

## Zum sommerlichen Temperaturverhalten hochwärmegedämmter Ziegelwohnhäuser

### Einleitung

Das sommerliche Temperaturverhalten ist von großer Bedeutung für die Behaglichkeit innerhalb von Niedrigenergiehäusern. Die sich maximal einstellenden Raumlufttemperaturen hängen von der Klimaregion, von der Bauweise des Gebäudes sowie von dessen Nutzung ab. Die aktive Beeinflussung der Raumlufttemperatur ist durch die Benutzung eines Sonnenschutzes und die Belüftung über Fenster und Lüftungsanlagen möglich. Nach DIN 4108-2 [1] sollen im Nachweisverfahren sog. Sonneneintragskennwerte für kritische Raumsituationen, die der Sonneneinstrahlung besonders ausgesetzt sind nicht überschritten werden.

Dies gilt sowohl für einzelne Räume als auch für zusammenhängende Raumgruppen.

Durch Einhaltung des normierten Sonneneintragskennwertes  $S_{max}$  soll unter Standardbedingungen gewährleistet sein, dass eine bestimmte Grenz-Raumtemperatur an nicht mehr als 10% der jährlichen Aufenthaltszeit überschritten wird. Diese Grenztemperatur ist abhängig vom Klimastandort und damit von der durchschnittlichen Monatstemperatur des heißesten Monats im Jahr und wird in Deutschland für drei Regionen unterschieden:

Tabelle 1: Definition der Sommerklimaregionen Deutschlands gemäß DIN 4108-2

Sommer-Klimaregion	Geografie	Durchschnittstemperatur des heißesten Monats	Grenz-Raumtemperatur
A	Mittelgebirgslagen, Bayerischer Wald, Schwarzwald, Schwäbische Alb, Küstengebiete	sommerkühl $\leq 16,5$ °C	25 °C
B	Übriges Deutschland, außer A und C	gemäßigt 16,5 – 18 °C	26 °C
C	Bodensee, Oberrhein, Saarland, Rhein-Main, Rhein-Ruhr, Oderbruch, Sachsen, Brandenburg	sommerheiß $\geq 18$ °C	27 °C

Bei Wohn- und wohnähnlich genutzten Gebäuden kann auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden, wenn raum- oder raumgruppenweise die in der folgenden Tabelle 2 zusammengestellten, auf die Nettogrundfläche

bezogenen Fensterflächenanteile  $f_{AG}$  nicht überschritten werden. Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenstern vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für  $f_{AG}$  bestimmend.

Tabelle 2: Zulässige grundflächenbezogene Fensterflächenanteile oberhalb deren ein Nachweis zu führen ist

Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster und der Fassade	Fensterflächenanteil $f_{AG}$ [%]
60° - 90°	Nord-Ost über Süd bis Nord-West	10
	Alle Nordorientierungen	15
0° - 60°	Alle Orientierungen	7

Auf einen Nachweis bei Ein- und Zweifamilienhäusern kann verzichtet werden, wenn deren Ost-, Süd- und Westfenster mit Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor  $F_C \leq 0,3$  (z.B. Rollläden) ausgestattet sind.

Die Energie-Einsparverordnung (EnEV) [2] steht in gewissem Widerspruch zu DIN 4108-2 und verlangt den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Gebäude mit normalen Innentemperaturen erst ab Gesamt-Fensterflächenanteilen über 30% (EnEV, § 3, Satz 4). Dies steht nicht im Einklang mit der DIN 4108-2, die eine derartige Vorbedingung nicht kennt und grundsätzlich eine Nachweispflicht an raumbezogene Fensterflächenanteile knüpft (siehe oben).

