

DETAILLIERTE BERECHNUNG DER THERMISCHEN PARAMETER EINER BAUKONSTRUKTION

Wojciech Kozak, Wolfgang Richter
 Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden, Dresden, Germany
kozak@tga.tu-dresden.de, wrichter@tga.tu-dresden.de

KURZFASSUNG

Wärmebrücken stellen die thermischen Schwachstellen eines Gebäudes dar. Trotzdem werden sie bislang bei der thermischen Gebäudesimulationen nur in Ausnahmefällen in die Modellierung mit einbezogen. Im Beitrag wird eine entsprechende Erweiterung eines Gebäudesimulationsmodells, das mit der Berechnung der Raumluftrömung gekoppelt ist, vorgestellt und an einem Beispiel demonstriert.

Dadurch entsteht eine durchgängig dreidimensionale Nachbildung von Gebäude- bzw. Raumhülle und zugehöriger Innenraumströmung, die eine hoch aufgelöste Berechnung thermischer und aerodynamischer Phänomene an kritischen Stellen der Baukonstruktion ermöglicht.

ABSTRACT

The thermal bridges are the weakest points of the building. The most extreme values of the temperature and humidity content occur on them. In spite of that, they are almost never accounted for in the thermal building simulation. This paper presents an extension of the thermal building simulation program that allows for detailed simulation of the thermal bridges coupled with a CFD-calculation of the indoor air movement. Such a combination provides a three dimensional simulation of building envelope together with prevailing thermal conditions and indoor air flow. Therefore, the presented tool allows for a detailed simulation of the critical areas of the building envelope.

EINFÜHRUNG

Die problematische Wirkung von Wärmebrücken in der Gebäudehülle ist bestens bekannt. Neben den zusätzlichen Wärmeverlusten können sich auf Grund einer länger andauernden Wasserdampfkondensation Bauschäden ergeben, weiterhin ist auf die zusätzliche Beeinträchtigung der Raumlufthqualität im Hinblick auf das Wachstum von Schimmelpilzsporen hinzuweisen.

Eine praxisnahe Einschätzung der Gefährdungspotenziale ist mit Sicherheit nur bei einer sehr detaillierten, d. h. dreidimensionalen Nachbildung der

Wärmebrücken möglich. Da dies mit erheblichem Aufwand verbunden ist, sind derartige Modellierungsmöglichkeiten bei Programmen zur thermischen Gebäudesimulation wenig verbreitet. Üblicherweise geht man hier von einer eindimensionalen Nachbildung aus, wobei z. B. fehlende Temperaturangaben abgeschätzt werden. Die Möglichkeit einer vorangehenden oder begleitenden Messung bildet selbstverständlich nur den Ausnahmefall.

Im vorliegenden Beitrag wird die Erweiterung eines Gebäudesimulationsprogramms um die Simulation einer dreidimensionalen Wärmeleitung in den Umfassungskonstruktion vorgestellt. Außerdem wird die Innenraumströmung in die Berechnung mit einbezogen, um auch eine genaue Bewertung des Wärmeüberganges an den Wänden zu erreichen. Die nachfolgenden Abschnitte erläutern die verwendeten Werkzeuge und demonstrieren die Vorgehensweise an Hand eines Beispiels für einen gut gedämmten Raum mit drei unterschiedlich ausgebildeten Wärmebrücken. Das Beispiel ist so gewählt worden, damit die Genauigkeit des verwendeten Werkzeuges gezeigt werden kann.

SIMULATIONSWERKZEUGE UND BERECHNUNGSABLAUF

Zur Simulation der thermischen Verhältnisse im Raum werden drei Programme verwendet: TRNSYS-TUD, ParallelINS und CalculiX, die mittels eines Kommunikationsprotokolls im Datenaustausch stehen.

1. TRNSYS-TUD ist ein an der TU Dresden umfassend weiterentwickeltes Programm zur thermischen Modellierung der Gebäude, das auf einer frühen Version von TRNSYS® (Transsolar, 1992) basiert. Jeder Raum oder jede Gebäudezone wird als ein Knoten approximiert für den die Wärme- und Massenströme bilanziert werden. Die Knotentemperatur gilt als Raumlufthtemperatur bei idealer Durchmischung im Raum bzw. in der Zone. Die aus der Bilanz berechneten Wandtemperaturen stellen die Randbedingungen für das zweite Programm ParallelINS dar.

