

Wärmeübertragung

Dynamisches Raummodell Teil 2

Bernd Glück, Jößnitz (Plauen)

Die derzeitigen Forderungen, thermisch aktive Bauteile und vor allem Latentspeicherschichten energetisch und wärmephysiologisch bewerten zu können, führten zu wesentlichen Erweiterungen des bekannten Algorithmus. Ein Programmsystem, wie das Dynamische Raummodell, soll dem ambitionierten Nutzer helfen, in Gebäuden gute wärmephysiologische Werte mit niedrigen Energieaufwendungen zu erreichen.

Im ersten Teil dieses Beitrages¹⁾ wurden die Grundlagen des Raummodells und Strategien der Komplexsimulation dargestellt. Der folgende zweite Teil beschäftigt sich mit der programmtechnischen Umsetzung des Raummodells.

Programmtechnische Umsetzung

Das Rechenprogramm wurde für die Programmierumgebung Microsoft VisualBasic.Net Standard erstellt. Der Bezug der genannten Standardsoftware ist sehr kostengünstig möglich, für Studenten gelten in der Regel zusätzlich Sonderkonditionen. Auf jegliche Spezialsoftware, die einige wesentliche Programmiererleichterungen – beispielsweise bei der Erzeugung von Ausgabedaten – bewirkt hätte, wurde deshalb bewusst verzichtet. Es werden lediglich Verbindungen zu Microsoft Word hergestellt. Die Programmgestaltung erfolgte ebenfalls in trivialer Form, so dass Anfänger sich bei Bedarf sofort einarbeiten und Ergänzungen vornehmen können.

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.

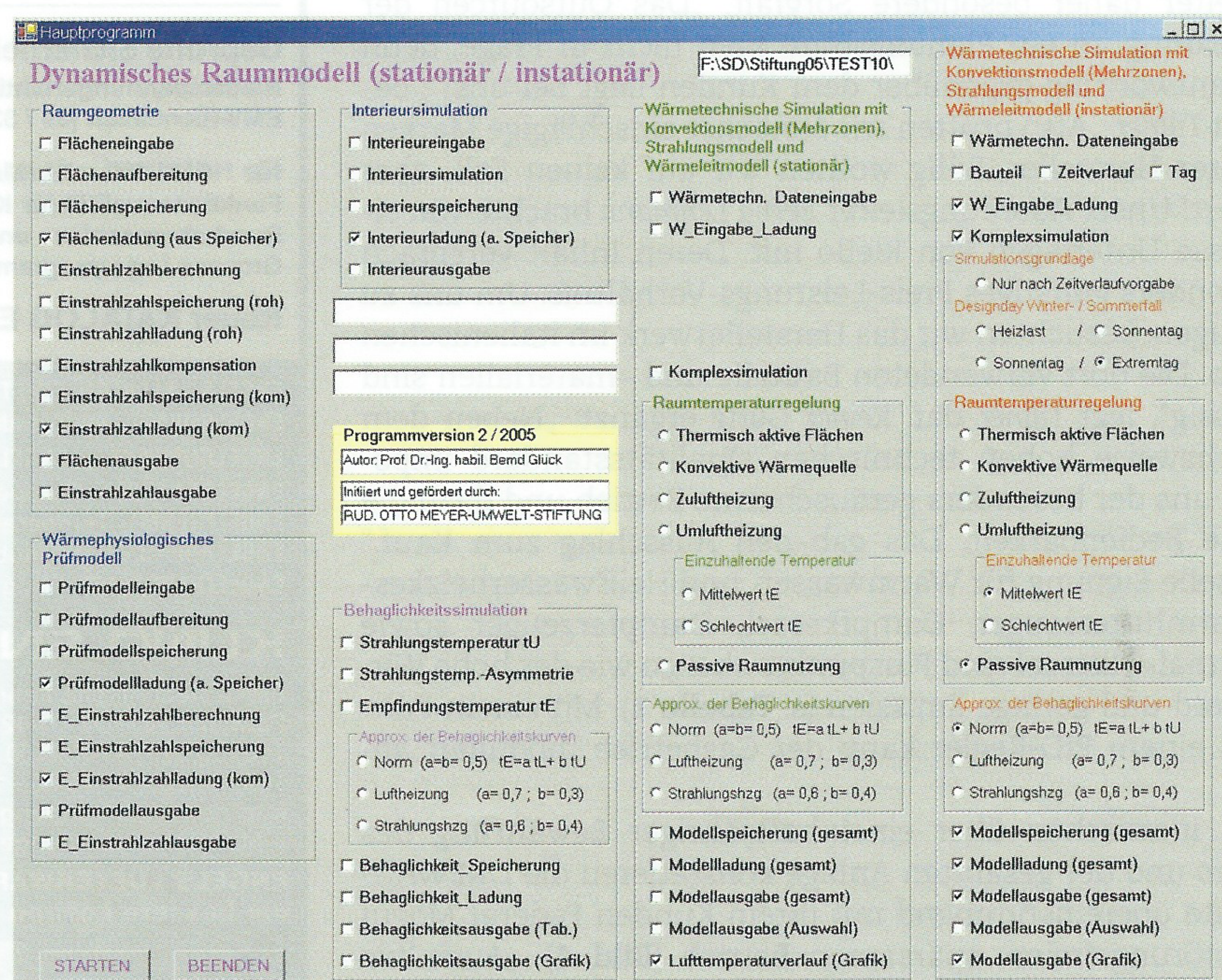
Die Eingaben werden mittels gut übersichtlicher Masken in jeweils separaten Fenstern vorgenommen. Da die Reihenfolge der Eingaben, die Neugestaltung einer Datei oder deren Überschreiben beliebig erfolgen kann, liegt die Verantwortung bezüglich der Widerspruchsfreiheit der Daten beim Anwender. Die sehr umfangreichen Ausgaben können als *Ausdrucke* unterschiedlicher Detaillierung und teilweise in Form von *Grafiken* erfolgen. Weiterhin sind alle Speicherdaten aus den Listings entnehmbar, so dass – sollte der Bedarf bestehen – selbst noch Detailausgaben erzeugt werden können. Selbstverständlich kann bei entsprechendem Programmeingriff auch der Ausgabetak – in der jetzigen Form erfolgt dieser im Stundenrhythmus – verändert werden. Die Ausgaben erscheinen zunächst auf dem Bild-

schirm, können dort layoutmäßig bearbeitet und in weitere Word- oder Powerpoint-Dokumente eingebunden werden.

