

Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaser-Dämmplatten

Aktenz.: IBH 674/04

Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaser-Dämmplatten

1. Einführung und Aufgabenstellung
2. Untersuchungsmethodik und Berechnungsgrundlagen
 - 2.1 Gebäude
 - 2.2 Bauteile
 - 2.3 Nutzung
 - 2.4 Meteorologie
3. Kenngrößen für die Beurteilung des sommerlichen Wärmeverhaltens
4. Untersuchungsergebnisse
5. Zusammenfassung
6. Literatur

Auftraggeber: Verband Holzfaserdämmstoffe e.V.
Elfriede-Stremmel-Straße 69
42369 Wuppertal

Baunatal, den 1. April 2005
i.A.

i.A.

(Dr.-Ing. Frank Otto)

(Dipl.-Ing. Michael Ringeler)

1. Einführung und Aufgabenstellung

Das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden wird durch die Wärmespeicherfähigkeit der Innen- und Außenbauteile beeinflusst. Bei der Holzbauart liegen meist hochwärmedämmende Bauteilquerschnitte vor, deren Wärmedämmwirkung in aller Regel aus mineralischen Faserdämmstoffen mit geringer Wärmespeicherkapazität resultiert. Die mittlerweile verfügbaren Holzfaser-Dämmplatten bieten hingegen gleiche Wärmedämmeigenschaften bei vielfach höherer Wärmespeicherfähigkeit.

Die positiven Wirkungen von Dämmstoffen mit hoher Wärmespeicherfähigkeit auf das sommerliche Wärmeverhalten von Wohngebäuden kann [1] entnommen werden. Da in [1] primär eine systematische Variation der Wärmespeicherkapazität unabhängig von am Markt verfügbaren Produkten durchgeführt wird, sollen in der folgenden Untersuchung konkrete Dämmplatten der Mitglieder des Verbandes Holzfaser Dämmstoffe e.V. untersucht werden.

2. Untersuchungsmethodik und Berechnungsgrundlagen

Die Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens erfolgt anhand von Simulationsrechnungen mit dem Programm HAUSer [2 bis 4]. Die Simulationstechnik erlaubt den direkten Vergleich unterschiedlicher Bauteilausführungen unter gleichen Randbedingungen.

Um das Nutzerverhalten möglichst exakt zu beschreiben, wird die empfundene Raumtemperatur und nicht die Raumlufttemperatur als Führungsgröße für das Nutzerverhalten und als Beurteilungsgröße zur Kennzeichnung des sommerlichen Wärmeverhaltens verwendet. Diese ist für die Beurteilung der Behaglichkeit maßgebend. Sie errechnet sich aus dem arithmetischen Mittel der mittleren, flächengewichteten Oberflächentemperatur aller raumbegrenzenden Bauteile und der Raumlufttemperatur.

Alle für die Berechnungen notwendigen Grundlagen bezüglich der Gebäudegeometrie, der betrachteten Bauteile, der Gebäudenutzung und der Meteorologie werden im folgenden erläutert.

2.1 Gebäude

Für die Untersuchung wird ein freistehendes Einfamilienhaus herangezogen. Die Bilder 1 bis 4 zeigen das Kellergeschoss, das Erdgeschoss, das Dachgeschoss und einen Gebäudeschnitt. Die beheizte Nettogrundfläche (inklusive Treppe in jedem Geschoß) beträgt 185 m^2 . Der Keller ist bis auf den Treppenaufgang unbeheizt.

2.2 Bauteile

Die betrachteten Bauteile entsprechen baupraktischen Ausführungen aus dem Bereich der Holztafelbauart. Die verwendeten Stoffwerte sind [5, 6] entnommen.

In Bezug auf die zu untersuchenden Holzfaser-Dämmplatten werden zwei Plattentypen, und zwar Dämmstoffplatten mit einer Rohdichte von 45 kg/m^3 und Dämmstoffplatten mit einer Rohdichte von 150 kg/m^3 , betrachtet. Beide Materialien entsprechen dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Die spezifische Wärmekapazität beträgt $2100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. Dieser Wert repräsentiert die Wärmespeicherefähigkeit von Holzfaser-Dämmstoff bei einer baupraktischen Ausgleichfeuchte von 10 %. Der in [6] genannte Wert von $1400 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ steht für darrtrockene Holzfaserdämmung, die baupraktisch nicht vorkommt.

Eine Zusammenstellung der Wärmedurchgangskoeffizienten aller der Untersuchung zugrunde liegenden Bauteile findet sich in Tabelle 2. Die ausgewiesenen Werte entsprechen dem Berechnungsansatz der DIN 6946 [7], jedoch werden Rippen- und Gefachbereich für sich betrachtet. Eine detaillierte Beschreibung der Bauteile kann Tabelle 3 entnommen werden.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Dämmstoffe wird der Ausführung aller Bauteile mit mineralischer Faserdämmung eine Variante mit Holzfaser-Dämmplatten lediglich in der Dachkonstruktion und eine weitere Variante mit Holzfaser-Dämmplatten in allen Holzbauteilen gegenübergestellt.

Die Fenster bestehen aus einer hochwertigen Wärmeschutzverglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von $1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und einem Gesamtenergiedurchlaßgrad von 58 % sowie einem Holzrahmen $U = 1,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Der Abminderungsfaktor für den an heißen Tagen zum Einsatz kommenden Sonnenschutz beträgt 0,50. Dies bedeutet, daß die ins Gebäude gelangende Sonnenenergie (beispielsweise durch ein halbgeschlossenes Rolll) um 50 % gemindert wird.

2.3 Nutzung

Um das energetische Verhalten von Gebäuden im Laufe eines Jahres bewerten zu können, müssen Festlegungen zur Nutzung der Räume getroffen werden. Die Festlegungen betreffen die Heizperiode und die Sommermonate aufgrund der wechselseitigen Beeinflussung gleichermaßen. Die Angaben erstrecken sich über den Luftwechsel, die internen Wärmequellen und den unteren Grenzwert der empfundenen Raumtemperaturen, bei deren Unterschreitung geheizt wird. Grundlage der Simulation sind Stundenmittelwerte. Kunstlicht bleibt unberücksichtigt, weil an strahlungsreichen Tagen eine ausreichende Versorgung der Räume mit Tageslicht, auch bei Betätigung des Sonnenschutzes, vorausgesetzt werden kann. In der Heizperiode werden die Räume nach einer Nachtabenkung mit 3 K pro Stunde aufgeheizt, so dass bei einsetzender Nutzung die gewünschte empfundene Raumtemperatur erreicht ist. Bei Wohngebäuden wird üblicherweise von einer 16stündigen Beheizung und einer 8stündigen Nachtabenkung ausgegangen.

