
RUD. OTTO MEYER-UMWELT-STIFTUNG

GERHARD-FALK-STR. 5 21035 HAMBURG TEL 040.79419548 FAX 040.72588313

Forschungskomplex

**EFFIZIENTER
UMWELTENERGIEEINSATZ
BEI WOHNBAUTEN**

Forschungsthema

**WÄRMETECHNISCHER VERGLEICH
AUSGEWÄHLTER BAUTECHNIKEN
UND BETRIEBSWEISEN VON WOHNBAUTEN**

Ergänzung zum Kurzbericht von 2005

Sommer 2006

F+E TGA Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Goethestraße 18, D-08547 Jöbnitz (Plauen)
Tel.+Fax 03741 / 52 12 14 E-Mail B.GLUECK@t-online.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Bisherige Ergebnisse	3
3	Modellierung des Phasenwandelbereiches	5
4	Neue Ergebnisse	6
4.1	Leichte Holzbauweise mit 15 mm PCM-Gipsbauplatte	6
	Auswertung der Simulationsergebnisse für die leichte Holzbauweise	9
4.2	Massivholzbauweise mit 30 mm PCM-Lehm- bauplatte	11
	Auswertung der Simulationsergebnisse für die Massivholzbauweise	13
5	Fazit	13
	Literaturzusammenstellung	14

Die Untersuchung wurde von der ROM-Umwelt-Stiftung initiiert und gefördert, wofür sich der Autor herzlich bedankt.

Besonderer Dank gebührt dem Projektleiter Herrn BURKHARD HEYDEN, der als Architekt bei der thematischen Bearbeitung stets ein sehr wertvoller Gesprächspartner war.

Im Jahre 2005 wurden für vier ausgewählte Entwurfstage mit Hilfe des "Dynamischen Raummodells" [1] unterschiedliche Beton-, Ziegel- sowie Holzleicht- und Massivholzbauweisen untersucht. Die Originalholzbauten sind in zwei ergänzenden Varianten noch mit Bauplatten, die Latentspeichermaterialien – sogenannte PCM – enthalten, bestückt worden. Die ermittelten thermisch-energetischen Nutzeigenschaften erlaubten ein ganzheitliches Urteil über den gesamten Jahresgang [2]. Das damals verwendete Simulationsprogramm bildete das Latentspeichermaterial bei einer festen Phasenwandeltemperatur ab. Nach einer inhaltlichen Erweiterung des "Dynamischen Raummodells" [3] sind nunmehr ergänzende Simulationen für Speichermaterialien mit Phasenwandelbereichen durchgeführt worden. Die Ergebnisveränderungen werden vorgestellt.

1 Einführung

Es gelten die baulichen Gegebenheiten für die **sechs Bauweisen**, wie sie die Bilder 10 bis 15 in [2] zeigen, uneingeschränkt auch für diese Betrachtung:

Bautyp 1: Fertighaus in **Massivbauweise** (Beton)

Bautyp 2: Fertighaus in **leichter Holzbauweise** (Rahmen-/Tafelbau)

Bautyp 3: Fertighaus in **Massivholzbauweise**

Bautyp 4: Massivhaus in **moderner Ziegelbauweise**

Bautyp 5: Fertighaus in **leichter Holzbauweise** (Rahmen-/Tafelbau) mit **PCM-Gipsbauplatte**

Bautyp 6: Fertighaus in **Massivholzbauweise** mit **PCM-Lehmbauplatte**.

Für die Bautypen 1 bis 6 wird eine **gut wärmespeichernde Betondecke zum Kellergeschoss** – wie bei den früher untersuchten Originalvarianten mit einer sehr guten thermischen Ankopplung an den Raum – angenommen.

Des Weiteren werden auch alle **anlagentechnischen und betriebsbedingten Randbedingungen** beibehalten. So gilt z. B. für die Definition der **vier Entwurfstage** gemäß der Bilder 6 bis 9 in [2]:

Entwurfstag 1: Wintertag (Berechnung der **Auslegungsheizlast**)

Entwurfstag 2: heiterer Februartag (Ermittlung des ergänzenden **Tagesheizenergiebedarfs** zum Erreichen einer Raumtemperatur von 22 °C am Tage und von 18 °C in der Nacht)

Entwurfstag 3: heiterer Julitag (Bestimmung der **Tageshochgradstunden** über 26 °C)

Entwurfstag 4: extremer Sommertag im Juli (Ermittlung des **Raumkühlbedarfs** zur Einhaltung der Raumgrenztemperatur von 26 °C).

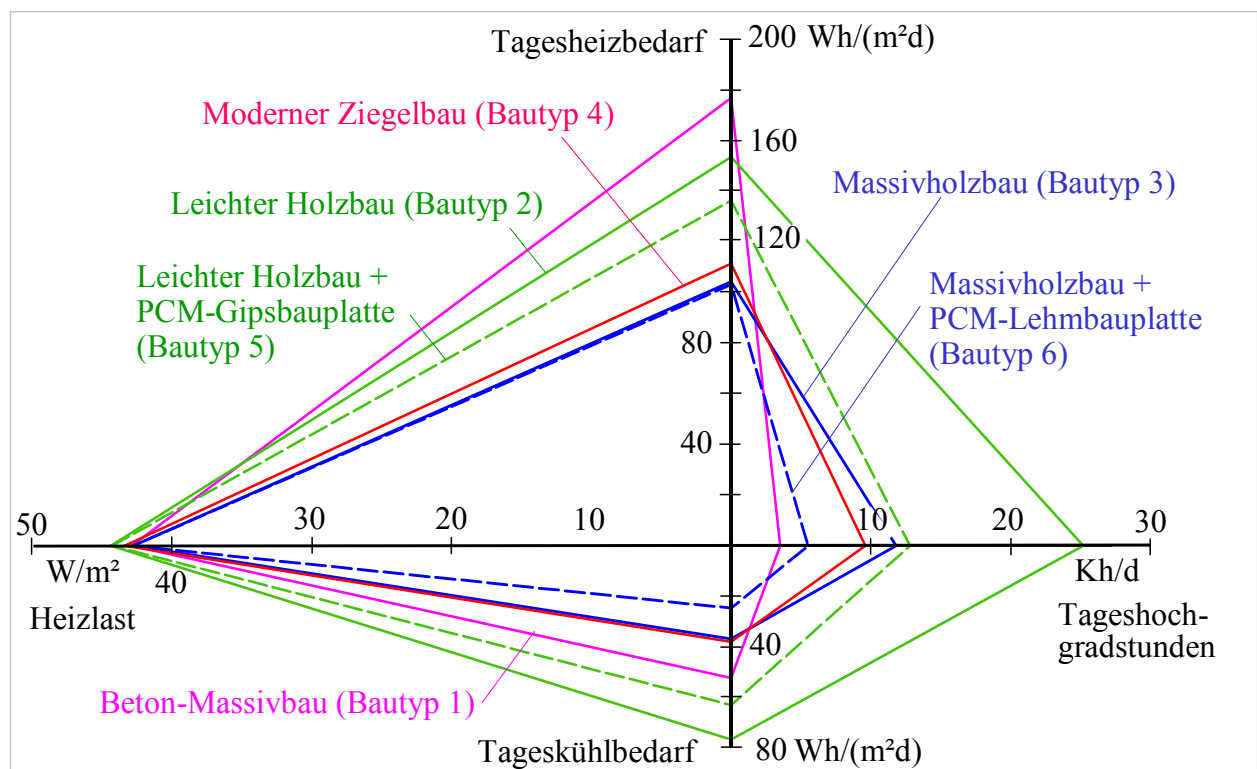
Die Simulation umfasst wiederum 91 Stunden (Start: 0⁰⁰ Uhr), die Zeitintervalle betragen 10 s. Als **Auswertzeitraum** werden der **dritte Simulationstag** bzw. die **67. bis 91. Stunde** herangezogen (19⁰⁰ Uhr des 3. Tages bis 19⁰⁰ Uhr des 4. Tages). Die Heizlast des Entwurfstages 1 gilt am Simulationseende, die Hauptkriterien der Entwurfstage 2 bis 4 werden für die letzten 24 Stunden gebildet. Als Startbedingungen für die Raumumfassungen gelten: $t_{\text{Start}} = 22 \text{ °C}$; $\text{Phase}_{\text{Start}} = 0$ (PCM liegt in der festen Phase vor).