2. ParallelINS ist ein CFD-Programm, das aus der Zusammenarbeit der TU Dresden mit der Fakultät für

Mathematik an der Universität in Göttingen entstanden ist. Es ermöglicht die detaillierte Berechnung der lokalen Temperatur-, Luftgeschwindigkeits- und CO₂ Konzentrationsfelder im Raum und liefert auch Aussagen zur Lüftungseffektivität (bzw. Luftalter sowie zur Schadstoffverteilung) (Gritzki, 2001). Das Programm nutzt ein k-ε Turbulenzmodell und eine speziell für die Innenraumluftströmungen entwickelte Wandfunktion (Neitzke, 1998). Das Kohlendioxid wird als passiver Skalar modelliert, dessen Ausbreitung nur vom Diffusionskoeffizient abhängt.

3. CalculiX ist ein Open Source FEM Programm zur Berechnung der Spannungs- und Temperaturverteilungen in festen Körpern (Dhondt, 2007). Es wurde eingesetzt, um die Wandtemperaturen dreidimensional aufzulösen.

Die drei oben genannten Programme werden mittels eines frei verfügbaren Protokolls PVM (Parallel Virtual Maschine) (ORNL) gekoppelt. Die Datenflüsse zwischen den Programmen während der Berechnung können der Abbildung 1 entnommen werden.

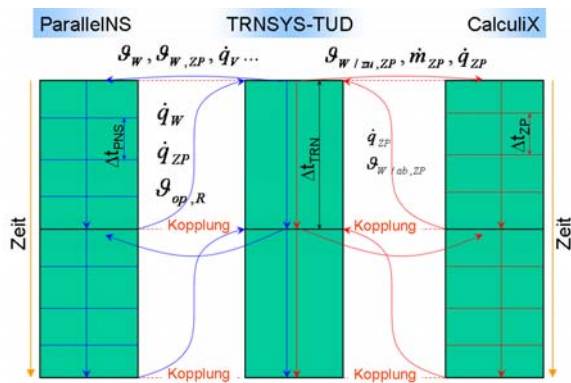


Abbildung 1 Zeitliche Kopplung der Berechnungsprogramme

BERECHNUNGSBEISPIEL

Die vorgenommene thermische Simulation vergleicht die Temperaturverteilung in den Raumumfassungen, die mit Hilfe verschiedener Simulationswerkzeuge gewonnen wurden. Im ersten Fall erfolgte eindimensionale Betrachtung der Wärmeleitung mit dem Programmsystem von Persch (Persch, 2001) und im zweiten Fall wurde das dreidimensionale Wärmeleitungsprogramm CalculiX eingesetzt.

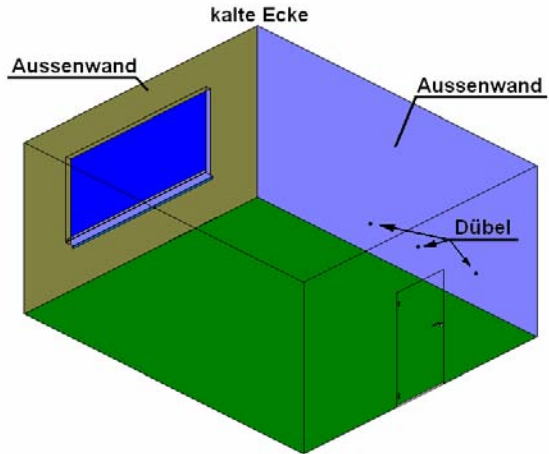


Abbildung 2 Modellraum und Angaben zu Wärmebrücken

Der untersuchte Raum nach Abbildung 2 wurde nach EnEV 2004 (EnEV, 2004) gedämmt und weist drei typische Wärmebrücken auf. Hierzu zählen einerseits ein (stark bewehrter) Fenstersturz und die Ecke der beiden aneinanderstoßenden Außenwände. Zum anderen wird als punktförmige Wärmequelle ein Dübel (verschiedener Länge) zur Befestigung der Wärmedämmung vorausgesetzt.

ERGEBNISSE DER BERECHNUNGSBEISPIELE

Die Abbildung 3 zeigt die Oberflächen-temperaturverteilung der Umfassungsflächen unter Verwendung der Programme zur ein- und dreidimensionalen Berechnung der Wärmeleitung.

