

## EIN MODELL ZUR HYGRISCH-THERMISCHEN GEBÄUDESIMULATION MIT HILFE DER KOPPLUNG VON ZONEN- UND FELDMODELL

Alf Perschk<sup>1</sup> und Uwe Meinhold<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden, Germany

<sup>2</sup>Institut für Bauklimatik, TU Dresden, Germany

### KURZFASSUNG

Es wird ein Modell vorgestellt, das eine erweiterte Analyse der hygrisch-thermischen Zustandsgrößen eines Gebäudes, durch die direkte Kopplung von Zonen- mit Feldmodellen ermöglicht. Die einzelnen Module des Modells werden erläutert und deren Anwendung an einigen Beispielen demonstriert.

### ABSTRACT

A model is introduced which provides an advanced analysis for the hygro-thermal state variables in a building through direct coupling of zone and field models. The specific modules of the model are described and applications are shown on some cases.

### EINLEITUNG

Eine Prognose der genauen Zustände im Raum und im Material setzt die Kenntnis einer Reihe von Informationen voraus, deren Ermittlung nicht immer einfach ist. Während der Feuchte- und Wärmetransport im Bauteil in vielen wissenschaftlichen Veröffentlichungen sehr tiefgründig untersucht wurde (Hens, H., 1996), bilden die angenommen Randbedingungen für das Innenklima eine mögliche Unsicherheit. Eine größere Sicherheit erhält man durch die Kopplung der Bauteiluntersuchung mit der Gebäudesimulation. Mittels eines Zonenmodells können alle relevanten interzonalen Austauschprozesse berücksichtigt werden. Durch die Berechnung der Luftströme im Gebäude kann dann auch die mit der Luft transportierte Feuchte bilanziert werden. Zusätzlich mit der Wärmebilanz der einzelnen Zonen (meist Räume) des Gebäudes ergeben sich daraus die für die Bauteilberechnung notwendigen Randbedingungen. Für eine weitere örtliche Verfeinerung ist eine Kopplung der Modelle mit einer Raumlufstromungssimulation (CFD) realisiert. Damit sind die Energie- und Stoffströme der Wände in Abhängigkeit der Luftströmung sehr detailliert bilanzierbar.

### MODELLBESCHREIBUNG

Das Modell besteht aus den Modulen

- Zonenmodell (TRNSYS)
- Feldmodell (Bauteil/Wand)
- Feldmodell (CFD)

#### **Zonenmodell**

Als Zonenmodell für das Gebäude wird eine am ITT der TU Dresden erweiterte TRNSYS-Version (14.2) verwendet (<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>). TRNSYS bietet in dieser Version den Vorteil, dass alle Quelltexte dem Anwender offen zur Verfügung stehen. Damit ist es relativ leicht, eigene Modelle in die bestehende Modulstruktur einzubauen.

#### **Feldmodell (Bauteil/Wand)**

Für die Berechnung des Temperatur- und Feuchtefeldes der Bauteile werden für jede Wand die mit einander direkt gekoppelten Differentialgleichungen der Masse- und Energiebilanz mit Hilfe der FEM eindimensional gelöst (Perschk, A., 2000). Die dazu notwendige Vernetzung jeder einzelnen Wand erfolgt automatisch. Auf Grund der komplexen Zusammenhänge zwischen den Gleichungen, ist eine separate Zeitschrittweitensteuerung für jede Wand erforderlich und realisiert.

