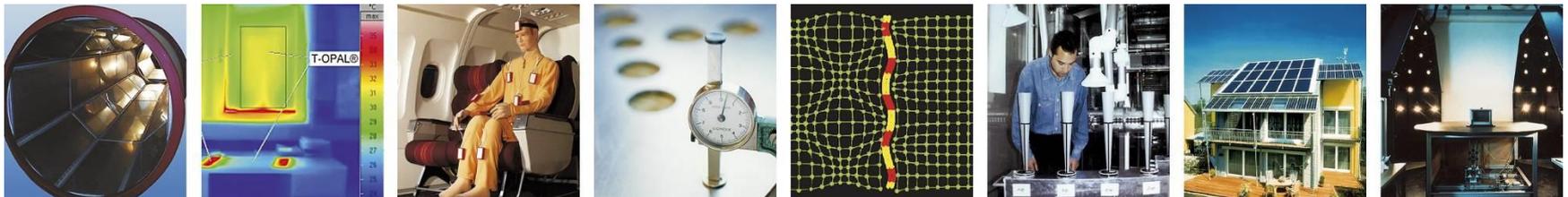


# Dynamische Simulation zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2

Fachforum „Sommerlicher Wärmeschutz von Gebäuden“

Florian Antretter – Bauzentrum München – 20. Oktober 2015

Auf Wissen bauen



---

# Inhalt

---

- Sommerlicher Wärmeschutz (Grundlagen und Hintergrund)
- Dynamische Simulation
  - Grundlagen und Bewertung
  - Behaglichkeitsbewertung
  - Simulationsrandbedingungen
  - Hygrothermische Gebäudesimulation mit WUFI® Plus
- Anwendungsbeispiel: Auswirkung der Dämmungs- Wärmespeicherung
- Zusammenfassung und Schlussfolgerung

# Sommerlicher Wärmeschutz

# Sommerlicher Wärmeschutz

## Bauliche und planerische Maßnahmen

Überhitzung der Räume und Gebäude im Sommer kann vermieden werden:

- **Begrenzung großer Fensterflächen** ohne Sonnenschutzmaßnahmen
- **Sonnenschutzmaßnahmen**
  - bauliche Gestaltung  
(z.B. auskragende Dächer, Balkone)
  - außen oder innenliegende Sonnenschutzvorrichtungen  
(Fensterläden, Rollläden, Jalousien, Markisen)
  - Sonnenschutzgläsern ( $g < 0,4$ )
- innenliegende wärmespeichernde Bauteile
- erhöhte oder hohe Nachtlüftung oder passive Kühlung  
(! aber erst Sonnenschutz vorsehen !)

# Sommerlicher Wärmeschutz

## Bauliche und planerische Maßnahmen

Der sommerliche Wärmeschutz ist abhängig:

- vom **Gesamtenergiedurchlassgrad** der transparenten Außenbauteile
- ihrem **Sonnenschutz**
- ihrem **Anteil** an der **Fläche** der Außenbauteile
- ihrer **Orientierung** nach Himmelsrichtung
- ihrer **Neigung** in Dachflächen
- der **Lüftung** in den Räumen
- der Wärmekapazität innen liegender Bauteile (leichte / schwere Bauart)
- sowie von den Wärmeleiteigenschaften der Außenbauteile bei instationären Randbedingungen

# Sommerlicher Wärmeschutz

## Zweck und Notwendigkeit

- **Mindestanforderungen** an den sommerlichen Wärmeschutz sind nach DIN 4108-2 einzuhalten.
- Dieser Teil der Norm in der Version **DIN 4108-2:2013-02** grundlegend überarbeitet.
- Der Referentenentwurf zur **EnEV 2013** verweist neu auf die **aktualisierte Fassung**.

# DIN 4108-2

DEUTSCHE NORM

Februar 2013

**DIN 4108-2**

**DIN**

ICS 91.120.10

Ersatz für  
DIN 4108-2:2003-07

## **Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz**

Thermal protection and energy economy in buildings –  
Part 2: Minimum requirements to thermal insulation

Protection thermique et économie d'énergie dans la construction immobilière –  
Partie 2: Exigences minimales à l'insolation thermique

# Sommerlicher Wärmeschutz

## Nachweisverfahren

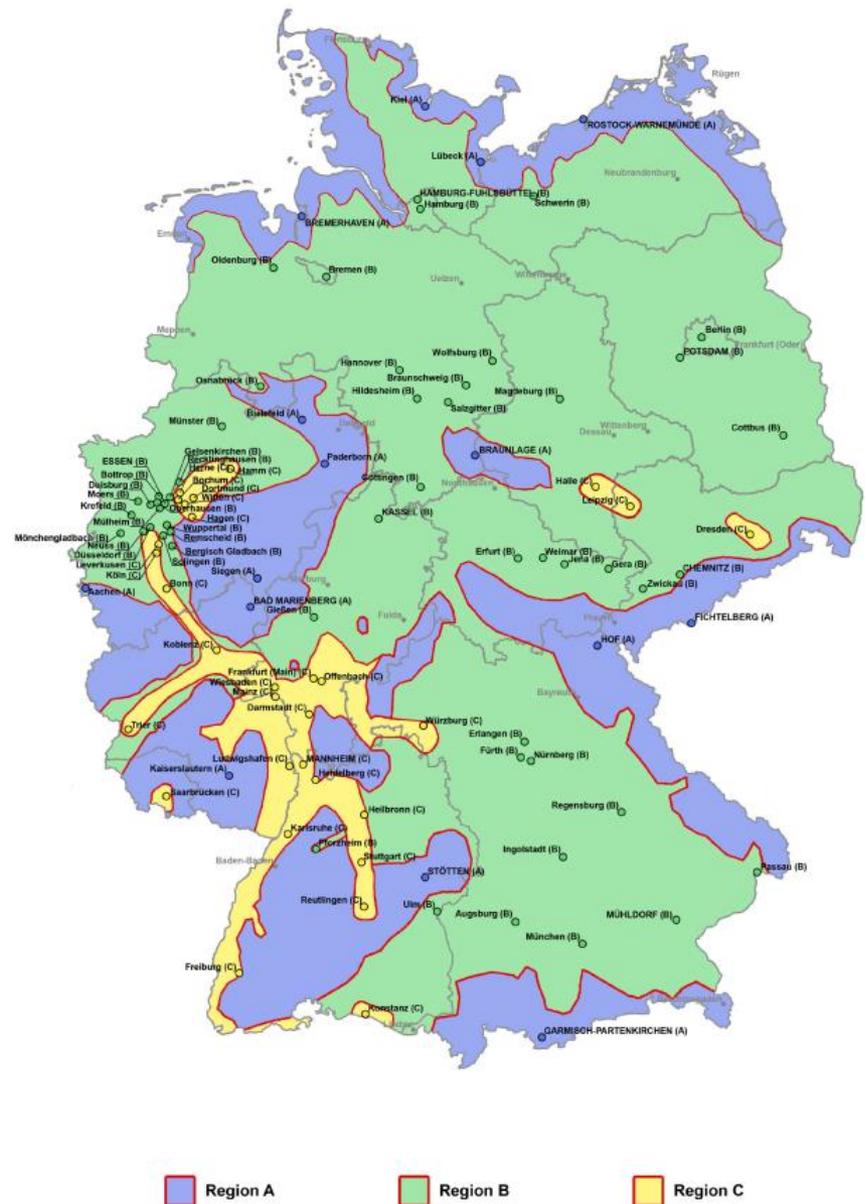
- Zwei Nachweisverfahren sind möglich:
  - Tabellenverfahren  
→ Begrenzung der **Sonneneintragskennwerte**
  - Thermische Gebäudesimulation  
→ Begrenzung der **Übertemperatur-Gradstunden**
- Es reicht aus, die Berechnungen auf die Räume oder Raumbereiche zu beschränken, für welche die Berechnung zu den **höchsten Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutz** führen würde.
- Das Tabellenverfahren kann bei Räumen mit **Doppelfassaden** oder **transparente Wärmedämmsysteme** nicht angewendet werden .

# Sommerlicher Wärmeschutz

## Dynamische Simulation

# Klimaregionen

- Einteilung Deutschlands in drei Sommerklimaregionen
- Bei Lage des Standorts nahe Grenzlinie Zuweisung zur wärmeren Klimaregion (A->B, B->C)
- Testreferenzjahre mit stündlichen Klimadaten vom Deutschen Wetterdienst
- Standorte:
  - Rostock
  - Potsdam
  - Mannheim



# Bewertung durch dynamisch-thermische Simulation

Nach DIN 4108-2 Kapitel 8.4:

- Dynamisch-thermische Simulation kann zur Nachweisführung verwendet werden
  - Wenn vereinfachtes Verfahren ausgeschlossen ist, muß dynamisch-thermische Simulation verwendet werden
- Einheitliche Berechnungsrandbedingungen
- Einheitliche Nachweisführung (Übertemperaturgradstunden)

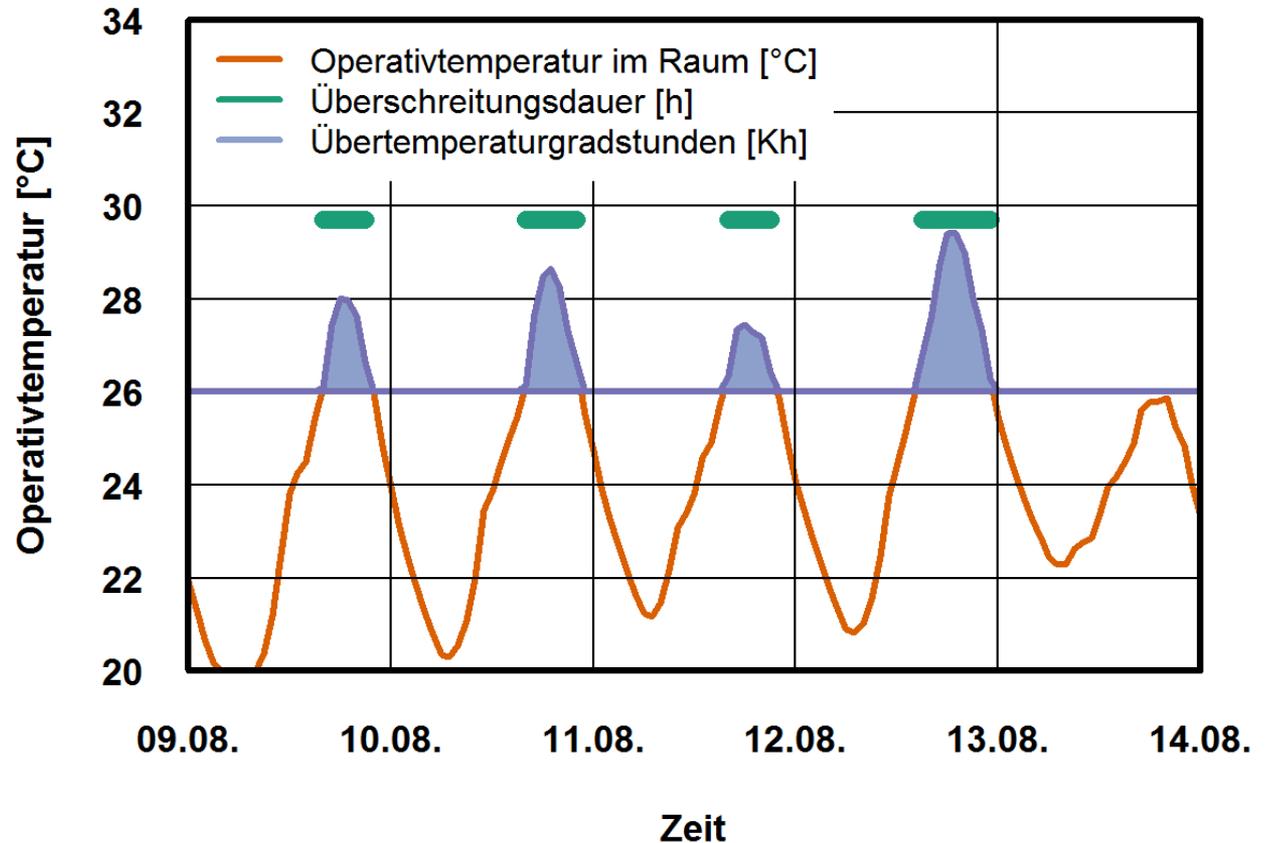
# Bewertung nach DIN 4108-2

Alt:

- Überschreitungsdauer

Neu:

- Übertemperaturgradstunden bezogen auf die Operativtemperatur



# Anforderungen

- Anforderung an Übertemperaturgradstunden bezogen auf die innere Operativtemperatur je Sommer-Klimaregion
- Anwesenheitszeit:
  - Wohnnutzung 24 h/d
  - Nichtwohnnutzung Montag bis Freitag 7 Uhr bis 18 Uhr

**Tabelle 9 — Zugrunde gelegte Bezugswerte der operativen Innentemperatur für die Sommerklimaregionen und Übertemperaturgradstundenanforderungswerte**

Sommerklimaregion	Bezugswert $\theta_{b,op}$ der Innentemperatur °C	Anforderungswert Übertemperaturgradstunden Kh/a	
		Wohngebäude	Nichtwohngebäude
A	25	1 200	500
B	26		
C	27		

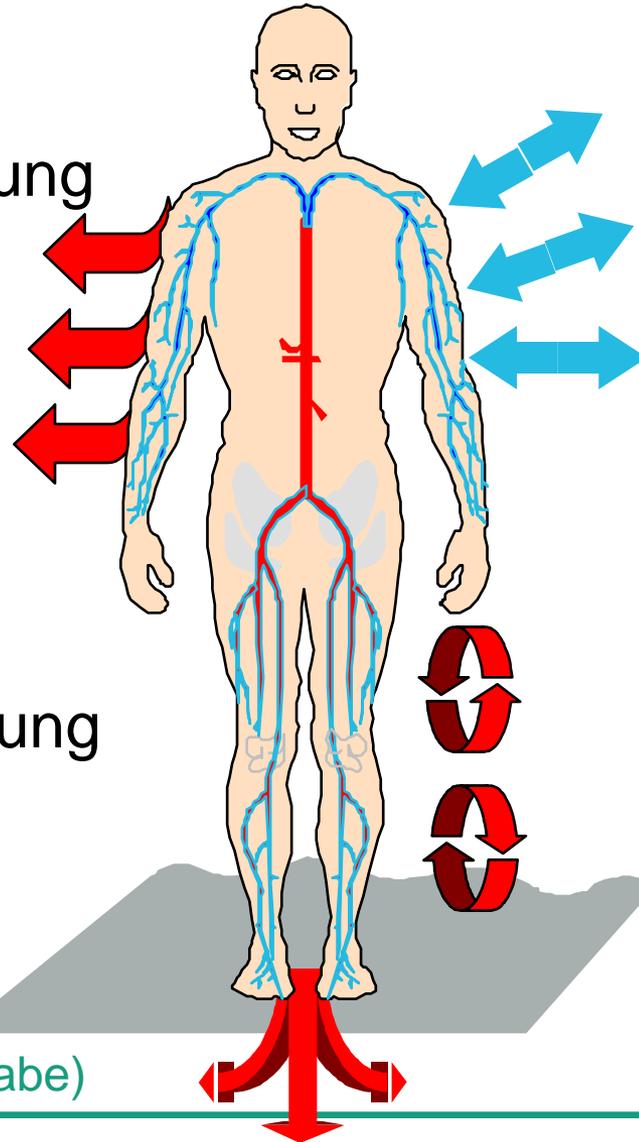
# **Grundlagen: Behaglichkeit**

## Menschliche Wärmebilanz und Behaglichkeitsbewertung

---

# Wärmeabgabe des Menschen an die Umgebung

Schweißverdunstung  
an der Hautoberfläche  
(Wasserverdampfung  
ca. 60% der  
Wärmeabgabe)



