

Wärmeübertragung

Thermisch-energetischer Gebrauchswert von Wohnbauten

Bei Einsatz von Latentspeichermaterialien mit Phasenwandelbereich

Bernd Glück, Jößnitz (Plauen)

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 alle Bautypen wird eine gut wärmespeichernde Betondecke zum Kellergeschoss mit einer sehr guten thermischen Ankopplung an den Raum angenommen. Des Weiteren werden auch

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 Nutzeneigenschaften 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, 4] sind nunmehr ergänzende Simulationen für Speichermaterialien mit Phasenwandelbereichen durchgeführt worden. Die Ergebnisveränderungen werden vorgestellt.

alle anlagentechnischen und betriebsbedingten Randbedingungen – wie bei den bisherigen Untersuchungen – beibehalten. So gilt beispielsweise für die Definition der vier Entwurfstage gemäß den Bildern 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 Simulationsende, 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).

Bisherige Ergebnisse

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

Die markantesten Änderungen durch Einsatz von Latentspeichermaterial bei der leichten Holzbauweise und beim Massivholzbau treten am Entwurfstag 3 (heiterer Sommertag, freie unbeeinflusste Temperaturschwingung) bezüglich der Tageshochgradstunden auf. Diese reduzieren sich auf etwa 50 %.

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

Die sich einstellenden Temperaturschwingungen am Entwurfstag 3 zeigt **Bild 2**.

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 Phasenwandeltem-

Autor



Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Jahrgang 1942, betreibt ein Forschungs- und Entwicklungsbüro für Technische Gebäudeausrüstung. Gleichzeitig ist er als Honorarprofessor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) tätig.

Bau- typ	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf heiterer Februartag	Tageshoch- gradstunden heiterer Julitag	Tageskühlbedarf 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 $t_{\text{Wandel}} = 25^\circ\text{C}$	44,3	136,2	12,8	62,8
3	Massivholzbau	42,8	104,2	11,8	36,7
6	Massivholzbau + PCM-Lehmbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25,5^\circ\text{C}$	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)

peraturen 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).

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

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

Neue Ergebnisse

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

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

Leichte Holzbauweise mit 15 mm PCM-Gipsbauplatte

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

Basisvariante:

$t_{\text{Wandel}} = 25^\circ\text{C}$; $r_{\text{fix}} = 28700 \text{ J/kg}$;

$C_{\text{fest}} = C_{\text{fl}} = 1200 \text{ J/(kg K)}$

Variante A:

$t_{\text{Wandelu}} = 24^\circ\text{C}$; $t_{\text{Wandelo}} = 26^\circ\text{C}$;

$r_{\text{Bereich}} = 31100 \text{ J/kg}$

Variante B:

$t_{\text{Wandelu}} = 23^\circ\text{C}$; $t_{\text{Wandelo}} = 27^\circ\text{C}$;

$r_{\text{Bereich}} = 33500 \text{ J/kg}$.

Die Zusammenstellung der durch umfangreiche Simulationen ermittelten Hauptergebnisse finden sich in der **Tabelle 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**.

