

## GEKOPPELTE SIMULATION ZUR SPEZIFIKATION VON HEIZ- UND KÜHLKÖRPERN

Ralf Gritzki, Alf Perschk, Wolfgang Richter, Markus Rösler

Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden, Dresden, Germany

[gritzki@tga.tu-dresden.de](mailto:gritzki@tga.tu-dresden.de), [perschk@tga.tu-dresden.de](mailto:perschk@tga.tu-dresden.de), [wrichter@tga.tu-dresden.de](mailto:wrichter@tga.tu-dresden.de),

[roesler@tga.tu-dresden.de](mailto:roesler@tga.tu-dresden.de)

### KURZFASSUNG

Moderne Gebäude- und Raumkonzepte verlangen oft ein Umdenken gegenüber herkömmlichen Lösungen zur Heizung oder auch Kühlung der Gebäude. Oft ist jedoch nicht quantifizierbar, ob neue Ideen wirklich umsetzbar sind, da vereinfachte Abschätzungen eine zu große Unschärfe besitzen. Deshalb wurde ein von den Autoren maßgeblich entwickeltes und erfolgreich eingesetztes Programmsystem zur gekoppelten Gebäude-, Anlagen- und Raumluftströmungssimulation mit einem weiteren räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Modell für die Heiz- und Kühlkörpersimulation gekoppelt.

Auf diese Weise können nicht nur Prüfzenarien aus der Heizungstechnik nachgebildet, sondern auch spezielle Betriebsverhältnisse oder Kühlkörper zur Raumtemperierung untersucht werden. Die Ansätze für die Modellierung sind kurz erläutert, ausgewählte Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

### ABSTRACT

Modern concepts of buildings and rooms require a rethinking concerning conventional solutions for heating or cooling of buildings. But often it is not possible to quantify, whether a new idea is worthwhile because of missing sharpness of simple assessments. Therefore a programming system for combined thermal building simulation and indoor air flow calculation, mainly developed and successfully applied by the authors is extended by a highly resolved model for heating and cooling devices.

In that way it is possible to model the specification of radiators in a test chamber or under operating conditions. In addition, the effect of cooling by radiators can be investigated. The approaches for modelling will be explained in short and some selected results are presented and discussed.

### EINLEITUNG

Um die thermische Behaglichkeit in Räumen mit minimalem Einsatz von Energie zu gewährleisten, ist der Einsatz besonders effizienter Heiz- und Kühlflächen notwendig. Aufgrund stetig sinkender Transmissionswärmeverluste und unter Berücksichtigung

der zu erwartenden klimatischen Veränderungen sind hierfür möglicherweise völlig neue Ideen gefragt. Aber auch früher verworfene Lösungsansätze können unter veränderten Randbedingungen Erfolg versprechend sein.

Um die betreffenden anlagentechnischen und baulichen Konzepte im Vorfeld möglichst kostengünstig und umfassend zu bewerten, wurde ein von den Autoren konzipiertes und bereits erfolgreich eingesetztes System zur Kopplung der Raumluftströmung, des thermischen Verhaltens der Baukonstruktion und der technischen Anlagen um ein wichtiges Detail erweitert. Die Strömungs- sowie die dreidimensionalen Wärmeleitungsvorgänge innerhalb der modellierten Heiz- und Kühlkörper werden in die instationäre, gekoppelte Simulation einbezogen. Dies geht einher mit einer geometrisch hoch aufgelösten Modellierung der üblicherweise häufig vereinfacht nachgebildeten Heizkörper.

Das daraus entstandene Berechnungswerkzeug ermöglicht äußerst detailstarke Simulationen des thermischen Verhaltens beliebiger Heiz- und Kühlkörper, sowohl unter definierten Prüfbedingungen, als auch unter den angestrebten Nutzungsszenarien. Die Herstellung aufwändiger Prototypen kann dank der hierbei erzielten Genauigkeit vermieden werden. Ein besonderer Vorteil ist zudem die Möglichkeit, detaillierte Aussagen zum Verhältnis von Konvektion zu Wärmestrahlung bei der Wärmeübertragung der untersuchten Bauteile zu liefern.

### ÜBERBLICK - PROGRAMMSYSTEM

Das den vorgestellten Untersuchungen zugrunde liegende Programmsystem besteht im Wesentlichen aus drei einzelnen Simulationsprogrammen, die über *PVM* (Parallel Virtual Machine) miteinander gekoppelt wurden. Im Einzelnen handelt es sich hierbei um den Forschungscode *ParallelINS*, das Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm *TRNSYS-TUD* sowie das kommerzielle Programmpaket *FLUENT*. Nachfolgend erfolgt ein kurzer Überblick über die einzelnen Komponenten, ihre Aufgaben im Berechnungsprozess und über den Kopplungsmechanismus selbst.