#### **Feldmodell (CFD)**

Als Programm zur Berechnung der Raumlufstromung wird ParallelNS verwendet. ParallelNS ist ein reiner Forschungscode ohne kommerzielle Anbindungen. Der Grundstein dafür wurde vom Institut für Numerische und Angewandte Mathematik der Universität Göttingen gelegt, die Weiterentwicklung geschieht in Zusammenarbeit mit dem Institut für Luft- und Raumfahrttechnik sowie dem Institut für Thermodynamik und TGA der TU Dresden. Die eingesetzte Diskretisierung ist eine spezielle Finite Elemente Methode für konvektionsdominante Probleme. Als Turbulenzmodell kommt ein für Raumlufstromungen optimiertes k-ε-Modell mit Grenzschichtiterationen in Wandnähe zum

Einsatz. Durch nichtüberlappende Gebietszerlegung ist eine moderate Parallelisierung der Berechnungen möglich. Eine ausführliche Darstellung der Berechnungsmöglichkeiten sowie ein Vergleich mit Messwerten ist z.B. in (Knopp et al., 2005) zu finden.

### Kopplung Zonenmodell mit Feldmodell (Bauteil/Wand)

Das Wandmodell ist als neues Modul (TYPE158) in TRNSYS direkt integriert. Für die Bereitstellung der Randbedingungen wurden die Schnittstellen von TRNSYS genutzt bzw. neue geschaffen.

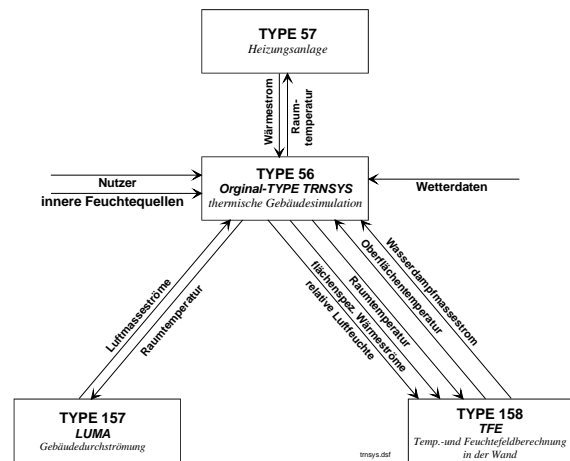


Abb. 1: Kopplung Zonenmodell mit Bauteilmodell

Der Austausch erfolgt in jedem Zeitschritt bis zum Erreichen der gewünschten Genauigkeit iterativ.

### Kopplung mit CFD

Für die direkte Verknüpfung von TRNSYS und ParallelNS wird das freie Programmsystem PVM (Parallel Virtual Machine) genutzt. Die dafür erforderlichen Schnittstellen sind in beiden Programmen integriert.

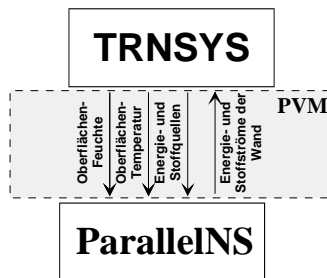


Abb. 2: Kopplung Zonenmodell mit ParallelNS

## VALIDIERUNG

Im Rahmen des durch die IEA (ECBCS - Programm) aufgelegten Forschungszusammenschlusses ANNEX 41 „Whole Building Simulation“<sup>1</sup> werden unterschiedliche Möglichkeiten eröffnet Algorithmen und Programme zu validieren ( Hens, 1996) .

Durch die Auflage von „Common Exercises“ bei denen alle beteiligten Institutionen die selbe Aufgabe lösen, ist es möglich die eigenen Resultate mit den Ergebnissen der anderen zu vergleichen.

Neben der reinen thermischen Berechnung (Annex 21 BESTEST) wurde nun auch die Raumlufffeuchte bei Feuchtebelastung sowie unterschiedlichen Randbedingungen berechnet und verglichen. Die folgenden Grafiken zeigen beispielhaft den Verlauf der rel. Raumlufffeuchte über einen Tag im Sommer bei idealisierten und bei realen Außenklima. Der stärker dargestellte Kurvenverlauf wurde mit dem hier beschriebenen Programm berechnet.

