
RUD. OTTO MEYER-UMWELT-STIFTUNG

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

Forschungskomplex

**EFFIZIENTER
UMWELTENERGIEEINSATZ
BEI WOHNBAUTEN**

Bernd Glück

Forschungsthema

**DYNAMISCHES RAUMMODELL
ZUR WÄRMETECHNISCHEN UND
WÄRMEPHYSIOLOGISCHEN BEWERTUNG
Zweite Ergänzung der instationären Simulation
Aktualisierung des Rechenprogramms
- Teil E -**

Die Bearbeitung erfolgte 2006 im Auftrag der RUD. OTTO MEYER-UMWELT-STIFTUNG

durch:

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

Teil E Zweite Ergänzung der instationären Simulation		
1	Einleitung	1
2	Eingabe für die instationäre Simulation	4
2.1	Eingabe der wärmetechnischen Daten für die instationäre Simulation (Basisdaten)	6
2.2	Eingabe der Bauteildaten für die instationäre Simulation	12
2.3	Eingabe der Zeitverläufe (Tagesgänge) für die instationäre Simulation	16
2.4	Eingabe der Entwurfstage für die instationäre Simulation	21
3	Einheitliches Näherungsverfahren zur Simulation des Phasenwandels von Latentwärmespeichermaterialien	30
3.1	Wärmetechnisches Basismodell	30
3.2	Temperatur- und Phasenzustandsfeld	31
3.3	Wärmetechnische Vorgänge im Speichermaterial	32
3.3.1	Phasenwandel bei identischer Schmelz- und Erstarrungstemperatur	33
3.3.2	Phasenwandel bei unterschiedlichen Schmelz- und Erstarrungsverläufen – Hysteresereformen	34
3.3.3	Einheitlicher Algorithmus zur Ermittlung der Temperatur- und Phasenänderung	38
3.4	Fazit	39
4	Programmergänzungen	41
4.1	Neufassung der Speicherwärmeberechnung	41
4.2	Programmmodul zur instationären Wärmeleitung	43
4.3	Datenbestand nach Abarbeitung der instationären Wärmeleitung	53
4.4	Änderung am Programmmodul zur instationären Komplexsimulation	54
5	Komplettbeispiel TEST 15	56
5.1	Objektbeschreibung und Simulationsannahmen	56
5.2	Ergebnisse der Simulation	61
5.3	Bewertung der Ergebnisse	92
6	Vergleich mit früherem Beispiel TEST 10	95
7	Kontrollrechnung TEST 1	100
	Literaturverzeichnis	103

Teil E

Zweite Ergänzung der instationären Simulation

Aktualisierung des Rechenprogramms

**Einarbeitung eines Phasenwandelbereiches
bei Latentwärmespeichermaterial (PCM)
in Bauteilschichten**

1 Einleitung

Die Entwicklung des DYNAMISCHEN RAUMMODELLS begann auf Initiative der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg im Jahre 2004. Das eigene Anliegen zur Weiterentwicklung und die Hinweise der Nutzer veranlassen Stiftung und Autor in gewissen Abständen den Algorithmus und den Programmcode zu ergänzen. Das gesamte DYNAMISCHE RAUMMODELL ist als e-Book und als lauffähiger Programmcode einschließlich der aktuellen Weiterentwicklungen kostenlos verfügbar unter: <http://www.rom-umwelt-stiftung.de> ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ Projekt 14) oder <http://www.berndglueck.de/Raummodell>

Grundsätzliche Vorgehensweise bei Aktualisierungen bzw. Ergänzungen des Modells:

- Um eine Kontinuität bei der Weiterentwicklung zu wahren und die Algorithmen nachvollziehbar zu gestalten, werden neue Erkenntnisse bzw. Ergänzungen in neuen "Buchteilen" dargelegt, ohne die bestehenden Texte zu ändern. Somit sind alle bisherigen Teile A, B, usw. verfügbar.
- Bei den Programmversionen wird nur die jeweils aktuelle (letzte) bereitgestellt. Zuzüglich werden stets zwei Testbeispiele – eine stationäre und eine instationäre Komplexsimulation – beigegeben (z. B. TEST 1 und TEST 15). Davon abweichende Testbeispiele (z. B. TEST 6), die in früheren Buchteilen genannt wurden, sind dann möglicherweise nicht mehr exakt nachrechenbar. Sie können aber auf der Grundlage des Textteiles inhaltlich nachvollzogen werden.

Der bisherige Stand sei nachfolgend chronologisch dargestellt:

Februar 2005	Inhalt: Grundalgorithmen für stationäre und instationäre Untersuchungen Buchteile A, B, C sind verfügbar: http://www.rom-umwelt-stiftung.de ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ 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 Programmversion 1/2005 ist nicht mehr verfügbar
Mai 2005	Inhalt: 1. Algorithmusergänzung: Entwurfstage, Fenstermodell, Verteilung der kurzwelligen Strahlung im Raum Buchteil D ist verfügbar: http://www.rom-umwelt-stiftung.de ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ Projekt 14) oder http://www.berndglueck.de/Raummodell Teil D: 1. Ergänzung der instationären Simulation (Mai 2005): Umfang 181 Seiten Programmversion 2/2005 (mit Algorithmusergänzung und 1. Fehlerbereinigung des Programmcodes) ist nicht mehr verfügbar
Juli 2006 August 2009	Inhalt: 2. Algorithmusergänzung: Latentspeichermaterialien mit Phasenwandelbereich Buchteil E (vorliegender Bericht) ist verfügbar: http://www.rom-umwelt-stiftung.de ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ Projekt 14) oder http://www.berndglueck.de/Raummodell Teil E: 2. Ergänzung der instationären Simulation: Umfang 106 Seiten Die zwischenzeitlich gültige Programmversion 4/2007 (mit allen bisherigen Algorithmusergänzungen und Fehlerbereinigungen des Programmcodes) ist verfügbar. Beispiele: TEST 1 und TEST 15 sind verfügbar

Bei jeder neuen Programmversion erfolgt auch eine Aktualisierung von "**Bitte lies mich!**". Die jeweils vorhergehende Version wird gelöscht.

Modellmerkmale und Änderungen infolge der Weiterentwicklung:

Die inhaltlichen **Basisansprüche des DYNAMISCHEN RAUMMODELLS**, die thermisch-energetischen Zustände in den Raumumfassungen und den integrierten Heiz-/Kühlsystemen möglichst genau zu erfassen und die wärmephysiologischen Auswirkungen auf den Menschen zu analysieren, sind bereits bei der ersten Version (Februar 2005) beachtet worden. Die grundlegenden Stärken des Simulationsmodells bestehen darin,

- dass ein echtes Geometriemodell Verwendung findet, wodurch die Strahlungsaustauschvorgänge zwischen den Oberflächen und auch die durch Personen wahrnehmbare Strahlungstemperatur der Umgebung genau erfassbar sind,
- dass sowohl die stationäre als auch die instationäre Wärmeleitung in den Bauteilen einschließlich der mit Rohrregistern bestückten Elementschichten mit der finiten Volumenmethode mit beliebiger Genauigkeit berechenbar ist,
- dass der Phasenzustand der Latentspeichermaterialien bei homogener oder schichtenförmiger Einordnung in den Bauteilen zeitkonform darstellbar ist,
- dass die konvektive Wärmeübertragung mittels eines Zonenmodells betrachtet wird, wenn auch mehrere Näherungen Verwendung finden
- und dass die inneren Raumlaster in verschiedenen Varianten wirklichkeitsnah nachgebildet werden können.

Somit kann dem Simulationsmodell auch das Prädikat "Inneres Raummodell" zuerkannt werden.

Im Gegensatz dazu werden bei den üblichen Gebäudesimulationsprogrammen die äußeren Lastaufprägungen meistens genau dargestellt, während die wärmetechnischen Vorgänge im Rauminnen zahlreiche Vereinfachungen enthalten.

Die **erste Ergänzung des Modells (Mai 2005)** verbesserte die Darstellung der äußeren Lastaufprägung und formulierte energetische, wärmetechnische und wärmephysiologische Bewertungskriterien für Wohnbauten zur Optimierung des Baustoffeinsatzes anhand ausgewählter Beispiele. Deshalb wurden

- Entwurfstage definiert, denen man Lufttemperaturverläufe und die Sonnenstrahlung in Abhängigkeit der Jahreszeit, der meteorologischen Gegebenheiten und der Himmelsrichtungen zuordnen kann,
- Verschattungen vor transparenten Bauteilen bezüglich ihrer Wirkung und Intensität als Zeitfunktion festgelegt,
- bei den opaken und transparenten Raumumfassungen die solaren Lasten und die Außentemperatur praxisnah ermittelt,
- für transparente Bauteile ein spezieller Algorithmus mit einer möglichst realen Verteilungsfunktion der durchgelassenen Strahlung auf die inneren Oberflächen der Raumumfassungen entwickelt.

Mit Hilfe dieser Algorithmuserweiterung und Programmergänzung konnte, ebenfalls im Auftrag der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, der Bericht "Wärmetechnischer Vergleich ausgewählter Bautechniken und Betriebsweisen von Wohnbauten" erarbeitet werden. Er ist kostenlos erhältlich unter:

<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> ($\Rightarrow$ Projekt 14, Teil 2 "Wohnbauten") oder

<http://www.berndglueck.de/Bautechniken>

Die folgende **zweite Modellergänzung (Juli 2006)** diente der verbesserten Nachbildung des Phasenwandels bei Latentmaterialien. Bisher wurde ein vollkommener Phasenwandel sowohl beim Schmelzen als auch beim Erstarren betrachtet, der stets bei der gleichen Phasenwandeltemperatur erfolgt. Dies ist vorwiegend aber nur bei reinen Materialien zutreffend, während bei den in der Praxis eingeführten Stoffen zwei Merkmale kennzeichnend sind:

- Der komplette Phasenwandel erfolgt in einem Temperaturbereich.
- Der Schmelz- und Erstarrungsvorgang ereignet sich nicht im gleichen Temperaturbereich, sondern es tritt eine Hysterese auf.

Es wird ein praxisnaher Algorithmus erstellt und in das bestehende Programmsystem integriert.

Es schließen sich Beispielrechnungen an, um die Auswirkungen der Stoffwertänderungen zu überprüfen und ein neues Testbeispiel zu kreieren. Die neuen Programmversionen lauten 3/2006 und 4/2007. Sie sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Im Sinne der Weiterentwicklung sind ab Programmversion 3/2006 eine Reihe von inhaltlichen Ergänzungen enthalten.
- Alle vorgenommenen Ergänzungen beziehen sich lediglich auf die instationäre Simulation. Dabei bleibt die grundsätzliche Berechnungsstrategie nach Teil C, Abschnitt 16 unverändert bestehen.
- Die zusätzlich definierten Variablen machen es erforderlich, auch die Eingabemasken und die Ausdrücke zu ergänzen. Schließlich bedarf es auch der Änderung der Datensätze in den Dateien.
- Außerdem ist gegenüber der Programmversion 2/2005 bezüglich der Anzahl der inneren Wärmequellen eine Erweiterung, die ein Nutzer wünschte, vorgenommen worden.
- Schließlich erfolgte noch eine Korrektur bei der automatischen Ermittlung der Startwerte, da in einem gemeldeten Fall eine Komplikation auftrat.
- Als Beispiele sind TEST 1 und TEST 15 beigegeben. TEST 1 gilt unverändert (vgl. Abschnitt 7), denn es handelt sich hierbei um eine stationäre Komplexsimulation. TEST 15 soll die jetzt ergänzten Möglichkeiten demonstrieren. Er basiert grundsätzlich auf dem bisherigen TEST 10, der den Phasenwandel bei einer festen Temperatur durchlief. Wiederholt man TEST 10 mit entsprechender individueller Dateneingabe als "Sonderfall" der nunmehr allgemeingültigeren Darstellung, treten aufgrund der Programmänderung unbedeutende Ergebnisabweichungen bei den Temperaturen in der Größenordnung von 0,01 K auf (vgl. Abschnitt 6).

Im Jahre 2007 erschien die **Programmversion 4/2007** mit geringfügiger Fehlerbereinigung.

2 Eingabe für die instationäre Simulation

Die in [2] dargestellte vierteilige Eingabe der wärmetechnischen Daten für die instationäre Simulation gilt weiterhin in vollem Umfang:

- **Eingabe der Basisdaten** (Bezeichnung: "Wärmetechnische Dateneingabe")
Inhalt: Daten mit Flächenzuordnung (z. B. Himmelsrichtung, Emissionskoeffizient)
Daten mit Zonenzuordnung (z. B. Zuluftvolumenstrom)
Einzeldata (z. B. Raumsolltemperatur, Starttemperatur)
- **Eingabe der Bauteildaten** (Bezeichnung: "Bauteil")
Inhalt: geometrische Bauteildaten (z. B. Dicken, Rohrdurchmesser, Gittergestaltung)
wärmetechnische Materialdaten (z. B. Wärmeleitfähigkeit)
Simulationszeiten (z. B. Zeitschrittweite)
- **Eingabe der Zeitverläufe** (Bezeichnung: "Zeitverlauf")
Inhalt: spezielle Tagesgänge der Raumbelastung und der Anlagenparameter
- **Eingabe der Entwurfstage** (Bezeichnung: "Tag")
Inhalt: Tagesgänge der Außentemperatur, der Sonnenstrahlung und der Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung der transparenten Bauteile.

Gegenüber der Programmversion 2/2005 ist eine [Algorithmusanpassung an Latentmaterialien mit Phasenwandebereichen und Hysterese erfolgt \(Abschnitt 3\)](#). Hieraus resultiert auch eine Änderung der Eingabe in mehreren Punkten. Würde man diese ergänzend zur bisherigen Programmversion beschreiben, so ergibt dies erhöhte Aufwendungen beim Programmnutzer. [Deshalb wird die Eingabe für die instationäre Simulation mit den eingearbeiteten Neuerungen komplett wiedergegeben.](#)

- Das Ausfüllen der speziellen Eingabemasken nimmt bereits Bezug auf das Beispiel TEST 15, das detailliert im Abschnitt 5 abgehandelt wird.
- Die Eingaben zur Raumgeometrie, zur wärmephysiologischen Behaglichkeit und zur Interieursimulation erfahren gegenüber [1] keine Veränderungen und sind dort bei Bedarf nachzulesen. Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass diese Eingaben und Teilberechnungen bereits erfolgt sind und in den entsprechenden Dateien abgespeichert vorliegen.

Die [Steuerung der Maskenaufrufe](#) zur Dateneingabe und der [Ablauf der Simulation](#) wird in der Bedienoberfläche des Hauptprogramms – Bild 2.1 – durch die jeweilige [CheckBox-Kennung](#) vorgenommen.

Der [Ablauf der Dateneingabe für die instationäre Simulation](#) wird im Weiteren schrittweise erläutert. Voraussetzung ist stets das Laden der Flächendaten! Die entsprechende Kennung ist im Bild 2.1 bereits vermerkt.

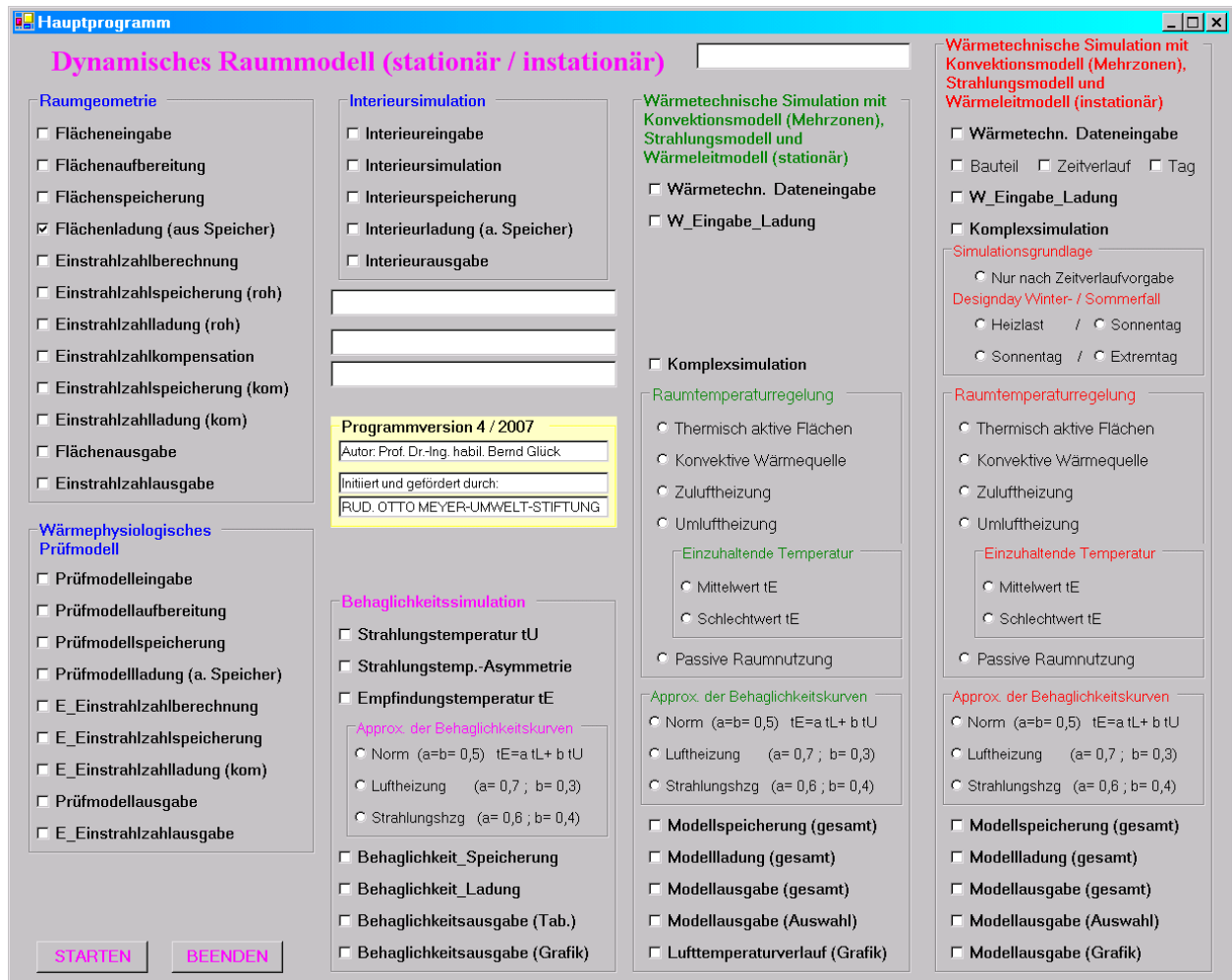


Bild 2.1 Benutzeroberfläche für das Hauptprogramm "Dynamisches Raummodell" gemäß der Programmversion 4/2007

Mit Hilfe der angeordneten Steuerelemente können alle Eingaben, Berechnungsabläufe und Ausgaben einschließlich der Öffnungen weiterer Bedienflächen ("Fenster") betätigt werden.

Gegenüber den früheren Versionen ist die instationäre Simulation inhaltlich ergänzt worden.

Nach dem Drücken des **Startbuttons** in der Benutzeroberfläche des Hauptprogramms (Bild 2.1) erscheint ein Fenster (Bild 2.2) mit einer **Pfadangabe** einschließlich des Ordners. Dies ist lediglich ein Beispiel. Der gewünschte und für das Objekt vorbereitete Pfad und Ordner sind einzugeben. Nach der einmaligen Korrektur wird er für das Beispiel beibehalten.

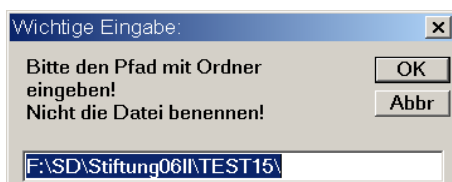


Bild 2.2 Fenster mit Pfad- einschließlich Ordnerangabe, die für den jeweiligen Fall anzupassen ist
Sie wird für das gesamte Beispiel beibehalten.

Die unterschiedlichen Aufrufe der Eingabemasken sind im Bild 2.3 gekennzeichnet. Die zugehörigen Daten werden in den Dateien mit nachfolgenden Namen abgelegt.

- "Wärmetechnische Dateneingabe" ⇒ **InstWein.dat**
 - "Bauteil" ⇒ **BAUTEIL.dat**
 - "Zeitverlauf" ⇒ **ZVERLAUF.dat**
 - "Tag" ⇒ **ZVERLAUF.dat**
- } In dieser Datei stehen alle Daten zum Zeitverlauf und zu den Entwurfstagen!



Bild 2.3 Kennzeichnung der beabsichtigten Aktivität "Wärmetechnische Dateneingabe", "Bauteil", "Zeitverlauf" oder "Tag" in der Bedienoberfläche des Hauptprogramms

Zur richtigen Organisation der Eingabe ist zusätzlich die "Flächenladung aus dem Speicher" vorzunehmen.

Nach Erscheinen der jeweiligen Eingabemaske muss man sich für Korrektur einer vorhandenen Datei oder für die völlige Neueingabe entscheiden. Die Auswahl ist mit **WEITER** zu bestätigen (Bild 2.4). Die Dateinamen sind auf der vorhergehenden Seite genannt.

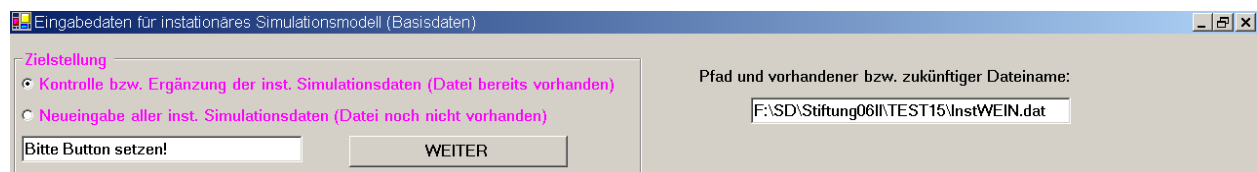


Bild 2.4 Oberfläche zur Eingabe der wärmetechnischen Daten (Basisdaten)

Der Aufforderung, den jeweiligen Button für Kontrolle bzw. Ergänzung der Daten oder Neueingabe aller Daten zu setzen, ist Folge zu leisten und mit **WEITER** zu bestätigen. Dies hat in gleicher Weise für die Bauteileingabe und die Eingabe der Tagesgänge zu erfolgen.

Im Weiteren werden die einzelnen Eingabemasken und die hinterlegten Dateien detailliert betrachtet und Hinweise zu den Datenverknüpfungen gegeben.

2.1 Eingabe der wärmetechnischen Daten für die instationäre Simulation (Basisdaten)

Bild 2.5 zeigt die spezielle Eingabemaske mit der Datenfüllung für $i = 1$ und $zone = 1$.

Eingabedaten für instationäres Simulationsmodell (Basisdaten)

Zielstellung

☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der inst. Simulationsdaten (Datei bereits vorhanden)

☐ Neueingabe aller inst. Simulationsdaten (Datei noch nicht vorhanden)

Pfad und vorhandener bzw. zukünftiger Dateiname:
F:\SD\Stiftung06\TEST15\InstWEIN.dat

Flächendaten

imax 34

thermische Flächeneigenschaft und Flächenlage

i	ta(i)	tfix(i)	iKoppel(i)	iaktiv(i)	ifrei(i)	Himmelsrichtung(i)
1	-273	-273	2	0	0	

wärmetechnische Flächeneigenschaft

kappa(i)	eps(i)	qab(i)	iWSD(i)	g-Wert(i)	FFS(i)	iSpeichertyp(i)
0	0.93	0	0	0	0	4

Grenztemperaturen zur Leistungsanpassung

taktivmin	taktivmax	tLzumin	tLzumax	tULzumin	tULzumax
0	0	0	0	0	0

Gewünschte Raumsolltemperatur (Empfindungstemperatur)

tEsollfix 23

Starttemperatur und Startphase für die Speicherbauteile

tStart 23 PhaseStart 0

zonemax 10

zone 1 **hzone(zone)** 0.255 **VLzu(zone)** 76 **VULzu(zone)** 0

zoneULab 0

Zone der Umluftentnahme

Hinweis: Nicht existierende Temperaturen ta(i) und tfix(i) = -273, nicht relevante Grenztemperaturen = 0, Himmelsrichtungen für Innenwände usw. als "blank" eingeben!

Numer der Fläche i oder der Zone zone eingeben!
ANZEIGEN drücken!
Daten eintippen (nur Zahlen, Komma, Minuszeichen)!
EINGEBEN drücken!
Nächste Fläche, Zone usw. bearbeiten!
SPEICHERN drücken! Evtl. KONTROLLDRUCK erstellen!

ANZEIGEN **EINGEBEN** **SPEICHERN**

KONTROLLDRUCK **BEENDEN**

Bild 2.5 Oberfläche zur "Wärmetechnischen Dateneingabe (Basisdaten)" für die instationäre Simulation
Die Datenanzeige und die Dateneingabe erfolgen in Kommunikation mit der Datei **InstWEIN.dat**.

Die Hauptmerkmale dieser Eingabe sind:

- Nach dem Eintragen der Flächennummer i und ANZEIGEN erfolgt das Zeigen der bekannten Daten. Handelt es sich um eine Neueingabe, erscheinen vordefinierte Füllwerte. Alle Felder können überschrieben werden.

Die gleiche Verfahrensweise gilt für die Eingabe der Zonendaten, indem die Zonennummer zone eingegeben wird. Es ist dann ANZEIGEN zu drücken usw.

Die weiteren Einzeldaten können sofort eingetippt werden.

- EINGEBEN weist die Daten den entsprechenden Variablen zu.
- Bestehen grobe Unstimmigkeiten, erfolgen entsprechende Ausschriften nach Betätigen der Taste EINGEBEN (Beispiel: Bild 2.6). Man sollte sie beseitigen und erneut EINGEBEN drücken.

Fehler: Hinweis nur auf grobe Unstimmigkeiten!

gWert(i) > 0 und iaktiv(i) = 1

gWert(i) > 0 und iSpeichertyp(i) > 0

gWert(i) > 0 und Himmelsrichtung unbekannt

Bild 2.6 Detail aus der Oberfläche für die "Wärmetechnische Dateneingabe (Basisdaten)" gemäß Bild 2.5 mit dem Beispiel einer Fehleranzeige (für TEST 15 nicht zutreffend)

- SPEICHERN schreibt die Daten in die Datei InstWEIN.dat.
- EINGEBEN und SPEICHERN kann beliebig oft aktiviert werden.

- Das Betätigen von KONTROLLDRUCK erzeugt nach kurzer Wartezeit einen Ausdruck in WORD für die bereits gespeicherten Flächen- und Zonendaten. Bei den Flächendaten wird wiederum auf grobe Unstimmigkeiten hingewiesen, wenn diese trotz der Bildschirmaufforderung gemäß Bild 2.6 nicht beseitigt wurden.
- Auszug aus dem Kontrollausdruck für TEST 15:

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG0611\TEST15\

Wärmetechnische Flächendaten gemäß Eingabe und zugeordnete Temperaturen

i	AD m ²	eps	kappa W/(m ² K)	qab W/m ²	ta °C	tfix °C	ifrei	iaktiv	iKoppel	iWSD	iSTyp	HR	gW	FFS
1	10,910	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
2	10,910	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
3	3,985	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
.														
9	5,330	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
10	5,330	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
11	2,639	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
12	2,639	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
13	3,226	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
14	3,226	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
15	4,016	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
16	4,016	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
17	5,750	0,93	-	-	ETag	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
18	5,750	0,93	-	-	ETag	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
19	0,847	0,93	1,760	-	ETag	-	-	-	3	-	-	W	0,75	0,75
20	0,847	0,93	1,760	-	ETag	-	-	-	3	-	-	W	0,75	0,75
.														
32	1,097	0,93	-	-	ETag	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
33	0,490	0,93	-	-	ETag	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
34	0,490	0,93	-	-	ETag	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00

Starttemperatur für sensible Speicherbauteile in °C: 23,00

Phasenzustand zum Start bei Latentspeicherbauteilen: 0,00

Legende:

i	Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
AD(i)	Größe der Fläche i (Dreiecksfläche)
eps(i)	Emissionskoeffizient der Fläche i
kappa(i)	Teilwärmedurchgangskoeffizient der Fläche i
qab(i)	vorgegebene Wärmestromdichte an der Fläche i WSD1 bedeutet Wärmestromdichte gemäß Zeitverlauf 1 WSD2 bedeutet Wärmestromdichte gemäß Zeitverlauf 2
ta(i)	Temperatur auf der Außenseite der Fläche i bzw. des Heiz-/Kühlmediums ZeitV: gemäß Zeitverlauf; ETag: gemäß Entwurfstag; tRaum: = Raumtemp.
tfix(i)	vorgegebene Oberflächentemperatur für die Fläche i
ifrei(i)	ifrei(i) = 1 bedeutet freistehende Fläche i im Raum
iaktiv(i)	iaktiv(i) = 1 bedeutet thermisch aktive Fläche i, stationärer Betrieb
iKoppel(i)	iKoppel(i) = - bedeutet Außentemperatur der Fläche i gemäß Basisdaten iKoppel(i) = 1 bedeutet Außentemperatur der Fläche i als Zeitfunktion iKoppel(i) = 2 bedeutet Außentemperatur entspricht der Raumtemperatur iKoppel(i) = 3 bedeutet Außentemperatur nach Entwurfstag
iWSD(i)	iWSD(i) = 1 bedeutet Wärmestromdichte der Fläche i als Zeitfunktion 1 iWSD(i) = 2 bedeutet Wärmestromdichte der Fläche i als Zeitfunktion 2
iSpeichertyp(i)	iSpeichertyp(i) = - (keine Speicherung); = 1..5 aktive; = 6..9 passive Speicherung
HR(i)	Himmelsrichtung der Fläche: N,NO,O,SO,S,SW,W,NW,H(Horizontaldach)
gWert(i)	Gesamtenergiedurchlasskoeffizient für transparente Flächen
FFS(i)	Abminderungsfaktor für bauliche Verschattung transparenter Flächen

Wärmetechnische Zonendaten gemäß Eingabe sowie Zonenlufttemperaturen

zone	hzone(zone) m	VLzu(zone) m³/h	Abströmung der Zuluft	VULzu(zone) m³/h	Entnahme der Umluft
1	0,255	76,0		-	
2	0,510	-		-	
3	0,765	-		-	
4	1,020	-		-	
5	1,275	-		-	
6	1,530	-		-	
7	1,785	-		-	
8	2,040	-		-	
9	2,295	-		-	
10	2,550	-	x	-	

Legende:	zone	Nummer der Zone (Zählung vom Boden)
	hzone(zone)	Höhe der oberen Zonengrenze (z-Koordinate)
	VLzu(zone)	Zuluftvolumenstrom in der Zuluftzone
		Abströmung des Zuluftstromes in gekennzeichnete Zone
	VULzu(zone)	Umluftvolumenstrom in der Umluftzone
		Entnahme des Umluftstromes in gekennzeichnete Zone

Grobe Unstimmigkeiten:

Bei TEST 15 existieren keine groben Unstimmigkeiten. Ansonsten erscheinen beispielsweise nachfolgende Mitteilungen:

Grobe Unstimmigkeiten:

```
i = 1: iaktiv(i) > 0 und iSpeichertyp(i) > 0
i = 1: iaktiv(i) = 1 und kappa(i) = 0
i = 1: gWert(i) > 0 und iaktiv(i) = 1
i = 1: gWert(i) > 0 und iSpeichertyp(i) > 0
i = 1: gWert(i) > 0 und Himmelsrichtung unbekannt
i = 1: gWert(i) > 0 und FFS(i) = 0
```

• Erläuterung der den Flächen zugeordneten Eingabedaten

ta(i)	°C	vorgegebene, zeitlich konstante Temperatur auf der Bauteilaußenseite (Temperatur im Nebenraum) Die Eingabe erfolgt für alle passiven Bauteile mit stationärer oder instationärer Wärmeleitung und für alle aktiven Speicherbauteile (Rohrregister integriert). Für thermisch aktive Flächen, die stationär arbeiten, ist ta(i) = -273 einzugeben. Ist keine Eingabe ta(i) technisch sinnvoll (z. B. bei Eingabe von qab(i) oder tfix(i) für die gesamte Simulationszeit), so ist ta(i) = -273 zu setzen! Unterliegt die Temperatur einer Tagesfunktion, dann erfolgt die Zuweisung der Außentemperatur durch die Eingabe iKoppel(i). Es ist ta(i) = -273 zu setzen!
tfix(i)	°C	fest vorgegebene Oberflächentemperatur auf der Rauminnenseite Eingabe erfolgt für eine Fläche mit einer definierten unveränderbaren Oberflächentemperatur z. B. für eine Maschinenoberfläche. Ist dies unzutreffend, so wird tfix(i) = -273 gesetzt.
iKoppel(i)	-	Kennzeichnung für die Art der Ankopplung der Temperatur auf der Bauteilaußenseite iKoppel(i) = 0 ⇒ Es gilt die Temperatureingabe ta(i) unverändert. iKoppel(i) = 0 gilt auch für thermisch aktive Flächen, die stationär (ohne Wärmespeicherung) arbeiten. iKoppel(i) = 1 ⇒ Für ta(i) gilt der Tagesgang der Außentemperatur tah(Stunde) gemäß Eingabe "Zeitverlauf".

		$iKoppel(i) = 2 \Rightarrow$ Für $ta(i)$ wird die im Raum vorhandene Empfindungstemperatur t_{Eist} gesetzt, sodass eine thermisch symmetrische Umgebung für das Bauteil nachgebildet wird. $iKoppel(i) = 3 \Rightarrow$ Für $ta(i)$ wird der Tagesgang der Außentemperatur entsprechend dem gewählten Entwurfstag gemäß Eingabe "Tag" in Ansatz gebracht.
$iaktiv(i)$	-	Kennzeichnung für eine stationär arbeitende, thermisch aktive Fläche Das Bauteil ist stets ohne Speichereffekt. $iaktiv(i) = 1$ sonst $iaktiv(i) = 0$
$ifrei(i)$	-	Kennzeichnung eines freistehenden Körpers Für einen freistehenden Körper wird ein erhöhter konvektiver Wärmestrom angesetzt. $ifrei(i) = 1$ sonst $ifrei(i) = 0$
Himmelsrichtung(i)	-	Angabe der Himmelsrichtung Die Berücksichtigung erfolgt für opake und transparente Raumumfassungen die an die Atmosphäre grenzen. Die programminterne Größe für die Himmelsrichtung ist: $HR(i)$. Eingabedaten: N, NO, O, SO, S, SW, W, NW, H (Horizontalfläche) Soll keine Richtung benannt werden – z. B. für Innenwände – dann "blank" eingeben (Eingabe löschen, bitte auch kein Leerzeichen eingeben!).
$kappa(i)$	$W/(m^2K)$	vorgegebener Teilwärmedurchgangskoeffizient einer Fläche i mit stationärer Wärmeleitung Dies betrifft Raumumfassungen (Außenwände, Innenwände zwischen Räumen mit unterschiedlichen Raumtemperaturen), wobei $kappa(i)$ von der Oberfläche i bis zur Außenluft oder bis zur Luft im Nebenraum definiert ist. Der Wert $kappa(i)$ ist aber auch für stationär arbeitende, thermisch aktive Flächen zu benennen, wobei $kappa(i)$ von der raumseitigen Oberfläche bis zum Wärmeträger Wasser im Rohrregister definiert ist (siehe [1], Tabelle 7.1). Für Speicherbauteile gilt $kappa(i) = 0$.
$eps(i)$	-	Emissionskoeffizient der Oberflächen für langwellige Strahlung Für normale Raumumfassungen gilt: $eps(i) = 0,93$.
$qab(i)$	W/m^2	fest vorgegebene, zeitlich konstante Wärmestromdichte, die von der Fläche i in den Raum fließt Die Eingabe erfolgt für eine Fläche mit einer definierten unveränderbaren Wärmestromdichte z. B. für eine Maschinenoberfläche, eine Leuchte oder eine Heizplatte. Unterliegt die Wärmestromdichte einer Tagesfunktion, dann erfolgt die Zuweisung über $iWSD(i)$. Bei $qab(i) = 0$, wirkt der normale Wärmedurchgang ($kappa(i) > 0$ und $ta(i) > -273$). Hiermit ist eine Zeitsteuerung möglich!
$iWSD(i)$	-	Kennzeichnung für die Auswahl der Wärmestromdichte, die von der Fläche i in den Raum fließt $iWSD(i) = 0 \Rightarrow$ Es gilt der Eingabewert $qab(i)$ unverändert. Falls dieser Null ist, dann existiert keine fest definierte Wärmestromdichte.

		$iWSD(i) = 1 \Rightarrow$ Für $q_{ab}(i)$ gilt der Tagesgang der Wärmestromdichte $WSD1h(\text{Stunde})$. $iWSD(i) = 2 \Rightarrow$ Für $q_{ab}(i)$ gilt der Tagesgang der Wärmestromdichte $WSD2h(\text{Stunde})$.
g-Wert(i)	-	Gesamtenergiedurchlasskoeffizient für transparente Raumumfassungen, die an die Atmosphäre grenzen Es gelten die Werte nach DIN EN 410 für senkrechte Einstrahlung $g_{\perp}$. Die Abminderungsfaktoren infolge nicht senkrechter Sonneneinstrahlung F_W und infolge flexibler Verschattungseinrichtungen F_C (siehe [2], Gl. (3.10)) werden den Entwurfstagen unter der Eingabe "Tag" (Button: VERSCHATTUNG) zugeordnet.
FFS(i)	-	Abminderungsfaktor infolge baulicher Verschattung Es werden die Abminderungsfaktoren durch Fensterrahmen F_F und durch feste Bauwerksteile (beispielsweise Fensterleibungen) F_S zusammengefasst: $F_{FS} = F_F F_S$. Siehe auch [2], Gl. (3.10).
iSpeichertyp(i)	-	Kennzeichnung des Speicherbauteiltyps $iSpeichertyp(i) = 1 \dots 5 \Rightarrow$ thermisch aktives Speicherbauteil mit integriertem Rohrregister nach [1], Bilder 15.11 und 15.12 $iSpeichertyp(i) = 6 \dots 9 \Rightarrow$ thermisch passives Speicherbauteil nach [1], Bild 15.13 sonst $iSpeichertyp(i) = 0$

- Erläuterung der den Zonen zugeordneten Eingabedaten

hzone(zone)	m	Höhe der Zonenoberbegrenzung
VLzu(zone)	m ³ /h	Zuluftvolumenstrom Die Massestromberechnung wird mit der Zulufttemperatur vorgenommen. Bei zeitlich veränderlichen Zulufttemperaturen gilt stets die erste verwendete Zulufttemperatur. Der Massestrom bleibt bei allen weiteren Berechnungen konstant (siehe [1], S. 125). Der Zuluftvolumenstrom wird der Zone zoneLzu zugeordnet. Für alle anderen Zonen gilt $VLzu(zone) = 0$. Wenn $tLzu = -273$, dann gilt $mLzu(zoneLzu) = 0$, wodurch eine Zeitsteuerung ermöglicht wird (siehe [1], Abschnitt 8.4, Seite 135).
VULzu(zone)	m ³ /h	Umluftvolumenstrom Die Massestromberechnung erfolgt mit der Umlufttemperatur (siehe [1], Seite 125). Der Umluftvolumenstrom wird der Zone zoneULzu zugeordnet. Für alle anderen Zonen gilt $VULzu(zone) = 0$. Wenn $tLzu = -273$, dann gilt $mULzu(zoneULzu) = 0$, wodurch eine Zeitsteuerung ermöglicht wird (siehe [1], Abschnitt 8.4, Seite 135).

- Erläuterung der Einzeleingabedaten

zoneULab	-	Entnahmezone für den Umluftvolumenstrom
----------	---	---

taktivmin taktivmax	°C	minimale bzw. maximale mittlere Wassertemperatur mit der die stationär arbeitenden, thermisch aktiven Flächen i ($i_{\text{aktiv}}(i) = 1$) im Heiz- oder Kühlfall beaufschlagt werden dürfen Es handelt sich hierbei programmintern um die Regelart = 1.
tLzumin tLzumax	°C	minimale bzw. maximale Zulufttemperatur im Heiz- oder Kühlfall bei einer Leistungsregelung mittels Zulufttemperatur Es handelt sich hierbei programmintern um die Regelart = 3.
tULzumin tULzumax	°C	minimale bzw. maximale Umlufttemperatur im Heiz- oder Kühlfall bei einer Leistungsregelung mittels Umlufttemperatur Es handelt sich hierbei programmintern um die Regelart = 4.
tEsollfix	°C	Raumsolltemperatur Sie ist definiert als operative Raumtemperatur ($\equiv$ Empfindungstemperatur). Handelt es sich um einen zu allen Zeiten fest vorgegebenen Wert, so ist einzugeben: $t_{\text{Esollfix}} > -273$, z. B. $t_{\text{Esollfix}} = 23$ °C. t_{Esollfix} bildet auch die Grundlage für die Temperaturschätzung beim Programmstart und ist deshalb auch bei passiver Raumnutzung zu benennen. Soll die Raumtemperatur einem Zeitverlauf (Tagesrhythmus) folgen, dann gelten: $t_{\text{Esollfix}} = -273$ und in der Eingabemaske "Zeitverlauf" ist die Raumtemperatur mit stündlichen Stützstellen einzugeben. Für die Temperaturschätzung beim Programmstart werde dann der erste aktuelle Stundenwert verwendet.
tStart	°C	Starttemperatur für alle Speicherbauteile i Diese Temperatur gilt für alle Speicherschichten ($i_{\text{Speichertyp}}(i) > 0$) gleichermaßen.
Phase (PhaseStart)	-	Phasenzustand aller Latentspeicherschichten zum Simulationsstart Dieser Phasenzustand gilt für alle Latentmaterialien in den Speicherbauteilen i ($i_{\text{Speichertyp}}(i) > 0$) gleichermaßen. Die Eingabe ist nur sinnvoll, wenn ein Latentmaterial mit einer festen Phasenwandelttemperatur, die bei Schmelzen und Erstarren gleichermaßen gilt, eingesetzt wird. Erfolgt der Phasenwandel innerhalb eines Temperaturbereiches, dann wird der Phasenzustand programmintern entsprechend der Starttemperatur bestimmt. Ob die Eingabe PhaseStart ignoriert wird, ermittelt das instationäre Komplexprogramm erst zu Beginn der Berechnung. Die Verfahrensweise wird im Ergebnisausdruck vermerkt. Sie kann somit im Kontrollausdruck (siehe Seite 8) noch nicht mitgeteilt werden.

2.2 Eingabe der Bauteildaten für die instationäre Simulation

Wird gemäß Bild 2.3 die Eingabe "Bauteil" aktiviert, so folgt der Aufbau der Bildschirmmaske gemäß Bild 2.7. Ist die Datei bereits vorhanden, so wird diese zur Korrektur bzw. Ergänzung eingelesen.

Eingabedaten für instationäres Simulationsmodell (Bauteildaten)

Zielstellung

- ☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der Speicherbauteildaten (Datei bereits vorhanden)
- ☐ Neueingabe aller Speicherbauteildaten (Datei noch nicht vorhanden)

Bauteildaten i 1 imax 34 iSpeichertyp(i) 4

Ra(i) äußerer Wärmeleitwiderstand mit 1/alpha_außen 0,8 m²K/W

Speicherkörper II (sensibel speichernd)

DySII(i)	rhoSII(i)	lamSII(i)	cSII(i)
0 mm	0 kg/m³	0 W/(m K)	0 J/(kg K)

Latentspeicher

Dy(i) 1,75 mm

Speicherkörper I (sensibel speichernd)

DySI(i)	rhoSI(i)	lamSI(i)	cSI(i)
0 mm	0 kg/m³	0 W/(m K)	0 J/(kg K)

Ri(i) innerer Wärmeleitwiderstand ohne 1/alpha_innen 0,01 m²K/W

Daten des Latentspeichermaterials (für alle Latentschichten)

lamLSfest	lamLSfl	rLS	tWandelu	tWandelo
0,996	0,998	W/(m K)	11624 J/kg	24 °C

Bei fester Phasenwandeltemperatur gilt tWandelu = tWandelo, sonst Phasenwandelbereich angeben!

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 313200

Simulationsbeginn Uhrbeginn 0 Uhr

ANZEIGEN EINGEBEN SPEICHERN

KONTROLLDRUCK BEENDEN

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!

Hinweis: Das Ausfüllen der Datenfelder ist vom Speichertyp abhängig. Bitte beachten Sie die Beschreibung. Nicht erforderliche Eingaben bitte mit Null füllen!

Hinweis nur auf grobe Unstimmigkeiten!

Bild 2.7 Oberfläche zur Eingabe der Bauteildaten für das instationäre Simulationsmodell
Die Datenanzeige und die Dateneingabe erfolgen in Kommunikation mit der Datei **BAUTEIL.dat**.

Die Hauptmerkmale dieser Eingabe sind:

- Nach dem Eintragen der Bauteilnummer ($\equiv$ Flächennummer i) und ANZEIGEN erfolgt das Zeigen der bekannten Daten. Handelt es sich um eine Neueingabe, erscheinen vordefinierte Füllwerte. Alle Felder können überschrieben werden.

Die weiteren Einzeldaten zum Latentspeichermaterial, zum Rohr bzw. zu den Gitterabmessungen können sofort eingegeben werden.

- EINGEBEN weist die Daten den entsprechenden Variablen zu.
- Besteht eine Unstimmigkeit bezüglich der Definition des Speichertyps (iSpeichertyp(i)) gegenüber der Eingabe der Basisdaten ("Wärmetechn. Dateneingabe"), so erfolgt eine entsprechende Ausschrift nach Betätigen der Taste EINGEBEN (Beispiel: Bild 2.8). Man sollte die Unstimmigkeit in der Maske "Bauteildaten" beheben und wiederum EINGEBEN drücken oder später beim erneuten Öffnen der "Wärmetechn. Dateneingabe" beseitigen. Die Doppeleingabe des Speichertyps wird gewährt, da die Reihenfolge der Maskenbearbeitung nicht festgelegt werden sollte.

