

DYNAMISCHES RAUMMODELL

Erstveröffentlichung: Februar 2005

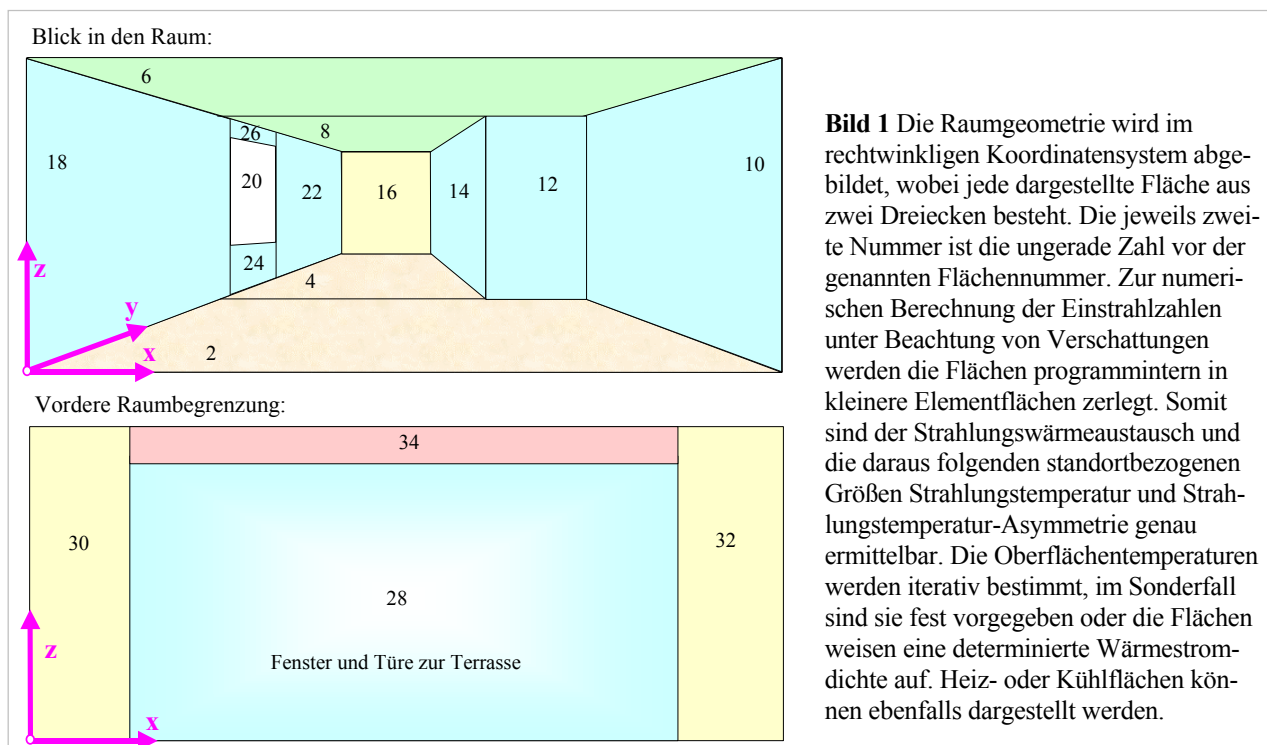
1. Ergänzung: Mai 2005

2. Ergänzung: Juli 2006

Das DYNAMISCHE RAUMMODELL ist ein sehr **umfangreiches Simulationsmodell**, das als Werkzeug für die detaillierte Beantwortung zahlreicher energetischer und wärmephysiologischer Fragen eingesetzt werden kann. Es soll dem ambitionierten Nutzer helfen, in Gebäuden **gute wärmephysiologische Werte mit niedrigem Primärenergieaufwand** zu erreichen.

Hierzu können unterschiedliche Zielstellungen verfolgt werden. So ist es beispielsweise interessant, neue Heiz- und Kühlsysteme in Abhängigkeit der bauphysikalischen Gegebenheiten zu konzipieren oder die Baustoffe der Raumumfassungen in ihren bauphysikalischen Eigenschaften optimal aufeinander abzustimmen oder aber beide Entwicklungen überlagert zu betreiben.