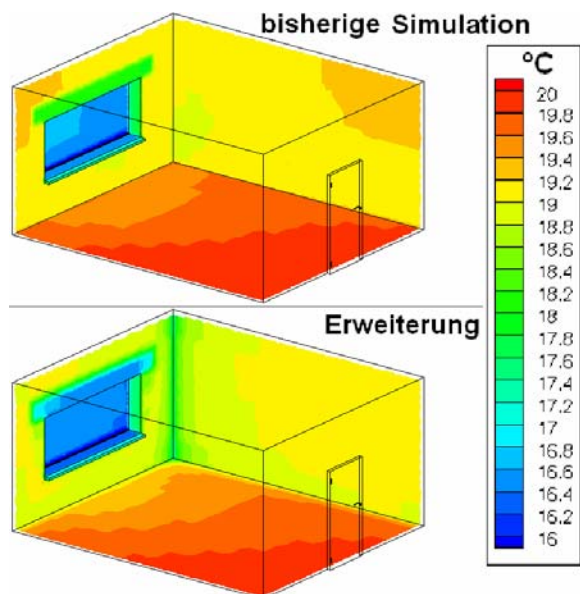


Abbildung 3 Vergleich der Oberflächentemperaturen

Die geringen Temperaturdifferenzen zwischen den Ergebnissen mit 1-D und 3-D Berechnungen zeigen, dass beim hier vorausgesetzten Fall eines Niedrigenergiehauses die bisher vereinfachte Modellierung völlig ausreichend ist. Anders verhält es sich bei Räumen mit niedrigem Wärmeschutzniveau, bei der Analyse von Schadensfällen und insbesondere bei der Berücksichtigung anlagentechnischer bzw. nutzerbedingter Einflussgrößen. Hier sind detailliertere Nachbildungen auch unter Berücksichtigung der Raumluftrömung entsprechend Abbildung 4 gefragt.

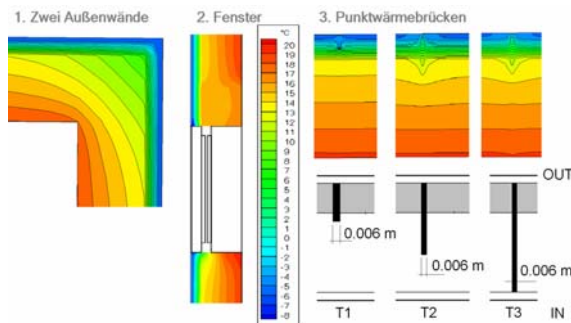


Abbildung 4 Verlauf der Wandtemperaturen im Bereich der angenommenen Wärmebrücken

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Wärmebrücken können erhebliche Auswirkungen auf Wärmeverluste, Bauschäden und Luftqualität eines Raumes haben. Umso dringender besteht Bedarf an geeigneten numerischen Verfahren, die auch den Einfluss relevanter Größen wie Gestaltung der Wärmebrücke, Nutzerverhalten sowie Anlagentechnik – und damit die Raumluftrömungsverhältnisse - berücksichtigen. Im Beitrag wird die Kopplung von Verfahren zur Gebäudesimulation mit einer Methode zur dreidimensionalen Nachbildung von Wärmebrücken vorgestellt und an Hand eines Beispiels demonstriert.

Das nunmehr entwickelte Verfahren soll so erweitert werden, dass auch der Feuchtetransport in geeigneter Weise berücksichtigt werden kann.

LITERATUR

- Dhondt, G. 2007. CalculiX CrunchiX version 1.5, 2007, <http://www.calculix.de>
- EnEV, 2004. Energieeinsparverordnung 2004
- Gritzki, R. 2001. Bestimmung der Effektivität nutzerbedingter Fensterlüftung mit Hilfe numerischer Simulationsverfahren, Der Andere Verlag, 2001, ISBN 3-935316-91-7.
- Neitzke, K. P. 1998. Experimentelle Untersuchung und numerische Modellierung von wandnahen thermischen Auftriebsströmungen, Dissertation Technische Universität Dresden 1998
- ORNL: Oak Ridge National Laboratory, Computer Science Research Group, Parallel Virtual Machine, http://www.csm.ornl.gov/pvm/pvm_home.html
- Perschke, A., 2000. Gebäude-Anlagen-Simulation unter Berücksichtigung der hygrischen Prozesse in den Gebäudewänden, Dissertation Technische Universität Dresden, 2000, <http://hsss.slub-dresden.de>
- Transsolar, 1992. TRNSYS version 14.0.2 Stuttgart 1992