### Ermittlung der Gebäudeschwereklasse

Ein wesentlicher Einfluss auf die sommerlichen Maximaltemperaturen geht von der Schwere der Gebäudekonstruktion aus. Daher erfolgt eine beispielhafte Einstufung unterschiedlicher Bauweisen hinsichtlich ihrer Speicherfähigkeit. Da die Nachweissführung raumweise oder raumgruppenweise durchzuführen ist, werden nach DIN 4108-2 drei Raum-Bauarten unterschieden. Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit wird auf die Nettogrundfläche  $A_G$  des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe bezogen und wie folgt klassifiziert :

leichte Bauart:

$C_{\text{wirk}} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  
gilt auch für Gebäudeplanungen ohne Festlegung der Baukonstruktion,

mittlere Bauart:

$C_{\text{wirk}} / A_G = 50 - 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  
gültig für Wohnräume in Gebäuden aus Wärmedämmziegeln und mit massivem Innenausbau,

schwere Bauart:

$C_{\text{wirk}} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;  
Wohnräume in Ziegelgebäuden aus HLz mit  $\rho \geq 1,0 \text{ kg}/\text{dm}^3$  und massivem Innenausbau.

Um eine schnelle Übersicht der Bauarten zu ermöglichen, sind für verschiedene Raumsituationen die grundflächenbezogenen Wärmespeicherfähigkeiten beispielhafter ermittelt worden. Den Berechnungen liegt folgende Grundrissituation zugrunde:

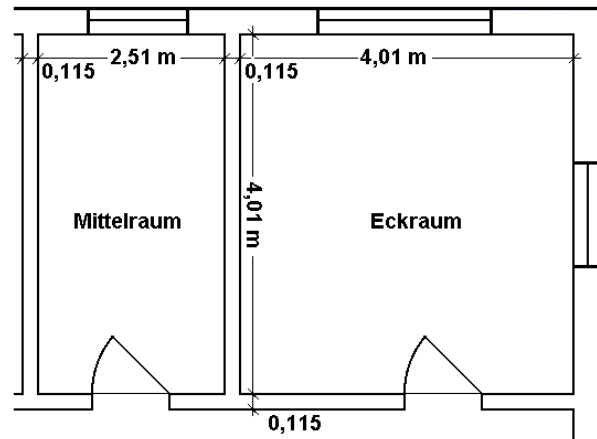


Bild 1: Den Musterrechnungen zugrunde liegende Raumanordnung.

Tabelle 3: Bauteilflächen der in Bild 1 dargestellten Raumsituationen

	Flächen [ $\text{m}^2$ ]						
	Grundfläche	Außenwand	Fenster	Innenwand	Boden	Decke	Tür
Eckraum	16,0	12,5	7,5	18,2	16,0	16,0	1,8
Mittelraum	10,0	4,1	2,1	24,5	10,0	10,0	1,8

Werden die oben dargestellten Musterräume in einem Normalgeschoss mit einer lichten Raumhöhe von 2,5 m in monolithischer Ziegelbauweise mit einer mittleren Rohdichte sämtlicher Wände von etwa  $0,7 \text{ kg}/\text{dm}^3$  erstellt, ergeben sich bei Verwendung von Stahlbetondecken mit schwimmendem Estrich flächenbezogene wirksame Wärmespeicherfähigkeiten  $C_{\text{wirk}}/A_G$  von ca.  $125 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für den Eckraum und ca.  $135 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für den Mittelraum.

Wird statt der Stahlbetongeschossdecke als obere Raumbegrenzung ein geneigtes, vollsparrengedämmtes Dach und anteilig eine Kehlbalkendecke angesetzt, reduzieren sich die wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten auf  $C_{\text{wirk}}/A_G$  von ca.  $90 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für den Eckraum und ca.  $70 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  für den Mittelraum. Damit ist für alle Fälle eine sichere Einstufung in die mittlere Bauart gegeben.

Werden für die gleichen Raumsituationen Wandrohdichten von über  $1,0 \text{ kg/dm}^3$  wie z.B. bei zusatzgedämmten Konstruktionen eingesetzt, können Räume in massiven Normalgeschossen in der Regel in die schwere Bauart eingestuft werden, da  $C_{\text{wirk}}/A_G > 130 \text{ Wh/(m}^2\cdot\text{K)}$  beträgt. Dabei spielt die Dicke der Außenwand keine Rolle, da maximal 10 cm Bauteildicke von der Raumseite rechnerisch angesetzt werden dürfen.