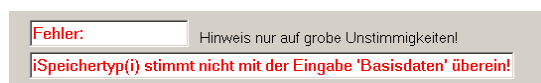


Bild 2.8 Detail aus der Oberfläche "Bauteildaten" gemäß Bild 2.7 mit dem Beispiel einer Fehleranzeige (für TEST 15 nicht zutreffend)

- **SPEICHERN** schreibt die Daten in die Datei BAUTEIL.dat.
- **EINGEBEN** und **SPEICHERN** kann beliebig oft aktiviert werden.
- Das Betätigen von **KONTROLLDRUCK** erzeugt nach kurzer Wartezeit einen Ausdruck in WORD für die gespeicherten Bauteildaten. Wurden eventuelle Hinweise auf grobe Unstimmigkeiten in der Bildschirmausgabe gemäß Bild 2.8 nicht beachtet, dann erfolgen entsprechende Fehlerausschriften im Kontrollausdruck.
- **Auszug aus dem Kontrollausdruck für TEST 15:**

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG061\TEST15

Bautechnische und wärmetechnische Daten der Speicherbauteile

i	DySII	rhoSII	lamSII	cSII	Dx	Dz	Ra		jBmax	kBmax	iBmax
	Dy							jLSmin jLSmax			
	DySI	rhoSI	lamSI	cSI			Ri	jSImax	jRmax	jRmin	kRmax
	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/kg	mm	mm	m ² K/W				
1	-	-	-	-	418,0	1,65	0,800	Simulationsgebiet:	30	8	9
	1,75		Grenzen der Latentspeicherschicht:				0,010	- Rohrbereich:	15	14	0
	-	-	-	-							
	Dicken in mm Schicht I / Latentspeicher / Schicht II: 0,0/ 54,3/ 0,0										
	Rohrabstand in mm: 29,7										
2	-	-	-	-	418,0	1,65	0,800	Simulationsgebiet:	30	8	9
	1,75		Grenzen der Latentspeicherschicht:				0,010	- Rohrbereich:	15	14	0
	-	-	-	-							
	Dicken in mm Schicht I / Latentspeicher / Schicht II: 0,0/ 54,3/ 0,0										
	Rohrabstand in mm: 29,7										

Bei TEST 15 existieren keine groben Unstimmigkeiten. Ansonsten erscheint beispielsweise nachfolgende Mitteilung:

Fehler: iSpeichertyp(i) stimmt nicht mit der Eingabe 'Basisdaten' überein!

.											
.											
.											
34	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:	9	-	-
	-		Grenzen der Latentspeicherschicht:								
	38,00	1850	0,81	920			0,000	- Rohrbereich:	-	-	-
	Dicken in mm Schicht I / Latentspeicher / Schicht II: 380,0/ 0,0/ 0,0										
	Rohrabstand in mm: 0,0										

Legende:

i	Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
DySII(i)	Gitterweite in j-Richtung für sensible Speicherschicht II
rhoSII(i)	Dichte der sensiblen Speicherschicht II
lamSII(i)	Wärmeleitfähigkeit der sensiblen Speicherschicht II
cSII(i)	spez. Wärmekapazität der sensiblen Speicherschicht II
Dx(i)	Gitterweite in i-Richtung
Dz(i)	Gitterweite in k-Richtung
Ra(i)	Wärmeübergangswiderstand mit 1/alpha_a auf der Außenseite
jBmax(i)	maximale Gitterzahl in j-Richtung (Bauteildicke)
kBmax(i)	maximale Gitterzahl in k-Richtung (0,5 Rohrabstand)
iBmax(i)	maximale Gitterzahl in i-Richtung (Bauteillänge, -höhe)
Dy(i)	Gitterweite in j-Richtung für Latentspeicher
jLSmin(i)	minimale Gitterzahl in j-Richtung im Latentspeicher
jLSmax(i)	maximale Gitterzahl in j-Richtung im Latentspeicher
DySI(i)	Gitterweite in j-Richtung für sensible Speicherschicht I
rhoSI(i)	Dichte der sensiblen Speicherschicht I
lamSI(i)	Wärmeleitfähigkeit der sensiblen Speicherschicht I
cSI(i)	spez. Wärmekapazität der sensiblen Speicherschicht I
Ri(i)	Wärmeübergangswiderstand ohne 1/alpha_i auf der Innenseite
jSImax(i)	maximale Gitterzahl in j-Richtung für sensible Speicherschicht I
jRmax(i)	maximale Rohr-Gitterzahl in j-Richtung
jRmin(i)	minimale Rohr-Gitterzahl in j-Richtung
kRmax(i)	maximale Rohr-Gitterzahl in k-Richtung

Rohrdaten bei Verlegung in aktiven Speicherschichten

Rohrdurchmesser in mm: 2,7 / 4,3
 Luftspalt um das Rohr in mm: -
 Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials in W/(m K): 0,21
 Wassergeschwindigkeit im Rohr in m/s: 0,10

Latentspeicherdaten

Wärmeleitfähigkeit fest/flüssig in W/(m K): 0,996 / 0,998
 Schmelzenthalpie in kJ/kg: 11,6
 Spez. Wärmekapazität fest/flüssig in J/(kg K): 933 / 991
 Dichte in kg/m³: 1594,0
 Phasenwandeltemperaturbereich (Beginn / Ende) in °C: 24,0 / 26,0

• Erläuterung der den Flächen zugeordneten Eingabedaten

iSpeichertyp(i)	-	Art des wärmespeichernden Bauteils 1 bis 9 nach [1], Bilder 15.11 bis 15.13
Ra(i)	m²K/W	äußerer Wärmeleitwiderstand einschließlich $1/\alpha_{\text{außen}}$
Ri(i)	m²K/W	innerer Wärmeleitwiderstand ohne $1/\alpha_{\text{innen}}$
DySI(i)	mm	Gitterweite in der inneren sensiblen Speicherschicht
rhoSI(i)	kg/m³	Dichte der inneren sensiblen Speicherschicht
lamSI(i)	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit der inneren sensiblen Speicherschicht
cSI(i)	J/(kg K)	Wärmekapazität der inneren sensiblen Speicherschicht
DySII(i)	mm	Gitterweite in der äußeren sensiblen Speicherschicht
rhoSII(i)	kg/m³	Dichte der äußeren sensiblen Speicherschicht
lamSII(i)	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit der äußeren sensiblen Speicherschicht
cSII(i)	J/(kg K)	Wärmekapazität der äußeren sensiblen Speicherschicht
Dy(i)	mm	Gitterweite in der Latentspeicherschicht
Dx(i)	mm	Gitterweite längs der Rohre
Dz(i)	mm	Gitterweite innerhalb des Rohrregisters
iBmax(i)	-	maximale Gitterzahl in iL-Richtung (Rohrachse)
jBmax(i)	-	maximale Gitterzahl in jL-Richtung (Bauteildicke)
kBmax(i)	-	maximale Gitterzahl in kL-Richtung (Rohrregisterebene)
jLSmin(i)	-	Beginn der Latentspeicherplatte in jL-Richtung
jLSmax(i)	-	Ende der Latentspeicherplatte in jL-Richtung
jSImax(i)	-	Ende der Speicherschicht I in jL-Richtung
jRmin(i)	-	Rohrbegrenzung in jL-Richtung
jRmax(i)	-	Rohrbegrenzung in jL-Richtung
kRmax(i)	-	Rohrbegrenzung in kL-Richtung

Weitere Details zur Gittereingabe sind [1], Abschnitt 15.2, Seiten 246/247 zu entnehmen!
 Die einzelnen Gittergrößen sind so zu wählen, dass die Schichtdicken, die Rohrabstände und der äußere Rohrumfang wirklichkeitsnah erfasst werden ([1], Abschnitt 20.4, Bild 20.17).

• Erläuterung der Eingabedaten für das Latentspeichermaterial und das Rohr

Die charakteristischen Daten gelten für alle Bauteile des zu simulierenden Raumes gleichermaßen, d.

h., falls diese Materialien zum Einsatz kommen, gibt es raumweise nur einheitliche Anwendungen.

rhoLS	kg/m ³	Dichte der Latentspeicherschicht
lamLSfest	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit der Latentspeicherschicht (feste Phase)
lamLSfl	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit der Latentspeicherschicht (flüssige Phase)
cLSfest	J/(kg K)	Wärmekapazität der Latentspeicherschicht (feste Phase)
cLSfl	J/(kg K)	Wärmekapazität der Latentspeicherschicht (flüssige Phase)
rLS	J/kg	Phasenwandlungswärme (Schmelzwärme)
tWandelu	°C	Phasenwandeltemperatur (Schmelztemperatur) – unterer Wert Beginn des Phasenwandels, wenn ein Phasenwandebereich existiert! Erfolgt der vollkommene (komplette) Phasenwandel bei einer fest definierten Temperatur, dann gilt tWandelu = tWandelo.
tWandelo	°C	Phasenwandeltemperatur (Schmelztemperatur) – oberer Wert Ende des Phasenwandels, wenn ein Phasenwandebereich existiert! Erfolgt der vollkommene (komplette) Phasenwandel bei einer fest definierten Temperatur, dann gilt tWandelu = tWandelo.
dRi	mm	Rohrinnendurchmesser
dRa	mm	Rohraußendurchmesser
lamR	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials
wW	m/s	Wassergeschwindigkeit in den Rohren
deltaSpalt	mm	Luftspalt zwischen Rohraußenwand und Massivmaterial

• Erläuterung der Eingabedaten für die Simulationszeiten

Da die Zeitschrittweite nach [1], Gl. (15.29) direkt an die Stoff- und Gitterdaten gebunden ist, werden die zeitbezogenen Größen bei der Eingabe der Bauteildaten vermerkt:

Dtau	s	Zeitschritt
Zeitmax	-	maximale Schrittzahl (Untersuchungszeitraum)
Uhrbeginn	Uhr	Uhrzeit des Simulationsbeginns

2.3 Eingabe der Zeitverläufe (Tagesgänge) für die instationäre Simulation

Nach Bild 2.3 kann "Zeitverlauf" aktiviert werden, wodurch Bild 2.9 entsteht.

Die Hauptmerkmale dieser Eingabe sind:

- Nach der Betätigung ANZEIGEN erfolgt das Zeigen der bekannten Daten. Handelt es sich um eine Neueingabe, erscheinen vordefinierte Füllwerte. Alle Felder können überschrieben werden.
- EINGEBEN weist die Daten den entsprechenden Variablen zu.
- SPEICHERN schreibt die Daten in die Datei ZVERLAUF.dat.
- EINGEBEN und SPEICHERN kann beliebig oft aktiviert werden.

Eingabedaten für instationäres Simulationsmodell (Zeitverläufe - Tagesgänge)

Zielstellung

- ☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der Belastungen und Temperaturen
- ☐ Neueingabe der Belastungen und Temperaturen (Datei noch nicht vorhanden)

Pfad und vorhandener bzw. zukünftiger Dateiname:

Hinweis: Nicht existierende Temperaturen -273, nicht existierende Leistungen 0 setzen!
Ausfüllen von der Betriebsweise abhängig!

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Uhrzeit	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Außentemperatur in °C	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273		-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273
Wärmestromdichte an den Raum in W/m² Variante WSD1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wärmestromdichte an den Raum in W/m² Variante WSD2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mittlere Wassertemperatur in °C für die thermisch aktiven Bauteile mit stationärem Betrieb	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273		-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273
Leistung einer konvektiven Wärmequelle im Raum in W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	100	200	300	300	300	0	0
Zulufttemperatur in °C	22	21,5	20,8	20,4	20	20,2	20,5	22	24,5	27	29	31	32		32,7	33,4	33,8	34	33,5	32	30	27,9	26	24,7	23,5	22	
Umfluttemperatur am Raumeintritt in °C	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273		-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273
Beladungsrythmus (1-Betrieb; 0-Stillstand)	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wassereintrittstemperatur in °C für die thermisch aktiven Speicherbauteile	-273	-273	19	19	19	19	19	-273	-273	-273	-273	-273	-273		-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273
Raumtemperatur in °C	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273		-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273	-273

ANZEIGEN drücken! Daten überschreiben (nur Zahlen, Komma, Minuszeichen!)
EINGEBEN drücken! SPEICHERN drücken!
Evtl. KONTROLLDRUCK und/oder KONTROLLGRAFIK erzeugen!

ANZEIGEN

EINGEBEN

SPEICHERN

KONTROLLGRAFIK

KONTROLLDRUCK

BEENDEN

Bild 2.9 Oberfläche zur Eingabe der Tagesverläufe, die zeitlich veränderliche wärmetechnische Randbedingungen für das instationäre Simulationsmodell darstellen
Die Datenanzeige und die Dateneingabe erfolgen in Kommunikation mit der Datei **ZVERLAUF.dat**.

- Das Betätigen von KONTROLLDRUCK erzeugt nach kurzer Wartezeit einen Ausdruck in WORD für die bereits gespeicherten Daten.
- Weiterhin öffnet sich nach Drücken von KONTROLLGRAFIK eine Bedienoberfläche zur Visualisierung der verschiedenen Zeitverläufe über 24 Stunden. Diese Oberfläche ist im Bild 2.10 dargestellt. Die Handhabung wird noch speziell besprochen.
- [Auszug aus dem Kontrollausdruck für TEST 15:](#)

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG0611\TEST15\

Allgemeine zeitliche Temperatur- und Lastverläufe

Uhrzeit	t _{ah} °C	WSD1h W/m ²	WSD2h W/m ²	t _{Wmh} °C	QKQh W	t _{Lzuh} °C	t _{ULzuh} °C	Beladungh	t _{Weinh} °C	t _{Rh} °C
0	-	0,0	0,0	-	0	22,0	-	0	-	-
1	-	0,0	0,0	-	0	21,5	-	0	-	-
2	-	0,0	0,0	-	0	20,8	-	1	19,0	-
3	-	0,0	0,0	-	0	20,4	-	1	19,0	-
4	-	0,0	0,0	-	0	20,0	-	1	19,0	-
5	-	0,0	0,0	-	0	20,2	-	1	19,0	-
6	-	0,0	0,0	-	0	20,5	-	1	19,0	-
7	-	0,0	0,0	-	0	22,0	-	0	-	-
8	-	0,0	0,0	-	0	24,5	-	0	-	-
9	-	0,0	0,0	-	0	27,0	-	0	-	-
10	-	0,0	0,0	-	0	29,0	-	0	-	-
11	-	0,0	0,0	-	0	31,0	-	0	-	-
12	-	0,0	0,0	-	0	32,0	-	0	-	-

Uhrzeit	t _{ah} °C	WSD1h W/m ²	WSD2h W/m ²	t _{Wmh} °C	QKQh W	t _{Lzuh} °C	t _{ULzuh} °C	Beladungh	t _{Weinh} °C	t _{Rh} °C
13	-	0,0	0,0	-	0	32,7	-	0	-	-
14	-	0,0	0,0	-	0	33,4	-	0	-	-
15	-	0,0	0,0	-	0	33,8	-	0	-	-
16	-	0,0	0,0	-	0	34,0	-	0	-	-
17	-	0,0	0,0	-	100	33,5	-	0	-	-
18	-	0,0	0,0	-	200	32,0	-	0	-	-
19	-	0,0	0,0	-	300	30,0	-	0	-	-
20	-	0,0	0,0	-	300	27,9	-	0	-	-
21	-	0,0	0,0	-	300	26,0	-	0	-	-
22	-	0,0	0,0	-	0	24,7	-	0	-	-
23	-	0,0	0,0	-	0	23,5	-	0	-	-
24	-	0,0	0,0	-	0	22,0	-	0	-	-

Legende:

t _{ah}	Außentemperatur bei ETag=0 oder variable Nebenraumtemperatur bei ETag>0
WSD1h	Wärmestromdichte Verlauf 1
WSD2h	Wärmestromdichte Verlauf 2
t _{Wmh}	mittlere Wassertemperatur für stationär-thermisch aktive Flächen
QKQh	konvektiver Wärmestrom
t _{Lzuh}	Zulufttemperatur
t _{ULzuh}	Umlufttemperatur
Beladungh	Beladungsrythmus: 1 Beladung; 0 keine Beladung
t _{Weinh}	Wassereintrittstemperatur in thermisch aktive Speicherbauteile
t _{Rh}	Raumtemperatur

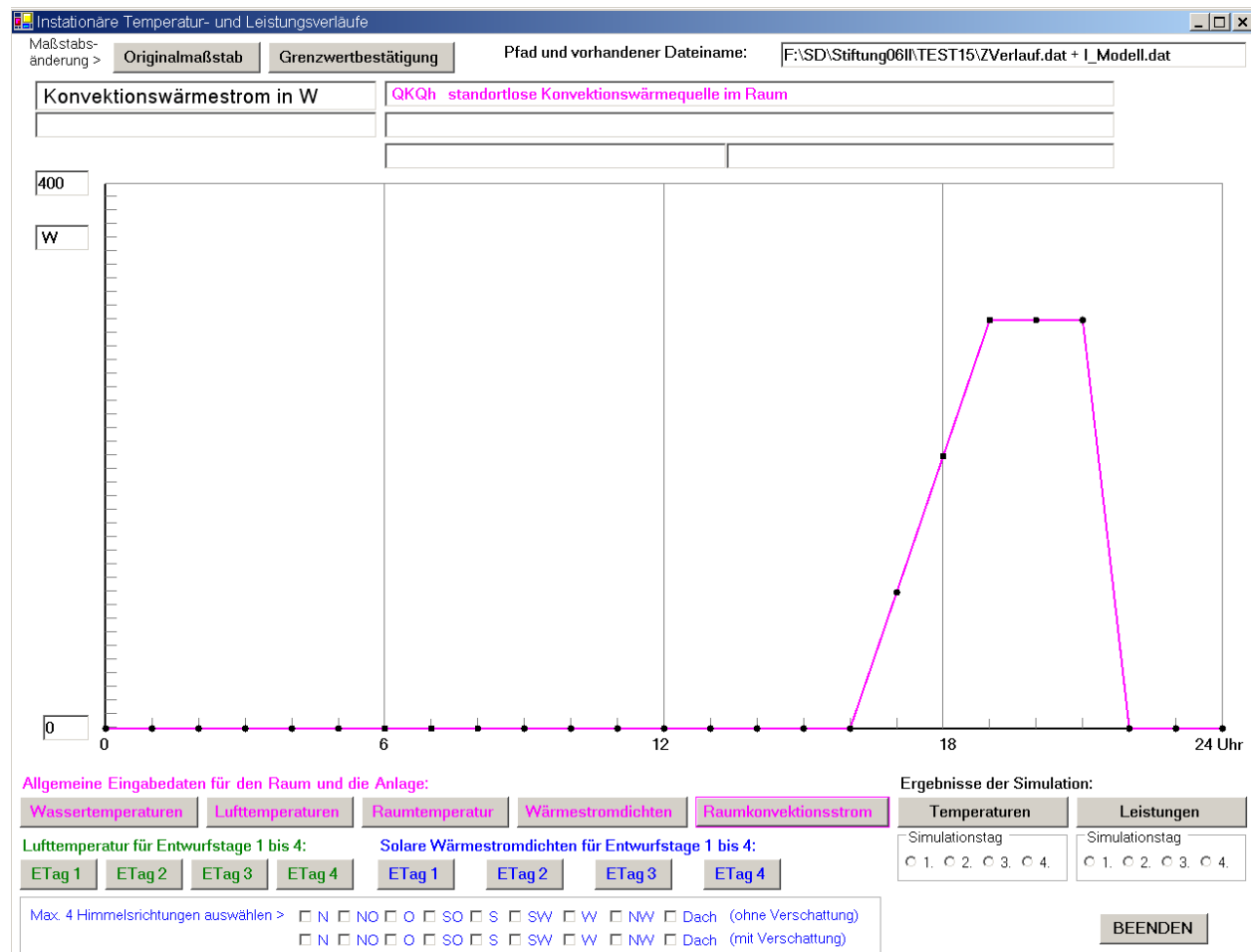


Bild 2.10 Monitorbild mit der gesamten Oberfläche zur Visualisierung ausgewählter Zeitverläufe
 Bezogen auf die Eingaben für TEST 15 können beispielsweise die Zulufttemperatur, die Wassereintrittstemperatur in die Speicherbauteile und der dem Raum zugeführte Konvektionswärmestrom über 24 Stunden dargestellt werden. Letzterer ist hier abgebildet.

• Besonderheiten der Visualisierung

- Die Einstellung der Ordinatenbereiche (Temperaturen, Wärmestromdichten oder Wärmeströme) sind frei wählbar, sodass unterschiedliche Auflösungen möglich werden.
- Es sind die Grenztemperaturen zu überschreiben sowie die Tasten "Grenzwertbestätigung" und die gewünschte Anzeige – z. B. "Lufttemperaturen" – erneut zu drücken.
- Die Tastenfolge "Originalmaßstab" und "Lufttemperaturen" stellt die ursprüngliche, vordefinierte Zuordnung wieder her. Mit "Beenden" kehrt man zur Bedienoberfläche des Ausgangsprogramms – hier zur Oberfläche "Zeitverläufe" – zurück.
- Das Visualisierungsprogramm wird auch für andere, später vorgestellte Nutzungen verwendet.
- Die Monitorbilder können kopiert werden, indem man beispielsweise auf der Tastatur "ALT" + "DRUCK" gleichzeitig betätigt. Diese Kopie kann dann durch "EINFÜGEN" in Word- oder PowerPoint-Dokumente problemlos übertragen werden. Eine anschließende Bearbeitung – beispielsweise Beschneiden der Bilder – ist in gewohnter Weise möglich.

Die folgenden Bilder zeigen zwei Beispiele, die Zeitverläufe des Kontrollausdrucks darstellen.

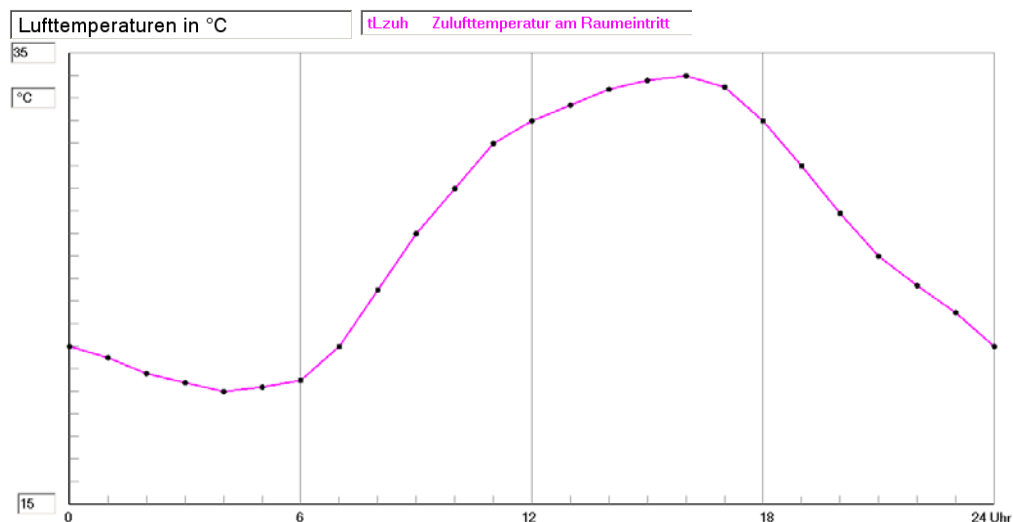


Bild 2.11 Zu-
lufttemperatur
als Zeitverlauf
gewonnen aus
dem zugehörigen
Monitorbild
Der Ordinaten-
maßstab wurde
nach entspre-
chender Verän-
derung gestaltet.
Das Bild ist mit
Hilfe bekannter
Methoden bes-
chnitten wor-
den.

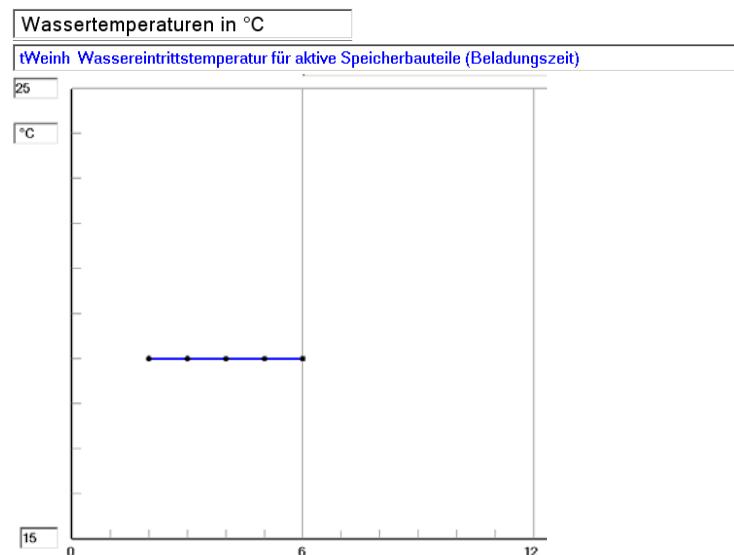


Bild 2.12 Wassereintrittstemperatur in
die Speicherbauteile als Zeitverläufe
gewonnen aus dem zugehörigen Moni-
torbild
Das Bild wurde beschnitten.

- **Erläuterung der Eingabedaten zu den Zeitverläufen**

Generell werden alle Größen für die vollen Stunden von 0⁰⁰ bis 24⁰⁰ Uhr angegeben. Die Größen für die genannten Zeitgrenzen müssen identisch sein, da der jeweilige Tagesgang in rhythmischer Folge für alle Tage der Simulationszeit gilt.

tah(0, Stunde) {0 deutet programmintern auf Entwurfstag 0 hin!}	°C	Außentemperatur bei Entwurfstag = 0 oder zeitabhängige Nebenraumtemperatur bei Definition eines Entwurfstages > 0 Dieser Temperaturverlauf wird wirksam, wenn für das Bauteil i ($\equiv$ Fläche i) gemäß der "Basisdaten" $iKoppel(i) = 1$ gilt (siehe Bild 2.5).
WSD1h(Stunde)	W/m ²	Wärmestromdichte von einer Raumbegrenzungsfläche an den Raum – Variante 1 Diese Wärmestromdichte wird durch die Kenngröße $iWSD(i)$ gemäß der "Basisdaten" (siehe Bild 2.5) der gewünschten Fläche i zugeordnet.
WSD2h(Stunde)	W/m ²	Wärmestromdichte von einer Raumbegrenzungsfläche an den Raum – Variante 2 Die Zuordnung erfolgt wiederum durch die Kenngröße $iWSD(i)$.
tWmh(Stunde)	°C	mittlere Wassertemperatur für die thermisch aktiven Bauteile (Flächen) im stationären Betrieb Die Größen werden beispielsweise einer Fußbodenheizung zugewiesen. Die Zuordnung erfolgt durch die Kenngröße $iaktiv(i) = 1$ gemäß der Eingabe in den "Basisdaten" (siehe Bild 2.5). Bei Eingabe -273 ist die Heiz- bzw. Kühlfläche inaktiv, dadurch ist eine indirekte Zeitsteuerung möglich (siehe [1], Abschnitt 15.2, Seite 252).
QKQh(Stunde)	W	Leistung (Wärmestrom) einer rein konvektiven Wärmequelle im Raum Dieser Wärmestrom wird bei der instationären Komplexsimulation der Variablen $QKonRaum$ zugewiesen, wodurch frühere Eingaben der Interieurdaten nach [1], Bild 4.3, die für die stationäre Komplexsimulation galten, überschrieben werden.
tLzuh(Stunde)	°C	Zulufttemperatur Diese Größe findet außer bei einer Leistungsregelung durch die Zulufttemperatur (Regelart = 3) stets Beachtung. Voraussetzung ist die Festlegung eines Zuluftvolumenstromes $VLzu(zone)$ bei der Eingabe "Basisdaten" (Bild 2.5). Die Regelart wird beim Start der "Instationären Komplexsimulation" in der Bedienoberfläche des Hauptprogramms ausgewählt. Bei Eingabe -273 ist die Zuluftzufuhr inaktiv, dadurch ist eine indirekte Zeitsteuerung möglich (siehe [1], Abschnitt 8.4, Seite 135).
tULzuh(Stunde)	°C	Umlufttemperatur Diese Größe findet außer bei einer Leistungsregelung durch die Umlufttemperatur (Regelart = 4) stets Beachtung. Voraussetzung ist die Festlegung eines Umluftvolumenstromes $VULzu(zone)$ bei der Eingabe "Basisdaten" (Bild 2.5). Die Regelart wird beim Start der "Instationären

		Komplexsimulation" in der Bedienoberfläche des Hauptprogramms ausgewählt. Bei Eingabe -273 ist die Umluftzufuhr inaktiv, dadurch ist eine indirekte Zeitsteuerung möglich (siehe [1], Abschnitt 8.4, Seite 135).
Beladungh(Stunde)	-	Kennzeichnung des Wasserdurchflusses in den aktiven Speicherbauteilen (Wert gilt bis zu Beginn der nächsten Stunde.) $\text{Beladungh(Stunde)} = 1 \Rightarrow \text{Wasserdurchfluss}$ $\text{Beladungh(Stunde)} = 0 \Rightarrow \text{Stillstand}$
tWeinh(Stunde)	°C	Wassereintrittstemperatur für die thermisch aktiven Speicherbauteile (Flächen) i Die angegebene Größe gilt für alle Speicherbauteile mit integriertem Rohrregister ($i\text{Speichertyp}(i) = 1 \dots 5$) gleichermaßen. Sie ist dann relevant, wenn $\text{Beladung} = 1$ gilt.
tRh(Stunde)	°C	Raumtemperatur Dieser Temperaturverlauf wird wirksam, wenn für das Bauteil i ($\equiv$ Fläche i) gemäß der "Basisdaten" $t_{\text{Esoll}} = -273$ gilt (siehe Bild 2.5).

Hinweise:

- Generell sind für nicht existierende Temperaturvorgaben -273 und für nicht existierende Wärmestromdichten bzw. Wärmeströme 0 einzugeben.
- Für die wärmetechnischen Randbedingungen, die im Stundentakt angegeben sind (Zeitfunktionen), werden Zwischenwerte linear interpoliert. Bei Temperaturen müssen die jeweiligen Stundenwerte $t(\text{Stunde}) > -273 \text{ °C}$ und $t(\text{Stunde} + 1) > -273 \text{ °C}$ sein, ansonsten gilt der erste Wert für das gesamte Stundenintervall.

2.4 Eingabe der Entwurfstage für die instationäre Simulation

Für die energetische und wärmephysiologische Bewertung von Räumen ist vorgesehen, **vier Entwurfstage** pro Berechnungsbeispiel zu definieren. Zugehörig werden die nachfolgenden **Tagesgänge mit stündlichen Stützstellen** eingegeben:

- Außenlufttemperatur
- Gesamtsonnenstrahlung in den Himmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W, NW und für Horizontalflächen H
- Abminderungsfaktoren F_C infolge Verschattungen vor den transparenten Umfassungsflächen für die Himmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W, NW und für Horizontalflächen H.

Zusätzlich kann je Entwurfstag und Himmelsrichtung ein **Abminderungsfaktor F_W des g-Wertes für nicht senkrechten Strahlungseinfall** auf transparente Flächen benannt werden.

Als Entwurfstage (Designdays) werden ausgewählt:

- Winter – Heizlast

Es werden die Bedingungen, die für die übliche Heizlastberechnung gelten, nachgebildet. Die

Außentemperatur entspricht einem mittleren Extremwert, der beispielsweise der Normberechnung für den jeweiligen Standort entnommen werden kann. Er gilt konstant über 24 Stunden. Die Gesamtstrahlung werde mit null angenommen. Quelle: EN 12831, Beiblatt 1.

- **Winter – Sonnentag**

Es gelten beispielsweise die mittleren stündlichen Lufttemperaturen für den Monat Februar an heiteren Tagen (Bewölkung weniger als 20 % der sichtbaren Himmelsfläche) und die Gesamtstrahlungswerte bei wolkenlosem Himmel für den 20. Februar bei Trübungsfaktoren, die dem Monatsmittel entsprechen. Quelle: DIN 4710.

- **Sommer – Sonnentag**

Verwendbar sind beispielsweise die mittleren stündlichen Lufttemperaturen für den Monat Juli an heiteren Tagen (Bewölkung weniger als 20 % der sichtbaren Himmelsfläche) und die Gesamtstrahlungswerte bei wolkenlosem Himmel für den 23. Juli bei Trübungsfaktoren, die dem Monatsmittel minus Standardabweichung entsprechen. Quelle: DIN 4710.

- **Sommer – Extremtag**

Bezüglich des Lufttemperaturverlaufs könnten spezielle Extremwerte für den Betrachtungsstandort dienen und die Gesamtstrahlungswerte für Sommer – Sonnentag Verwendung finden.

Die Dateneingabe erfolgt unter der Kurzbezeichnung "**Tag**". Sie wird an die Eingabestruktur "Zeitverlauf" angelehnt und besteht aus zwei Teilen:

1. Oberfläche: **Außentemperatur und Gesamtsonnenstrahlung**
2. Oberfläche: **Minderungsfaktoren infolge Verschattung und nicht senkrechten Strahlungseinfalls.**

Die zweite Eingabemaske ist von der ersten aus erreichbar (Button: VERSCHATTUNG), wodurch die inhaltliche Homogenität demonstriert wird. Die Aktivierung "**Tag**" bewirkt das Öffnen der im Bild 2.13 gezeigten Oberfläche "Entwurfstage".

Die Hauptmerkmale dieser Eingabe sind:

- Nach Eingabe des Entwurfstages und der Betätigung des Buttons ENTWURFSTAG BESTÄTIGEN / ANZEIGEN werden die gespeicherten Daten in die Eingabefelder geschrieben. Handelt es sich um eine Neueingabe, erscheinen vordefinierte Füllwerte. Alle Felder können überschrieben werden.
- EINGEBEN weist die Daten den entsprechenden Variablen zu.
- SPEICHERN schreibt die Daten in die Datei ZVERLAUF.dat.
- EINGEBEN und SPEICHERN kann beliebig oft aktiviert werden.
- Das Betätigen von KONTROLLDRUCK erzeugt nach kurzer Wartezeit einen Ausdruck in WORD für die bereits gespeicherten Daten.
- Nach Drücken von KONTROLLGRAFIK öffnet sich eine Bedienoberfläche zur Visualisierung der verschiedenen Zeitverläufe über 24 Stunden. Diese universell nutzbare Oberfläche ist aus Bild 2.10 bereits bekannt.

Eingabedaten für instationäres Simulationsmodell (Entwurfstage - Designdays)

Zielstellung

☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der Belastungen und Temperaturen

☐ Neueingabe der Belastungen und Temperaturen (Datei noch nicht vorhanden)

Pfad und vorhandener bzw. zukünftiger Dateiname:
F:\SD\Stiftung061\TEST15\ZVERLAUF.dat

4 Entwurfstag 1 Winter - Heizlast; 2 Winter - Sonnentag
3 Sommer - Sonnentag, 4 Sommer - Extrehtag

Uhrzeit

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Außentemperatur des Entwurfstages in °C																								
22	21,5	20,8	20,4	20	20,2	20,5	22	24,5	27	29	31	32	32,7	33,4	33,8	34	33,5	32	30	27,9	26	24,7	23,5	22
Gesamtstrahlung auf Nordwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	107	163	116	109	121	130	137	139	137	130	121	109	116	163	107	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Nordostwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	208	432	512	472	349	188	145	142	136	127	113	97	78	56	27	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Ostwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	203	486	669	729	681	553	368	156	142	129	113	97	77	54	26	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Südostwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	97	289	480	620	688	682	605	471	297	144	121	100	78	54	26	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Südwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	27	60	92	217	366	492	575	604	575	492	366	217	92	60	27	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Südwestwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	26	54	78	100	121	144	297	471	605	682	688	620	480	289	97	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Westwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	26	54	77	97	113	129	142	156	368	553	681	729	669	486	203	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Nordwestwand in W/m²																								
0	0	0	0	0	27	56	78	97	113	127	136	142	145	188	349	472	512	432	208	0	0	0	0	0
Gesamtstrahlung auf Horizontalfäche in W/m²																								
0	0	0	0	0	56	178	335	498	646	761	835	861	835	761	646	498	335	178	56	0	0	0	0	0

Entwurfstag eingeben; ENTWURFSTAG BESTÄTIGEN drücken!
Daten überschreiben (nur Zahlen, Komma, Minuszeichen)!
EINGEBEN drücken! SPEICHERN drücken!
Evtl. KONTROLLDRUCK und/oder KONTROLLGRAFIK erzeugen!
Evtl. Weitergehen zur Eingabe der VERSCHATTUNG!

Bild 2.13 Oberfläche zur Eingabe der Außentemperatur und der Sonnenstrahlung für die Entwurfstage 1 bis 4
Die Datenanzeige und die Dateneingabe erfolgen in Kommunikation mit der Datei **ZVERLAUF.dat**.

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG061\TEST15\

Spezielle zeitliche Temperatur- und Lastverläufe für Entwurfstag 4: Sommer-Extrehtag

Uhrzeit	t _{ah} °C	Solare Wärmestromdichte auf senkrechte Wände und Flachdach in W/m²								
		N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Dach
0	22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	21,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20,2	107	208	203	97	27	26	26	27	56
6	20,5	163	432	486	289	60	54	54	56	178
7	22,0	116	512	669	480	92	78	77	78	335
8	24,5	109	472	729	620	217	100	97	97	498
9	27,0	121	349	681	688	366	121	113	113	646
10	29,0	130	188	553	682	492	144	129	127	761
11	31,0	137	145	368	605	575	297	142	136	835
12	32,0	139	142	156	471	604	471	156	142	861
13	32,7	137	136	142	297	575	605	368	145	835
14	33,4	130	127	129	144	492	682	553	188	761
15	33,8	121	113	113	121	366	688	681	349	646
16	34,0	109	97	97	100	217	620	729	472	498
17	33,5	116	78	77	78	92	480	669	512	335
18	32,0	163	56	54	54	60	289	486	432	178
19	30,0	107	27	26	26	27	97	203	208	56
20	27,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	26,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	24,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	23,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Legende: t_{ah} Außentemperatur

Über KONTROLLGRAFIK können für die jeweiligen Entwurfstage die zeitlichen Außentemperaturverläufe in separaten Bildern und maximal vier Strahlungsverläufe in einem Bild erzeugt werden. Die Bilder 2.14 bis 2.16 zeigen Beispiele, die mit dem Bild 2.13 und dem zugehörigen Kontrollausdruck zahlenmäßig übereinstimmen.

Die im Abschnitt 2.3 gegebenen Hinweise zu den Einstellungsmöglichkeiten der Visualisierung gelten auch für diesen Anwendungsfall.

Es werden in einem Bild stets nur vier Kurven dargestellt!

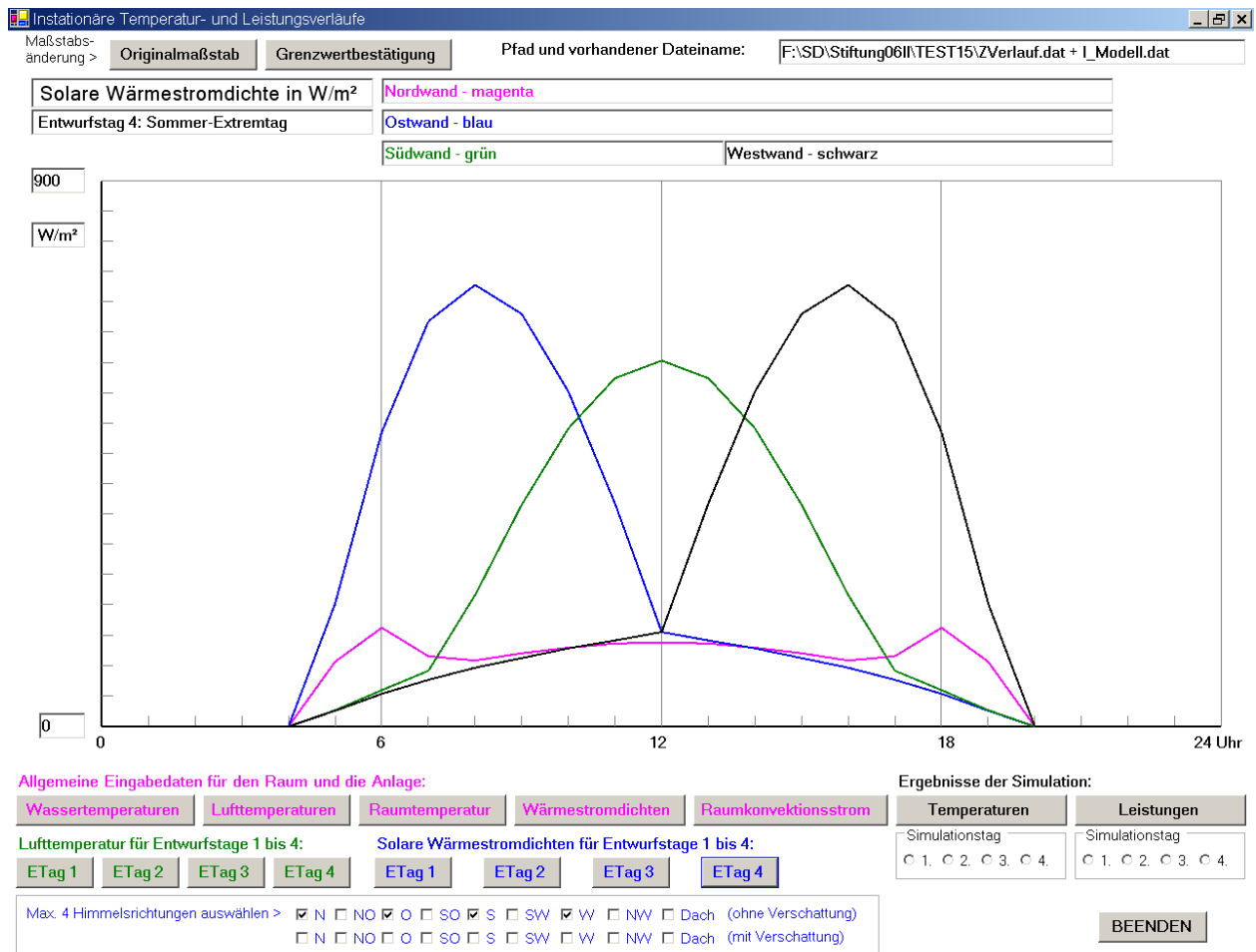


Bild 2.14 Monitorbild mit der gesamten Oberfläche zur Visualisierung ausgewählter Entwurfstage
Die dargestellten Strahlungsverläufe entstanden nach Auswahl der Himmelsrichtungen durch Drücken des blauen Buttons "ETag 4".

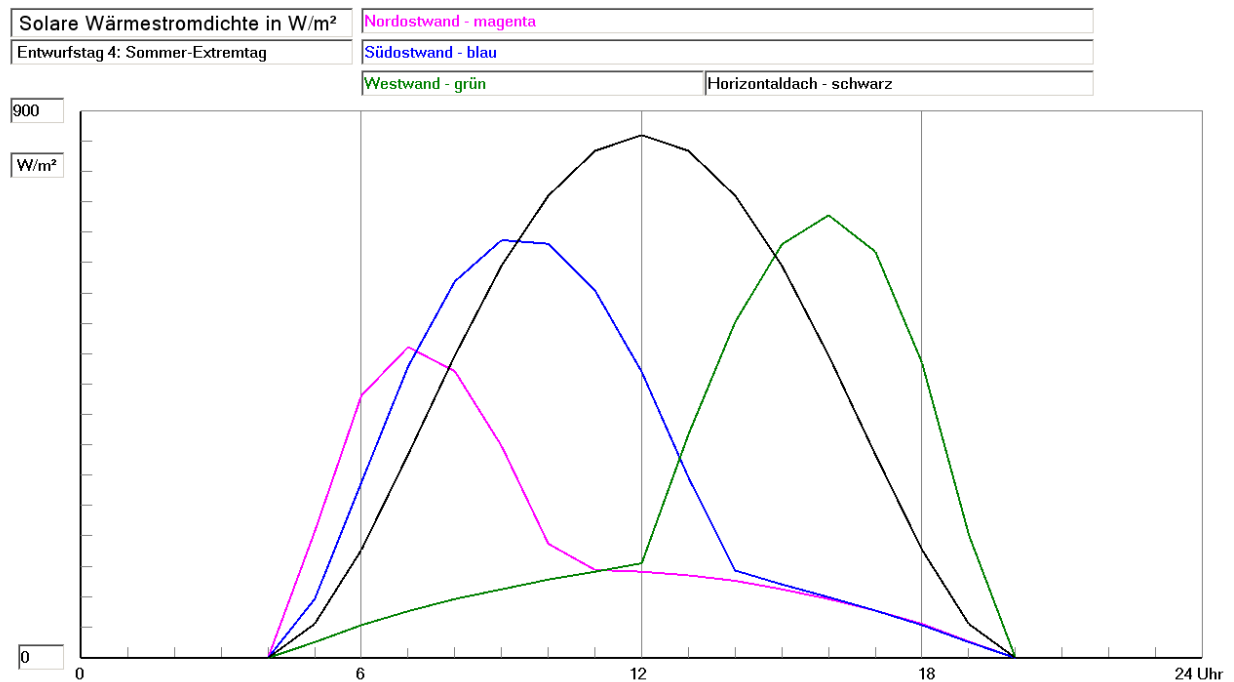


Bild 2.15 Analoge Darstellung zu Bild 1.14 bei veränderter Auswahl der besonnten Flächen
Das Monitorbild wurde kopiert und beschnitten.

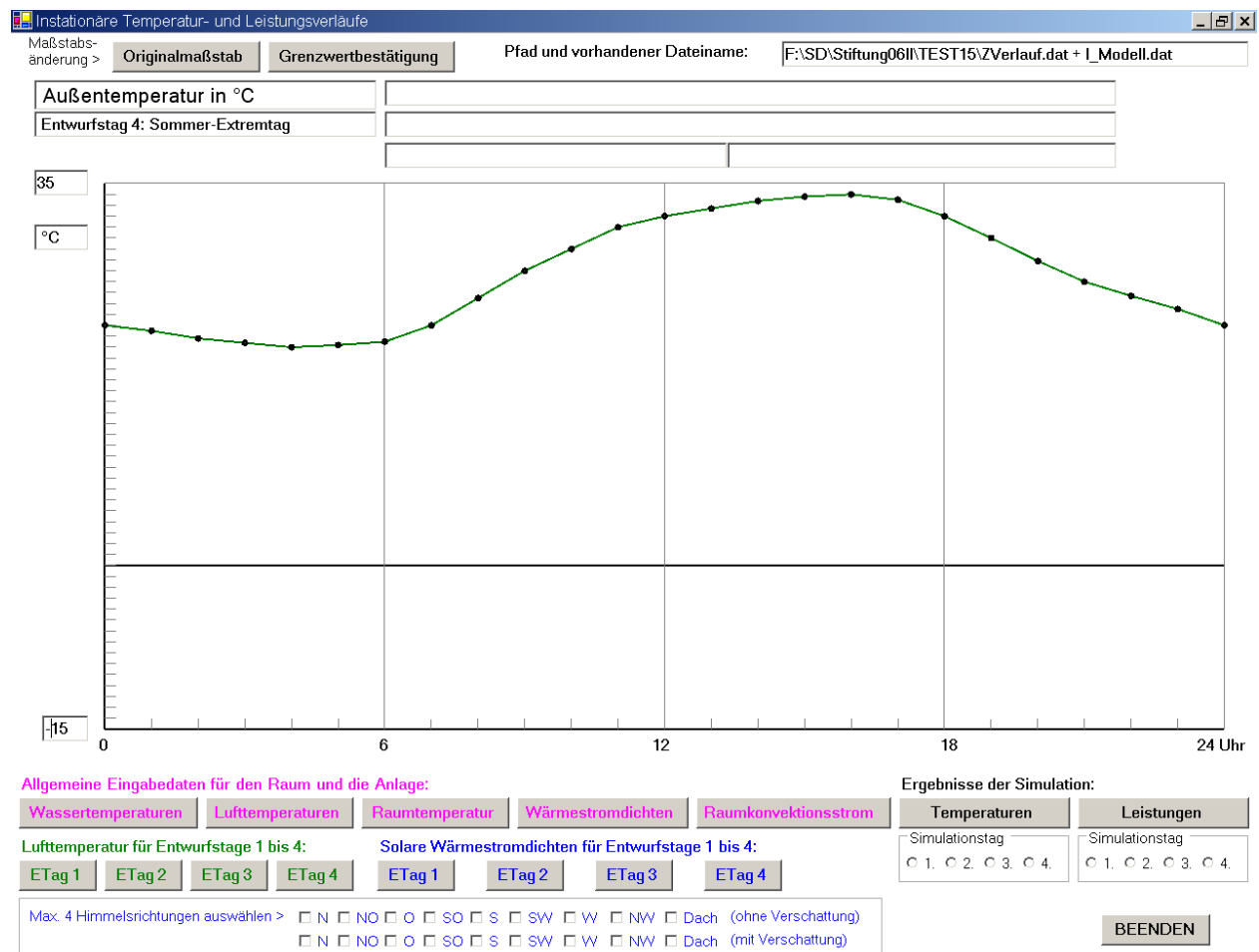


Bild 2.16 Teilansicht des Monitorbildes mit Darstellung des Außenlufttemperaturverlaufs für den Entwurfstag 4 (Erzeugung durch Betätigen des grünen Buttons "ETag 4")
Selbstverständlich könnte der Ordinatenmaßstab im Sinne einer genaueren Ablesung noch optimiert werden.