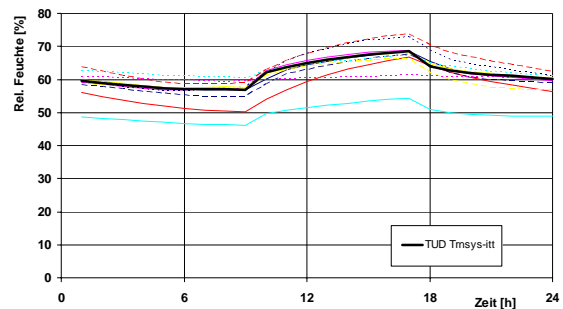


Abb. 3: Annex 41 Common Exercise CE1B Case 1: Raumlufffeuchte eines ausgewählten Tages (isothermisch)

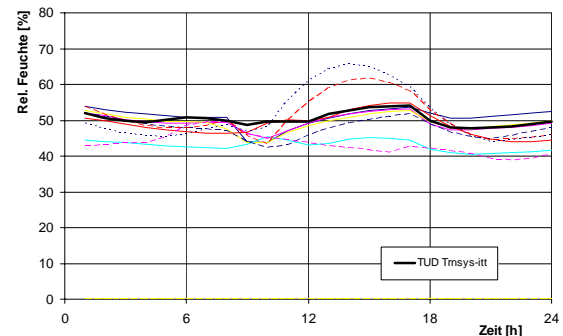


Abb. 4: Annex 41 Common Exercise CE1B Case 3: Raumlufffeuchte eine ausgewählten Tages (mit realen Randbedingung und Solarstrahlung)

Neben den Berechnungen fiktiver Zustände mit vereinfachten Randbedingungen (vereinfachte Baukonstruktion, konstante Temperaturen, keine oder definierte Strahlungseinflüsse etc.) Werden im Laufe der Projektlaufzeit des Annex 41 (2003 - 2007) ebenfalls mehrere gemessene reale Klimaverläufe untersucht (z.B. Versuchshaus des Fraunhofer Instituts für Bauphysik Holzkirchen)

Mit der Bereitstellung von Messergebnissen eines Laborversuches der University of Saskatchewan / Kanada im Herbst 2006, bei dem ein Luftstrom definierter Temperatur, Feuchtigkeit und Geschwindigkeit wird auch der Einfluss auf die Übergangskoeffizienten validiert werden können.

## ANWENDUNGSBEISPIELE

### Kopplung Bauteil- mit Gebäudemodell

In einem Einfamilienhaus wird das Nutzerverhalten durch Zeitplanfunktionen definiert. Für das Außenklima stehen Wetterdaten zur Verfügung.

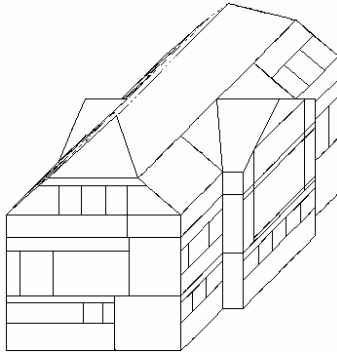


Abb. 5: Modell Einfamilienhaus

Die Reaktion des Gebäudes kann nun auf Plausibilität überprüft werden. Die Effekte die durch die Beheizung und die Befeuchtung einzelner Räume im gesamten Gebäude auftreten, lassen sich sehr gut beobachten.

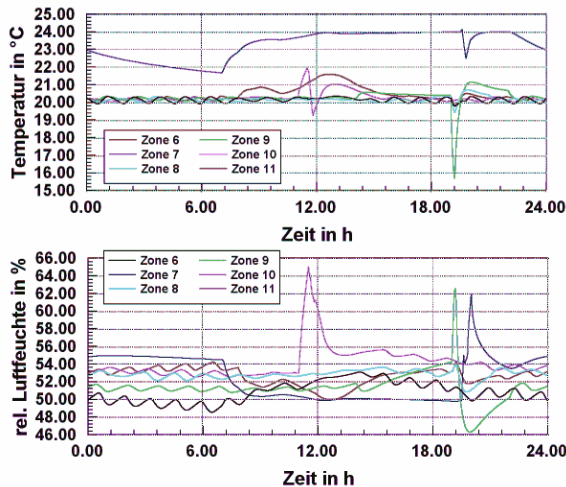


Abb. 6: Zustandsgrößen im Einfamilienhaus

Zusätzlich kann jede einzelne Wand auf ihren Wassergehalt kontrolliert werden.