Der Forschungsbericht enthält umfangreiche **theoretische Ableitungen**, die **programmtechnische Umsetzung**, die **Verifikation der Algorithmen** und zahlreiche **Beispielanwendungen**. Der Bericht ist in fachspezifische **Bausteine** gegliedert, beispielsweise Geometriemodell (Bild 1), wärmephysiologisches Prüfmodell, Simulation der Interieurwärmequellen, Behaglichkeitssimulation, Berechnung der Strahlungswärmeströme, Modellierung der Konvektionsströme und daraus resultierender Lufttransport sowie Wärmeleitung in den Raumumfassungen. Letztere kann stationär und instationär untersucht werden. Im allgemeinsten Fall sind mehrschichtige Bauteile mit wasserbeaufschlagten **Rohrregistern** zum Heizen- und/oder Kühlen nachbildbar, wobei einzelne Schichten auch aus **Latentspeichermaterial** mit definiertem Phasenwechsel bestehen können (Bild 2). Der **Phasenwechsel** kann im Idealfall bei einer **festen Temperatur** erfolgen oder sich über einen **Phasenwandelbereich** erstrecken. Näherungsweise ist auch eine **Hysterese** simulierbar. Die dreidimensionale numerische Betrachtungsweise mit Hilfe einer speziell entwickelten Finite-Volumen-Methode ermöglicht eine genaue Darstellung der Temperaturverläufe und der Phasenzustände im Baukörper.