Dem freistehenden Einfamilienhaus liegt ein Vierpersonenhaushalt zugrunde. Die internen Wärmequellen werden in Anlehnung an [8] für den betrachteten Haushalt festgelegt. Die in Ansatz gebrachte frei werdende Wärme ergibt sich aus den folgenden Prozessen:

- Wärmeabgabe der Bewohner
- Strombedarf für elektrische Geräte
- Warmwasserbedarf
- Kaltwasserbedarf

Die jeweiligen Tagessummen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die internen Wärmequellen wirken zu 50 % über Strahlung und zu 50 % konvektiv.

Durch den Einsatz eines Sonnenschutzes reduziert sich die ins Gebäude gelangende Sonneneinstrahlung. Die Wirksamkeit von Sonnenschutzmaßnahmen hängt wesentlich vom Zeitpunkt der Betätigung ab. Bei den Simulationrechnungen wird von einer Betätigung ab einer empfundenen Raumtemperatur von 24 °C bei auf die Fenster auftreffender direkter Sonneneinstrahlung ausgegangen. Sonnenschutzelemente an Nordfassaden bleiben somit nahezu unberücksichtigt. Ihr Einsatz bleibt auf wenige Stunden im Jahr begrenzt.

Eine weitere wichtige Einflussgröße ist der Luftwechsel. Durch eine intensive Lüftung können die Temperaturen im Sommer deutlich gesenkt werden. Den Berechnungen liegt ein optimales Nutzerverhalten zugrunde, bei dem nur intensiv gelüftet wird, wenn die empfundene Raumtemperatur höher ist als die Außenlufttemperatur. Hierdurch wird sichergestellt, daß an heißen Tagen nur in Ausnahmefällen ein zusätzlicher konvektiver Wärmeeintrag in die Räume erfolgt. Der Luftwechsel wird in Abhängigkeit von der empfundenen Raumtemperatur gesteuert. Bis zu einer Raumtemperatur von 24 °C beträgt der Luftwechsel 0,6 pro Stunde. Bei Temperaturen zwischen 24 °C und 26 °C erhöht sich der Luftwechsel auf 5 pro Stunde und ab 26 °C auf 10 pro Stunde. Neben einer intensiven Lüftung am Tage trägt insbesondere eine intensive Nachtlüftung zur Senkung des Temperaturniveaus bei. Die Aufheizung der Räume fällt hierdurch wesentlich geringer aus. Eine intensive Lüftung in den Nachtstunden wird nur in Räumen mit Fenstern angesetzt. Um dem Nutzerverhalten gerecht zu werden, erfolgt ein erhöhter nächtlicher Luftwechsel, wenn die mittlere Raumtemperatur des Vortages 24 °C übersteigt. Der Luftwechsel erhöht sich dann von $0,6 \text{ h}^{-1}$ auf 4 h^{-1} .

2.4 Meteorologie

Die Berechnungen werden für den Standort Würzburg [9-11] durchgeführt. Diese Festlegung erfolgt auf der Grundlage einer in [9] durchgeführten Analyse, welcher zu entnehmen ist, daß die Daten hinsichtlich der Jahresmitteltemperaturen und der Sonneneinstrahlung im Mittelfeld

der erarbeiteten Klimazonen für Deutschland liegen und somit Durchschnittswerte darstellen. Das Gebäude befindet sich in freier, unverschatteter Lage. Die meteorologischen Daten entsprechen der Klimaregion 5 [10].

3. Kenngrößen für die Beurteilung des sommerlichen Wärmeverhaltens

Bezüglich der Beurteilung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden sind die im Laufe eines Jahres auftretenden unbehaglich hohen Raumtemperaturen von Bedeutung. Neben den maximal auftretenden Raumtemperaturen muss auch der Zeitraum mit hohen Raumtemperaturen in die Bewertung mit einbezogen werden. Die von Ottel [12] und Kolmetz [13] beschriebenen "Überwärmungssummen" bzw. "Übertemperaturgradstunden" koppeln beide Aspekte in geeigneter Weise. Diese Kenngröße errechnet sich aus der positiven Temperaturdifferenz zwischen einem vorgegebenen Grenzwert und der empfundenen Raumtemperatur sowie der Wirkungsdauer. Als Grenzwert wird eine empfundene Raumtemperatur von 26 °C festgelegt. Der Grenzwert lehnt sich an die Vorgaben der Arbeitsstättenverordnung [14] und die DIN 1946 [15] an. Die Übertemperaturgradstunden errechnen sich wie folgt:

$$G_{h_{26}} = \sum_{i=1}^{8760h} (\theta_i - 26^{\circ}\text{C}) \Big|_{\text{pos.}} \cdot 1h$$

Bild 5 veranschaulicht die Definition der Kenngröße. Da aus den Übertemperaturgradstunden kein Rückschluss auf die maximal auftretende Raumtemperatur sowie den Überschreitungszeitraum möglich ist, werden diese Größen ebenfalls ausgewiesen.

4. Untersuchungsergebnisse

Bei der Gebäudesimulation werden die sich im Laufe eines Jahres einstellenden Raumlufttemperaturen ermittelt und ausgewertet. Für die Küche, das Wohnzimmer, die Essecke, das Kinderzimmer 1, das Kinderzimmer 2 und das Schlafzimmer werden die Übertemperaturgradstunden, die maximal auftretenden Raumtemperaturen und die Überschreitungsdauer dokumentiert. Eine Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für die genannten Aufenthaltsräume findet sich in Tabelle 5.

Nutzungsbedingt stellen sich im Erdgeschoss die höchsten Raumtemperaturen ein. Die Unterschiede in Abhängigkeit von der Wärmespeicherfähigkeit des Dämmstoffs sind aufgrund des thermisch wirksamen Estrichs nur gering. Im Dachgeschoss hingegen sind die Räume von leichten Bauteilen mit geringer Wärmespeicherfähigkeit umgeben. Deshalb bewirkt ein speicherfähigerer Dämmstoff aus Holzfasern gegenüber einem mineralischen Faserdämmstoff eine Verringerung des Temperaturniveaus. Um eine Bewertung zu ermöglichen, wird der

Verlauf der Raumtemperaturen in der wärmsten Phase für die untersuchten drei Dämmstofftypen in Bild 6 dargestellt. Die höhere Wärmespeicherefähigkeit der Holzfaser-Dämmplatten glättet den Temperaturverlauf. Sowohl die maximalen als auch die minimalen Temperaturen werden gedämpft. Der Maximalwert beträgt beim Ausgangsfall 29,7 °C, bei einer Ausführung mit Holzfaser-Dämmplatten mit einer Rohdichte 45 kg/m³ 28,8°C und bei den Holzfaser-Dämmplatten mit einer Rohdichte von 150 kg/m³ 28,2 °C.

Für die einzelnen Aufenthaltsräume ergeben sich die folgenden Übertemperaturgradstunden in Kh/a.