Bei Innenbauteilen wird lediglich deren halbe Bauteildicke bis max. 10 cm in Ansatz gebracht. Dämmstoffe innerhalb mehrschichtiger Bauteile begrenzen die Wärmespeicherkapazität auf die raumseitig davor liegenden Schichten.

In Dachgeschossen mit überwiegenden Ausbauten aus Gipskartonständerwerk oder leichten Holzeinbauten mit Wärmedämmschichten muss von einer Einstufung zur leichten Bauart ausgegangen werden. Gleiches gilt bei Entkopplung der raumseitigen Speichermassen durch z. B. abgehängte Decken.

## Temperaturverhalten ausgeführter Ziegel-Wohngebäude

Das sommerliche Temperaturverhalten von neun Ziegel-Niedrigenergiehäusern ist durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik an bewohnten Gebäuden messtechnisch dokumentiert worden [3]. In einer heißen Sommerperiode im August sind die mittleren Raumlufttemperaturen der Einfamilienhäuser (farbig) den Außenlufttemperaturen (Bild 2, schwarze Kurve) gegenübergestellt worden. Selbst an den besonders heißen Tagen mit Außenlufttemperaturen von bis zu etwa  $33 \text{ °C}$  liegen die maximalen Innentemperaturen etwa 5 K unter diesen. Ein Aufschaukeln der Innentemperaturen ist zwar erkennbar, allerdings zeigen alle Häuser eine ähnliche Tendenz stark gedämpfter Raumtemperaturen. Dieses Verhalten kann trotz eines unterschiedlichen Nutzerverhaltens hinsichtlich Belüftung und Belegungsdichte in Ziegelwohnhäusern als typisch angesehen werden. Die nach DIN 4108-2 vorgegebene Grenztemperatur beträgt für den Standort der Häuser  $26 \text{ °C}$ , entsprechend der Sommer-Klimaregion B. Im Mittel werden an 148 h im Monat August die  $26 \text{ °C}$  Raumlufthtemperatur überschritten. Der höchste gemessene Wert in einem Wohnhaus beträgt  $29 \text{ °C}$ .