Die Organisation des Berechnungsablaufes ist außerordentlich variantenreich gestaltbar. Er wird in der Bildschirmmaske des Hauptprogramms (**Bild 7**) individuell festgelegt. Generell sollte der Nutzer die einzelnen Berechnungsabschnitte nacheinander abarbeiten, wobei die Eingabedaten und/oder Teilergebnisse in Dateien abgespeichert werden. Zwi-

Bild 7

Oberfläche des Hauptprogramms mit Kennzeichnung der beabsichtigten Aktivitäten, um eine Komplexsimulation mit instationärer Wärmeleitung durchzuführen



¹⁾ Teil 1 des Beitrages ist erschienen in HLH Bd. 56 (2005) Nr. 5, S. 26-31.

Flächendaten

Zielstellung

☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der Flächendaten (Datei bereits vorhanden)

☐ Neueingabe aller Flächendaten (Datei noch nicht vorhanden)

Pfad und vorhandener bzw. zukünftiger Dateiname:

F:\SD\Stiftung05\TEST10\FLAE.dat

imax 34

i	a1(i)	a2(i)	a3(i)	b1(i)	b2(i)	b3(i)	c1(i)	c2(i)	c3(i)	r(i)	z(i)
1	0	0	0	5,22	0	0	0	4,18	0	1	10

Koordinate des Punktes A in m

Koordinate des Punktes B in m

Koordinate des Punktes C in m

Flächennummer (Dreieck) i eingeben!

ANZEIGEN drücken!

Daten für die Eckpunkte A, B, C der Fläche eintippen (nur Zahlen, Komma, Minuszeichen)!

EINGEBEN drücken!

Nächste Fläche bearbeiten usw!

SPEICHERN + BEENDEN drücken!

ANZEIGEN EINGEBEN SPEICHERN + BEENDEN

Bild 8

Oberfläche zur Eingabe der Flächendaten (vgl. Bild 1). Die Datenanzeige und -eingabe erfolgt in Kommunikation mit der Datei FLAE.dat.

Eingabedaten für instationäres Simulationsmodell (Bauteildaten)

Zielstellung

☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der Speicherbauteildaten (Datei bereits vorhanden)

☐ Neueingabe aller Speicherbauteildaten (Datei noch nicht vorhanden)

Pfad und vorhandener bzw. zukünftiger Dateiname:

F:\SD\Stiftung05\TEST7\BAUTEIL.dat

Bauteildaten i 1 imax 34 iSpeichertyp(i) 1

Ra(i) äußerer Wärmeleitwiderstand mit 1/alpha_außen 1,024 m²K/W

Speicherbauteil II (sensibel speichernd)

DySI(i)	rhoSI(i)	lamSI(i)	cSI(i)
3,5	2200	1,4	1050

mm kg/m³ W/(m K) J/(kg K)

Speicherbauteil I (sensibel speichernd)

DySI(i)	rhoSI(i)	lamSI(i)	cSI(i)
1,75	2200	1,4	1050

mm kg/m³ W/(m K) J/(kg K)

Ri(i) innerer Wärmeleitwiderstand ohne 1/alpha_innen 0,143 m²K/W

Daten des Latentspeichermaterials (für alle Latentschichten)

lamLSfest	lamLSfl	rLS	tWandel
1,2	1,4	W/(m K)	10000 J/kg

°C

cLSfest	cLSfl	rhoLS
900	1050	J/(kg K)

kg/m³

Nummer der Fläche i (Bauteil) eingeben!

ANZEIGEN drücken!

Daten eintippen (nur Zahlen, Komma, Minuszeichen)!

EINGEBEN drücken!

Nächste Fläche (Bauteil) usw. bearbeiten!

SPEICHERN drücken! Evtl. KONTROLLDRUCK erstellen!

Speichertypen mit Rohrregister:

1- Speicherbauteil I + Latentspeicher + Speicherbauteil II

2- Speicherbauteil I

3- Speicherbauteil I + Speicherbauteil II

4- Latentspeicher

5- Latentspeicher + Speicherbauteil II

Speichertypen ohne Rohrregister:

6- Speicherbauteil I

7- Speicherbauteil I + Speicherbauteil II

8- Latentspeicher

9- Latentspeicher + Speicherbauteil II

Rohr- und Gitterdaten für die dreidimensionale Berechnung

Rohre und Wassergeschwindigkeit sind in allen Bauteilen gleich groß!

dRi 2,7 mm dRa 4,3 mm lamR 0,21 W/(m K)

Wassergeschwindigkeit wW 0,1 m/s

Luftspalt um das Rohr deltaSpalt 0 mm

Gitter längs der Rohre

Dx(i) 418 mm iBmax(i) 9

Gitter zwischen den Rohren

Dz(i) 1,65 mm kBmax(i) 8

Zeitschritte / Zeiten

Zeitschritt Dtau 1 s

max. Schrittzahl Zeitmax 21600

Simulationsbeginn Uhrbeginn 8 Uhr

ANZEIGEN EINGEBEN SPEICHERN KONTROLLDRUCK BEENDEN

Bild 9

Oberfläche zur Eingabe der Bauteildaten für das instationäre Simulationsmodell (vgl. Bilder 3 und 10). Die Datenanzeige und -eingabe erfolgt in Kommunikation mit der Datei BAUTEIL.dat.

schnausdrucke und Kontrollen sollten schrittweise erfolgen. Je nach Beurteilung können vorangegangene Berechnungsschritte wiederholt bzw. nachfolgende angeschlossen werden.

Die **Bilder 8** und **9** demonstrieren auszugsweise die Dateneingabe in ihrer Einfachheit teilweise aber auch in ihrer Komplexität.

Verifizierung

Eine Vielzahl von Überprüfungen wurde vorgenommen: Plausibilitätskontrollen, Überprüfung der Wärmebilanzen an Schnittstellen, Kontrolle der Abläufe bei der Simulation der neun unterschiedlich definierten Speicherbauteile usw. Detailuntersuchungen für ein Speicherbauteil

gemäß **Bild 10** betrachteten das Temperaturfeld und den damit verbundenen Phasenwechsel (**Tabelle 1**). Der Zwischenausdruck nach 1 h Simulationszeit zeigt sehr eindrucksvoll das Fortschreiten des Temperaturfeldes zu höheren Temperaturen und den zugehörigen Phasenwandel. Die Starttemperatur betrug 23 °C, die Startphase 0 % („fest“). Nach 1 h liegen im Kernbereich des Latentspeichers die Temperaturen bereits über 25 °C, der Phasenwandel ist bereits vollkommen erfolgt (100 %; „flüssig“). Dieser Bereich ist durch die Farbe magenta gekennzeichnet. Im anschließenden grünen Bereich ist bei exakt 25 °C bereits eine Teilumwandlung der Phase von „fest“ in „flüssig“ erfolgt. Im blauen Zahlenbereich ist die Temperatur < 25 °C