Tabelle 1: Übertemperaturgradstunden in Abhängigkeit von der Rohdichte und der Speicherefähigkeit

		Mineralwolle 15 kg/m ³	Holzfaser- Dämmplatte 45 kg/m ³	Holzfaser- Dämmplatte 150 kg/m ³
Erdgeschoss	Küche	267	246	224
	Wohnzimmer	262	245	226
	Essecke	502	476	442
Dachgeschoss	Kind 1	180	100	59
	Kind 2	307	175	108
	Schlafzimmer	174	97	52

Im Erdgeschoss ist der Einfluss der Speicherefähigkeit des Dämmstoffs aufgrund der massiven Kellerdecke von untergeordneter Bedeutung. Im Obergeschoss hingegen stellt sich eine Senkung des Temperaturniveaus mit den dokumentierten Werten ein.

Bei alleinigem Einbau von Holzfaser-Dämmplatten in die Dachkonstruktion stellt sich ein höheres Temperaturniveau ein als beim Einbau in alle Holzbauteile.

In den Bildern 7 bis 9 erfolgt eine grafische Auswertung der Monatswerte der Übertemperaturgradstunden, der maximal auftretenden Raumtemperaturen und der Überschreitungsdauer für den Raum Kind 1 im Dachgeschoss, um die von der Jahreszeit abhängige Erwärmung des Gebäudes aufzuzeigen. Bild 7 zeigt die Ergebnisse für den Ausgangsfall mit einer Ausführung der Bauteile mit Mineralwollendämmstoff. Bild 8 können die Ergebnisse für den Fall mit Holzfaser-Dämmplatten mit einer Rohdichte von 45 kg/m³ und Bild 9 mit einer Rohdichte von 150 kg/m³ entnommen werden. Temperaturen über 26 °C treten in den Monaten Juni bis September auf.

5. Zusammenfassung

Eine hohe Wärmespeicherfähigkeit wirkt sich im Hinblick auf das sommerliche Wärmeverhalten günstig aus. Neuartige Wärmedämmstoffe mit einer vergleichsweise hohen spezifischen Wärmekapazität und Rohdichte ermöglichen die Erhöhung der Wärmespeicherkapazität ohne Einbußen beim Wärmeschutz. Anhand von Simulationsrechnungen werden die Übertemperaturgradstunden $G_{h_{26}}$ in Kh/a, die im Laufe eines Jahres auftretende maximale empfundene Raumtemperatur $\theta_{i,max}$ in °C und der Überschreitszeitraum t_{Gh} in h/a für ein freistehendes Einfamilienhaus ermittelt. Den Berechnungen liegen Bauteile mit praxisüblichen Dämmstoffen aus Mineralwolle und Holzfaser-Dämmplatten zugrunde. Ein Vergleich der sich einstellenden Raumtemperaturen für die untersuchten Dämmstofftypen in der Phase mit den höchsten Temperaturen findet sich in Bild 6. Im Erdgeschoss wird durch den Einsatz von Holzfaser-Dämmplatten ($\rho=150\text{kg/m}^3$) eine Verringerung der Übertemperaturgradstunden in der Küche von 267 Kh/a für den Standardfall auf 224 Kh/a erreicht. Im Dachgeschoss beläuft sich die Abnahme im Raum Kind 2 von 307 Kh/a auf 108 Kh/a. Unterschiede zwischen Holzfaser-Dämmplatten mit 45kg/m^3 und Holzfaser-Dämmplatten mit 150kg/m^3 sind mit im Maximum 67 Kh/a vorhanden.

6. Literatur

- [1] Hauser, G. und Otto, F.: Holzspäne: Dämmstoff mit hoher Wärmespeicherfähigkeit für den Wärmeschutz. Bauen mit Holz (1999), H. 8, S.34-40.
- [2] Hauser, G.: Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten. Dissertation Universität Stuttgart (1977).
- [3] Hauser, G.: Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände und temporäre Wärmeschutzmaßnahmen - Eine einfache Methode zur Quantifizierung durch k_{eq} -Werte. HLH 34 (1983), H. 3, S. 111-112, H. 4, S. 144-153, H. 5, S. 200-204, H. 6, S. 259-265.
- [4] Hauser, G.: Vereinfachte Behandlung des Wärmeverhaltens großer Gebäude durch thermische Systeme. Betonwerk und Fertigteil-Technik 44 (1978), H. 5, S. 266-271.
- [5] DIN V 4108-4:2004-04 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 4: Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte.
- [6] DIN EN 12524:2000-06 Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften: Tabellierte Bemessungswerte.
- [7] DIN EN ISO 6946:2003-10 Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient: Berechnungsverfahren.

- [8] Hauser, G. und Otto, F.: Niedrigenergiehäuser in Holzbauart. Forschungsbericht des Ingenieurbüros Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser & Partner, IBH 12/92 (1994).
- [9] Esdorn, H.; Fortak, H. und Jahn, A: Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. Statusbericht 1985 "Rationelle Energieverwendung im Haushalt und Kleinverbrauch" des BMFT. Verlag TÜV Rheinland (1985), S. 424-437.
- [10] Testreferenzjahre - Meteorologische Grundlagen für technische Simulationen von Heiz- und raumluftechnischen Anlagen. BINE, Profi Info-Service (Okt. 1991).
- [11] Pottler, K.; Beck, A.und Benz, N.: Testreferenzjahr. Sonnenenergie 4/1996.
- [12] Ottel, R.: Zusammenhang zwischen Raumklima und Gebäudekonstruktion von Schulen. DBZ 22 (1974), Heft 4, S. 723-744.
- [13] 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).
- [14] Steinborn, V.: Verordnung über Arbeitsstätten. Verlag W. Kohlhammer, 17. Auflage, Köln, Stuttgart, Berlin (2005).
- [15] DIN 1946-2:1994-01 Raumluftechnik - Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln).

Tabelle 2: Zusammenstellung der Wärmedurchgangskoeffizienten der Innen- und Außenbauteile.

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² K)]
Dach Gefach	0,19
Dach Rippe	0,52
Außenwand Gefach	0,21
Außenwand Rippe	0,40
Fenster	1,40 (g=0,58)
Haustür	1,00
Kellerdecke	0,29
Kellerwand	0,38
Treppenraumwand	1,56
Kellertür	2,10
Kellerboden (beheizt)	0,31
Trennwand Gefach	0,48
Trennwand Rippe	0,97
Wohnungstür	2,10
Geschossdecke Gefach	0,24
Geschossdecke Rippe	0,34
unbeheizte Kellerräume	
Kellerboden (unbeh.)	3,63
Trennwand (tragend)	1,55
Trennwand (nichttr.)	2,16

Tabelle 3: Zusammenstellung der Bauteile.

