4%	1.6%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	539.3	17.6	71.4	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0

**Wärmespeicherfähigkeit 75 Wh/m²K (Backsteinmassivbau - Zementunterlagsboden)**

Gesamtluftwechsel h <sup>-1</sup>		Weniglüfter		Normallüfter		Viellüfter		Fensterlüftungsprofil	
		0.91	0.91	1.29	1.26	1.90	1.85	4.22	4.00
		Verschattung		Verschattung		Verschattung		Verschattung	
		wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt	wenig genutzt	gut genutzt
SIA 382/1	%	38.8%	14.4%	13.9%	1.3%	1.8%	0.0%	0.1%	0.0%
	h	1712.6	637.6	611.9	57.2	81.6	1.0	4.3	0.0
SIA 382/1 - Frank	%	34.5%	10.2%	9.4%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	h	1523.6	448.5	417.0	20.2	13.6	0.0	0.0	0.0
PHI	25 °C [%]	24.1%	14.0%	13.6%	4.9%	5.0%	0.9%	0.7%	0.1%
	25 °C [h]	2114.4	1226.9	1189.0	433.4	441.7	75.6	64.2	5.0
DIN 4108-2	27 °C [%]	24.0%	4.9%	6.7%	0.3%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%
	27 °C [h]	1060.2	214.8	294.9	14.6	30.3	0.0	1.4	0.0
EN 15251	Kat. I [%]	30.6%	3.8%	4.8%	0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. I [h]	1352.5	166.9	213.5	2.8	6.8	0.0	0.0	0.0
	Kat. II [%]	12.8%	0.3%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. II [h]	565.9	13.8	30.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
	Kat. III [%]	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Kat. III [h]	144.3	0.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

	Anforderungen werden überschritten
	Anforderungen für Komfortstufe III (Bestand - moderates Mass an Erwartungen) werden erfüllt
	Anforderungen für Komfortstufe II (Neubau, Renovation - normales Mass an Erwartungen) werden erfüllt
	Anforderungen werden erfüllt; auch für Komfortstufe I (Neubau - Renovation - hohes Mass an Erwartungen)