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 et-

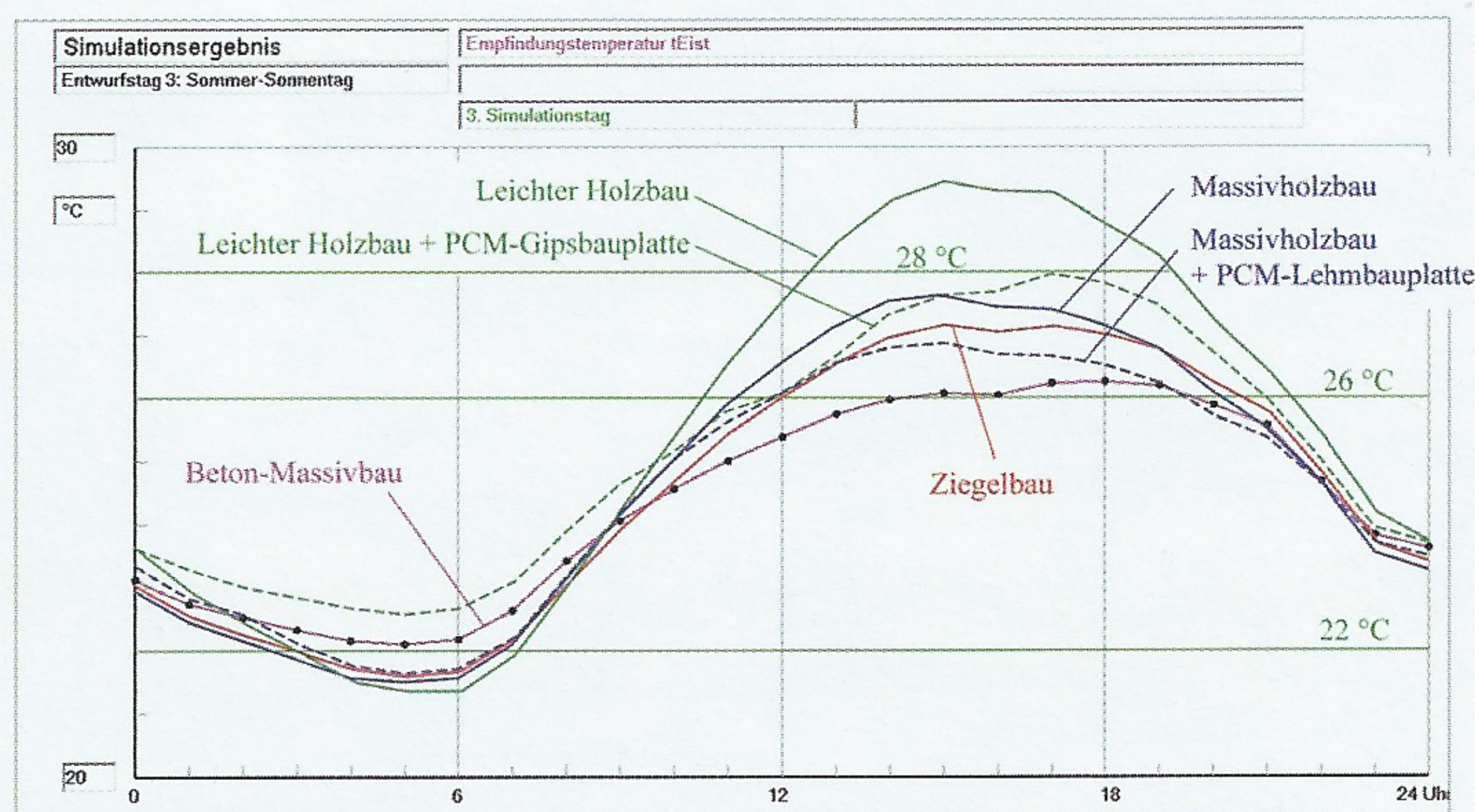