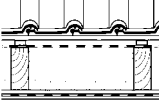
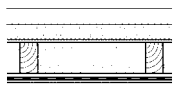
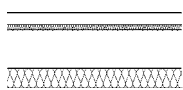
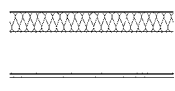
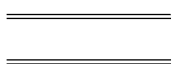
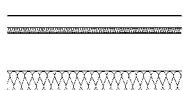
	Bauteil	Baustoff	Baustoff			
			s [mm]	λ [W/(m·K)]	c [Wh/(kg·K)]	ρ [kg/m ³]
1	Dach $U_{\text{Gefach}} = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $U_{\text{Rippe}} = 0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  Holzanteil 12,8 %	Dämmstoff Sparren 8/20 Luftschicht Gipskarton-Bauplatte	200,0 200,0 12,5	0,04 0,13 $R = 0,17 \text{ m}^2 \text{K}/\text{W}$ 0,25	0,583 0,444 0,278	15 500 900
2	Außenwand $U_{\text{Gefach}} = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $U_{\text{Rippe}} = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  Holzanteil 15 %	Vormauerstein Dämmstoff Gipsfaserplatte Dämmstoff Rippe Spanplatte Gipskarton-Bauplatte	115,0 40,0 12,5 130,0 130,0 16,0 9,5	0,99 0,04 0,25 0,04 0,13 0,14 0,25	0,278 0,583 0,278 0,278 0,444 0,472 0,278	1800 15 900 15 500 600 900
3	Fenster $U_F = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $g = 0,58$					
4	Haustür $U_T = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
5	Kellerdecke $U = 0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 	Zementestrich Dämmstoff Stahlbeton Dämmstoff	50,0 40,0 160,0 80,0	1,4 0,04 2,3 0,04	0,278 0,403 0,278 0,403	2000 15 2300 15
6	Kellerwand $U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 	Dämmstoff Mauerwerk Gipsputz	80,0 300,0 10,0	0,04 0,7 0,51	0,403 0,278 0,278	15 1400 1200
7	Treppenraumw. $U = 1,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 	Putz Mauerwerk Putz	10,0 240,0 10,0	0,51 0,7 0,51	0,278 0,278 0,278	1200 1400 1200
8	Kellertür $U_T = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
9	Kellerboden $U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 	Zementestrich Dämmstoff Stahlbeton Dämmstoff	50,0 40,0 120,0 80,0	1,4 0,04 2,3 0,04	0,278 0,403 0,278 0,403	2000 15 2300 15

Tabelle 3: Fortsetzung

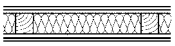

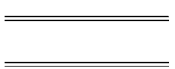

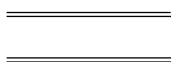
	Bauteil	Baustoff				
			s [mm]	λ [W/(m·K)]	c [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]
10	Trennwand $U_{\text{Gefach}} = 0,48 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $U_{\text{Rippe}} = 0,97 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  Holzanteil 15 %	Gipskarton-Bauplatte Spanplatte Rippe 6/6 Dämmstoff Spanplatte Gipskarton-Bauplatte	9,5 16,0 60,0 60,0 16,0 9,5	0,25 0,14 0,13 0,04 0,14 0,25	0,278 0,472 0,444 0,583 0,472 0,278	900 600 500 15 600 900
11	Wohnungstür $k = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$					
12	Geschossdecke $U_{\text{Gefach}} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $U_{\text{Rippe}} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 	Spanplatte Dämmstoff Spanplatte Luftschicht Dämmstoff Rippe Luftschicht Gipskarton-Bauplatte	19,0 20,0 22,0 100,0 200,0 12,5	 R = 0,19 m ² K/W 0,04 0,13 0,25	0,472 0,286 0,417 0,583 0,583 0,278	600 75 600 15 500 900
unbeheizt						
13	Kellerwand $U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 	Putz Kalksandstein Gipsputz	25,0 300,0 10,0	1 0,7 0,51	0,278 0,278 0,278	1800 1400 1200
14	Kellerboden $U = 3,63 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 	Stahlbeton Zementestrich	160,0 50,0	2,3 1,4	0,278 0,278	2300 2000
15	Trennwand $U = 2,16 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 	Putz Kalksandstein Putz	10,0 115,0 10,0	0,51 0,7 0,51	0,278 0,278 0,278	1200 1400 1200

Tabelle 4: Zusammenstellung der bei den Simulationsrechnungen in Ansatz gebrachten internen Wärmequellen.

interne Wärmequellen	
	Vierpersonenhaushalt
	[kWh/d]
Fernseher	0,6
Kühlschrank	0,7
Gefrierschrank	1,1
Elektroherd	0,6
Geschirrspülmaschine	0,3
Sonstige elektrische Geräte	1,9
Warmwasserversorgung	3,3
	8,5
Personen	5,3
	13,8
Kaltwasserversorgung	-1,6
Tagessumme	12,2

	[W/m ²]
mittlere flächenbezogene Wärmequelle	2,8

Tabelle 5: Vergleich der Übertemperaturgradstunden, der im Laufe eines Jahres maximal auftretenden empfundenen Raumtemperatur und der Überschreitungsdauer in Abhängigkeit vom Dämmstoff.

Raum	Gh ₂₆ [Kh/a]			θ _{i, max} [°C]			t _{Gh} [h/a]							
	Ausgangsfall Mineral- faser	Dämmstoffplatte ¹⁾ im Dach alle Bauteile	Dämmstoffplatte ²⁾ im Dach alle Bauteile	Ausgangsfall Mineral- faser	Dämmstoffplatte ¹⁾ im Dach alle Bauteile	Dämmstoffplatte ²⁾ im Dach alle Bauteile	Ausgangsfall Mineral- faser	Dämmstoffplatte ¹⁾ im Dach alle Bauteile	Dämmstoffplatte ²⁾ im Dach alle Bauteile					
Einbauort														
Küche	267	266	246	266	224	224	29,2	29,2	29,0	28,9	28,7	276	265	251
Wohnzimmer	262	261	245	261	226	226	29,7	29,7	29,5	29,4	29,3	236	227	214
Eßecke	502	501	476	501	442	442	31,1	31,1	30,8	30,7	30,5	339	328	314
Kind 1	180	113	100	79	59	59	28,9	28,9	28,2	27,8	27,6	208	150	119
Kind 2	307	192	175	132	108	108	29,7	28,9	28,8	28,3	28,2	269	202	159
Schlafzimmer	174	106	97	61	52	52	29,4	29,0	28,9	28,1	28,0	183	135	96

¹⁾ Die Rohdichte der betrachteten Holzfaser-Dämmplatte beträgt 45 kg/m³.

²⁾ Die Rohdichte der betrachteten Holzfaser-Dämmplatte beträgt 150 kg/m³.