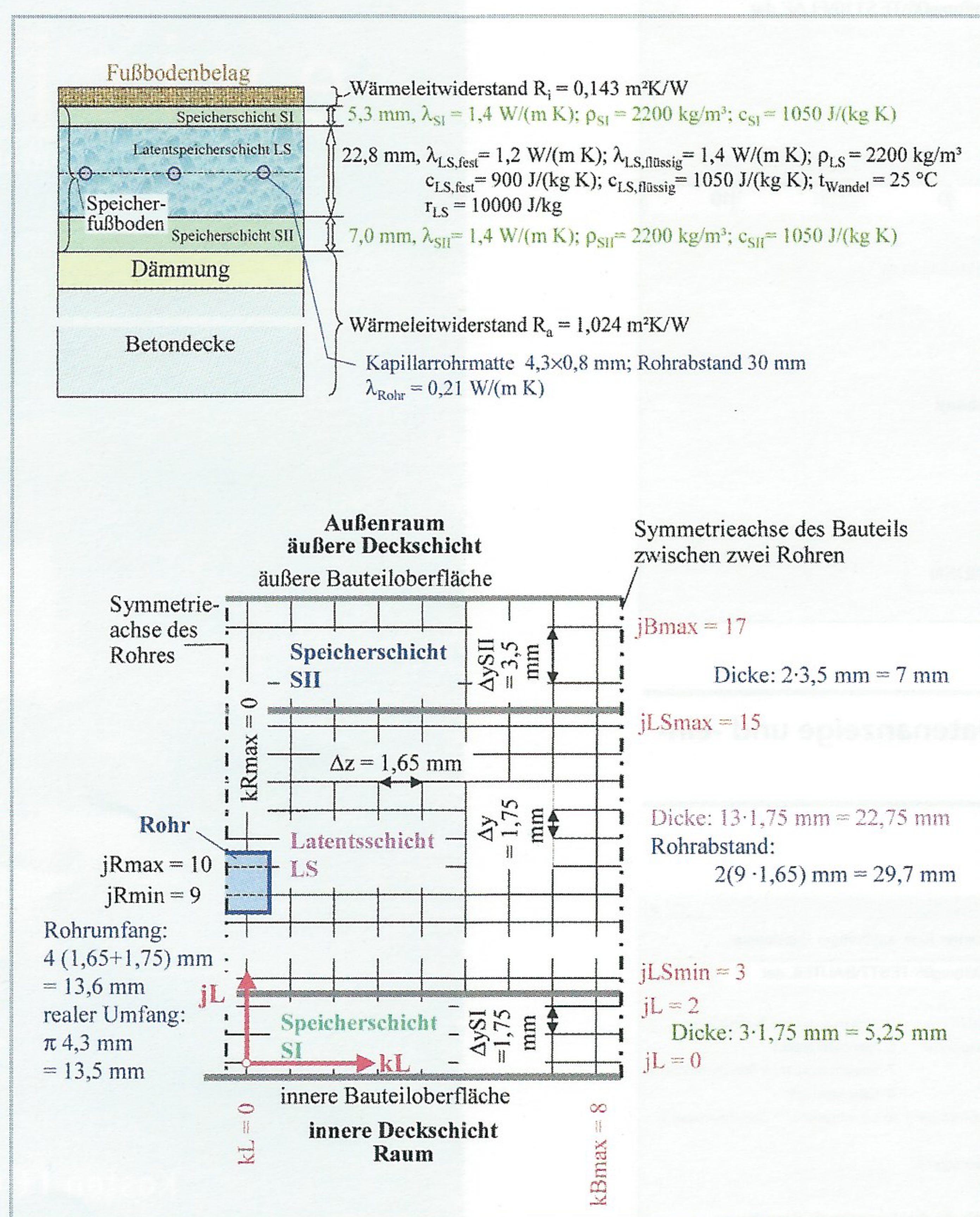


Bild 10

Aufbau der zu simulierenden Speicherfußbodenheizung mit Angabe der geometrischen und wärmetechnischen Daten und Approximation der Speicherschichten und des Rohres im Gitternetz (Koordinatensystem um 180° gedreht, Achse iL zeigt in Richtung der Rohrachse). Die Materialdaten sind so gewählt, dass die Verifikation der unterschiedlichen Fußbodenaufbauten erleichtert wird. Das „hypothetische“ Latentspeichermaterial hat z. B. im „flüssigen“ Zustand die gleichen Materialeigenschaften wie die übrigen Speichermaterialien.

Tabelle 1

Temperaturverteilung und Phasen-zustand nach 1 h Simulationszeit im Speicherbauteil i = 1 nach Bild 10 im Bereich der halben Rohrlänge

und die Phasenwandlung hat noch nicht begonnen. Dass einige Temperaturen im blauen Bereich auch 25 °C ausweisen, ist eine Folge des Aufrundens, wie die genaueren Temperaturangaben zeigen.

Eine wichtige Verifizierung stellte die beispielhafte Gegenüberstellung der stationären und der instationären Simulationsergebnisse dar. Die instationäre Untersuchung lief unter zeitlich konstanten Randbedingungen ab und ergab völlig deckungsgleiche Ergebnisse. Damit ist der Ablaufplan nach Bild 5 (im ersten Teil dieses Beitrages) grundsätzlich realisierbar. Problematisch ist die Bewertung der Verfahrensweise, wenn sich die Randbedingungen in der Zeitfolge ebenfalls ändern, was bekanntlich den Sinn der instationären Betrachtung darstellt. Zudem beginnt die Berechnung auch mit einem Zustand der auf Temperaturschätzwerten beruht, der somit selbst keine physikalisch exakte Lösung repräsentiert. Die Beurteilung kann nicht allgemeingültig mit Angabe einer maximalen Fehlergrenze, sondern nur am praktischen Ergebnis erfolgen. Es wird hierzu eine Simulation für einen Raum mit gut wärmespeichernden Umfassungen und aktivierbarem Latentspeicherfußboden an einem Extremsommertag herangezogen. Die Ergebnisse – Empfindungstemperatur und Verläufe der dem Raum zu- und abgeführten Leistungen – sind im Bild 11 gezeigt. Die Last- und Leistungsverläufe sind nach einer kurzen Anlaufzeit zu Beginn des ersten Simulationstages praktisch deckungsgleich, was den Ablaufplan nach Bild 5 als realistisch bestätigt.