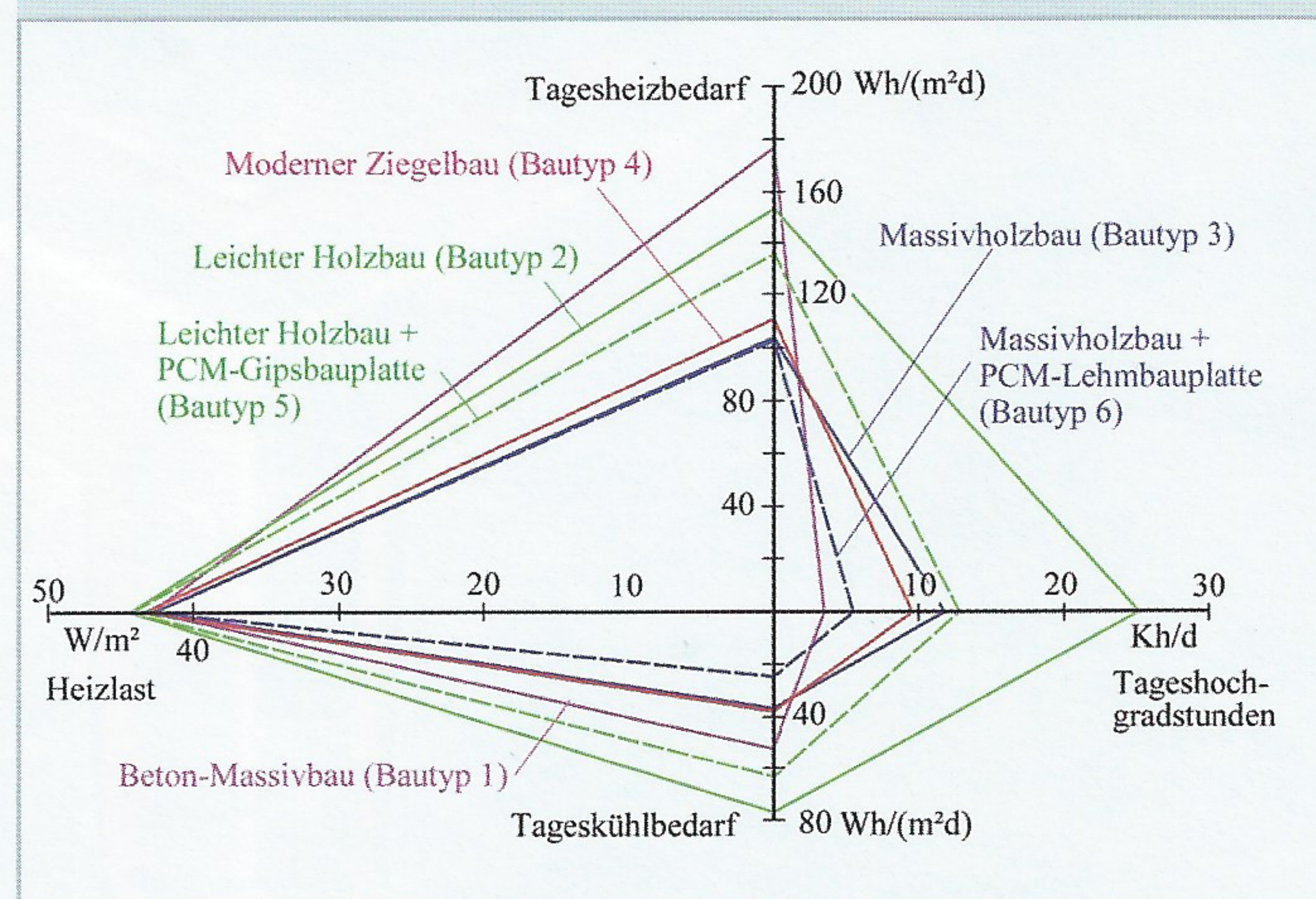
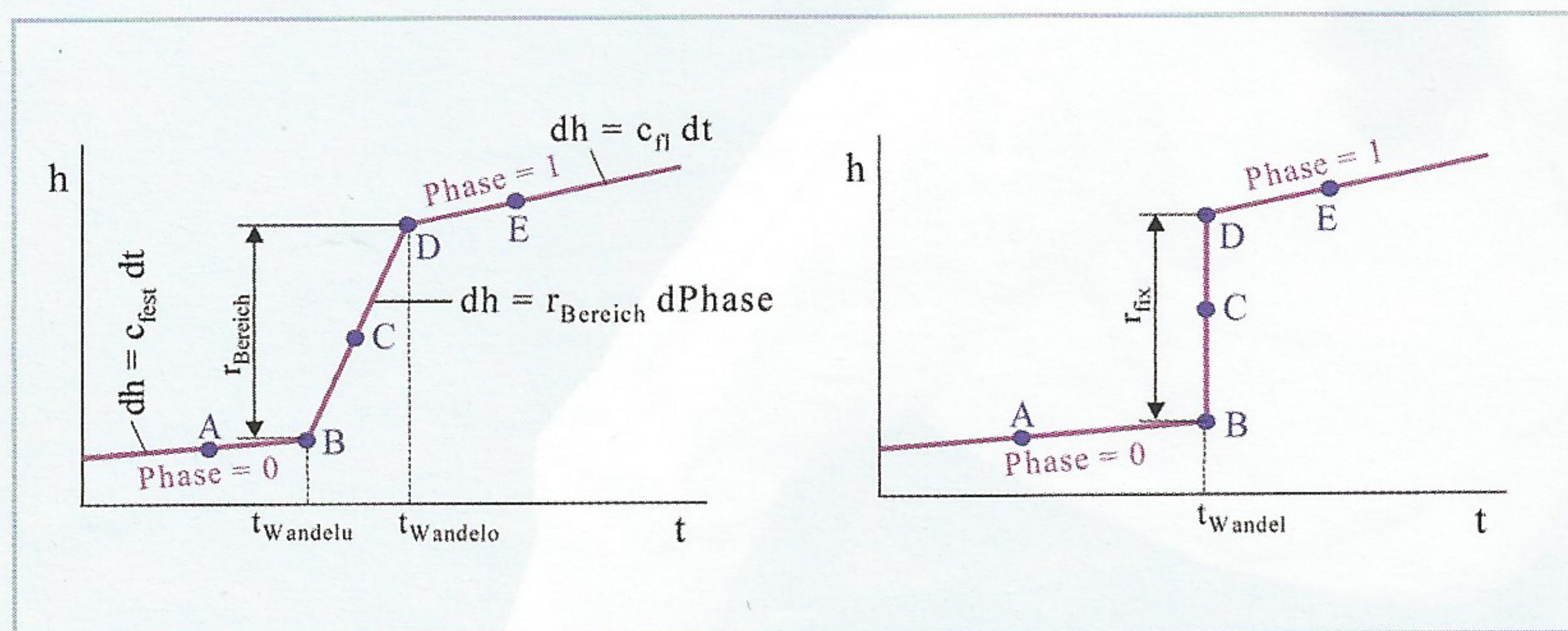