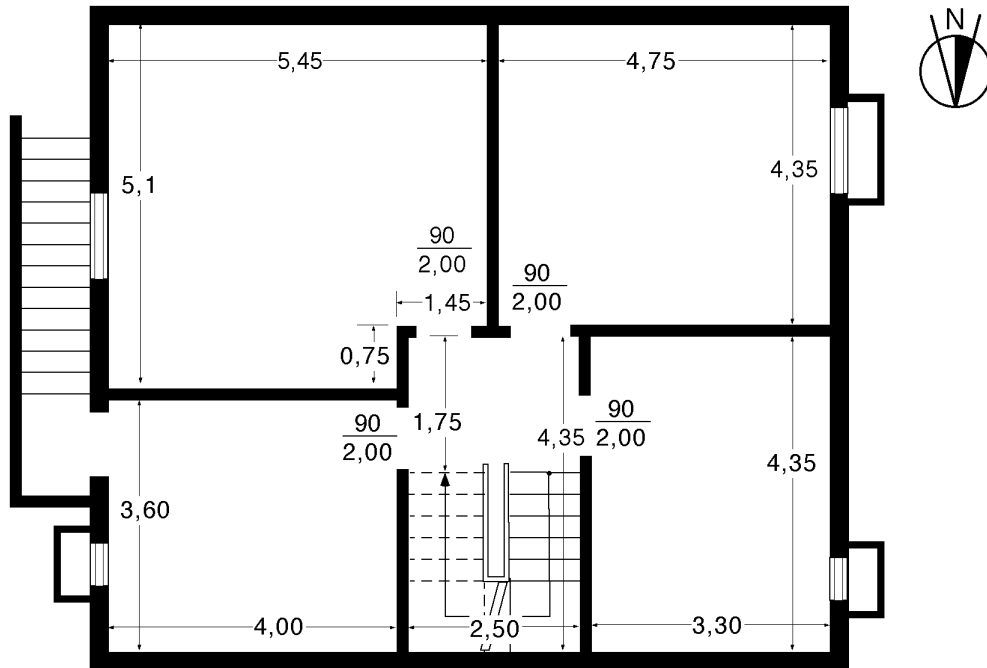


Bild 1: Kellergeschoss des Einfamilienhauses

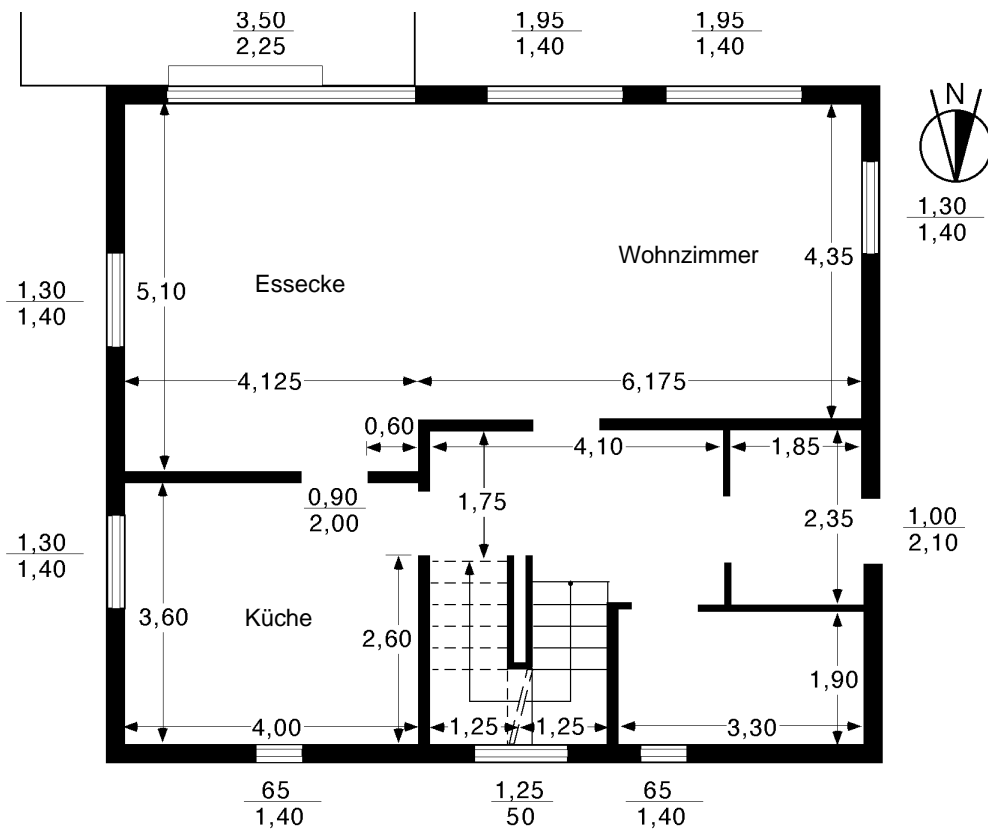


Bild 2: Erdgeschoss des Einfamilienhauses



Bild 3: Dachgeschoss des Einfamilienhauses

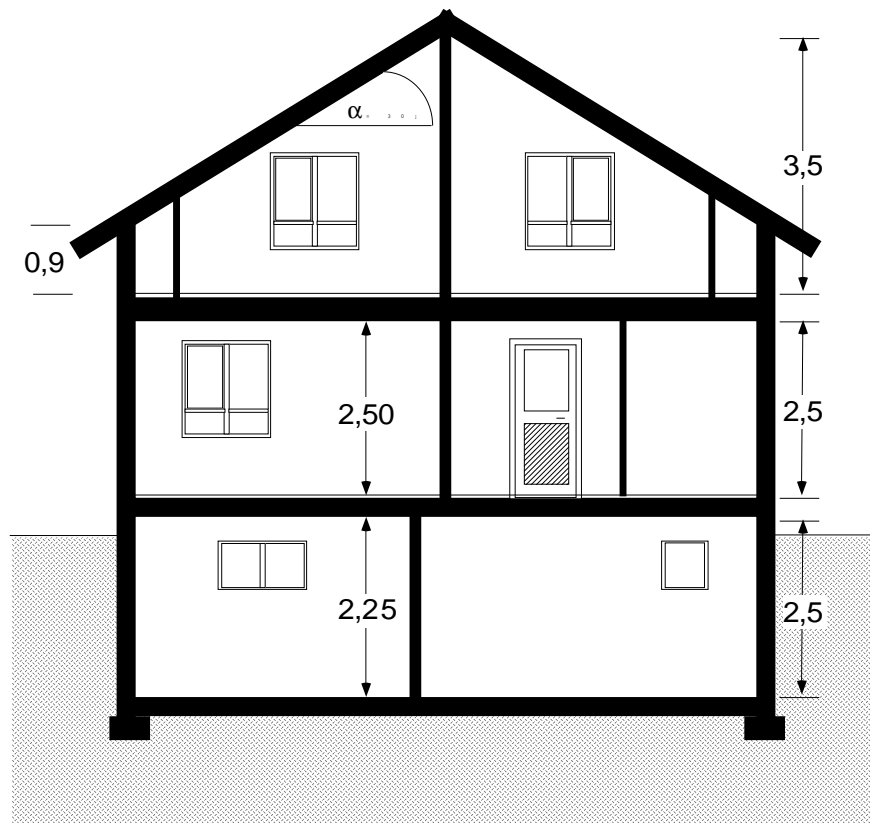


Bild 4: Schnitt des Einfamilienhauses

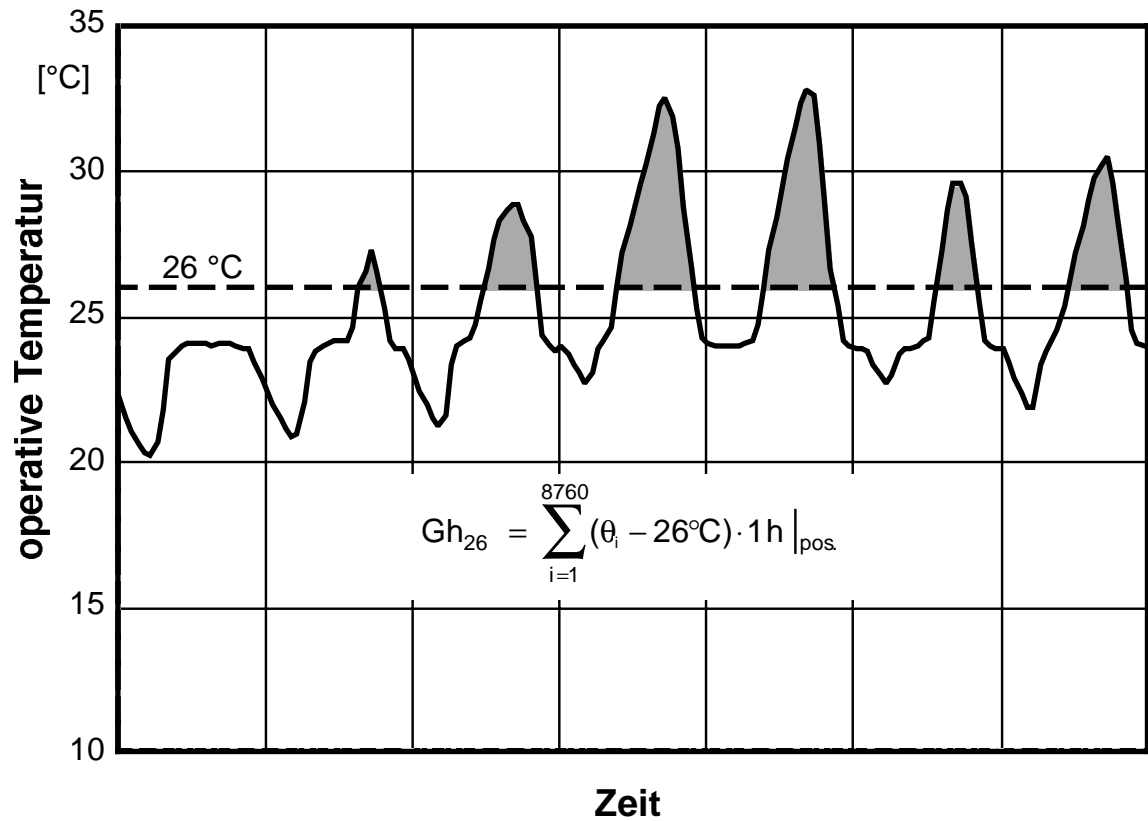