- Erläuterung der Eingabedaten zu den Entwurfstagen (Designdays)

Alle Größen werden für die vollen Stunden von 0⁰⁰ bis 24⁰⁰ Uhr angegeben, wobei die Werte für 0⁰⁰ und 24⁰⁰ Uhr identisch sein müssen. Der ausgewählte Entwurfstag wird während der Simulationszeit wiederholend abgearbeitet.

tah(ETag, Stunde)	°C	Außentemperatur für den Entwurfstag ETag Dieser Temperaturverlauf wird wirksam, wenn für das Bauteil i gemäß der "Basisdaten" iKoppel(i) = 3 gilt (siehe Bild 2.5).
SolWSD1h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Nordwand für ETag
SolWSD2h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Nordostwand für ETag
SolWSD3h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Ostwand für ETag
SolWSD4h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Südostwand für ETag
SolWSD5h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Südwand für ETag
SolWSD6h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Südwestwand für ETag
SolWSD7h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Westwand für ETag
SolWSD8h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Nordwestwand für ETag
SolWSD9h(ETag, Stunde)	W/m ²	Sonnenstrahlung (gesamt) auf Horizontalfläche für ETag

Hinweis: Alle Zwischenwerte werden linear interpoliert.

Wird in der Maske (Bild 2.13) VERSCHATTUNG aktiviert, folgt das Monitorbild nach Bild 2.17.

Eingabedaten für instationäres Simulationsmodell (Entwurfstage - Designdays / Minderungsfaktoren durch Verschattung)

Zielstellung
☒ Kontrolle bzw. Ergänzung der Belastungen und Temperaturen
☐ Neueingabe der Belastungen und Temperaturen (Datei noch nicht vorhanden)

Pfad und vorhandener bzw. zukünftiger Dateiname:
 F:\SD\Stiftung06\TEST15\ZVerlauf.dat

4 Entwurfstag 1 Winter - Heizlast, 2 Winter - Sonnentag
 3 Sommer - Sonnentag, 4 Sommer - Extrehtag

WEITER

Uhrzeit

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	FW
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Nordfenster																									0,804
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Nordostfenster																									0,869
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Ostfenster																									0,915
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Südostfenster																									0,87
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Südfenster																									0,782
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Südwestfenster																									0,87
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Westfenster																									0,915
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Nordwestfenster																									0,869
Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Horizontalfenster																									0,916

Entwurfstag eingeben; ENTWURFSTAG BESTÄTIGEN drücken!
 Daten überschreiben (nur Zahlen, Komma, Minuszeichen)!
 EINGEBEN drücken! SPEICHERN drücken!
 Evtl. KONTROLLDRUCK und/oder KONTROLLGRAFIK erzeugen!
 BEENDEN kehrt zur Eingabe des Entwurfstages (Strahlung) zurück!

FW Abminderungsfaktor für g-Wert infolge nicht senkrechter Einstrahlung (siehe Tabelle 3.4 und Bild 3.8) ^

ENTWURFSTAG BESTÄTIGEN / ANZEIGEN EINGEBEN SPEICHERN

KONTROLLGRAFIK KONTROLLDRUCK BEENDEN

Bild 2.17 Oberfläche zur Eingabe der Minderungsfaktoren durch Verschattung für die Entwurfstage 1 bis 4. Die Datenanzeige und die Dateneingabe erfolgen in Kommunikation mit der Datei **ZVERLAUF.dat**.

Die Handhabung der Eingabe entspricht weiterhin den bereits beschriebenen Hauptmerkmalen. Ein ausgewählter Kontrolldruck ist anschließend wiedergegeben. Zur gedanklichen Einordnung ist in dem Ausdruck die Außentemperatur mit aufgenommen worden.

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG0611\TEST15\

Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Entwurfstag 4: Sommer-Extremtag

Uhrzeit	tah °C	Strahlungsminderungsfaktoren für					verschattete Glasflächen			
		N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Dach
0	22,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	21,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	20,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	20,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4	20,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	20,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	20,5	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7	22,0	1,00	0,50	0,50	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	24,5	1,00	0,50	0,50	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
9	27,0	1,00	1,00	0,50	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
10	29,0	1,00	1,00	0,50	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
11	31,0	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
12	32,0	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
13	32,7	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
14	33,4	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
15	33,8	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
16	34,0	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	0,50	0,50
17	33,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	0,50	1,00
18	32,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,50	1,00
19	30,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00
20	27,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21	26,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
22	24,7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23	23,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
24	22,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FW:		0,804	0,869	0,915	0,870	0,782	0,870	0,915	0,869	0,916

Legende:

tah Außentemperatur

FW Abminderungsfaktor des g-Wertes infolge nicht senkrechten Strahlungseinfalls

Besonders interessant können die Kontrollgrafiken gestaltet werden, wenn man die direkte Gegenüberstellung der Gesamtstrahlungen auf die unverschattete Fläche und auf die verschattete Fläche vornimmt. Solche Beispiele zeigen die Bilder 2.18 und 2.19.

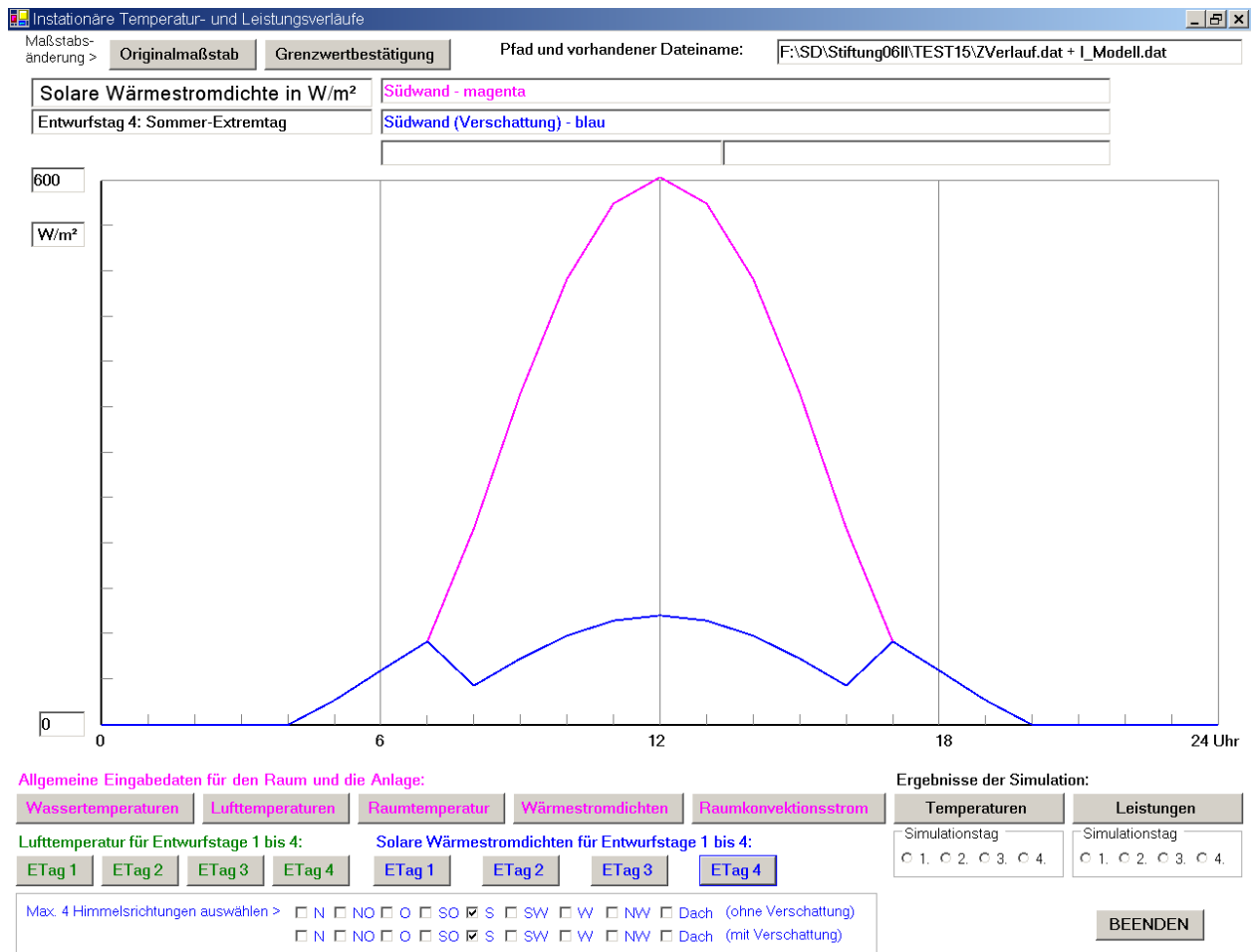


Bild 2.18 Monitorbild mit der gesamten Oberfläche zur Visualisierung ausgewählter Entwurfstage
Die dargestellten Strahlungsverläufe entstanden nach Auswahl der Himmelsrichtung "Süd" ohne bzw. mit Verschattung durch Drücken des blauen Buttons "ETag 4"

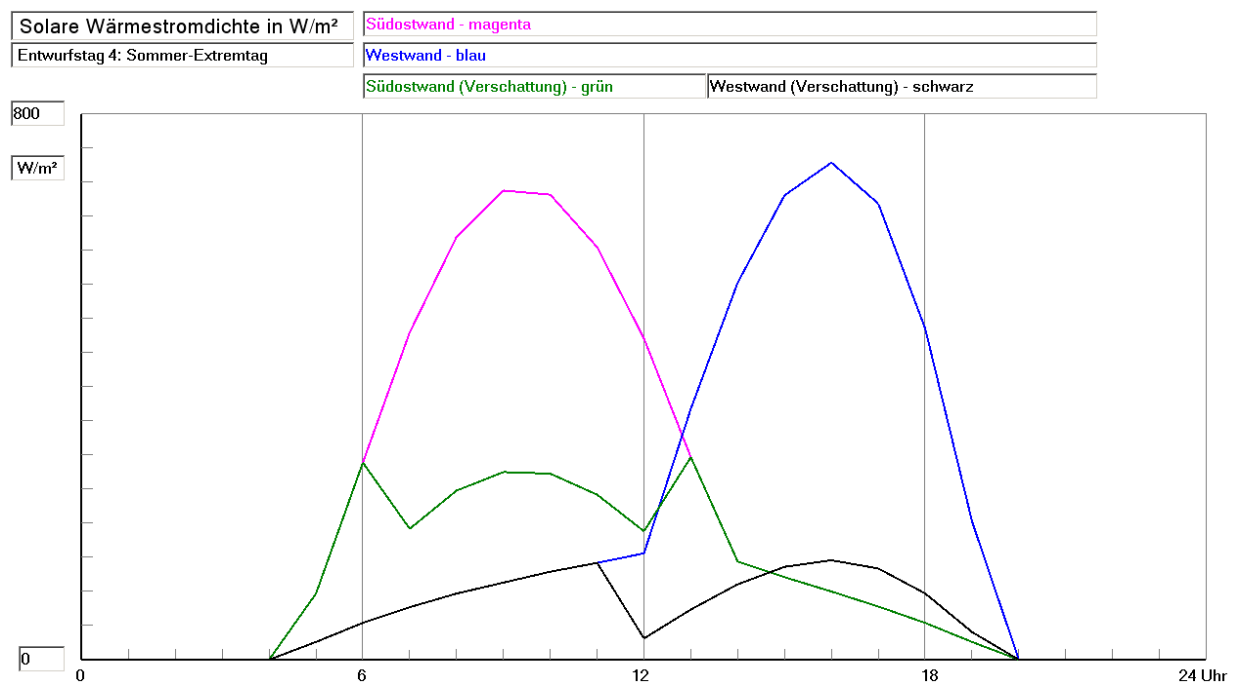


Bild 2.19 Analoge Darstellung zu Bild 2.18 bei veränderter Auswahl der besonnten Flächen ohne und mit Verschattung gemäß der Minderungsfaktoren nach Bild 2.17 bzw. dem zugehörigen Kontrollausdruck
Das Monitorbild wurde kopiert und beschnitten.

- Erläuterung der Eingabedaten zu den Abminderungsfaktoren F_C infolge Verschattung transparenter Bauteile für die Entwurfstage (siehe auch [2], Abschnitt 3.3)

In gewohnter Weise sind die Angaben für die vollen Stunden von 0^{00} bis 24^{00} Uhr vorzunehmen.

MinSCH1h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Nordfenster für ETag
MinSCH2h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Nordostfenster für ETag
MinSCH3h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Ostfenster für ETag
MinSCH4h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Südostfenster für ETag
MinSCH5h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Südfenster für ETag
MinSCH6h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Südwestfenster für ETag
MinSCH7h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Westfenster für ETag
MinSCH8h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Nordwestfenster für ETag
MinSCH9h(ETag, Stunde)	-	Abminderungsfaktor F_C bezogen auf Horizontalverglasung für ETag

Hinweis: Alle Zwischenwerte werden linear interpoliert.

- Erläuterung der Eingabedaten zum Abminderungsfaktor F_W infolge nicht senkrechten Strahlungseinfalls für die verschiedenen Himmelsrichtungen und die Entwurfstage (siehe auch [2], Abschnitt 3.2)

FW(ETag, Himmelsrichtung)	-	Abminderungsfaktor F_W für den g-Wert Der Gesamtenergiedurchlasskoeffizient nach DIN EN 410 gilt für senkrechte Strahlung $g_{\perp}$. F_W kann [2], Tabelle 3.4 oder Bild 3.8 entnommen werden.
---------------------------	---	--

3 Einheitliches Näherungsverfahren zur Simulation des Phasenwandels von Latentwärmespeichermaterialien

Die Verwendung von Latentspeichermaterialien befindet sich derzeit in verstärkter Diskussion. Für den Einsatz werden **vielfältige Substanzen** mit enorm unterschiedlichen chemo-physikalischen Eigenschaften vorgeschlagen. Dabei treten auch große **wärmetechnische Divergenzen beim Phasenwandel** auf, die bei der Simulation zu berücksichtigen sind. Trotz dieser Spezifika für die einzelnen Stoffe wird nachfolgend ein einheitliches, wärmetechnisches Näherungsverfahren zur numerischen Verfolgung des Phasenwandels vorgeschlagen.

Latentspeichermaterialien im Bauwesen zu verwenden, wurde und wird bereits vielfältig erörtert und bewertet. So ist beispielsweise der Einsatz von Bauplatten mit PCM-Anreicherungen bezüglich seiner Wirksamkeit – Heizenergieeinsparung und/oder Behaglichkeitsverbesserung an Hitzetagen – in [3] untersucht worden.

Im Gegensatz zur dezentralen Anordnung der Latentspeichermaterialien mit passiver Arbeitsweise steht die Installation eines separaten Wärmespeichers – beispielsweise eines Zentralspeichers – mit vollkommen steuerbaren Be- und Entladevorgängen. Dieser Speicher ist in das wärmetechnische Versorgungskonzept komplett einzubinden. Hierzu gibt es die übliche Anlagenvielfalt von gut regelbaren Wassersystemen mit örtlichen Raumheizkörpern oder thermisch aktiven Raumumfassungen bis hin zu Luftheiz- und Kühlsystemen. Hierzu wird derzeit eine ebenfalls von der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung geförderte Untersuchung durchgeführt und demnächst veröffentlicht.

Als Latentspeicherstoffe werden von verschiedenen Anbietern Paraffine, Salzhydrate, Paraffin-Salzhydrat-Gemische usw. empfohlen. Sie haben teilweise eine Mikro- oder Makroverkapselung aus Kunststoff.

3.1 Wärmetechnisches Basismodell

Das Material mit Latentspeichereigenschaften (PCM) bildet den kompletten Speicherkörper oder es ist beispielsweise als Mikrogranulat dem nur sensibel speichernden Material beigemischt, so beispielsweise in Gipskartonplatten, Lehmbauplatten oder Putzen. In jedem der Fälle wird ein **homogener Stoff mit gemittelten Stoffwerten** angenommen. Generell kann der Speicherkörper – wie in [1, Bilder 15.11 bis 15.13] dargestellt – aus mehreren Schichten bestehen, wobei auch Schichten mit rein sensibler Speicherung einbezogen sein können.

Bild 3.1 zeigt den universellen Aufbau eines **thermisch aktiven Bauteils** nach [1]. Wird das Rohrregister weggelassen und erfolgt die Be- und Entladung nur über die Oberflächen, dann handelt es sich um ein **thermisch passives Bauteil**.

Für den Speicherkörper innerhalb des Simulationsgebietes ist – wie in [1, Abschnitt 15] ausführlich beschrieben – die FOURIERSche Differentialgleichung in dreidimensionaler Form für den homogenen, isotropen Körper bei vorgegebenen Anfangs- und Randbedingungen zu lösen. Die durch die Phasenumwandlung bedingte latente Wärme wird dabei als innere Wärmequelle oder -senke betrachtet. Die Rohre und Kanäle mit den durch die Wandungen tretenden Wärmeströmen gelten dagegen als spezielle Randbedingungen des Speicherkörpers.

Als geeignetes numerisches Lösungsverfahren wurde die **Finite-Volumen-Methode** ausgewählt.

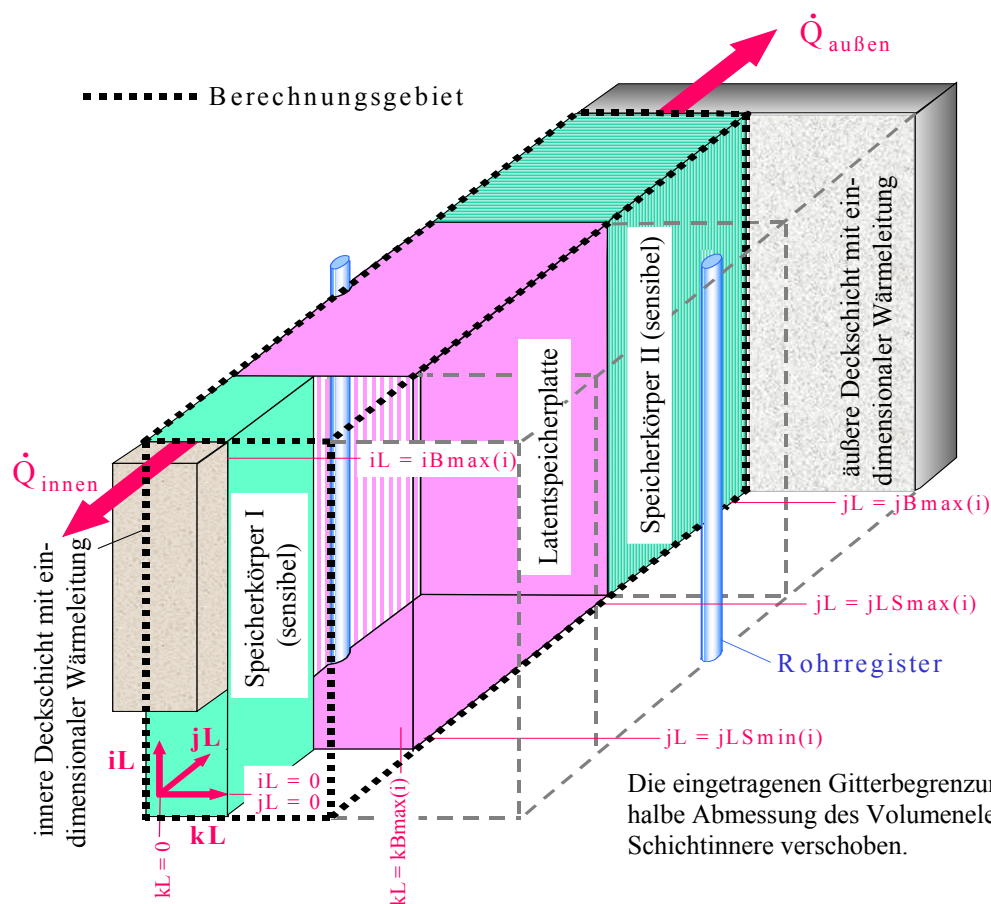


Bild 3.1 Vertikalausschnitt aus einer Latentspeicherplatte zwischen zwei benachbarten Rohren des Registers und angrenzenden sensiblen Speicherkörpern, die die Tiefe des Berechnungsgebietes bilden mit Angabe des bauteilinternen Koordinatenursprungs $i_L = 0$, $j_L = 0$, $k_L = 0$

Die Breite des Berechnungsgebietes erstreckt sich von der Rohrachse bis zur Mitte zwischen zwei Rohrachsen (Symmetriebedingung).

Im Berechnungsgebiet wird die Wärmeleitung dreidimensional betrachtet.

Die innere und äußere Deckschicht werden jeweils nur als Wärmeleitwiderstand $R_i(i)$ bzw. $R_a(i)$ erfasst.

Das thermisch aktive Bauteil mit den eingeformten, von Wärmeträgern durchflossenen Rohren und/oder Kanälen kann eine gesteuerte Be- bzw. Entladung erfahren.

3.2 Temperatur- und Phasenzustandsfeld

Das Temperaturfeld ist nach [1, Abschnitt 15] generell für das Bauteil i ($\equiv$ Dreiecksfläche i) und die bauteilinterne Gitterstruktur abzuspeichern. Somit gelten:

- $t_B(i, i_L, j_L, k_L)$.

Zusätzlich muss der Phasenzustand für die Latentspeicherschicht vermerkt werden:

- $\text{Phase}(i, i_L, j_L, k_L)$.

Um die Ableitung bezüglich des Phasenwandels in den Volumenelementen übersichtlich zu gestalten, wird im Weiteren nur die bauteilinterne Gitterstruktur betrachtet (vgl. [1, Abschnitt 15, "Wärmeleitung" und "Phasenwechsel"]).

Um den Phasenwechsel wärmetechnisch zu berücksichtigen, werden nachfolgende kennzeichnende

Definitionen eingeführt:

Phase_{i,j,k} Phasenzustand des Latentspeichermaterials im Volumenelement an der Stelle i; j; k
 Phase_{i,j,k} = 0: vollkommen erstarrtes ("festes") Material
 Phase_{i,j,k} = 1: vollkommen geschmolzenes ("flüssiges") Material.

"Phase" gibt somit den "geschmolzenen" Anteil an.

Die Simulation wird in konstanten Zeitschritten $\Delta\tau$ durchgeführt. Für die Zustandsgrößen gelten definitionsgemäß:

t_{i,j,k} Temperatur im Volumenelement an der Stelle i, j, k zu Beginn eines Zeitschrittes
 tn_{i,j,k} Temperatur im Volumenelement an der Stelle i, j, k am Ende eines Zeitschrittes
 Phase_{i,j,k} Phasenzustand im Volumenelement an der Stelle i, j, k zu Beginn eines Zeitschrittes
 Phasen_{i,j,k} Phasenzustand im Volumenelement an der Stelle i, j, k am Ende eines Zeitschrittes.

Der Appendix n bedeutet "neu". Nach kompletter Abarbeitung eines Zeitschrittes erfolgt das Umspeichern der Größen t_{i,j,k} = tn_{i,j,k} und Phase_{i,j,k} = Phasen_{i,j,k}.

3.3 Wärmetechnische Vorgänge im Speichermaterial

Das Speichermaterial kann generell **sensibel** und/oder **latent** die Wärme speichern. Es gelten die nachfolgenden elementbezogenen, wärmetechnischen Definitionen:

Δm Masse des Volumenelementes (Elementmasse) mit der Dichte ρ des Speichermaterials im Einbauzustand

$$\Delta m = \Delta V \rho \quad (3.1)$$

Q_{Phase} Phasenumwandlungswärme für die Elementmasse bei bekannter Phasenwandelenthalpie ("Schmelzwärme") r

$$Q_{\text{Phase}} = \Delta m r \quad (3.2)$$

Kap_{fest} Elementwärmekapazität des erstarrten ("festen") Materials bei gegebener spezifischer Wärmekapazität für den erstarrten Stoff c_{fest}

$$Kap_{\text{fest}} = c_{\text{fest}} \Delta m \quad (3.3)$$

Kap_{fl} Elementwärmekapazität des geschmolzenen ("flüssigen") Materials bei gegebener spezifischer Wärmekapazität für den geschmolzenen Stoff c_{fl}

$$Kap_{\text{fl}} = c_{\text{fl}} \Delta m. \quad (3.4)$$

Die Berechnung der Wärmeleitung zwischen den Volumenelementen einschließlich der eventuell vorhandenen Berandungen (Rohr- bzw. Kanalwände und/oder äußerer Bauteilrand) innerhalb des Zeitschrittes liefert elementweise:

QE Wärme an das Volumenelement innerhalb $\Delta\tau$.

3.3.1 Phasenwandel bei identischer Schmelz- und Erstarrungstemperatur

Im Idealfall liegt eine einheitliche Schmelz- und Erstarrungstemperatur t_{Wandel} vor. Dies trifft beispielsweise auf den bekanntesten Fall Wasser / Eis zu. Auch bei reinen Paraffinen ist dies näherungsweise gegeben. Während des Phasenwandels bleibt die Temperatur ($\equiv$ Phasenwandeltemperatur t_{Wandel}) konstant.

Der temperaturabhängige Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t)$ ist im Bild 3.2 visualisiert. Der betrachtete Idealfall zeichnet sich durch lineare Anstiege im ungeschmolzenen ("festen") Stoff von $dh/dt = c_{\text{fest}}$ und im geschmolzenen ("flüssigen") Stoff von $dh/dt = c_{\text{fl}}$ aus. Im Bereich des Phasenwandels von Phase = 0 ... 1 ist die Temperatur konstant (t_{Wandel}), sodass hier eine fiktive spezifische Wärmekapazität $c_{\text{Phasenwandel}} \rightarrow \infty$ gelten würde.

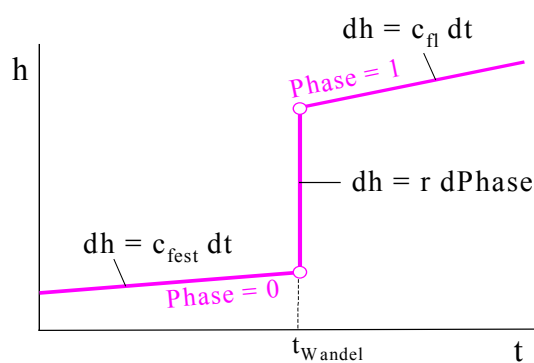


Bild 3.2 Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t, \text{Phase})$ in Abhängigkeit der Materialtemperatur t und des Phasenzustandes Phase im Idealfall des Phasenwandels bei konstanter Temperatur t_{Wandel}

Zur rechnerischen Verfolgung des Schmelz- bzw. Erstarrungsvorganges wird der vertikale Enthalpiesprung vom Phasenzustand linear geteilt. Zusammenfassend stellt h somit eine Funktion der Temperatur t und des Phasenzustandes Phase dar:

$$h = h(t, \text{Phase}). \quad (3.5)$$

Mit Kenntnis der Wärmezufuhr an das Volumenelement QE sind bestimmbar:

- die Temperaturänderung bei rein sensibler Wärmespeicherung
- die Änderung des Phasenzustandes bei rein latenter Wärmespeicherung
- die Temperatur- und Phasenzustandsänderungen bei sensibler und latenter Wärmespeicherung.

Beispielsweise ergibt sich im ersten Fall – d. h. ohne Wirkung von Phasenwandelexeffekten – am Ende eines Zeitschrittes Δt die neue Temperatur $tn_{i,j,k}$ nach folgenden einfachen Rechenschritten:

$$\Delta t = \frac{QE}{\text{Kap}_{\text{fest}}} \quad \text{bzw. bei geschmolzenem Material} \quad \Delta t = \frac{QE}{\text{Kap}_{\text{fl}}} \quad (3.6)$$

$$tn_{i,j,k} = t_{i,j,k} + \Delta t. \quad (3.7)$$

Die Berücksichtigung des Phasenwandels beim Aufheizen oder Abkühlen muss differenzierter erfolgen. Hierbei ist der vorhandene Umwandlungsgrad $\text{Phase}_{i,j,k}$ zu beachten und Δt sowie $tn_{i,j,k}$ nach den Gln. (3.6) und (3.7) stellen zunächst nur Zwischenergebnisse einer Vorrechnung dar. Die erforderlichen Rechenabläufe werden zweckmäßigerweise in einer Programmstruktur formuliert. Sie ist

im Bild 3.12 als Teil einer komplexeren Wiedergabe, die auch die Hysterese beim Phasenwandel beachtet, integriert.

3.3.2 Phasenwandel bei unterschiedlichen Schmelz- und Erstarrungsverläufen – Hystereseformen

Gegenüber dem Idealfall zeigen die meisten PCMs, so beispielsweise Salzhydrate und Paraffin-Salzhydrat-Gemische ein deutlich verändertes Verhalten beim Phasenwandel. Die Schmelz- und Erstarrungstemperatur unterscheiden sich, es liegt eine **Hysterese** vor.

Dabei könnten die Vorgänge aufgrund der vorhandenen Anomalien in verschiedene Kategorien eingeteilt und entsprechend modelliert werden, die zum Teil aber wiederum Idealisierungen der Wirklichkeit darstellen.

• Hysterese Form A

Der Phasenwandel erfolgt bei unterschiedlichen Temperaturen ($t_{\text{Wandelo}} > t_{\text{Wandelu}}$):

t_{Wandelo} Schmelzen

t_{Wandelu} Erstarren.

Während des Phasenwandels bleibt die jeweilige Temperatur aber konstant (Bild 3.3). Um die im Bild dargestellten Abläufe in einen Algorithmus zu fassen, wären die zwei Phasenwechseltemperaturen t_{Wandelo} sowie t_{Wandelu} und zwei unterschiedliche Phasenwandelenthalpien r_s (Schmelzen) sowie r_E (Erstarren) einzuführen. Letztere ergäben sich aufgrund der ungleichen Werte für die spezifischen Wärmekapazitäten c_{fest} und c_{fl} , die über die Temperaturdistanz ($t_{\text{Wandelo}} - t_{\text{Wandelu}}$) wirken.

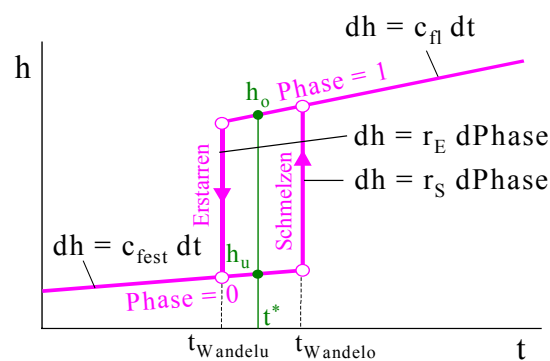


Bild 3.3 Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t, \text{Phase})$ in Abhängigkeit der Materialtemperatur t und des verlaufsabhängigen Phasenzustandes Phase bei einer Hysterese nach Form A

Liegen die beiden Phasenwandeltemperaturen eng beieinander, kann der Phasenwandelvorgang in einfachster Weise mit dem Algorithmus der Ideallösung unter Verwendung der mittleren Phasenwandeltemperatur

$$t_{\text{Wandel}} = 0,5 (t_{\text{Wandelo}} + t_{\text{Wandelu}}) \quad (3.8)$$

näherungsweise nachgebildet werden (Bild 3.4).

Eine weitere Näherung besteht darin, dass nach Bild 3.5 ein linearer Zustandsverlauf zwischen den Punkten I (t_{Wandelu} , $\text{Phase} = 0$) und II (t_{Wandelo} , $\text{Phase} = 1$) angesetzt und – wie später vorgestellt – algorithmiert wird. Damit erfolgt jedoch der Phasenwandel bei sich ändernder Temperatur.

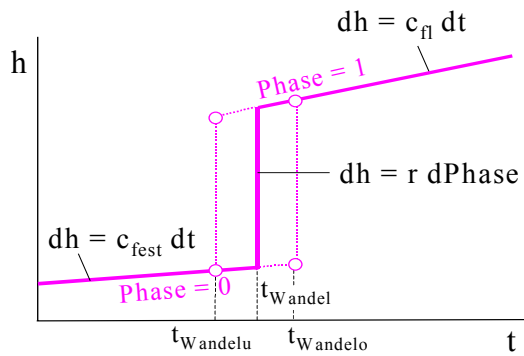


Bild 3.4 Einfachste, näherungsweise Nachbildung der Hystereseform A durch Definition einer mittleren Temperatur t_{Wandel} und Verwendung des Idealfalls gemäß Bild 3.2

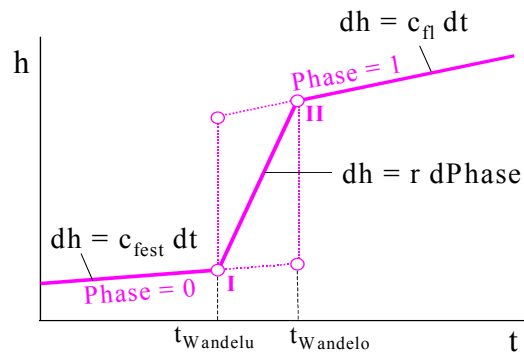


Bild 3.5 Näherungsweise Nachbildung der Hystereseform A durch Definition einer linearen Zustandsänderung $h(t)$ während des Phasenwandels

• Hysterese Form B

Der Phasenwandel erfolgt bei gleichzeitiger Temperaturänderung (Bild 3.6). Zudem beginnt er jeweils bei unterschiedlichen Temperaturen:

t_S Beginn des Schmelzens

t_{Wandelo} Ende des Schmelzens

t_E Beginn des Erstarrens

t_{Wandelu} Ende des Erstarrens.

Der Gesamtvorgang vollzieht sich wiederum im Temperaturbereich: $t_{\text{Wandelu}} \dots t_{\text{Wandelo}}$.

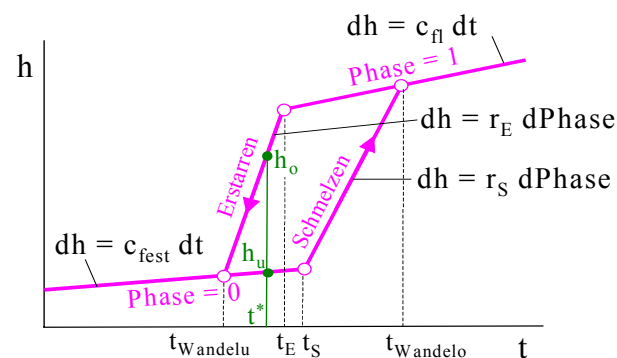


Bild 3.6 Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t, \text{Phase})$ in Abhängigkeit der Materialtemperatur t und des verlaufsabhängigen Phasenzustandes Phase bei einer Hysterese nach Form B

Auch für diesen speziellen Ablauf könnte man bei Beachten der vier signifikanten Temperaturen, die den Phasenwandel einleiten bzw. beenden sowie der unterschiedlichen Phasenwandelenthalpien beim Schmelzen und Erstarren einen umfangreichen Algorithmus erstellen.

Stark vereinfachend würde sich analog zu Bild 3.5 ein linearer Ersatzverlauf für den Phasenwandel gemäß Bild 3.7 anbieten.

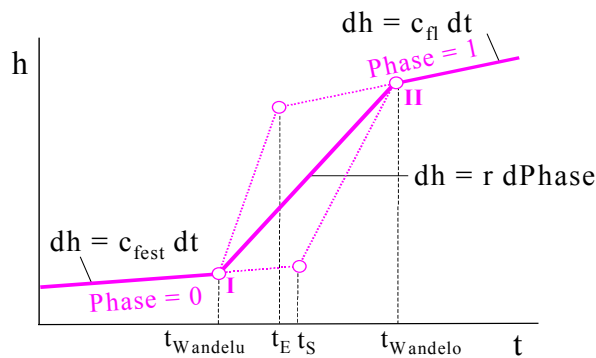


Bild 3.7 Näherungsweise Nachbildung der Hystereseform B durch Definition einer linearen Zustandsänderung $h(t)$ während des Phasenwandels

- **Diskussion zur Hysterese und ihrer vereinfachten Nachbildung**
- Das Hauptproblem besteht darin, dass die spezifische Enthalpie des Speichermaterials keine eindeutige Temperatur- oder Phasenfunktion mehr ist. Genaugenommen stellt sie somit im Bereich zwischen Schmelzen und Erstarren keine reine Zustandsgröße dar, sondern ist eine von der Prozessführung – also eine vom Weg – abhängige Größe. Im Bereich $t_{\text{Wandelu}} \dots t_{\text{Wandelo}}$ können beispielsweise zur Temperatur t^* zwei Grenzspeicherzustände h_u und h_o gehören, wie die grünen Eintragungen in den Bildern 3.3 und 3.6 verdeutlichen.
- Eine genaue Algorithmierung wäre nur dann zielführend, wenn die Lade- und Entladezyklen stets vollkommen erfolgten. Dies ist in praxi aber nicht gegeben, denn im Speichermaterial wird es stets Bereiche geben, die beispielsweise nach einem Teilerstarren bereits wieder eine Wärmezufuhr erhalten und umgekehrt. D. h., es sind auch Be- und Entladevorgänge im Bereich $t_{\text{Wandelo}} \dots t_{\text{Wandelu}}$ möglich, ohne dass vorher die Zustände Phase = 0 oder Phase = 1 erreicht waren. Die Zustandsverläufe bei Teilent- und Teilbeladungen bewegen sich in unterschiedlichen Formen zwischen den Schmelz- und Erstarrungskurven.
- Hinzu kommt, dass die realen Vorgänge in der Regel dadurch gekennzeichnet sind, dass oftmals keine definierten Eckpunkte der Zustandsverläufe existieren. Es ergeben sich beispielsweise Verläufe der spezifischen Enthalpie als Funktion der Temperatur, die dem Bild 3.8 qualitativ entsprechen.
- Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass die Temperaturänderungsgeschwindigkeit im Speichermaterial die Form des Phasenwechsels mitunter signifikant beeinflusst (Bild 3.9) [4]. Dabei stellt die resultierende Temperaturänderungsgeschwindigkeit an den einzelnen Gitterpunkten i, j, k im Latentspeichermaterial eine sehr komplexe Funktion dar. Es nehmen Einfluss: Wärmekapazität und Temperatur des Medienstromes zur Speicherbe- bzw. -entladung, die zeitlichen und örtlichen Wärmeübergangsbedingungen am Speicherkörper sowie die Wärmeleitvorgänge im Speichermaterial. Somit ist eine Vorausberechnung der real auftretenden Temperaturänderungsgeschwindigkeit in der Regel nicht möglich.
- Als pragmatisch begründete Näherung wird im Weiteren der lineare Zustandsverlauf zwischen den Punkten I (t_{Wandelu} , Phase = 0) und II (t_{Wandelo} , Phase = 1) gemäß den Bildern 3.5 und 3.7 verwendet. Er bietet den Vorteil der eindeutigen Zuordnung $h(t)$.

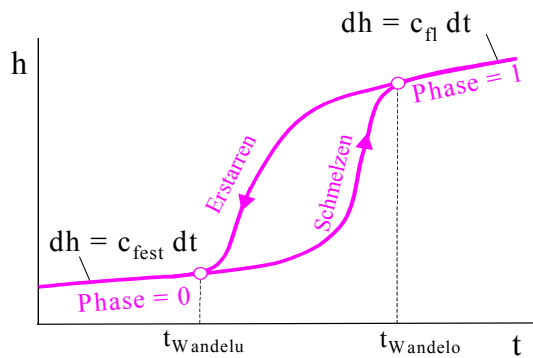


Bild 3.8 Qualitatives Beispiel für einen realen Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t)$ in Abhängigkeit der Materialtemperatur t und der Richtung des Phasenwandels bei einer bestimmten Temperaturänderungsgeschwindigkeit

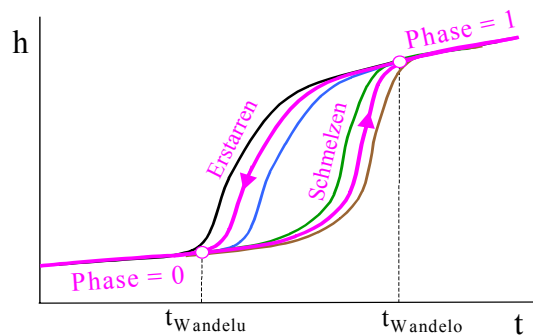


Bild 3.9 Qualitative Beispiele für reale Verläufe der spezifischen Enthalpie $h(t)$ in Abhängigkeit der Materialtemperatur t und der Richtung des Phasenwandels bei unterschiedlichen Temperaturänderungsgeschwindigkeiten gemäß den farbigen Kurven

- Einheitliche Näherung für den Phasenwandel mit Hysterese

Es wird davon ausgegangen, dass unterschiedliche Schmelz- und Erstarrungstemperaturen existieren, sich der gesamte Prozessablauf aber innerhalb der Grenzen $t_{Wandelu}$ sowie $t_{Wandelo}$ vollzieht. Der Verlauf $h(t)$ nach Bild 3.10 stellt einen Ersatzprozess der realen Vielfalt dar. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass eine eindeutige Funktion zwischen der spezifischen Enthalpie h und der Materialtemperatur t besteht. Im Bereich $t_{Wandelu} \dots t_{Wandelo}$ sei weiterhin ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Temperatur t und dem geschmolzenen Materialanteil Phase gegeben. Somit gelten im Unterschied zum Idealprozess nach Gl. (3.5) die Beziehungen:

$$h = h(t); \quad \text{Phase} = \text{Phase}(t = t_{Wandelu} \dots t_{Wandelo}). \quad (3.9)$$

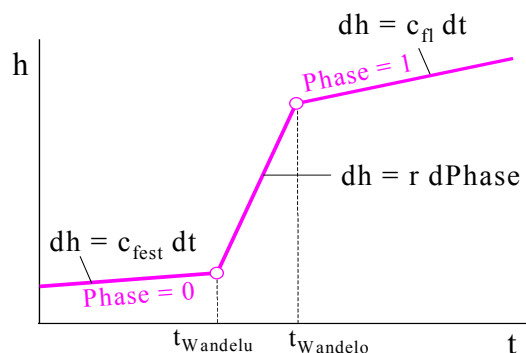


Bild 3.10 Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t)$ in Abhängigkeit der Materialtemperatur t als Approximation des Realfalles mit unterschiedlichen Formen des Phasenwechsels

Im Bereich $t_{Wandelu} \dots t_{Wandelo}$ besteht ein eindeutiger funktionaler Zusammenhang zwischen dem Phasenzustand und der Temperatur: $\text{Phase} = \text{Phase}(t)$.

Mit der bekannten Definition für den Phasenzustand $\text{Phase}_{i,j,k}$ für das Volumenelement an der Stelle i, j, k kann dann die Zuordnung der Temperatur $t_{i,j,k}$ hergestellt werden:

$$t_{i,j,k} = t_{\text{Wandelu}} + \text{Phase}_{i,j,k} (t_{\text{Wandelo}} - t_{\text{Wandelu}}) \quad \text{für } t_{i,j,k} = t_{\text{Wandelu}} \dots t_{\text{Wandelo}}. \quad (3.10)$$

Der im Bild 3.10 dargestellte, aus drei Abschnitten bestehende temperaturabhängige Verlauf der spezifischen Enthalpie $h(t)$ könnte nach einem einheitlichen thermodynamischen Berechnungsverfahren behandelt werden, indem lediglich unterschiedliche spezifische Wärmekapazitäten Berücksichtigung fänden. Davon wird jedoch abgesehen, um weiterhin eine Analogie zum Idealfall des Phasenwandels zu wahren und um in allen Schritten des Algorithmus auch den Phasenwandelzustand $\text{Phase}_{i,j,k}$ zu dokumentieren. Damit behält auch die Phasenumwandlungswärme bezogen auf die Elementmasse Q_{Phase} nach Gl. (3.2) ihre Gültigkeit.

Hinweis: Es sei in diesem Zusammenhang angemerkt, dass als Ergebnis der experimentellen Befunde häufig die spezifische Wärmekapazität c_{PCM} des Latentspeichermaterials einschließlich des Phasenwandelbereiches als Temperaturfunktion dargestellt wird. Führt man dieses Ergebnis in die numerische Berechnung ein, können mitunter relativ große Fehler entstehen. Demgegenüber stellt die Phasenwandelenthalpie r quasi eine "summarische Ergebnisgröße" dar, deren Anteile $r \times \text{Phase}$ stets auf die "Summengröße" bezieht.

3.3.3 Einheitlicher Algorithmus zur Ermittlung der Temperatur- und Phasenänderung

Zur rechnerischen Verfolgung der Temperaturänderung im sensiblen und im latenten Wärmespeicherbereich sowie unter den Besonderheiten des idealen Phasenwandels und des Phasenwandels mit Hysterese ist der nachfolgende Rechenablauf entwickelt worden. Er berücksichtigt die Zustandsänderungen, die von allen real möglichen Punkten A, B, C, D, E (Bild 3.11) ausgehen und deren Wärmeeintrag in das Volumenelement i, j, k positiv oder negativ ist ($Q > 0$, $Q = 0$, $Q < 0$).

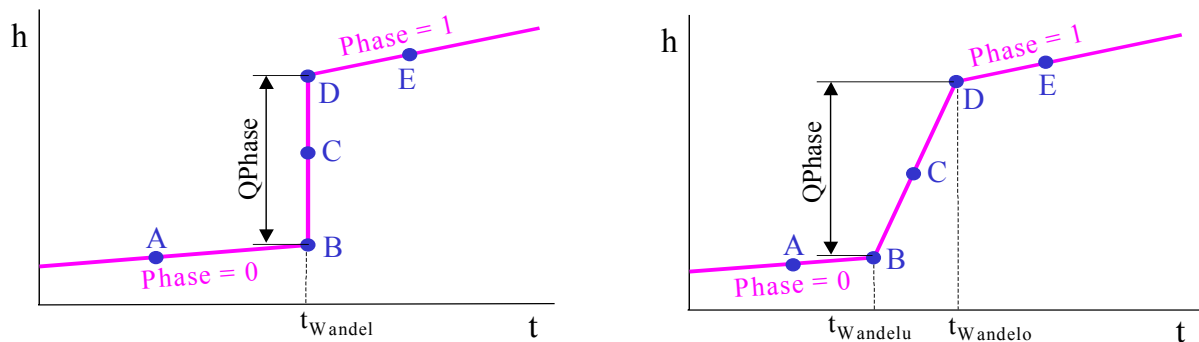


Bild 3.11

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

Rechts: Näherung für Phasenwandel mit veränderlicher Temperatur $t_{\text{Wandelu}} \dots t_{\text{Wandelo}}$ (Hysterese)

Der Algorithmus nach Bild 3.12 ist universell gestaltet, sodass alle Punkte A bis E Ausgangspunkte und gleichzeitig auch Endpunkte der Zustandsänderung sein können. Für die einem Volumenelement ΔV zugeführte Wärme Q kann gelten: $Q > 0$, $Q = 0$, $Q < 0$ sowie $|Q| = 0 \dots > Q_{\text{Phase}}$.