2 Bisherige Ergebnisse

Die **Hauptkriterien** für die jeweiligen Entwurfstage sind aus Tabelle 1 und Bild 1 zu entnehmen.

Tabelle 1 Ergebnisse für die Bautypen 1 bis 6 gemäß der Originaluntersuchung

Bau- typ	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf	Tageshoch- gradstunden	Tageskühlbedarf
		Auslegung	heiterer Februartag	heiterer Julitag	extremer Sommertag
		W/m ²	Wh/(m ² d)	Kh/d	Wh/(m ² d)
1	Beton-Massivbau	42,9	176,7	3,5	52,1
4	Moderner Ziegelbau	43,4	111,3	9,6	37,8
2	Leichter Holzbau	44,4	153,4	25,2	76,4
5	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25 \text{ °C}$	44,3	136,2	12,8	62,8
3	Massivholzbau	42,8	104,2	11,8	36,7
6	Massivholzbau + PCM-Lehmbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25,5 \text{ °C}$	42,8	103,1	5,5	24,6

**Bild 1** Hauptergebnisse für die Bautypen 1 bis 6 gemäß der Originaluntersuchung (Werte entsprechen der Tabelle 1)

Es ist festzustellen, dass die markantesten Änderungen durch **Einsatz von Latentspeichermaterial** bei der Holzbauweise und beim Massivholzbau am Entwurfstag 3 (heiterer Sommertag, freie unbeeinflusste Temperaturschwingung) bezüglich der **Tageshochgradstunden** auftreten. Diese reduzieren sich auf etwa **50 %**.

Die energetischen Verbesserungen beim **Tagesheizbedarf** (Entwurfstag 2, heiterer Februartag) betragen dagegen nur **1 ... 11 %** und beim **Tageskühlbedarf** (Entwurfstag 4, Extremsommertag) liegen sie bei **18 .. 33 %**.

Die sich einstellenden Temperaturschwingungen am Entwurfstag 3 zeigt Bild 2.

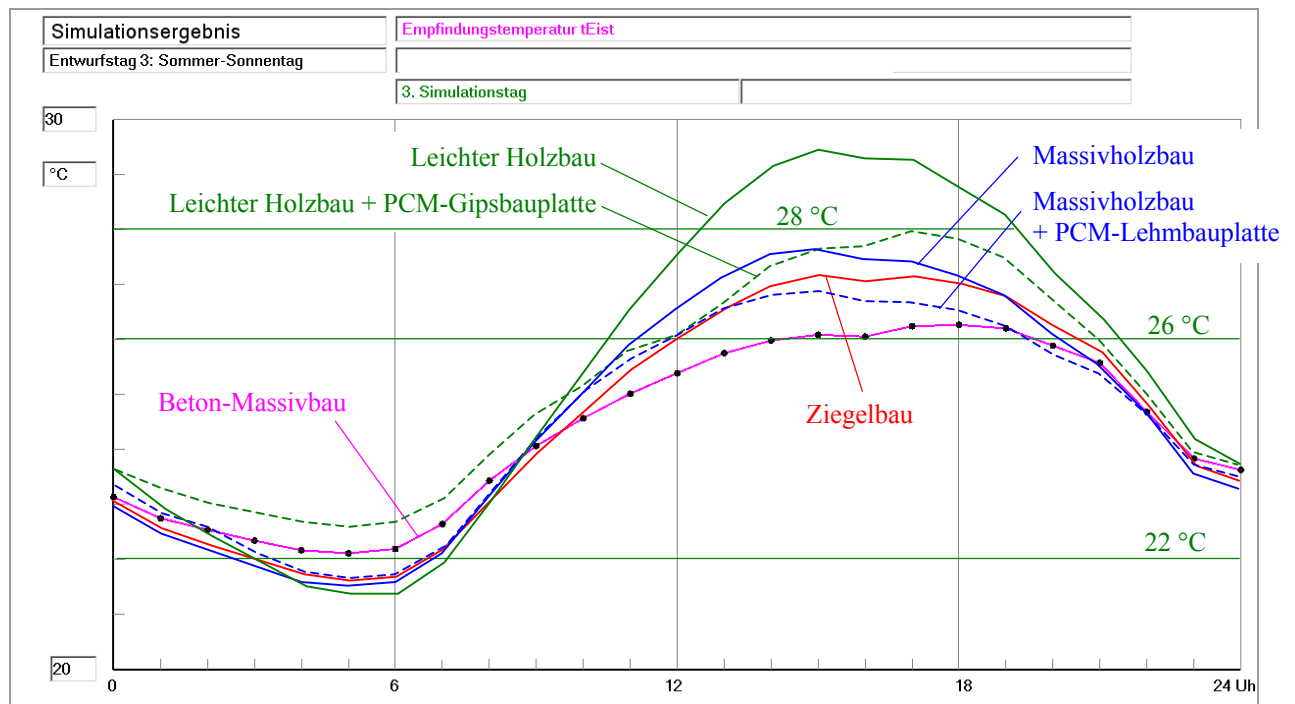


Bild 2 Raumtemperaturverläufe jeweils am 3. Simulationstag für alle untersuchten Bauweisen (Bautypen 1 bis 6) am heiteren Julitag

3 Modellierung des Phasenwandelbereiches

Die im neuen Simulationsmodell möglichen Nachbildungen des Phasenwandels gibt Bild 3 als Enthalpie-Temperatur-Schaubilder wieder.

Der allgemeine Fall eines Phasenwandelbereiches zwischen den Phasenwandeltemperaturen t_{Wandelu} und t_{Wandelo} (Bild 3, links) wird nach [3] näherungsweise auch für temperaturversetzte Schmelz- und Erstarrungsverläufe (Hysterese) verwendet. Er beinhaltet zudem ebenso den Sonderfall des Phasenwechsels bei einer festen Temperatur $t_{\text{Wandel}} \equiv t_{\text{Wandelu}} \equiv t_{\text{Wandelo}}$ (Bild 3, rechts).