Bild 2

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



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

was 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

Bild 3

Links: Allgemeiner Fall für einen Phasenwandelbereich mit den Grenztemperaturen $t_{Wandelu} \dots t_{Wandelo}$ (Er gilt auch als Näherung für den Phasenwandel mit einer Hysterese). Rechts: Idealfall des Phasenwandels bei konstanter Temperatur $t_{Wandel} = t_{Wandelu} = t_{Wandelo}$. 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.

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.

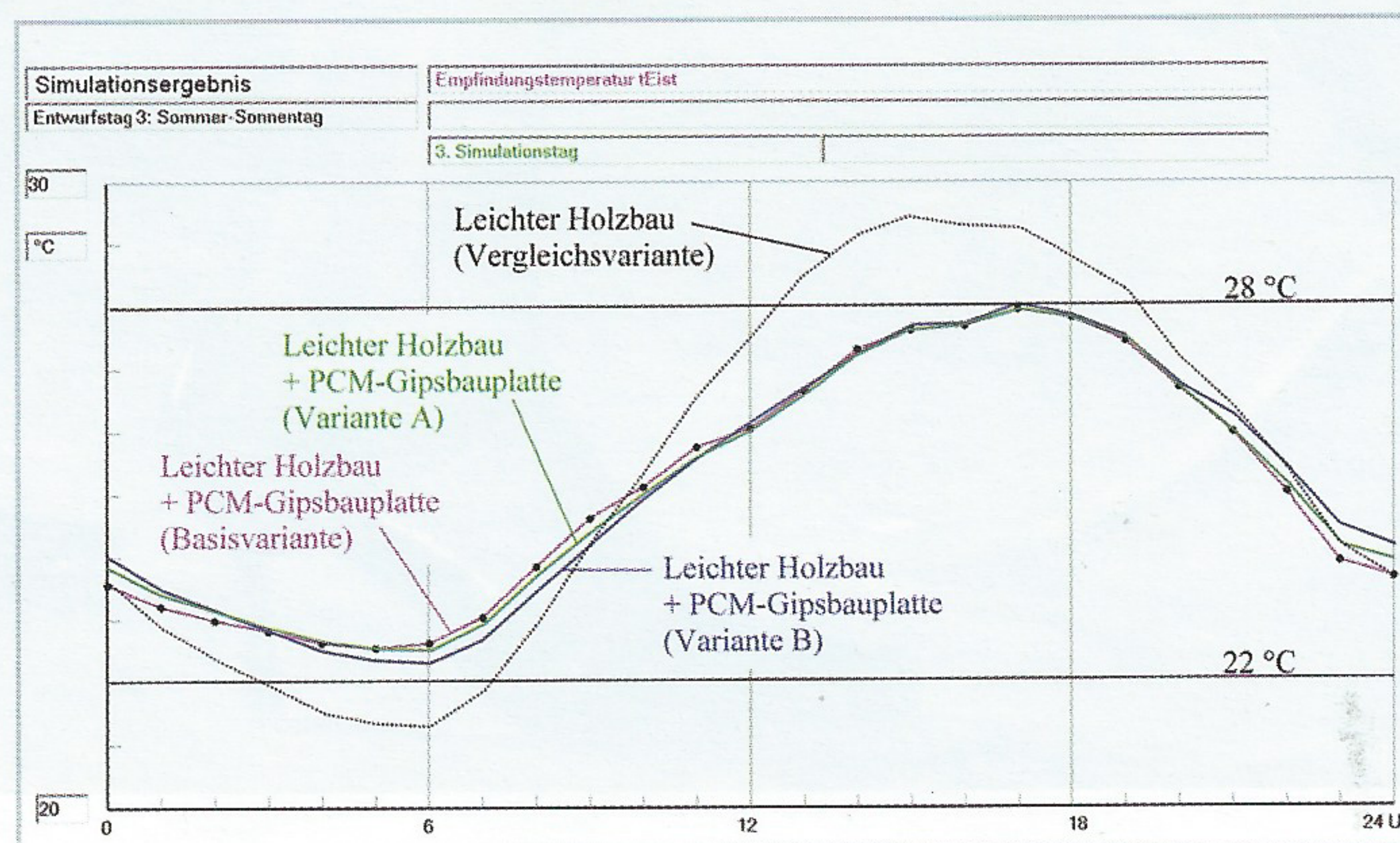
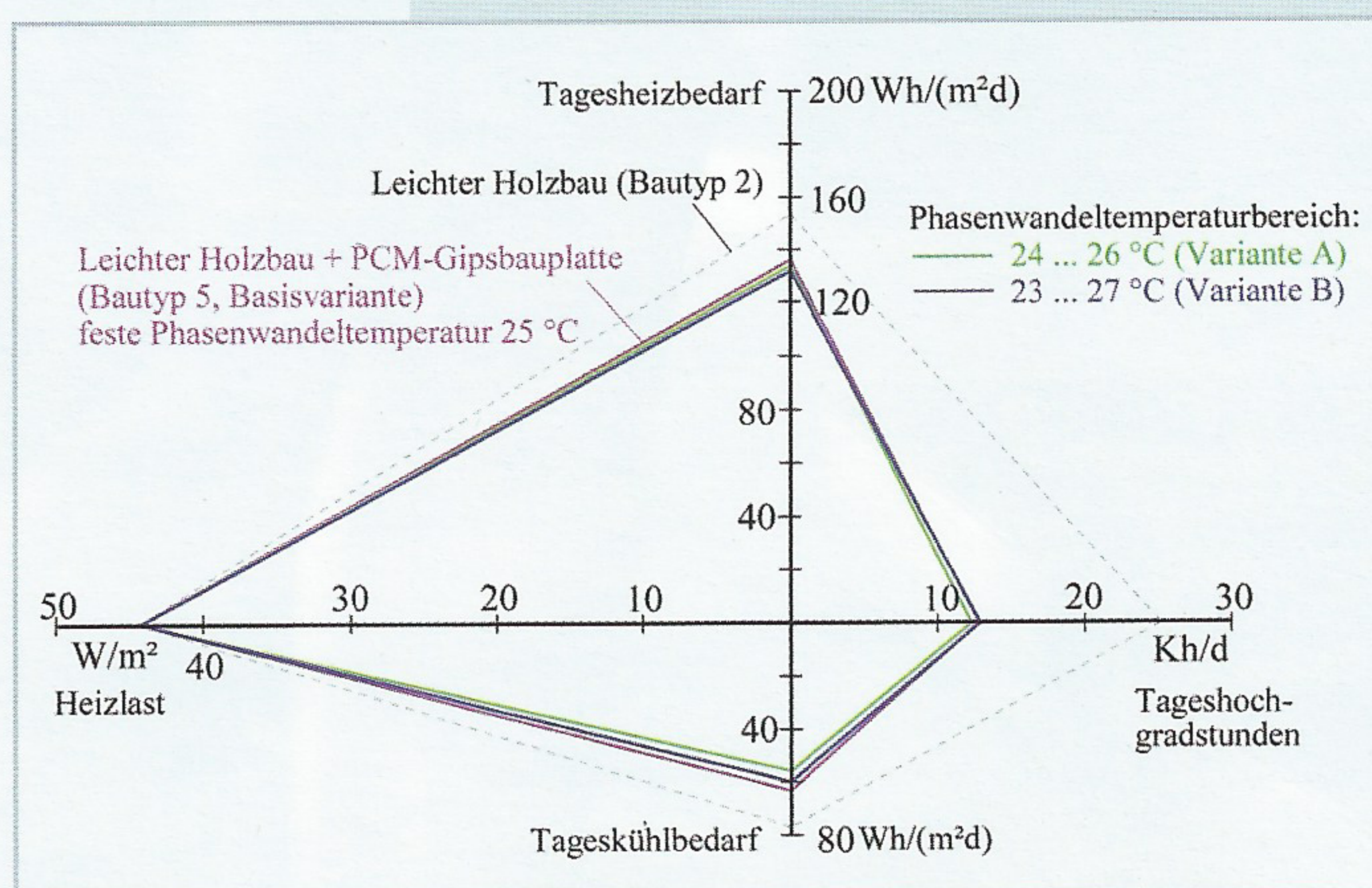


Bild 5

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.