i	jL	kL= 0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Temperaturen in °C:											
1	0	24,84	24,84	24,83	24,83	24,82	24,82	24,81	24,81	24,81	Speicherschicht SI
1	1	24,87	24,87	24,87	24,86	24,85	24,85	24,84	24,84	24,84	
2	2	24,91	24,90	24,90	24,89	24,88	24,88	24,87	24,87	24,86	
3	3	24,95	24,95	24,94	24,93	24,91	24,91	24,90	24,89	24,89	
4	4	25,00	25,00	24,98	24,96	24,95	24,94	24,93	24,92	24,92	
5	5	25,12	25,08	25,00	25,00	24,98	24,96	24,95	24,94	24,94	Latentspeicher LS
6	6	25,26	25,22	25,14	25,08	25,00	24,98	24,97	24,96	24,96	
7	7	25,46	25,38	25,28	25,18	25,09	25,00	24,99	24,98	24,98	
8	8	25,74	25,57	25,41	25,27	25,15	25,06	25,00	24,99	24,99	
Rohr 9	9	28,41	25,77	25,51	25,33	25,20	25,09	25,00	25,00	24,99	
10	10	28,41	25,78	25,52	25,34	25,20	25,10	25,00	25,00	25,00	Speicherschicht SII
11	11	25,78	25,61	25,44	25,30	25,18	25,09	25,00	25,00	25,00	
12	12	25,51	25,43	25,33	25,23	25,14	25,06	25,00	25,00	25,00	
13	13	25,33	25,29	25,22	25,15	25,07	25,00	25,00	25,00	24,99	
14	14	25,21	25,17	25,12	25,07	25,00	25,00	24,99	24,99	24,99	
15	15	25,12	25,09	25,00	25,00	25,00	24,99	24,99	24,99	24,99	Latentspeicher LS
16	16	25,05	25,04	25,01	25,00	25,00	24,99	24,99	24,98	24,98	
17	17	25,01	25,01	25,00	24,99	24,98	24,98	24,98	24,97	24,97	
Phasenzustand in %:											
3	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Latentspeicher LS
4	4	20,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5	5	100,0	100,0	85,9	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6	6	100,0	100,0	100,0	100,0	58,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
7	7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	38,3	0,0	0,0	0,0	
8	8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	8,5	0,0	0,0	Speicherschicht SII
Rohr 9	9	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	34,4	0,0	0,0	
10	10	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	45,7	0,0	0,0	
11	11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	30,9	0,0	0,0	
12	12	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	5,5	0,0	0,0	
13	13	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	30,0	0,0	0,0	0,0	Speicherschicht SII
14	14	100,0	100,0	100,0	100,0	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
15	15	100,0	100,0	73,9	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16	16	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
17	17	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Dennoch gilt die Aufforderung, weitere Kontrollen vorzunehmen, denn kein Rechenprogramm ist absolut fehlerfrei.

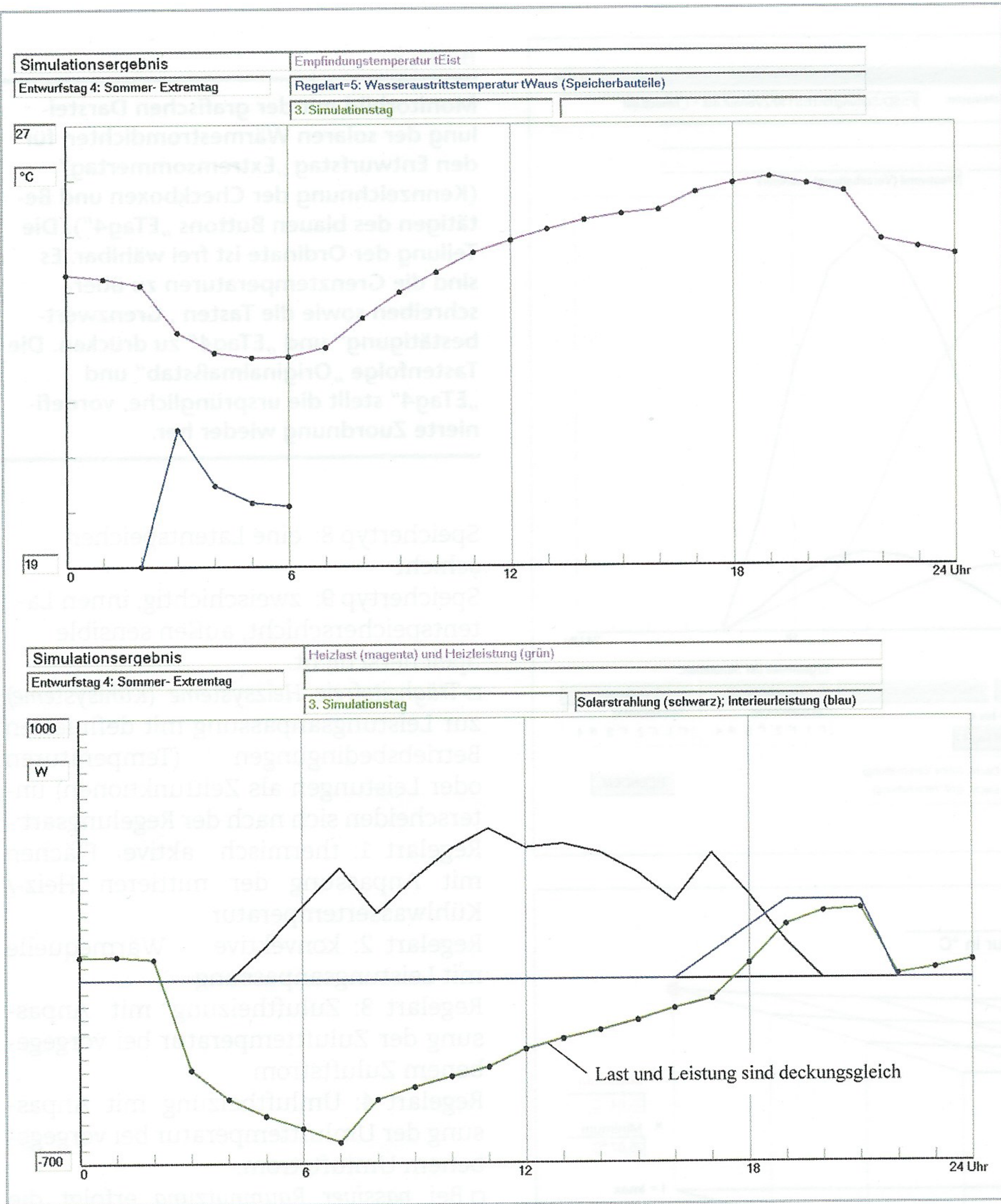
Variationen der bearbeitbaren Aufgabenstellungen

Bei der stationären Komplexsimulation ist das Hauptziel die Leistungsanpassung eines Heiz-/Kühlsystems zum Erreichen der Raumtemperatur. Im Ausnahmefall wurde die passive Raumnutzung mit der sich einstellenden Raumtemperatur betrachtet. Im Ergebnis der in-

stationären Komplexsimulation interessiert in der Regel die sich bei verschiedenen Randbedingungen – einschließlich des gleichzeitigen Betriebes mehrerer Anlagensysteme – einstellende Raumtemperatur. Dabei wirken beispielsweise:
I. Wärmespeichervorgänge in aktiven Bauteilen mit integriertem Rohrregister, deren Durchfluss zeitabhängig gesteuert wird
II. Wärmespeichervorgänge in passiven Bauteilen
III. aufgeprägte Wärmestromdichten für ausgewählte Flächen als Tagesgänge