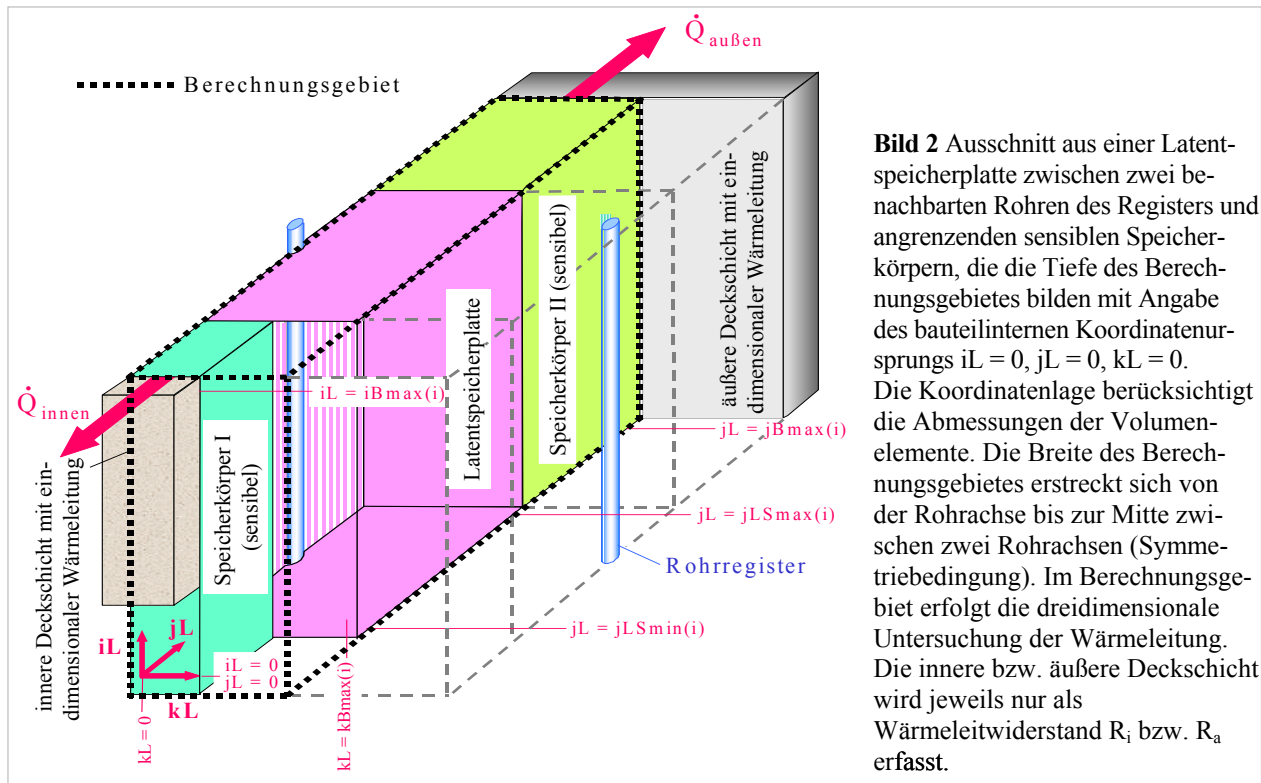


Bild 2 Ausschnitt aus einer Latentspeicherplatte zwischen zwei benachbarten Rohren des Registers und angrenzenden sensiblen Speicherkörpern, die die Tiefe des Berechnungsgebietes bilden mit Angabe des bauteilinternen Koordinatenursprungs $iL = 0, jL = 0, kL = 0$. Die Koordinatenlage berücksichtigt die Abmessungen der Volumenelemente. Die Breite des Berechnungsgebietes erstreckt sich von der Rohrachse bis zur Mitte zwischen zwei Rohrachsen (Symmetriebedingung). Im Berechnungsgebiet erfolgt die dreidimensionale Untersuchung der Wärmeleitung. Die innere bzw. äußere Deckschicht wird jeweils nur als Wärmeleitwiderstand R_i bzw. R_a erfasst.

Das Simulationsmodell stellt eine **Neuheit** dar, wobei die wärmetechnische Untersuchung stets mit der wärmephysiologischen Überprüfung verbunden ist.

Die **Behaglichkeitsgrößen** können wahlweise nach **Normvorgaben** oder nach zwischenzeitlich vom Autor **weiterentwickelten Aussagen** definiert sein.

Die im Bericht vorgestellten Beispiele lassen das **breite Anwendungsspektrum** erahnen. Es sollte im Weiteren gezielt genutzt werden. Dies erscheint in der jetzigen Zeit besonders vordringlich, da die Vielfalt der **neuen Baustoffe** mit den unterschiedlichsten Eigenschaften

- Vakuumdämmung ohne jegliche Wärmespeicherkapazität
 - Latentspeichermaterialien mit sehr hohen Phasenumwandlungswärmen bei Raumtemperatur
- und die extrem unterschiedlichen Philosophien bezüglich der zukünftigen **Entwicklung der Heiz- und Kühltechnik**
- Nullenergie- bzw. Passivhaus ohne Heiz- oder Kühleinrichtung
 - Komforthäuser mit umfassender Anlagentechnik

dringend objektiver Untersuchungs- und Bewertungsmodelle bedürfen.

Die **Organisation des Berechnungsablaufes** ist **außerordentlich variantenreich** gestaltbar (Bild 3). Die Verfahrensweise wird in den einzelnen Abschnitten des Forschungsberichtes ausführlich dargelegt. Generell sollten die Vielfalt der Variantenrechnungen als auch die Entwicklungsmöglichkeiten des offengelegten Algorithmus nicht begrenzt werden. Deshalb erfolgen bei den Eingaben auch keine Beschränkungen der Größen, keine Überprüfungen der Eingabekombinationen auf ihre derzeitige technische Realisierbarkeit usw., wie dies bei kommerziellen Programmsystemen üblich wäre. Die **Eingaben** werden mittels gut übersichtlicher **Masken** in jeweils separaten Fenstern (Bild 4) vorgenommen, sie sind zudem ausführlich im Bericht beschrieben. Die sehr umfangreichen **Ausgaben** können als **Ausdrucke** unterschiedlicher Detaillierung und teilweise in Form von **Grafiken** erfolgen.