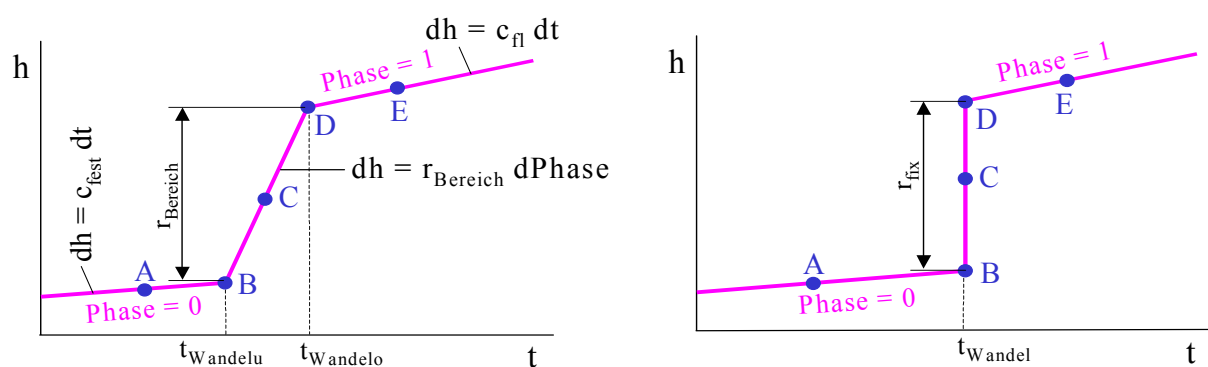


Bild 3

Links: Allgemeiner Fall für einen Phasenwandelbereich mit den Grenztemperaturen $t_{\text{Wandelu}} \dots t_{\text{Wandelo}}$ (Er gilt auch als Näherung für den Phasenwandel mit einer Hysterese.)

Rechts: Idealfall des Phasenwandels bei konstanter Temperatur $t_{\text{Wandel}} = t_{\text{Wandelu}} = t_{\text{Wandelo}}$

Der Algorithmus für den allgemeinen Fall nach [3] ist universell gestaltet, sodass alle Punkte A bis E Ausgangspunkte und gleichzeitig auch Endpunkte der Zustandsänderung sein können. Des Weiteren beinhaltet der allgemeine Fall den Idealfall als Sonderlösung.

Wenn im Weiteren die bisherigen Varianten, die nach dem Idealfall einer festen Phasenwandeltemperatur mit t_{Wandel} und r_{fix} simuliert wurden, nun für einen Phasenwandelbereich mit $t_{\text{Wandelu}} \dots$

t_{Wandelo} nachzubilden sind, bedarf es einer Umrechnung der Schmelzenthalpie (Schmelzwärme) von r_{fix} in r_{Bereich} . Da im Phasenwandebereich keine zusätzliche sensible Wärmespeicherung überlagert wird, muss gelten (siehe Enthalpie-Temperatur-Schaubild):

$$r_{\text{Bereich}} = r_{\text{fix}} + c_{\text{fest}} (t_{\text{Wandel}} - t_{\text{Wandelu}}) + c_{\text{fl}} (t_{\text{Wandelo}} - t_{\text{Wandel}}). \quad (1)$$

4 Neue Ergebnisse

Die weiteren Untersuchungen sind der leichten **Holzbauweise** und dem **Massivholzbau** mit Integration von PCM-Gips- bzw. Lehm- bzw. Lehmbauplatten gewidmet.

Die Grenztemperaturen des Phasenwandels t_{Wandelu} und t_{Wandelo} werden symmetrisch zur bisherigen festen Phasenwandeltemperatur t_{Wandel} gelegt.

4.1 Leichte Holzbauweise mit 15 mm PCM-Gipsbauplatte

Die Gipsbauplatte mit Latentspeichermaterial ist auf allen raumseitigen Wandflächen angebracht (siehe Bautyp 5 nach [2], Bild 14).

Basisvariante: $t_{\text{Wandel}} = 25 \text{ °C}$; $r_{\text{fix}} = 28700 \text{ J/kg}$; $c_{\text{fest}} = c_{\text{fl}} = 1200 \text{ J/(kg K)}$

Variante A: $t_{\text{Wandelu}} = 24 \text{ °C}$; $t_{\text{Wandelo}} = 26 \text{ °C}$; $r_{\text{Bereich}} = 31100 \text{ J/kg}$

Variante B: $t_{\text{Wandelu}} = 23 \text{ °C}$; $t_{\text{Wandelo}} = 27 \text{ °C}$; $r_{\text{Bereich}} = 33500 \text{ J/kg}$.

Die Zusammenstellung der durch umfangreiche Simulationen ermittelten Hauptergebnisse finden sich in den Tabellen 2 sowie im Bild 4. Die Temperaturverläufe, die sich am heiteren Sommertag (Entwurfstag 3) einstellen, zeigt Bild 5 für den 3. Simulationstag. Die erforderlichen Kühlleistungsverläufe für den Extremsommertag – ebenfalls am 3. Simulationstag aufgenommen – finden sich im Bild 6.

Tabelle 2 Ergebnisse für den Bautyp 5 (leichter Holzbau mit PCM-Gipsbauplatte): Basisvariante sowie Varianten A und B

Zum Vergleich ist auch die Originalvariante der leichten Holzbauweise (Bautyp 2) vermerkt.

Bautyp	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf	Tageshochgradstunden	Tageskühlbedarf
		Auslegung	heiterer Februartag	heiterer Julitag	extremer Sommertag
		W/m ²	Wh/(m ² d)	Kh/d	Wh/(m ² d)
5 Basis	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25 \text{ °C}$	44,3	136,2	12,8	62,8
5 A	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandelbereich}} = 24 \dots 26 \text{ °C}$	44,3	134,1	12,3	55,3
5 B	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandelbereich}} = 23 \dots 27 \text{ °C}$	44,3	132,2	12,9	59,4
Vergleichsvariante ohne PCM-Bauplatte:					
2	Leichter Holzbau	44,4	153,4	25,2	76,4