Weiterhin finden unterschiedliche Größen des Wärmeeintrags Beachtung: $|Q| = 0 \dots > Q_{\text{Phase}}$. Damit ist es selbstverständlich auch möglich, den kompletten Phasenwandel von "fest" bis "flüssig" oder umgekehrt zu verfolgen. Die Berechnung beginnt stets mit einer Untersuchung der sensiblen Wärmespeicherung bis zum eventuellen Beginn des Phasenwandels. Die verbleibende Restwärme im Element steuert dann den weiteren Rechengang.

Der nachfolgend dargestellte Berechnungsablauf (Bild 3.12) ist zunächst allgemeingültig formuliert. Zur Verringerung der Zugriffszeiten sind verschiedene mit i, j, k indizierte Größen während der speziellen Berechnung (d. h. im "Rechenkern") durch einfache Variable ersetzt, beispielsweise gilt $PH = \text{Phase}(i, j, k)$ usw., die am Schluss wieder entsprechend zurückgegeben werden.

```

'Übergabe von vorhandenen Feldgrößen
t1= t(i,j,k)
PH = Phase(i,j,k)
QE = Q(i,j,k)

'Ermittlung der neuen Temperatur ohne Beachten des Phasenwandels
QER = 0          'QER bedeutet verbleibende Restwärme im Element
If t1<= tWandelu And PH = 0 Then
    tneu = t1+ QE / Kapfest
    If tneu >= tWandelu Then QER = QE - Kapfest * (tWandelu - t1)
ElseIf t1>= tWandelo And PH = 1 Then
    tneu = t1+ QE / Kapfl
    If tneu <= tWandelo Then QER = QE - Kapfl * (tWandelo - t1)
Else
    QER = QE
    tneu = t1
End If
'Phasenwandel im Idealfall oder mit Hysterese
If PH < 1 And QER > 0 Then
    'Aufheizfall
    If QER < (1 - PH) * QPhase Then
        PH = PH + QER / QPhase
        tneu = tWandelu + PH * (tWandelo - tWandelu)
    Else
        tneu = tWandelo + (QER - (1 - PH) * QPhase) / Kapfl
        PH = 1
    End If
ElseIf PH > 0 And QER < 0 Then
    'Abkühlfall
    If Math.Abs(QER) < PH * QPhase Then
        PH = PH + QER / QPhase
        tneu = tWandelu + PH * (tWandelo - tWandelu)
    Else
        tneu = tWandelu + (QER + PH * QPhase) / Kapfest
        PH = 0
    End If
End If

'Rückgabe der ermittelten Werte als neue Feldgrößen
tn(i,j,k) = tneu
Phasen(i,j,k) = PH

```

Bild 3.12 Universeller Algorithmus zur Berechnung der thermodynamischen Zustandsänderung in Latentspeichermaterialien (vgl. auch Bild 3.11)

Der Code ist in VISUALBASIC.NET geschrieben.

Der Algorithmus nach Bild 3.12 wird im Unterprogramm WAERMEINSTAT integriert. Das Einsetzen muss an mehreren Stellen erfolgen, da unterschiedliche Speichertypen zu berücksichtigen sind. Die detaillierten Anpassungen sind dem Unterprogramm im Abschnitt 4.2 zu entnehmen.

3.4 Fazit

Latentspeichermaterialien (PCM), die als Beimischungen in Baustoffen oder aber auch direkt in Wärmespeichern eingesetzt werden, weisen Enthalpieverläufe beim Phasenwechsel auf, die stark

vom klassischen Idealfall – konstanter Temperatur – abweichen können. Auch im Falle eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Phasenzustand und Stofftemperatur besteht häufig keine Eindeutigkeit. Es nimmt beispielsweise die Richtung des wärmetechnischen Vorganges "Schmelzen" oder "Erstarren" auf $h = h(t)$ Einfluss, sodass eine Hysterese vorhanden ist. Schließlich kann die Temperaturänderungsgeschwindigkeit im Material noch bedeutungsvoll sein. Die Vielfalt der realen Gegebenheiten und die Tatsache, dass an verschiedenen Speicherorten und zu unterschiedlichen Zeiten auch Teilent- und Teilbeladungen auftreten, führten zu einem Näherungsmodell. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, dass in einem Phasenwechselbereich $t_{\text{Wandelu}} \dots t_{\text{Wandelo}}$ stets ein definierter Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Phasenzustand besteht. Der Algorithmus ist allgemeingültig gestaltet, sodass auch der Idealfall des Phasenwandels bei einer konstanten Temperatur t_{Wandel} integriert ist.

Der vorgestellte Programmbaustein wird auch erfolgreich bei der Simulation von Zentralspeichern mit latentem Speichermaterial genutzt.

4 Programmergänzungen

Die hauptsächliche Programmergänzung dient der Einarbeitung der einheitlichen Näherung zur Simulation eines Phasenwandels mit Hysterese nach Abschnitt 3. Diese Ergänzung zieht allerdings eine Reihe von weiteren Änderungen nach sich. Die teilweise Neugestaltung wird dadurch komplex, da die bisherige Lösung des Phasenwandels bei einer festen Phasenwandeltemperatur als Sonderfall enthalten bleiben muss. Dazu gehört beispielsweise auch die Berechnung der Speicherwärme.

4.1 Neufassung der Speicherwärmeberechnung

Die **Speicherwärme** soll das **Heiz- bzw. Kühlpotenzial** gegenüber der Raumsolltemperatur zeigen. Sie stellt somit eine "vorausschauende" Größe dar. Es handelt sich jedoch um einen theoretischen Wert, der nur realisiert werden könnte, wenn die Temperatur des Bauteils die Raumsolltemperatur annehmen würde. Dies bedürfte unter Umständen einer unendlich langen Zeit.

Das Grundprinzip zur Ermittlung besteht in einem vierteiligen Vorgehen:

- Die Speicherenthalpie ("Wärmeinhalt") h_t wird für die Temperatur $t_{i,j,k}$ des Volumenelementes i, j, k bezogen auf 0°C bestimmt.
- Es erfolgt der analoge Rechengang wie vorstehend beschrieben für die Raumsolltemperatur t_{Esoll} mit dem Ergebnis $h_{t_{\text{Esoll}}}$.
- Die Differenz $h_t - h_{t_{\text{Esoll}}}$ stellt das gesuchte Heiz- Kühlpotenzial dar.
- Die Summation über alle Volumenelemente i, j, k ergibt dann die gesuchte Speicherwärme

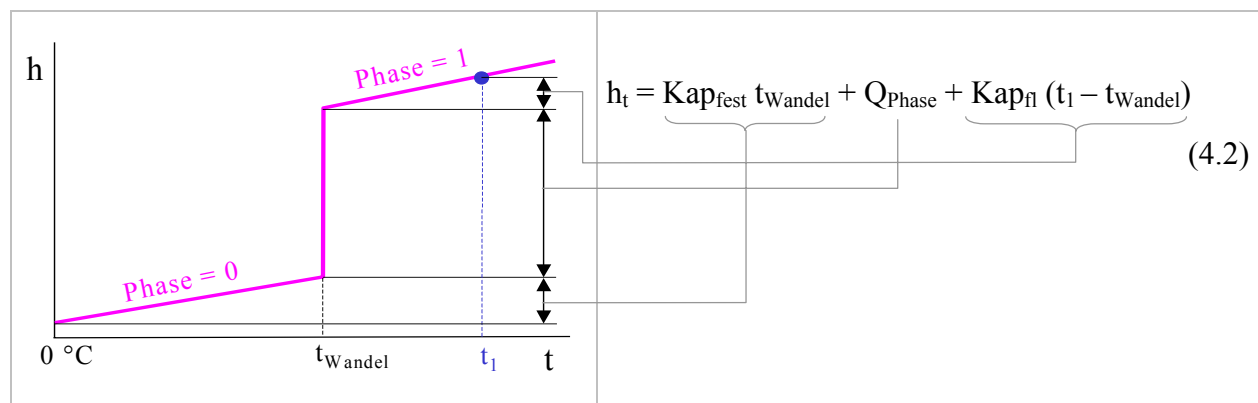
$$H = \sum_i \sum_j \sum_k (h_t - h_{t_{\text{Esoll}}})_{i,j,k} \cdot \quad (4.1)$$

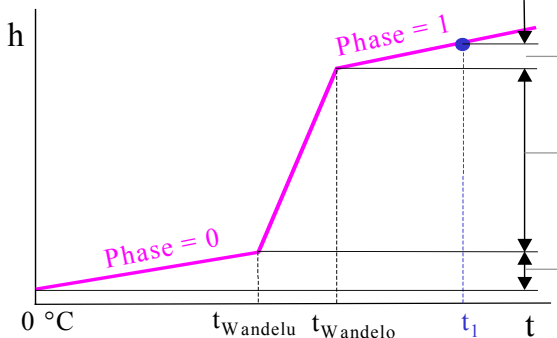
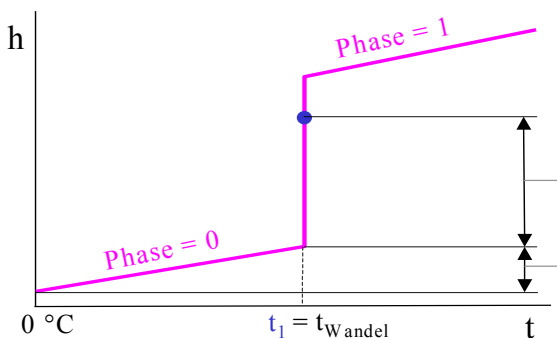
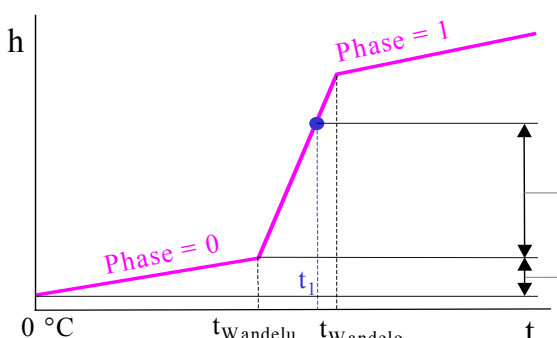
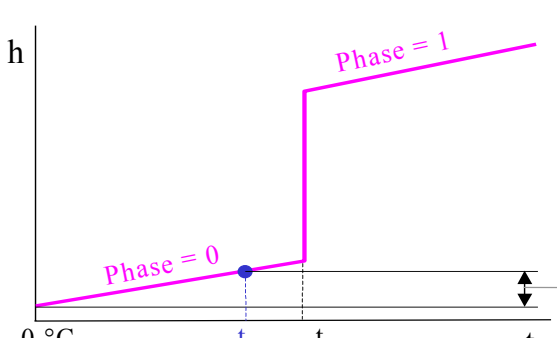
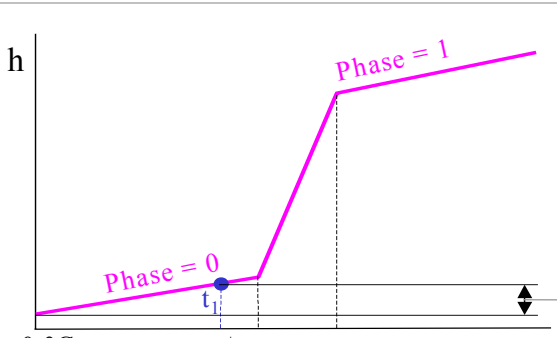
Die detaillierte Vorgehensweise der Ermittlung von h_t und $h_{t_{\text{Esoll}}}$ in Abhängigkeit der Art des Phasenwandels und der Temperaturen wird nachfolgend gezeigt. Die Summanden werden in den Skizzen als Pfeile veranschaulicht.

Zur Abkürzung werden gesetzt:

$$t_1 = t_{i,j,k}; \text{ PH} = \text{Phase}_{i,j,k};$$

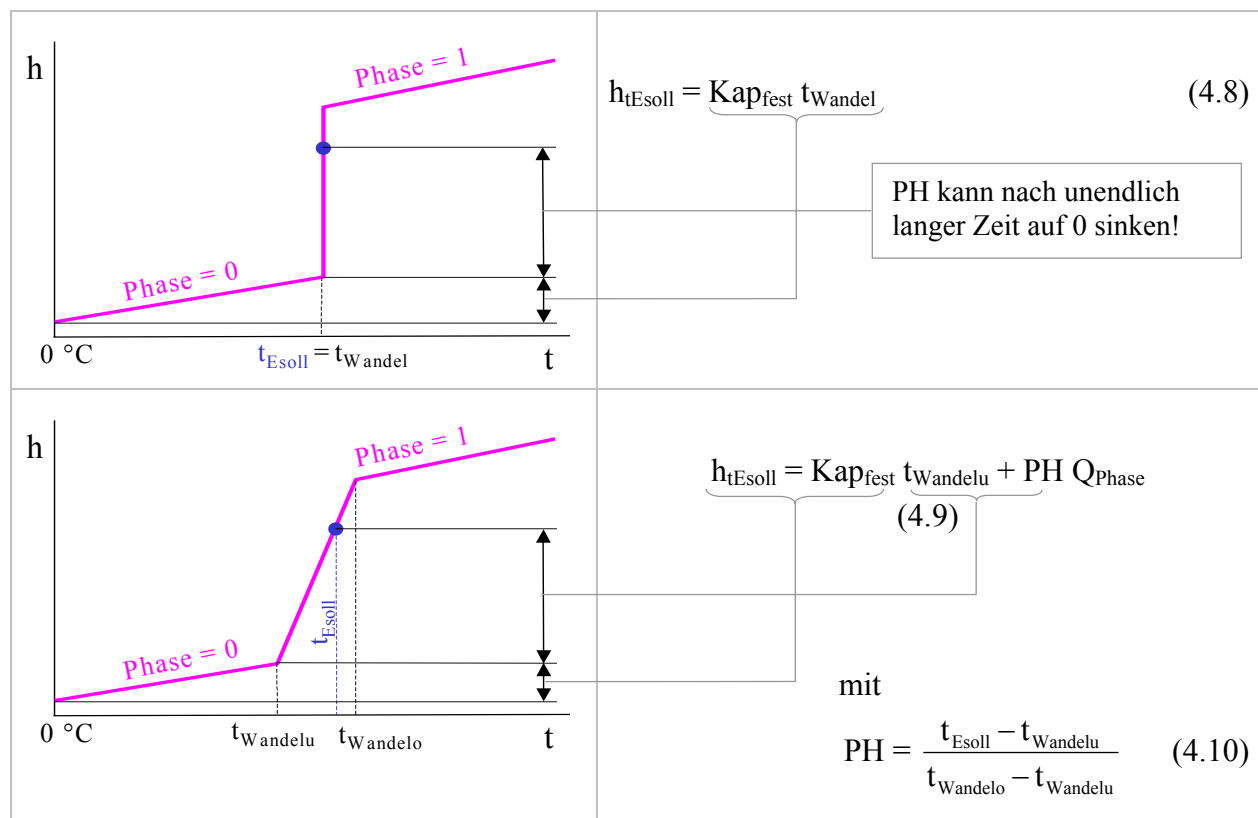
$$\text{Kap}_{\text{fest}} = c_{\text{fest}} \Delta m; Q_{\text{Phase}} = \Delta m r; \text{Kap}_{\text{fl}} = c_{\text{fl}} \Delta m \text{ (vgl. auch Gln. (3.2) bis (3.4)).}$$



 Graph showing enthalpy h versus time t. The curve starts at 0 °C and increases linearly in Phase 0 until t_{Wandelu}. It then increases linearly in Phase 1 until t_{Wandelo}, where it reaches a plateau. The curve continues linearly until t_1, then remains constant until t. The equation for the enthalpy at time t is given by (4.3).	$h_t = \underbrace{\text{Kap}_{\text{fest}} t_{\text{Wandelu}}}_{\text{Phase 0}} + \underbrace{Q_{\text{Phase}}}_{\text{Phase 1}} + \underbrace{\text{Kap}_{\text{fl}} (t_1 - t_{\text{Wandelo}})}_{\text{Phase 1}} \quad (4.3)$
 Graph showing enthalpy h versus time t. The curve starts at 0 °C and increases linearly in Phase 0 until $t_1 = t_{\text{Wandel}}$. It then increases linearly in Phase 1 until t. The equation for the enthalpy at time t is given by (4.4).	$h_t = \underbrace{\text{Kap}_{\text{fest}} t_{\text{Wandel}}}_{\text{Phase 0}} + \underbrace{PH Q_{\text{Phase}}}_{\text{Phase 1}} \quad (4.4)$
 Graph showing enthalpy h versus time t. The curve starts at 0 °C and increases linearly in Phase 0 until t_{Wandelu}. It then increases linearly in Phase 1 until t_{Wandelo}, where it reaches a plateau. The curve continues linearly until t_1, then remains constant until t. The equation for the enthalpy at time t is given by (4.5).	$h_t = \underbrace{\text{Kap}_{\text{fest}} t_{\text{Wandelu}}}_{\text{Phase 0}} + \underbrace{PH Q_{\text{Phase}}}_{\text{Phase 1}} \quad (4.5)$
 Graph showing enthalpy h versus time t. The curve starts at 0 °C and increases linearly in Phase 0 until t_1. It then increases linearly in Phase 1 until t_{Wandel}, where it reaches a plateau. The curve continues linearly until t. The equation for the enthalpy at time t is given by (4.6).	$h_t = \underbrace{\text{Kap}_{\text{fest}} t_1}_{\text{Phase 0}} + \underbrace{PH Q_{\text{Phase}}}_{\text{Phase 1}} \quad (4.6)$
 Graph showing enthalpy h versus time t. The curve starts at 0 °C and increases linearly in Phase 0 until t_1. It then increases linearly in Phase 1 until t_{Wandelu}, where it reaches a plateau. The curve continues linearly until t_{Wandelo}, then remains constant until t. The equation for the enthalpy at time t is given by (4.7).	$h_t = \underbrace{\text{Kap}_{\text{fest}} t_1}_{\text{Phase 0}} + \underbrace{PH Q_{\text{Phase}}}_{\text{Phase 1}} \quad (4.7)$

Die vorgenannten Berechnungen sind zur Ermittlung von $h_{t_{\text{Esoll}}}$ analog zu wiederholen, wobei anstelle von t_1 die Raumsolltemperatur t_{Esoll} einzusetzen ist.

Dabei ist ein entscheidender Unterschied zu beachten, wenn der Phasenwechsel bei fester Temperatur erfolgt und $t_{\text{Esoll}} = t_{\text{Wandel}}$ gilt. Definitionsgemäß gilt nach [1], Abschnitt 15.3 als Bezug $\text{Phase}_{i,j,k} = 0$. Dies wird auch weiterhin beibehalten. Im Gegensatz dazu wird bei einem Phasenwandelbereich die zu t_{Esoll} gehörige Phase nach Gl. (4.10) bestimmt und als Bezugswert verwendet. Die Gl. (4.10) ergibt sich aus Gl. (3.10). Dieser Unterschied ist gerechtfertigt, da sich im ersten Fall der festen Phasenwandeltemperatur t_{Wandel} bei $t_{\text{Esoll}} = t_{\text{Wandel}}$ nach unendlich langer Zeit der Phasenzustand $\text{PH} = 0$ einstellen kann.



4.2 Programmmodul zur instationären Wärmeleitung

Infolge der zahlreichen Änderungen an unterschiedlichen Stellen ist es aus Verständnisgründen zweckmäßig, das gesamte Unterprogramm wiederzugeben.

```
Public Sub WAERMEINSTAT()
```

```
    '*** übergebene Variable ***
```

```
    '
```

```
    'imax
```

```
    'AD(1..imax)
```

```
    'kappa(1..imax)
```

```
    'qab(1..imax)
```

```
    'qL(1..imax)
```

```
    't(1..imax)
```

```
    'ta(1..imax)
```

```
    'tfix(1..imax)
```

```
    'iSpeichertyp(1..imax)
```

```
    'iaktiv(1..imax)
```

```
    TYP
```

```
    integer
```

```
    single
```

```
    single
```

```
    single
```

```
    single
```

```
    single
```

```
    single
```

```
    single
```

```
    integer
```

```
    integer
```

```
    EIN/AUS
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```
    x
```

```

'Dx(1..imax)           single      x
'Dy(1..imax)           single      x
'Dz(1..imax)           single      x
'DySI(1..imax)         single      x
'DySII(1..imax)        single      x
'iBmax(i..imax)        integer     x
'jBmax(i..imax)        integer     x
'kBmax(i..imax)        integer     x
'jRmin(i..imax)        integer     x
'jRmax(i..imax)        integer     x
'kRmax(i..imax)        integer     x
'jLSmin(i..imax)       integer     x
'jLSmax(i..imax)       integer     x
'jSImax(i..imax)       integer     x
'rhoSI(1..imax)        single      x
'rhoSII(1..imax)       single      x
'cSI(1..imax)          single      x
'cSII(1..imax)         single      x
'lamI(1..imax)         single      x
'lamII(1..imax)        single      x
'rhoLS                 single      x
'cLSfest               single      x
'cLSfl                 single      x
'lamLSfest             single      x
'lamLSfl               single      x
'rLS                   single      x
'tWandelo               single      x
'tWandelu               single      x
'tWein                 single      x
'tWaus(1..imax)        single      x      x
'lamapp                 single      x
'rhocapp                single      x
'kappaR                 single      x
'CW                     single      x
'Dtau                   single      x
'Beladung               integer     x
'Stundefix              integer     x
'tEsoll                 single      x
'Ri(i..imax)            single      x
'Ra(i..imax)            single      x
'Phase(1..imax, iL..., jL..., kL...) single      x      x
'PhaseP(1..imax, jL...) single      x      x
'tB(1..imax, iL..., jL..., kL...) single      x      x
'tBn(1..imax, iL..., jL..., kL...) single      x
'tBP(1..imax, jL...)    single      x      x
'tBPn(1..imax, jL...)   single      x
'QSumih(1..imax)        single      x      x
'QSumah(1..imax)        single      x      x
'QSumRh(1..imax)        single      x      x
'QSpeicherh(1..imax)    single      x      x

'***lokale Variable ***
Dim jL, kL, iL, Rohrbereich(11, 70, 20), RohrB As Integer
Dim Qiein, Qjein, Qkein, Qiaus, Qjaus, Qkaus, lam1, lam2, del1, del2, t1 As
                                                                    Single
Dim Kapfest, Kapfl, PH, QPhase As Single
Dim QSumi, QSuma, QSumR(11), QE, QSpeicheri As Single
Dim lamPH, REi(11, 70, 20), REj(11, 70, 20), REk(11, 70, 20), Rejp(70) As
                                                                    Single
Dim AEi(11, 70, 20), AEj, AEk(11, 70, 20) As Single
Dim Kap(11, 70, 20), KapP(70), tWasser(11), DyRohr, FlaecheHilf As Single

' *****
' * CODE-Beginn
' *****
'Berechnung des Wärmestromes durch stationäre Wärmeleitung

```

```

For i = 1 To imax
  If AD(i) > 0 And iSpeichertyp(i) = 0 Then
    qL(i) = 0
    If tfix(i) > -273 Then
      qL(i) = 0 'Berechnung von qL(i) in TANPASS_INST
    ElseIf qab(i) <> 0 Then
      qL(i) = -qab(i)
    ElseIf kappa(i) > 0 And ta(i) > -273 Then
      'Mit ta(i)= -273 ist die Leistung einer thermisch aktiven Fläche
      'deaktivierbar, wodurch eine Zeitsteuerung ermöglicht wird.
      qL(i) = kappa(i) * (t(i) - ta(i))
    End If
  End If
Next i

'Instationäre Wärmeleitung einschließlich Speicherung in aktiven Bauteilen
'Definition des Phasenzustandes bei tEsoll
PHstern = (tEsoll - tWandelu) / (tWandelo - tWandelu)
If tWandelu = tWandelo Then PHstern = 0

'Berechnung
For i = 1 To imax
  If AD(i) > 0 Then
    If iSpeichertyp(i) >= 1 And iSpeichertyp(i) <= 5 Then
      'Nullsetzen der Summenwärme bei Speicherung
      QSpeicheri = 0
      QSumi = 0
      QSuma = 0
      For iL = 0 To iBmax(i)
        QSumR(iL) = 0
      Next iL
    End If

    'Setzen der Basisgrößen für eine einheitliche Berechnung der aktiven
    'Speicherbauteile
    'Instationäre Wärmeleitung in einem dreischichtigen, aktiven Bauteil
    'Speichertyp 1
    If iSpeichertyp(i) = 1 Then
      QPhase = Dy(i) * Dx(i) * Dz(i) * rhoLS * rLS
      Kapfest = Dx(i) * Dy(i) * Dz(i) * rhoLS * cLSfest
      Kapfl = Dx(i) * Dy(i) * Dz(i) * rhoLS * cLSfl
      DyRohr = Dy(i)
      AEj = Dx(i) * Dz(i)
      For iL = 0 To iBmax(i)
        For jL = 0 To jBmax(i)
          For kL = 0 To kBmax(i)
            If jL < jLSmin(i) Then
              REi(iL, jL, kL) = Dx(i) / 2 / lamSI(i)
              REj(iL, jL, kL) = DySI(i) / 2 / lamSI(i)
              REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamSI(i)
              AEi(iL, jL, kL) = DySI(i) * Dz(i)
              AEk(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySI(i)
              Kap(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySI(i) * Dz(i)
                * rhoSI(i) * cSI(i)
            ElseIf jL <= jLSmax(i) Then
              lamPH = lamLSfest * (1 - Phase(i, iL, jL, kL))
                + lamLSfl * Phase(i, iL, jL, kL)
              REi(iL, jL, kL) = Dx(i) / 2 / lamPH
              REj(iL, jL, kL) = Dy(i) / 2 / lamPH
              REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamPH
              AEi(iL, jL, kL) = Dy(i) * Dz(i)
              AEk(iL, jL, kL) = Dx(i) * Dy(i)
              Kap(iL, jL, kL) = 0
            Else
              REi(iL, jL, kL) = Dx(i) / 2 / lamSII(i)
              REj(iL, jL, kL) = DySII(i) / 2 / lamSII(i)
              REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamSII(i)

```

Ergänzung zur Neudefinition
der Speicherwärme


```

        AEi(iL, jL, kL) = DySII(i) * Dz(i)
        AEk(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySII(i)
        Kap(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySII(i) * Dz(i)
                                * rhoSII(i) * cSII(i)
    End If
Next kL
Next jL
Next iL
End If

'Instationäre Wärmeleitung in einem einschichtigen, aktiven Bauteil
'Speichertyp 2
If iSpeichertyp(i) = 2 Then
    DyRohr = DySI(i)
    AEj = Dx(i) * Dz(i)
    For iL = 0 To iBmax(i)
        For jL = 0 To jBmax(i)
            For kL = 0 To kBmax(i)
                REi(iL, jL, kL) = Dx(i) / 2 / lamSI(i)
                REj(iL, jL, kL) = DySI(i) / 2 / lamSI(i)
                REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamSI(i)
                AEi(iL, jL, kL) = DySI(i) * Dz(i)
                AEk(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySI(i)
                Kap(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySI(i) * Dz(i)
                                * rhoSI(i) * cSI(i)
            Next kL
        Next jL
    Next iL
End If

'Instationäre Wärmeleitung in einem zweischichtigen, aktiven Bauteil
'Speichertyp 3
If iSpeichertyp(i) = 3 Then
    DyRohr = DySI(i)
    AEj = Dx(i) * Dz(i)
    For iL = 0 To iBmax(i)
        For jL = 0 To jBmax(i)
            For kL = 0 To kBmax(i)
                If jL <= jSImax(i) Then
                    REi(iL, jL, kL) = Dx(i) / 2 / lamSI(i)
                    REj(iL, jL, kL) = DySI(i) / 2 / lamSI(i)
                    REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamSI(i)
                    AEi(iL, jL, kL) = DySI(i) * Dz(i)
                    AEk(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySI(i)
                    Kap(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySI(i) * Dz(i)
                                * rhoSI(i) * cSI(i)
                Else
                    REi(iL, jL, kL) = Dx(i) / 2 / lamSII(i)
                    REj(iL, jL, kL) = DySII(i) / 2 / lamSII(i)
                    REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamSII(i)
                    AEi(iL, jL, kL) = DySII(i) * Dz(i)
                    AEk(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySII(i)
                    Kap(iL, jL, kL) = Dx(i) * DySII(i) * Dz(i)
                                * rhoSII(i) * cSII(i)
                End If
            Next kL
        Next jL
    Next iL
End If

'Instationäre Wärmeleitung in einem einschichtigen, aktiven
Bauteil bestehend aus Latentspeichermaterial
'Speichertyp 4
If iSpeichertyp(i) = 4 Then
    QPhase = Dy(i) * Dx(i) * Dz(i) * rhoLS * rLS
    Kapfest = Dx(i) * Dy(i) * Dz(i) * rhoLS * cLSfest
    Kapfl = Dx(i) * Dy(i) * Dz(i) * rhoLS * cLSfl

```



```

REj(iL, jL, kL) = DyRohr / 2 / lamapp
REk(iL, jL, kL) = Dz(i) / 2 / lamapp
Kap(iL, jL, kL) = Dx(i) * DyRohr * Dz(i)
                        * rhocapp

Else
    REi(iL, jL, kL) = 1 / kappaR
    REj(iL, jL, kL) = 1 / kappaR
    REk(iL, jL, kL) = 1 / kappaR
    Kap(iL, jL, kL) = 0
End If
End If
Next kL
Next jL
Next iL
'Berechnung der Wärmeleitung und der neuen Temperatur im Gitter
                                für aktive Bauteile
For iL = 0 To iBmax(i)
    For jL = 0 To jBmax(i)
        For kL = 0 To kBmax(i)
            t1 = tB(i, iL, jL, kL)
            RohrB = Rohrbereich(iL, jL, kL)
            If iL = 0 Then
                Qiein = 0
            Else
                Qiein = (REi(iL - 1, jL, kL)
+ REi(iL, jL, kL)) ^ -1 * AEi(iL, jL, kL) * (tB(i, iL - 1, jL, kL) - t1) * Dtau
            End If
            If iL = iBmax(i) Then
                Qiaus = 0
            Else
                Qiaus = (REi(iL, jL, kL)
+ REi(iL + 1, jL, kL)) ^ -1 * AEi(iL, jL, kL) * (t1 - tB(i, iL + 1, jL, kL)) * Dtau
            End If

            If jL = 0 Then
                Qjein = (Ri(i)
+ REj(iL, jL, kL)) ^ -1 * AEj * (t(i) - t1) * Dtau
                QSumi = QSumi - Qjein
            Else
                Qjein = (REj(iL, jL - 1, kL)
+ REj(iL, jL, kL)) ^ -1 * AEj * (tB(i, iL, jL - 1, kL) - t1) * Dtau
                If RohrB = 1 Then QSumR(iL) = QSumR(iL) + Qjein
            End If
            If jL = jBmax(i) Then
                Qjaus = (REj(iL, jL, kL)
+ Ra(i)) ^ -1 * AEj * (t1 - ta(i)) * Dtau
                QSuma = QSuma + Qjaus
            Else
                Qjaus = (REj(iL, jL, kL)
+ REj(iL, jL + 1, kL)) ^ -1 * AEj * (t1 - tB(i, iL, jL + 1, kL)) * Dtau
                If RohrB = 1 Then QSumR(iL) = QSumR(iL) - Qjaus
            End If

            If kL = 0 Then
                Qkein = 0
            Else
                Qkein = (REk(iL, jL, kL - 1)
+ REk(iL, jL, kL)) ^ -1 * AEk(iL, jL, kL) * (tB(i, iL, jL, kL - 1) - t1) * Dtau
                If RohrB = 1 Then QSumR(iL) = QSumR(iL) + Qkein
            End If
            If kL = kBmax(i) Then
                Qkaus = 0
            Else
                Qkaus = (REk(iL, jL, kL)
+ REk(iL, jL, kL + 1)) ^ -1 * AEk(iL, jL, kL) * (t1 - tB(i, iL, jL, kL + 1)) * Dtau
                If RohrB = 1 Then QSumR(iL) = QSumR(iL) - Qkaus
            End If
        Next kL
    Next jL
Next iL

```

```

'Wärmezunahme im Element
QE = Qiein + Qjein + Qkein - Qiaus - Qjaus - Qkaus

'Berechnen der neuen Temperaturen
If RohrB = 1 And Beladung = 1 Then
ElseIf Kap(iL, jL, kL) > 0 Then
    tBn(i, iL, jL, kL) = t1 + QE / Kap(iL, jL, kL)
Else
    PH = Phase(i, iL, jL, kL)
    'Ermittlung der neuen Temperatur ohne Beachten
    'des Phasenwandels
    QER = 0 'QER bedeutet verbleibende Restwärme im
    'Element

    If t1 <= tWandelu And PH = 0 Then
        tneu = t1 + QE / Kapfest
        If tneu >= tWandelu Then QER = QE
        ' - Kapfest * (tWandelu - t1)
    ElseIf t1 >= tWandelo And PH = 1 Then
        tneu = t1 + QE / Kapfl
        If tneu <= tWandelo Then QER = QE
        ' - Kapfl * (tWandelo - t1)
    Else
        QER = QE
        tneu = t1
    End If
    'Phasenwandel im Idealfall oder mit Hysterese
    If PH < 1 And QER > 0 Then
        'Aufheizfall
        If QER < (1 - PH) * QPhase Then
            PH = PH + QER / QPhase
            tneu = tWandelu + PH * (tWandelo
            ' - tWandelu)
        Else
            tneu = tWandelo + (QER - (1 - PH)
            ' * QPhase) / Kapfl
            PH = 1
        End If
    ElseIf PH > 0 And QER < 0 Then
        'Abkühlfall
        If Math.Abs(QER) < PH * QPhase Then
            PH = PH + QER / QPhase
            tneu = tWandelu + PH * (tWandelo
            ' - tWandelu)
        Else
            tneu = tWandelu + (QER + PH
            ' * QPhase) / Kapfest
            PH = 0
        End If
    End If
    tBn(i, iL, jL, kL) = tneu
    Phase(i, iL, jL, kL) = PH
End If
'Heizpotenzial zur vollen Stunde bezogen auf die
'Raumtemperatur
If Stundefix = 1 Then
    t1 = tBn(i, iL, jL, kL)
    If RohrB = 1 And Beladung = 1 Then
    ElseIf Kap(iL, jL, kL) > 0 Then
        QSpeicheri = QSpeicheri + (t1 - tEsoll)
        ' * Kap(iL, jL, kL)
    Else
        If t1 > tWandelo Then
            QSpeicheri = QSpeicheri + tWandelu * Kapfest
            ' + QPhase + (t1 - tWandelo) * Kapfl
        ElseIf t1 >= tWandelo Then
            QSpeicheri = QSpeicheri + tWandelu * Kapfest
            ' + PH * QPhase

```

```

Else
    QSpeicheri = QSpeicheri + t1 * Kapfest
End If

If tEsoll > tWandelo Then
    QSpeicheri = QSpeicheri - tWandelu * Kapfest
    - QPhase - (tEsoll - tWandelo) * Kapfl
ElseIf tEsoll >= tWandelu Then
    QSpeicheri = QSpeicheri - tWandelu * Kapfest
    - PHstern * QPhase
Else
    QSpeicheri = QSpeicheri - tEsoll * Kapfest
End If
End If
End If
Next kL
Next jL
Next iL

'Waermebilanz und Temperaturen für das Wasser im Rohr
If Beladung = 1 Then
    For iL = 0 To iBmax(i)
        If iL = 0 Then
            tWasser(iL) = tWein
        Else
            tWasser(iL) = tWasser(iL - 1)
            + 2 * QSumR(iL - 1) / CW / Dtau
        End If
    Next iL
    tWaus(i) = tWasser(iBmax(i))
    + 2 * QSumR(iBmax(i)) / CW / Dtau
End If

'Ergebnisse der aktiven Bauteile
'Übertragene Wärmeströme zur Zeit tau (Stundenwerte)
FlaecheHilf = Dz(i) * (kBmax(i) + 1) * Dx(i) * (iBmax(i) + 1)
QSumih(i) = QSumih(i) + QSumi / FlaecheHilf
QSumah(i) = QSumah(i) + QSuma / FlaecheHilf
qL(i) = -QSumi / FlaecheHilf / Dtau
For iL = 0 To iBmax(i)
    QSumRh(i) = QSumRh(i) + QSumR(iL) / FlaecheHilf
Next iL
If Stundefix = 1 Then QSpeicherh(i) = QSpeicherh(i)
    + QSpeicheri / FlaecheHilf

'Umspeichern des Temperaturfeldes
For iL = 0 To iBmax(i)
    For jL = 0 To jBmax(i)
        For kL = 0 To kBmax(i)
            tB(i, iL, jL, kL) = tBn(i, iL, jL, kL)
        Next kL
    Next jL
Next iL

'Füllen der Gittertemperaturen im Rohr während der Beladung
If Beladung = 1 Then
    For iL = 0 To iBmax(i)
        For jL = jRmin(i) To jRmax(i)
            For kL = 0 To kRmax(i)
                tB(i, iL, jL, kL) = tWasser(iL)
            Next kL
        Next jL
    Next iL
End If
End If

```

```

'Instationäre Wärmeleitung einschließlich Speicherung in passiven
Bauteilen
If iSpeichertyp(i) >= 6 Then
    'Nullsetzen der Summenwärme bei Speicherung
    QSpeicheri = 0
    QSumi = 0
    QSuma = 0
End If
'Setzen der Basisgrößen für eine einheitliche Berechnung der passiven
Speicherbauteile
'Instationäre Wärmeleitung in einem einschichtigen, passiven Bauteil
'Speichertyp 6
If iSpeichertyp(i) = 6 Then
    For jL = 0 To jBmax(i)
        RejP(jL) = DySI(i) / 2 / lamSI(i)
        KapP(jL) = DySI(i) * rhoSI(i) * cSI(i)
    Next jL
End If

'Instationäre Wärmeleitung in einem zweischichtigen, passiven Bauteil
'Speichertyp 7
If iSpeichertyp(i) = 7 Then
    For jL = 0 To jBmax(i)
        If jL <= jSImax(i) Then
            RejP(jL) = DySI(i) / 2 / lamSI(i)
            KapP(jL) = DySI(i) * rhoSI(i) * cSI(i)
        Else
            RejP(jL) = DySII(i) / 2 / lamSII(i)
            KapP(jL) = DySII(i) * rhoSII(i) * cSII(i)
        End If
    Next jL
End If

'Instationäre Wärmeleitung in einem einschichtigen, passiven Bauteil
bestehend aus Latentspeichermaterial
'Speichertyp 8
If iSpeichertyp(i) = 8 Then
    QPhase = Dy(i) * rhoLS * rLS
    Kapfest = Dy(i) * rhoLS * cLSfest
    Kapfl = Dy(i) * rhoLS * cLSfl
    For jL = 0 To jBmax(i)
        lamPH = lamLSfest * (1 - PhaseP(i, jL))
        + lamLSfl * PhaseP(i, jL)
        RejP(jL) = Dy(i) / 2 / lamPH
        KapP(jL) = 0
    Next jL
End If

'Instationäre Wärmeleitung in einem zweischichtigen, passiven Bauteil
'mit einer Schicht aus Latentspeichermaterial
'Speichertyp 9
If iSpeichertyp(i) = 9 Then
    QPhase = Dy(i) * rhoLS * rLS
    Kapfest = Dy(i) * rhoLS * cLSfest
    Kapfl = Dy(i) * rhoLS * cLSfl
    For jL = 0 To jBmax(i)
        If jL <= jLSmax(i) Then
            lamPH = lamLSfest * (1 - PhaseP(i, jL))
            + lamLSfl * PhaseP(i, jL)
            RejP(jL) = Dy(i) / 2 / lamPH
            KapP(jL) = 0
        Else
            RejP(jL) = DySII(i) / 2 / lamSII(i)
            KapP(jL) = DySII(i) * rhoSII(i) * cSII(i)
        End If
    Next jL
End If

```

```

'Berechnung der Wärmeleitung und der neuen Temperatur im Gitter für
passive Bauteile
If iSpeichertyp(i) >= 6 Then
    For jL = 0 To jBmax(i)
        t1 = tBP(i, jL)
        If jL = 0 Then
            Qjein = (Ri(i) + RejP(jL)) ^ -1 * (t(i) - t1) * Dtau
            QSumi = QSumi - Qjein
        Else
            Qjein = (RejP(jL - 1)
                    + RejP(jL)) ^ -1 * (tBP(i, jL - 1) - t1) * Dtau
        End If
        If jL = jBmax(i) Then
            Qjaus = (RejP(jL) + Ra(i)) ^ -1 * (t1 - ta(i)) * Dtau
            QSuma = QSuma + Qjaus
        Else
            Qjaus = (RejP(jL)
                    + RejP(jL + 1)) ^ -1 * (t1 - tBP(i, jL + 1)) * Dtau
        End If

        'Wärmezunahme im Element
        QE = Qjein - Qjaus

        'Berechnen der neuen Temperaturen
        If KapP(jL) > 0 Then
            tBPn(i, jL) = t1 + QE / KapP(jL)
        Else
            PH = PhaseP(i, jL)
            'Ermittlung der neuen Temperatur ohne Beachten des
            Phasenwandels
            QER = 0 'QER bedeutet verbleibende Restwärme im Element

            If t1 <= tWandelu And PH = 0 Then
                tneu = t1 + QE / Kapfest
                If tneu >= tWandelu Then QER = QE - Kapfest
                    * (tWandelu - t1)
            ElseIf t1 >= tWandelo And PH = 1 Then
                tneu = t1 + QE / Kapfl
                If tneu <= tWandelo Then QER = QE - Kapfl
                    * (tWandelo - t1)
            Else
                QER = QE
                tneu = t1
            End If
            'Phasenwandel im Idealfall oder mit Hysterese
            If PH < 1 And QER > 0 Then
                'Aufheizfall
                If QER < (1 - PH) * QPhase Then
                    PH = PH + QER / QPhase
                    tneu = tWandelu + PH * (tWandelo - tWandelu)
                Else
                    tneu = tWandelo + (QER - (1 - PH) * QPhase) / Kapfl
                    PH = 1
                End If
            ElseIf PH > 0 And QER < 0 Then
                'Abkühlfall
                If Math.Abs(QER) < PH * QPhase Then
                    PH = PH + QER / QPhase
                    tneu = tWandelu + PH * (tWandelo - tWandelu)
                Else
                    tneu = tWandelu + (QER + PH * QPhase) / Kapfest
                    PH = 0
                End If
            End If
            tBPn(i, jL) = tneu
            PhaseP(i, jL) = PH
        End If
    End If

```

```

'Heizpotenzial zur vollen Stunde bezogen auf die
Raumtemperatur
If Stundefix = 1 Then
    t1 = tBPn(i, jL)
    If KapP(jL) > 0 Then
        QSpeicheri = QSpeicheri + (t1 - tEsoll) * KapP(jL)
    Else
        If t1 > tWandelo Then
            QSpeicheri = QSpeicheri + tWandelu * Kapfest
                                + QPhase + (t1 - tWandelo) * Kapfl
        ElseIf t1 >= tWandelu Then
            QSpeicheri = QSpeicheri + tWandelu * Kapfest
                                + PH * QPhase
        Else
            QSpeicheri = QSpeicheri + t1 * Kapfest
        End If
    End If

    If tEsoll > tWandelo Then
        QSpeicheri = QSpeicheri - tWandelu * Kapfest
                                - QPhase - (tEsoll - tWandelo) * Kapfl
    ElseIf tEsoll >= tWandelu Then
        QSpeicheri = QSpeicheri - tWandelu * Kapfest
                                - PHstern * QPhase
    Else
        QSpeicheri = QSpeicheri - tEsoll * Kapfest
    End If
End If
Next jL

'Ergebnisse der passiven Bauteile
'Übertragene Wärmeströme zur Zeit tau (Stundenwerte)
QSumih(i) = QSumih(i) + QSumi
QSumah(i) = QSumah(i) + QSuma
qL(i) = -QSumi / Dtau
If Stundefix = 1 Then QSpeicherh(i) = QSpeicherh(i) + QSpeicheri

'Umspeichern des Temperaturfeldes
For jL = 0 To jBmax(i)
    tBP(i, jL) = tBPn(i, jL)
Next jL
End If
End If
Next i

' *****
' * CODE-Ende
' *****
End Sub

```

4.3 Datenbestand nach Abarbeitung der instationären Wärmeleitung

Im Ergebnis der Abarbeitung des Unterprogramms WAERMEINSTAT stehen die nachfolgenden Daten zur Verfügung.

qL(i)	W/m ²	Wärmestromdichte, die durch stationäre oder instationäre Wärmeleitung in den Körper mit der Oberfläche i eindringt
QSumih(i)	Ws/m ²	Wärme, die im Zeitraum von 1 h über die innere Oberfläche des Bauteiles i in den Raum strömt
QSumah(i)	Ws/m ²	Wärme, die im Zeitraum von 1 h über die äußere Oberfläche des Bauteiles i nach außen strömt

QSumRh(i)	Ws/m ²	Wärme, die im Zeitraum von 1 h in das Rohr des Bauteiles i strömt
QSpeicherh(i)	Ws/m ²	Wärme, die zur vollen Stunde im Bauteil i gespeichert ist Als Bezugstemperatur wird tEsoll verwendet. Erfolgt der Phasenwandel bei einer festen Phasenwandeltemperatur $t_{Wandelo} = t_{Wandelu}$, dann gilt bei $t_{Esoll} = t_{Wandelo} = t_{Wandelu}$ als Bezugswert für den Phasenzustand Phase = 0. Bei einem Phasenwandelbereich mit $t_{Wandelo} \neq t_{Wandelu}$ und $t_{Wandelu} \leq t_{Esoll} \leq t_{Wandelo}$ wird als Bezugsgröße der Phasenzustand nach Gl. (4.10) verwendet. Die detaillierte Ermittlung der von Temperatur und Phasenzustand abhängigen Speicherwärme ist auf den Seiten 49/50 und 53 veranschaulicht.
tB(i, iL, jL, kL)	°C	Temperatur an den Gitterpunkten iL, jL, kL des aktiven Bauteiles i mit dreidimensionaler Wärmeleitung zum Betrachtungszeitpunkt
tBP(i, jL)	°C	Temperatur in der Gitterebene jL des passiven Bauteiles i mit eindimensionaler Wärmeleitung zum Betrachtungszeitpunkt
Phase(i, iL, jL, kL)	-	Phasenzustand an den Gitterpunkten iL, jL, kL des aktiven Bauteiles i mit dreidimensionaler Wärmeleitung zum Betrachtungszeitpunkt
PhaseP(i, jL)	-	Phasenzustand in der Gitterebene jL des passiven Bauteiles i mit eindimensionaler Wärmeleitung zum Betrachtungszeitpunkt
tWaus(i)	°C	Wassertemperatur am Austritt des thermisch aktiven Speicherbauteiles i (integriertes Rohrregister, dreidimensionale Wärmeleitung)

Der aufgelistete Datenbestand der stationären Wärmeleitung in den Bauteilen findet Eingang in die stationäre Komplexsimulation. Die dortige Auswahl und Komprimierung der Ergebnisse kann dem Gesamtprogramm "Instat_Komplexsimulation" entnommen werden.