## Gebäude/Anlage/Regelung – TRNSYS-TUD

Bei *TRNSYS-TUD* handelt es sich um eine institutsinterne Weiterentwicklung des kommerziellen Gebäudesimulationsprogrammes *TRNSYS* (Klein et al., 1976). Für Details bezüglich der vorgenommenen umfangreichen Modifikationen sei auf (Perschke, 2000) verwiesen. Im Rahmen der hier genutzten gekoppelten Berechnung erfolgt durch *TRNSYS-TUD* die Simulation der betrachteten Anlagentechnik, der genutzten Regler und Sensoren, der klimatischen Verhältnisse inklusive der diffusen und direkten Solarstrahlung (geometrisches Modell) sowie des thermischen Verhaltens der kompletten Gebäudehüllen.

### Raumluftströmung/Kopplung – *ParallelNS*

Die Simulation der Raumluftströmung innerhalb des untersuchten Gebäudebereichs übernimmt der Strömungssimulationscode *ParallelNS*. Dies ist ein speziell auf die Belange von Raumluftströmungen zugeschnittener Finite Elemente Code. Er wurde in enger Zusammenarbeit von Mitarbeitern der TU Dresden und der Universität Göttingen entwickelt. Seine Hauptvorteile liegen in der Nutzung spezieller, für diesen Anwendungsbereich optimierter Turbulenzmodelle, der verwendeten sehr guten Verfahren zur Berechnung des Wärmeüberganges an den Wandflächen sowie in der Möglichkeit der uneingeschränkten Erweiterbarkeit (vollständiger Quelltextzugriff). Für weitere Details bezüglich der spezifischen Merkmale des Programms sei auf (Knopp et al., 2005) verwiesen.

### Bauteilsimulation – *FLUENT*

Für die Simulation der geometrisch hoch aufgelösten Strömungs-, 3D-Wärmeleitungs- und Strahlungsvorgänge innerhalb der simulierten Heiz- bzw. Kühlkörper kommt das kommerzielle Programmsystem *FLUENT* zum Einsatz. Details bezüglich des außerordentlichen Funktionsumfangs sind (Fluent Inc., 2001) zu entnehmen. *FLUENT* eignet sich insofern besonders für dieses Aufgabengebiet, da es ermöglicht, Simulationen mit mehreren gekoppelten Fluid- und Festkörperzonen durchzuführen. Es kann somit gleichzeitig die Strömung des Fluids in den Bauteilkanälen und die dreidimensionale Wärmeleitung in den Metallteilen berechnet werden. Der Randbedingungs-austausch, also die Kopplung des Programms mit den anderen Modulen erfolgte mit Hilfe von User Defined Functions (UDF).

### Ablauf der Kopplung

Die Kopplung der einzelnen Programmkomponenten im Zeitbereich erfolgt mit Hilfe von *PVM*. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die einzelnen auszutauschenden Größen im Zeitbereich.

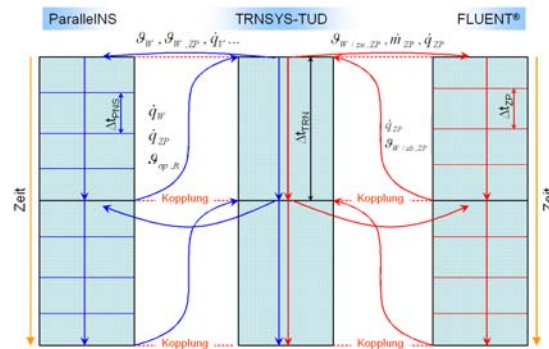


Abbildung 1 Ablauf der zeitlichen Kopplung

Hierbei erfolgt der Austausch direkt über den Arbeitsspeicher der genutzten Rechner. Dieses Verfahren ist sehr effizient und bietet zudem den Vorteil, dass die einzelnen Programme unabhängig voneinander auf völlig unterschiedlichen Architekturen laufen können.

Da die Kopplung im Wesentlichen über den wechselseitigen Austausch von Wandtemperaturen und Wärmeströmen erfolgt, ist in allen drei Teilprogrammen eine sehr hohe geometrische Auflösung sowohl der umgebenden Wandflächen, als auch der untersuchten Heiz- bzw. Kühlkörper erforderlich.

## AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

### Heizkörperspezifikation gemäß EN 442

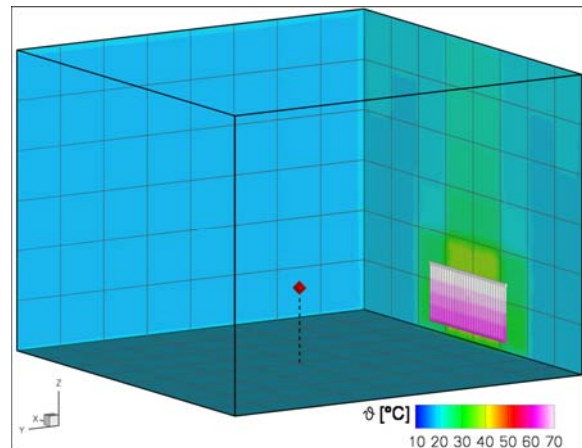


Abbildung 2 Modell der Prüfkabine mit Heizkörper

Als Testfall für das erweiterte Programmsystem eignet sich in hervorragender Weise die Nachbildung der Heizkörperprüfung in einer geschlossenen Testkabine. Hierfür liegen ausreichend Messwerte für verschiedene Heizkörpertypen und Vorlauf-Rücklauf-Temperaturkombinationen vor. Abbildung 2 zeigt das Modell eines Plattenheizkörpers in einer Prüfkabine gemäß den Festlegungen in der EN 442, Teil 2 (EN 442-2, 2003). Demgemäß wurde über zwei Regelkreise gesichert, dass die Lufttemperatur