Wärmestrahlung im  
Austausch mit den  
Umschließungsflächen  
(ca. 20% der Wärmeabgabe)

direkte Wärmeleitung  
z.B. von den Fußsohlen  
durch die Schuhsohle  
an den Fußboden

Konvektion an die  
umgebende Raumluft  
(ca. 15% der Wärmeabgabe)

(ca. 5% der Wärmeabgabe)

# Operativtemperatur nach DIN EN ISO 7730

## Individuelle Parameter

- Bekleidungsdämmung
- Aktivitätsgrad

## Raumklimaparameter

- Lufttemperatur
- Strahlungstemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Luftfeuchte

Die operative Temperatur ist die gleichmäßige Temperatur eines Raumes, bei der der Mensch die gleiche Wärmemenge für Strahlung und Konvektion abgibt wie bei der gegebenen nicht gleichförmigen Umgebung.

$$t_{\text{operativ}} = a \times t_{\text{Luft}} + (1 - a) \times t_{\text{Strahlung}}$$

wobei

$a = 0,5$  für Luftgeschwindigkeiten  $v < 0,2$  m/s

$a = 0,6$  für  $v = 0,2 \dots 0,6$  m/s

$a = 0,7$  für  $v = 0,6 \dots 1,0$  m/s

# Klimasummengröße PMV

Personen geben ein Votum ab

→ mittleres Votum vieler Personen

→ Vorausgesagtes mittleres Votum nach Fanger

PMV: Predicted Mean Vote

(beinhaltet individuelle und Klimaparameter)

PPD: Predicted Percentage Dissatisfied

(prozentualer Anteil Unzufriedener)

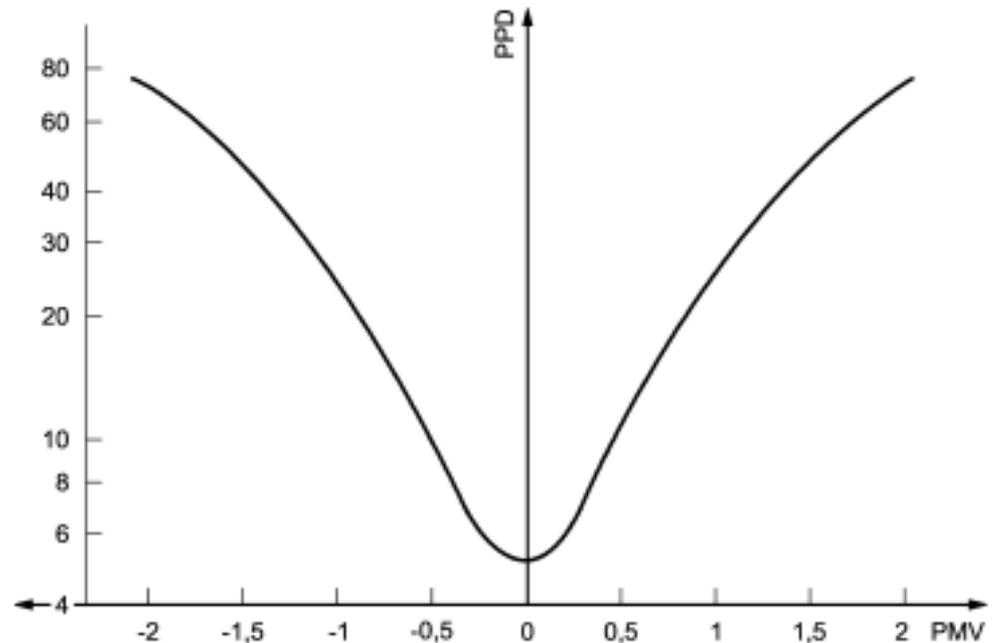
+ 3	heiß
+ 2	warm
+ 1	etwas warm
0	neutral
- 1	etwas kühl
- 2	kühl
- 3	kalt

Beurteilungsskala aus DIN EN  
ISO 7730:2006

# PMV und PPD nach Fanger in DIN EN ISO 7730

Kategorien für das  
Umgebungs-klima nach  
Norm

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt	
	PPD %	PMV
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$



## Legende

PMV Vorausgesagtes mittleres Votum

PPD Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen, %

# **Dynamische Simulation**

## Berechnungsrandbedingungen

# Berechnungsrandbedingungen

- a) Simulationsumgebung: Programm ist zu dokumentieren
- b) Nutzung: Wohngebäude: täglich, 0 bis 24 Uhr  
Nichtwohngebäude: Mo-Fr., 7 bis 18 Uhr
- c) Klimadaten: Region A: Normaljahr TRY-Zone 2  
Region B: Normaljahr TRY-Zone 4  
Region C: Normaljahr TRY-Zone 12
- d) Simulationsbeginn: 1. Januar, Montag, 0 Uhr  
komplettes Jahr, keine Feiertage/Ferien
- e) Interne Wärmegewinne: Wohngebäude: 100 Wh/(m<sup>2</sup>d)  
Nichtwohngebäude: 144 Wh/(m<sup>2</sup>d)  
konstant während Nutzung, 100 % konvektiv

# Berechnungsrandbedingungen

- f) Soll-Raumtemperatur:      Wohngebäude: 20 °C  
   Nichtwohngebäude: 21 °C
- g) Grundluftwechsel:        Wohngebäude:  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$   
   Nichtwohngebäude:

Nutzungszeit: 
$$n = 4 \frac{A_G}{V} \left[ \frac{1}{h} \right]$$

Dabei ist

$A_G$     die Grundfläche in  $\text{m}^2$ ;

$V$         das Nettoraumvolumen, in  $\text{m}^3$

außerhalb:  $n = 0,24 \text{ h}^{-1}$

# Berechnungsrandbedingungen

- h) Erhöhter Tagluftwechsel: Wenn Raumlufttemperatur über 23 °C und über Außenlufttemperatur, dann darf der Luftwechsel auf  $n = 3 \text{ h}^{-1}$  während der Nutzung (Wohn: 6-23 Uhr, Nichtwohn: 7-18 Uhr) erhöht werden.
- i) Nachtluftwechsel: Außerhalb der Aufenthaltszeit: (Wohn: 23-6 Uhr, Nichtwohn: 18-7 Uhr):
- keine Nachtlüftmöglichkeit: nach g)
  - mit Nachtlüftmöglichkeit:  $n = 2 \text{ h}^{-1}$
  - Geschoßübergreifend Nachtl.:  $n = 5 \text{ h}^{-1}$
  - oder gemäß Dimension Lüftungsanlage  
→ wenn erhöhte Nachtlüftung, dann Sonnenschutz mit  $g_{\text{tot}} < 0,4$

# Berechnungsrandbedingungen

- j) Steuerung Sonnenschutz: - nach bekannten Steuer-/Regelparametern  
- sonst: Grenzbestrahlungsstärke je Orient.
- |              |           |                      |
|--------------|-----------|----------------------|
| Wohngebäude: | N, NO, NW | 200 W/m <sup>2</sup> |
|              | andere    | 300 W/m <sup>2</sup> |
| Nichtwohn:   | N, NO, NW | 150 W/m <sup>2</sup> |
|              | andere    | 200 W/m <sup>2</sup> |
- k) Wärmeübergangswiderst.: konstant nach DIN EN ISO 6946:2008-04
- l) Bauliche Verschattung: Darf berücksichtigt werden.
- m) Passive Kühlung: Darf berücksichtigt werden.

Der gewählte Ansatz ist immer zu dokumentieren!

# Abminderung durch Sonnenschutz

Tabelle 7 — Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren  $F_C$  von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glaserzeugnis

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung <sup>a</sup>	$F_C$		
		$g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas) zweifach	$g > 0,40$	
			dreifach	zweifach
1	ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
2	<b>Innenliegend oder zwischen den Scheiben<sup>b</sup></b>			
2.1	weiß oder hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz <sup>c</sup>	0,65	0,70	0,65
2.2	helle Farben oder geringe Transparenz <sup>d</sup>	0,75	0,80	0,75
2.3	dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
3	<b>Außenliegend</b>			
3.1	Fensterläden, Rollläden			
3.1.1	Fensterläden, Rollläden, $\frac{3}{4}$ geschlossen	0,35	0,30	0,30
3.1.2	Fensterläden, Rollläden, geschlossen <sup>e</sup>	0,15 <sup>e</sup>	0,10 <sup>e</sup>	0,10 <sup>e</sup>
3.2	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen			
3.2.1	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
3.2.2	Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung <sup>e</sup>	0,20 <sup>e</sup>	0,15 <sup>e</sup>	0,15 <sup>e</sup>
3.3	Markise, parallel zur Verglasung <sup>d</sup>	0,30	0,25	0,25
3.4	Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen <sup>f</sup>	0,55	0,50	0,50

# Gebäudesimulation

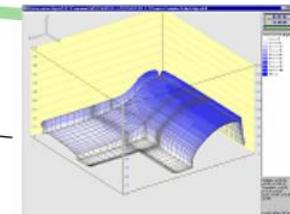
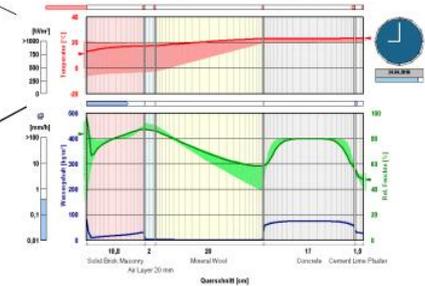
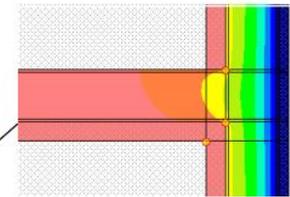
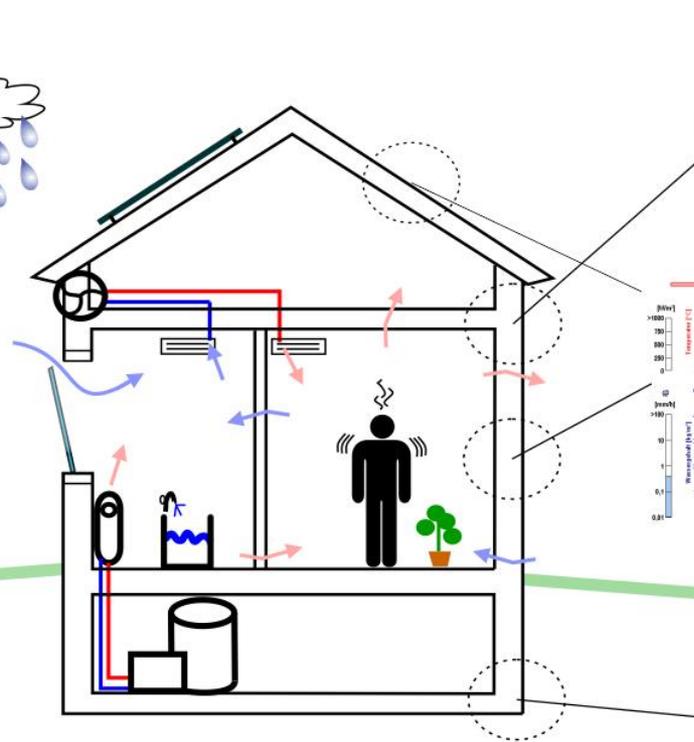
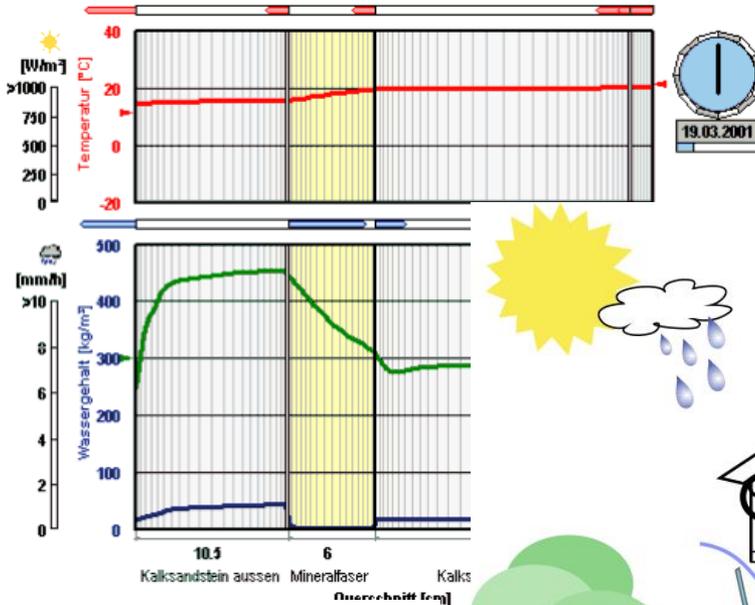
## WUFI® Plus

# Hygrothermische Gebäudesimulation

Klimaort: Holzkirchen

beregnetes zweischaliges Mauerwerk aus Kalksandstein

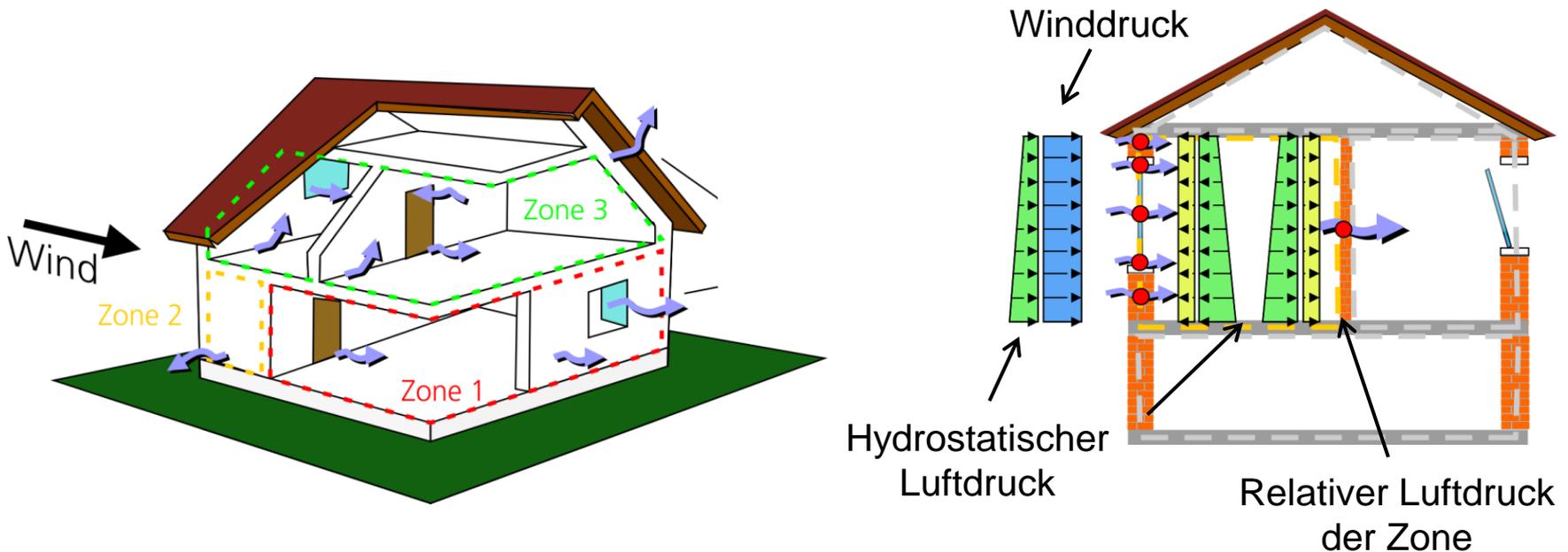
WUFI®



- Wetter
- Innere Lasten
- Sollwerte
- Anlagentechnik
- Lüftung

# Multi-Zonen Gebäudemodell

- Realistische Simulation aller hygrothermischen Vorgänge am und im Gebäude
- Interaktion verschiedener Zonen im Gebäude (Lüftung, Nutzung, Anlagentechnik)