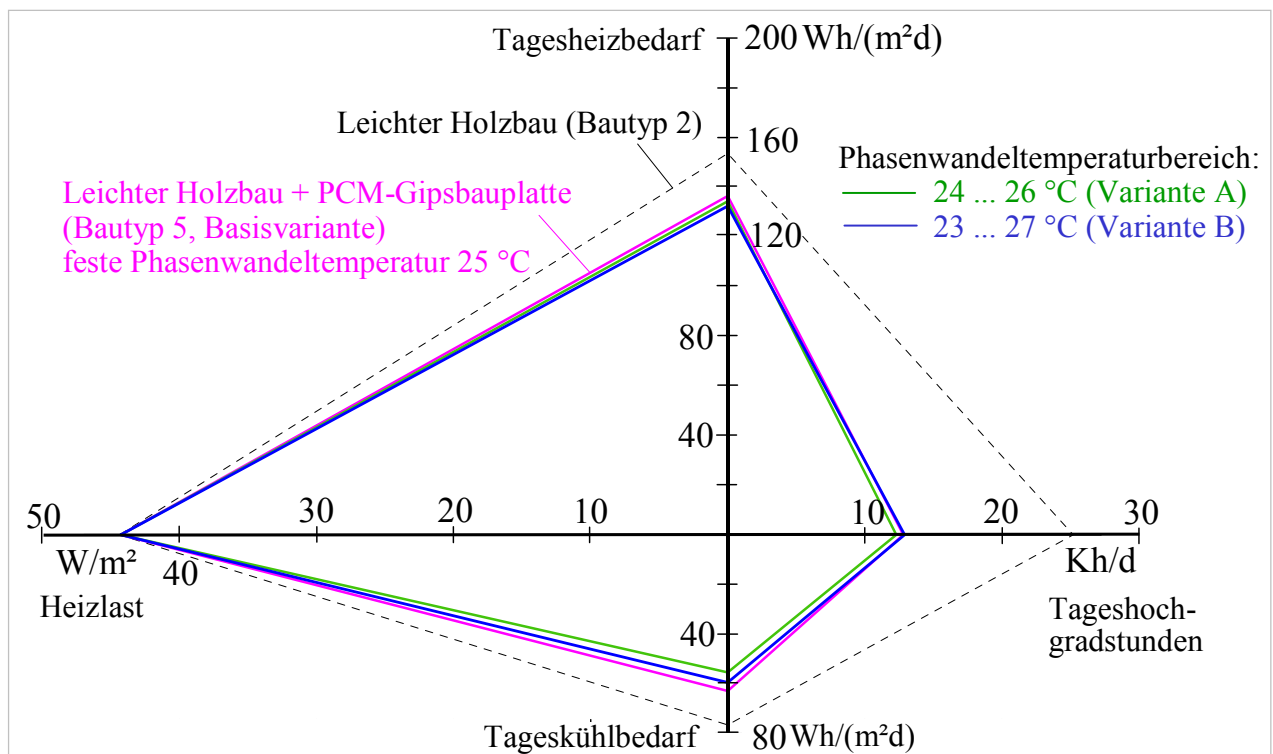


Bild 4 Hauptergebnisse für den Bautyp 5 (leichter Holzbau mit PCM-Gipsbauplatte): Basisvariante mit fester Phasenwandeltemperatur sowie Varianten A und B mit Phasenwandelbereich. Zum Vergleich ist auch die Originalvariante der leichten Holzbauweise (Bautyp 2) vermerkt.

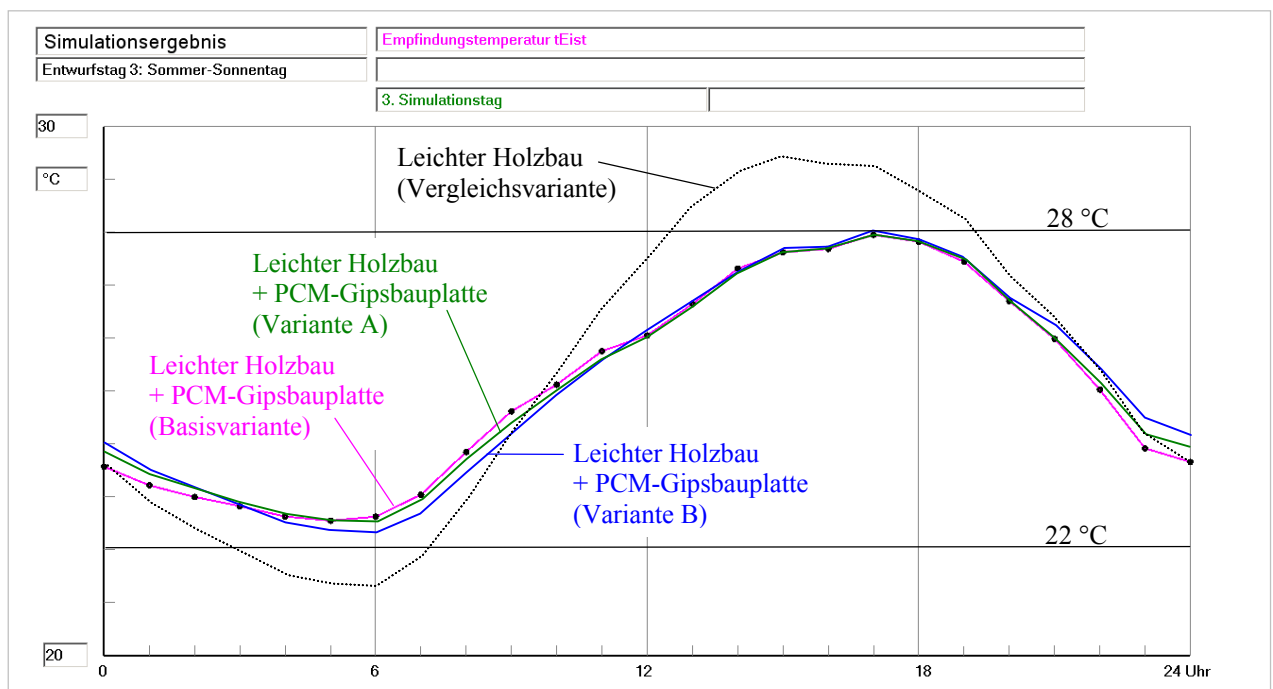
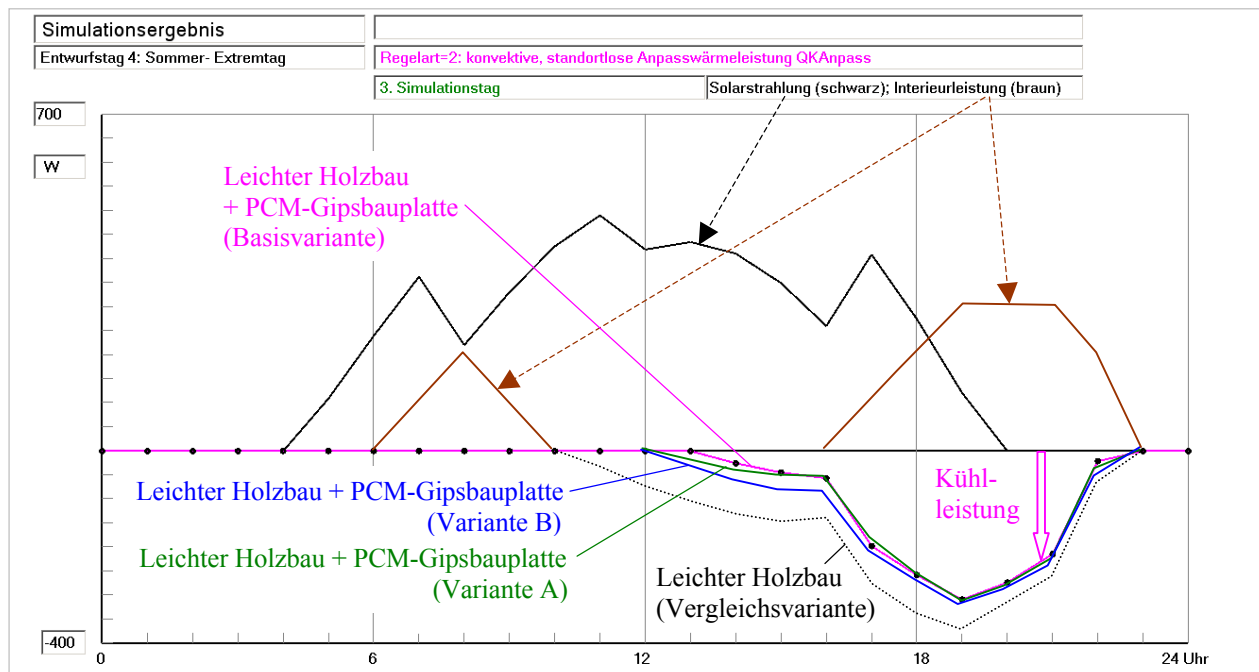