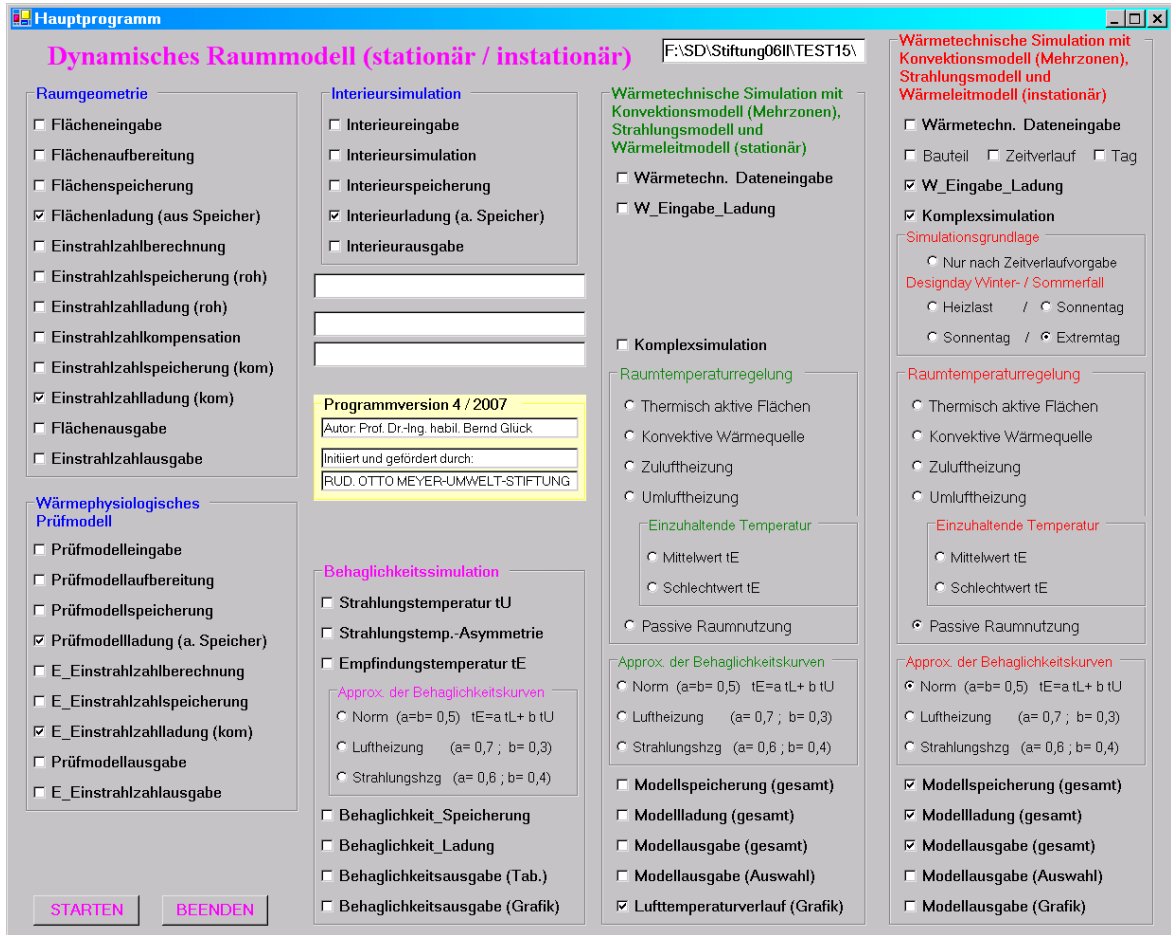


Bild 3 Oberfläche des Hauptprogramms mit Kennzeichnung der beabsichtigten Aktivitäten, um eine Komplexsimulation mit instationärer Wärmeleitung durchzuführen.