4.4 Änderungen am Programmmodul zur stationären Komplexsimulation

Das in [2], Teil D, Abschnitt 4.3.2 (Seiten 59ff) vorgestellte Unterprogramm erfährt nur eine kleine Änderung, die die Definition des Phasenzustandes zum Programmstart betrifft.

Die in der Oberfläche "Wärmetechnischen Dateneingabe (Basisdaten)" nach Bild 2.5 vorgesehene Nennung des Phasenzustandes PhaseStart zum Simulationsbeginn ist bezüglich seiner weiteren Verwendung verändert worden.

Der individuell eingegebene Wert PhaseStart wird nur beachtet, wenn der Phasenwandel bei einer festen Temperatur erfolgt ($t_{Wandelo} = t_{Wandelu}$). Damit liegt auch die Verantwortung, ob dieser Wert physikalisch sinnvoll ist, beim Programmnutzer.

Wenn jedoch ein Phasenwandebereich mit $t_{Wandelo} \neq t_{Wandelu}$ existiert, dann erfolgt eine physikalisch korrekte Bestimmung des zugehörigen Startwertes auf der Grundlage der Gl. (3.10).

Der programmtechnische Einschub lautet:

(bisherige Programmzeile nach [2], Teil D, Seite 63)

'Berechnungsvorbereitung

```
If tWandelu = tWandelo Then
    'Eingabewert von PhaseStart bleibt erhalten
Else
    If tStart <= tWandelu Then
        PhaseStart = 0
    ElseIf tStart >= tWandelo Then
        PhaseStart = 1
    Else
        PhaseStart = (tStart - tWandelu) / (tWandelo - tWandelu)
    End If
End If
```

Programmergänzung

(weiteres bisheriges Programm nach [2], Teil D, Seite 63)

```
xFenster = 0.1 'Annahme für den solaren Strahlungsanteil auf die
                transparente Fläche
.
.
.
```

Zusätzlich ändern sich selbstverständlich auch die Übergabewerte:

Anstelle von t_{Wandel} vom Typ Single treten $t_{Wandelu}$ und $t_{Wandelo}$ vom gleichen Typ!

Im Ergebnisausdruck wird die eventuelle Änderung des Startwertes PhaseStart dokumentiert. Im Kontrollausdruck (Seite 8) zur Eingabe der Basisdaten (Bild 2.5) kann diese Eingabekorrektur jedoch noch nicht geschehen, da erst die Eingabe der "Bauteildaten" (Bild 2.7) mit den Größen $t_{Wandelu}$ und $t_{Wandelo}$ verfügbar sein muss. Die Bewertung erfolgt nach dem oben dargestellten Programmabschnitt erst zu Beginn der instationären Komplexsimulation.

Die Erläuterung des Datenbestandes nach der instationären Komplexsimulation ist [2], Abschnitt 4.3.3 (Seiten 73ff) zu entnehmen. Die Zusammenfassung der Daten erfolgt nach Bild 4.1.

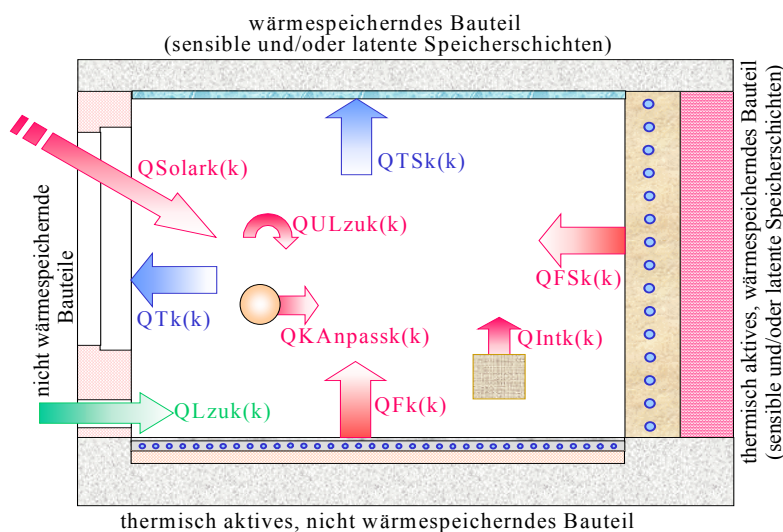


Bild 4.1 Symbolische Darstellung der zusammengefassten Wärmeströme an unterschiedlichen Bauteilen zur Stunde k zum besseren Verständnis der später folgenden Ergebnisausdrucke

Es gelten gemäß Definition die zusammengefassten Größen:

$$\text{Heizlastk}(k) = Q_{Tk}(k) + Q_{Tsk}(k) - Q_{Lzuk}(k) - Q_{Solark}(k)$$

$$\text{Heizungzuk}(k) = Q_{Fk}(k) + Q_{Fsk}(k) + Q_{ULzuk}(k) + Q_{Intk}(k) + Q_{KAnpassk}(k).$$

5 Komplettbeispiel TEST 15

Die Grundlage für dieses Beispiel bildet der in [1], Abschnitte 1 und 2 vorgestellte Wohnraum. Er ist beispielsweise auch in [2], Abschnitt 8 als TEST 10 untersucht worden. Nunmehr soll als TEST 15 die Arbeitsweise des ergänzten Algorithmus – Phasenwandelbereich – überprüft und seine Wirkung auf das wärmetechnische Verhalten und das wärmephysiologische Ergebnis festgestellt werden.

5.1 Objektbeschreibung und Simulationsannahmen

Die Ausgangsdaten sind den nachfolgenden Bildern und Textanmerkungen zu entnehmen. Weitere Details können in den oben genannten Abschnitten nachgelesen werden.



Bild 5.1 Doppelhaus

Von der Terrasse aus kann das Wohnzimmer betreten werden. Es wird im Weiteren als Beispiel für die Raumsimulation verwendet.

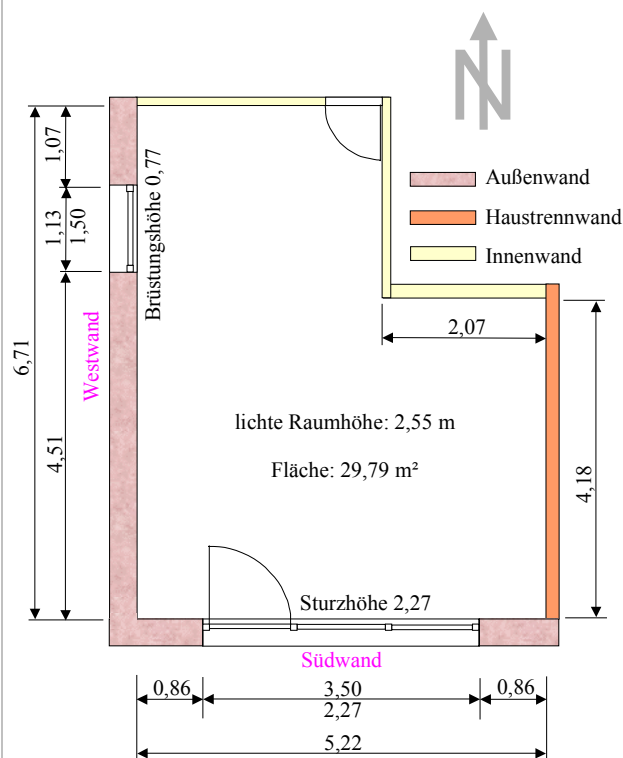


Bild 5.2 Grundriss des Wohnraumes im Doppelhaus (Bild 5.1), der als Grundlage für die Modellierung und die Simulationsrechnungen dient. Die Abmessungen sind lichte Raummaße im m. Die Innentüre bleibt bei der Simulation unberücksichtigt.

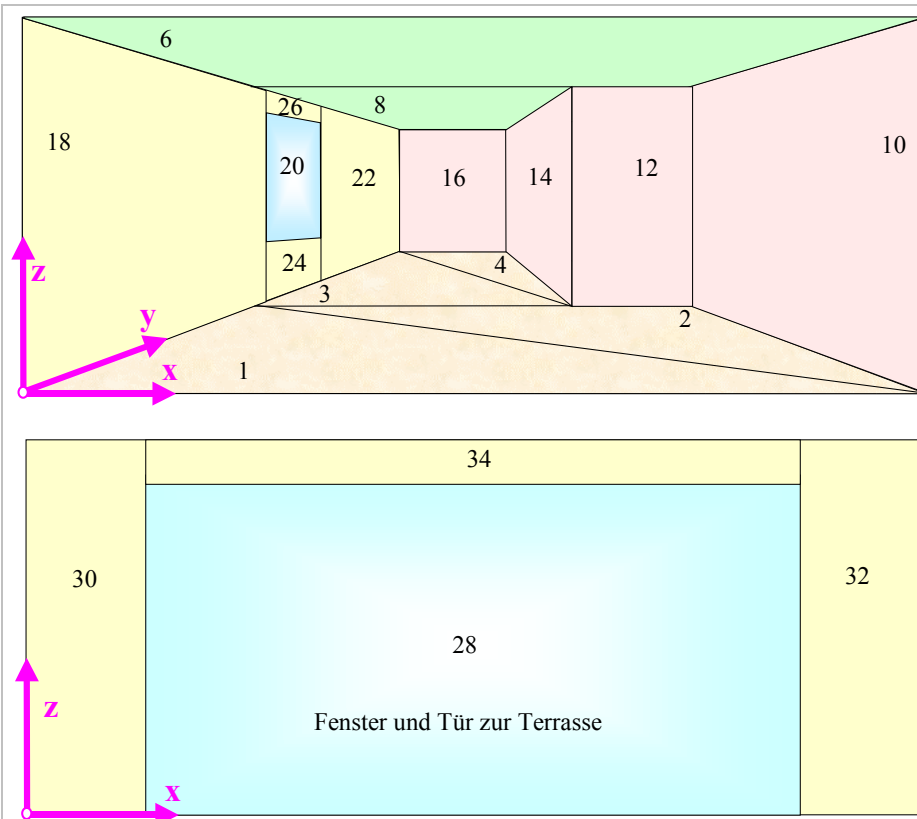


Bild 5.3 Raumgeometrie als Grundlage für die Simulation TEST 15. Jede angegebene Fläche besteht modellgemäß aus zwei Dreiecken. Die jeweils zweite Nummer ist die ungerade Zahl vor der genannten Flächennummer. Die Eigenschaften der Einzelflächen sind aus wärmetechnischer Sicht jeweils homogen. Die Flächen 1 bis 4 – d. h. alle Fußbodenflächen – können in den betrachteten Beispielen als Heiz- oder Kühlflächen aktiviert werden. Die Aktivflächen sind bereits in Dreiecke zerlegt und einzeln nummeriert.

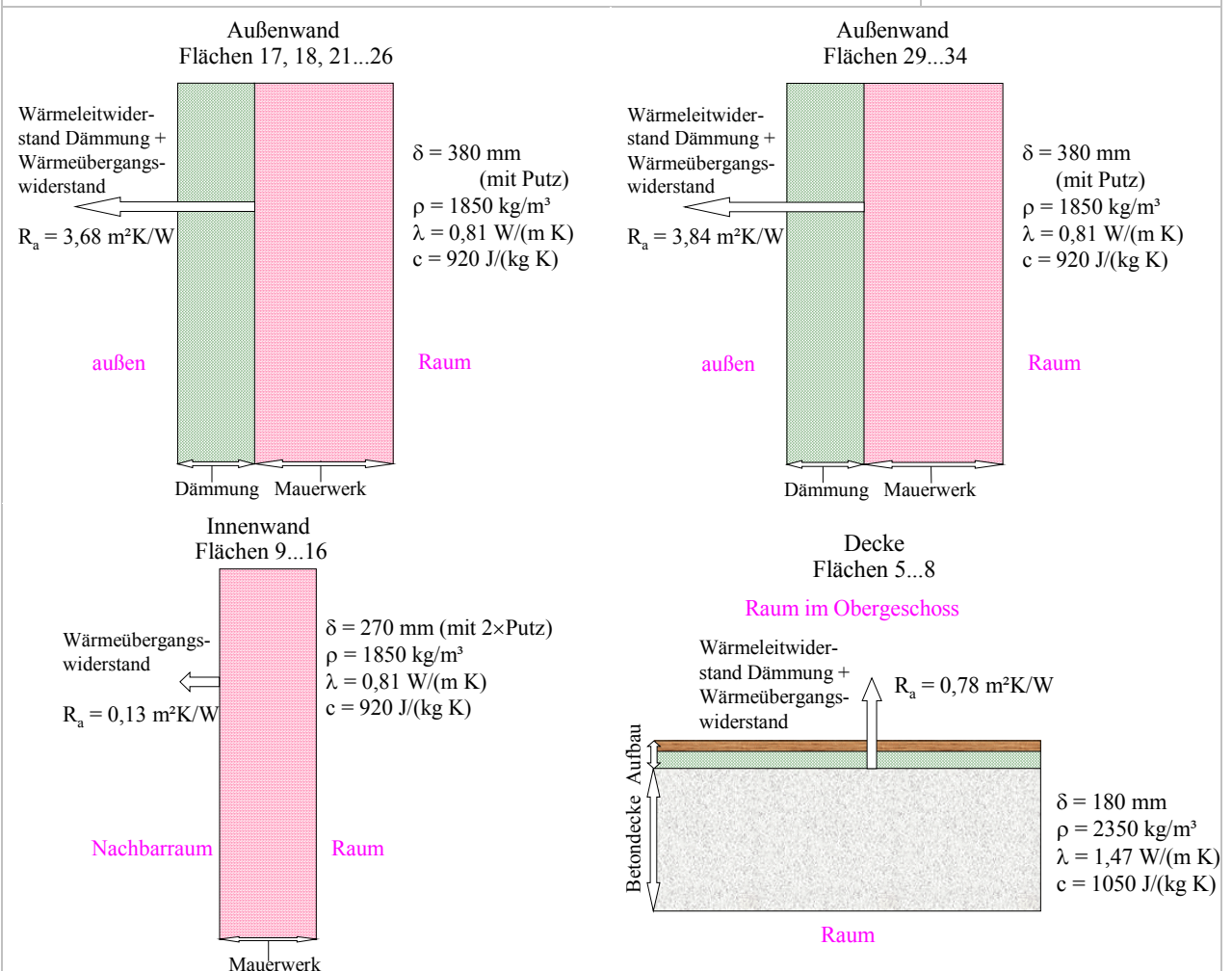
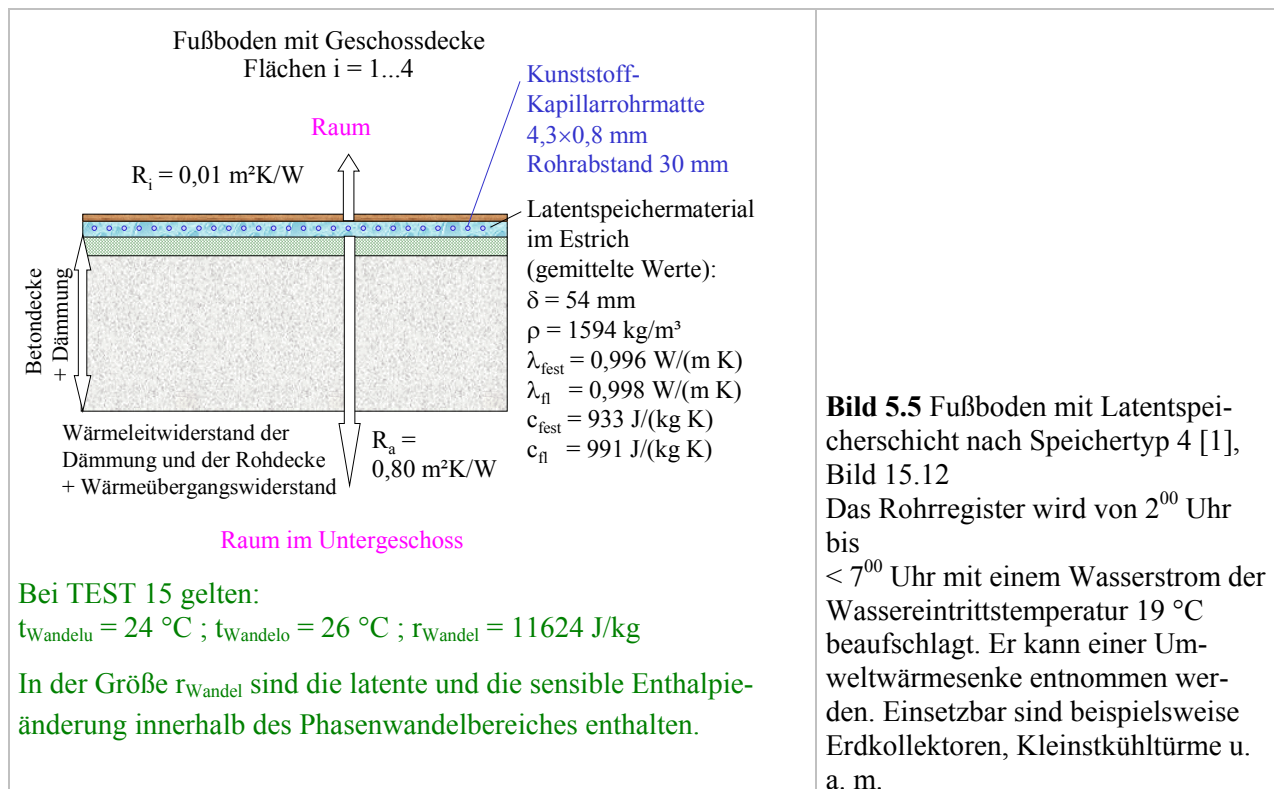


Bild 5.4 Aufbau der Wände (Mauerwerk) und Decke (Betonfertigteile) nach Speichertyp 6 [1], Bild 15.13



Im Vergleich dazu wurde bei TEST 10 in [2], Abschnitt 8 angesetzt:

$$t_{\text{Wandel}} = 25 \text{ °C} ; r_{\text{Wandel}} = 9700 \text{ J/kg.}$$

Aufgrund der Tatsache, dass sich der Phasenwandelbereich gemäß TEST 15 über 2 K erstreckt gilt:

$$r_{\text{Wandel,TEST15}} = r_{\text{Wandel,TEST10}} + \frac{c_{\text{fest}} + c_{\text{fl}}}{2} \Delta t = 9700 \text{ J/kg} + \frac{933 + 991}{2} 2 \text{ J/kg} = 11624 \text{ J/kg.}$$

Damit besteht Identität mit der Eingabe für TEST 15.

- Lüftung

Der Außenluftwechsel wird mit 1 h^{-1} angenommen, was einem Luftvolumenstrom von $\dot{V}_{\text{Lzu}} = 76 \text{ m}^3/\text{h}$ entspricht. Die Lüftung werde als Quellaüftung modelliert.

- Kühlsystem

Es wird ein Fußbodensystem mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten in einer Latentspeicherschicht zur Kühlung eingesetzt (Bild 5.5). Das Kaltwasser von 19 °C Eintrittstemperatur entstammt einer Umweltenergiesenke. Die Betriebszeit währt von 2⁰⁰ bis 7⁰⁰ Uhr.

- Raumbelastung

Als meteorologische Belastung wird der Entwurfstag 4 (Extremsommertag für den Standort Kassel nach [2], Abschnitt 2.4.) verwendet. Es gelten somit die Zeitverläufe für die Außentemperatur nach Bild 5.6 und für die Besonnung der opaken Süd- und Westwand ohne Verschattung sowie der transparenten Flächen (Fenster und Terrassentüre) unter Annahme einer Verschattung mit dem Strahlungsminderungsfaktor von 0,2 nach Bild 5.7.

Die weitere Raumbelastung sei durch **innere Wärmequellen** gemäß Bild 5.8 gegeben.

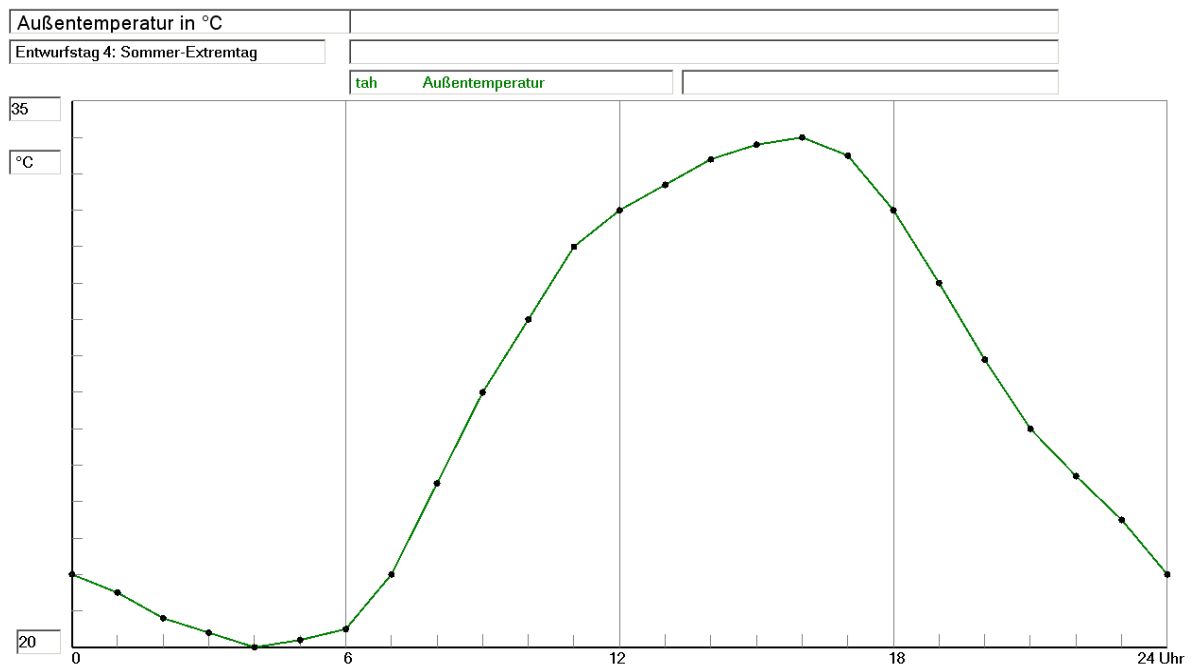


Bild 5.6 Außentemperaturverlauf für Entwurfstag 4 (Extremsommertag)

Da die Außenluft als Zuluft dient, ist der dargestellte Verlauf auch identisch mit dem Zulufttemperaturverlauf.

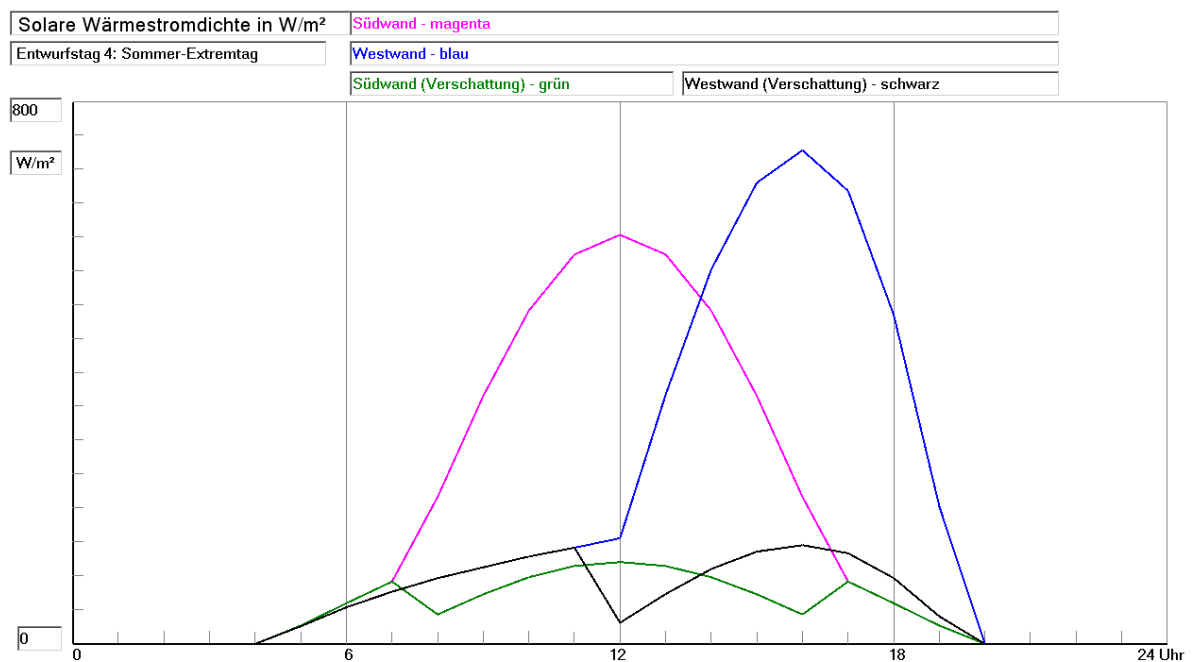


Bild 5.7 Solare Wärmestromdichten mit und ohne Verschattung auf die Süd- und Westwand am Entwurfstag 4 (Extremsommertag)

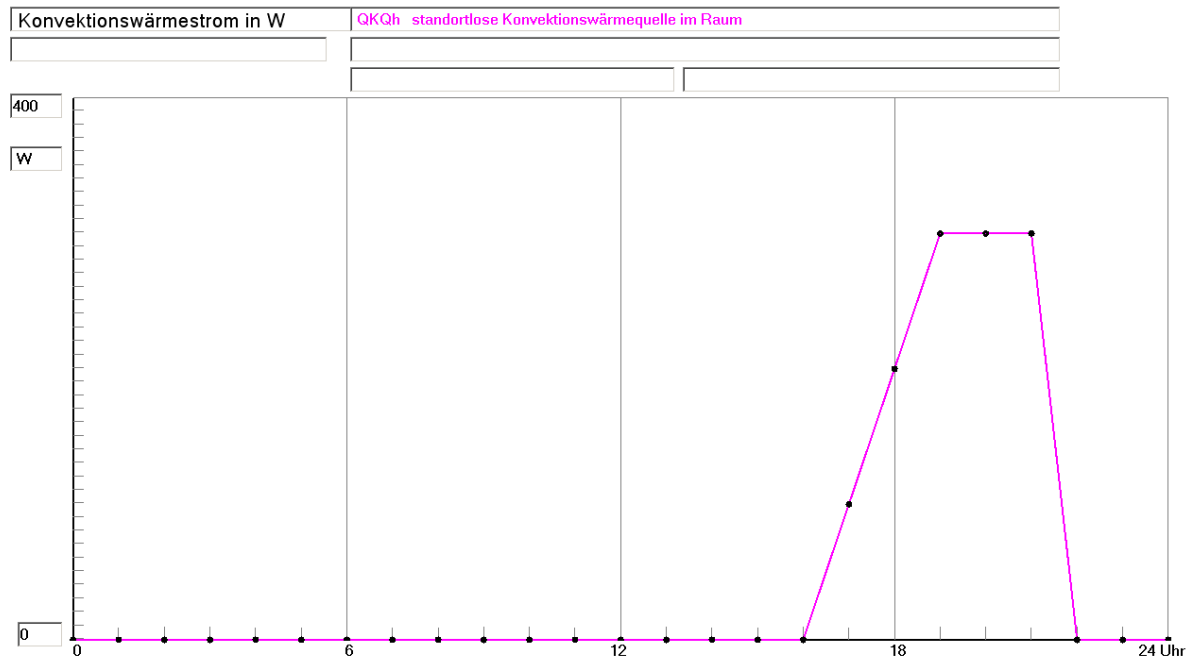


Bild 5.8 Zeitlicher Leistungsverlauf der inneren Wärmequelle

- Gestaltung des Mehrzonenmodells

Die Simulation legt ein **10-Zonen-Modell** zugrunde. Die Schichtdicken sind gleich mit je 0,255 m gewählt.

- Operative Raumtemperatur (Empfindungstemperatur)

Da es sich um eine "**Passive Raumnutzung**" handelt, wird sich die Empfindungstemperatur entsprechend der thermischen Gegebenheiten einstellen. Sie ergibt sich als **arithmetisches Mittel aus allen Empfindungstemperaturen der Prüfrasterpunkte**. Die Empfindungstemperatur wird jeweils paritätisch aus der Luft- und der Strahlungstemperatur der Umgebung ermittelt ($a = 0,5$).

- Dateneingaben

Das Ausfüllen der entsprechenden Eingabeoberflächen (Masken) ist im Abschnitt 2 erfolgt, wobei die dargestellten Beispiele identisch mit TEST 15 gewählt wurden.

- Ablaufsteuerung

Der Programmablauf für die "**Instationäre Komplexsimulation**" erfolgt gemäß der im Bild 5.9 vorgestellten Kennzeichnung der Aktivitäten.

Die **Simulationszeit beträgt 87 Stunden** (Startzeit: 0⁰⁰ Uhr) bei einer Zeitschrittweite von 1 s. Somit erfolgen 313200 Durchläufe.

Die Rechenzeit ist natürlich vom Prozessor des Computers abhängig. Bei derzeit üblichen Konfigurationen der PCs sind im vorliegenden Fall etwa zwei Stunden Rechenzeit zu veranschlagen.

- Ergebnismwiedergabe

Es werden die **Ergebnisse für die gesamte Simulationszeit** wiedergegeben, damit der Erstanwender einen vollständigen Vergleich mit selbst erzeugten Resultaten verfügbar hat.

Die aktuellen Daten am Ende der Simulationszeit geben die Möglichkeit, detaillierte wärmetechnische Betrachtungen und vor allem auch wärmephysiologische Untersuchungen für diesen Zeitpunkt – Tageszeit 15⁰⁰ Uhr – anzuschließen (Bild 5.20).

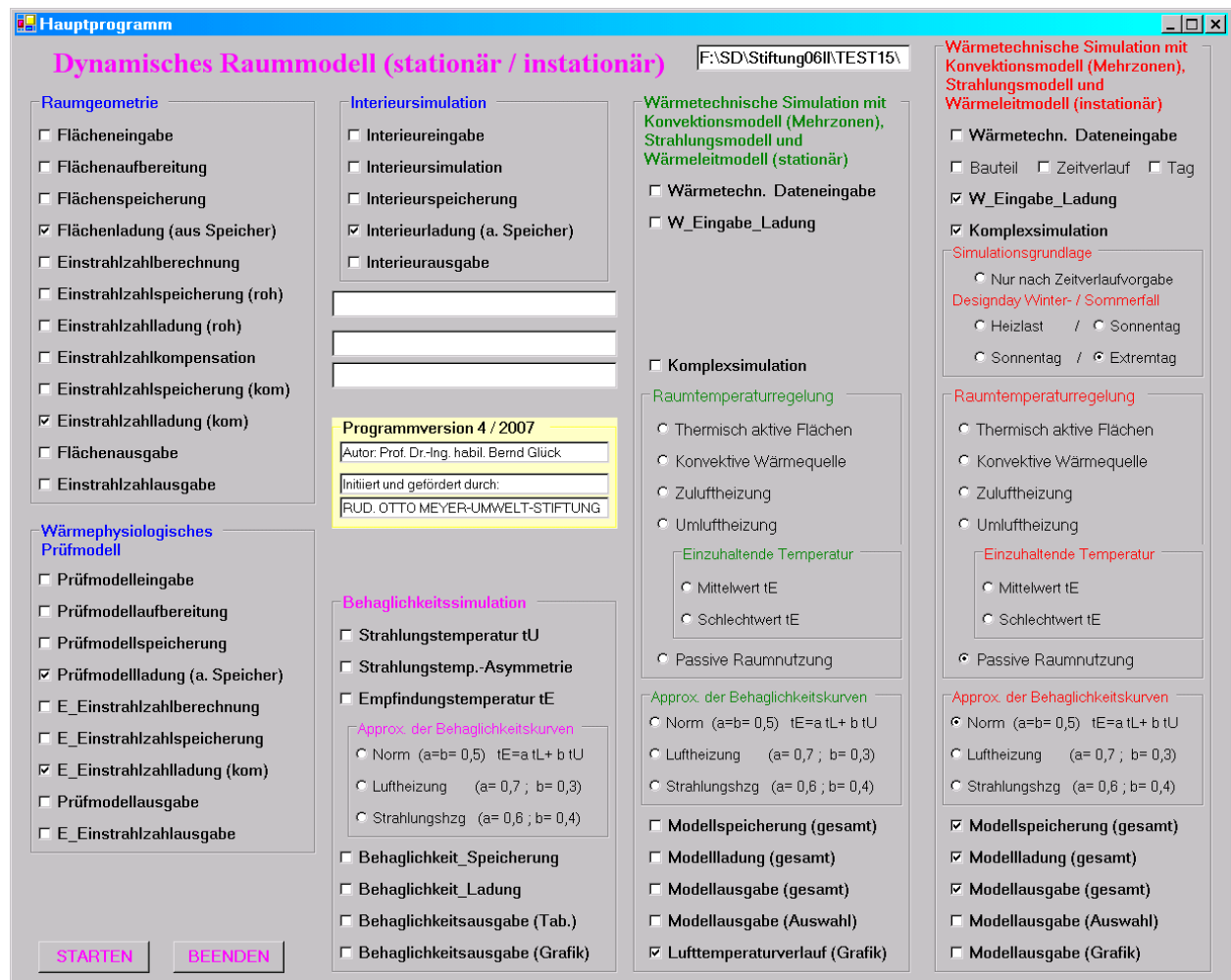


Bild 5.9 Benutzeroberfläche für das Hauptprogramm "Dynamisches Raummodell" mit den gekennzeichneten Aktivitäten (CHECKBOXEN) und Auswahlmöglichkeiten (RADIOBUTTON) zur Durchführung von TEST 15

5.2 Ergebnisse der Simulation

Die Ausgaben sind durch vielfältige Ablaufsteuerungen erzeugbar. Sie sind beispielsweise in den Bedienoberflächen der Bilder 5.9 und 5.20 angegeben. Weiterhin erfolgen zur Gewinnung von Grafiken kurze Erläuterungen in den Bildunterschriften. Ausführliche Beschreibungen sind [1, 2] zu entnehmen.

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG06\TEST15\

Gesamtausgabe des instationären wärmetechnischen Simulationsmodells

Entwurfstag 4: Daten für Sommer-Extremtag Grunddaten

Die Simulation wurde für ein Modell mit 10 horizontalen Zonen vorgenommen.

Die Anzahl der berücksichtigten Raumumfassungsflächen (Dreiecksflächen) beträgt 34.

Im Rauminnen befinden sich 0 Wärmequellen mit definiertem Standort.
Es existiert eine konvektive, standortlose Wärmequelle mit zeitabhängiger Leistung.

Es erfolgt keine Raumtemperaturregelung. Die Raumtemperatur stellt sich entsprechend der passiven Nutzungsbedingungen ein.

Soweit eine Lüftung vorhanden ist, wird die Luft impulsarm in den Raum eingebracht!

Der Zuluftvolumenstrom beträgt $V_{Lzu} = 76,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zufuhr in Zone: 1 Abfuhr in Zone: 10.

Ein Umluftvolumenstrom zur Heizung oder Kühlung existiert nicht.

Empfindungstemperaturen in der Prüfhöhe von 1,000 m über dem Fußboden:

Sollwert $t_{Esollfix} = 23,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Bei passiver Raumnutzung dient dieser Wert nur als Schätzwert zum Programmstart!

Berechnung der Empfindungstemperatur: $t_E = 0,50 t_L + 0,50 t_U$.

Der angegebene Istwert t_{Eist} entspricht dem Mittelwert, der über alle Prüfrasterpunkte gebildet wurde.

Zeitschritt: 1 s Schrittzahl: 313200
Simulationszeit: 87,0 Stunden Beginn: 0 Uhr

Wärmetechnische Flächendaten gemäß Eingabe und zugeordnete Temperaturen

i	AD m ²	eps	kappa W/(m ² K)	qab W/m ²	ta °C	tfix °C	ifrei	iaktiv	iKop- pel	iWSD	iSTyp	HR	gW	FFS
1	10,910	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
2	10,910	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
3	3,985	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
4	3,985	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	4	-	0,00	0,00
5	10,910	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
6	10,910	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
7	3,985	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
8	3,985	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
9	5,330	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
10	5,330	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
11	2,639	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
12	2,639	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
13	3,226	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
14	3,226	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
15	4,016	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
16	4,016	0,93	-	-	tRaum	-	-	-	2	-	6	-	0,00	0,00
17	5,750	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
18	5,750	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
19	0,847	0,93	1,760	-	ETag4	-	-	-	3	-	-	W	0,75	0,75
20	0,847	0,93	1,760	-	ETag4	-	-	-	3	-	-	W	0,75	0,75
21	1,364	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
22	1,364	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
23	0,435	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
24	0,435	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
25	0,158	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
26	0,158	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	W	0,00	0,00
27	3,973	0,93	1,580	-	ETag4	-	-	-	3	-	-	S	0,75	0,85
28	3,973	0,93	1,580	-	ETag4	-	-	-	3	-	-	S	0,75	0,85
29	1,097	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
30	1,097	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
31	1,097	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
32	1,097	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
33	0,490	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00
34	0,490	0,93	-	-	ETag4	-	-	-	3	-	6	S	0,00	0,00

Starttemperatur für sensible Speicherbauteile in °C: 23,00

Phasenzustand zum Start bei Latentspeicherbauteilen: 0,00 (nach tStart bestimmt!)

Legende:

i	Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
AD(i)	Größe der Fläche i (Dreiecksfläche)
eps(i)	Emissionskoeffizient der Fläche i
kappa(i)	Teilwärmedurchgangskoeffizient der Fläche i
qab(i)	vorgegebene Wärmestromdichte an der Fläche i

i	DySII	rhoSII	lamSII	cSII	Dx	Dz	Ra	jLSmin	jLSmax	jBmax	kBmax	iBmax
Dy	DySI	rhoSI	lamSI	cSI			Ri	jSImax		jRmax	jRmin	kRmax
mm	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/kg	mm	mm	m ² K/W					
5	-	-	-	-	-	-	0,780	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
18,00	2350	1,47	1050				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	180,0/	0,0/	0,0				
6	-	-	-	-	-	-	0,780	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
18,00	2350	1,47	1050				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	180,0/	0,0/	0,0				
7	-	-	-	-	-	-	0,780	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
18,00	2350	1,47	1050				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	180,0/	0,0/	0,0				
8	-	-	-	-	-	-	0,780	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
18,00	2350	1,47	1050				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	180,0/	0,0/	0,0				
9	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
10	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
11	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
12	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
13	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
14	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
15	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
16	-	-	-	-	-	-	0,130	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
27,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	270,0/	0,0/	0,0				
17	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	- Rohrbereich:	-	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				

i	DySII	rhoSII	lamSII	cSII	Dx	Dz	Ra	jLSmin	jLSmax	jBmax	kBmax	iBmax
Dy	DySI	rhoSI	lamSI	cSI			Ri	jSImax		jRmax	jRmin	kRmax
mm	mm	kg/m ³	W/(mK)	J/kg	mm	mm	m ² K/W					
18	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
21	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
22	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
23	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
24	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
25	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
26	-	-	-	-	-	-	3,680	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
29	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
30	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
31	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
32	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
33	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				
34	-	-	-	-	-	-	3,840	Simulationsgebiet:		9	-	-
	-							Grenzen der Latentspeicherschicht:	-	-		
38,00	1850	0,81	920				0,000	-	Rohrbereich:	-	-	-
Dicken in mm	Schicht I	/	Latentspeicher	/	Schicht II:	380,0/	0,0/	0,0				

Legende:

i Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)

DySII(i) Gitterweite in j-Richtung für sensible Speicherschicht II

rhoSII(i) Dichte der sensiblen Speicherschicht II
 lamSII(i) Wärmeleitfähigkeit der sensiblen Speicherschicht II
 cSII(i) spez. Wärmekapazität der sensiblen Speicherschicht II
 Dx(i) Gitterweite in i-Richtung
 Dz(i) Gitterweite in k-Richtung
 Ra(i) Wärmeübergangswiderstand mit $1/\alpha_a$ auf der Außenseite
 jBmax(i) maximale Gitterzahl in j-Richtung (Bauteildicke)
 kBmax(i) maximale Gitterzahl in k-Richtung (0,5 Rohrabstand)
 iBmax(i) maximale Gitterzahl in i-Richtung (Bauteillänge, -höhe)
 Dy(i) Gitterweite in j-Richtung für Latentspeicher
 jLSmin(i) minimale Gitterzahl in j-Richtung im Latentspeicher
 jLSmax(i) maximale Gitterzahl in j-Richtung im Latentspeicher
 DySI(i) Gitterweite in j-Richtung für sensible Speicherschicht I
 rhoSI(i) Dichte der sensiblen Speicherschicht I
 lamSI(i) Wärmeleitfähigkeit der sensiblen Speicherschicht I
 cSI(i) spez. Wärmekapazität der sensiblen Speicherschicht I
 Ri(i) Wärmeübergangswiderstand ohne $1/\alpha_i$ auf der Innenseite
 jSImax(i) maximale Gitterzahl in j-Richtung für sensible Speicherschicht I
 jRmax(i) maximale Rohr-Gitterzahl in j-Richtung
 jRmin(i) minimale Rohr-Gitterzahl in j-Richtung
 kRmax(i) maximale Rohr-Gitterzahl in k-Richtung

Rohrdaten bei Verlegung in aktiven Speicherschichten

Rohrdurchmesser in mm: 2,7/ 4,3
 Luftspalt um das Rohr in mm: -
 Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials in W/(m K): 0,21
 Wassergeschwindigkeit im Rohr in m/s: 0,10

Latentspeicherdaten

Wärmeleitfähigkeit fest/flüssig in W/(m K): 0,996 / 0,998
 Schmelzenthalpie in J/kg: 11624
 Spez. Wärmekapazität fest/flüssig in J/(kg K): 933 / 991
 Dichte in kg/m³: 1594,0
 Phasenwandeltemperaturbereich (Beginn / Ende) in °C: 24,0 / 26,0

Allgemeine zeitliche Temperatur- und Lastverläufe

Uhrzeit	tah °C	WSD1h W/m ²	WSD2h W/m ²	tWmh °C	QKQh W	tLzuh °C	tULzuh °C	Beladungh	tWeinh °C	tRh °C
0	-	0,0	0,0	-	0	22,0	-	0	-	-
1	-	0,0	0,0	-	0	21,5	-	0	-	-
2	-	0,0	0,0	-	0	20,8	-	1	19,0	-
3	-	0,0	0,0	-	0	20,4	-	1	19,0	-
4	-	0,0	0,0	-	0	20,0	-	1	19,0	-
5	-	0,0	0,0	-	0	20,2	-	1	19,0	-
6	-	0,0	0,0	-	0	20,5	-	1	19,0	-
7	-	0,0	0,0	-	0	22,0	-	0	-	-
8	-	0,0	0,0	-	0	24,5	-	0	-	-
9	-	0,0	0,0	-	0	27,0	-	0	-	-
10	-	0,0	0,0	-	0	29,0	-	0	-	-
11	-	0,0	0,0	-	0	31,0	-	0	-	-
12	-	0,0	0,0	-	0	32,0	-	0	-	-
13	-	0,0	0,0	-	0	32,7	-	0	-	-
14	-	0,0	0,0	-	0	33,4	-	0	-	-
15	-	0,0	0,0	-	0	33,8	-	0	-	-
16	-	0,0	0,0	-	0	34,0	-	0	-	-
17	-	0,0	0,0	-	100	33,5	-	0	-	-
18	-	0,0	0,0	-	200	32,0	-	0	-	-
19	-	0,0	0,0	-	300	30,0	-	0	-	-
20	-	0,0	0,0	-	300	27,9	-	0	-	-
21	-	0,0	0,0	-	300	26,0	-	0	-	-
22	-	0,0	0,0	-	0	24,7	-	0	-	-
23	-	0,0	0,0	-	0	23,5	-	0	-	-
24	-	0,0	0,0	-	0	22,0	-	0	-	-

Legende:

tah Außentemperatur bei ETag=0 oder variable Nebenraumtemperatur bei ETag>0
 WSD1h Wärmestromdichte Verlauf 1
 WSD2h Wärmestromdichte Verlauf 2
 tWmh mittlere Wassertemperatur für stationär-thermisch aktive Flächen
 QKQh konvektiver Wärmestrom

tLzuh	Zulufttemperatur
tULzuh	Umlufttemperatur
Beladungh	Beladungsrythmus: 1 Beladung; 0 keine Beladung
tWeinh	Wassereintrittstemperatur in thermisch aktive Speicherbauteile
tRh	Raumtemperatur

Spezielle zeitliche Temperatur- und Lastverläufe für Entwurfstag 4: Daten für Sommer-Extremtag

Uhrzeit	tah °C	Solare N	Wärmestromdichte NO	auf O	senkrechte SO	Wände S	und SW	Flachdach W	in W/m ² NW	Dach
0	22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	21,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	20,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20,2	107	208	203	97	27	26	26	27	56
6	20,5	163	432	486	289	60	54	54	56	178
7	22,0	116	512	669	480	92	78	77	78	335
8	24,5	109	472	729	620	217	100	97	97	498
9	27,0	121	349	681	688	366	121	113	113	646
10	29,0	130	188	553	682	492	144	129	127	761
11	31,0	137	145	368	605	575	297	142	136	835
12	32,0	139	142	156	471	604	471	156	142	861
13	32,7	137	136	142	297	575	605	368	145	835
14	33,4	130	127	129	144	492	682	553	188	761
15	33,8	121	113	113	121	366	688	681	349	646
16	34,0	109	97	97	100	217	620	729	472	498
17	33,5	116	78	77	78	92	480	669	512	335
18	32,0	163	56	54	54	60	289	486	432	178
19	30,0	107	27	26	26	27	97	203	208	56
20	27,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	26,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	24,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	23,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Legende: tah Außentemperatur

Strahlungsminderungsfaktoren durch Verschattung für Entwurfstag 4: Daten für Sommer-Extremtag

Uhrzeit	tah °C	Strahlungsminderungsfaktoren für verschattete Glasflächen								
		N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Dach
0	22,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	21,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	20,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
3	20,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4	20,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	20,2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
6	20,5	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7	22,0	1,00	0,50	0,50	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	24,5	1,00	0,50	0,50	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
9	27,0	1,00	1,00	0,50	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
10	29,0	1,00	1,00	0,50	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
11	31,0	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	1,00	1,00	1,00	0,50
12	32,0	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
13	32,7	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
14	33,4	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
15	33,8	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	1,00	0,50
16	34,0	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,40	0,20	0,50	0,50
17	33,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	0,50	1,00
18	32,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	0,50	1,00
19	30,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00
20	27,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21	26,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
22	24,7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23	23,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
24	22,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
FW:		0,804	0,869	0,915	0,870	0,782	0,870	0,915	0,869	0,916