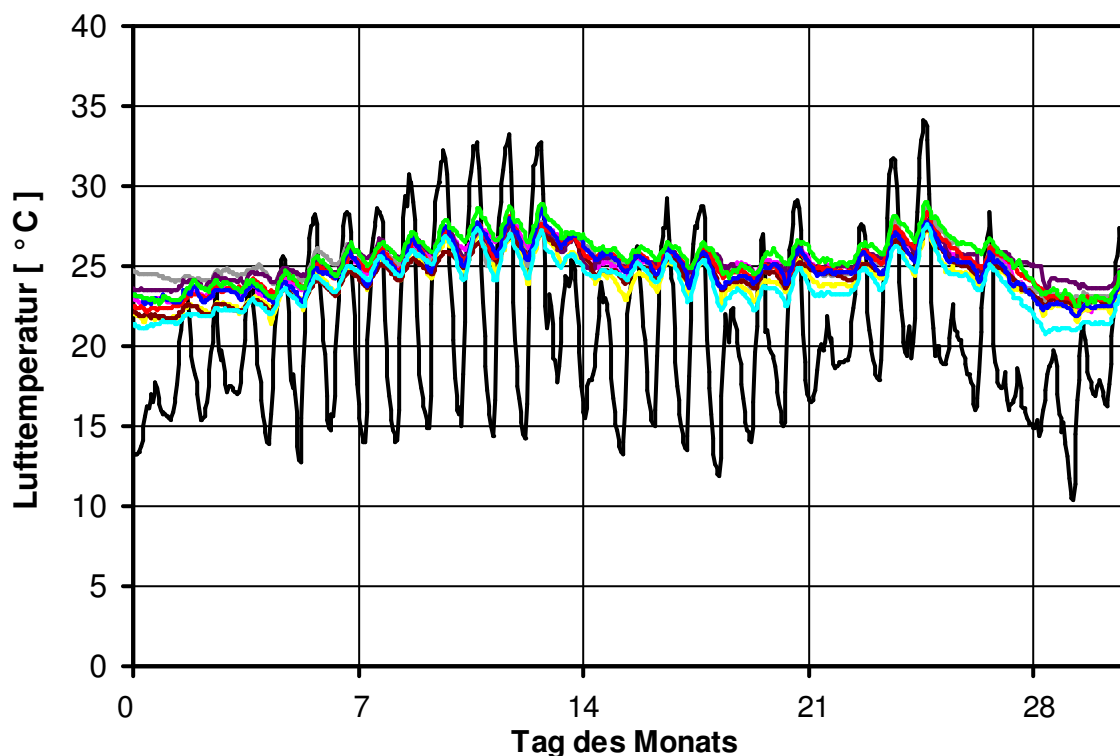


Bild 2: Tagesgang der Außenlufttemperatur (schwarz) und der mittleren Gebäudetemperaturen der 9 Niedrigenergiehäuser (farbig) im August nach [3]

## Rechnerischer Vergleich Massivhaus-Holzständerbau

Grundlage einer dynamischen Simulation ist ein alternativ in Massivbauweise und in Holzständerbauweise errichtetes, unterkellertes Einfamilienhaus mit einem nach Süden orientiertem Pultdach [4]. 35,8 % der Fensterflächen sind nach Süden, 13,9 % nach Westen, 18,4 % nach Osten und 23,0 % nach Norden gerichtet. Die Wohnfläche beträgt 138,8 m<sup>2</sup>, die gesamte Nutzfläche einschließlich Keller 209,7 m<sup>2</sup>. Die U-Werte des Daches, der Fenster und des Kellers sind in beiden Bauausführungen identisch. Bei den Außenwänden wichen die Dämmwerte durch die unterschiedliche Konstruktion leicht ab:  $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  bei der

Massivbauweise und  $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  bei der Holzbauweise. Die U-Werte der Innenwände und der Geschossdecke über dem Erdgeschoss sind beim Holzhaus konstruktionsbedingt erheblich geringer als beim Massivhaus. Wegen der nahezu identischen Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle weisen beide Häuser fast den gleichen Heizwärmebedarf von etwa 44 kWh/(m<sup>2</sup> a) auf.

Die wirksame, auf die Nettogrundfläche bezogene Wärmespeicherkapazität gemäß DIN 4108-2 beträgt für das Massivhaus 144 Wh/(m<sup>2</sup> K). Das für die Untersuchung mit typischer Holzständerbauweise geplante Wohngebäude weist dagegen einen Wert von 47 Wh/(m<sup>2</sup> K) auf.