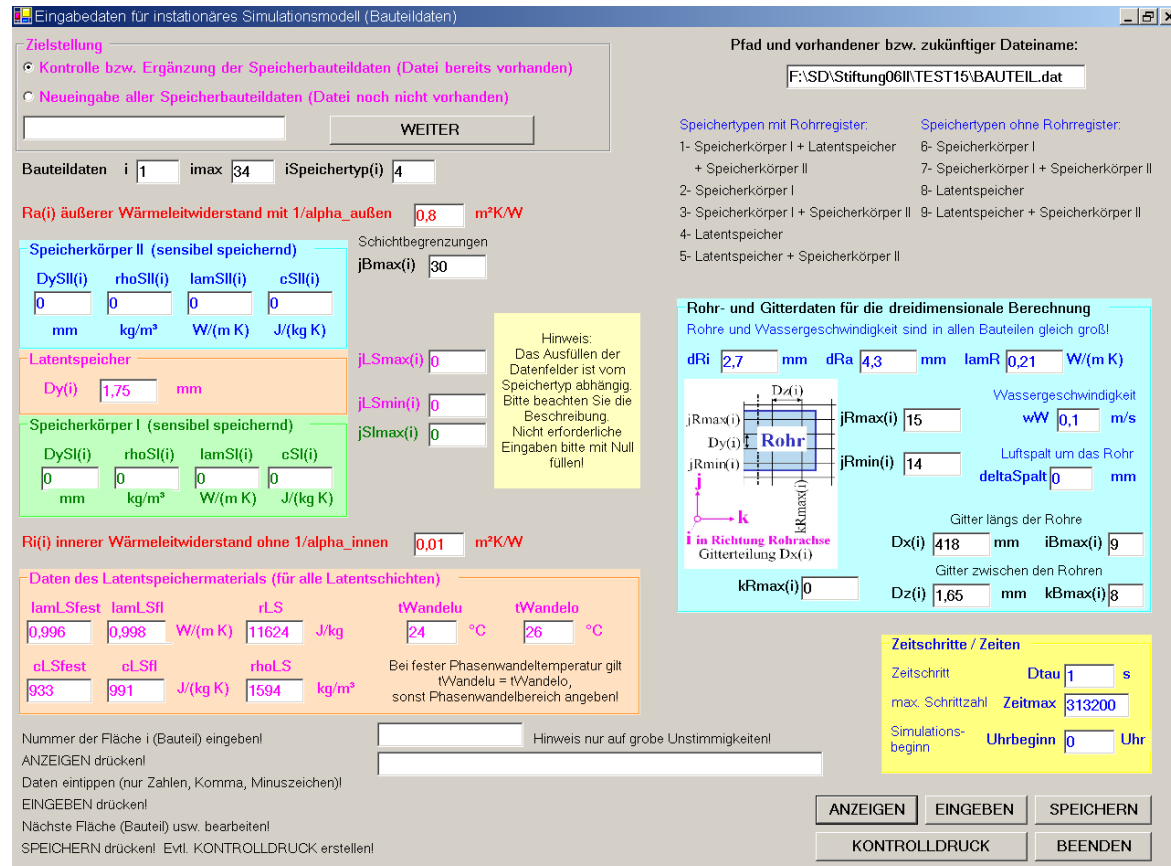


Bild 4 Oberfläche zur Eingabe der Bauteildaten für das instationäre Simulationsmodell (Maximalbeispiel)

Zur Nutzung der Algorithmen und des Rechenprogramms sind grundsätzlich zwei unterschiedliche Wege möglich.

Erstens wird eine sofort **anwendungsfähige Programmversion** zur Simulation der wärmetechnischen und wärmephysiologischen Raumverhältnisse angeboten, wobei die gewünschten Untersuchungen nur durch "Anklicken entsprechender Button" und die Optionen spezieller Berechnungen durch "Markierungen" auszuwählen sind (Bild 3). Die Ausgaben werden über MS WORD und mittels der programmeigenen Grafik realisiert (Bilder 5 und 6). Sie können dann im Bedarfsfall eine Weiterbearbeitung erfahren.

Gesamtausgabe des instationären wärmetechnischen Simulationsmodells

Grunddaten

Entwurfstag 4: Daten für Sommer-Extremtag

Die Simulation wurde für ein Modell mit 10 horizontalen Zonen vorgenommen.
Die Anzahl der berücksichtigten Raumumfassungsflächen (Dreiecksflächen) beträgt 34.

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

Der Zuluftvolumenstrom beträgt $V_{Lzu} = 76,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Zufuhr in Zone: 1 Abfuhr in Zone: 10.

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

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

Der angegebene Istwert t_{Eist} entspricht dem Mittelwert über alle Prüfrasterpunkte.