Legende:

tah Außentemperatur

FW Abminderungsfaktor des g-Wertes infolge nicht senkrechten Strahlungseinfalls

Stündliche Temperaturen und Anpassleistung der instationären Simulation

Zeit h	Uhr	t _a °C	t _{Lzu} °C	t _{ULzu} °C	t _{aktiv} °C	t _{Wein} °C	t _{Waus} °C	QKAnpass W	t _{LPruef} °C	t _{Eist} °C	DtEist K
1	1	21,5	21,5	-	-	-	-	0	22,5	22,7	0,0
2	2	20,8	20,8	-	-	19,0	19,0	0	22,4	22,7	0,1
3	3	20,4	20,4	-	-	19,0	20,8	0	22,1	22,2	0,2
4	4	20,0	20,0	-	-	19,0	20,1	0	21,8	21,9	0,2
5	5	20,2	20,2	-	-	19,0	19,8	0	21,8	21,8	0,2
6	6	20,5	20,5	-	-	19,0	19,8	0	21,8	21,9	0,2
7	7	22,0	22,0	-	-	-	-	0	22,2	22,1	0,1
8	8	24,5	24,5	-	-	-	-	0	22,9	22,6	0,1
9	9	27,0	27,0	-	-	-	-	0	23,3	22,9	0,1
10	10	29,0	29,0	-	-	-	-	0	23,7	23,3	0,2
11	11	31,0	31,0	-	-	-	-	0	24,0	23,6	0,3
12	12	32,0	32,0	-	-	-	-	0	24,3	23,8	0,4
13	13	32,7	32,7	-	-	-	-	0	24,5	24,0	0,4
14	14	33,4	33,4	-	-	-	-	0	24,6	24,2	0,4
15	15	33,8	33,8	-	-	-	-	0	24,7	24,3	0,4
16	16	34,0	34,0	-	-	-	-	0	24,8	24,4	0,3
17	17	33,5	33,5	-	-	-	-	0	25,3	24,7	0,4
18	18	32,0	32,0	-	-	-	-	0	25,6	24,9	0,3
19	19	30,0	30,0	-	-	-	-	0	25,8	25,0	0,2
20	20	27,9	27,9	-	-	-	-	0	25,7	24,9	0,2
21	21	26,0	26,0	-	-	-	-	0	25,5	24,8	0,1
22	22	24,7	24,7	-	-	-	-	0	24,0	24,0	0,1
23	23	23,5	23,5	-	-	-	-	0	23,8	23,8	0,1
24	0	22,0	22,0	-	-	-	-	0	23,5	23,7	0,1
25	1	21,5	21,5	-	-	-	-	0	23,4	23,6	0,1
26	2	20,8	20,8	-	-	19,0	19,0	0	23,3	23,5	0,1
27	3	20,4	20,4	-	-	19,0	21,3	0	22,7	22,8	0,1
28	4	20,0	20,0	-	-	19,0	20,3	0	22,3	22,4	0,2
29	5	20,2	20,2	-	-	19,0	20,0	0	22,3	22,4	0,2
30	6	20,5	20,5	-	-	19,0	20,0	0	22,3	22,4	0,2
31	7	22,0	22,0	-	-	-	-	0	22,6	22,6	0,2
32	8	24,5	24,5	-	-	-	-	0	23,4	23,1	0,1
33	9	27,0	27,0	-	-	-	-	0	23,9	23,5	0,1
34	10	29,0	29,0	-	-	-	-	0	24,2	23,8	0,2
35	11	31,0	31,0	-	-	-	-	0	24,6	24,2	0,3
36	12	32,0	32,0	-	-	-	-	0	24,8	24,4	0,4
37	13	32,7	32,7	-	-	-	-	0	25,0	24,6	0,4
38	14	33,4	33,4	-	-	-	-	0	25,2	24,7	0,4
39	15	33,8	33,8	-	-	-	-	0	25,3	24,9	0,3
40	16	34,0	34,0	-	-	-	-	0	25,3	24,9	0,3
41	17	33,5	33,5	-	-	-	-	0	25,8	25,2	0,3
42	18	32,0	32,0	-	-	-	-	0	26,1	25,4	0,3
43	19	30,0	30,0	-	-	-	-	0	26,3	25,5	0,2
44	20	27,9	27,9	-	-	-	-	0	26,2	25,4	0,1
45	21	26,0	26,0	-	-	-	-	0	25,9	25,2	0,1
46	22	24,7	24,7	-	-	-	-	0	24,4	24,4	0,1
47	23	23,5	23,5	-	-	-	-	0	24,1	24,2	0,1
48	0	22,0	22,0	-	-	-	-	0	23,9	24,1	0,1
49	1	21,5	21,5	-	-	-	-	0	23,8	24,0	0,1
50	2	20,8	20,8	-	-	19,0	19,0	0	23,7	24,0	0,1
51	3	20,4	20,4	-	-	19,0	22,1	0	23,1	23,3	0,2
52	4	20,0	20,0	-	-	19,0	20,7	0	22,7	22,9	0,2
53	5	20,2	20,2	-	-	19,0	20,2	0	22,7	22,8	0,3
54	6	20,5	20,5	-	-	19,0	20,1	0	22,7	22,8	0,2
55	7	22,0	22,0	-	-	-	-	0	22,9	22,9	0,2
56	8	24,5	24,5	-	-	-	-	0	23,7	23,5	0,1
57	9	27,0	27,0	-	-	-	-	0	24,3	23,9	0,1
58	10	29,0	29,0	-	-	-	-	0	24,7	24,3	0,2
59	11	31,0	31,0	-	-	-	-	0	25,0	24,6	0,3

Zeit h	Uhr	t _a °C	t _{Lzu} °C	t _{ULzu} °C	t _{aktiv} °C	t _{Wein} °C	t _{Waus} °C	Q _{KAnpass} W	t _{LPruef} °C	t _{Eist} °C	Dt _{Eist} K
60	12	32,0	32,0	-	-	-	-	0	25,2	24,8	0,3
61	13	32,7	32,7	-	-	-	-	0	25,4	25,0	0,3
62	14	33,4	33,4	-	-	-	-	0	25,6	25,1	0,3
63	15	33,8	33,8	-	-	-	-	0	25,7	25,2	0,3
64	16	34,0	34,0	-	-	-	-	0	25,7	25,3	0,2
65	17	33,5	33,5	-	-	-	-	0	26,2	25,6	0,3
66	18	32,0	32,0	-	-	-	-	0	26,5	25,7	0,2
67	19	30,0	30,0	-	-	-	-	0	26,7	25,8	0,2
68	20	27,9	27,9	-	-	-	-	0	26,5	25,7	0,1
69	21	26,0	26,0	-	-	-	-	0	26,3	25,6	0,1
70	22	24,7	24,7	-	-	-	-	0	24,6	24,7	0,1
71	23	23,5	23,5	-	-	-	-	0	24,4	24,5	0,1
72	0	22,0	22,0	-	-	-	-	0	24,1	24,4	0,1
73	1	21,5	21,5	-	-	-	-	0	24,0	24,3	0,1
74	2	20,8	20,8	-	-	19,0	19,0	0	23,9	24,2	0,1
75	3	20,4	20,4	-	-	19,0	22,8	0	23,6	23,8	0,2
76	4	20,0	20,0	-	-	19,0	21,0	0	23,0	23,2	0,2
77	5	20,2	20,2	-	-	19,0	20,3	0	22,9	23,1	0,3
78	6	20,5	20,5	-	-	19,0	20,2	0	23,0	23,0	0,2
79	7	22,0	22,0	-	-	-	-	0	23,2	23,2	0,2
80	8	24,5	24,5	-	-	-	-	0	23,9	23,7	0,2
81	9	27,0	27,0	-	-	-	-	0	24,6	24,2	0,1
82	10	29,0	29,0	-	-	-	-	0	25,0	24,6	0,2
83	11	31,0	31,0	-	-	-	-	0	25,3	24,9	0,3
84	12	32,0	32,0	-	-	-	-	0	25,6	25,1	0,3
85	13	32,7	32,7	-	-	-	-	0	25,7	25,3	0,3
86	14	33,4	33,4	-	-	-	-	0	25,9	25,4	0,3
87	15	33,8	33,8	-	-	-	-	0	26,0	25,5	0,3

Legende:

Zeit	Simulationszeit (laufende Stunde)
Uhr	Tageszeit
t _a	Außentemperatur
t _{Lzu}	Zulufttemperatur
t _{ULzu}	Umlufttemperatur
t _{aktiv}	mittlere Wassertemperatur für stationär-thermisch aktive Flächen
t _{Wein}	Wassereintrittstemperatur in thermisch aktive Speicherbauteile
t _{Waus}	Wasseraustrittstemperatur aus den thermisch aktiven Speicherbauteilen
Q _{KAnpass}	konvektiver Anpasswärmestrom
t _{LPRUEF}	Lufttemperatur in Prüfhöhe
t _{Eist}	Empfindungstemperatur (Istwert)
Dt _{Eist}	Schwankung der Empfindungstemperatur über dem Grundriss (Istwert)

Stündliche Raumwärmebilanzen der instationären Simulation

Zeit h	Uhr	Q _T W	Q _{TS} W	Q _{Lzu} W	Q _{Sol} W	Heizlast W	Q _F W	Q _{FS} W	Q _{ULzu} W	Q _{Int} W	Q _{KAnpass} W	Heizung W
0	0	13	0	-35	0	48	0	0	0	0	0	0
1	1	18	-33	-42	0	27	0	27	0	0	0	27
2	2	26	-54	-57	0	29	0	28	0	0	0	28
3	3	23	-336	-55	0	-258	0	-260	0	0	0	-260
4	4	24	-422	-62	0	-336	0	-337	0	0	0	-337
5	5	23	-344	-57	130	-393	0	-394	0	0	0	-394
6	6	23	-230	-51	285	-441	0	-441	0	0	0	-441
7	7	9	-89	-16	432	-495	0	-494	0	0	0	-494
8	8	-22	-45	35	257	-357	0	-357	0	0	0	-357
9	9	-47	186	83	389	-333	0	-331	0	0	0	-331
10	10	-66	378	121	502	-312	0	-310	0	0	0	-310
11	11	-86	535	160	579	-290	0	-288	0	0	0	-288
12	12	-98	549	179	506	-233	0	-231	0	0	0	-231
13	13	-104	612	191	520	-202	0	-200	0	0	0	-200
14	14	-111	630	203	486	-170	0	-168	0	0	0	-168
15	15	-116	600	210	409	-135	0	-133	0	0	0	-133
16	16	-120	540	213	299	-92	0	-91	0	0	0	-91

Zeit h	Uhr	QT W	QTS W	QLzu W	QSol W	Heizlast W	QF W	QFS W	QULzu W	QInt W	QKANpass W	Heizung W
17	17	-107	723	188	481	-52	0	-150	0	100	0	-50
18	18	-89	647	144	322	91	0	-107	0	200	0	93
19	19	-67	540	90	142	241	0	-58	0	300	0	242
20	20	-44	380	44	0	292	0	-8	0	300	0	292
21	21	-21	321	1	0	299	0	-1	0	300	0	299
22	22	-9	59	12	0	38	0	38	0	0	0	38
23	23	5	37	-13	0	54	0	54	0	0	0	54
24	0	23	8	-45	0	76	0	76	0	0	0	76
25	1	29	-4	-55	0	80	0	80	0	0	0	80
26	2	37	-22	-71	0	85	0	85	0	0	0	85
27	3	32	-386	-73	0	-281	0	-283	0	0	0	-283
28	4	32	-506	-81	0	-394	0	-395	0	0	0	-395
29	5	30	-436	-74	130	-461	0	-461	0	0	0	-461
30	6	30	-323	-67	285	-510	0	-510	0	0	0	-510
31	7	16	-181	-32	432	-565	0	-564	0	0	0	-564
32	8	-15	-120	21	257	-412	0	-412	0	0	0	-412
33	9	-39	122	70	389	-375	0	-374	0	0	0	-374
34	10	-59	324	108	502	-345	0	-343	0	0	0	-343
35	11	-79	489	146	579	-315	0	-313	0	0	0	-313
36	12	-90	509	165	506	-252	0	-250	0	0	0	-250
37	13	-97	564	177	520	-229	0	-228	0	0	0	-228
38	14	-104	579	190	486	-201	0	-199	0	0	0	-199
39	15	-110	546	197	409	-169	0	-167	0	0	0	-167
40	16	-114	479	200	299	-134	0	-132	0	0	0	-132
41	17	-101	651	175	481	-106	0	-205	0	100	0	-105
42	18	-83	570	132	322	33	0	-166	0	200	0	34
43	19	-61	466	78	142	184	0	-115	0	300	0	185
44	20	-38	308	32	0	238	0	-62	0	300	0	238
45	21	-15	253	-10	0	249	0	-51	0	300	0	249
46	22	-3	-3	3	0	-10	0	-10	0	0	0	-10
47	23	11	-21	-21	0	10	0	10	0	0	0	10
48	0	28	-47	-54	0	36	0	35	0	0	0	35
49	1	34	-55	-65	0	44	0	44	0	0	0	44
50	2	42	-68	-80	0	55	0	54	0	0	0	54
51	3	39	-372	-86	0	-246	0	-249	0	0	0	-249
52	4	38	-553	-93	0	-423	0	-424	0	0	0	-424
53	5	36	-498	-87	130	-505	0	-506	0	0	0	-506
54	6	35	-388	-79	285	-559	0	-559	0	0	0	-559
55	7	20	-246	-43	432	-614	0	-613	0	0	0	-613
56	8	-10	-174	11	257	-452	0	-452	0	0	0	-452
57	9	-34	77	60	389	-406	0	-405	0	0	0	-405
58	10	-53	285	98	502	-368	0	-366	0	0	0	-366
59	11	-73	456	136	579	-333	0	-331	0	0	0	-331
60	12	-85	471	155	506	-274	0	-273	0	0	0	-273
61	13	-92	525	167	520	-253	0	-251	0	0	0	-251
62	14	-100	529	180	486	-236	0	-235	0	0	0	-235
63	15	-105	488	187	409	-213	0	-211	0	0	0	-211
64	16	-109	421	191	299	-179	0	-177	0	0	0	-177
65	17	-96	594	166	481	-150	0	-248	0	100	0	-148
66	18	-79	516	123	322	-8	0	-207	0	200	0	-7
67	19	-57	414	69	142	145	0	-154	0	300	0	146
68	20	-34	259	23	0	202	0	-99	0	300	0	201
69	21	-11	207	-19	0	215	0	-85	0	300	0	215
70	22	1	-46	-4	0	-41	0	-41	0	0	0	-41
71	23	15	-62	-29	0	-19	0	-19	0	0	0	-19
72	0	32	-87	-63	0	9	0	8	0	0	0	8
73	1	38	-93	-74	0	19	0	18	0	0	0	18
74	2	46	-104	-89	0	31	0	31	0	0	0	31
75	3	45	-336	-95	0	-196	0	-199	0	0	0	-199
76	4	42	-579	-103	0	-434	0	-435	0	0	0	-435
77	5	40	-541	-96	130	-535	0	-536	0	0	0	-536
78	6	38	-435	-88	285	-593	0	-594	0	0	0	-594
79	7	24	-293	-52	432	-649	0	-648	0	0	0	-648
80	8	-7	-214	4	257	-481	0	-480	0	0	0	-480

Zeit h	Uhr	QT W	QTS W	QLzu W	QSol W	Heizlast W	QF W	QFS W	QULzu W	QInt W	QKANpass W	Heizung W
81	9	-31	43	53	389	-429	0	-428	0	0	0	-428
82	10	-49	257	91	502	-385	0	-384	0	0	0	-384
83	11	-69	431	129	579	-346	0	-344	0	0	0	-344
84	12	-81	441	147	506	-294	0	-292	0	0	0	-292
85	13	-88	485	160	520	-283	0	-281	0	0	0	-281
86	14	-96	484	173	486	-272	0	-270	0	0	0	-270
87	15	-102	444	181	409	-247	0	-246	0	0	0	-246

Legende:

Zeit	Simulationszeit (laufende Stunde)
Uhr	Tageszeit
QT	Transmissionswärmestrom der passiven, nicht speichernden Flächen
QTS	Transmissionswärmestrom der passiven Speicherbauteile (Rauminnenseite)
QLzu	Lüftungswärmestrom durch Einbringung der Zuluft
QSol	Solarer Wärmestrom durch transparente Flächen
Heizlast	Gesamtwärmestrom des Raumes zur Simulationszeit (Heizung > 0)
QF	Wärmestrom von den thermisch aktiven, nicht speichernden Flächen
QFS	Wärmestrom von den thermisch aktiven Speicherbauteilen
QULzu	Wärmestrom durch Umluft
QInt	Wärmestrom durch Interieur
QKANpass	Wärmestrom durch fiktive Anpassungs-Wärmequelle
Heizung	Gesamtwärmestrom von der Heizungsanlage (Heizung > 0)

Stündliche Daten der Speicherbauteile

Zeit h	Uhr	Wärme an den Raum Wh	Wärme nach außen Wh	Rohrwärmeabgabe Wh	Speicherwärme* Wh
0	0	0	0	0	-0
1	1	51	65	0	-119
2	2	71	75	0	-274
3	3	75	114	-1566	-2037
4	4	81	139	-826	-3091
5	5	17	138	-571	-3819
6	6	-130	109	-507	-4301
7	7	-308	56	-514	-4586
8	8	-423	-56	-10	-4099
9	9	-414	-147	-5	-3528
10	10	-602	-224	-5	-2692
11	11	-755	-292	-5	-1635
12	12	-803	-337	-4	-489
13	13	-796	-373	-3	687
14	14	-805	-418	-3	1915
15	15	-766	-443	-2	3126
16	16	-682	-444	-1	4249
17	17	-816	-459	-1	5529
18	18	-814	-459	-1	6804
19	19	-676	-415	-0	7889
20	20	-516	-337	-0	8733
21	21	-355	-257	-0	9336
22	22	-170	-121	-0	9618
23	23	-2	5	0	9611
24	0	42	40	0	9525
25	1	75	63	0	9382
26	2	96	77	0	9191
27	3	102	134	-2087	6859
28	4	106	183	-1069	5495
29	5	42	184	-707	4560
30	6	-107	152	-609	3910
31	7	-285	96	-604	3472
32	8	-402	-16	-12	3897
33	9	-394	-122	-6	4421
34	10	-582	-203	-6	5215
35	11	-734	-272	-5	6230
36	12	-782	-317	-4	7335
37	13	-775	-352	-3	8468

Zeit h	Uhr	Wärme an den Raum Wh	Wärme nach außen Wh	Rohrwärmeabgabe Wh	Speicherwärme* Wh
38	14	-785	-397	-2	9657
39	15	-746	-424	-1	10828
40	16	-662	-425	-1	11911
41	17	-797	-441	-0	13156
42	18	-795	-441	-1	14393
43	19	-658	-397	-0	15445
44	20	-498	-319	-0	16251
45	21	-337	-237	-0	16818
46	22	-153	-100	-0	17064
47	23	12	32	-0	17015
48	0	56	66	0	16889
49	1	90	87	0	16707
50	2	110	97	0	16482
51	3	122	134	-2554	13663
52	4	126	206	-1385	11940
53	5	60	204	-845	10829
54	6	-90	172	-695	10053
55	7	-269	119	-673	9508
56	8	-387	11	-13	9891
57	9	-379	-107	-7	10385
58	10	-567	-192	-6	11152
59	11	-719	-261	-5	12142
60	12	-766	-306	-4	13219
61	13	-760	-341	-2	14325
62	14	-770	-386	-1	15484
63	15	-732	-412	-1	16630
64	16	-649	-413	-1	17687
65	17	-784	-429	-1	18906
66	18	-782	-429	-1	20119
67	19	-645	-386	-1	21145
68	20	-485	-307	-0	21928
69	21	-325	-224	-0	22469
70	22	-140	-83	-0	22684
71	23	23	59	-0	22597
72	0	69	90	-0	22431
73	1	103	110	0	22215
74	2	123	118	0	21957
75	3	137	142	-2800	18868
76	4	140	211	-1704	16803
77	5	74	215	-974	15536
78	6	-77	185	-766	14665
79	7	-257	133	-726	14041
80	8	-376	28	-14	14395
81	9	-369	-96	-7	14868
82	10	-556	-186	-6	15618
83	11	-708	-256	-6	16591
84	12	-755	-300	-4	17653
85	13	-749	-335	-2	18743
86	14	-760	-379	-1	19885
87	15	-722	-404	-1	21012

*bezogen auf tEsollfix oder tEsoll = f(Zeit)

Ergebnisse am Ende der Simulationszeit: 4.Simulationstag, 15⁰⁰ Uhr

Detaillierte Ergebnisse am Simulationsende: Strahlungsberechnung

i	AD(i) m ²	eps(i)	t(i) °C	e(i) W/m ²	f(i) W/m ²	qS(i) W/m ²	QS(i) W
1	10,9098	0,93	24,7	413,97	445,43	-4,05	-44
2	10,9098	0,93	24,4	412,24	443,59	-4,28	-47
3	3,9848	0,93	24,3	412,17	443,49	-3,91	-16
4	3,9848	0,93	24,3	411,70	442,98	-3,90	-16

i	AD(i) m ²	eps(i)	t(i) °C	e(i) W/m ²	f(i) W/m ²	qS(i) W/m ²	QS(i) W
5	10,9098	0,93	25,2	417,09	448,44	0,60	7
6	10,9098	0,93	24,9	415,25	446,51	-0,09	-1
7	3,9848	0,93	25,0	416,10	447,38	0,55	2
8	3,9848	0,93	24,8	414,75	445,98	-0,15	-1
9	5,3295	0,93	25,0	415,71	447,02	-0,17	-1
10	5,3295	0,93	25,0	415,83	447,14	-0,09	-1
11	2,6393	0,93	24,9	415,56	446,86	-0,23	-1
12	2,6393	0,93	25,0	416,05	447,36	0,01	0
13	3,2258	0,93	24,7	414,38	445,62	-0,65	-2
14	3,2258	0,93	24,9	415,23	446,49	-0,19	-1
15	4,0163	0,93	24,8	414,90	446,15	-0,21	-1
16	4,0163	0,93	25,0	415,73	447,01	0,20	1
17	5,7503	0,93	25,1	416,30	447,63	0,13	1
18	5,7503	0,93	25,0	416,08	447,39	0,18	1
19	0,8475	0,93	27,6	430,83	462,06	15,94	14
20	0,8475	0,93	27,7	431,04	462,28	15,95	14
21	1,3643	0,93	24,6	413,64	444,84	-0,87	-1
22	1,3643	0,93	24,8	414,66	445,89	-0,30	-0
23	0,4350	0,93	24,5	413,08	444,27	-1,30	-1
24	0,4350	0,93	24,6	413,46	444,65	-0,94	-0
25	0,1582	0,93	25,0	415,99	447,26	0,54	0
26	0,1582	0,93	25,0	415,97	447,23	0,58	0
27	3,9725	0,93	27,1	427,65	458,92	12,32	49
28	3,9725	0,93	27,2	428,22	459,49	12,78	51
29	1,0965	0,93	24,6	413,86	445,14	-1,71	-2
30	1,0965	0,93	24,8	414,72	446,02	-1,09	-1
31	1,0965	0,93	24,6	413,69	444,94	-1,40	-2
32	1,0965	0,93	24,8	414,60	445,87	-0,79	-1
33	0,4900	0,93	25,0	415,76	447,07	-0,18	-0
34	0,4900	0,93	25,0	415,74	447,03	-0,00	-0

Legende: i Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
AD(i) Größe der Fläche i (Dreiecksfläche)
eps(i) Emissionskoeffizient der Fläche i
t(i) Oberflächentemperatur der Fläche i
e(i) Strahlungsemissionsstromdichte der Fläche i
f(i) Flächenhelligkeit der Fläche i
qS(i) Wärmestromdichte infolge Strahlung von der Fläche i
QS(i) Wärmestrom infolge Strahlung von der Fläche i
Bilanzsumme aller Strahlungswärmeströme im Raum: 1,1 W.

Detaillierte Ergebnisse am Simulationsende: Wärmebilanzen an den Oberflächen i

i	t °C	ta °C	qL W/m ²	qK W/m ²	qS W/m ²	qSint W/m ²	qSol W/m ²	QL W	QK W	QS W	QSint W	QSol W	DQ W
1	24,7	25,5	10,2	-0,2	-4,0	0,0	6,0	112	-2	-44	0	66	-0
2	24,4	25,5	7,1	-0,3	-4,3	0,0	2,5	77	-3	-47	0	27	-0
3	24,3	25,5	7,8	-0,4	-3,9	0,0	3,5	31	-2	-16	0	14	-0
4	24,3	25,5	6,4	-0,4	-3,9	0,0	2,0	25	-2	-16	0	8	-0
5	25,2	25,5	7,4	-3,1	0,6	0,0	5,0	81	-34	7	0	54	-0
6	24,9	25,5	6,8	-4,0	-0,1	0,0	2,7	74	-44	-1	0	29	-0
7	25,0	25,5	8,7	-3,6	0,5	0,0	5,7	35	-14	2	0	23	-0
8	24,8	25,5	6,5	-4,3	-0,2	0,0	2,0	26	-17	-1	0	8	-0
9	25,0	25,5	5,0	-1,1	-0,2	0,0	3,8	27	-6	-1	0	20	-0
10	25,0	25,5	4,8	-1,9	-0,1	0,0	2,9	26	-10	-1	0	15	-0
11	24,9	25,5	4,8	-1,1	-0,2	0,0	3,4	13	-3	-1	0	9	-0
12	25,0	25,5	4,6	-1,8	0,0	0,0	2,9	12	-5	0	0	8	-0
13	24,7	25,5	5,2	-1,5	-0,6	0,0	3,1	17	-5	-2	0	10	-0
14	24,9	25,5	5,1	-2,1	-0,2	0,0	2,8	17	-7	-1	0	9	-0
15	24,8	25,5	5,2	-1,3	-0,2	0,0	3,7	21	-5	-1	0	15	-0
16	25,0	25,5	5,2	-1,9	0,2	0,0	3,5	21	-8	1	0	14	-0
17	25,1	61,0	4,0	-0,9	0,1	0,0	3,2	23	-5	1	0	18	-0
18	25,0	61,0	3,7	-1,8	0,2	0,0	2,1	21	-10	1	0	12	-0
19	27,6	33,8	-10,8	2,9	15,9	0,0	8,0	-9	2	14	0	7	-0

i	t °C	ta °C	qL W/m ²	qK W/m ²	qS W/m ²	qSint W/m ²	qSol W/m ²	QL W	QK W	QS W	QSint W	QSol W	DQ W
20	27,7	33,8	-10,8	2,6	15,9	0,0	7,8	-9	2	14	0	7	-0
21	24,6	61,0	3,2	-1,8	-0,9	0,0	0,6	4	-2	-1	0	1	-0
22	24,8	61,0	3,1	-2,3	-0,3	0,0	0,5	4	-3	-0	0	1	-0
23	24,5	61,0	3,5	-1,3	-1,3	0,0	0,9	2	-1	-1	0	0	-0
24	24,6	61,0	3,5	-1,7	-0,9	0,0	0,8	2	-1	-0	0	0	-0
25	25,0	61,0	3,8	-3,4	0,5	0,0	0,9	1	-1	0	0	0	-0
26	25,0	61,0	3,8	-3,7	0,6	0,0	0,8	1	-1	0	0	0	-0
27	27,1	33,8	-10,6	2,3	12,3	0,0	4,0	-42	9	49	0	16	-0
28	27,2	33,8	-10,4	1,7	12,8	0,0	4,0	-41	7	51	0	16	0
29	24,6	48,4	3,5	-1,7	-1,7	0,0	0,1	4	-2	-2	0	0	-0
30	24,8	48,4	3,5	-2,3	-1,1	0,0	0,1	4	-2	-1	0	0	-0
31	24,6	48,4	3,5	-1,7	-1,4	0,0	0,3	4	-2	-2	0	0	-0
32	24,8	48,4	3,4	-2,3	-0,8	0,0	0,3	4	-3	-1	0	0	-0
33	25,0	48,4	4,1	-3,5	-0,2	0,0	0,3	2	-2	-0	0	0	-0
34	25,0	48,4	4,2	-3,8	-0,0	0,0	0,4	2	-2	-0	0	0	-0

Legende:

i	Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
t(i)	Oberflächentemperatur der Fläche i
ta(i)	Temperatur auf der Außenseite der Fläche i bzw. des Heiz-/Kühlmediums
qL(i)	Wärmestromdichte durch Leitung von der Fläche i nach außen
qK(i)	Wärmestromdichte durch Konvektion von der Fläche i an die Raumluft
qS(i)	Wärmestromdichte durch Strahlung von der Fläche i an die übrigen Raumflächen
qSint(i)	Wärmestromdichte durch Strahlung von den Interieurwärmequellen an Fläche i
qSol(i)	Wärmestromdichte durch Solarstrahlung durch transparente Bauteile an Fläche i
QL(i)	Wärmestrom durch Leitung von der Fläche i nach außen
QK(i)	Wärmestrom durch Konvektion von der Fläche i an die Raumluft
QS(i)	Wärmestrom durch Strahlung von der Fläche i an die übrigen Raumflächen
QSint(i)	Wärmestrom durch Strahlung von den Interieurwärmequellen an Fläche i
QSol(i)	Wärmestrom durch Solarstrahlung durch transparente Bauteile an Fläche i
DQ(i)	Bilanzwärmestrom der Fläche i

Detaillierte Ergebnisse am Simulationsende:

Konvektionsströme an den Flächenabschnitten innerhalb der Horizontalzonen

i	zone	AD(i) m ²	ADzone(i, z) m ²	t(i) °C	tLzone(z) °C	alphaK(i, z) W/(m ² K)	mK(i, z) kg/s	QK(i, z) W
1	1	10,9098	10,9098	24,7	25,1	0,39	-0,0552	-1,7
1	2	10,9098	0,0000	24,7	25,5	0,00	0,0000	0,0
1	3	10,9098	0,0000	24,7	25,8	0,00	0,0000	0,0
1	4	10,9098	0,0000	24,7	25,9	0,00	0,0000	0,0
1	5	10,9098	0,0000	24,7	26,0	0,00	0,0000	0,0
1	6	10,9098	0,0000	24,7	26,1	0,00	0,0000	0,0
1	7	10,9098	0,0000	24,7	26,1	0,00	0,0000	0,0
1	8	10,9098	0,0000	24,7	26,2	0,00	0,0000	0,0
1	9	10,9098	0,0000	24,7	26,3	0,00	0,0000	0,0
1	10	10,9098	0,0000	24,7	26,7	0,00	0,0000	0,0
2	1	10,9098	10,9098	24,4	25,1	0,44	-0,0676	-3,4
2	2	10,9098	0,0000	24,4	25,5	0,00	0,0000	0,0
2	3	10,9098	0,0000	24,4	25,8	0,00	0,0000	0,0
2	4	10,9098	0,0000	24,4	25,9	0,00	0,0000	0,0
2	5	10,9098	0,0000	24,4	26,0	0,00	0,0000	0,0
2	6	10,9098	0,0000	24,4	26,1	0,00	0,0000	0,0
2	7	10,9098	0,0000	24,4	26,1	0,00	0,0000	0,0
2	8	10,9098	0,0000	24,4	26,2	0,00	0,0000	0,0
2	9	10,9098	0,0000	24,4	26,3	0,00	0,0000	0,0
2	10	10,9098	0,0000	24,4	26,7	0,00	0,0000	0,0
3	1	3,9848	3,9848	24,3	25,1	0,54	-0,0248	-1,5
3	2	3,9848	0,0000	24,3	25,5	0,00	0,0000	0,0
3	3	3,9848	0,0000	24,3	25,8	0,00	0,0000	0,0
3	4	3,9848	0,0000	24,3	25,9	0,00	0,0000	0,0
3	5	3,9848	0,0000	24,3	26,0	0,00	0,0000	0,0
3	6	3,9848	0,0000	24,3	26,1	0,00	0,0000	0,0
3	7	3,9848	0,0000	24,3	26,1	0,00	0,0000	0,0
3	8	3,9848	0,0000	24,3	26,2	0,00	0,0000	0,0

i	zone	AD(i) m ²	ADzone(i, z) m ²	t(i) °C	tLzone(z) °C	alphaK(i, z) W/(m ² K)	mK(i, z) kg/s	QK(i, z) W
3	9	3,9848	0,0000	24,3	26,3	0,00	0,0000	0,0
3	10	3,9848	0,0000	24,3	26,7	0,00	0,0000	0,0
4	1	3,9848	3,9848	24,3	25,1	0,55	-0,0258	-1,8
4	2	3,9848	0,0000	24,3	25,5	0,00	0,0000	0,0
4	3	3,9848	0,0000	24,3	25,8	0,00	0,0000	0,0
4	4	3,9848	0,0000	24,3	25,9	0,00	0,0000	0,0
4	5	3,9848	0,0000	24,3	26,0	0,00	0,0000	0,0
4	6	3,9848	0,0000	24,3	26,1	0,00	0,0000	0,0
4	7	3,9848	0,0000	24,3	26,1	0,00	0,0000	0,0
4	8	3,9848	0,0000	24,3	26,2	0,00	0,0000	0,0
4	9	3,9848	0,0000	24,3	26,3	0,00	0,0000	0,0
4	10	3,9848	0,0000	24,3	26,7	0,00	0,0000	0,0
5	1	10,9098	0,0000	25,2	25,1	0,00	0,0000	0,0
5	2	10,9098	0,0000	25,2	25,5	0,00	0,0000	0,0
5	3	10,9098	0,0000	25,2	25,8	0,00	0,0000	0,0
5	4	10,9098	0,0000	25,2	25,9	0,00	0,0000	0,0
5	5	10,9098	0,0000	25,2	26,0	0,00	0,0000	0,0
5	6	10,9098	0,0000	25,2	26,1	0,00	0,0000	0,0
5	7	10,9098	0,0000	25,2	26,1	0,00	0,0000	0,0
5	8	10,9098	0,0000	25,2	26,2	0,00	0,0000	0,0
5	9	10,9098	0,0000	25,2	26,3	0,00	0,0000	0,0
5	10	10,9098	10,9098	25,2	26,7	2,08	-0,0877	-33,6
6	1	10,9098	0,0000	24,9	25,1	0,00	0,0000	0,0
6	2	10,9098	0,0000	24,9	25,5	0,00	0,0000	0,0
6	3	10,9098	0,0000	24,9	25,8	0,00	0,0000	0,0
6	4	10,9098	0,0000	24,9	25,9	0,00	0,0000	0,0
6	5	10,9098	0,0000	24,9	26,0	0,00	0,0000	0,0
6	6	10,9098	0,0000	24,9	26,1	0,00	0,0000	0,0
6	7	10,9098	0,0000	24,9	26,1	0,00	0,0000	0,0
6	8	10,9098	0,0000	24,9	26,2	0,00	0,0000	0,0
6	9	10,9098	0,0000	24,9	26,3	0,00	0,0000	0,0
6	10	10,9098	10,9098	24,9	26,7	2,22	-0,0941	-43,9
7	1	3,9848	0,0000	25,0	25,1	0,00	0,0000	0,0
7	2	3,9848	0,0000	25,0	25,5	0,00	0,0000	0,0
7	3	3,9848	0,0000	25,0	25,8	0,00	0,0000	0,0
7	4	3,9848	0,0000	25,0	25,9	0,00	0,0000	0,0
7	5	3,9848	0,0000	25,0	26,0	0,00	0,0000	0,0
7	6	3,9848	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
7	7	3,9848	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
7	8	3,9848	0,0000	25,0	26,2	0,00	0,0000	0,0
7	9	3,9848	0,0000	25,0	26,3	0,00	0,0000	0,0
7	10	3,9848	3,9848	25,0	26,7	2,16	-0,0333	-14,3
8	1	3,9848	0,0000	24,8	25,1	0,00	0,0000	0,0
8	2	3,9848	0,0000	24,8	25,5	0,00	0,0000	0,0
8	3	3,9848	0,0000	24,8	25,8	0,00	0,0000	0,0
8	4	3,9848	0,0000	24,8	25,9	0,00	0,0000	0,0
8	5	3,9848	0,0000	24,8	26,0	0,00	0,0000	0,0
8	6	3,9848	0,0000	24,8	26,1	0,00	0,0000	0,0
8	7	3,9848	0,0000	24,8	26,1	0,00	0,0000	0,0
8	8	3,9848	0,0000	24,8	26,2	0,00	0,0000	0,0
8	9	3,9848	0,0000	24,8	26,3	0,00	0,0000	0,0
8	10	3,9848	3,9848	24,8	26,7	2,26	-0,0350	-17,1
9	1	5,3295	1,0126	25,0	25,1	0,68	-0,0030	-0,1
9	2	5,3295	0,9060	25,0	25,5	1,22	-0,0052	-0,6
9	3	5,3295	0,7994	25,0	25,8	1,35	-0,0051	-0,8
9	4	5,3295	0,6928	25,0	25,9	1,42	-0,0047	-0,9
9	5	5,3295	0,5862	25,0	26,0	1,48	-0,0042	-0,9
9	6	5,3295	0,4797	25,0	26,1	1,50	-0,0035	-0,8
9	7	5,3295	0,3731	25,0	26,1	1,52	-0,0027	-0,7
9	8	5,3295	0,2665	25,0	26,2	1,55	-0,0020	-0,5
9	9	5,3295	0,1599	25,0	26,3	1,57	-0,0012	-0,3
9	10	5,3295	0,0533	25,0	26,7	1,73	-0,0005	-0,2
10	1	5,3295	0,0533	25,0	25,1	0,62	-0,0001	-0,0

i	zone	AD(i) m ²	ADzone(i, z) m ²	t(i) °C	tLzone(z) °C	alphaK(i, z) W/(m ² K)	mK(i, z) kg/s	QK(i, z) W
10	2	5,3295	0,1599	25,0	25,5	1,21	-0,0009	-0,1
10	3	5,3295	0,2665	25,0	25,8	1,34	-0,0017	-0,3
10	4	5,3295	0,3731	25,0	25,9	1,41	-0,0025	-0,5
10	5	5,3295	0,4797	25,0	26,0	1,47	-0,0034	-0,7
10	6	5,3295	0,5862	25,0	26,1	1,49	-0,0042	-0,9
10	7	5,3295	0,6928	25,0	26,1	1,51	-0,0051	-1,2
10	8	5,3295	0,7994	25,0	26,2	1,54	-0,0060	-1,5
10	9	5,3295	0,9060	25,0	26,3	1,56	-0,0069	-1,8
10	10	5,3295	1,0126	25,0	26,7	1,72	-0,0086	-3,0
11	1	2,6393	0,5015	24,9	25,1	0,74	-0,0016	-0,0
11	2	2,6393	0,4487	24,9	25,5	1,24	-0,0026	-0,3
11	3	2,6393	0,3959	24,9	25,8	1,37	-0,0026	-0,4
11	4	2,6393	0,3431	24,9	25,9	1,43	-0,0024	-0,5
11	5	2,6393	0,2903	24,9	26,0	1,49	-0,0021	-0,5
11	6	2,6393	0,2375	24,9	26,1	1,51	-0,0017	-0,4
11	7	2,6393	0,1847	24,9	26,1	1,53	-0,0014	-0,3
11	8	2,6393	0,1320	24,9	26,2	1,56	-0,0010	-0,3
11	9	2,6393	0,0792	24,9	26,3	1,58	-0,0006	-0,2
11	10	2,6393	0,0264	24,9	26,7	1,74	-0,0002	-0,1
12	1	2,6393	0,0264	25,0	25,1	0,46	-0,0000	-0,0
12	2	2,6393	0,0792	25,0	25,5	1,18	-0,0004	-0,0
12	3	2,6393	0,1320	25,0	25,8	1,32	-0,0008	-0,1
12	4	2,6393	0,1847	25,0	25,9	1,39	-0,0012	-0,2
12	5	2,6393	0,2375	25,0	26,0	1,45	-0,0017	-0,3
12	6	2,6393	0,2903	25,0	26,1	1,48	-0,0021	-0,4
12	7	2,6393	0,3431	25,0	26,1	1,50	-0,0025	-0,6
12	8	2,6393	0,3959	25,0	26,2	1,53	-0,0029	-0,7
12	9	2,6393	0,4487	25,0	26,3	1,55	-0,0034	-0,8
12	10	2,6393	0,5015	25,0	26,7	1,71	-0,0042	-1,4
13	1	3,2258	0,6129	24,7	25,1	1,03	-0,0029	-0,2
13	2	3,2258	0,5484	24,7	25,5	1,36	-0,0036	-0,6
13	3	3,2258	0,4839	24,7	25,8	1,47	-0,0034	-0,7
13	4	3,2258	0,4193	24,7	25,9	1,53	-0,0031	-0,7
13	5	3,2258	0,3548	24,7	26,0	1,58	-0,0027	-0,7
13	6	3,2258	0,2903	24,7	26,1	1,60	-0,0023	-0,6
13	7	3,2258	0,2258	24,7	26,1	1,62	-0,0018	-0,5
13	8	3,2258	0,1613	24,7	26,2	1,64	-0,0013	-0,4
13	9	3,2258	0,0968	24,7	26,3	1,66	-0,0008	-0,2
13	10	3,2258	0,0323	24,7	26,7	1,80	-0,0003	-0,1
14	1	3,2258	0,0323	24,9	25,1	0,85	-0,0001	-0,0
14	2	3,2258	0,0968	24,9	25,5	1,28	-0,0006	-0,1
14	3	3,2258	0,1613	24,9	25,8	1,40	-0,0011	-0,2
14	4	3,2258	0,2258	24,9	25,9	1,46	-0,0016	-0,3
14	5	3,2258	0,2903	24,9	26,0	1,52	-0,0021	-0,5
14	6	3,2258	0,3548	24,9	26,1	1,54	-0,0026	-0,6
14	7	3,2258	0,4193	24,9	26,1	1,56	-0,0032	-0,8
14	8	3,2258	0,4839	24,9	26,2	1,59	-0,0037	-1,0
14	9	3,2258	0,5484	24,9	26,3	1,61	-0,0043	-1,2
14	10	3,2258	0,6129	24,9	26,7	1,76	-0,0053	-2,0
15	1	4,0163	0,7631	24,8	25,1	0,93	-0,0032	-0,2
15	2	4,0163	0,6828	24,8	25,5	1,31	-0,0042	-0,6
15	3	4,0163	0,6024	24,8	25,8	1,43	-0,0041	-0,8
15	4	4,0163	0,5221	24,8	25,9	1,49	-0,0037	-0,8
15	5	4,0163	0,4418	24,8	26,0	1,54	-0,0033	-0,8
15	6	4,0163	0,3615	24,8	26,1	1,56	-0,0027	-0,7
15	7	4,0163	0,2811	24,8	26,1	1,58	-0,0022	-0,6
15	8	4,0163	0,2008	24,8	26,2	1,61	-0,0016	-0,4
15	9	4,0163	0,1205	24,8	26,3	1,63	-0,0010	-0,3
15	10	4,0163	0,0402	24,8	26,7	1,77	-0,0004	-0,1
16	1	4,0163	0,0402	25,0	25,1	0,67	-0,0001	-0,0
16	2	4,0163	0,1205	25,0	25,5	1,22	-0,0007	-0,1
16	3	4,0163	0,2008	25,0	25,8	1,35	-0,0013	-0,2
16	4	4,0163	0,2811	25,0	25,9	1,42	-0,0019	-0,4
16	5	4,0163	0,3615	25,0	26,0	1,48	-0,0026	-0,6

i	zone	AD(i) m ²	ADzone(i, z) m ²	t(i) °C	tLzone(z) °C	alphaK(i, z) W/(m ² K)	mK(i, z) kg/s	QK(i, z) W
16	6	4,0163	0,4418	25,0	26,1	1,50	-0,0032	-0,7
16	7	4,0163	0,5221	25,0	26,1	1,52	-0,0038	-0,9
16	8	4,0163	0,6024	25,0	26,2	1,55	-0,0045	-1,1
16	9	4,0163	0,6828	25,0	26,3	1,57	-0,0052	-1,4
16	10	4,0163	0,7631	25,0	26,7	1,73	-0,0065	-2,3
17	1	5,7503	1,0925	25,1	25,1	0,47	0,0020	0,0
17	2	5,7503	0,9775	25,1	25,5	1,15	-0,0052	-0,5
17	3	5,7503	0,8625	25,1	25,8	1,29	-0,0053	-0,8
17	4	5,7503	0,7475	25,1	25,9	1,37	-0,0049	-0,8
17	5	5,7503	0,6325	25,1	26,0	1,43	-0,0043	-0,9
17	6	5,7503	0,5175	25,1	26,1	1,46	-0,0036	-0,7
17	7	5,7503	0,4025	25,1	26,1	1,48	-0,0029	-0,6
17	8	5,7503	0,2875	25,1	26,2	1,51	-0,0021	-0,5
17	9	5,7503	0,1725	25,1	26,3	1,53	-0,0013	-0,3
17	10	5,7503	0,0575	25,1	26,7	1,70	-0,0005	-0,2
18	1	5,7503	0,0575	25,0	25,1	0,42	-0,0001	-0,0
18	2	5,7503	0,1725	25,0	25,5	1,17	-0,0009	-0,1
18	3	5,7503	0,2875	25,0	25,8	1,32	-0,0018	-0,3
18	4	5,7503	0,4025	25,0	25,9	1,39	-0,0027	-0,5
18	5	5,7503	0,5175	25,0	26,0	1,45	-0,0036	-0,7
18	6	5,7503	0,6325	25,0	26,1	1,47	-0,0045	-1,0
18	7	5,7503	0,7475	25,0	26,1	1,50	-0,0054	-1,2
18	8	5,7503	0,8625	25,0	26,2	1,53	-0,0064	-1,5
18	9	5,7503	0,9775	25,0	26,3	1,55	-0,0073	-1,8
18	10	5,7503	1,0925	25,0	26,7	1,71	-0,0091	-3,1
19	1	0,8475	0,0000	27,6	25,1	0,00	0,0000	0,0
19	2	0,8475	0,0000	27,6	25,5	0,00	0,0000	0,0
19	3	0,8475	0,0000	27,6	25,8	0,00	0,0000	0,0
19	4	0,8475	0,3051	27,6	25,9	1,80	0,0026	1,0
19	5	0,8475	0,1271	27,6	26,0	1,76	0,0011	0,4
19	6	0,8475	0,2034	27,6	26,1	1,74	0,0017	0,6
19	7	0,8475	0,1356	27,6	26,1	1,72	0,0011	0,4
19	8	0,8475	0,0424	27,6	26,2	1,70	0,0003	0,1
19	9	0,8475	0,0339	27,6	26,3	1,68	0,0003	0,1
19	10	0,8475	0,0000	27,6	26,7	0,00	0,0000	0,0
20	1	0,8475	0,0000	27,7	25,1	0,00	0,0000	0,0
20	2	0,8475	0,0000	27,7	25,5	0,00	0,0000	0,0
20	3	0,8475	0,0000	27,7	25,8	0,00	0,0000	0,0
20	4	0,8475	0,0339	27,7	25,9	1,81	0,0003	0,1
20	5	0,8475	0,0424	27,7	26,0	1,77	0,0004	0,1
20	6	0,8475	0,1356	27,7	26,1	1,75	0,0011	0,4
20	7	0,8475	0,2034	27,7	26,1	1,74	0,0017	0,6
20	8	0,8475	0,1271	27,7	26,2	1,71	0,0010	0,3
20	9	0,8475	0,3051	27,7	26,3	1,69	0,0024	0,7
20	10	0,8475	0,0000	27,7	26,7	0,00	0,0000	0,0
21	1	1,3643	0,2592	24,6	25,1	1,14	-0,0014	-0,1
21	2	1,3643	0,2319	24,6	25,5	1,43	-0,0016	-0,3
21	3	1,3643	0,2046	24,6	25,8	1,53	-0,0015	-0,4
21	4	1,3643	0,1774	24,6	25,9	1,58	-0,0014	-0,4
21	5	1,3643	0,1501	24,6	26,0	1,63	-0,0012	-0,3
21	6	1,3643	0,1228	24,6	26,1	1,64	-0,0010	-0,3
21	7	1,3643	0,0955	24,6	26,1	1,66	-0,0008	-0,2
21	8	1,3643	0,0682	24,6	26,2	1,69	-0,0006	-0,2
21	9	1,3643	0,0409	24,6	26,3	1,70	-0,0003	-0,1
21	10	1,3643	0,0136	24,6	26,7	1,84	-0,0001	-0,1
22	1	1,3643	0,0136	24,8	25,1	0,98	-0,0001	-0,0
22	2	1,3643	0,0409	24,8	25,5	1,34	-0,0003	-0,0
22	3	1,3643	0,0682	24,8	25,8	1,45	-0,0005	-0,1
22	4	1,3643	0,0955	24,8	25,9	1,51	-0,0007	-0,2
22	5	1,3643	0,1228	24,8	26,0	1,56	-0,0009	-0,2
22	6	1,3643	0,1501	24,8	26,1	1,58	-0,0011	-0,3
22	7	1,3643	0,1774	24,8	26,1	1,60	-0,0014	-0,4
22	8	1,3643	0,2046	24,8	26,2	1,62	-0,0016	-0,5
22	9	1,3643	0,2319	24,8	26,3	1,64	-0,0019	-0,6