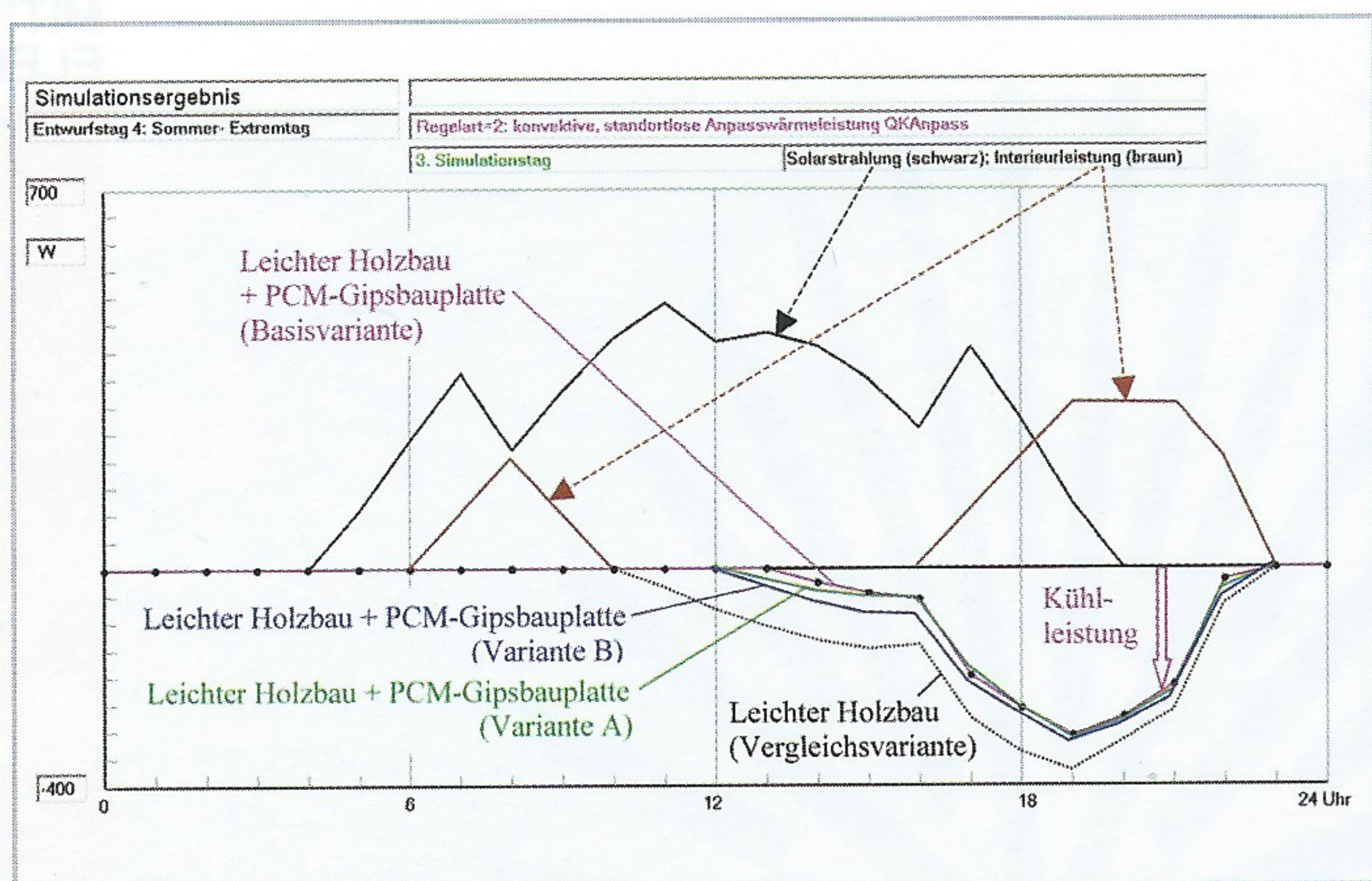


Bild 6

Kühlleistungsverläufe für den Extremsommertag (Entwurfstag 4) 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 Holzbauphase (Bautyp 2) vermerkt.

Die Kurven für die solare Einstrahlung in den Raum unter Beachtung der Verschattung bei einer Gesamtstrahlungsdichte $>150 \text{ W/m}^2$ sowie für den Wärmestrom durch Wirken der inneren Wärmequellen gelten für alle untersuchten Varianten. Die Kühlleistung, die im Raum modellgemäß durch eine konvektive Wärmesenke realisiert wird, ist für die Basisvariante magentafarben dargestellt. Alle weiteren Verläufe sind überlagert. Die Tagesverläufe sind am 3. Simulationstag noch nicht bei allen Bautypen eingeschwenkt.

Bautyp	Bauweise	Tageskühlbedarf 3. Simulationstag	Tageskühlbedarf 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

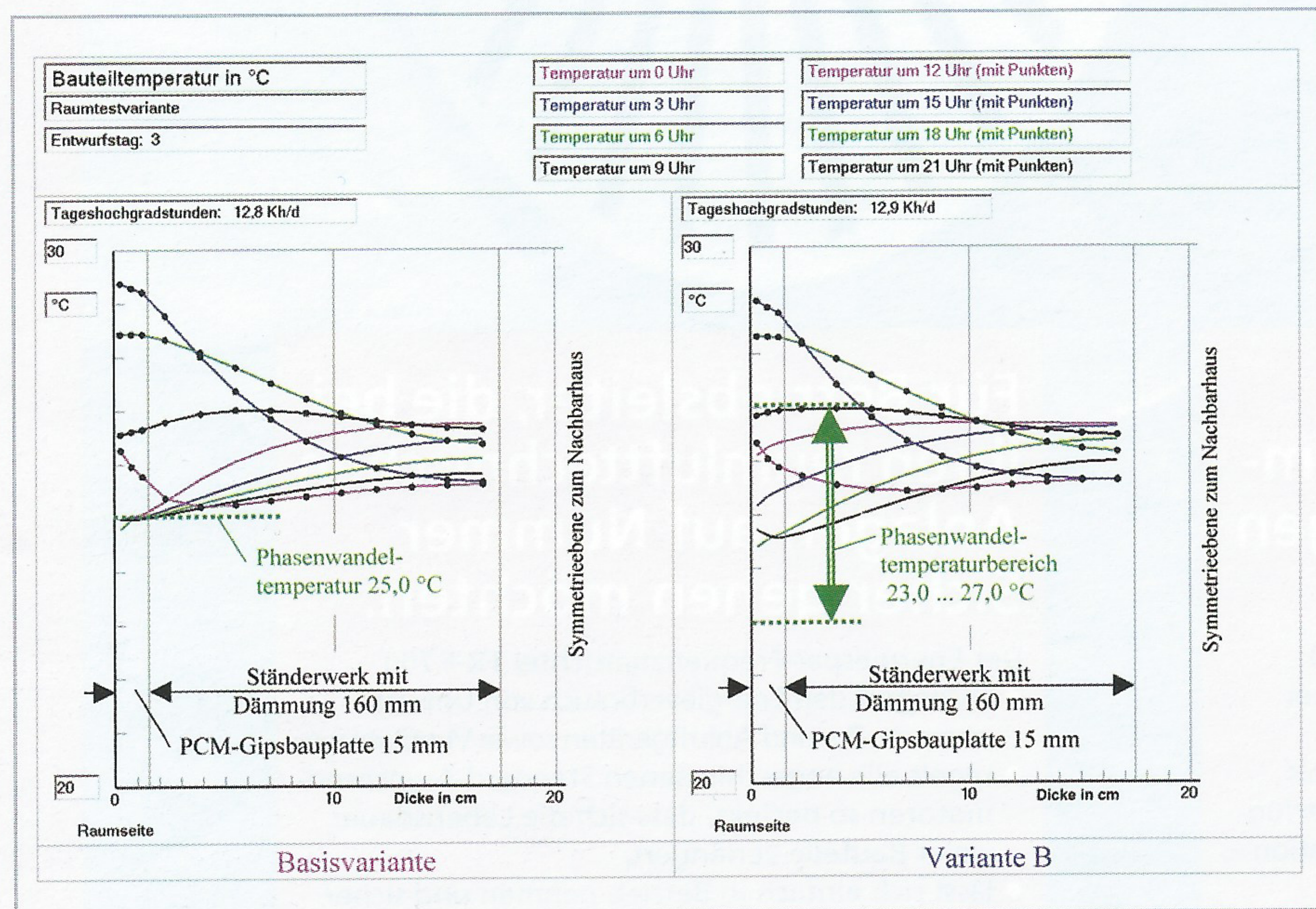


Bild 7

Gegenüberstellung der Temperaturverläufe in der Haustrennwand des Bautyps 5 (leichte Holzbauphase mit PCM-Gipsbauplatte) zwischen der 67. und 91. Simulationsstunde am heiteren Julitag (Entwurfstag 3). Der detaillierte Wandaufbau ist [2], Bild 14 zu entnehmen