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

Stündliche Temperaturen und Anpasleistung der instationären Simulation

Zeit h	Uhr	t_a °C	t_{Lzu} °C	t_{ULzu} °C	taktiv °C	t_{Wein} °C	t_{Waus} °C	QKANpass W	t_{LPruef} °C	t_{Eist} °C	DtEist K
.
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		
taktiv	mittlere Wassertemperatur für stationär-thermisch aktive Flächen		
t_{Wein}	Wassereintrittstemperatur in thermisch aktive Speicherbauteile		
t_{Waus}	Wasseraustrittstemperatur aus den thermisch aktiven Speicherbauteilen		
QKANpass	konvektiver Anpasswärmestrom		
t_{LPRUEF}	Lufttemperatur in Prüfhöhe	t_{Eist}	Empfindungstemperatur (Istwert)
DtEist	Schwankung der Empfindungstemperatur über dem Grundriss (Istwert)		

Stündliche Raumwärmebilanz der instationären Simulation

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
.
82	10	-49	257	91	502	-385	0	-384	0	0	0	-384
83	11	-69	432	129	579	-346	0	-344	0	0	0	-344
84	12	-81	441	147	506	-293	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)		

Bild 5 Beispiele von Textausgaben (Auszüge)

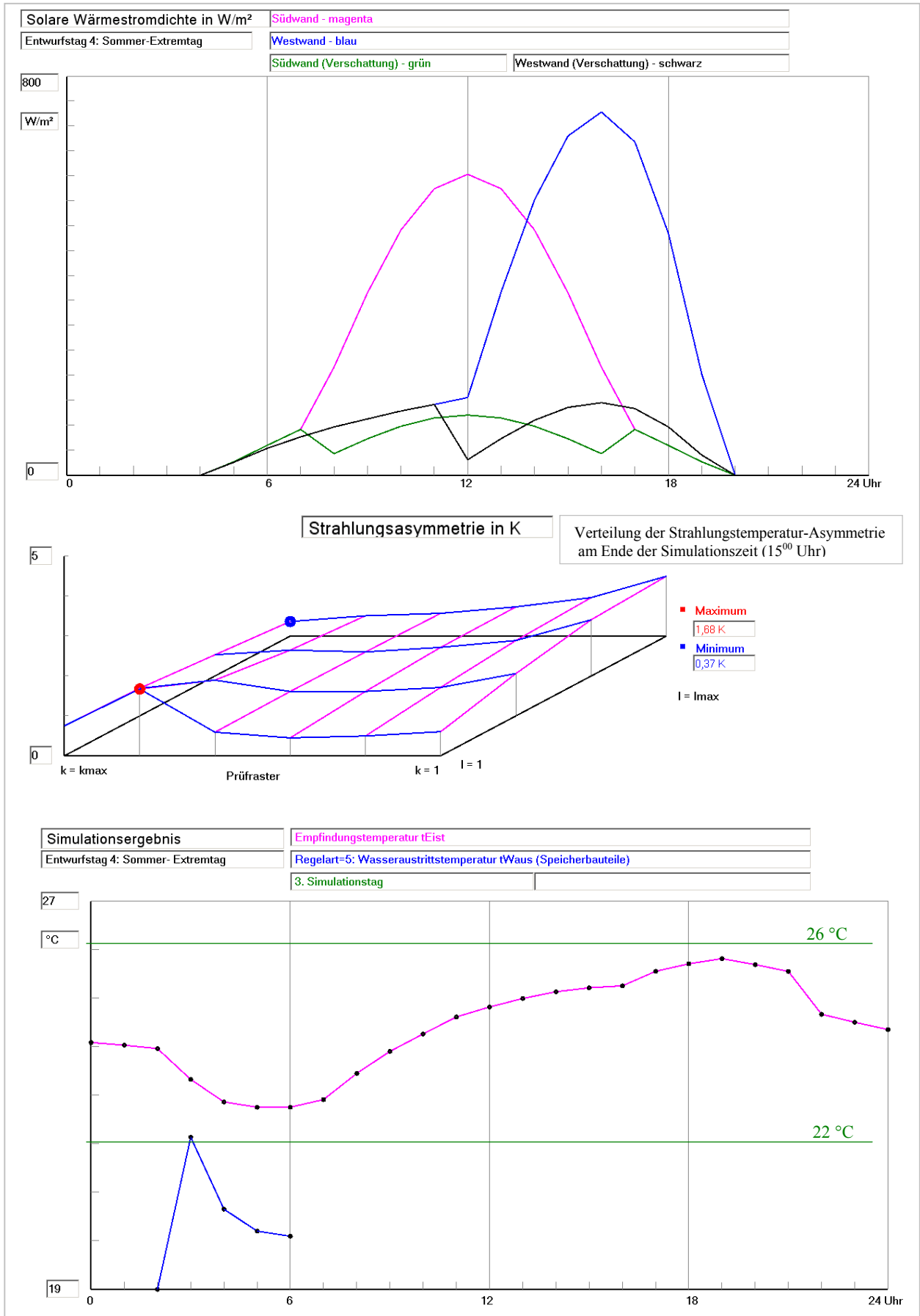


Bild 6 Beispiele von Grafikausgaben (Auszüge) für einen Raum mit Massivspeicherbauteilen (Außen- und Innenwände sowie Decke mit sensibler Wärmespeicherung, Fußboden mit Latentspeicherschicht) bei zeitweiser Verschattung der Fenster und nächtlichem Betrieb (2⁰⁰ bis 6⁰⁰ Uhr) des Fußbodenkühlsystems mit Wasser (19 °C) aus einer Umweltenergiequelle an einem Extrem-Sommertag

Zweitens besteht die Möglichkeit, die **vorhandenen Programmbausteine selbst weiterzuentwickeln** oder losgelöst voneinander in **eigenen Algorithmen** ergänzend zu verwenden. Die Module sind gut strukturiert und mit zahlreichen Kommentaren versehen, sodass eine Einarbeitung rasch möglich ist. Das Rechenprogramm ist in **Visual Basic.NET** geschrieben. Es sollte vorzugsweise direkt in der verwendeten Programmierumgebung **MICROSOFT VISUALBASIC.NET STANDARD** genutzt werden, da somit mögliche Fehlbedienungen und/oder noch vorhandene Programmfehler durch Nutzung des Debuggers relativ leicht auffindbar sind.