Bild 5 Raumtemperaturverläufe für den heiteren Sommertag (Entwurfstag 3) jeweils am 3. Simulationstag für den Bautyp 5 (leichter Holzbau mit PCM-Gipsbauplatte): Basisvariante mit fester Phasenwandeltemperatur sowie Varianten A und B mit Phasenwandelbereich. Zum Vergleich ist auch die Originalvariante der leichten Holzbauweise (Bautyp 2) vermerkt.



Weitere interessante Detailergebnisse, auf die in der nachfolgenden Auswertung eingegangen wird, seien vorab zusammengestellt. Es handelt sich um die Änderung des Tageskühlbedarfs am Extremsommertag zu unterschiedlichen Simulationstagen (Tabelle 3) und um die zeitabhängigen Temperaturverläufe in der Gipsbauplatte (Bild 7).

Tabelle 3 Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für den Tageskühlbedarf an einem Extremsommertag für die Basisvariante und die Variante B bei unterschiedlichen Erfassungszeiträumen (3. Simulationstag bzw. 67. bis 91. Simulationsstunde \approx 4. Simulationstag)

Bautyp	Bauweise	Tageskühlbedarf	Tageskühlbedarf
		3. Simulationstag	4. Simulationstag
		Wh/(m ² d)	Wh/(m ² d)
5 Basisvariante	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25 \text{ °C}$	47,0	62,8
5 Variante B	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandelbereich}} = 23 \dots 27 \text{ °C}$	55,0	59,4

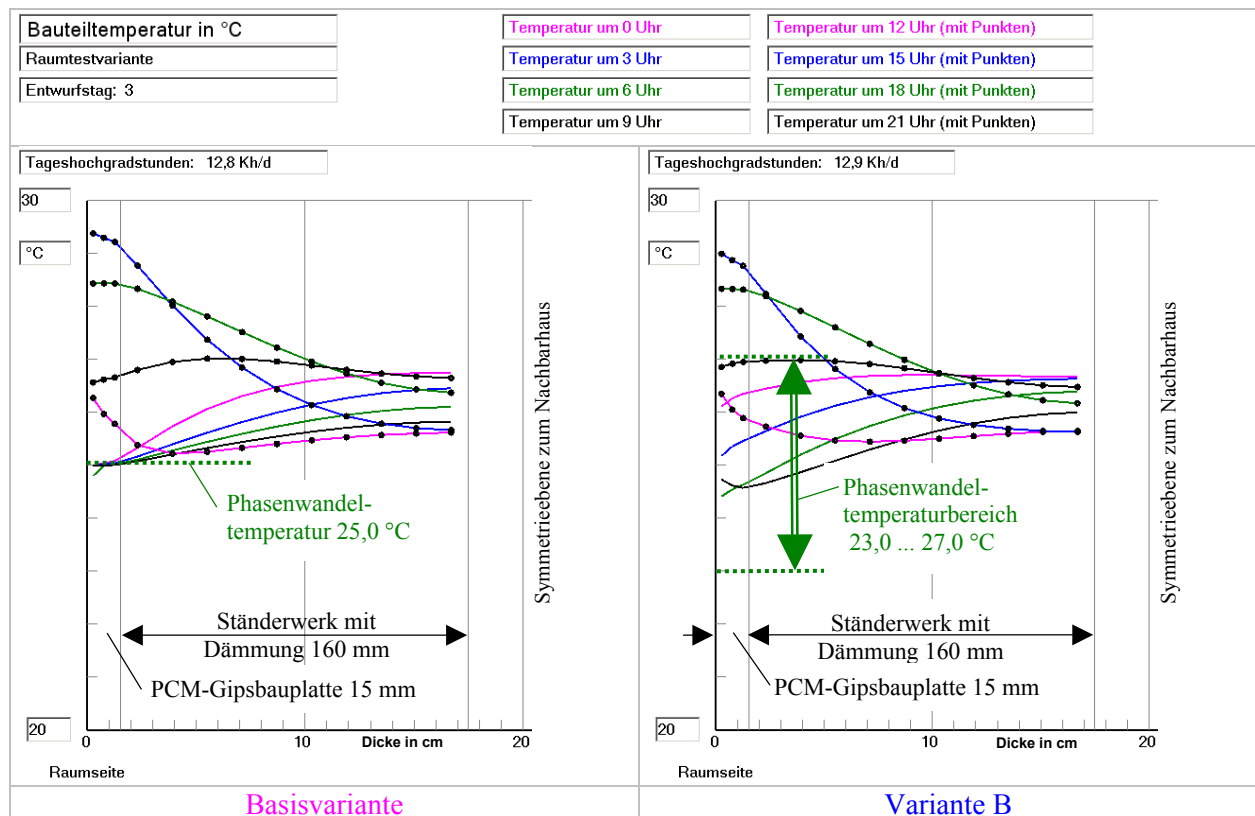


Bild 7 Gegenüberstellung der Temperaturverläufe in der Haustrennwand des Bautyps 5 (leichte Holzbauweise mit PCM-Gipsbauplatte) zwischen der 67. und 91. Simulationsstunde am heiteren Julitag (Entwurfstag 3)

Der detaillierte Wandaufbau ist [2], Bild 14 zu entnehmen.