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 Ver-

ständnis der Ergebnisse und zur Ursachenerforschung.

Haupteinfluss auf das Ergebnis nimmt die feste bzw. mittlere Phasenwandeltemperatur und erst in zweiter Linie die Größe des Phasenwandelbereiches.

Massivholzbauweise mit 30 mm PCM-Lehmhauplatte

Die Lehmhauplatte mit Latentspeichermaterial ist auf den raumseitigen Außen- und Haustrennwandflächen angeordnet (s. 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.

Auswertung der Simulationsergebnisse für die Massivholzbauweise

Die für die leichte Holzbauphase 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.

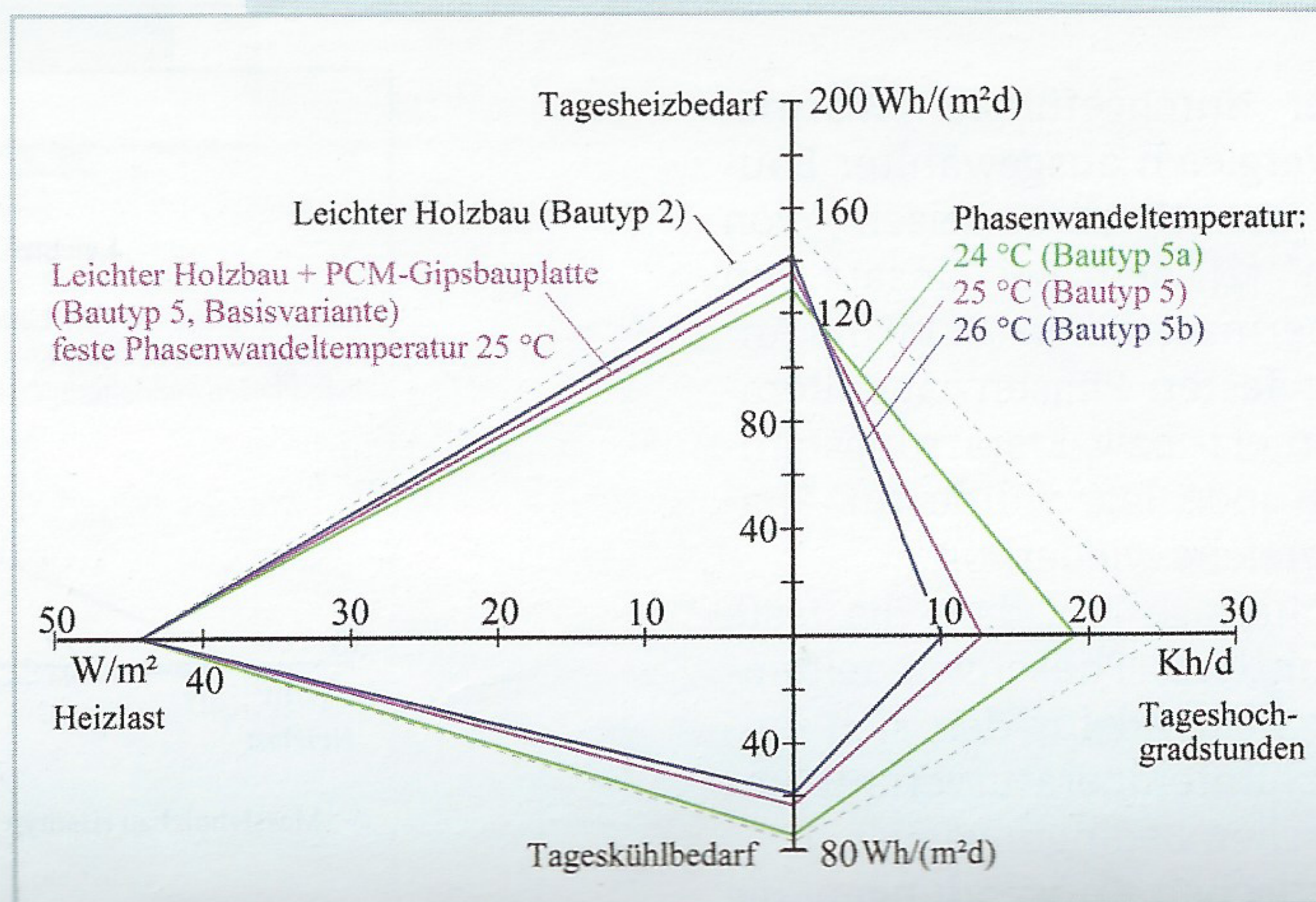
Bau- typ	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf	Tageshoch- gradstunden	Tageskühlbedarf
		Auslegung W/m ²	heiterer Februartag Wh/(m ² d)	heiterer Julitag Kh/d	extremer Sommertag Wh/(m ² d)
5 Basis	Leichter Holzbau + PCM-Gipsbauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25\text{ °C}$	44,3	136,2	12,8	62,8
5a	Leichter Holzbau + 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 Holz-
bauweise ohne und mit La-
tentspeichermaterial in den
Wandverkleidungen und bei
Variation der stets festen Pha-
senwandeltemperatur (Werte
entsprechen der Tabelle 4)