Bild 11

oben: Verlauf der Empfindungstemperatur (Mittelwert über alle Prüfpunkte); unten: Kühlleistung (grün) und Kühllast (magenta) für einen Raum mit Massivspeicherbauteilen und einem aktiven Fußboden mit Latentspeicherschicht und Rohrregister zur Kühlung (Betriebszeit von 20⁰⁰ Uhr bis 7⁰⁰ Uhr, Kaltwassertemperatur 19 °C) an einem extremen Sommertag



□ Aktiv wärmespeichernde Bauteile mit integriertem Rohrregister und definierten Ladebedingungen (Wassereintrittstemperatur und Betriebszeiten) haben die Charakteristika:

Speichertyp 1: dreischichtig, innen und außen je eine sensible Speicherschicht, zwischenliegende Latentspeicherschicht mit Rohrregister

Speichertyp 2: eine sensible Speicherschicht mit Rohrregister

Speichertyp 3: zwei sensible Speicherschichten, raumnahe Schicht mit Rohrregister

Speichertyp 4: eine Latentspeicherschicht mit Rohrregister

Speichertyp 5: zweischichtig, innen Latentspeicherschicht mit Rohrregister, außen sensible Speicherschicht.

□ Passiv wärmespeichernde Bauteile entsprechen den Charakteristika:

Speichertyp 6: eine sensible Speicherschicht

Speichertyp 7: zwei sensible Speicherschichten

IV. Zuluft- und Umlufttemperatur sowie Leistungen von konvektiven Raumwärmequellen oder -senken als Tagesgänge
V. Außentemperatur sowie Sonnenstrahlung und das Wirken von Verschattungseinrichtungen definiert als Entwurfstage

VI. trägheitsfrei arbeitende, thermisch aktive Flächen, deren wasserbeaufschlagte Rohrregister zeit- und temperaturvariabel betrieben werden.

Zusätzlich lassen sich auch die notwendigen Leistungen von Wärmequellen oder -senken – beispielsweise die erforderliche Wassertemperatur für thermisch aktive Flächen ohne Speichereffekte oder aber die Leistungen für eine Umluftheizung – bestimmen, um bei den genannten Randbedingungen eine geforderte Raumsolltemperatur $t_{\text{Soll}}(\tau)$ zu erreichen. Diese Simulationsvariante setzt jedoch trägheitsfreies Verhalten der Anpassungswärmequellen voraus.

□ Nicht wärmespeichernde Bauteile können mit definierter Oberflächentemperatur $t_{\text{fix},i}$, mit vorgegebener Wärmestromdichte $q_{\text{ab},i}$ als thermisch aktive Flächen oder als normale Raumumfassung jeweils mit Angabe des Teilwärmegangskoeffizienten κ_i berücksichtigt werden.

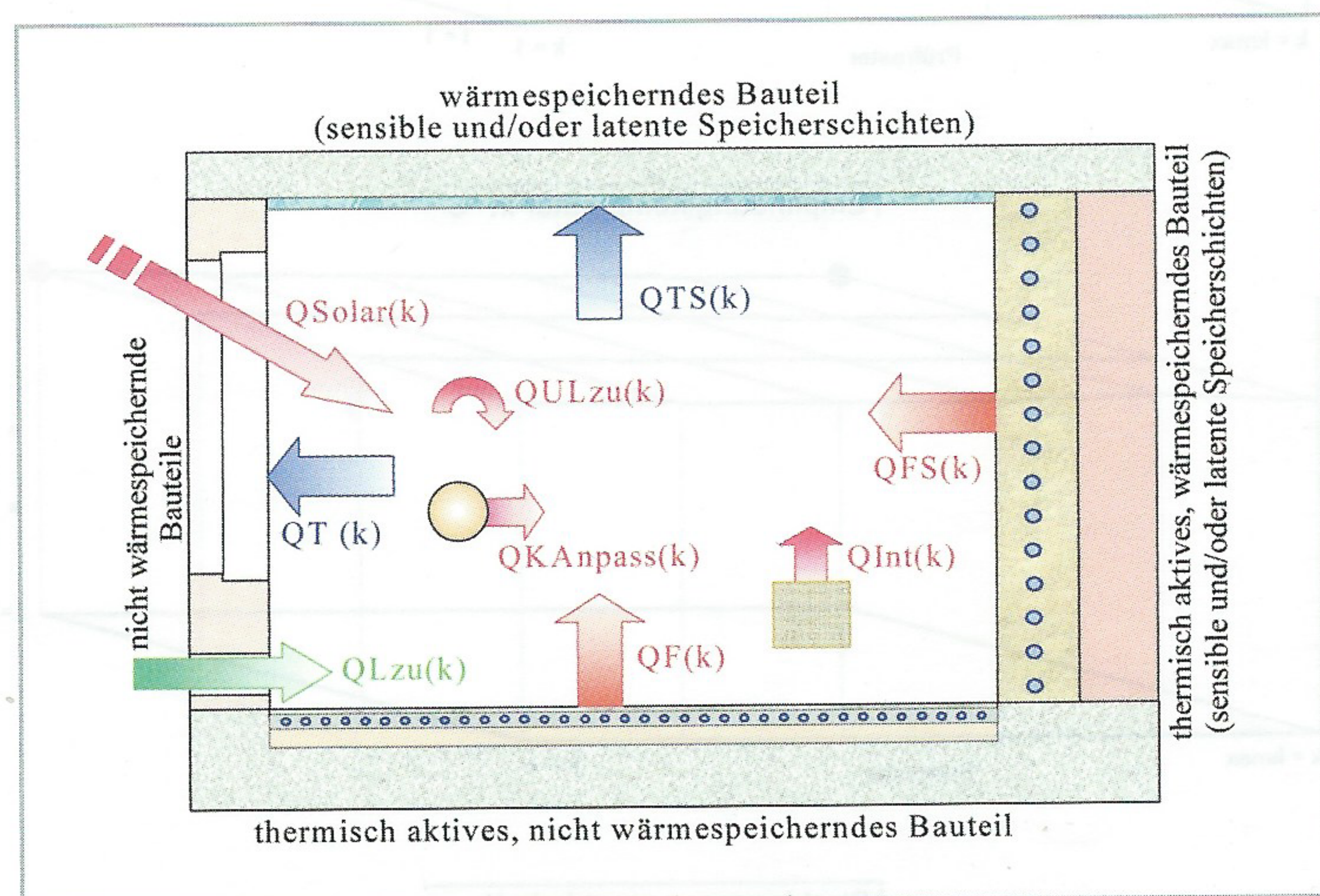


Bild 12

Symbolische Darstellung der zusammengefassten Wärmeströme an unterschiedlichen Bauteilen zur Stunde k. Es gelten weiter: QLzu(k) Wärmestrom durch Zuluft; QULzu(k) Wärmestrom durch Umluft, QInt(k) Wärmestrom von Interieurquelle; QKAnpass(k) Anpassungswärmestrom; QSolar(k) solarer Wärmestrom.