i	zone	AD(i) m ²	ADzone(i, z) m ²	t(i) °C	tLzone(z) °C	alphaK(i, z) W/(m ² K)	mK(i, z) kg/s	QK(i, z) W
22	10	1,3643	0,2592	24,8	26,7	1,79	-0,0023	-0,9
23	1	0,4350	0,2219	24,5	25,1	1,37	-0,0013	-0,2
23	2	0,4350	0,1740	24,5	25,5	1,64	-0,0012	-0,3
23	3	0,4350	0,0392	24,5	25,8	1,74	-0,0003	-0,1
23	4	0,4350	0,0000	24,5	25,9	0,00	0,0000	0,0
23	5	0,4350	0,0000	24,5	26,0	0,00	0,0000	0,0
23	6	0,4350	0,0000	24,5	26,1	0,00	0,0000	0,0
23	7	0,4350	0,0000	24,5	26,1	0,00	0,0000	0,0
23	8	0,4350	0,0000	24,5	26,2	0,00	0,0000	0,0
23	9	0,4350	0,0000	24,5	26,3	0,00	0,0000	0,0
23	10	0,4350	0,0000	24,5	26,7	0,00	0,0000	0,0
24	1	0,4350	0,0392	24,6	25,1	1,32	-0,0002	-0,0
24	2	0,4350	0,1740	24,6	25,5	1,61	-0,0012	-0,3
24	3	0,4350	0,2219	24,6	25,8	1,71	-0,0016	-0,5
24	4	0,4350	0,0000	24,6	25,9	0,00	0,0000	0,0
24	5	0,4350	0,0000	24,6	26,0	0,00	0,0000	0,0
24	6	0,4350	0,0000	24,6	26,1	0,00	0,0000	0,0
24	7	0,4350	0,0000	24,6	26,1	0,00	0,0000	0,0
24	8	0,4350	0,0000	24,6	26,2	0,00	0,0000	0,0
24	9	0,4350	0,0000	24,6	26,3	0,00	0,0000	0,0
24	10	0,4350	0,0000	24,6	26,7	0,00	0,0000	0,0
25	1	0,1582	0,0000	25,0	25,1	0,00	0,0000	0,0
25	2	0,1582	0,0000	25,0	25,5	0,00	0,0000	0,0
25	3	0,1582	0,0000	25,0	25,8	0,00	0,0000	0,0
25	4	0,1582	0,0000	25,0	25,9	0,00	0,0000	0,0
25	5	0,1582	0,0000	25,0	26,0	0,00	0,0000	0,0
25	6	0,1582	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
25	7	0,1582	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
25	8	0,1582	0,0000	25,0	26,2	0,00	0,0000	0,0
25	9	0,1582	0,0301	25,0	26,3	1,99	-0,0002	-0,1
25	10	0,1582	0,1281	25,0	26,7	2,17	-0,0011	-0,5
26	1	0,1582	0,0000	25,0	25,1	0,00	0,0000	0,0
26	2	0,1582	0,0000	25,0	25,5	0,00	0,0000	0,0
26	3	0,1582	0,0000	25,0	25,8	0,00	0,0000	0,0
26	4	0,1582	0,0000	25,0	25,9	0,00	0,0000	0,0
26	5	0,1582	0,0000	25,0	26,0	0,00	0,0000	0,0
26	6	0,1582	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
26	7	0,1582	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
26	8	0,1582	0,0000	25,0	26,2	0,00	0,0000	0,0
26	9	0,1582	0,0016	25,0	26,3	2,00	-0,0000	-0,0
26	10	0,1582	0,1566	25,0	26,7	2,18	-0,0013	-0,6
27	1	3,9725	0,7548	27,1	25,1	1,83	0,0068	2,8
27	2	3,9725	0,6753	27,1	25,5	1,69	0,0055	1,8
27	3	3,9725	0,5959	27,1	25,8	1,61	0,0046	1,3
27	4	3,9725	0,5164	27,1	25,9	1,55	0,0038	1,0
27	5	3,9725	0,7945	27,1	26,0	1,50	0,0057	1,3
27	6	3,9725	0,2781	27,1	26,1	1,48	0,0020	0,4
27	7	3,9725	0,1986	27,1	26,1	1,45	0,0014	0,3
27	8	3,9725	0,1192	27,1	26,2	1,42	0,0008	0,2
27	9	3,9725	0,0397	27,1	26,3	1,39	0,0003	0,0
27	10	3,9725	0,0000	27,1	26,7	0,00	0,0000	0,0
28	1	3,9725	0,0397	27,2	25,1	1,86	0,0004	0,2
28	2	3,9725	0,1192	27,2	25,5	1,72	0,0010	0,3
28	3	3,9725	0,1986	27,2	25,8	1,64	0,0016	0,5
28	4	3,9725	0,2781	27,2	25,9	1,59	0,0021	0,6
28	5	3,9725	0,7945	27,2	26,0	1,54	0,0059	1,4
28	6	3,9725	0,5164	27,2	26,1	1,52	0,0038	0,9
28	7	3,9725	0,5959	27,2	26,1	1,50	0,0043	1,0
28	8	3,9725	0,6753	27,2	26,2	1,46	0,0047	1,0
28	9	3,9725	0,7548	27,2	26,3	1,44	0,0052	1,0
28	10	3,9725	0,0000	27,2	26,7	0,00	0,0000	0,0
29	1	1,0965	0,2083	24,6	25,1	1,11	-0,0011	-0,1
29	2	1,0965	0,1864	24,6	25,5	1,41	-0,0013	-0,2

i	zone	AD(i) m ²	ADzone(i, z) m ²	t(i) °C	tLzone(z) °C	alphaK(i, z) W/(m ² K)	mK(i, z) kg/s	QK(i, z) W
29	3	1,0965	0,1645	24,6	25,8	1,51	-0,0012	-0,3
29	4	1,0965	0,1425	24,6	25,9	1,57	-0,0011	-0,3
29	5	1,0965	0,1206	24,6	26,0	1,61	-0,0009	-0,3
29	6	1,0965	0,0987	24,6	26,1	1,63	-0,0008	-0,2
29	7	1,0965	0,0768	24,6	26,1	1,65	-0,0006	-0,2
29	8	1,0965	0,0548	24,6	26,2	1,67	-0,0004	-0,1
29	9	1,0965	0,0329	24,6	26,3	1,69	-0,0003	-0,1
29	10	1,0965	0,0110	24,6	26,7	1,83	-0,0001	-0,0
30	1	1,0965	0,0110	24,8	25,1	0,96	-0,0000	-0,0
30	2	1,0965	0,0329	24,8	25,5	1,33	-0,0002	-0,0
30	3	1,0965	0,0548	24,8	25,8	1,44	-0,0004	-0,1
30	4	1,0965	0,0768	24,8	25,9	1,50	-0,0006	-0,1
30	5	1,0965	0,0987	24,8	26,0	1,55	-0,0007	-0,2
30	6	1,0965	0,1206	24,8	26,1	1,57	-0,0009	-0,2
30	7	1,0965	0,1425	24,8	26,1	1,59	-0,0011	-0,3
30	8	1,0965	0,1645	24,8	26,2	1,62	-0,0013	-0,4
30	9	1,0965	0,1864	24,8	26,3	1,64	-0,0015	-0,4
30	10	1,0965	0,2083	24,8	26,7	1,78	-0,0018	-0,7
31	1	1,0965	0,2083	24,6	25,1	1,14	-0,0011	-0,1
31	2	1,0965	0,1864	24,6	25,5	1,42	-0,0013	-0,2
31	3	1,0965	0,1645	24,6	25,8	1,52	-0,0012	-0,3
31	4	1,0965	0,1425	24,6	25,9	1,58	-0,0011	-0,3
31	5	1,0965	0,1206	24,6	26,0	1,62	-0,0010	-0,3
31	6	1,0965	0,0987	24,6	26,1	1,64	-0,0008	-0,2
31	7	1,0965	0,0768	24,6	26,1	1,66	-0,0006	-0,2
31	8	1,0965	0,0548	24,6	26,2	1,68	-0,0005	-0,1
31	9	1,0965	0,0329	24,6	26,3	1,70	-0,0003	-0,1
31	10	1,0965	0,0110	24,6	26,7	1,84	-0,0001	-0,0
32	1	1,0965	0,0110	24,8	25,1	0,99	-0,0000	-0,0
32	2	1,0965	0,0329	24,8	25,5	1,34	-0,0002	-0,0
32	3	1,0965	0,0548	24,8	25,8	1,45	-0,0004	-0,1
32	4	1,0965	0,0768	24,8	25,9	1,51	-0,0006	-0,1
32	5	1,0965	0,0987	24,8	26,0	1,56	-0,0007	-0,2
32	6	1,0965	0,1206	24,8	26,1	1,58	-0,0009	-0,2
32	7	1,0965	0,1425	24,8	26,1	1,60	-0,0011	-0,3
32	8	1,0965	0,1645	24,8	26,2	1,63	-0,0013	-0,4
32	9	1,0965	0,1864	24,8	26,3	1,65	-0,0015	-0,5
32	10	1,0965	0,2083	24,8	26,7	1,79	-0,0018	-0,7
33	1	0,4900	0,0000	25,0	25,1	0,00	0,0000	0,0
33	2	0,4900	0,0000	25,0	25,5	0,00	0,0000	0,0
33	3	0,4900	0,0000	25,0	25,8	0,00	0,0000	0,0
33	4	0,4900	0,0000	25,0	25,9	0,00	0,0000	0,0
33	5	0,4900	0,0000	25,0	26,0	0,00	0,0000	0,0
33	6	0,4900	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
33	7	0,4900	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
33	8	0,4900	0,0000	25,0	26,2	0,00	0,0000	0,0
33	9	0,4900	0,0931	25,0	26,3	2,01	-0,0007	-0,2
33	10	0,4900	0,3969	25,0	26,7	2,19	-0,0034	-1,5
34	1	0,4900	0,0000	25,0	25,1	0,00	0,0000	0,0
34	2	0,4900	0,0000	25,0	25,5	0,00	0,0000	0,0
34	3	0,4900	0,0000	25,0	25,8	0,00	0,0000	0,0
34	4	0,4900	0,0000	25,0	25,9	0,00	0,0000	0,0
34	5	0,4900	0,0000	25,0	26,0	0,00	0,0000	0,0
34	6	0,4900	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
34	7	0,4900	0,0000	25,0	26,1	0,00	0,0000	0,0
34	8	0,4900	0,0000	25,0	26,2	0,00	0,0000	0,0
34	9	0,4900	0,0049	25,0	26,3	2,01	-0,0000	-0,0
34	10	0,4900	0,4851	25,0	26,7	2,19	-0,0041	-1,8

Legende:

i	Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
zone	Nummer der Zone (Aus Platzgründen wird auch z verwendet.)
AD(i)	Größe der Fläche i (Dreiecksfläche)
ADzone(i, zone)	Größe des Abschnittes der Fläche i, die innerhalb der Zone zone liegt
t(i)	Oberflächentemperatur der Fläche i

[illegible]

[illegible]

Passive Speicherschichten

i jL	i jL	i jL	i jL
Temperaturen in °C:	Temperaturen in °C:	Temperaturen in °C:	Temperaturen in °C:
5	10	15	22
0 25,18	0 24,92	0 24,74	0 24,71
1 25,09	1 24,78	1 24,60	1 24,62
2 25,01	2 24,67	2 24,50	2 24,57
3 24,95	3 24,59	3 24,43	3 24,56
4 24,89	4 24,54	4 24,40	4 24,57
5 24,84	5 24,52	5 24,40	5 24,62
6 24,81	6 24,54	6 24,43	6 24,70
7 24,78	7 24,59	7 24,49	7 24,82
8 24,77	8 24,67	8 24,59	8 25,01
9 24,77	9 24,79	9 24,73	9 25,31
6	11	16	23
0 24,85	0 24,87	0 24,89	0 24,42
1 24,78	1 24,73	1 24,75	1 24,31
2 24,71	2 24,61	2 24,65	2 24,26
3 24,66	3 24,53	3 24,57	3 24,25
4 24,62	4 24,47	4 24,53	4 24,28
5 24,58	5 24,46	5 24,52	5 24,34
6 24,56	6 24,48	6 24,53	6 24,44
7 24,54	7 24,53	7 24,59	7 24,57
8 24,54	8 24,62	8 24,67	8 24,77
9 24,54	9 24,75	9 24,79	9 25,08
7	12	17	24
0 24,99	0 24,96	0 24,99	0 24,49
1 24,90	1 24,82	1 24,84	1 24,38
2 24,83	2 24,71	2 24,73	2 24,33
3 24,76	3 24,62	3 24,69	3 24,32
4 24,72	4 24,57	4 24,68	4 24,34
5 24,68	5 24,55	5 24,71	5 24,40
6 24,65	6 24,56	6 24,78	6 24,49
7 24,64	7 24,61	7 24,91	7 24,63
8 24,63	8 24,69	8 25,10	8 24,83
9 24,64	9 24,80	9 25,40	9 25,13
8	13	18	25
0 24,76	0 24,65	0 24,96	0 24,94
1 24,70	1 24,52	1 24,82	1 24,82
2 24,64	2 24,43	2 24,74	2 24,75
3 24,59	3 24,37	3 24,70	3 24,72
4 24,56	4 24,35	4 24,70	4 24,73
5 24,53	5 24,35	5 24,74	5 24,77
6 24,51	6 24,39	6 24,81	6 24,84
7 24,51	7 24,46	7 24,93	7 24,96
8 24,51	8 24,57	8 25,12	8 25,15
9 24,51	9 24,71	9 25,42	9 25,44
9	14	21	26
0 24,89	0 24,80	0 24,53	0 24,93
1 24,75	1 24,67	1 24,43	1 24,81
2 24,63	2 24,58	2 24,38	2 24,74
3 24,54	3 24,52	3 24,37	3 24,71
4 24,49	4 24,48	4 24,40	4 24,72
5 24,47	5 24,48	5 24,45	5 24,76
6 24,49	6 24,51	6 24,54	6 24,84
7 24,54	7 24,56	7 24,67	7 24,96
8 24,63	8 24,65	8 24,87	8 25,15
9 24,76	9 24,78	9 25,17	9 25,44

i	jL		i	jL		i	jL	
Temperaturen in °C:			Temperaturen in °C:			Temperaturen in °C:		
29			31			33		
0	24,56		0	24,53		0	24,89	
1	24,46		1	24,43		1	24,76	
2	24,40		2	24,38		2	24,69	
3	24,40		3	24,38		3	24,68	
4	24,44		4	24,42		4	24,70	
5	24,52		5	24,49		5	24,77	
6	24,63		6	24,61		6	24,88	
7	24,80		7	24,78		7	25,04	
8	25,02		8	25,00		8	25,25	
9	25,28		9	25,26		9	25,50	
30			32			34		
0	24,72		0	24,70		0	24,88	
1	24,61		1	24,59		1	24,75	
2	24,55		2	24,54		2	24,68	
3	24,54		3	24,53		3	24,66	
4	24,57		4	24,57		4	24,69	
5	24,64		5	24,64		5	24,76	
6	24,76		6	24,75		6	24,87	
7	24,92		7	24,91		7	25,03	
8	25,13		8	25,12		8	25,24	
9	25,39		9	25,38		9	25,49	

Grafikausgaben mit Originalbeschriftungen (Maßstabsänderungen der Achsen erfolgten individuell)

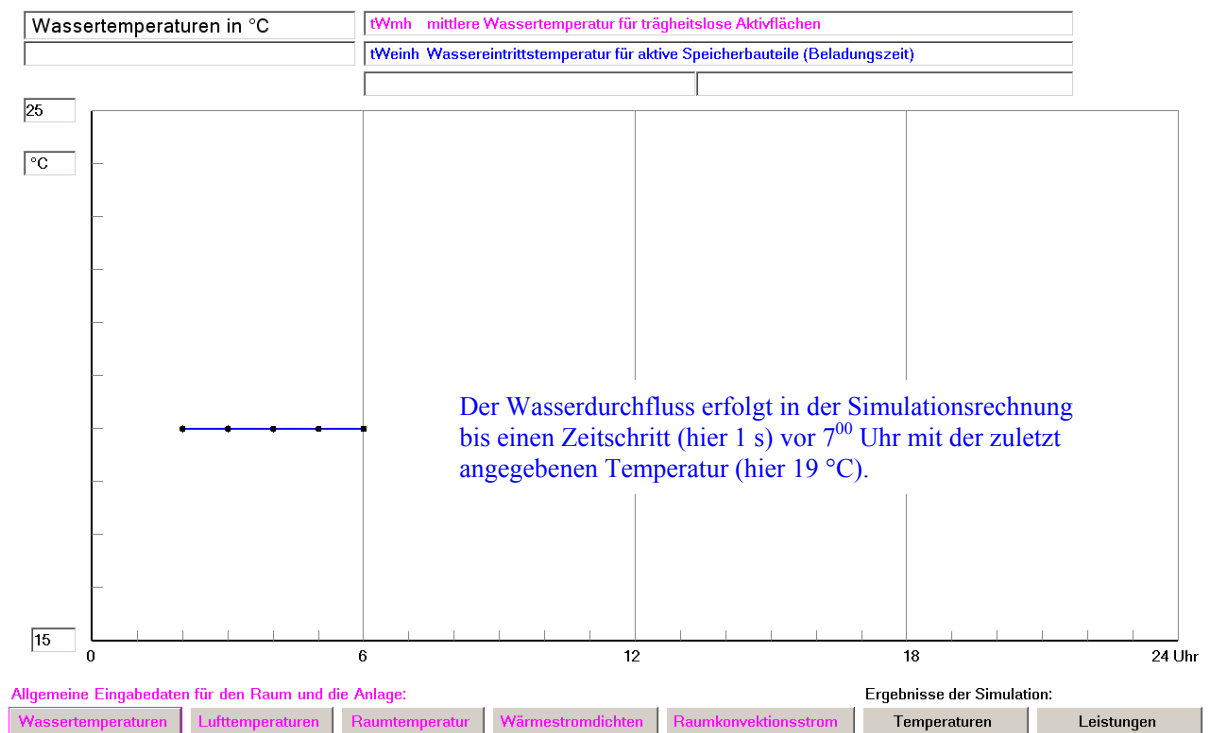


Bild 5.10 Zeitverlauf der Wassereintrittstemperatur in die thermisch aktiven Speicherbauteile (Fußboden) während der Betriebszeit (Betätigen des magentafarbenen Buttons "Wassertemperaturen")

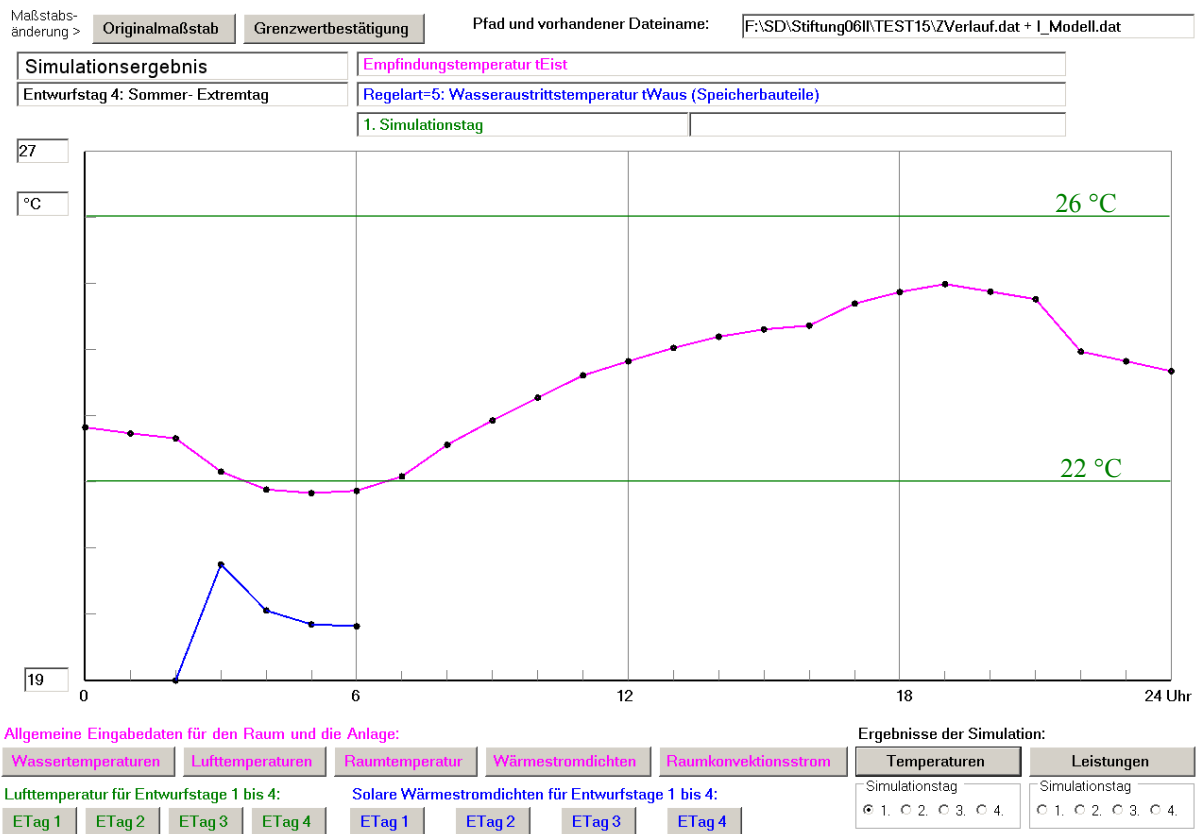


Bild 5.11 Raumtemperatur und Wasseraustrittstemperatur aus den thermisch aktiven Speicherbauteilen (Fußboden) am 1. Simulationstag (Ergebnisse der Simulation: Kennzeichnung des Simulationstages und Betätigen des Buttons "Temperaturen")

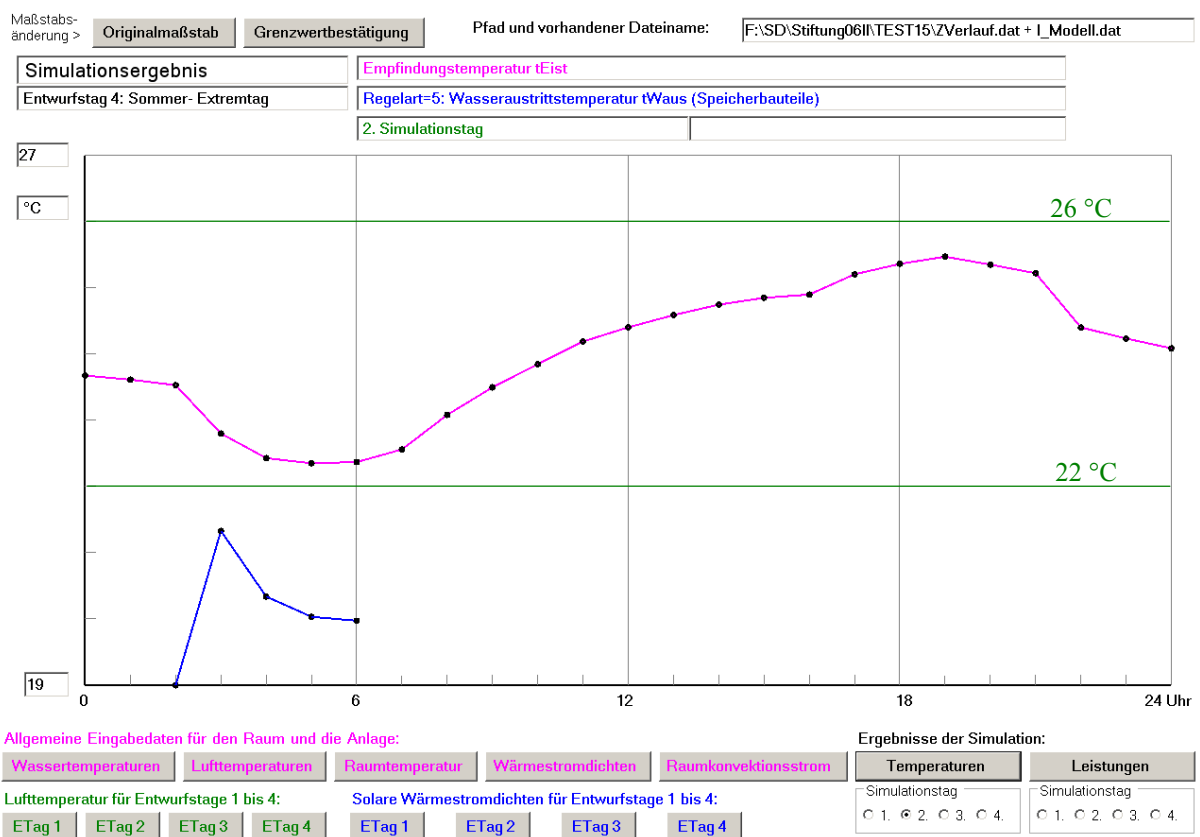


Bild 5.12 wie Bild 5.11 jedoch 2. Simulationstag

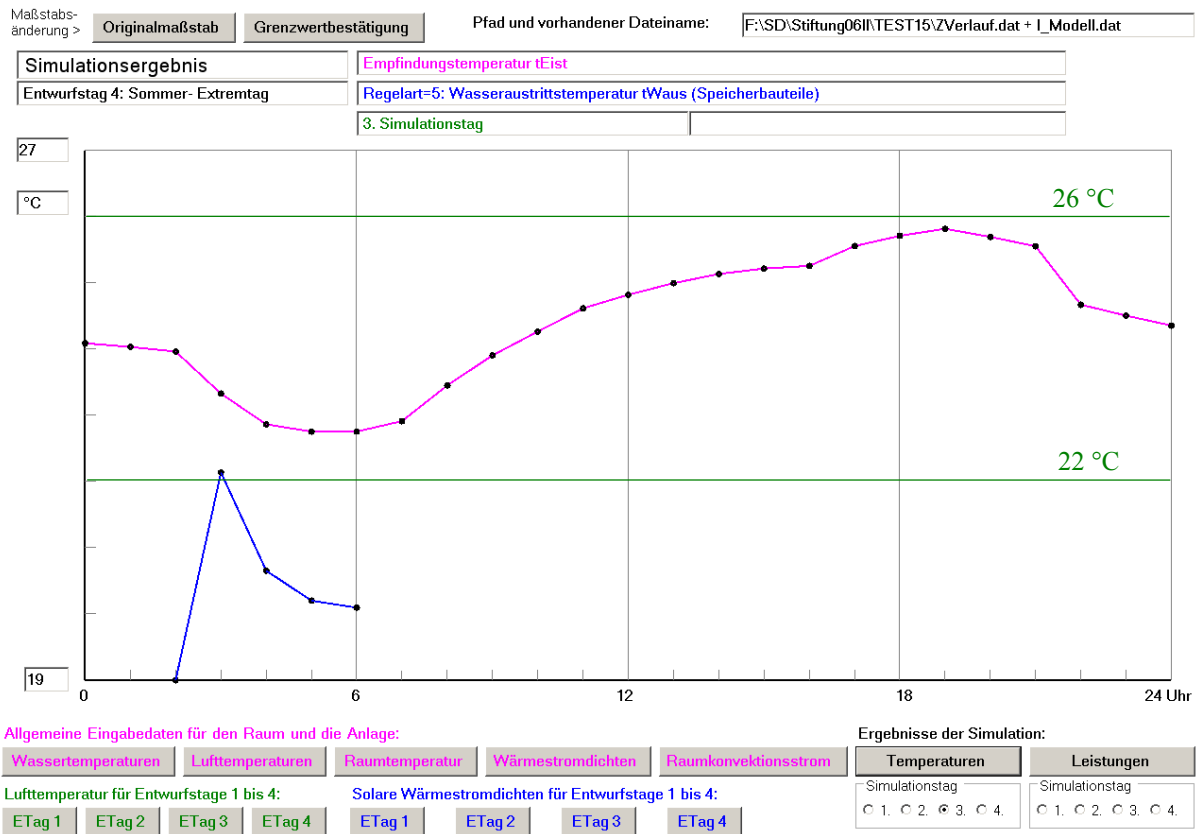


Bild 5.13 wie Bild 5.11 jedoch 3. Simulationstag

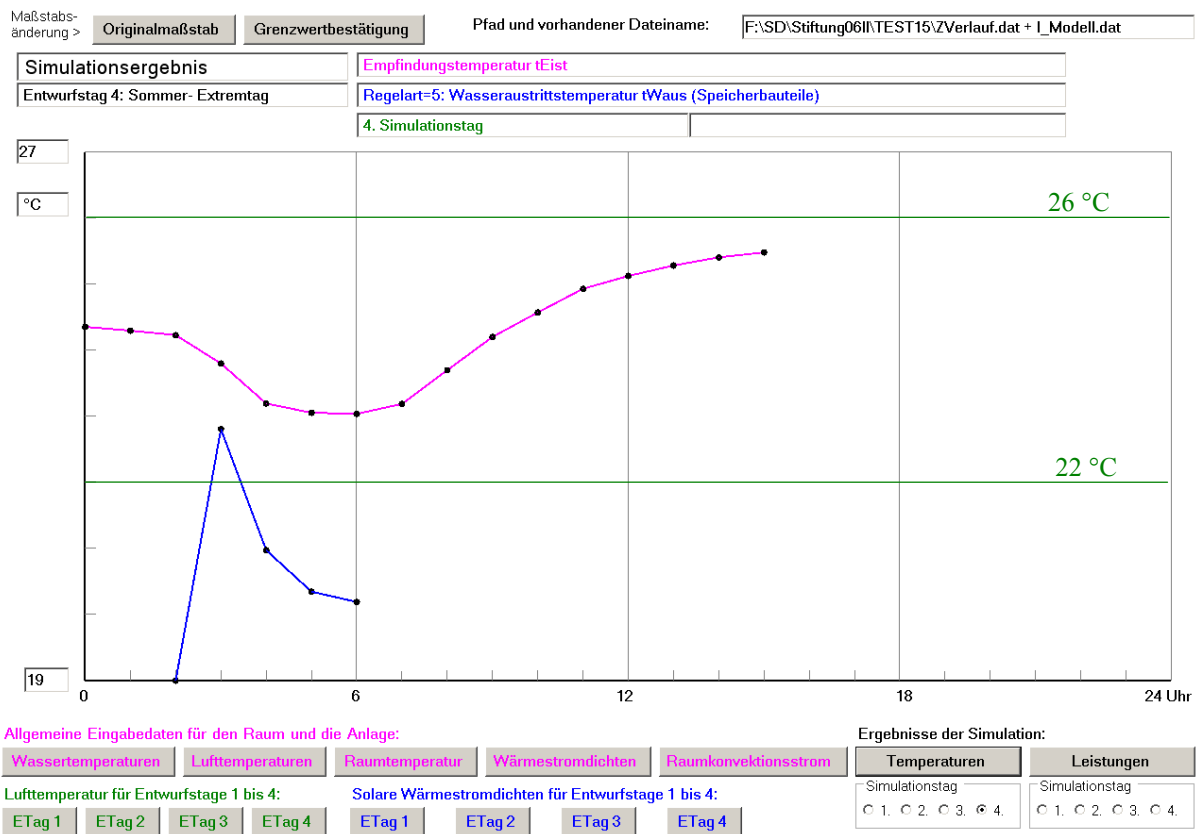


Bild 5.14 wie Bild 5.11 jedoch 4. Simulationstag

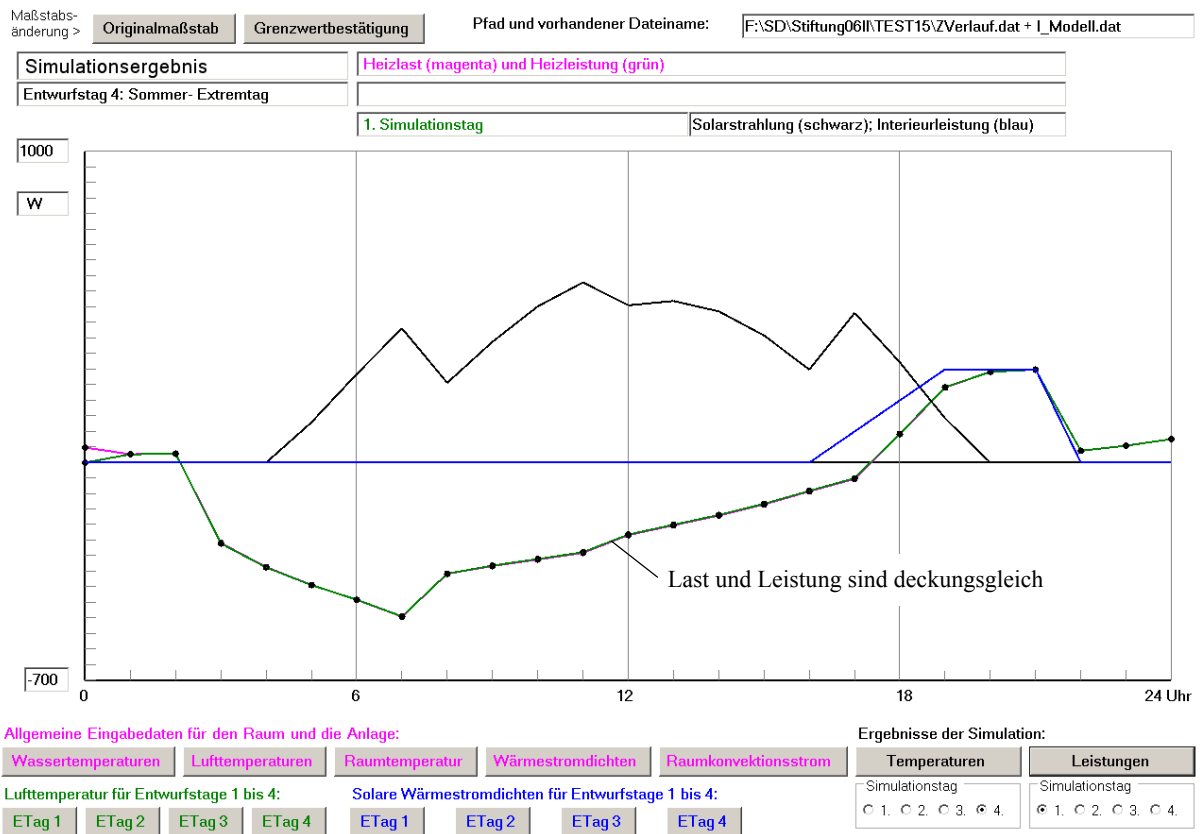


Bild 5.15 Last- und Leistungsverläufe am 1. Simulationstag (Ergebnisse der Simulation: Kennzeichnung des Simulationstages und Betätigen des Buttons "Leistungen")

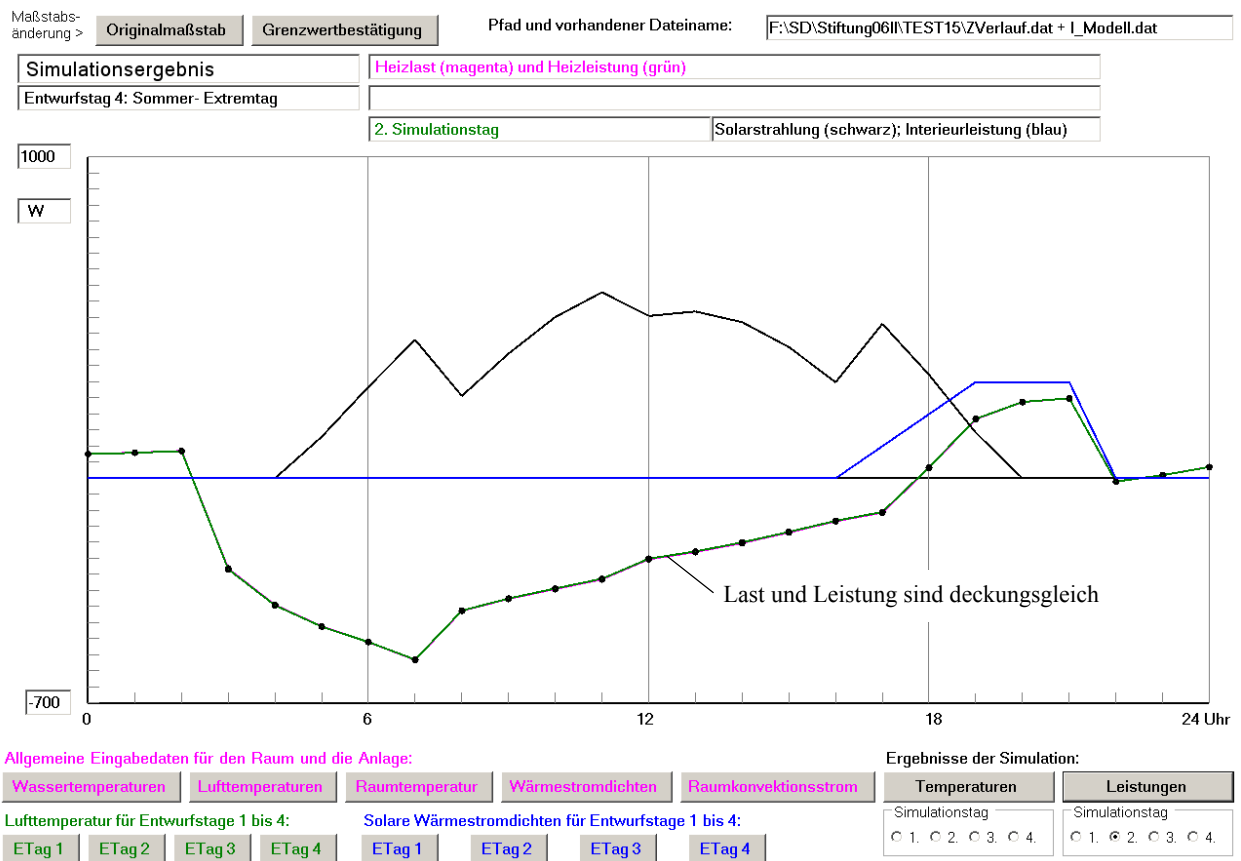


Bild 5.16 wie Bild 5.15 jedoch 2. Simulationstag

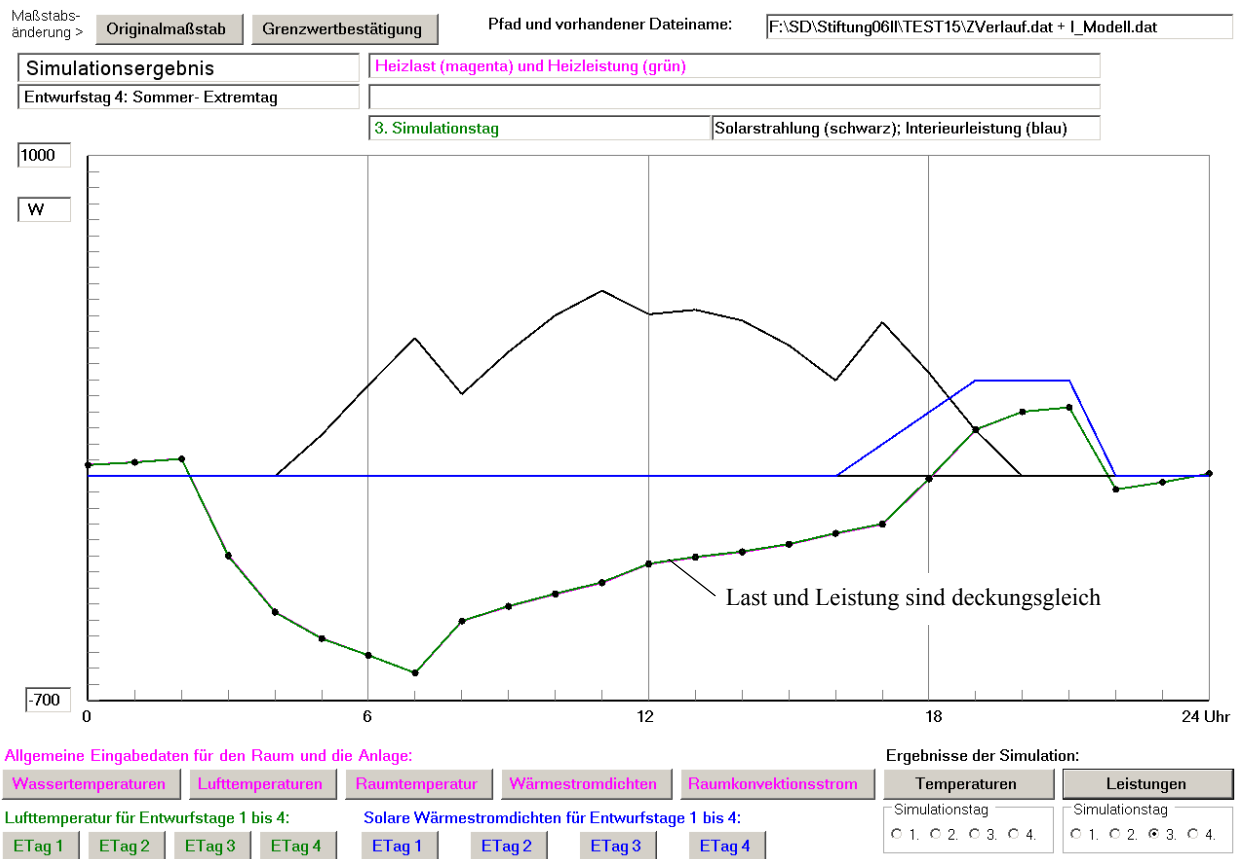


Bild 5.17 wie Bild 5.15 jedoch 3. Simulationstag

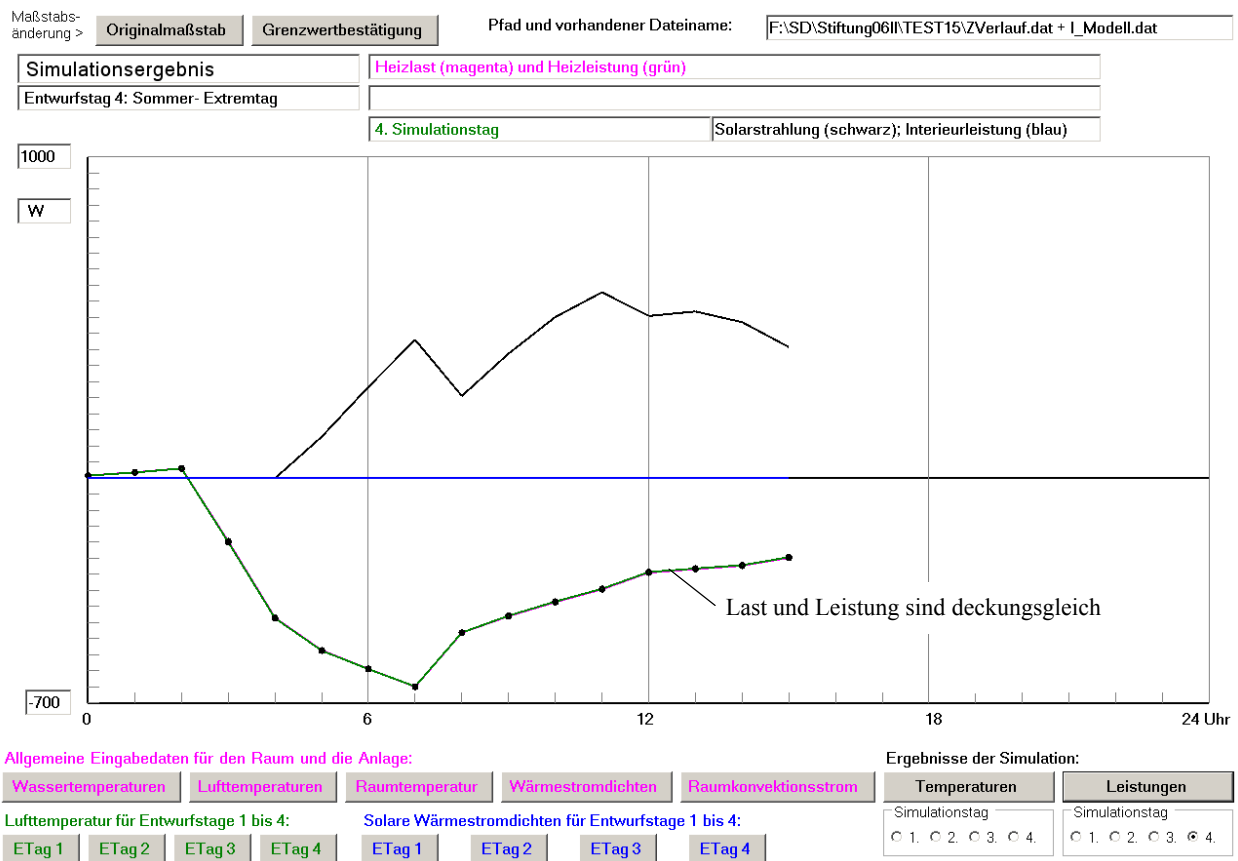


Bild 5.18 wie Bild 5.15 jedoch 4. Simulationstag

Ergebnisse am Ende der Simulationszeit: 4. Simulationstag, 15⁰⁰ Uhr
 Grafikausgaben mit Originalbeschriftungen (Maßstabsänderungen der Achsen erfolgten individuell)