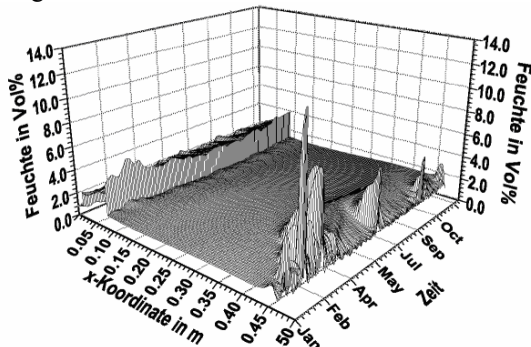


Abb. 7: Feuchtegehalt einer einzelnen Wand im Jahresgang

### Kopplung Zonenmodell mit CFD

In einem einzelnen Raum wird eine örtliche instationäre Wärmequelle kombiniert mit einem Dampfmassestrom (z.B. kochender Topf mit Wasser) simuliert.

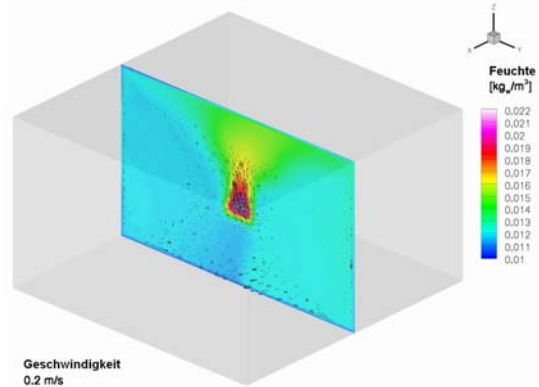


Abb. 8: Feuchtfeld in einem Raum mit eine Quelle

Die durch die Wärmequelle ausgelöste Luftströmung sorgt für eine verstärkte Verteilung der Feuchte im Raum. Gleichzeitig ist die Feuchtaufnahme der Wände am kleineren Konzentrationsprofil in Wandnähe erkennbar.

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die hygrisch-thermische Gebäudesimulation mit dem vorgestellten Modell bietet die Möglichkeit einer genaueren Prognose von Feuchte-Schäden an der Bausubstanz bzw. kann die Vorhersage der Schimmelpilzbildung deutlich verbessern. Die Kopplung von Modellen unterschiedlicher Approximationstiefen ist ein wirksames Mittel dafür. Eine zusätzliche Verbesserung ist zu erwarten, wenn das eindimensionale Bauteilmodell auf die zweite bzw. dritte Dimension erweitert wird. Dann sollte auch die Inneneinrichtung besser in die Untersuchung integrierbar sein. Entsprechende Vorbereitungen sind bereits in Arbeit.

## LITERATUR

Hens, H.: 1996 Heat, air and moisture transfer in insulated envelope parts, IEA-ECBCS-Annex 24 Final Reports, <http://www.ecbcs.org/annexes/annex24.htm>

Knopp, T., Lube, G., Gritzki, R., Rösler, M., A near-wall strategy for buoyancy-affected turbulent flows using stabilized FEM with applications to indoor air flow simulation. Computer Meths. Applied Mechan. Engrg. 194 (2005) 3797-3816.

Perschk, A.: 2000 Gebäude-Anlagen-Simulation unter Berücksichtigung der hygrischen Prozesse in den Gebäudewänden, Diss. TU Dresden

PVM: <http://www.csm.ornl.gov/pvm/index.html>

<sup>1</sup> Das Projekt wird vom BMBF gefördert: 0329663F