Fazit

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



Bau- typ	Bauweise	Heizlast	Tagesheizbedarf	Tageshoch- gradstunden	Tageskühlbedarf
		Auslegung W/m ²	heiterer Februartag Wh/(m ² d)	heiterer Julitag Kh/d	extremer Sommertag Wh/(m ² d)
6 Basis	Massivholzbau + PCM-Lehm- bauplatte $t_{\text{Wandel}} = 25,5 \text{ °C}$	42,8	103,1	5,5	24,6
6 C	Massivholzbau + PCM-Lehm- bauplatte $t_{\text{Wandelbereich}} = 24 \dots 27 \text{ °C}$	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-Lehm-
bauplatte): Basisvariante mit fester
Phasenwandeltemperatur so-
wie Variante C mit Phasenwandel-
bereich. Zum Vergleich sind auch
die Originalvarianten ohne PCM –
Massivholzbauweise (Bautyp 3)
und leichte Holzbauweise (Bautyp
2) – vermerkt

Der früher durchgeführte „Wärme-
technische Vergleich ausgewählter Bau-
techniken und Betriebsweisen von
Wohnbauten“ [2], dem bei Einsatz von
Latentspeichermaterialien (PCM) die An-
nahme einer festen Phasenwandeltem-
peratur (Schmelz- bzw. Erstarrungstem-
peratur) zugrunde lag, wurde für Pha-
senwandelbereiche wiederholt.

Als Hauptaussage gilt, dass die feste
bzw. die mittlere Phasenwandeltem-
peratur entscheidend für den sich ein-
stellenden Raumtemperaturverlauf un-
ter sommerlichen Bedingungen ist.

Die energetischen Aufwendungen, die
beispielsweise für das ergänzende Hei-

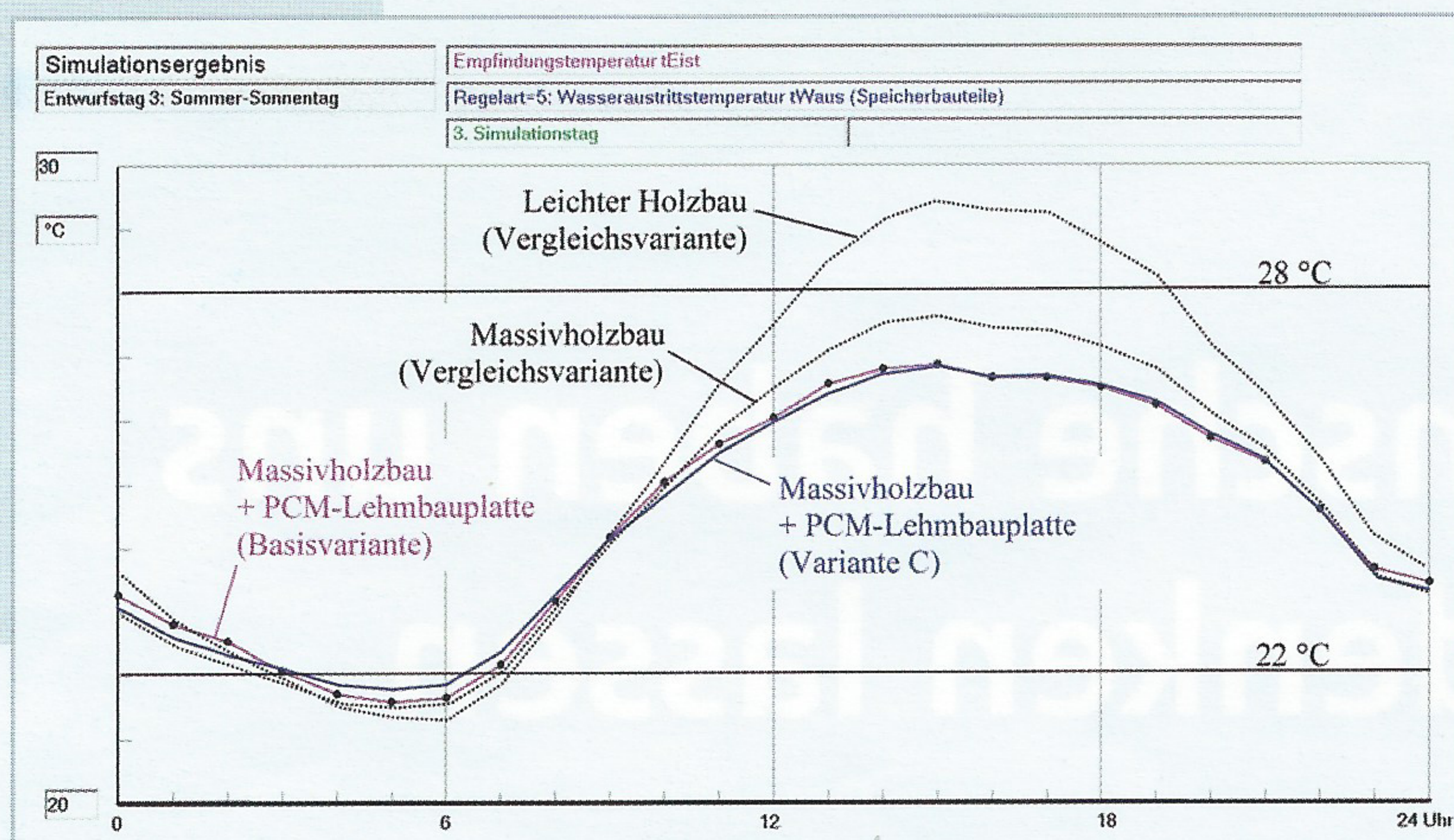
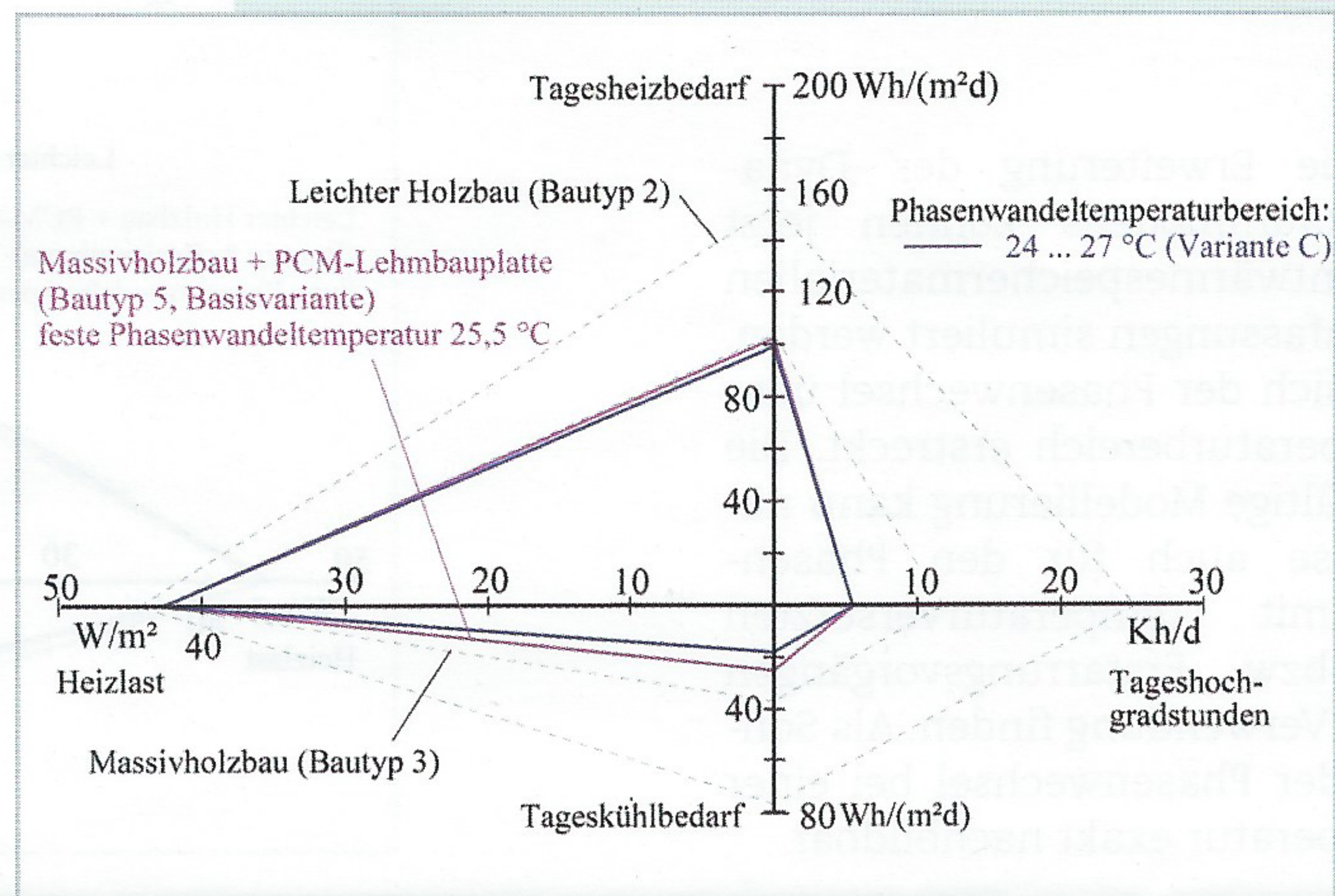