Auswertung der Simulationsergebnisse für die leichte Holzbauweise

- Die markanteste Feststellung ist, dass bei Vorhandensein eines Phasenwandelbereiches mit den Grenztemperaturen t_{Wandelu} und t_{Wandelo} die den Entwurfstagen zugeordneten Hauptergebnisse näherungsweise denen für eine arithmetisch gemittelte, feste Phasenwandeltemperatur t_{Wandel} entsprechen.
- Die Detailanalyse zeigt, dass die Abweichungen der Energiebedarfswerte etwas größer sind als die der Tageshochgradstunden.
- Die geringe Differenz bezüglich der Tageshochgradstunden erklärt sich durch die sehr kleinen Unterschiede zwischen den Temperaturverläufen (Bild 5), die für ein frei schwingendes System – ohne Anlageneinfluss – am heiteren Sommertag ermittelt wurden.
- Die variantenabhängigen Abweichungen des Tageskühlbedarfs bedürfen der weiteren Diskussion. Während nach Tabelle 2 die Basisvariante einen größeren Tageskühlbedarf als Variante B aufweist, folgt aus Bild 6 das umgekehrte Verhältnis. Die Ursache liegt im unterschiedlichen Erfassungszeitraum begründet. Während in Tabelle 2 die letzten 24 Simulationsstunden (67. bis 91. Betriebsstunde) betrachtet werden, gibt Bild 6 den 3. Simulationstag (48. bis 72. Betriebsstunde) wieder. Die genaue zahlenmäßige Gegenüberstellung des Tageskühlbedarfs ist in Tabelle 3 erfolgt. D. h., der Übergang von einer festen Phasenwandeltemperatur zu einem Phasenwandelbereich verändert die charakteristischen Größen nicht in einem stets konstanten Verhältnis sondern auch in Abhängigkeit der Zeit. Damit ist es außerordentlich

schwierig z. B. energetische Einsparungen variantenabhängig zu bewerten, da sowohl meteorologische und nutzerbedingte Einflüsse im Langzeitverlauf von sehr großer Bedeutung sein können.

- Die Temperaturverläufe in der Gipsbauplatte bei fester Phasenwandeltemperatur und bei Vorhandensein eines Phasenwandelbereiches – wie beispielsweise im Bild 7 dargestellt – zeigen bemerkenswerte Unterschiede. Im ersten Fall (Basisvariante) unterschreitet die raumseitige Wandtemperatur nur sehr kurzzeitig die Phasenwandeltemperatur von 25 °C. Bei Variante B mit dem sehr großen Phasenwandelbereich von 4 K wird die Latentspeicherung über einen längeren Zeitraum wirksam. Dies ist grundsätzlich günstiger. Aber auch bei dieser Variante ist erkennbar, dass es vorteilhafter wäre, den Phasenwandel in einen höheren Temperaturbereich zu verlagern. Die damit verbundene Wirkung ist bereits in [2] untersucht worden (Tabelle 4 und Bild 8).
- Die Hauptkriterien, die für die vier Entwurfstage bestimmt werden, bilden nach wie vor die Hauptaussage für die Bewertung der Bauweise und Nutzungsart, da sie die Integration aller Einflüsse auf den Raumzustand beinhalten. Die Detailuntersuchungen – beispielsweise der Temperaturschwingung in der Wand – dienen lediglich zum besseren Verständnis der Ergebnisse und zur Ursachenerforschung.
- Haupteinfluss auf das Ergebnis nimmt die feste bzw. mittlere Phasenwandeltemperatur und erst in zweiter Linie die Größe des Phasenwandelbereiches.

Tabelle 4 Hauptergebnisse für den Bautyp 5 (leichter Holzbau mit PCM-Gipsbauplatte) unter Variation der Phasenwandeltemperatur bei konstanter Phasenwandelenthalpie im Vergleich zum Bautyp 2 (leichter Holzbau)

Bautyp	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf	Tageshochgradstunden	Tageskühlbedarf
		Auslegung	heiterer Februartag	heiterer Julitag	extremer Sommertag
		W/m ²	Wh/(m ² d)	Kh/d	Wh/(m ² d)
5 Basis	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25 \text{ °C}$	44,3	136,2	12,8	62,8
5a	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 24 \text{ °C}$	44,3	129,3	19,1	74,0
5b	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 26 \text{ °C}$	44,3	142,3	10,1	58,6
Vergleichsvariante ohne PCM-Bauplatte:					
2	Leichter Holzbau	44,4	153,4	25,2	76,4

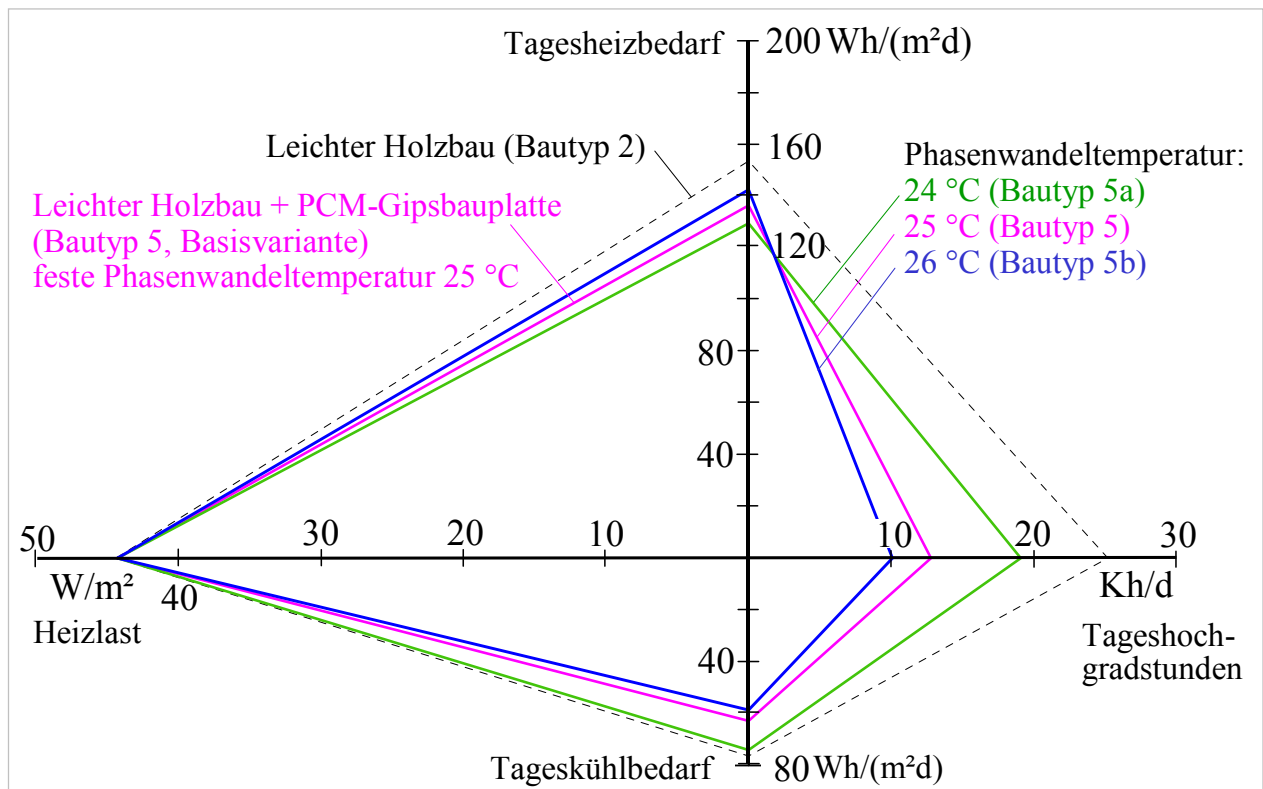


Bild 8 Ergebnisse für die leichte Holzbauweise ohne und mit Latentspeichermaterial in den Wandverkleidungen und bei Variation der stets festen Phasenwandeltemperatur (Werte entsprechen der Tabelle 4)

4.2 Massivholzbauweise mit 30 mm PCM-Lehmbauplatte

Die Lehmbauplatte mit Latentspeichermaterial ist auf den raumseitigen Außen- und Haustrennwandflächen angeordnet (siehe Bautyp 6 nach [2], Bild 15).