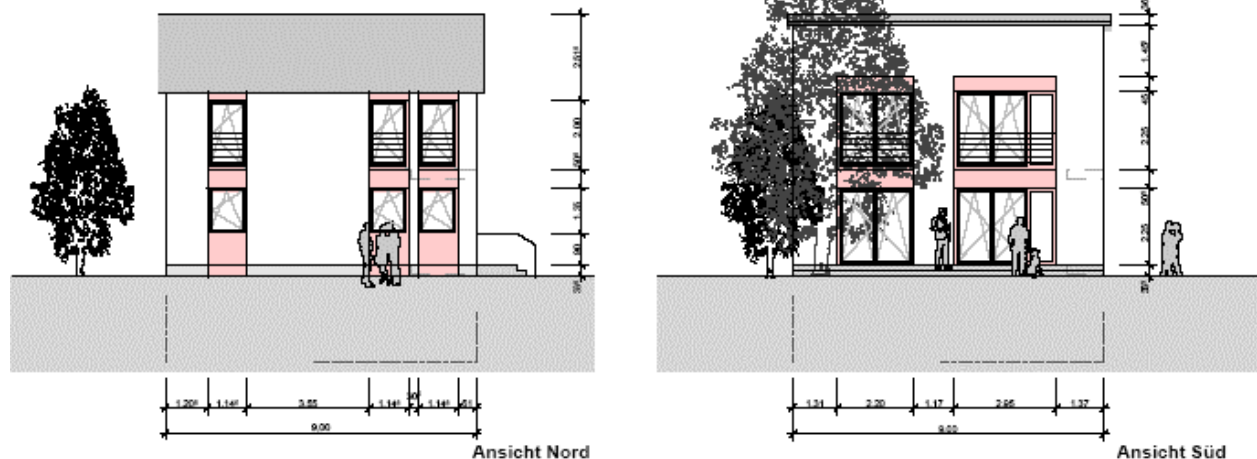


Bild 3: Gebäudeansichten des untersuchten Einfamilienhauses in Leicht- und Massivbauweise (nach [4])

Für die internen Wärmequellen sowie für die Belüftung und den Sonnenschutz werden einheitliche Randbedingungen festgelegt. Alle wärmeschutzverglaste Fenster auf der Süd-, Ost- und Westseite erhalten Verschattungseinrichtungen mit einem Verschattungsfaktor bis zu 50 %. Die Verschattung wird abhängig von der Einstrahlung in der Fensterebene aktiviert. Verglichen werden die Raumtemperaturen innerhalb des Hauses über das gesamte Jahr des beispielhaft gewählten sommerheißen Klimastandes Frankfurt.

Das Massivhaus zeigt deutlich niedrigere Überhitzungshäufigkeiten als das Holzhaus. Im Jahresmittel liegen die Raumtemperaturen der südlichen Erdgeschosszone zu 3,4 % der Jahresstunden bei Temperaturen über 26 °C. Die Maximaltemperatur der Innenräume beträgt 28,9 °C. Beim Holzhaus liegen die Jahresstunden > 26 °C bei 13,1% mit einer Maximaltemperatur der Innenräume von 32,8 °C. Die Raumtemperaturen schwanken im Massivhaus weniger als im Holzhaus. Die Tage mit Überhitzungsgefahr beschränken sich beim Massivhaus weitgehend auf die Monate Juli und August, beim Holzhaus bestehen Überhitzungsstunden im Zeitraum von April bis Oktober.