Bild 5: Die über ein Jahr aufsummierten grau hinterlegten Flächeninhalte bilden die Übertemperaturgradstunden.

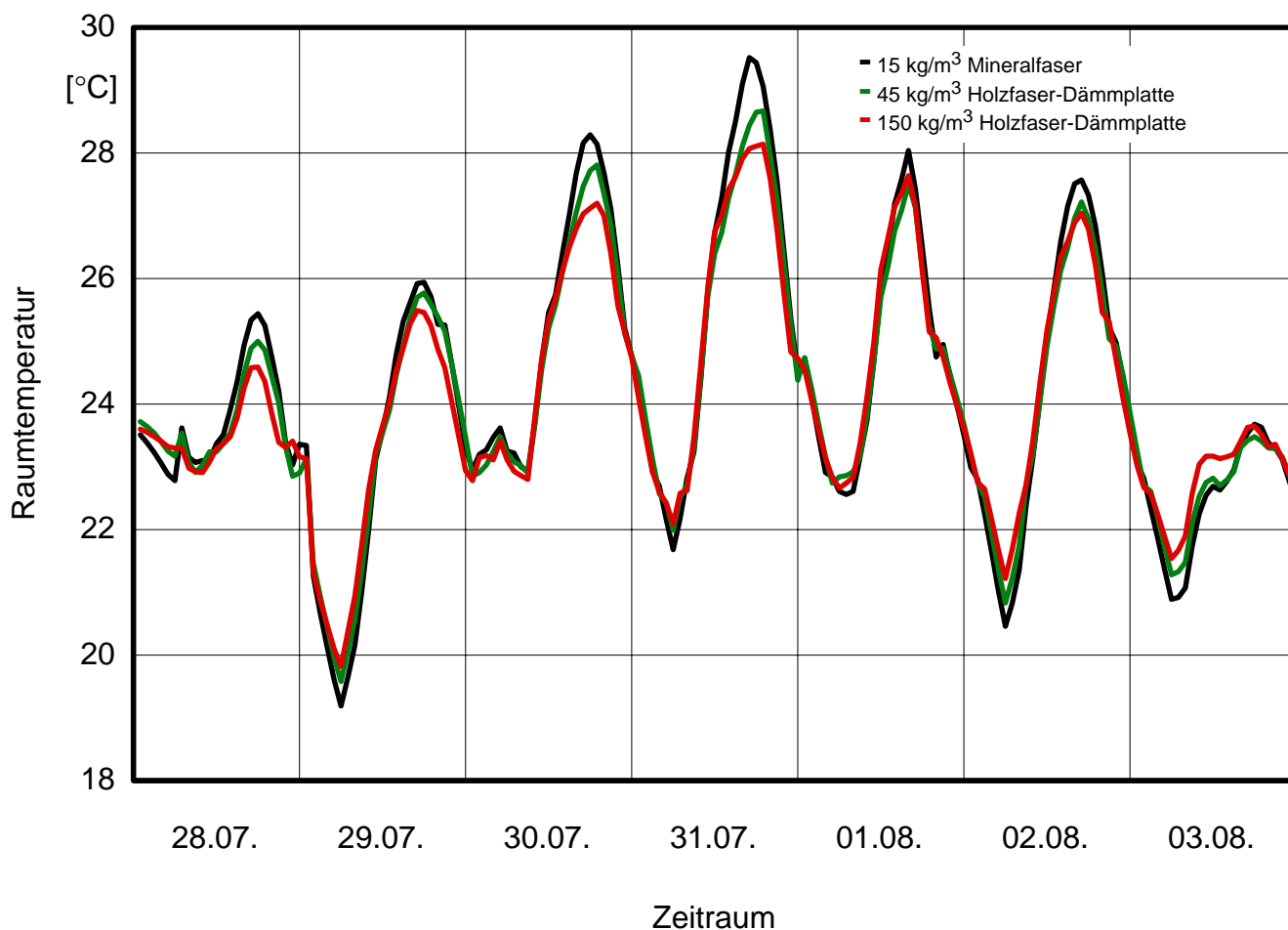


Bild 6: Verlauf der Raumtemperaturen über einen Zeitraum von 7 Tagen in der Phase mit den höchsten Temperaturen für den Raum Kind 2 für die betrachteten Dämmstofftypen, die in allen Bauteilen untergebracht sind.