Heizlast(k) = $QT(k) + QTS(k) - QLzu(k) - QSolar(k)$

Heizleistung(k) = $QF(k) + QFS(k) + QULzu(k) + QInt(k) + QKAnpass(k)$

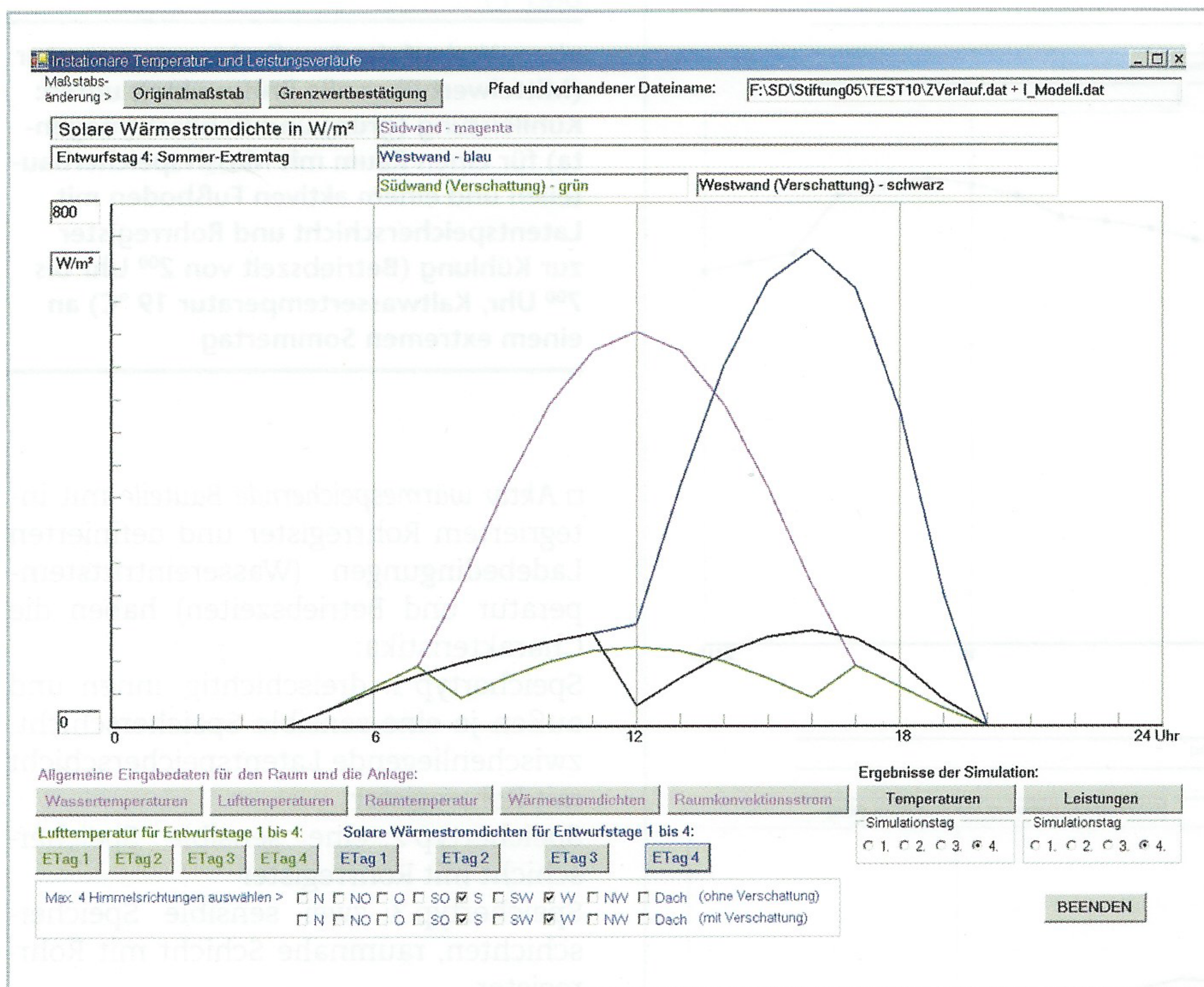


Bild 13

Monitorbild mit der grafischen Darstellung der solaren Wärmestromdichten für den Entwurfstag „Extremsommertag“ (Kennzeichnung der Checkboxes und Betätigen des blauen Buttons „ETag4“). Die Teilung der Ordinate ist frei wählbar. Es sind die Grenztemperaturen zu überschreiben sowie die Tasten „Grenzwertbestätigung“ und „ETag4“ zu drücken. Die Tastenfolge „Originalmaßstab“ und „ETag4“ stellt die ursprüngliche, vordefinierte Zuordnung wieder her.

Speichertyp 8: eine Latentspeicherschicht

Speichertyp 9: zweischichtig, innen Latentspeicherschicht, außen sensible Speicherschicht.

□ *Trägheitsfreie Heizsysteme (Kühlsysteme)* zur Leistungsanpassung mit definierten Betriebsbedingungen (Temperaturen oder Leistungen als Zeitfunktionen) unterscheiden sich nach der Regelungsart:

Regelart 1: thermisch aktive Flächen mit Anpassung der mittleren Heiz-/Kühlwassertemperatur

Regelart 2: konvektive Wärmequelle mit Leistungsanpassung

Regelart 3: Zuluftheizung mit Anpassung der Zulufttemperatur bei vorgegebenem Zuluftstrom

Regelart 4: Umluftheizung mit Anpassung der Umlufttemperatur bei vorgegebenem Umluftstrom.

□ Bei *passiver Raumnutzung* erfolgt die Bestimmung der sich im Zeitverlauf einstellenden Raumtemperatur, wobei folgende Vorgaben Beachtung finden können:

- aktiv wärmespeichernde Bauteile mit definierten Ladebedingungen
- trägheitsfreie Heiz-/Kühlsysteme mit definierten Betriebsbedingungen.

□ Alle *Zeitfunktionen* (z.B. Außentemperatur, Wärmestromdichte, Sonnenstrahlung usw.) sind im Stundenrhythmus definiert.