Der Bezug der genannten Standardsoftware Visual Basic.NET ist sehr kostengünstig möglich, für Studenten gelten in der Regel zusätzlich Sonderkonditionen. Auf jegliche Spezialsoftware, die einige wesentliche Programmiererleichterungen – beispielsweise bei der Erzeugung von Ausgabetafeln – bewirkt hätte, wurde deshalb bewusst verzichtet. Es werden lediglich Verbindungen zu MICROSOFT WORD hergestellt. Die Programmgestaltung erfolgte ebenfalls in trivialer Form, sodass Anfänger sich bei Bedarf sofort einarbeiten und Ergänzungen vornehmen können.

Umfang Forschungsbericht (Teile A bis E): 699 Seiten A4

Programmumfang: ca. 400 Seiten A4

Die Entwicklung des DYNAMISCHEN RAUMMODELLS wurde von der

RUD. OTTO MEYER-UMWELT-STIFTUNG

gefördert. Der Verfasser bedankt sich dafür herzlich. Er sieht somit die Möglichkeit, Teile seiner mehrjährigen Entwicklungsarbeit im Sinne des Stiftungsgedankens an Interessierte weiterzugeben.

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

Der gesamte, fortgeschriebene Forschungsbericht, das aktuelle Programmpaket einschließlich Quellcode und zwei Musterbeispiele sind auf der Internetseite der
RUD. OTTO MEYER-UMWELT-STIFTUNG
kostenlos erhältlich:

Version 1/2005	Februar 2005
<ul style="list-style-type: none"> ● Grundalgorithmen für stationäre und instationäre Untersuchungen 	
Version 2/2005	Mai 2005
<ul style="list-style-type: none"> ● Inhalt der Version 1/2005 ● 1. Algorithmusergänzung: Entwurfstage, Fenstermodell, Verteilung der kurzwelligen Strahlung im Raum ● 1. Fehlerbereinigung des Programmcodes 	
Version 3/2006	Juli 2006
<ul style="list-style-type: none"> ● Inhalt der Versionen 1/2005 und 2/2005 ● 2. Algorithmusergänzung: Latentspeichermaterialien mit Phasewandelbereich (Hysterese) ● 2. Fehlerbereinigung des Programmcodes 	
aktuelle Version 4/2007	Januar 2007
<ul style="list-style-type: none"> ● Inhalt der Versionen 1/2005, 2/2005 und 3/2006 ● 3. Fehlerbereinigung des Programmcodes 	