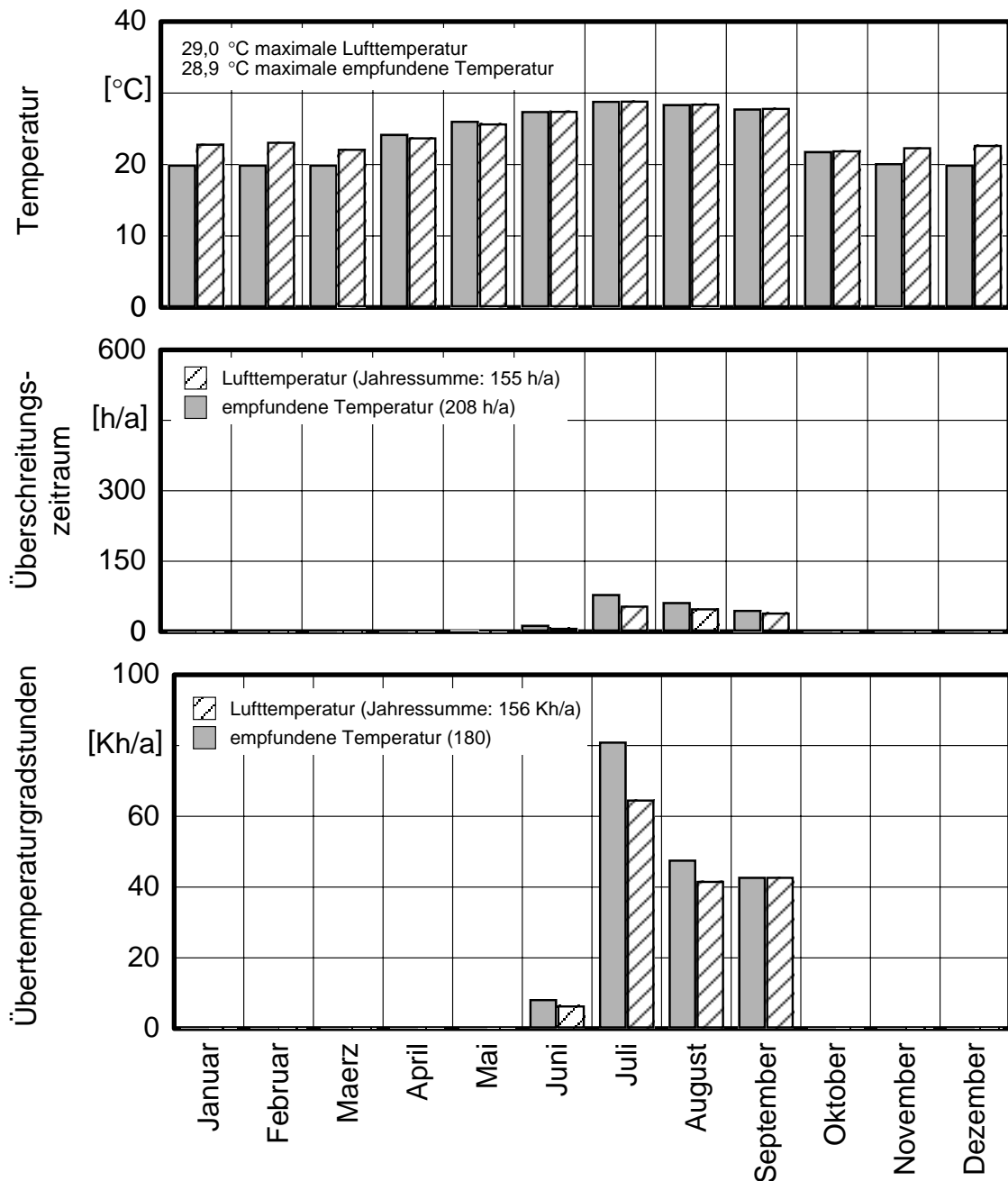


Bild 7: Übertemperaturgradstunden, Überschreitungszeitraum und maximal auftretende Temperatur im Raum Kind 1 im Dachgeschoss. Der Raum wird bei Temperaturen über 24°C intensiv belüftet. Durch den Einsatz von Sonnenschutzelementen wird der Sonneneinstrahlungseintag zeitweise auf 50 % reduziert. Der betrachtete Dämmstoff aus Mineralfaser hat eine Rohdichte von 15 kg/m³, eine spezifische Wärmekapazität von 1030 J/(kgK) und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(mK).