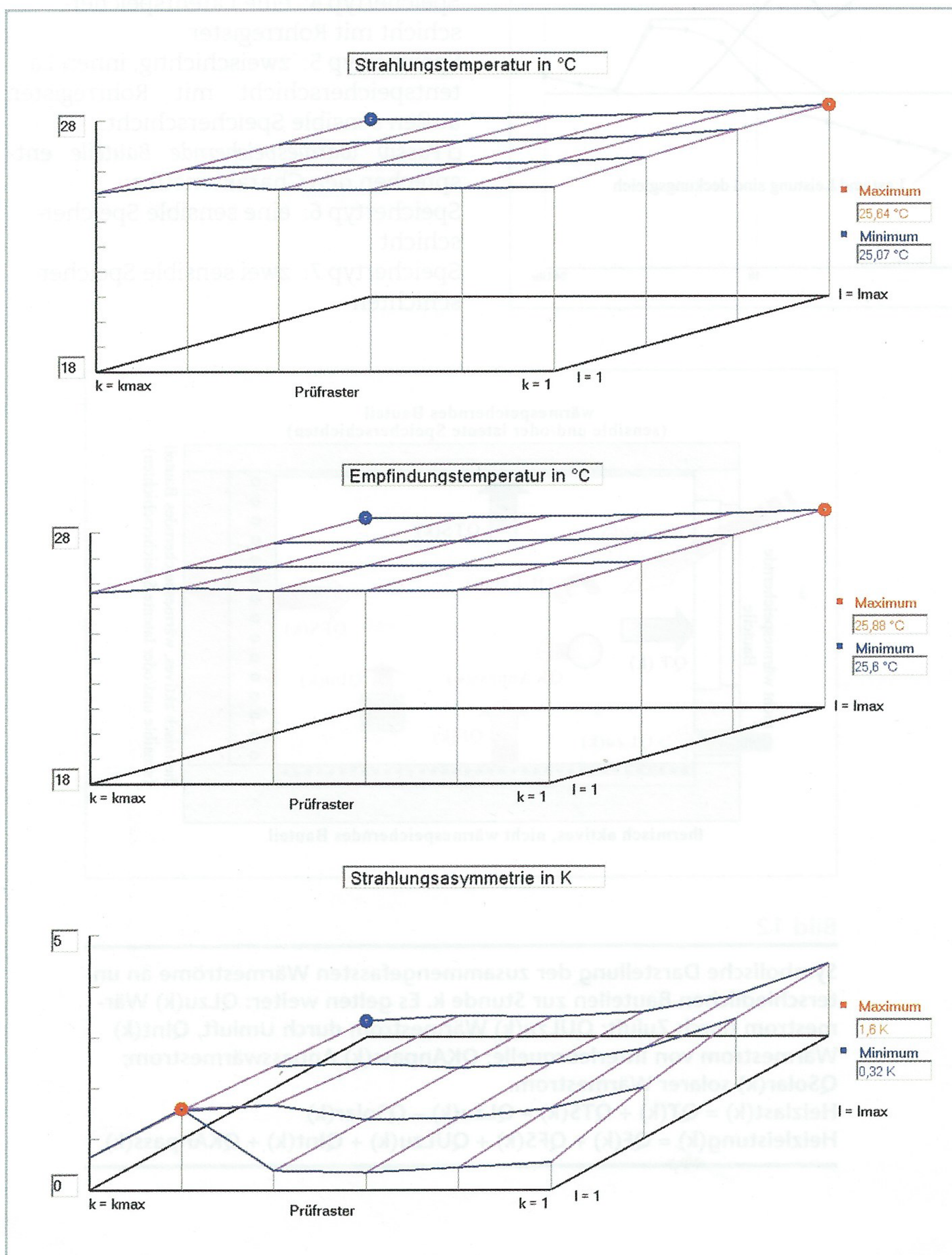
□ Für die Angabe der Außentemperatur $t_{a,i}$, die für das Bauteil i gilt, gibt es mehrere Möglichkeiten:

- konstanter Wert
- Zeitfunktion gemäß Entwurfstag und für eine angrenzende Zone
- identisch der Raumtemperatur t_{Eist} .

Im letzten Fall kann damit ein thermisch gleichbelasteter Nebenraum simuliert werden.

Bild 14

Teil des Monitorbildes zur Verteilung der Strahlungstemperatur, der Empfindungstemperatur und der Strahlungstemperatur-Asymmetrie über der Prüfrasterebene gemäß Bild 2 am Ende der Simulationszeit (15⁰⁰ Uhr)