# WUFI Plus – Ergebnisse 4108-2 Report

- Umfangreicher Ausgabereport
- Grafische Darstellung der Anforderungen

## GENERAL INFORMATION

Software: **WUFI®Plus Free V.2.5.4.72**  
 Calculation method: **Thermal building simulation according DIN4108-2**  
 Overheating Degree Hours: **5638,9** kWh/a (> 1200 demand value)

## BUILDING INFORMATION

### General information

Type: **Residential**

Year of construction:

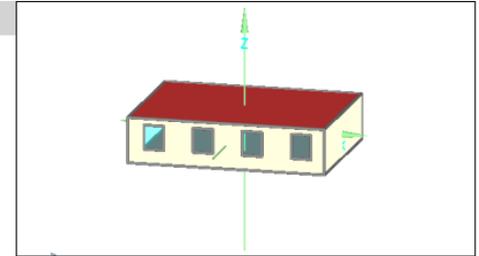
### Building geometry

Enclosed volume: **0 m³**

Total area envelope: **334 m²**

AV ratio: **---**

Treated floor area: **108 m²**



## BOUNDARY CONDITIONS

### Boundary conditions

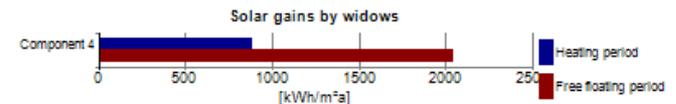
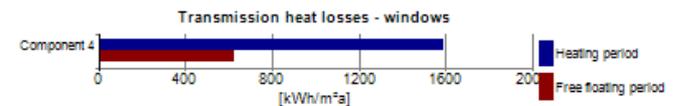
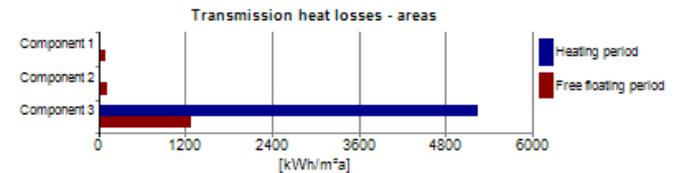
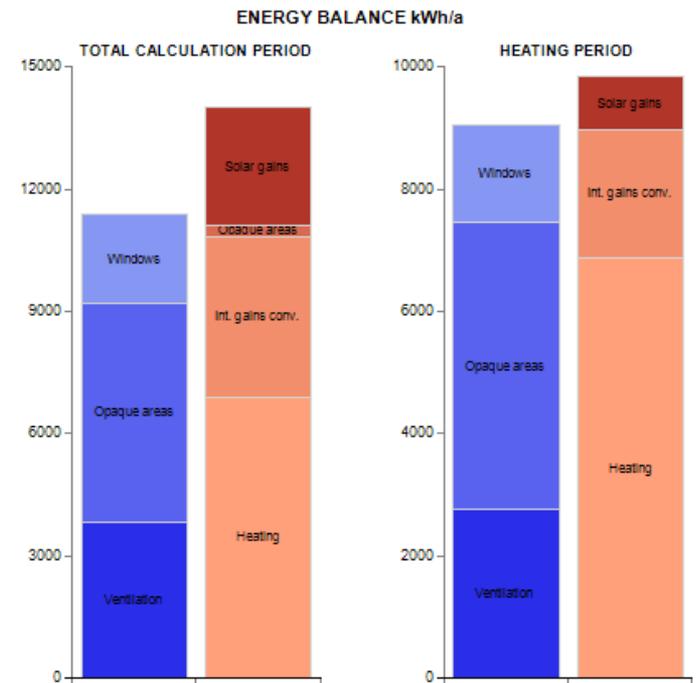
Internal heat gains: **4,2 W/m²**

### Overheating degree hours - overview

Month/day	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
January																															
February																															
March																															
April																															
May																															
June																															
July																															
August																															
September																															
October																															
November																															
December																															

# WUFI Plus – Ergebnisse DIN 4108-2 Report

- Umfangreicher Ausgabereport
- Grafische Darstellung der Anforderungen
- Detaillierte Analysemöglichkeit aller Wärmeströme
- Komplette Projektdokumentation



# WUFI Plus – Ergebnisse Dynamische Simulation

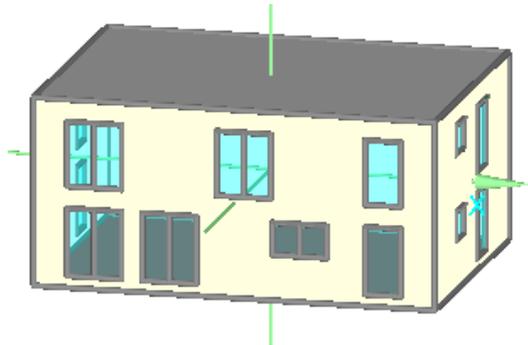
## Report

- Komplette Projektdokumentation
- Mittelwert und Bereich aller relevanten Parameter
- Wärmegewinn/verlust aller Komponenten in Heiz- und Kühlperiode

Case 1/Zone 1: Heat Gain/Loss - heating period [kBtu]

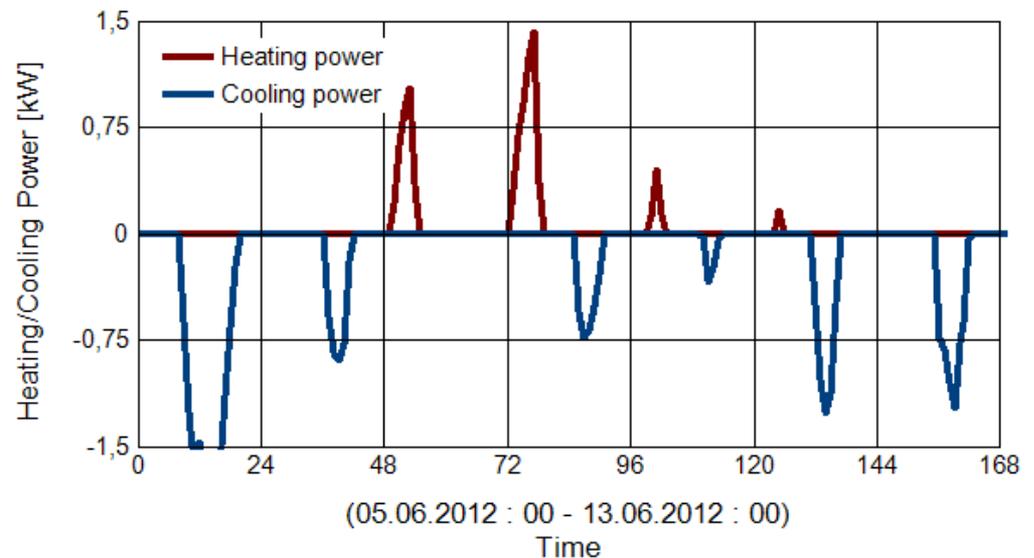
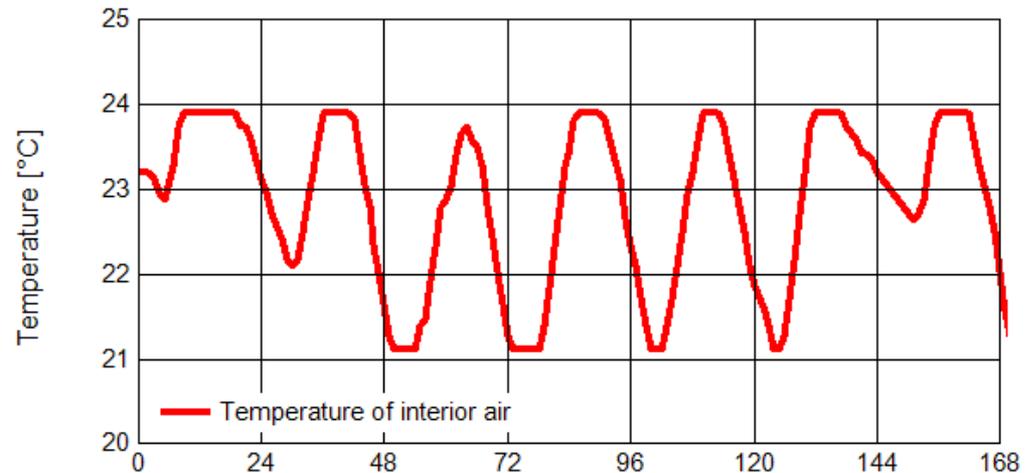
Nr.	Component	Gain	Loss
1	Component 1: Slab - 1	6	998
2	Component 2: S Wall Glass Door 2 -1	0	420
3	Component 3: Exterior Wall -2 North	35	315
4	Component 4: Ceiling/Attic Floor -2	63	340
5	Component 5: N Wall W1 Operable -1	33	184
6	Component 6: E Wall W2 (2) Operable -1	19	96
7	Component 7: W Wall W2 Operable -1	15	96
8	Component 8: W Wall W1 Operable -2	34	181
9	Component 9: E Wall W2 (2) Operable -2	19	96
10	Component 10: W Wall W7 Fixed -2	15	74
11	Component 11: S Wall W0 Operable -2	55	237
12	Component 12: S , W6 Fixed -1	158	550
13	Component 13: S, W5 First floor Fixed -2	79	297
14	Component 14: S Wall W3 Fixed -2	154	550
15	Component 15: S Wall W4,	31	124
16	Component 16: S Wall W5, W6 Fixed -1	80	297
17	Component 17: E Wall W2 (2) Operable -2	19	96
18	Component 18: E Wall W2 (2) Operable -1	19	96

# Dynamische Ausgabe Innenklima



## Dynamische Innenbedingung

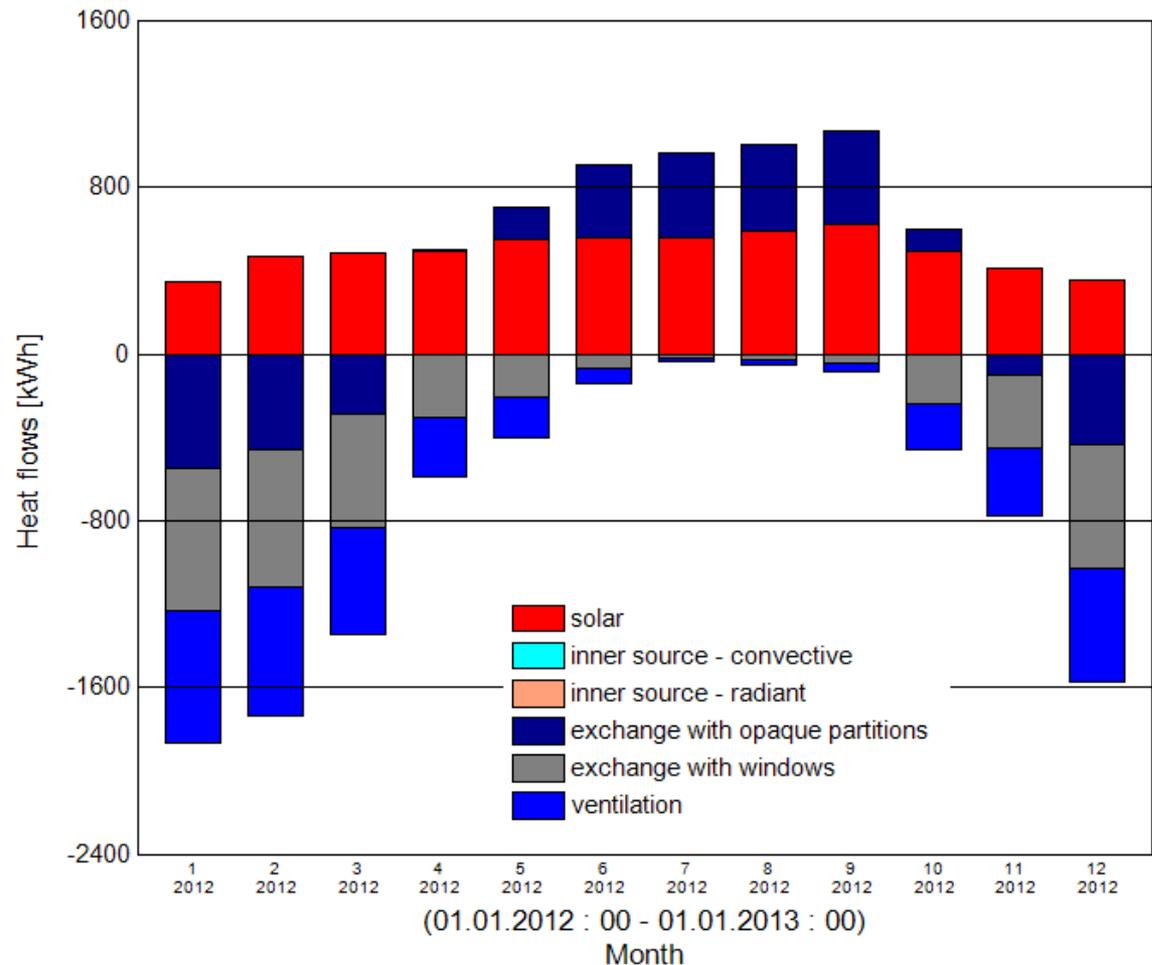
- Stundenwerte für Innentemperatur und feuchte
- Berücksichtigung thermischer und hygrischer Speichermassen
- Leichte Bewertung von Verbesserungsstrategien