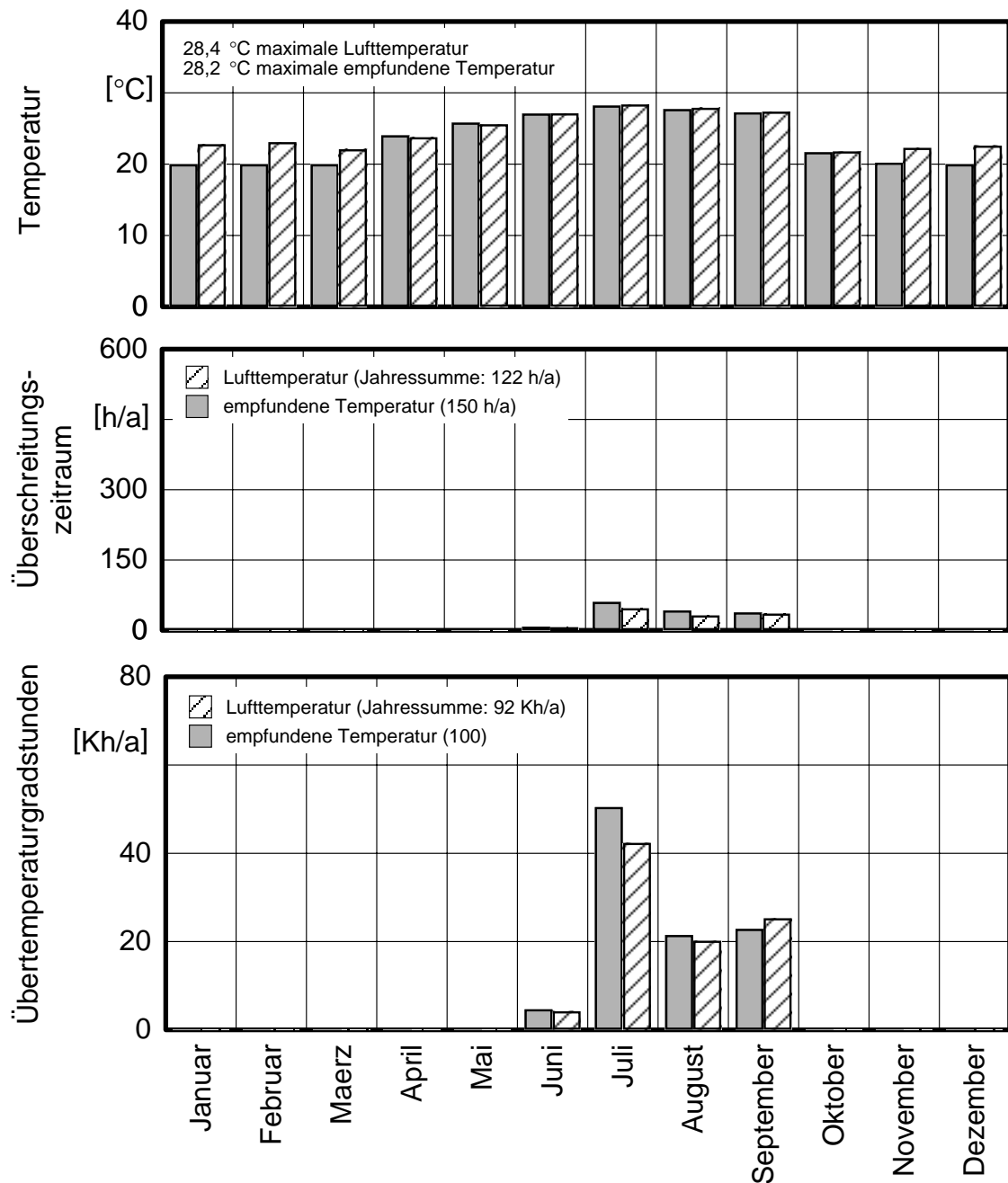


Bild 8: Übertemperaturgradstunden, Überschreitungszeitraum und maximal auftretende Temperatur im Raum Kind 1 im Dachgeschoss. Der Raum wird bei Temperaturen über 24°C intensiv belüftet. Durch den Einsatz von Sonnenschutzelementen wird der Sonneneinstrahlungseintag auf 50 % reduziert. Die betrachtete Holzfaserver-Dämmplatte hat eine Rohdichte von 45 kg/m³, eine spezifische Wärmekapazität von 2100 J/(kgK) und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(mK) in allen Bauteilen.

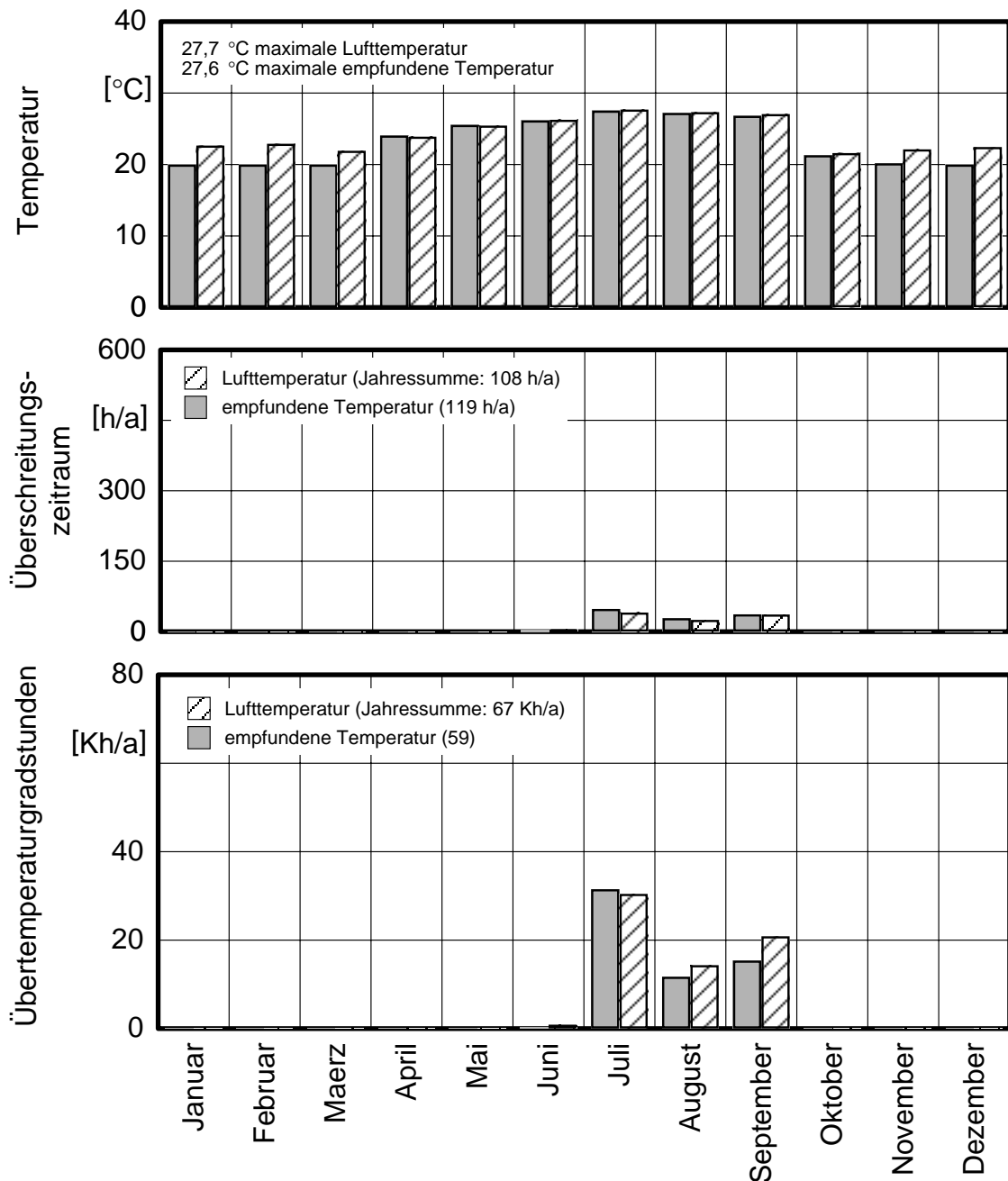


Bild 9: Übertemperaturgradstunden, Überschreitungszeitraum und maximal auftretende Temperatur im Raum Kind 1 im Dachgeschoss. Der Raum wird bei Temperaturen über 24°C intensiv belüftet. Durch den Einsatz von Sonnenschutzelementen wird der Sonneneinstrahlungseintag auf 50 % reduziert. Die betrachtete Holzfaser-Dämmplatte hat eine Rohdichte von 150 kg/m³, eine spezifische Wärmekapazität von 2100 J/(kgK) und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(mK) in allen Bauteilen.