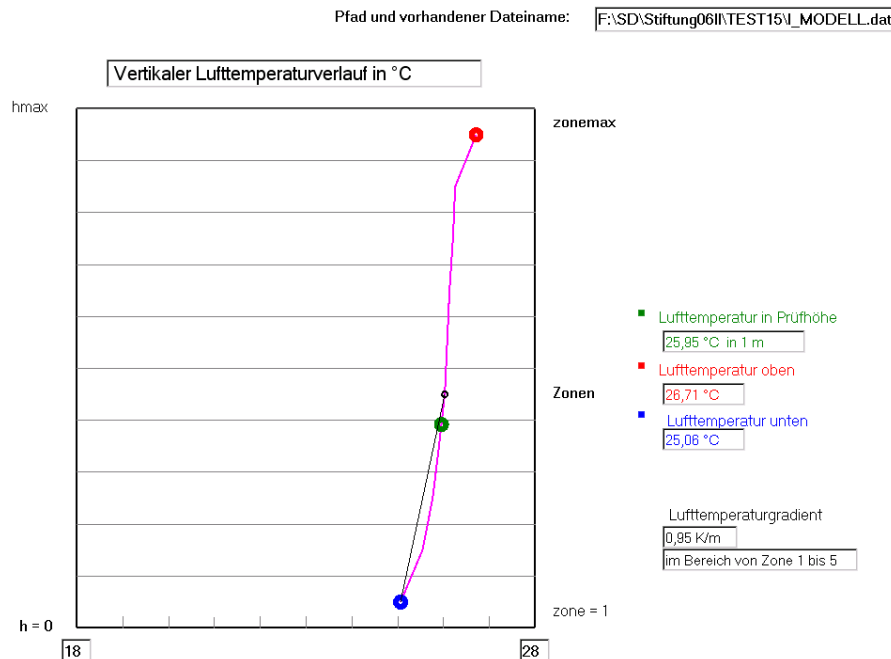


Bild 5.19 Vertikaler Lufttemperaturverlauf und Gradient (Grafik entsteht durch Kennzeichnung der Checkbox gemäß Bild 5.9)

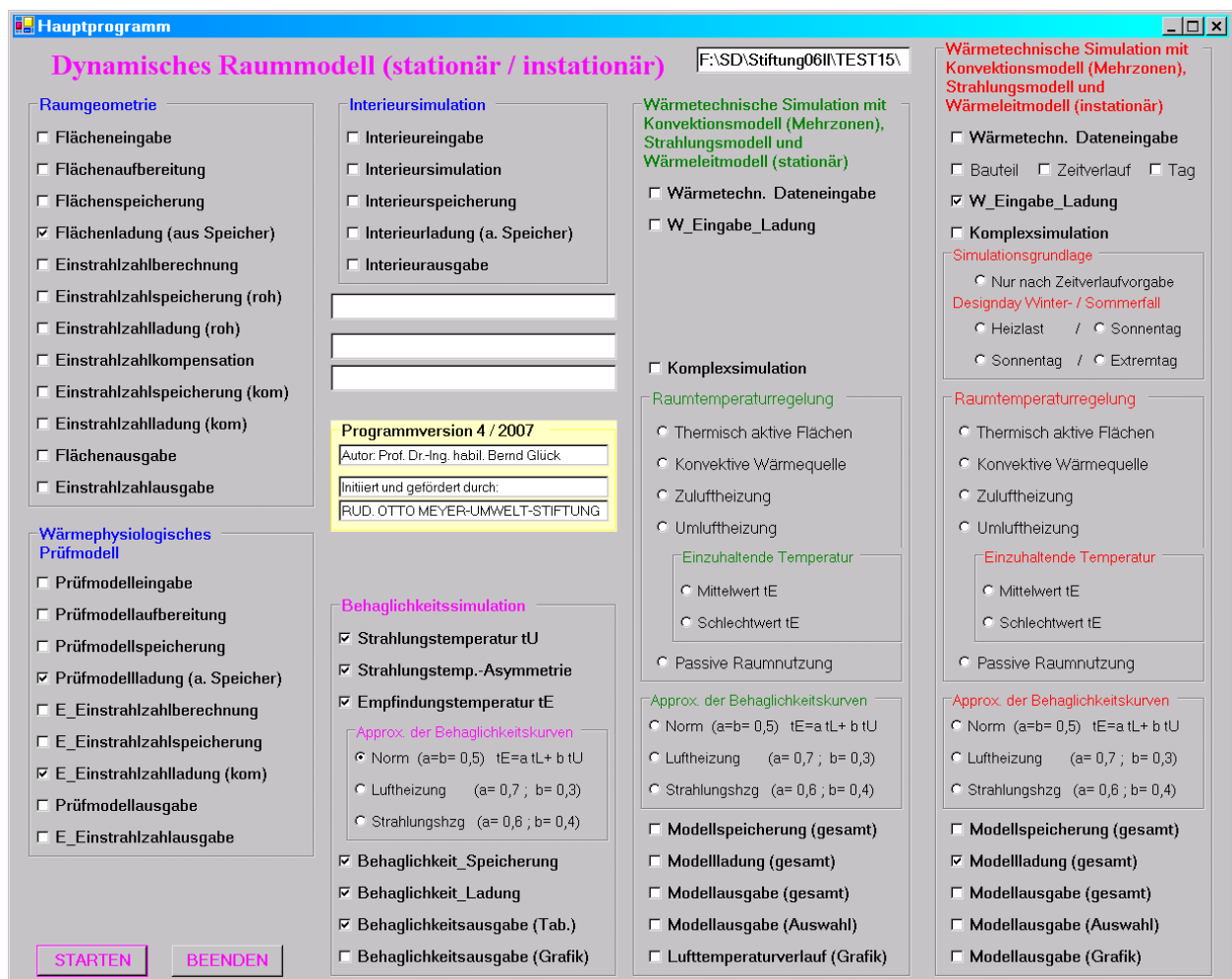


Bild 5.20 Kennzeichnung der Aktivitäten in der Benutzeroberfläche des Hauptprogramms um die "Behaglichkeitssimulation" durchzuführen

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG0611\TEST15\

Ausgabe der Behaglichkeitssimulation**Prüfrasterdaten, Empfindungs- und Strahlungstemperaturen
sowie Daten zur Strahlungstemperatur-Asymmetrie**

l	Prüfrasterpunkte			Temperaturen		Strahlungsasymmetrie		
	k	x m	y m	tE(l,k) °C	tU(l,k) °C	DtStr(l,k) K	smax(l,k)	smin(l,k)
1	1	0,500	1,000	25,54	25,12	0,60	9	5
1	2	0,500	2,000	25,51	25,07	0,50	9	5
1	3	0,500	3,000	25,48	25,01	0,45	4	5
1	4	0,500	4,000	25,48	25,01	0,59	7	5
1	5	0,500	5,000	25,61	25,26	1,68	1	3
1	6	0,500	6,000	25,43	24,90	0,75	10	5
2	1	1,250	1,000	25,61	25,27	1,06	4	2
2	2	1,250	2,000	25,52	25,09	0,71	4	5
2	3	1,250	3,000	25,47	24,99	0,61	4	5
2	4	1,250	4,000	25,45	24,95	0,61	1	5
2	5	1,250	5,000	25,45	24,95	0,90	1	5
2	6	1,250	6,000	25,41	24,87	0,69	10	5
3	1	2,000	1,000	25,65	25,36	1,41	4	2
3	2	2,000	2,000	25,52	25,10	0,89	4	5
3	3	2,000	3,000	25,46	24,96	0,72	4	5
3	4	2,000	4,000	25,42	24,90	0,60	10	5
3	5	2,000	5,000	25,41	24,86	0,65	10	5
3	6	2,000	6,000	25,40	24,85	0,53	10	5
4	1	2,750	1,000	25,66	25,36	1,50	4	2
4	2	2,750	2,000	25,51	25,08	0,97	4	5
4	3	2,750	3,000	25,45	24,94	0,73	4	5
4	4	2,750	4,000	25,41	24,87	0,57	10	5
4	5	2,750	5,000	25,39	24,83	0,51	10	5
4	6	2,750	6,000	25,40	24,85	0,37	10	5

Lufttemperatur in Prüfhöhe: 25,95 °C

Legende:

l Prüfrasterpunkt in x-Richtung
 k Prüfrasterpunkt in y-Richtung
 x,y Koordinaten des Prüfrasterpunktes l,k
 tE(l,k) Empfindungstemperatur am Prüfrasterpunkt l,k
 tU(l,k) Strahlungstemperatur der Umgebung auf ein Kugelelement am Punkt l,k
 DtStr(l,k) Strahlungstemperatur-Asymmetrie auf zwei Würfelemente am Punkt l,k
 smax(l,k) Prüfelementfläche s mit maximaler Bestrahlung am Prüfrasterpunkt l,k
 smin(l,k) Prüfelementfläche s mit minimaler Bestrahlung am Prüfrasterpunkt l,k

Die Temperaturen gelten für unterschiedliche Prüfhöhen über dem Fußboden:

Empfindungs-, Strahlungs- und Lufttemperaturen 1,000 m
 Strahlungstemperatur-Asymmetrie 1,200 m.

Berechnung der Empfindungstemperatur: $tE = 0,50 tL + 0,50 tU$.**Extrem- und Mittelwerte der signifikanten Temperaturen****Empfindungstemperatur:**

tEmax = 25,66 °C tEmin = 25,39 °C tEmittel = 25,48 °C
 l = 4; k = 1 l = 4; k = 5

Strahlungstemperatur der Umgebung:

tUmax = 25,36 °C tUmin = 24,83 °C tUmittel = 25,02 °C
 l = 4; k = 1 l = 4; k = 5

Strahlungstemperatur-Asymmetrie:

DtStrmax = 1,68 K DtStrmin = 0,37 K
 l = 1; k = 5 l = 4; k = 6

Grafikausgaben mit Originalbeschriftungen (Maßstabsänderungen der Achsen erfolgten individuell)

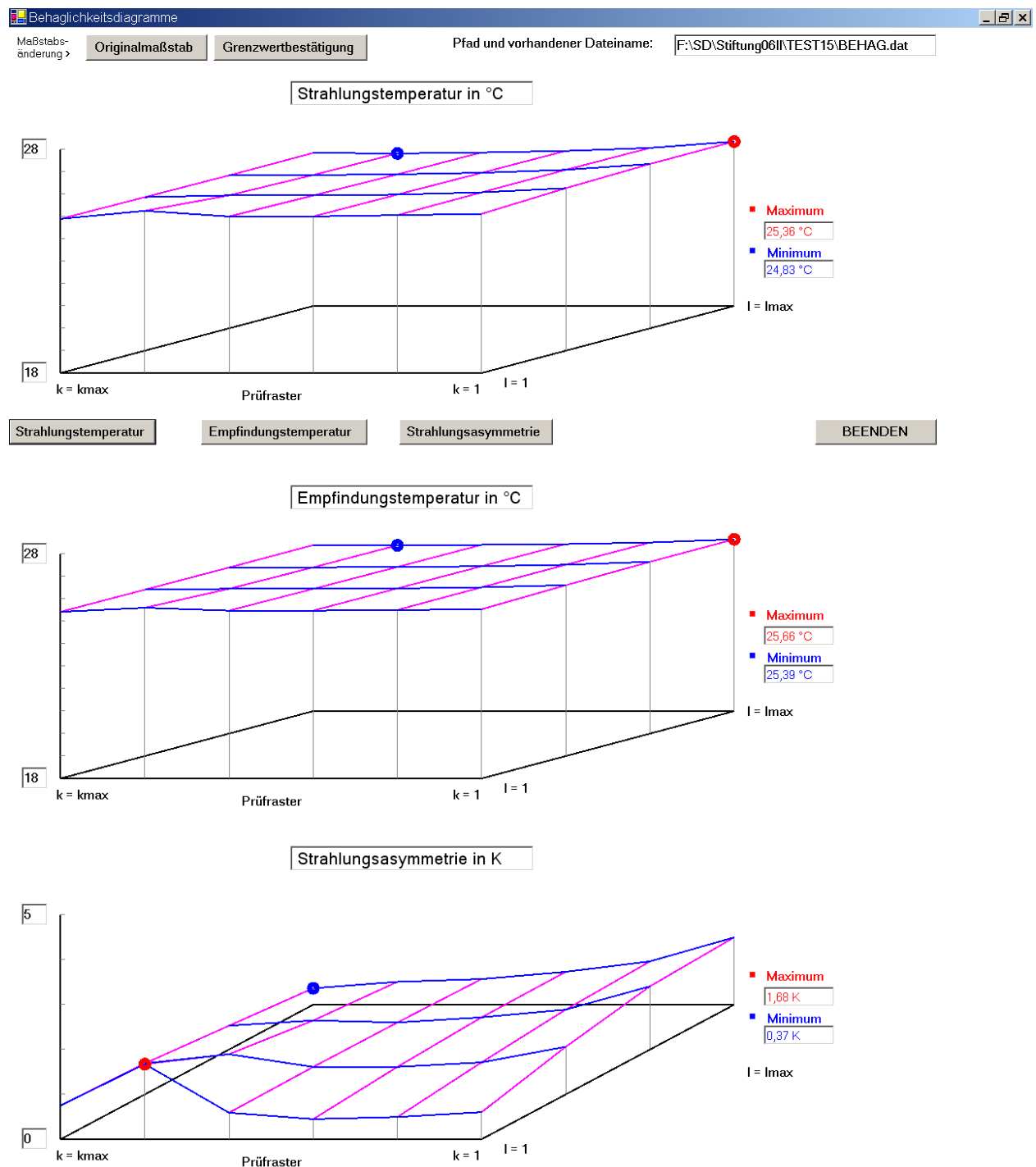


Bild 5.21 Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur ($\equiv$ operative Raumtemperatur) und Strahlungstemperatur-Asymmetrie am Ende der Simulationszeit (4. Simulationstag; 15⁰⁰ Uhr)
 Eine Komplettdarstellung der Bildschirmanzeige erfolgt im oberen Teilbild.
 (Erzeugen der Einzelgrafiken durch Betätigen des jeweiligen Buttons)

5.3 Bewertung der Ergebnisse

- Die **Berechnungsabläufe** "Instationäre Komplexsimulation" und "Behaglichkeitssimulation" sowie die verschiedenen Ausgaben erfolgten **korrekt**.
- Alle **Ergebnisse** erscheinen **plausibel** und sind zum Teil durch frühere Verifikationen auch über-

prüft.

- Die **Raumtemperaturen** steigen im Verlaufe der Simulationstage an. Die Maximalwerte betragen:

1. Tag 25,0 °C; 2. Tag 25,5 °C; 3. Tag 25,8 °C.

Gleichfalls erhöhen sich die **Wasseraustrittstemperaturen**, d. h., die Wärmeaufnahme durch das Rohrregister nimmt zu. Dies ist aus dem Ausdruck "Stündliche Daten der Speicherbauteile" zu erkennen (siehe Rohrwärmeabgabe < 0).

Damit ist festzustellen, dass die Starttemperatur niedriger gewählt wurde, als die Bauteiltemperaturen im praktischen Fall auftreten. Das System "zehrt noch vom Anfangszustand".

- Die Temperaturen in der aktiven, mit Latentmaterial angereicherten Speicherschicht der Fußbodenflächen liegen in der Mitte der jeweiligen Rohrlängen am Simulationsende um 15⁰⁰ Uhr im Bereich 24,07 ... 24,55 °C. Dies zeigen die detaillierten Ausdrücke (Seiten 80 bis 83). Demzufolge bewegen sich nach Gl. (4.10) die Phasenzustände zwischen ca. 3 ... 28 % geschmolzenem Material.

Im Abschnitt 6 erfolgt eine weiterführende Diskussion mit Gegenüberstellung der früheren Variante TEST 10, die sich durch eine feste Phasenwandeltemperatur auszeichnete.

- Um 15⁰⁰ Uhr liegen bezüglich aller wärmephysiologischen Merkmale – vertikaler Lufttemperaturgradient, Strahlungstemperatur der Umgebung, Empfindungstemperatur und Strahlungstemperatur-Asymmetrie – **behagliche Bedingungen** im Raum vor, wenn von einer sommerlichen Bekleidung der Insassen ausgegangen wird.

Dies ist in Anbetracht eines Extremsommertages mit einem Außentemperaturmaximum von 34 °C und intensiver Sonnenstrahlung auf die Süd- und Westwände durchaus bemerkenswert.

- Interessant ist es, sich die Wärmebilanzen über einen Tag zu veranschaulichen. Es wird der 3. Simulationstag zwischen der 48. und 72. Betriebsstunde betrachtet. Die Summation der stündlichen Werte zeigt das Bild 5.22.

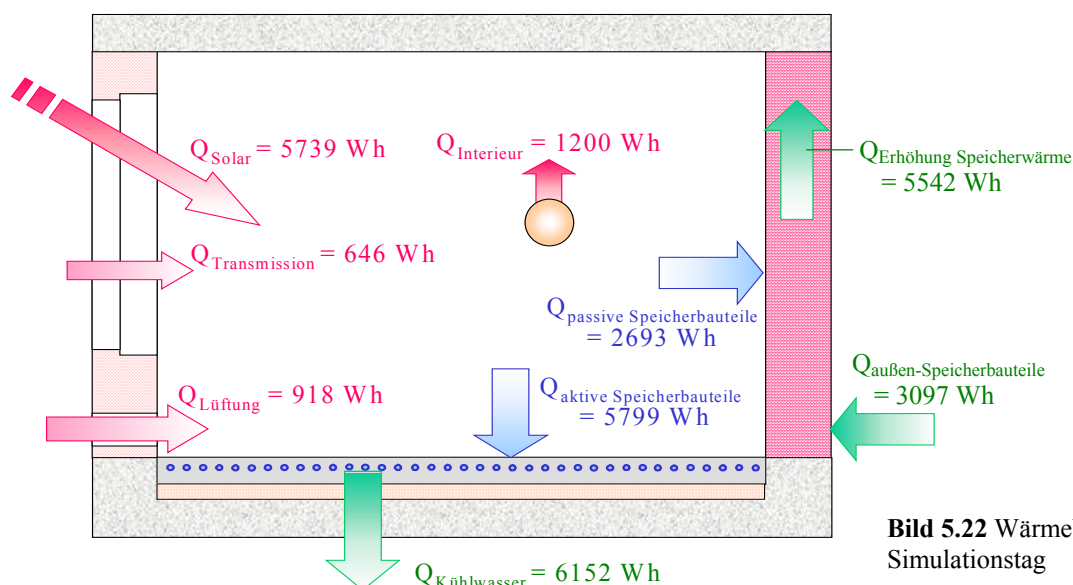


Bild 5.22 Wärmebilanz für den 3. Simulationstag

Die Summanden sind aus den Rechnerausdrücken ermittelt. Sie wurden auf den Seiten 70 und 72 zusätzlich eingetragen.

Anhand von Bild 5.22 ergibt sich die nachfolgende Zusammenstellung.

Raumwärmebilanz:

Wärme an den Raum durch Sonneneinstrahlung	5739 Wh	Wärme vom Raum an die passiven Speicherbauteile	2693 Wh
Wärme an den Raum durch Transmission	646 Wh	Wärme vom Raum an die aktiven Speicherbauteile (Fußbodenkühlung)	5799 Wh
Wärme an den Raum durch Lüftung	918 Wh		
Wärme an den Raum durch innere Wärmequellen	1200 Wh		
Gesamtwärmezufuhr	8503 Wh	Gesamtwärmeabfuhr*	8492 Wh
Bilanzfehler: 0,1 %			

Speicherwärmebilanz:

Wärme vom Raum an alle Speicherbauteile**	8649 Wh	Wärme von den aktiven Speicherbauteilen (Fußboden) an das Kühlwasser	6152 Wh
Wärme von außen an alle Speicherbauteile	3097 Wh	Zunahme der Speicherwärme (Speicherenthalpie)	5542 Wh
Gesamtwärmeabfuhr	11746 Wh	Gesamtwärmeabfuhr	11694 Wh
Bilanzfehler: 0,4 %			

In Anbetracht der sehr großen Anzahl von Rechenschritten und der vereinfachten Annahmen stimmen die Bilanzen sehr gut.

Die mit * und ** gekennzeichneten Größen sind inhaltlich gleich, sie unterscheiden sich hier aber um 1,8 %. Dies ist verständlich, wenn man deren völlig unterschiedliche Ermittlung berücksichtigt. Die Größe * folgt aus dem Wärmeübergang an den einzelnen Raumbooberflächen ($i = 1 \dots 34$) unter Beachtung der Strahlung und Konvektion. Die Größe ** ist aus der Wärmeleitung in den Speicherbauteilen der raumseitigen Schicht bestimmt worden. Somit kann die Differenz der Größen durchaus anerkannt werden.

6 Vergleich mit früherem Beispiel TEST 10

Der frühere in [2], Abschnitt 8 vorgestellte TEST 10 ist grundsätzlich mit dem im vorangegangenen Abschnitt ausführlich vorgestellten TEST 15 vergleichbar. Unterschiedlich ist lediglich, dass bei TEST 10 eine feste Phasenwandeltemperatur von $t_{\text{Wandel}} = 25^\circ\text{C}$ vorliegt und bei TEST 15 ein Phasenwandelbereich mit $t_{\text{Wandelu}} = 24^\circ\text{C}$; $t_{\text{Wandelo}} = 26^\circ\text{C}$ gilt. Die Phasenwandelenthalpie beträgt bei TEST 10 $r_{\text{Wandel}} = 9700 \text{ J/kg}$ und bei TEST 15 $r_{\text{Wandel}} = 11624 \text{ J/kg}$. Beide Annahmen sind identisch, wenn bei Vorhandensein eines Phasenwandelbereichs innerhalb dieses keine zusätzliche sensible Wärmespeicherung wirkt. Dies wurde bereits auf Seite 58 dargelegt.

Die Simulation mit der Programmversion 3 / 2006 ergibt für TEST 10 praktisch die gleichen Ergebnisse wie mit der Programmversion 2 / 2005. Abweichungen liegen im Bereich von $0,01 \text{ K}$. Dies ist durch eine geringfügige Änderung in der numerischen Abarbeitung bedingt. Der Beweis der grundsätzlichen Übereinstimmung sei am sensiblen Bereich der höhenabhängigen Lufttemperaturberechnung und an den stündlichen Daten der Speicherbauteile für die 87. Stunde demonstriert.

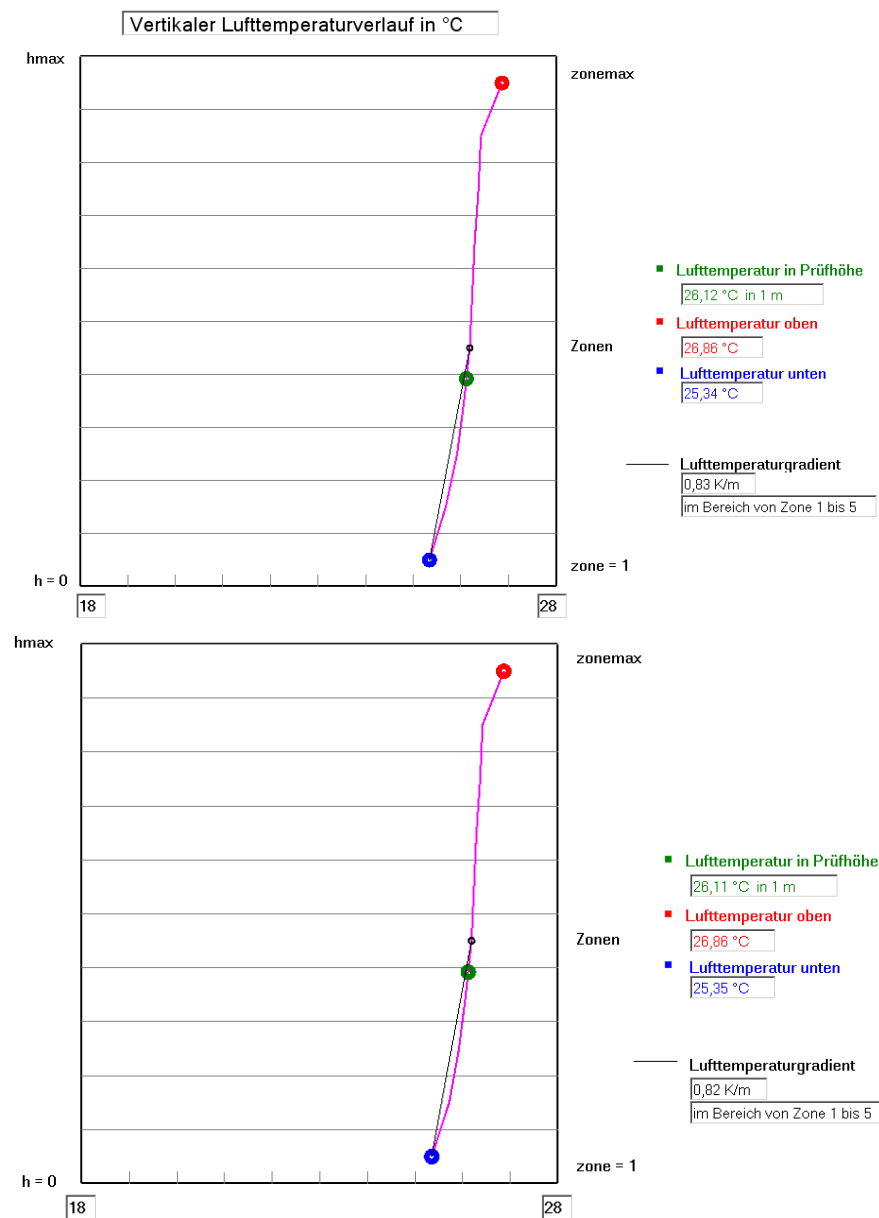


Bild 6.1 Vertikaler Lufttemperaturverlauf und Gradient für TEST 10
oben: nach Programmversion 2 / 2005
unten: nach Programmversion 3 / 2006

Stündliche Daten der Speicherbauteile

Zeit h	Uhr	Wärme an den Raum Wh	Wärme nach außen Wh	Rohrwärmeabgabe Wh	Speicherwärme* Wh
Programmversion 2 / 2005					
87	15	-715	-403	-2	22239
Programmversion 3 / 2006					
87	15	-715	-403	-2	22238

Interessanter ist natürlich, wie sich der unterschiedliche Phasenwandel in den Simulationsergebnissen darstellt.

Zu diesem Zweck sei zunächst das Hauptergebnis – **die Empfindungstemperatur** – für beide Varianten am 3. Simulationstag im Bild 6.2 gegenübergestellt.

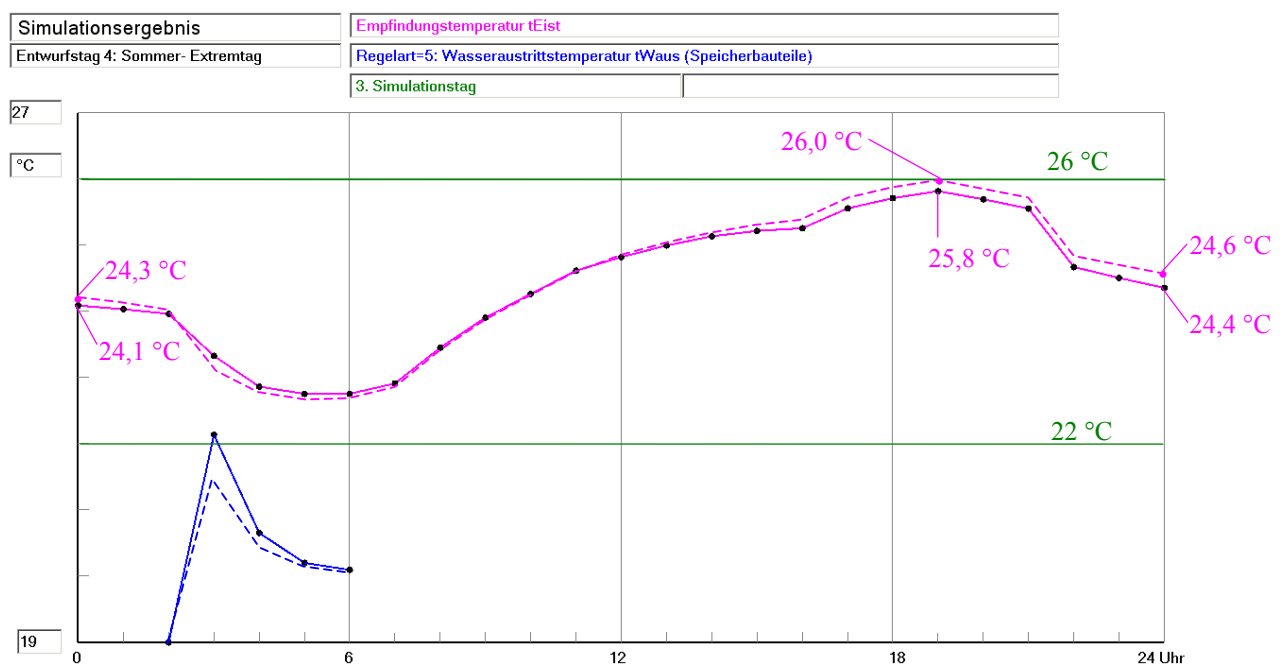


Bild 6.2 Raumtemperatur und Wasseraustrittstemperatur aus den thermisch aktiven Speicherbauteilen (Fußboden) am 3. Simulationstag für TEST 15 (durchgezogene Kurven) und TEST 10 (gestrichelte Kurven)

Der Vergleich der Kurven zeigt, dass der **Unterschied der Empfindungstemperatur** mit maximal 0,2 K **sehr gering** ist.

Die Ursache, dass der TEST 15 mit einem Speichermaterial, welches einen **Phasenwandebereich** durchläuft, geringfügig besser abschneidet als TEST 10 mit einer festen Phasenwandeltemperatur überrascht zunächst.

Die Ursache wird deutlich, wenn man beispielsweise die Temperaturen und Phasenzustände, die am Ende der Simulationszeit der 87. Stunde (Tageszeit 15⁰⁰ Uhr) ausgegeben werden, betrachtet. Analysiert wird das thermisch aktive Speicherbauteil (Fußboden) Fläche $i = 1$.

Temperaturverteilung und Phasenzustand bei TEST 10

Aktive Speicherschichten (Werte gelten im Bereich der halben Rohrlänge)

i	jL	kL=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperaturen in °C:													
1	0	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03	25,03
	1	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02	25,02
	2	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	3	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	4	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	5	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	6	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	7	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	8	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	9	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	10	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	11	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	12	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	13	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	14	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	15	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	16	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	17	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	18	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	19	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	20	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	21	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	22	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	23	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	24	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	25	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	26	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	27	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	28	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	29	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
	30	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Phasenzustand in %:													
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7

gelb:
völlig bzw. teilweise
geschmolzenes Material

blau:
Rohrbereich

Temperaturverteilung und Phasenzustand bei TEST 15

Aktive Speicherschichten (Werte gelten im Bereich der halben Rohrlänge)

i	jL	kL=	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperaturen in °C:													
1	0	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55	24,55
	1	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53	24,53
	2	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52	24,52
	3	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50	24,50
	4	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48	24,48
	5	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47
	6	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45	24,45
	7	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44
	8	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43	24,43
	9	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41	24,41
	10	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40
	11	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39	24,39
	12	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38	24,38
	13	24,37	24,37	24,37	24,37	24,37	24,37	24,37	24,37	24,37	24,36	24,36	24,36
	14	24,36	24,36	24,36	24,36	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35
	15	24,34	24,34	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35	24,35
	16	24,33	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34	24,34
	17	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33	24,33
	18	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32	24,32
	19	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31
	20	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31	24,31
	21	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30
	22	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30
	23	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30	24,30
	24	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
	25	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
	26	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
	27	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
	28	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
	29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
	30	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29	24,29
Phasenzustand in %:													
	0	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
	1	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7	26,7
	2	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8
	3	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
	4	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2
	5	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
	6	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7	22,7
	7	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
	8	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3	21,3
	9	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
	10	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
	11	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4
	12	18,9	18,9	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8	18,8
	13	18,4	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,2	18,2	18,2
	14	0,0	17,8	17,8	17,8	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7
	15	0,0	17,2	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
	16	16,7	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8	16,8
	17	16,3	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
	18	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
	19	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7
	20	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4
	21	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2
	22	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
	23	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8
	24	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6
	25	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
	26	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
	27	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
	28	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
	29	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
	30	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6

gelb:
teilweise geschmolze-
nes Material

blau:
Rohrbereich

- Im Fall der **festen Phasenwandeltemperatur** – TEST 10 – ist trotz des Vorhandenseins von $t = 25\text{ °C}$ im untersuchten Bauteilbereich nur ein **sehr geringer Teil** des Speichermaterials **geschmolzen**. Dadurch wurde aus dem Raum nur relativ wenig Wärme latent gebunden.

Demzufolge steigt die Raumtemperatur höher an.

- Bei Vorhandensein eines **Phasenwandelbereiches** – TEST 15 – mit dem Unterwert von $t_{\text{Wandelu}} = 24\text{ °C}$ beginnt das Schmelzen des Latentmaterials bereits bei den hier vorliegenden niedrigeren Temperaturen von $24,29 \dots 24,55\text{ °C}$. Das **gesamte Speichermaterial** ist **teilweise geschmolzen**.

Dadurch wird mehr Wärme aus dem Raum gespeichert und die Raumtemperatur liegt geringfügig niedriger.

Dieses Ergebnis darf nicht dahingehend interpretiert werden, dass ein Phasenwandelbereich generell wie in diesem **Lehrbeispiel** günstiger als eine feste Phasenwandeltemperatur ist, wenn diese mit dem arithmetischen Mittelwert aus t_{Wandelo} und t_{Wandelu} – wie in diesem Fall zutreffend – übereinstimmt. Vielfach werden sich die umgekehrten Ergebnisse einstellen. Entscheidend ist vor allem die Höhe der Phasenwandeltemperatur.

In [3] wurde bereits eine Vielzahl von unterschiedlichen, aber **realistischen Bau- und Betriebsweisen** untersucht und der Einfluss einer festen Phasenwandeltemperatur ermittelt. So ist für die Wahl der Phasenwandeltemperatur in besonderem Maße die Zielstellung, ob im Winter Heizenergie eingespart oder im Sommer die Behaglichkeit an Hitzetagen verbessert werden soll, von entscheidender Bedeutung. Weitere Untersuchungen für ausgewählte Bauten mit Speichermaterial, das einen Phasenwandelbereich besitzt, sind dem **Ergänzungsbericht** [5] zu entnehmen.

7 Kontrollrechnung TEST 1

Der frühere in [1], Abschnitt 13 durchgeführte und ausführlich dokumentierte TEST 1 kann auch mit der neuen Programmversion 4 / 2007 erfolgreich und mit gleichen Ergebnissen abgearbeitet werden. Dies sei nachfolgend auszugsweise demonstriert.

OBJEKTBEZEICHNUNG: F:\SD\STIFTUNG0611\TEST1\

Gesamtausgabe des stationären wärmetechnischen Simulationsmodells

Grunddaten

Die Simulation wurde für ein Modell mit 10 horizontalen Zonen vorgenommen.

Die Anzahl der berücksichtigten Raumumfassungsflächen (Dreiecksflächen) beträgt 34.

Im Rauminnen befinden sich 3 Wärmequellen mit definiertem Standort.
Eine rein konvektive, standortlose Wärmequelle ist nicht vorhanden.

Die Raumtemperaturregelung erfolgt durch Anpassung der Wassertemperatur für die thermisch aktiven Heiz- bzw. Kühlflächen. Es handelt sich hierbei um die Flächen:

1, 2, 3, 4,

Die Grenzen der Wassertemperaturen sind: taktivmin = 20 °C, taktivmax = 50 °C.

Die erforderliche Wassertemperatur beträgt: taktiv = 31,6 °C.

Soweit eine Lüftung vorhanden ist, wird die Luft impulsarm in den Raum eingebracht!

Der Zuluftvolumenstrom beträgt VLzu = 38,0 m³/h.

Zufuhr in Zone: 1 Abfuhr in Zone: 10 Zulufttemperatur: -15,0 °C.

Ein Umluftvolumenstrom zur Heizung oder Kühlung existiert nicht.

Empfindungstemperaturen in der Prüfhöhe von 1,000 m über dem Fußboden:

Sollwert tEsoll = 23,0 °C Istwert tEist = 23,0 °C.

Schwankung DtEist = 0,6 K durch tEmax = 23,2 °C; tEmin = 22,6 °C.

Berechnung der Empfindungstemperatur: tE = 0,50 tL + 0,50 tU.

Der angegebene Istwert tEist entspricht dem Mittelwert, der über alle Prüfrasterpunkte gebildet wurde.

Somit gelten: Lufttemperatur 22,4 °C; Strahlungstemperatur der Umgebung 23,5 °C.

Wärmetechnische Flächendaten gemäß Eingabe sowie Wasser- und Oberflächentemperaturen

i	AD(i) m²	eps(i)	kappa(i) W/(m²K)	qab(i) W/m²	ta(i) °C	tfix(i) °C	ifrei(i)	iaktiv(i)	t(i) °C
1	10,9098	0,93	5,600	-	31,6	-	-	1	25,76
2	10,9098	0,93	5,600	-	31,6	-	-	1	26,00
3	3,9848	0,93	5,600	-	31,6	-	-	1	25,86
4	3,9848	0,93	5,600	-	31,6	-	-	1	25,94
5	10,9098	0,93	-	-	-	-	-	-	23,63
6	10,9098	0,93	-	-	-	-	-	-	24,18
7	3,9848	0,93	-	-	-	-	-	-	23,74
8	3,9848	0,93	-	-	-	-	-	-	23,93
9	5,3295	0,93	-	-	-	-	-	-	23,46
10	5,3295	0,93	-	-	-	-	-	-	23,91
11	2,6393	0,93	-	-	-	-	-	-	23,60
12	2,6393	0,93	-	-	-	-	-	-	23,80
13	3,2258	0,93	-	-	-	-	-	-	23,48
14	3,2258	0,93	-	-	-	-	-	-	23,53
15	4,0163	0,93	-	-	-	-	-	-	23,32
16	4,0163	0,93	-	-	-	-	-	-	23,52
17	5,7503	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,61
18	5,7503	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,52
19	0,8475	0,93	1,760	-	-15,0	-	-	-	16,75
20	0,8475	0,93	1,760	-	-15,0	-	-	-	16,88
21	1,3643	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,44
22	1,3643	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,45

i	AD(i) m ²	eps(i)	kappa(i) W/(m ² K)	qab(i) W/m ²	ta(i) °C	tfix(i) °C	ifrei(i)	iaktiv(i)	t(i) °C
23	0,4350	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,40
24	0,4350	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,52
25	0,1582	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,74
26	0,1582	0,93	0,241	-	-15,0	-	-	-	22,74
27	3,9725	0,93	1,580	-	-15,0	-	-	-	17,20
28	3,9725	0,93	1,580	-	-15,0	-	-	-	17,41
29	1,0965	0,93	0,232	-	-15,0	-	-	-	22,65
30	1,0965	0,93	0,232	-	-15,0	-	-	-	22,66
31	1,0965	0,93	0,232	-	-15,0	-	-	-	22,60
32	1,0965	0,93	0,232	-	-15,0	-	-	-	22,66
33	0,4900	0,93	0,232	-	-15,0	-	-	-	22,83
34	0,4900	0,93	0,232	-	-15,0	-	-	-	22,88

Legende:

i	Nummer der Raumumfassungsfläche (Dreiecksfläche)
AD(i)	Größe der Fläche i (Dreiecksfläche)
eps(i)	Emissionskoeffizient der Fläche i
kappa(i)	Teilwärmedurchgangskoeffizient der Fläche i
qab(i)	vorgegebene Wärmestromdichte an der Fläche i
ta(i)	Temperatur auf der Außenseite der Fläche i bzw. des Heiz-/Kühlmediums
tfix(i)	vorgegebene Oberflächentemperatur für die Fläche i
ifrei(i)	ifrei(i) = 1 bedeutet freistehende Fläche i im Raum
iaktiv(i)	iaktiv(i) = 1 bedeutet thermisch aktive Fläche i
t(i)	Oberflächentemperatur der Fläche i

Wärmetechnische Zonendaten gemäß Eingabe sowie Zonenlufttemperaturen

zone	hzone(zone) m	VLzu(zone) m ³ /h	Abströmung der Zuluft	VULzu(zone) m ³ /h	Entnahme der Umluft	tLzone(zone) °C
1	0,255	38,0		-		20,6
2	0,510	-		-		21,9
3	0,765	-		-		22,0
4	1,020	-		-		22,3
5	1,275	-		-		22,7
6	1,530	-		-		23,3
7	1,785	-		-		23,4
8	2,040	-		-		23,6
9	2,295	-		-		23,9
10	2,550	-	x	-		24,1

Legende:

zone	Nummer der Zone (Zählung vom Boden)
hzone(zone)	Höhe der oberen Zonengrenze (z-Koordinate)
VLzu(zone)	Zuluftvolumenstrom in der Zuluftzone
	Abströmung des Zuluftstromes in gekennzeichnete Zone
VULzu(zone)	Umluftvolumenstrom in der Umluftzone
	Entnahme des Umluftstromes in gekennzeichnete Zone
tLzone(zone)	Lufttemperatur der Zone

Raumwärmeebilanzen

Wärmestrom vom Raum nach außen (Heizfall > 0):

Transmissionswärmestrom aller nicht thermisch aktiven Flächen:	687 W
Lüftungswärmestrom durch Einbringung der Zuluft:	570 W
Gesamtwärmestrom (Heizlast > 0):	1257 W

Wärmestrom an den Raum (Heizfall > 0):

Wärmestrom aller thermisch aktiven Flächen:	960 W
Wärmestrom durch Umluft:	0 W
Wärmestrom durch Interieur:	
- Konvektion:	180 W
- Strahlung:	120 W
Wärmestrom durch standortlose Wärmequelle:	0 W
Wärmestrom durch fiktive Anpassungs-Wärmequelle:	0 W

Gesamtwärmestrom (Heizung > 0): 1260 W

Abweichung (Wärmestrom nach außen / Wärmestrom an den Raum): -0,2 %

Kontrollbilanzen:

Summe aller Wärmeströme an die Raumluft: -0 W

Abweichung zum Gesamtwärmestrom (Heizlast): -0,0 %

Summe aller Strahlungswärmeströme zwischen den Raumflächen: -3 W

Abweichung zum Gesamtwärmestrom (Heizlast): -0,3 %

Berechnungszyklen:

Anzahl der äußeren Iterationen (Leistungsanpassung mit TAKTIVANPASS) SCHLEIFE: 5

Anzahl der inneren Iterationen (Zonen-/Flächenanpassung mit TANPASS) Itera_ges: 45

Anzahl der Zonenlufttemperaturanpassungen bei letzter Iteration t_Zone_Anpass: 0

Anzahl der Flächentemperaturanpassungen bei letzter Iteration t_F_Anpass: 0

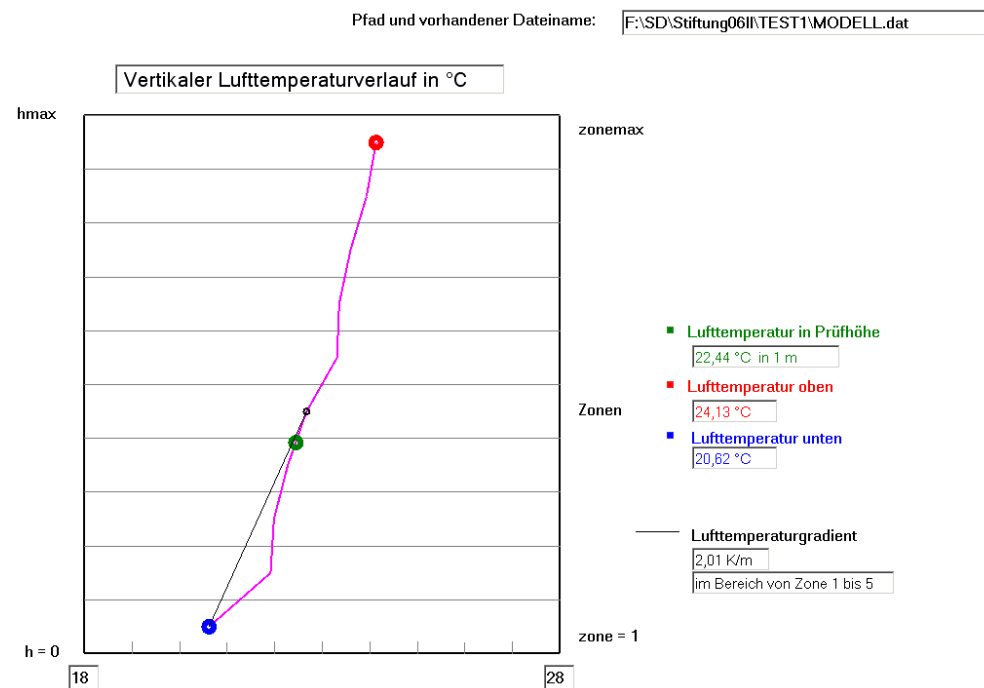


Bild 7.1 Vertikaler Lufttemperaturverlauf für TEST 1

Damit steht für die aktuelle Programmversion 4 / 2007 auch ein bekanntes, vielfältig verifiziertes Testbeispiel für eine stationäre Komplexsimulation zur Verfügung.

Somit wird auch beim weiterentwickelten Algorithmus die Kompatibilität zu den bisherigen Erarbeitungen gewahrt!

Literaturverzeichnis

- [1] GLÜCK, B.: Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung. Bericht der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2004.
Kostenlos erhältlich unter:
<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ 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
- [2] GLÜCK, B.: Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung – Erste Ergänzung. Bericht der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2005.
Kostenlos erhältlich unter:
<http://www.rom-umwelt-stiftung.de> ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ Projekt 14)
oder
<http://www.berndglueck.de/Raummodell>
Teil D:
1. Ergänzung der instationären Simulation (Mai 2005): Umfang 181 Seiten
- [3] 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/> ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ Projekt 14, Wohnbauten)
oder
<http://www.berndglueck.de/Bautechniken>
Hauptbericht: Umfang 335 Seiten
Kurzbericht: Umfang 42 Seiten
- [4] SCHMITZ, H. (Delft): Aussagen zum thermischen Verhalten von PCMs (Mitteilung im persönlichen Gespräch), 2005
- [5] GLÜCK, B.: Wärmetechnischer Vergleich ausgewählter Bautechniken und Betriebsweisen von Wohnbauten. Ergänzungsbericht der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2006.
Kostenlos erhältlich unter:
<http://www.rom-umwelt-stiftung.de/> ($\Rightarrow$ Arbeit bisher $\Rightarrow$ Projekt 14, Wohnbauten)
oder
<http://www.berndglueck.de/Bautechniken>
Ergänzungsbericht (PCM mit Phasenwandelsbereich): Umfang 14 Seiten