Basisvariante: $t_{\text{Wandel}} = 25,5 \text{ °C}$; $r_{\text{fix}} = 27500 \text{ J/kg}$; $c_{\text{fest}} = c_{\text{fl}} = 1200 \text{ J/(kg K)}$

Variante C: $t_{\text{Wandelu}} = 24 \text{ °C}$; $t_{\text{Wandelo}} = 27 \text{ °C}$; $r_{\text{Bereich}} = 31100 \text{ J/kg}$.

Die ergänzenden Untersuchungen sind in Tabelle 5 sowie in den Bildern 9 und 10 zusammengefasst.

Tabelle 5 Ergebnisse für den Bautyp 6 (Massivholzbau mit PCM-Lehmbauplatte): Basisvariante sowie Variante C

Zum Vergleich ist auch die Originalvariante der Massivholzbauweise (Bautyp 3) vermerkt.

Bautyp	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf	Tageshochgradstunden	Tageskühlbedarf
		Auslegung	heiterer Februartag	heiterer Julitag	extremer Sommertag
		W/m ²	Wh/(m ² d)	Kh/d	Wh/(m ² d)
6 Basis	Massivholzbau + PCM-Lehmbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25,5 \text{ °C}$	42,8	103,1	5,5	24,6
6 C	Massivholzbau + PCM-Lehmbauplatte $t_{\text{Wandelbereich}} = 24 \dots 27 \text{ °C}$	42,8	99,8	5,5	17,8
Vergleichsvariante ohne PCM-Bauplatte:					
3	Massivholzbau	42,8	104,2	11,8	36,7

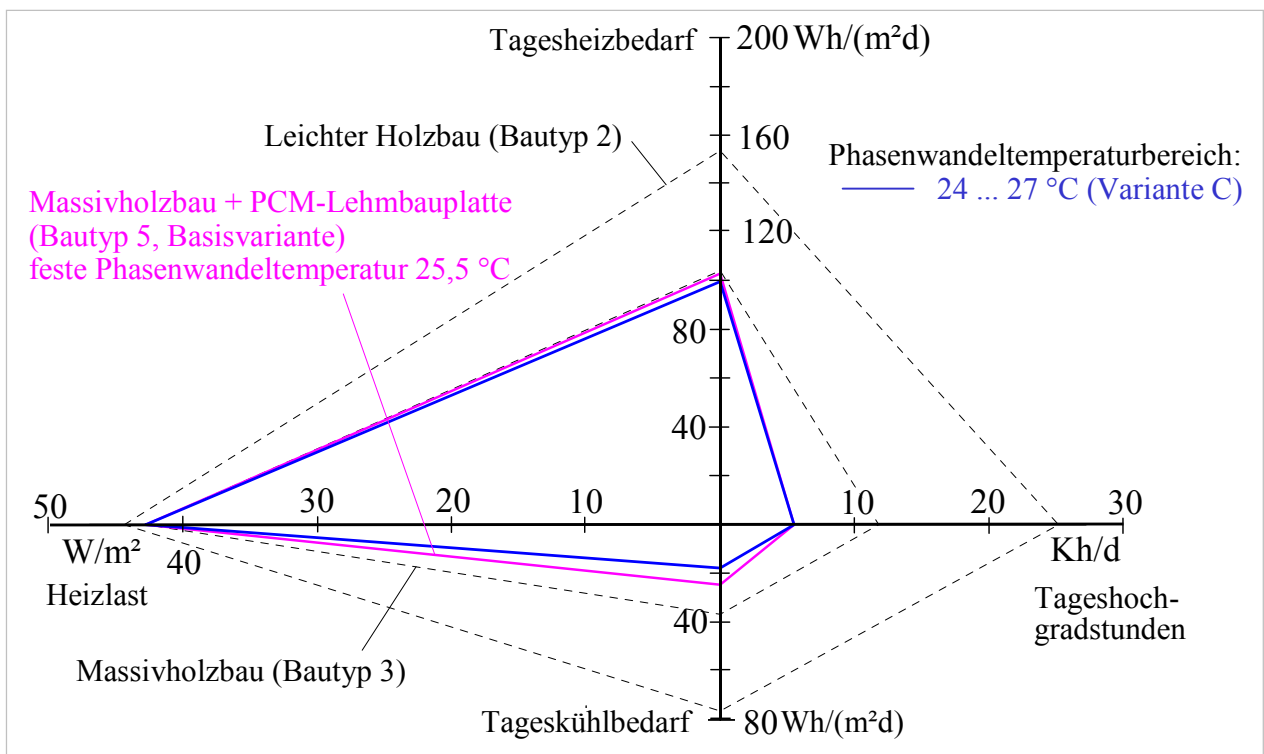


Bild 9 Hauptergebnisse für den Bautyp 6 (Massivholzbau mit PCM-Lehmbauplatte): Basisvariante mit fester Phasenwandeltemperatur sowie Variante C mit Phasenwandelbereich
Zum Vergleich sind auch die Originalvarianten ohne PCM – Massivholzbauweise (Bautyp 3) und leichte Holzbauweise (Bautyp 2) – vermerkt.