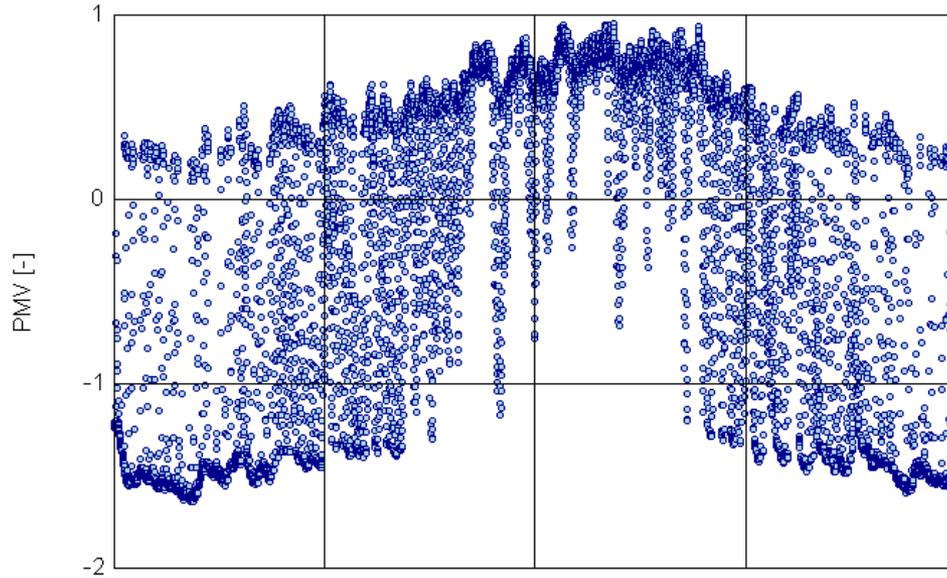
# Dynamische Ausgabe – Wärme-/Feuchteflüsse

## Wärme-/Feuchteflüsse

- Stundenwerte aller Wärme- und Feuchteflüsse
- Monatssummen der Wärme- und Feuchteflüsse
- Bewertung des Einflusses verschiedener Maßnahmen

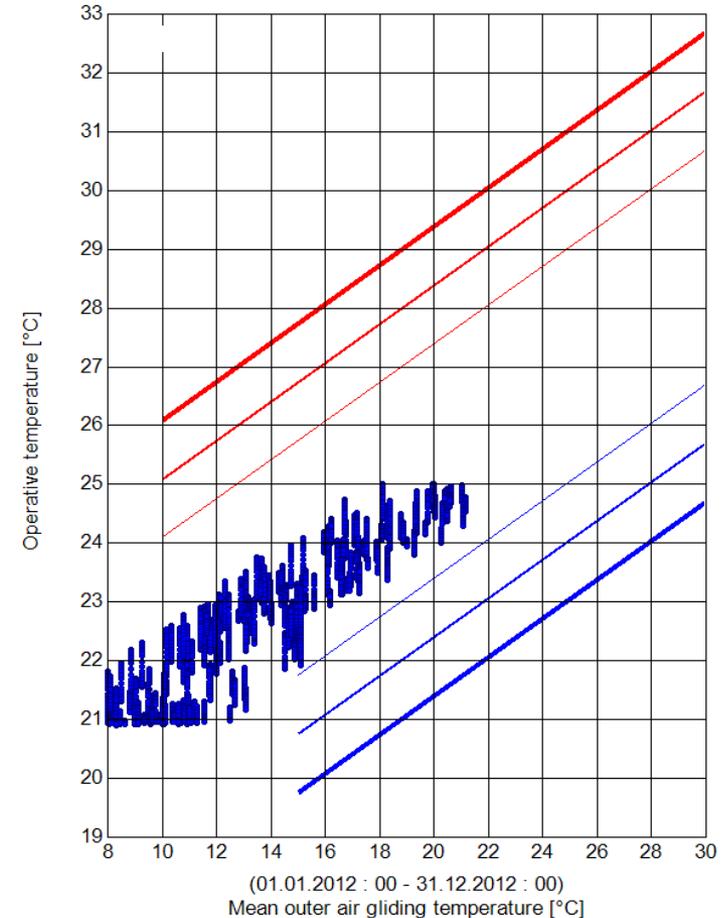


# Dynamische Ausgabe - Komfort



## Komfort Bewertung (DIN EN 15251, ASHRAE)

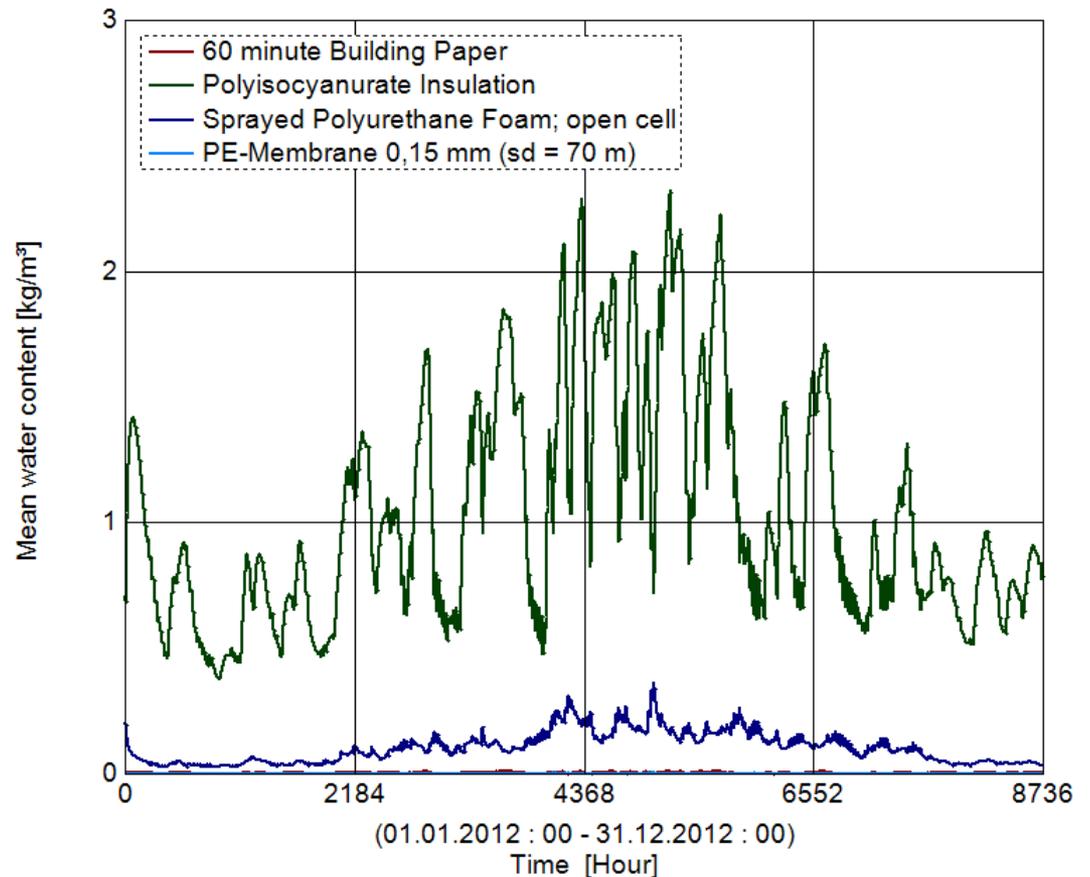
- Predicted Mean Vote (PMV)
- Adaptive Methode
- Stunden mit zu hoher Temperatur



# Dynamische Ausgabe – Hygrothermisches Bauteilverhalten

## Hygrothermisches Bauteilverhalten

- Stundenwerte für Schichttemperaturen, feuchten und Wassergehalt
- Einfache Bewertung der Schadensfreiheit



# Dynamische Ausgabe – Filmdarstellung

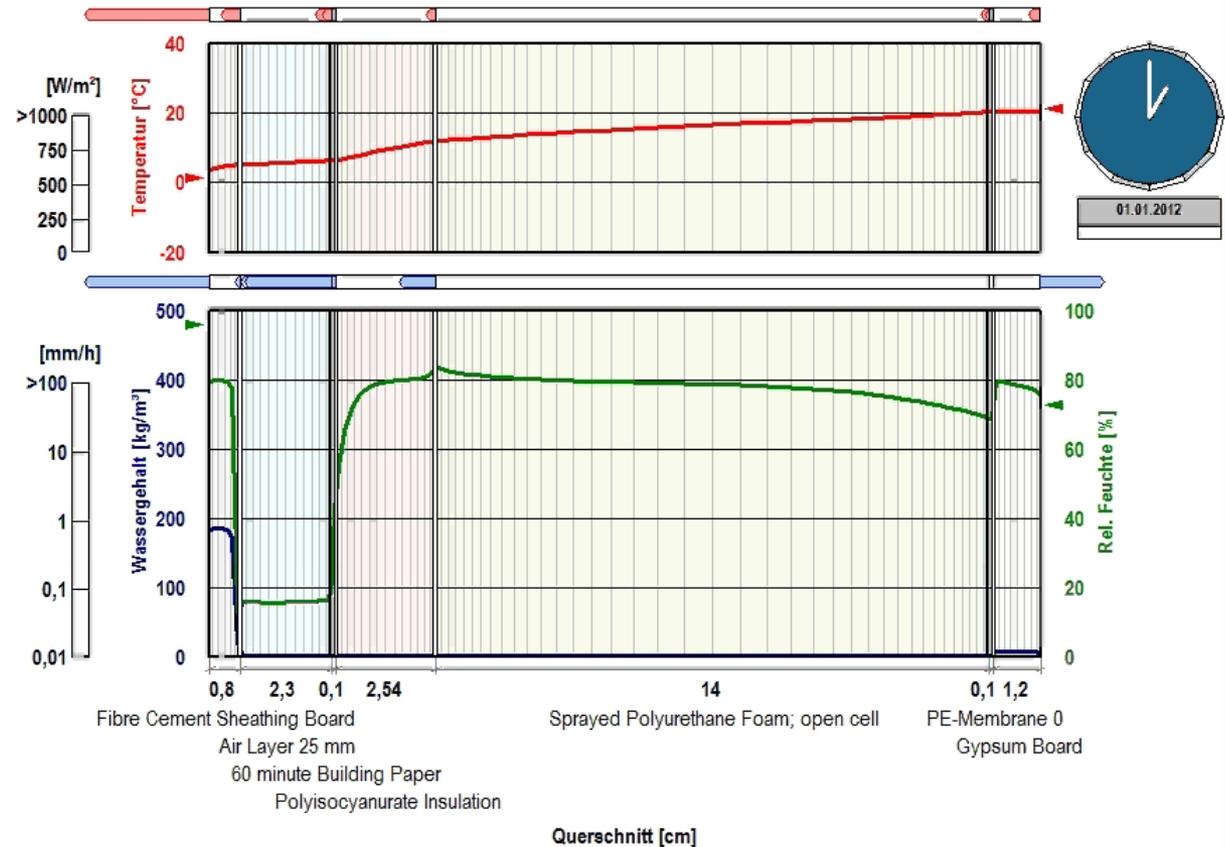
## Film

- Visualisierung der Temperatur- und Feuchteverteilung
- Wärme- und Feuchteflüsse an Schichtgrenzen und Oberflächen
- Einfache Problemidentifikation

Klimaort: Holzkirchen (Fraunhofer-IBP, Moisture Reference Year)

WUFI®plus TEST, Component 17, 0: South (A180°, 12,5 m²)

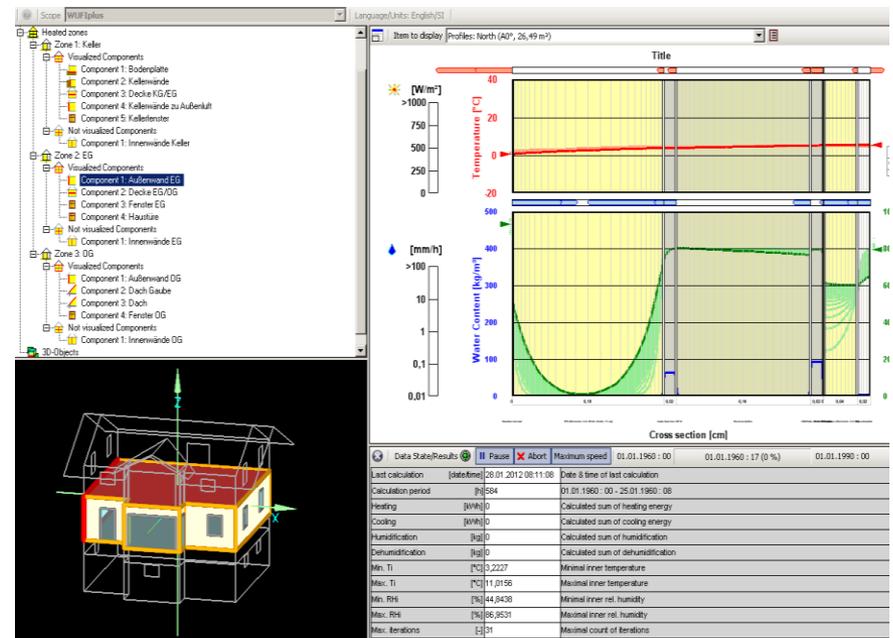
WUFI®



# Integrales Gebäudedesign

## Beispiele für zusätzliche Modellierungsoptionen

- Verschattungsstrategien
- Lüftungsstrategien
- Verwendung thermischer und hygrischer Speichermassen
- Verschiedene Nutzer-/Nutzungsprofile
- Optimierung der Gebäudehülle
- Reduktion der Kühl- und Entfeuchtungslast



# Zusammenfassung Gebäudesimulation

WUFI Plus als umfangreiches Planungswerkzeug zur Anwendung für vielfältige Problemstellungen

- Sommerlicher Wärmeschutz und hygrothermische Gebäudesimulation in einer Software
- Nutzerfreundliche grafische Oberfläche
- Kombinierte Analyse von **Energie, Komfort und hygrothermischem Bauteilverhalten** basierend auf einem einzigen Gebäudemodell
- Implementierung von detaillierter Gebäudetechnik- und Photovoltaiksimulation → **Net-Zero und Plusenergiegebäude**

# Anwendungsbeispiele

# Beispiele

- Wärmekapazität
  - Ungedämmt vs. gedämmt
  - leichte vs. schwere Bauweise
  - Dämmstoffe mit hoher vs. geringer Wärmespeicherkapazität
- (Lüftungsstrategien)
- (Verschattungsstrategien)

# Wärmekapazität

Spezifische Wärmekapazität  $c$ :