Bild 10

Raumtemperaturverläufe für den heiteren
Sommertag (Entwurfstag 3) jeweils am 3.
Simulationstag für den Bautyp 6 (Massiv-
holzbau mit PCM-Lehm-
bauplatte): Basis-
variante mit fester Phasenwandeltempera-
tur sowie Variante C mit Phasenwandel-
bereich. Zum Vergleich sind auch die Ori-
ginalvarianten ohne PCM – Massivholz-
bauweise (Bautyp 3) und leichte Holzbau-
weise (Bautyp 2) – vermerkt

Literatur

- [1] Glück, B.: Dynamisches Raummodell, HLH Bd. 56 (2005), Nr. 5, S. 26–31 (Teil 1); Nr. 6, S. 34–39 (Teil 2).
- [2] Glück, B.: Thermisch-energetischer Gebrauchswert von Wohnbauten, HLH Bd. 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.: Einheitliches Näherungsverfahren zur Simulation von Latentwärmespeichern, HLH Bd. 57 (2006) Nr. 7, S. 25–30.
- [4] Glück, B.: Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung. Ergänzungsbericht Teil E der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2006 <http://www.rom-umwelt-stiftung.de> (Arbeit bisher Projekt 14) bzw. Detaillaufruf: http://www.rom-umwelt-stiftung.de/arbbisher/pdf/Gluck_Raummodell_TeilE.pdf (Umfang 106 Seiten)

zen an heiteren Wintertagen zum Errei-
chen einer Mindestraumtemperatur
oder bei einer Spitzenlastkühlung an Ex-
trem Sommertagen zur Gewährleistung
einer Höchstraumtemperatur erforder-
lich sind, zeigen mitunter etwas größere
Unterschiede in Abhängigkeit der gel-
tenden Phasenwechselcharakteristik.
Diese Differenzen gelten aber nicht über
alle Untersuchungszeiträume konstant,
sondern stellen sich aufgrund der Pha-
senwandelcharakteristik zeitabhängig
dar. Deshalb könnten detaillierte prakti-
sche Resultate nur bei genauer Kenntnis
des Langzeitbelastungsregimes (äußere

und innere Wärmelasten) gewonnen
werden. Aber diese Vertiefung erscheint
bei den üblichen, stark individuell ge-
prägten Wohnraumnutzungen nicht
sinnvoll. Somit können für die Unter-
suchung der energetischen Effekte in
erster Näherung auch feste Phasenwan-
deltemperaturen in Ansatz gebracht
werden.

Das ergänzte Simulationswerkzeug
„Dynamisches Raummodell“ wird von
der ROM-Umwelt-Stiftung mit ausführ-
licher Beschreibung und Programmver-
sion 3/2006 kostenlos im Internet zur
Verfügung gestellt [4].