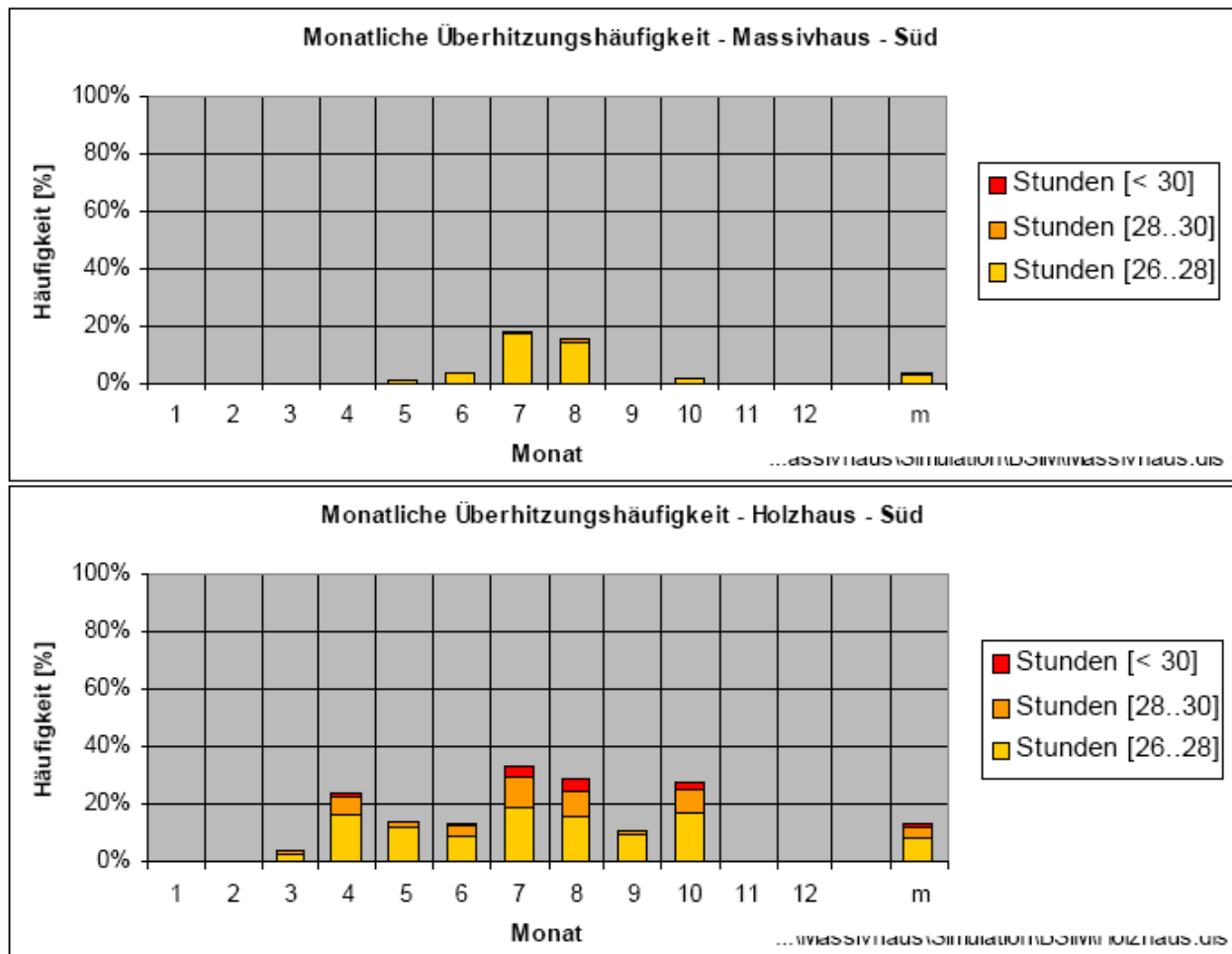


Bild 4: Häufigkeiten monatlicher Überhitzungsstunden über 26 °C für Massivhaus und Holzständerhaus nach [4]

## Fazit

Der Sommerliche Wärmeschutz ist entsprechend der Energie-Einsparverordnung (EnEV) und DIN 4108-2 eine geschuldete Eigenschaft, also auch ohne besondere vertragliche Vereinbarung zu gewährleisten. Ergebnisse gemessener Ziegelmassivhäuser sowie rechnerische Simulationen eines Pultdachhauses zeigen, dass die Massivbauweise hinsichtlich der maximalen Raumtemperaturen und der Häufigkeit der Temperaturüberschreitung normativ festgelegter Grenzwerte deutlich günstiger abschneidet, als bei einer in Nutzung und Dämmeigenschaften identischen Holzständerbauweise. Hochwärmegedämmte Ziegelhäuser mit monolithischen Außenwänden können hinsichtlich ihrer Speicherfähigkeit mindestens der mittleren Bauart, häufig auch der schweren Bauart zugeordnet werden.

## Literatur

- [1] DIN 4108–2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe Juli 2003. Beuth Verlag, Berlin.
- [2] Bundesregierung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik (Energie-Einsparverordnung – EnEV). Bundesgesetzblatt vom 7. Dezember 2004, Bonn.
- [3] Kluttig, H., Erhorn, H.: Niedrigenergiehäuser in Ziegelbauweise - Abschlussbericht. Bericht WB 100/1998 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1998).
- [4] Massiv Mein Haus: Wohnhaus und Bauweise – Studie zum thermischen Raumklima, Friedberg, Juli 2006.

Bonn, August 2006  
Gi-GdJ AMz