am Sensorpunkt 20°C beträgt und die geforderte Rücklauftemperatur exakt eingehalten wird. Die nachfolgende Tabelle zeigt ausgewählte Ergebnisse für einen Plattenheizkörper (Fall A) und einen Radiator (Fall B). Die Referenzwerte (Ref.) wurden katalogisierten Daten von zahlreichen Messungen entnommen.

Tabelle 1

Vergleich von Simulations- und Referenzwerten

	$\vartheta_v$ [°C]	$\vartheta_r$ [°C]	Massestrom [kg/h]	Leistung [W]
Fall A	75.0	65.0	81.10	945
Ref. A	75.0	65.0	80.64	938
Fall B	75.0	65.0	70,02	815
Ref. B	75.0	65.0	69,68	810

Auch für geometrisch kompliziertere, mehrreihige Heizkörper mit Konvektionsblechen liefern die Berechnungen sehr gute Ergebnisse. Allerdings steigt der Aufwand für derartige Berechnungen deutlich an, da nicht nur die geometrischen Modelle, sondern auch die auszutauschenden Randbedingungen zwischen den Modellen schnell in Grenzbereiche der gegenwärtig benutzten Programme vordringen.

### Heizkörper-Kühlkörper

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Heizfall ermutigen dazu, auch verschiedene Betriebsbedingungen oder auch den Einsatz von Heizkörpern zur Raumtemperierung zu untersuchen. Abbildung 3 zeigt die Oberflächentemperaturverteilung in einem Plattenheizkörper, der zu Kühlzwecken eingesetzt werden soll, ohne vorher installationstechnische Maßnahmen durchgeführt zu haben. Deutlich ist zu erkennen, dass die Dichteverhältnisse im Wasser dafür sorgen, dass sich nahezu ein Kurzschluss einstellt und somit kaum eine Wirkung für den zu kühlenden Raum zu erwarten ist.

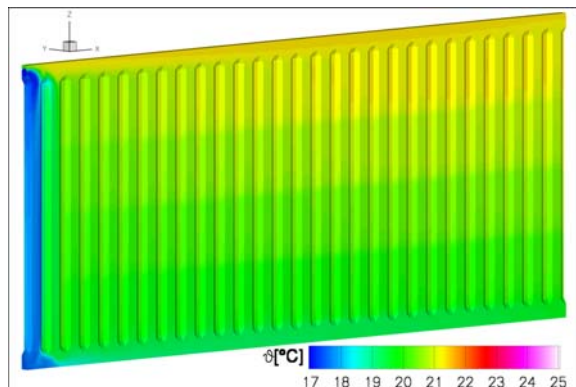


Abbildung 3 Oberflächentemperatur am Kühlkörper

## ZUSAMMENFASSUNG

Die geringen Abweichungen zwischen den gemessenen Referenzwerten und den Simulationsergebnissen bei der Nachbildung von Heizkörperprüfungen zeigen sehr gut das große Potenzial des entstandenen Simulationswerkzeuges. Hierbei ist besonders hervorzuheben, dass auch geometrisch aufwändige Details, wie Konvektionsbleche oder die einzelnen Segmente von Gliederheizkörpern geometrisch hoch aufgelöst berücksichtigt werden können. Bei der Berechnung eines Kühlfalles auf Basis einer Heizkörperausstattung wird deutlich, dass für derartige Berechnungen die Nachbildung der Strömung innerhalb des zu untersuchenden Bauteils von großem Vorteil ist. Es bleibt natürlich zu bemerken, dass die aufgezählten Vorteile mit einer aufwändigen Kopplung verschiedener Programmkomponenten erkauft werden.

## LITERATUR

- Klein, S. A., Duffie, J. A., Beckman, W. A. 1976. TRNSYS - A Transient Simulation Program. ASHRAE Trans 82 (1976), S. 623.
- Perschke, A. 2000. Gebäude-Anlagen-Simulation unter Berücksichtigung der hygrischen Prozesse in den Gebäudewänden. Dissertation. TU Dresden.
- Knopp, T., Lube, G., Gritzki, R., Rösler, M. 2005. 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.
- Fluent Inc. 2001. User's guide for Fluent. Release 6.0
- EN 442-2. 2003. Radiatoren und Konvektoren – Teil 2: Prüfverfahren und Leistungsangabe. Beuth Verlag, Berlin.