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

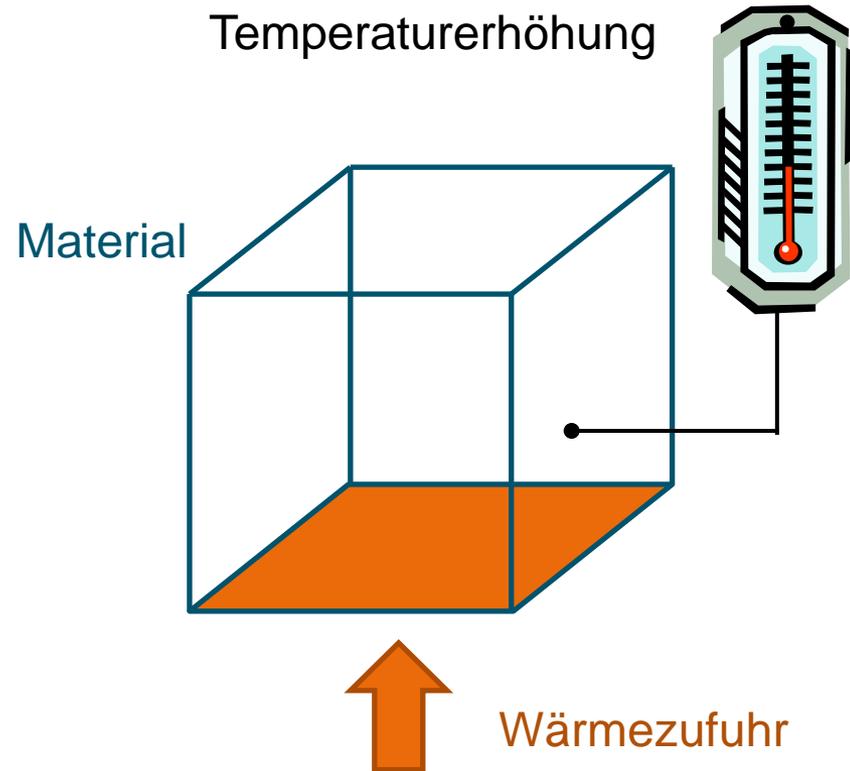
$Q$  = thermische Energie

$M$  = Masse

$\Delta T$  = Temperaturdifferenz

Einheit:

$$\frac{J}{kg \cdot K}$$

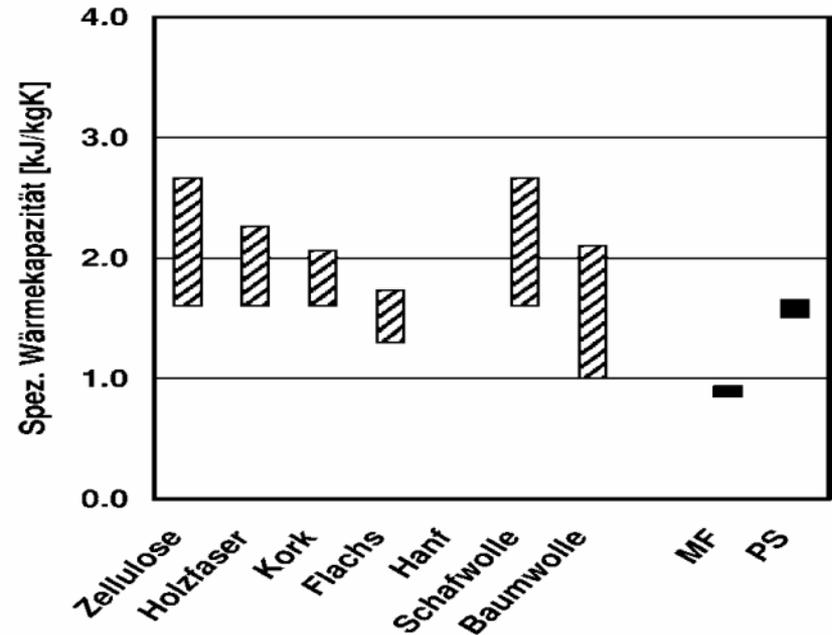
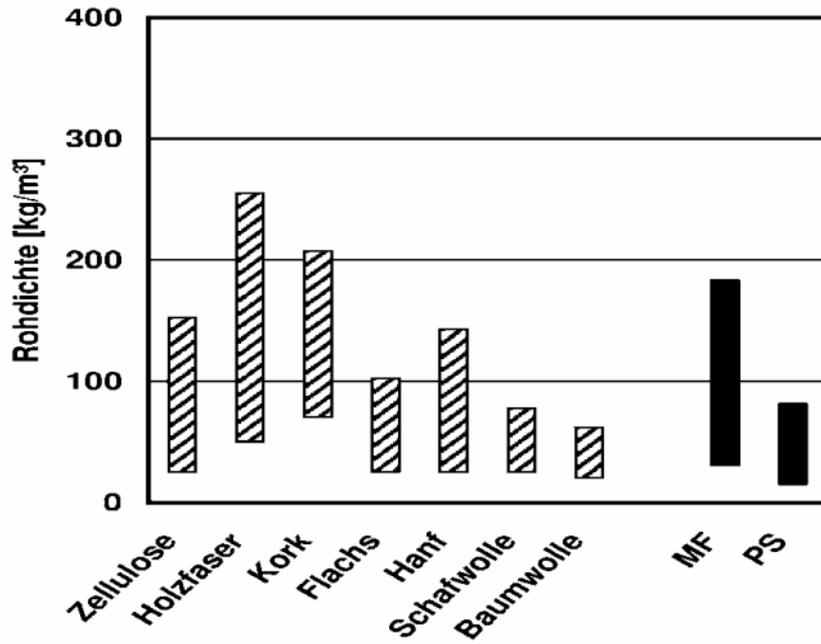


Energiemenge, die benötigt wird,  
um ein Kilogramm eines Stoffes um  
ein Kelvin zu erwärmen

# Anwendungsbeispiele

## Wärmekapazität der Dämmung

# Rohdichte und Wärmekapazität von Dämmstoffen



Quelle: Krus und Sedlbauer: Vorteile und Einsatzgrenzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

# Aussagen

„Die hohe spezifische Wärmekapazität des Dämmstoffs ergibt einen hervorragenden sommerlichen Wärmeschutz“

„Die oft zitierte „Phasenverschiebung“ des Dämmstoffs beeinflusst das Temperaturverhalten des Gebäudes nicht.“

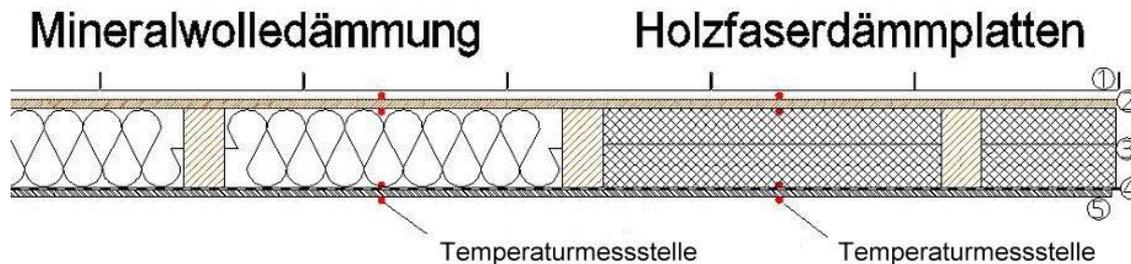
„Die vorherrschende Meinung, dass die Wärmedämmung die Aufgabe hat, Wärme zu speichern und zeitverzögert nach innen abzugeben, hat so gut wie keine Bedeutung.“

„...“

# Versuchsgebäude



- Ausrichtung Süd
- Versuchszeitraum von 1. Juli- 30. September 2007
- Juli und August mit einer erzwungenen Nachtlüftung von 23 bis 5 Uhr
- September ohne Lüftung
- Regelq. U-Wert 0,20 W/(m<sup>2</sup>K)
- Mittlerer U-Wert 0,24 W/(m<sup>2</sup>K)



# Dämmmaterialien

## Mineralfaserdämmung

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda(R)$ :  
0,035-0,040 W/(m·K)
- spez. Wärmespeicherkapazität  $c$ :  
840-1.000 J/(kg·K)
- Rohdichte  $\rho$   
20-200 kg/m<sup>3</sup>

## Holzfaserdämmung

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda(R)$ :  
0,040-0,055 W/(m·K)
- spez. Wärmespeicherkapazität  $c$ :  
2000-2100 J/(kg·K)
- Rohdichte  $\rho$   
150-190 kg/m<sup>3</sup>  
(Aufdachdämmung)  
40-55 kg/m<sup>3</sup>  
(Zwischensparrendämmung)

# Wärmespeicherkapazität C

Berechnet aus dem Produkt der Rohdichte, der spez. Wärmekapazität und der Bauteildicke

## Mineralfaserdämmung

- Dämmstoff

$$C = 2,27 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

- über den Gesamtquerschnitt

$$C = 68,14 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

## Holzfaserdämmung

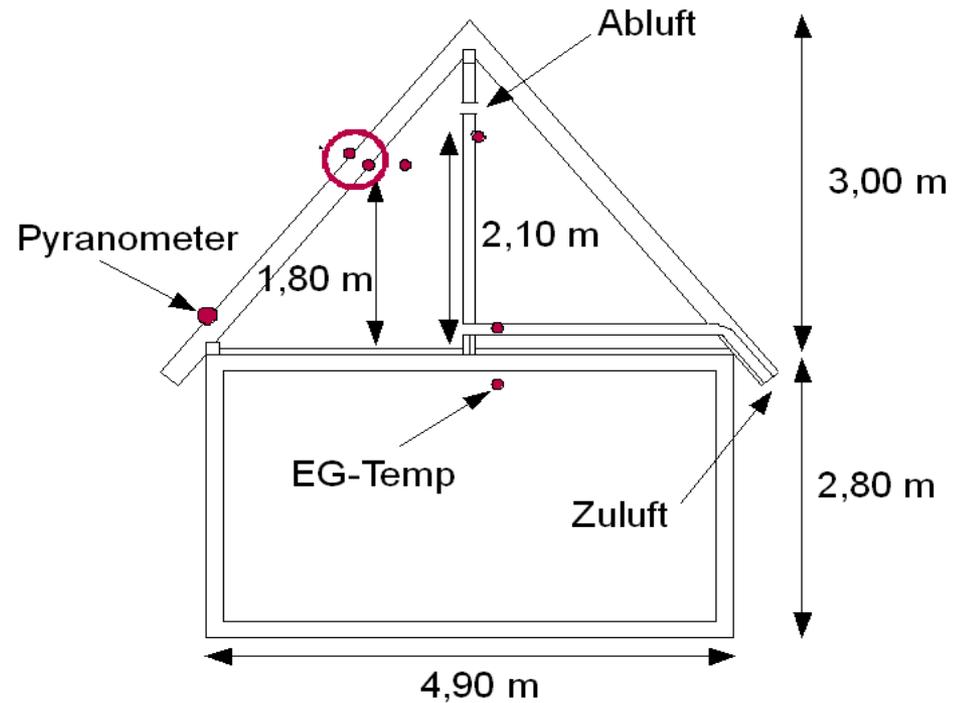
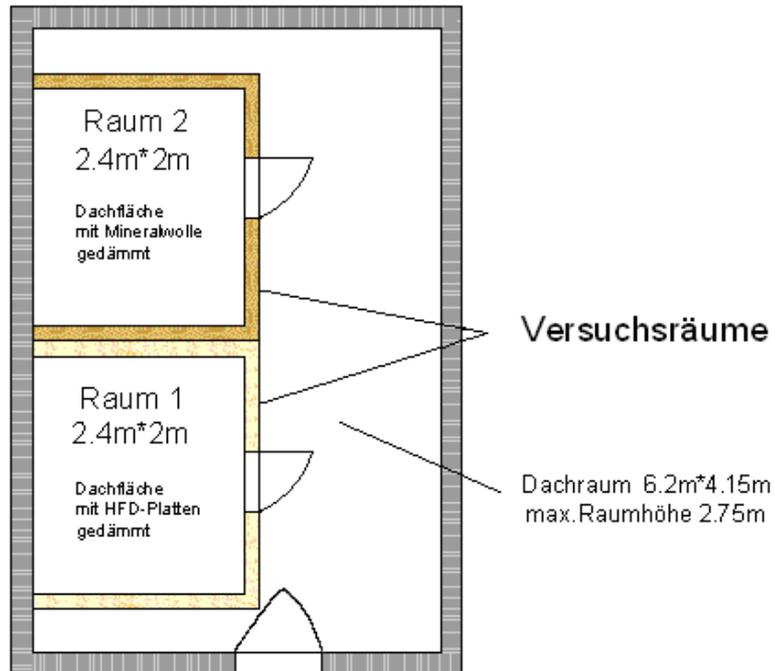
- Dämmstoff

$$C = 24,57 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

- über den Gesamtquerschnitt

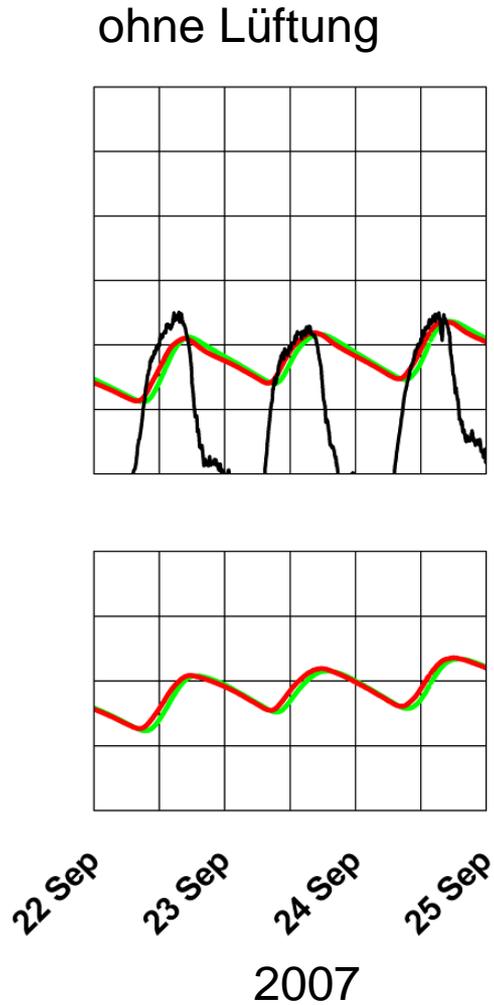
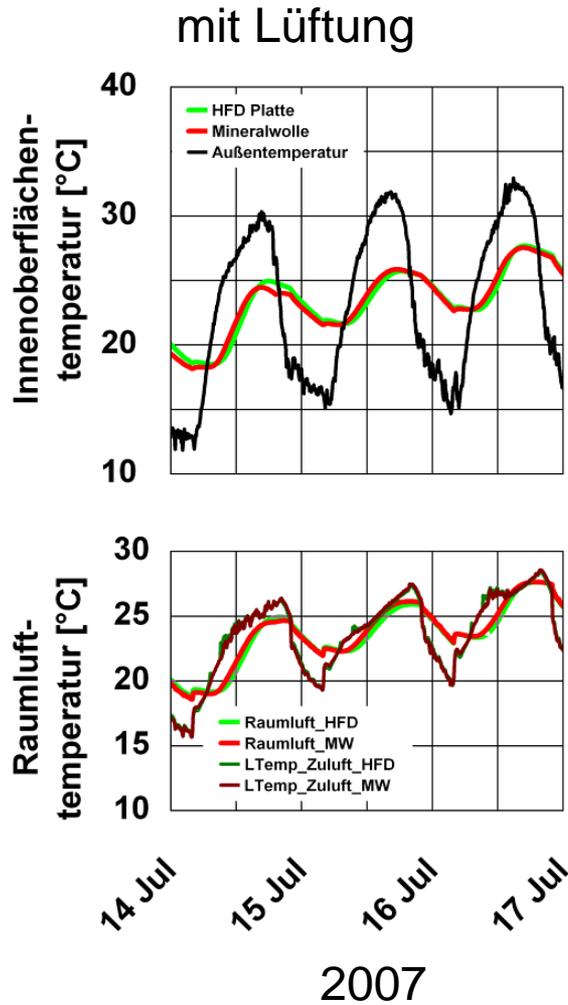
$$C = 88,08 \text{ kJ/m}^2\text{K}$$