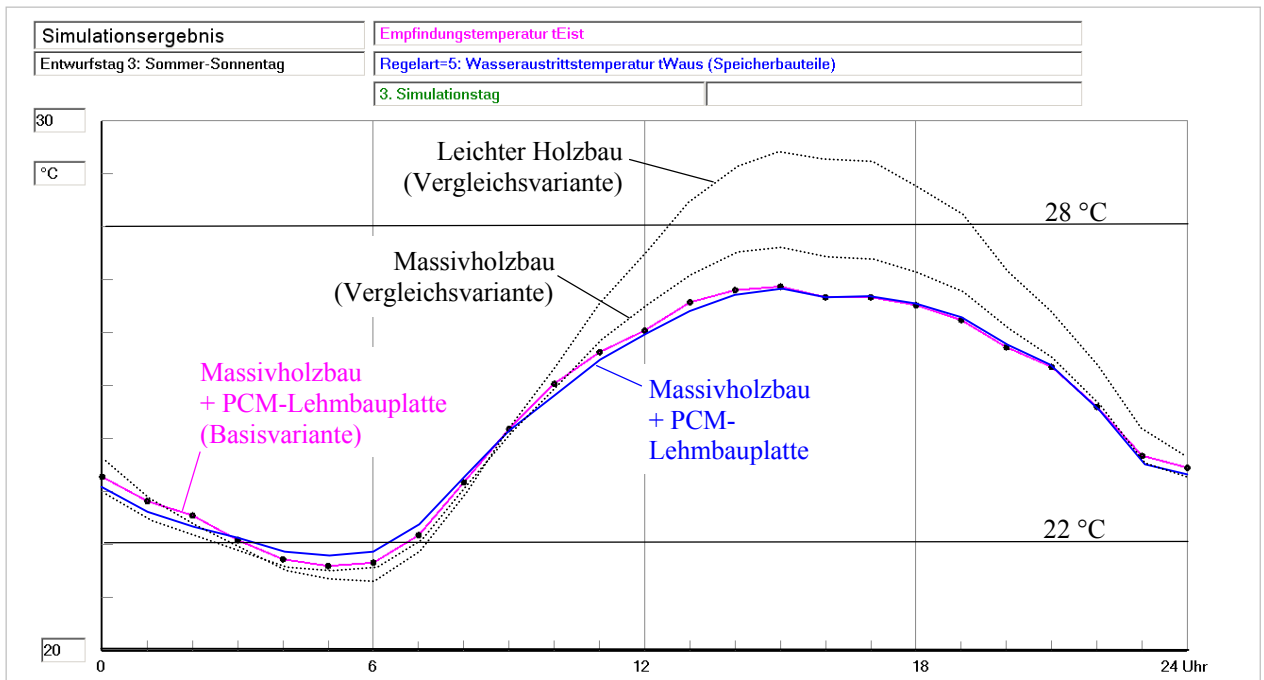


Bild 10 Raumtemperaturverläufe für den heiteren Sommertag (Entwurfstag 3) jeweils am 3. Simulationstag für den Bautyp 6 (Massivholzbau mit PCM-Lehmbauplatte): Basisvariante mit fester Phasenwandeltemperatur sowie Variante C mit Phasenwandelbereich
Zum Vergleich sind auch die Originalvarianten ohne PCM – Massivholzbauweise (Bautyp 3) und leichte Holzbauweise (Bautyp 2) – vermerkt.

Auswertung der Simulationsergebnisse für die Massivholzbauweise

- Die für die leichte Holzbauweise getroffenen Feststellungen gelten für die Massivholzbauten in analoger Weise. Somit sind beim Einsatz von Latentspeichermaterialien mit einem Phasenwandelbereich näherungsweise die Simulationsergebnisse für eine mittlere, feste Phasenwandeltemperatur verwendbar.
- Die im Bild 10 dargestellten, freien Temperaturschwingungen für den Entwurfstag 3 zeigen fast deckungsgleiche Verläufe.
- Die Unterschiede bei den Energiebedarfswerten sind zu relativieren, da sich diese abhängig von den Simulationszeiträumen ergeben.

5 Fazit

Durch die Erweiterung des Dynamischen Raummodells können jetzt auch Latentwärmespeichermaterialien in Raumumfassungen simuliert werden, bei denen sich der Phasenwechsel über einen Temperaturbereich erstreckt. Die allgemeingültige Modellierung kann näherungsweise auch für den Phasenwechsel mit temperaturversetzten Schmelz- bzw. Erstarrungsvorgängen (Hysterese) Verwendung finden. Als Sonderfall ist der Phasenwechsel bei einer festen Temperatur exakt nachbildbar.

Der früher durchgeführte "Wärmetechnische Vergleich ausgewählter Bautechniken und Betriebsweisen von Wohnbauten" [2], dem bei Einsatz von Latentspeichermaterialien (PCM) die Annahme einer festen Phasenwandeltemperatur (Schmelz- bzw. Erstarrungstemperatur) zugrunde lag, wurde für Phasenwandelbereiche wiederholt.

Als Hauptaussage gilt, dass die feste bzw. die mittlere Phasenwandeltemperatur entscheidend für den sich einstellenden Raumtemperaturverlauf unter sommerlichen Bedingungen ist.

Die energetischen Aufwendungen, die beispielsweise für das ergänzende Heizen an heiteren Wintertagen zum Erreichen einer Mindestraumtemperatur oder bei einer Spitzenlastkühlung an Extremsommertagen zur Gewährleistung einer Höchstraumtemperatur erforderlich sind, zeigen mitunter etwas größere Unterschiede in Abhängigkeit der geltenden Phasenwechselcharakteristik. Diese Differenzen gelten aber nicht über alle Untersuchungszeiträume konstant, sondern stellen sich aufgrund der Phasenwandelcharakteristik zeitabhängig dar. Deshalb könnten detaillierte praktische Resultate nur bei genauer Kenntnis des Langzeitbelastungsregimes (äußere und innere Wärmelasten) gewonnen werden. Aber diese Vertiefung erscheint bei den üblichen, stark individuell geprägten Wohnraumnutzungen nicht sinnvoll. Somit können für die Untersuchung der energetischen Effekte in erster Näherung auch feste Phasenwandeltemperaturen in Ansatz gebracht werden.

Das ergänzte Simulationswerkzeug "Dynamisches Raummodell" wird von der ROM-Umwelt-Stiftung mit ausführlicher Beschreibung und Programm kostenlos im Internet zur Verfügung gestellt [3].

Literaturzusammenstellung

- [1] GLÜCK, B.: Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung. Bericht der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2004/05
Kostenlos erhältlich unter:
Kostenlos erhältlich unter:
<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> (⇒ Arbeit bisher ⇒ Projekt 14)
oder
<http://www.berndglueck.de/Raummodell>
Kurzbericht: Umfang 6 Seiten
Teil A:
Grundlagen (Februar 2005): Umfang 102 Seiten
Teil B:
Stationäre Simulation (Februar 2005): Umfang 140 Seiten
Teil C:
Instationäre Simulation (Februar 2005): Umfang 170 Seiten
Teil D:
1. Ergänzung: Instationäre Simulation (Mai 2005): Umfang 181 Seiten
und Dynamisches Raummodell, Heizung-Lüftung-Haustechnik 56 (2005), Teil 1 Nr. 5, S. 26-31; Teil 2 Nr. 6, S. 34-39
- [2] GLÜCK, B.: Wärmetechnischer Vergleich ausgewählter Bautechniken und Betriebsweisen von Wohnbauten. Bericht der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2005.
Kostenlos erhältlich unter:
<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> (⇒ Arbeit bisher ⇒ Projekt 14, Wohnbauten)
oder
<http://www.berndglueck.de/Bautechniken>
Hauptbericht: Umfang 335 Seiten
Kurzbericht: Umfang 42 Seiten
und Thermisch-energetischer Gebrauchswert von Wohnbauten, Heizung-Lüftung-Haustechnik 56 (2005), Nr. 12, S. 38-41 (Teil 1); Bd. 57 (2006) Nr. 1, S. 63-70 (Teil 2), Nr. 2, S. 84-90 (Teil 3)
- [3] GLÜCK, B.: Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung. Ergänzungsbericht Teil E der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2006
Kostenlos erhältlich unter:
<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> (⇒ Arbeit bisher ⇒ Projekt 14, Raummodell)
oder
<http://www.berndglueck.de/Raummodell>
Teil E (2. Ergänzung der instationären Simulation; PCM mit Phasenwandelbereich):
Umfang 106 Seiten