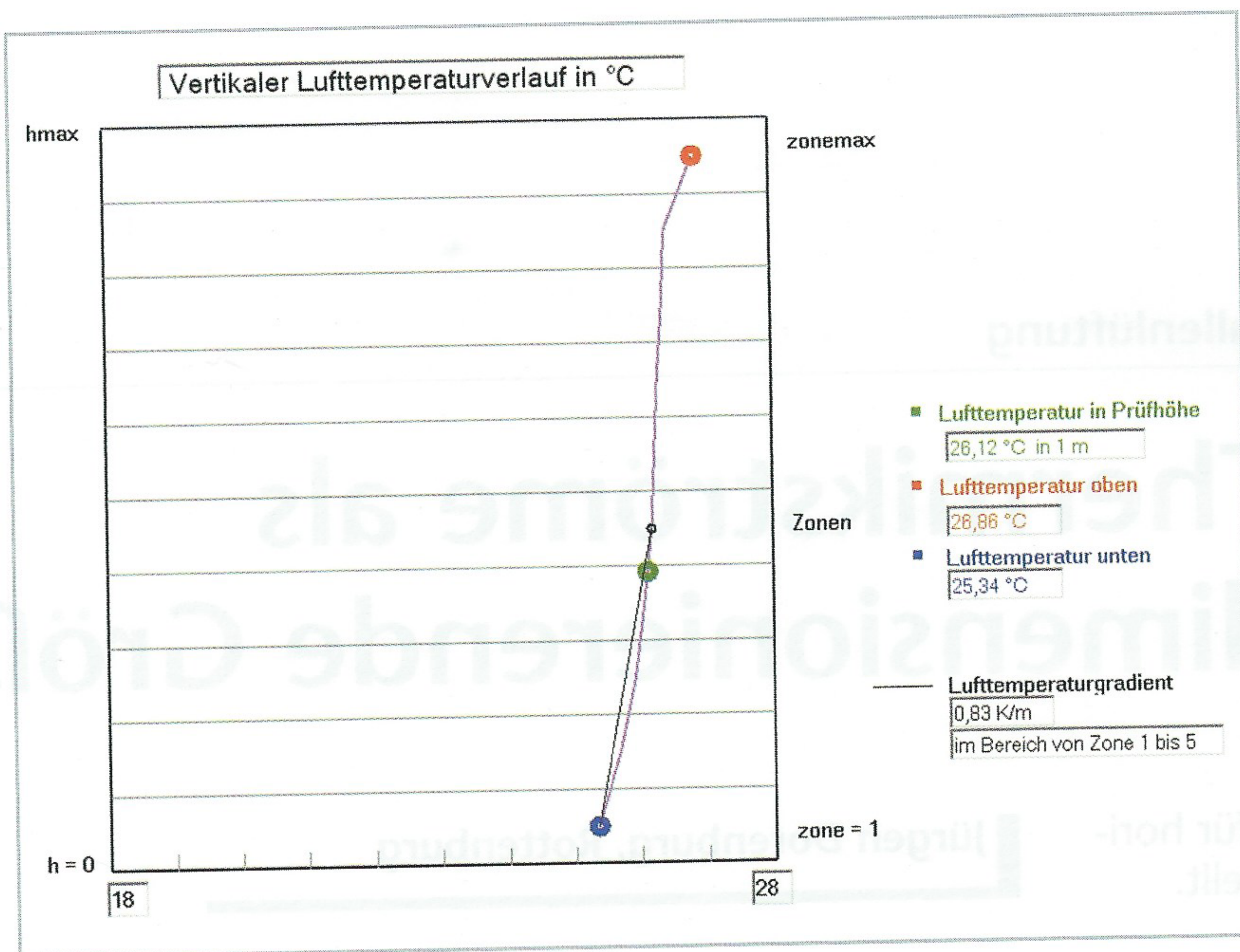


Bild 15

Teil des Monitorbildes zum Lufttemperaturverlauf mit vertikalem Lufttemperaturgradient am Ende der Simulationszeit (15⁰⁰ Uhr)

- Die Art der Raumtemperaturbestimmung erfolgt auf der Grundlage von $t_R = a \cdot t_L + (1 - a) \cdot t_U$ mit
 - $a = 0,5$ (Normfall)
 - $a = 0,6$ (übliche Wohn- und Büroräume; Strahlungsheizungen in Großräumen)
 - $a = 0,7$ (Luftheizungen in Großräumen).
- und dem Repräsentativwert als
 - mittlere Temperatur $t_{E,mittel}$
 - minimaler Wert (Schlechtwert) $t_{E,min}$.

Die Modellierung der physikalischen Verhältnisse kann selbstverständlich bei Bedarf noch Verfeinerungen erfahren. So ist es durchaus möglich, die vorgebbaren Zeitverläufe noch zu erweitern, so könnten beispielsweise die Luftvolumenströme zeitlich differenziert werden. Dies würde keine grundsätzlichen Veränderungen des Programms bedürfen. Die hohe Flexibilität liegt durchaus im Sinne der bisherigen Programmentwicklung.

Ausgabedarstellung

Die Ausgabe erfolgt zunächst am Monitor in wählbaren Formen. Als Tabellentexte sind verfügbar:

- Flächendaten und Flächeneinstrahlungszahlen
- Prüfrasterdaten und Elementeinstrahlungszahlen
- Interieurdaten und Strahlungsanteile auf die einzelnen Raumflächen, Konvektionswärmestrom
- Grunddaten zur Komplexsimulation in beschreibender Form
- Wärmetechnische Flächendaten (z.B. Emissions- und Teilwärmedurchgangskoeffizient, Oberflächentemperaturen, Temperatur auf der Flächenaußenseite, aufgeprägte Wärmestromdichte, Bauteiltyp)

- Wärmetechnische Zonendaten einschließlich Zonenlufttemperatur
- Bautechnische und wärmetechnische Daten der Speicherbauteile
- Rohrdaten
- Latentspeicherdaten
- Zeitliche Temperatur- u. Lastverläufe
- Stündliche Daten (z.B. Temperatur der Zu- und Umluft, Wassertemperaturen (Ein- und Austritt), Lufttemperatur, Empfindungstemperatur, Schwankung der Empfindungstemperatur über dem Grundriss, erforderlicher Anpasswärmestrom)
- Stündliche Raumwärmebilanzen mit den Summanden nach Bild 12 sowie Ermittlung der Heizlast und der Heizleistung
- Stündliche Daten der Speicherbauteile (Wärme an den Raum, Wärme nach außen, Rohrwärmeabgabe, Speicherwärme im Bauteil bezogen auf die Raumsolltemperatur)
- Detaillierte Ergebnisse am Simulationsende zur Strahlungsberechnung, zu den Wärmebilanzen an allen Oberflächen und zu den Konvektionsströmen
- Temperaturverteilung und Phasenzustände in den Speicherbauteilen (z.B. analog Tabelle 1).

Sehr umfangreich sind auch die *Grafikdarstellungen* mit frei veränderlichen Achsmaßstäben und der Auswahl des Simulationstages (Beispiel: Bild 13). Die weiteren Varianten sind den Buttonbeschriftungen im Bild 13 zu entnehmen. Es folgen Grafiken wie beispielsweise bereits im Bild 11 gezeigt.

Umfangreiche Ausgaben gelten auch den Behaglichkeitsaussagen. Es gibt Tabellen- und Grafikdarstellungen zu den Verteilungen: Strahlungstemperatur, Empfindungstemperatur, Strahlungstemperatur-Asymmetrie für alle Prüfrasterpunkte sowie die Zusammenstellung der Extrem- und Mittelwerte und zum vertikalen Lufttemperaturgradienten (Bilder 14 und 15) am Ende der Simulationszeit.

Fazit

Es handelt sich grundsätzlich um ein Programmsystem, das dem ambitionierten Nutzer helfen soll, in Gebäuden gute wärmephysiologische Werte mit niedrigen Energieaufwendungen zu erreichen. Hierzu können unterschiedliche Zielstellungen verfolgt werden. So ist es beispielsweise interessant, neue Heiz-/Kühlsysteme in Abhängigkeit der bauphysikalischen Gegebenheiten zu konzipieren oder die Baustoffe der Raumumfassungen in ihren bauphysikalischen Eigenschaften optimal aufeinander abzustimmen oder aber beide Entwicklungen überlagert zu betreiben. Aus diesem Grund sollten sowohl die Vielfalt der Variantenrechnungen als auch die Entwicklungsmöglichkeiten des Algorithmus nicht begrenzt werden. Deshalb erfolgen bei den Eingaben auch keine Begrenzungen der Größen, keine Überprüfungen der Eingabekombinationen auf ihre technische Realisierbarkeit gemäß heutigem Stand usw., wie dies bei kommerziellen Programmsystemen üblich wäre.

Umfangreiche Beispielrechnungen, die hauptsächlich der Verifizierung dienen, sind bereits durchgeführt worden.

Die Entwicklung des Dynamischen Raummodells wurde von der RUD. OTTO MEYER-UMWELT-STIFTUNG gefördert. Der Verfasser hat somit die Möglichkeit, Teile seiner mehrjährigen Entwicklungsarbeit an Interessierte kostenlos weiterzugeben, wofür er sich beim Stiftungsvorstand herzlich bedankt. Das Simulationsmodell (aktuelle Version ist 2/2005) ist als Buchtext und als Rechenprogramm beziehbar unter der Adresse: <http://www.rom-umwelt-stiftung.de> (Rubrik „Arbeit bisher“; „Projekt 14“).