# Anordnung der Fühler

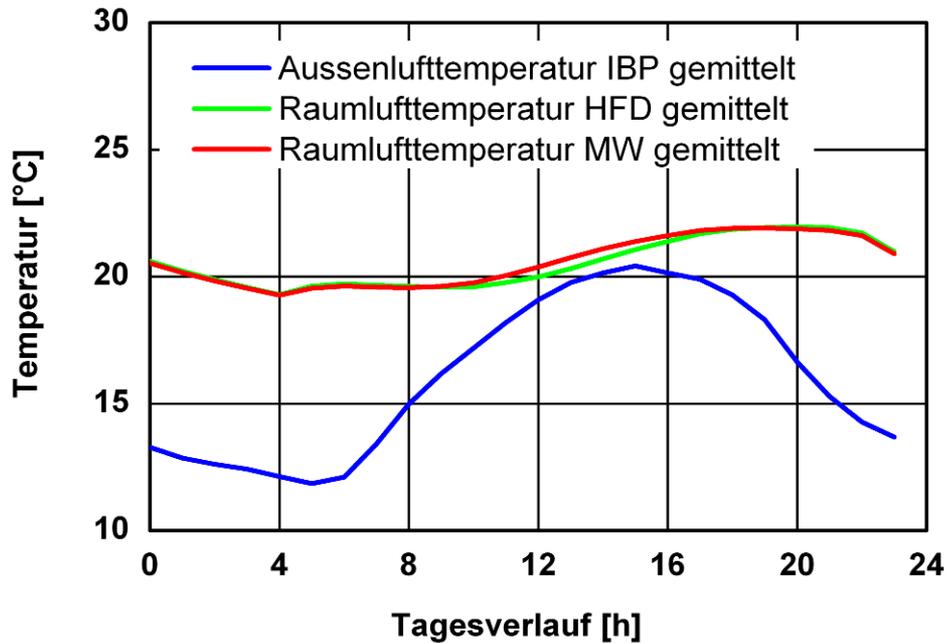


- PT 100
- Pyranometer

# Messergebnisse



# Messergebnisse



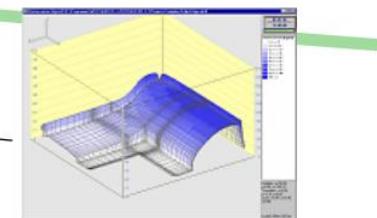
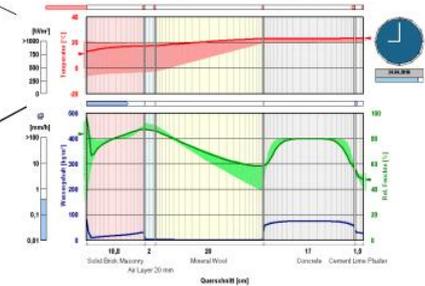
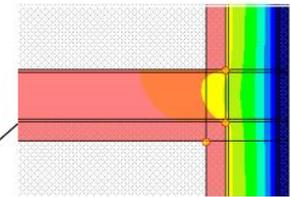
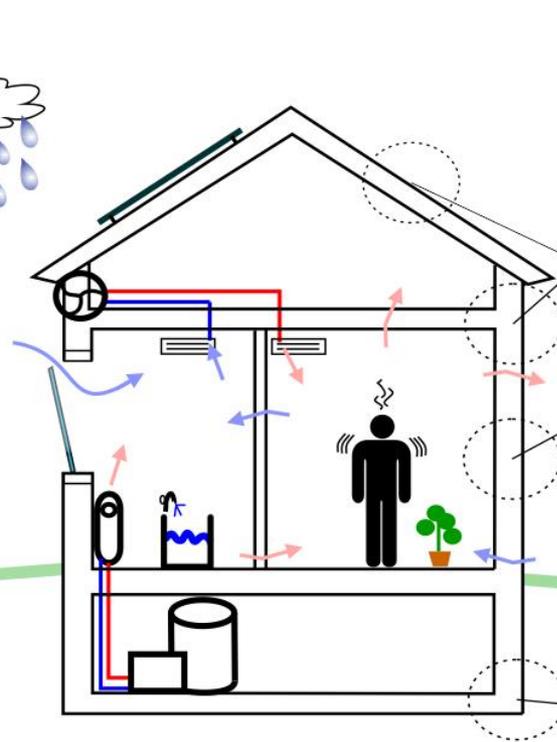
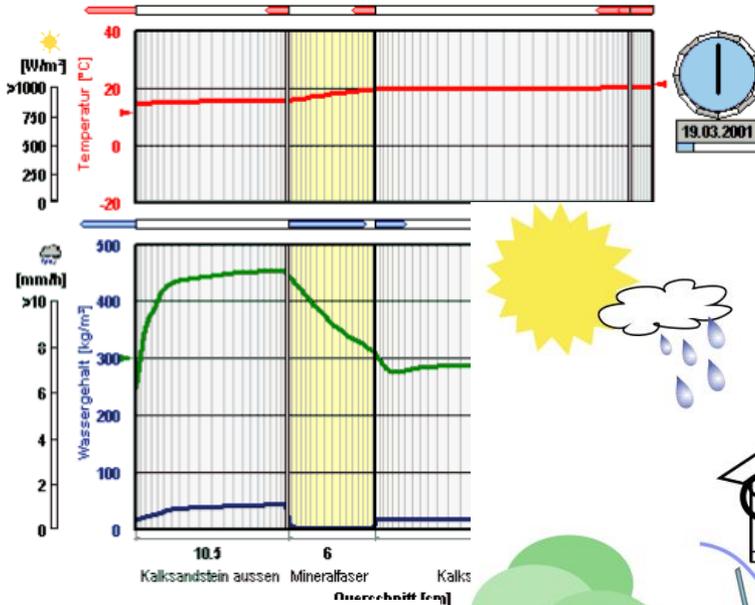
Tagesverlauf der gemessenen Temperatur gemittelt  
über die Monate Juli und August 2007

# Hygrothermische Gebäudesimulation

Klimaort: Holzkirchen

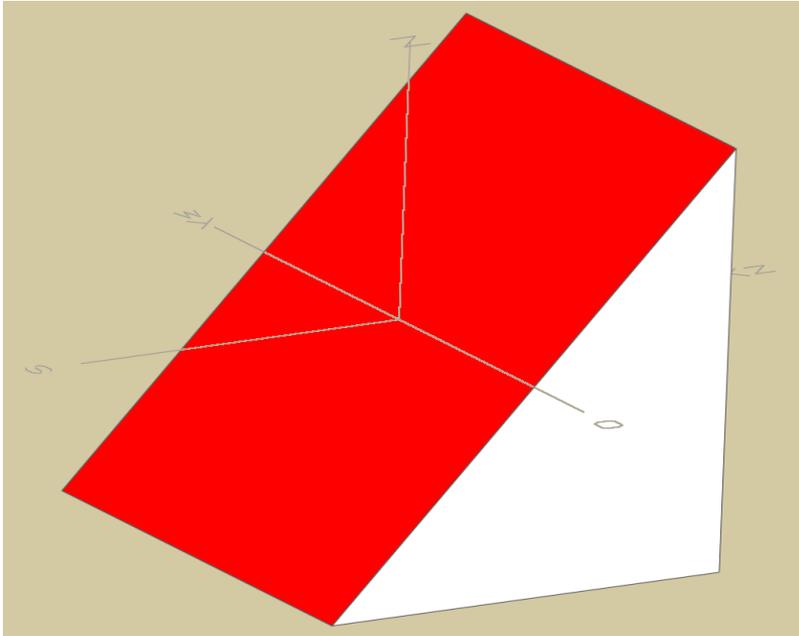
beregnetes zweischaliges Mauerwerk aus Kalksandstein

WUFI®



- Wetter
- Innere Lasten
- Sollwerte
- Anlagentechnik
- Lüftung

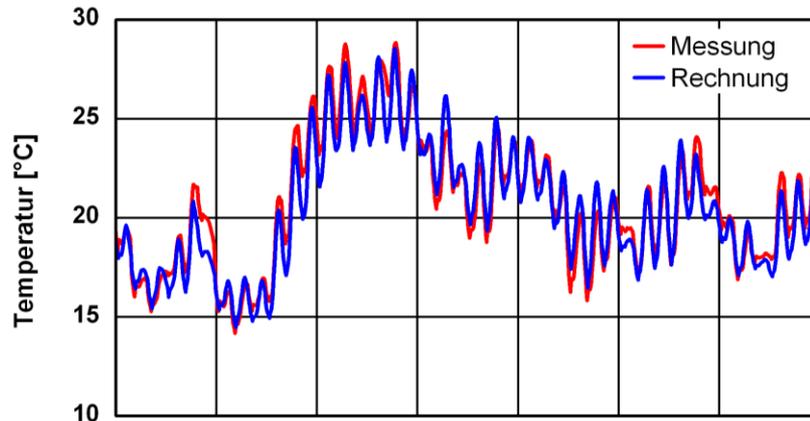
# Validierung des Simulationsprogramms



- Erstellung eines Modells im Simulationsprogramm WUFI® Plus
- Klimadaten des Jahres 2007 von der Wetterstation des IBP als äußere Randbedingung
- Gemessene Temperaturen in den angrenzenden Räumen als weitere Randbedingungen

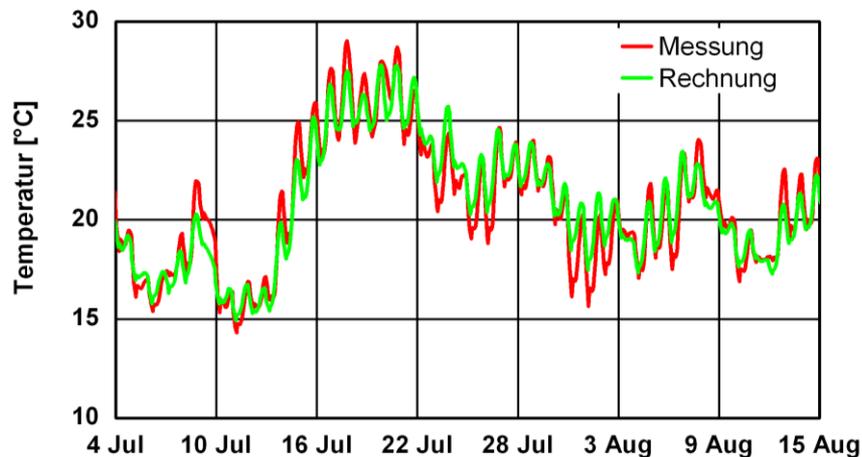
# Ergebnisse der Validierungsrechnung

## Mineralwolle



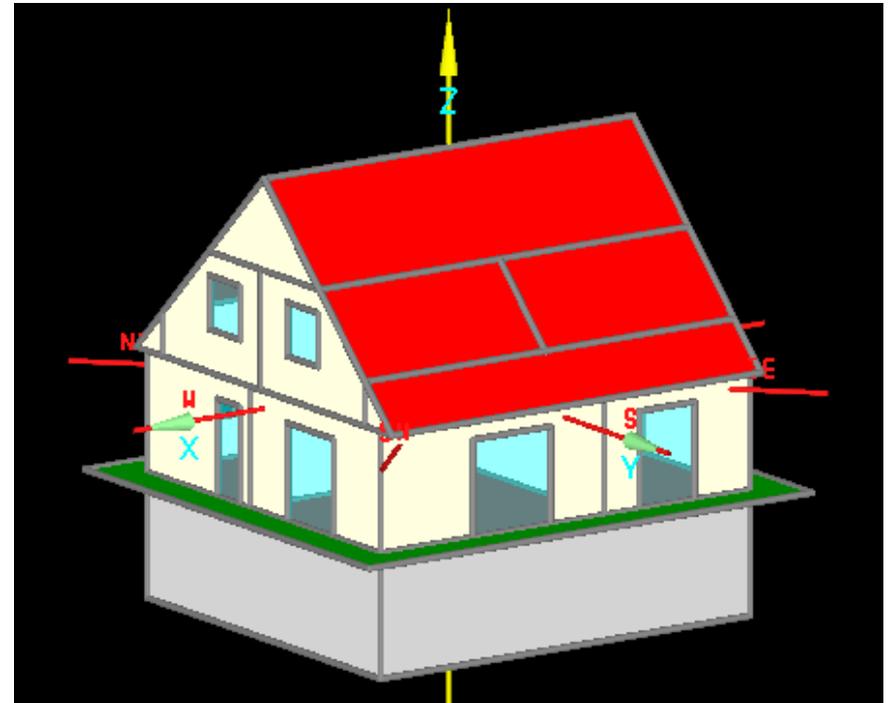
- Validierung
- Modell kann verwendet werden, da die Realität vernünftig abgebildet wird

## HFD Platte



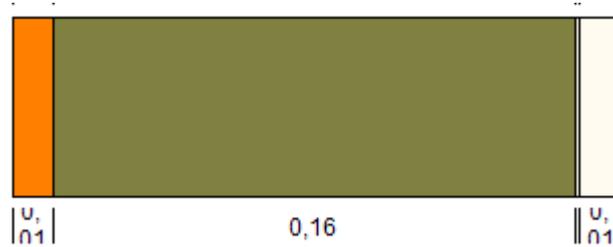
# Simulationsstudie – Übertragung auf reales Gebäude

- Reales Gebäude
- 11 Zonen (10 beheizt, 1 Dachraum)
- Luftwechsel  $0,5 \text{ h}^{-1}$
- Nutzungsprofil je Zone
- Bauteile nach
  - Altbaustandard
    - U-Wand:  $0,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
    - U-Dach:  $0,51 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
  - EnEV
    - U-Wand:  $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
    - U-Dach:  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

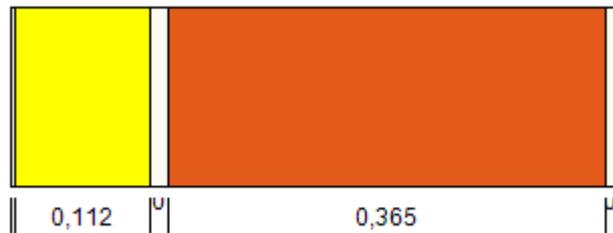


# Bewertete Räume und Aufbauten

Leichtbau:



Massivbau:



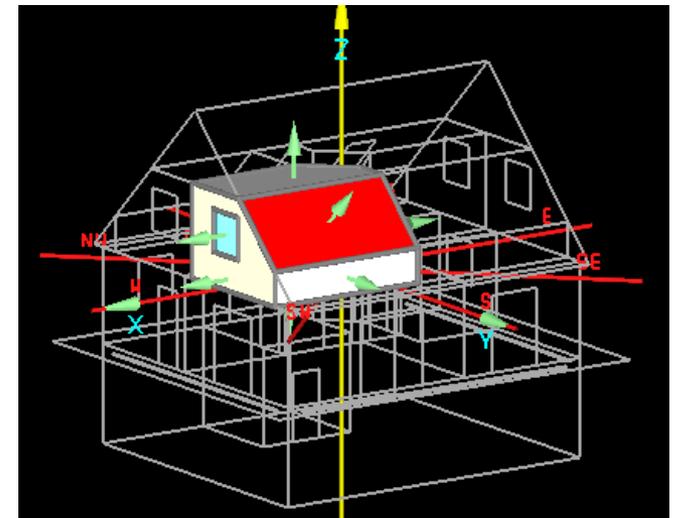
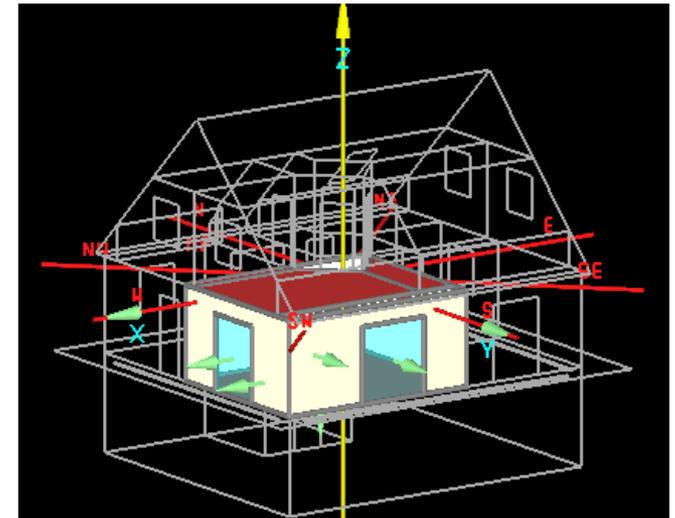
Fenster:

U-Wert =  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$g = 0,6$  (+ Verschattung)

Bewertung:

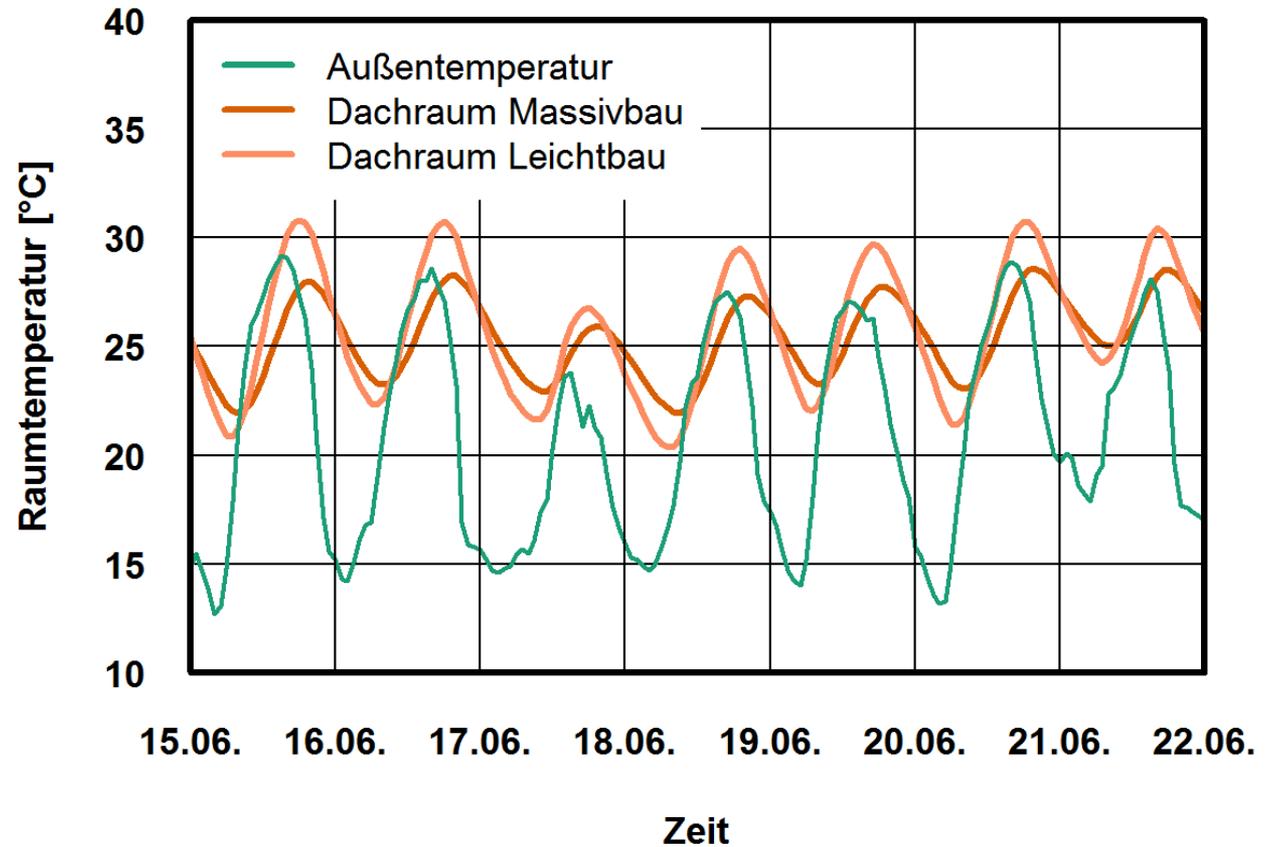
Süd-West orientierte Räume (Wohnzimmer, Kinderzimmer) und Dachboden



# Temperaturen im Dachraum

## Dachraum im Altbau

- Hohe tägliche Schwankungen, aber Amplitudendämpfung
- Geringe Phasenverschiebung

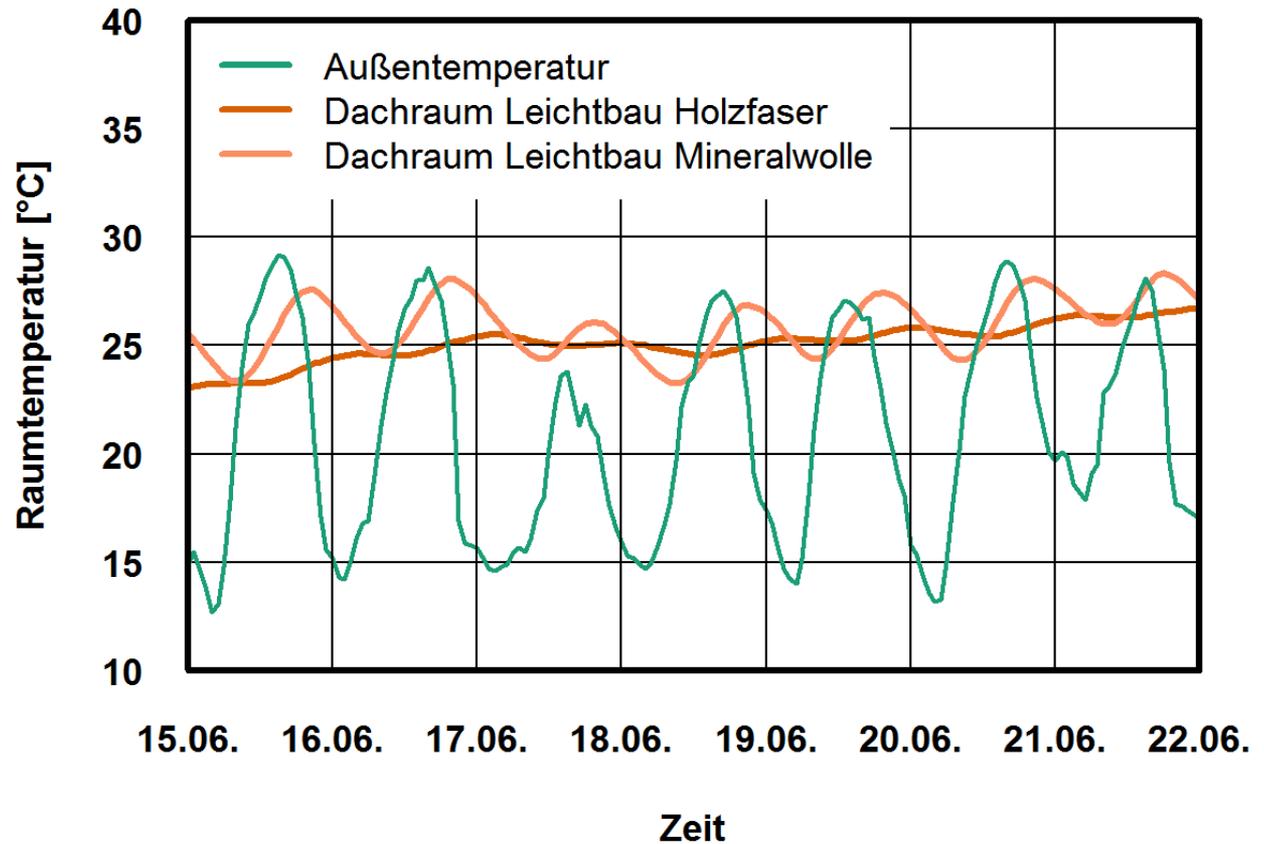


# Temperaturen im Dachraum

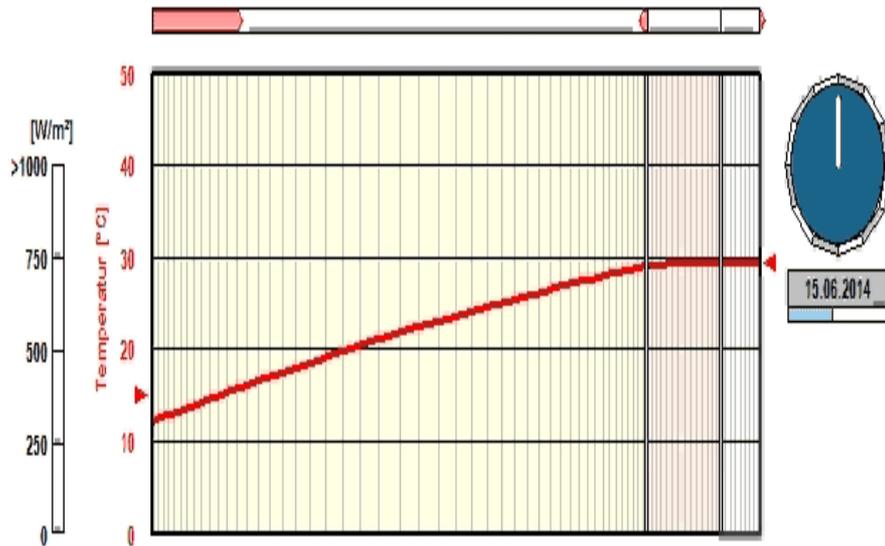
Dachraum gedämmt

Vergleich Dämmstoffe  
im Leichtbau

- Reduktion der täglichen Schwankung mit höherer Wärmespeicherung im Dämmstoff
- Langsameres An- und Absteigen der Raumtemperatur



# Visualisierung der Temperaturen im Bauteil



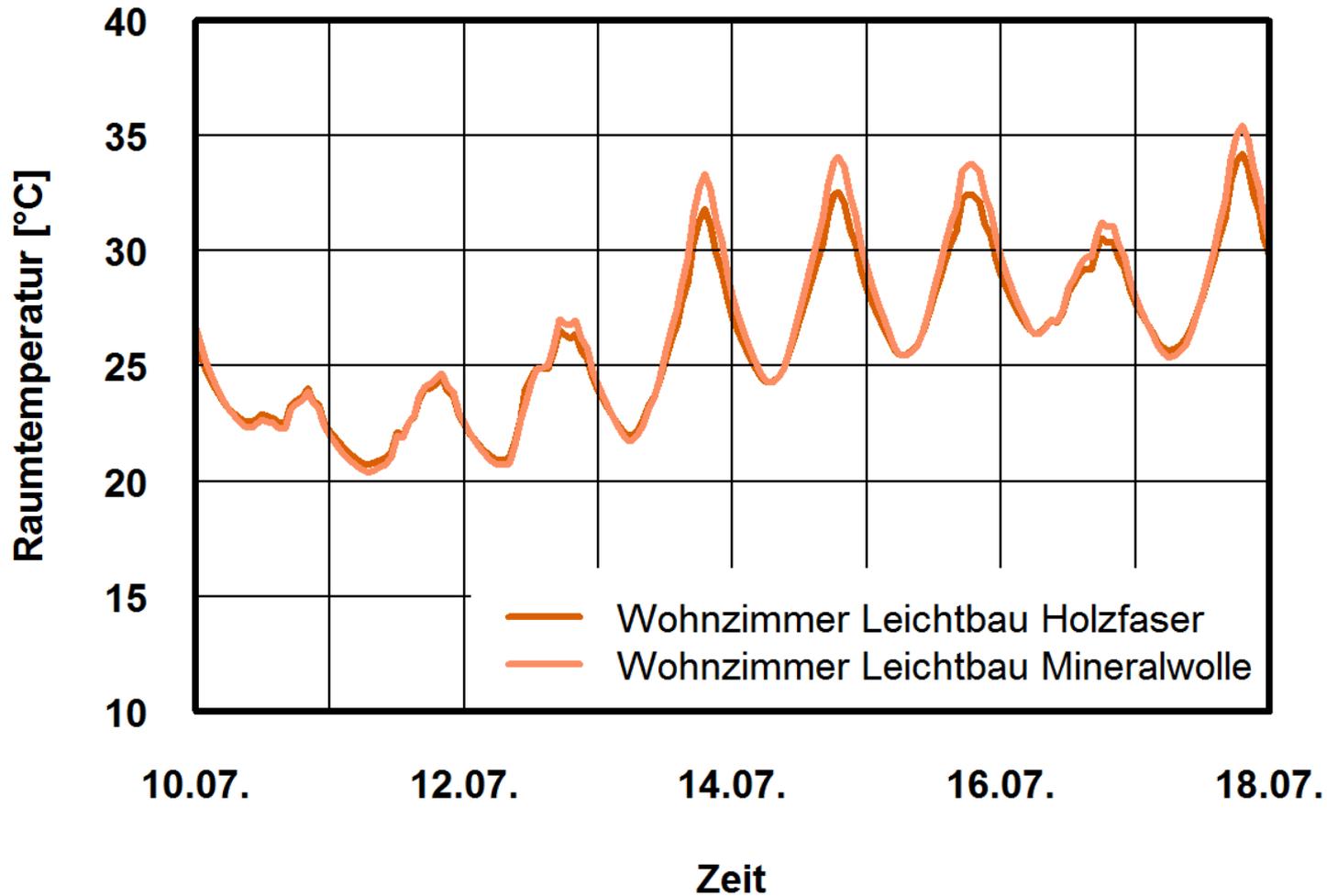
Mineralwolle



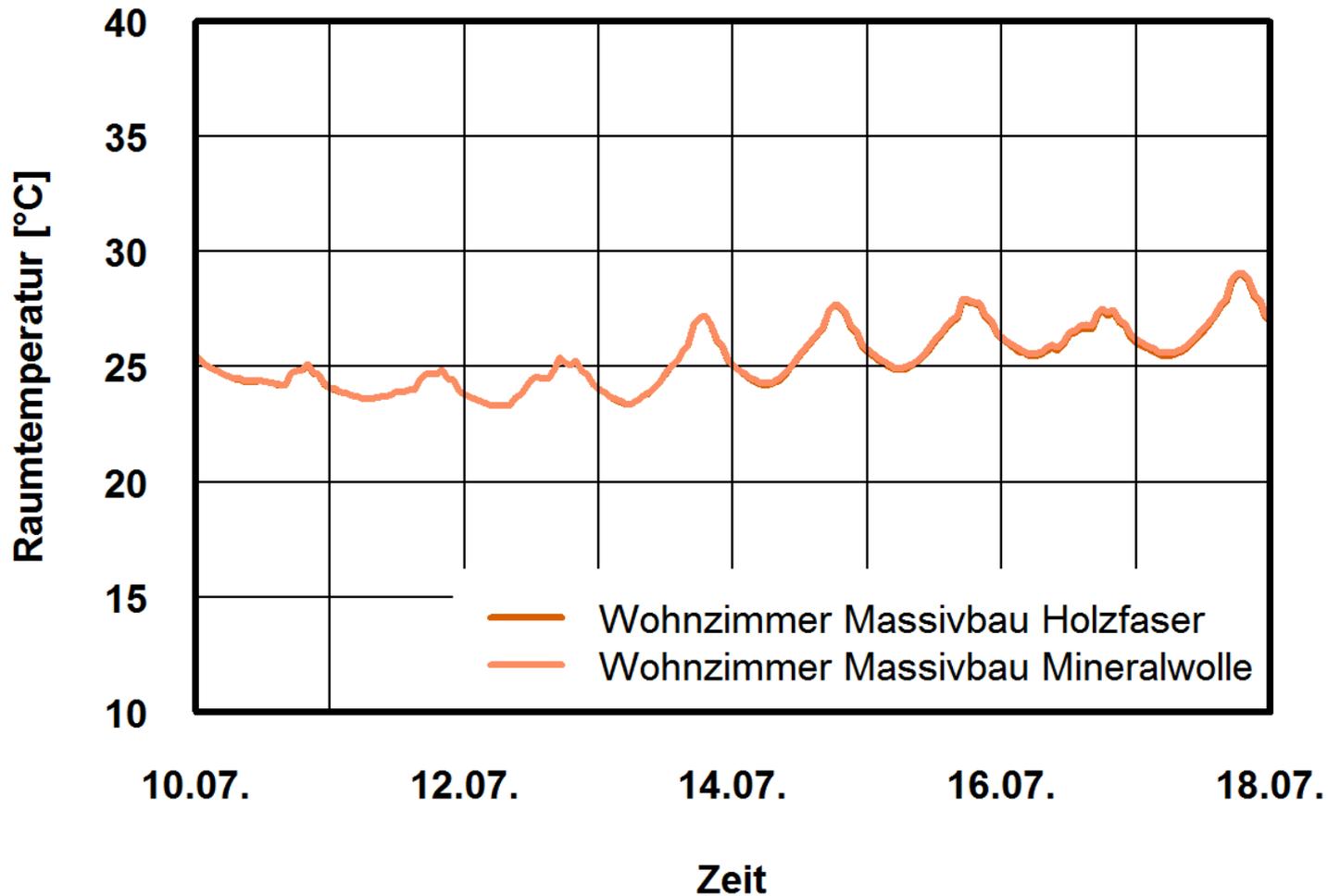
Holzfaser

- Höhere Schwankungsbreiten im Bauteil
- Amplitudendämpfung unabhängig von Wärmespeicherkapazität hoch

# Vergleich Einfluss Dämmstoffe im Leichtbau



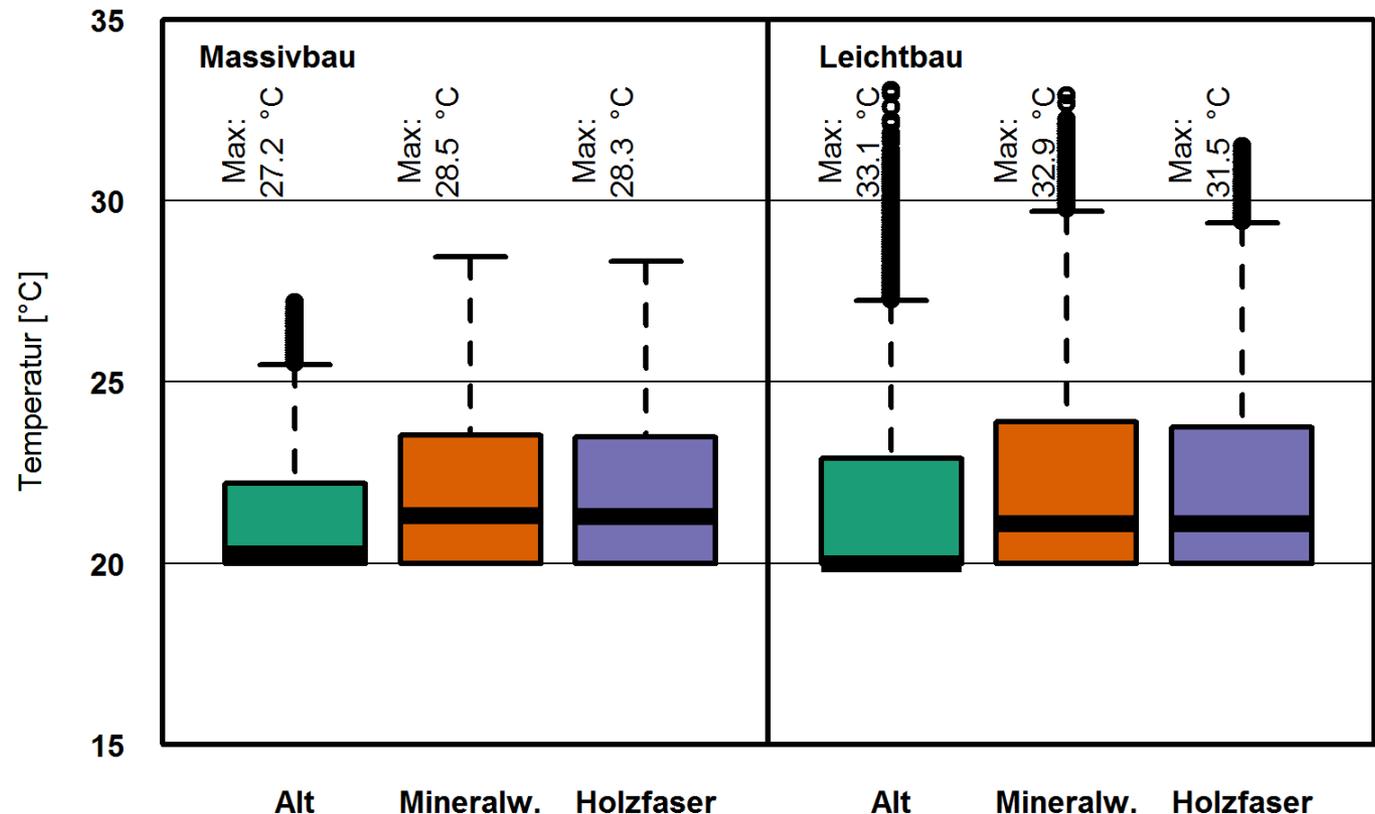
# Vergleich Einfluss Dämmstoffe im Massivbau



# Ergebnisse: Maximaltemperaturen

Temperaturverteilung im Wohnzimmer

- Dämmstoffart hat kaum Einfluss im Massivbau
- Temperaturreduktion im Leichtbau (max 1.4 K)



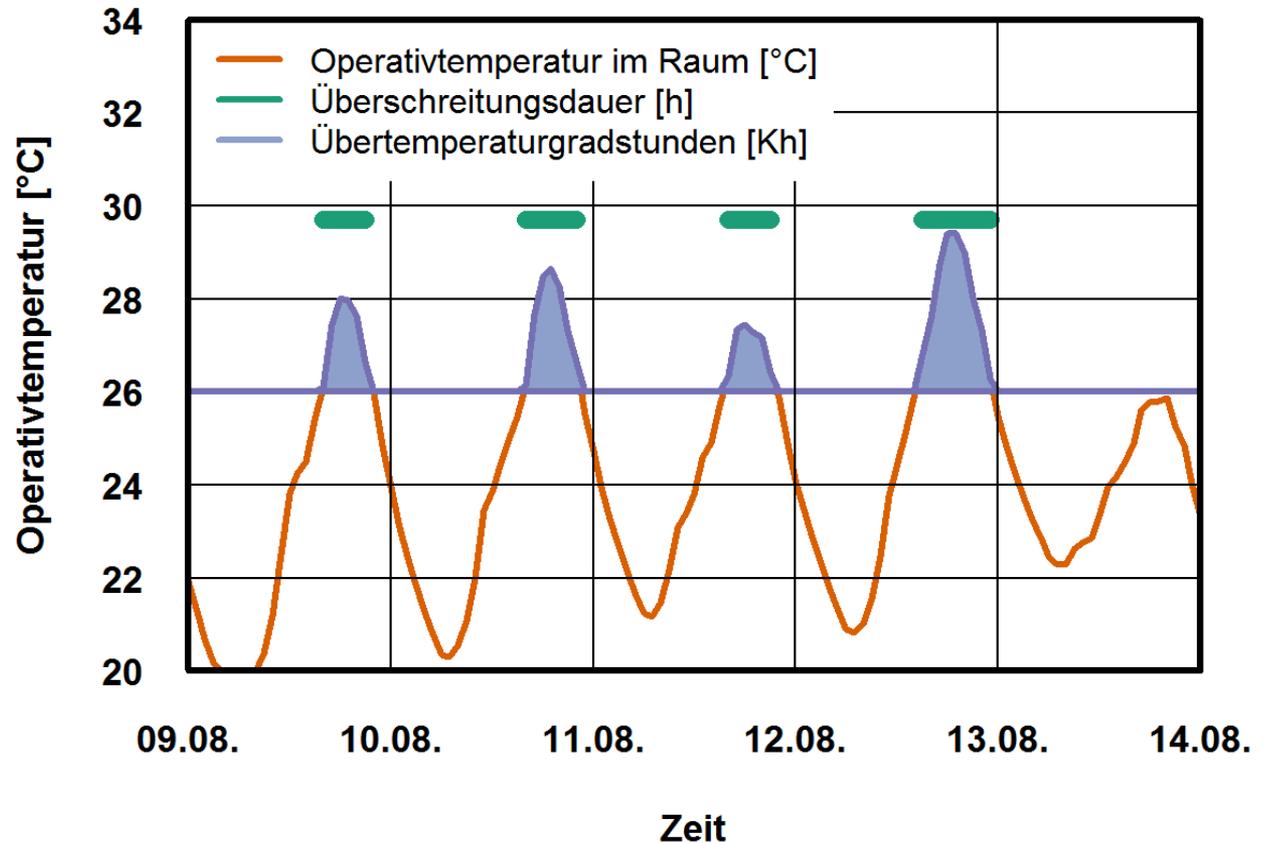
# Bewertung nach DIN 4108-2

Alt:

- Überschreitungsdauer

Neu:

- Übertemperaturgradstunden bezogen auf die Operativtemperatur

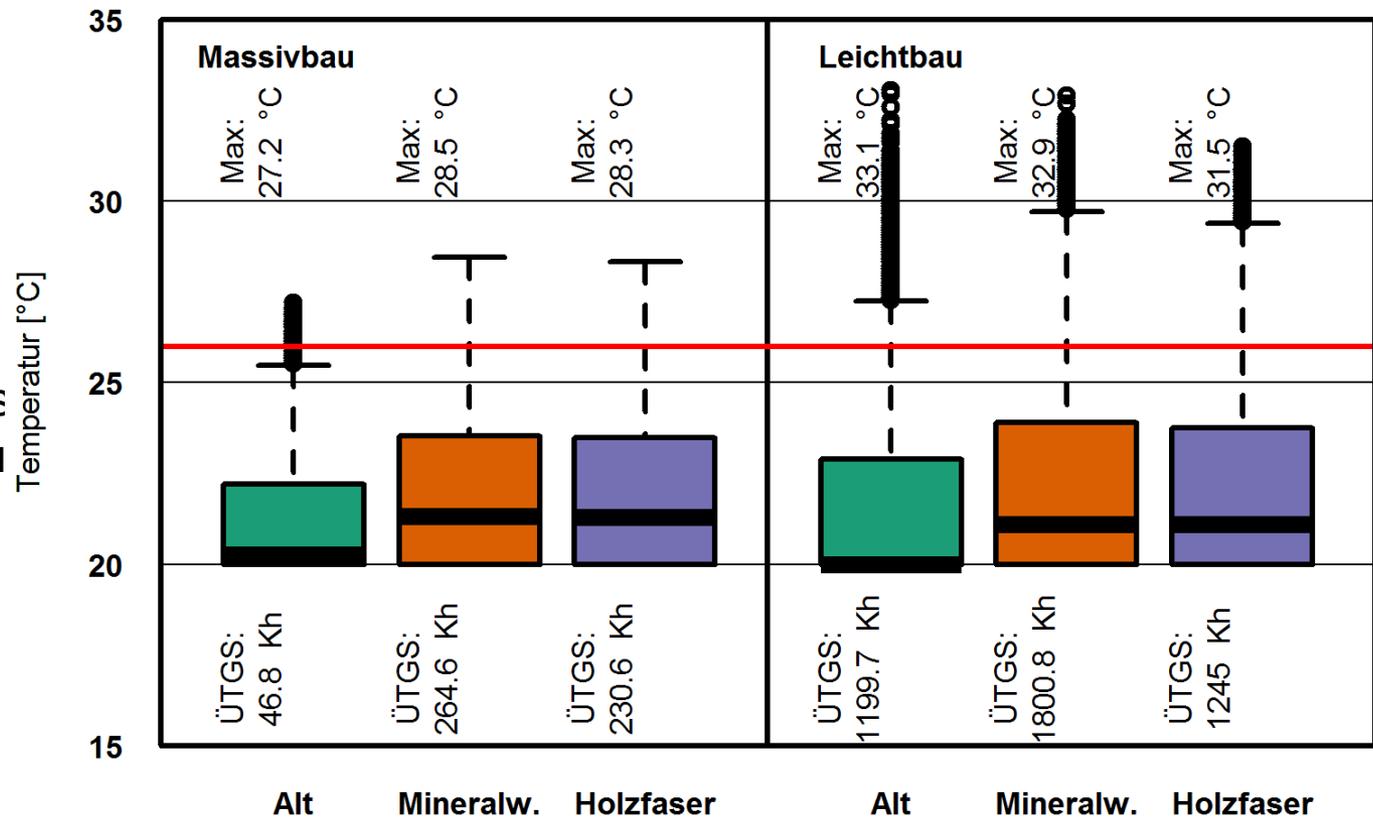


# Ergebnisse: Übertemperaturgradstunden

Übertemperaturgradstunden im Wohnzimmer

→ Dämmstoffart hat kaum Einfluss im Massivbau

→ Im Leichtbau bis über 30% Reduktion



# Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Bei sehr hohem Dämmstoffanteil in den Außenbauteilen Effekt sichtbar
  - Mit heutigen Dämmstoffstärken kaum Unterschiede in Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung
  - Effekte sind im Leichtbau höher als im Massivbau
  - Zum sommerlichen Wärmeschutz sind weitere Strategien notwendig (Lüftung, Verschattung, ...)
- Die Wärmespeicherfähigkeit des Dämmstoffs spielt für die Behaglichkeit und das energetische Gebäudeverhalten eine untergeordnete Rolle

# Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

# Zusammenfassung

- Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach EnEV gefordert
- DIN 4108-2 erlaubt zwei Methoden
- Dynamische Gebäudesimulation ist immer einsetzbar
- Randbedingungen sind klar beschrieben

## Schlussfolgerungen

- Hohe Speichermassen nur wirksam, wenn sie entladen werden (können)
- Weitere Strategien sind notwendig (feste und flexible Verschattung, Lüftung, Verringerung interne Lasten, ...)
- Die meisten Gebäude können ohne maschinelle Kühlung betrieben werden

---

# Dynamische Simulation zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2

Fachforum „Sommerlicher Wärmeschutz von Gebäuden“

Florian Antretter – Bauzentrum München – 20. Oktober 2015

---

Auf Wissen bauen

