

10 (1982) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

A. Frangoudakis, N. König

Die numerische Simulation des Heizwärmeverbrauchs unterschiedlich gestalteter Räume im Vergleich zum Experiment

Durch meßtechnische Untersuchungen des Heizwärmeverbrauchs unterschiedlich gestalteter Räume ist es i. a. nicht möglich, alle bei solchen Experimenten interessierenden Parameter (Aufbau der Raumumschließungsflächen, Art und Betriebsweise von Heizung und Lüftung etc.) zu untersuchen.

Hier bietet die numerische Simulation des zu untersuchenden Objekts (Bauteil, ganzer Raum oder Gebäude) die Möglichkeit, weitere Parametervariationen durchzuführen. Bei der Suche nach energiesparenden Heizungsanlagen und Betriebsweisen sind Untersuchungen mit unterschiedlich aufgebauten Räumen unter Berücksichtigung des Außenklimas mit seinen täglichen und jahreszeitlichen Wetterdaten auszuführen.

Dies ist im Laborversuch kaum und im Freifeldversuch (ausgeführtes Gebäude), selbst als Direktvergleich

verschiedener Gebäude am gleichen Standort, nur mit Einschränkung der Aussagewerte möglich. Mit Hilfe der numerischen Simulation sind zum Beispiel die Einflüsse dieser Außenklimaschwankungen innerhalb von wenigen Tagen unter exakter Beibehaltung der übrigen Randbedingungen zu erfassen.

Da jedoch für eine erfolgreiche rechnerische Simulation die physikalischen Stoffwerte der verwendeten Bauteile bekannt sein müssen, sind hierfür vielfach Ergänzungsmessungen notwendig. Die Nachbildung raumwärmetechnischer Experimente oder Simulationsrechnungen machen bestimmte Vereinfachungen notwendig, deren Zulässigkeiten aus der Auswirkung auf das Ergebnis abzuleiten sind. Hier bietet der direkte Vergleich von Experiment und Rechnung die Möglichkeit, Systemfehler zu erkennen und Näherungen zu verbessern.

Beschreibung der Simulationsmethode

Die Wärmetransportvorgänge durch die, beziehungsweise in den geschichteten Bauteilen eines Raumes werden mit Hilfe der eindimensionalen Fourier'schen Differentialgleichung nach einer finiten Differenzenmethode berechnet [1]. Eine Koppelung aller raumumschließenden Bauteile zu einem Zeitschritt läßt Aussagen über den Temperaturzustand des gesamten Raumes zu. Für vorgegebene Temperaturen (zum Beispiel Luft-, Bauteiloberflächentemperatur oder empfundene Temperatur), die zeitlich variieren können, kann damit der Wärme- oder Kälteverbrauch zur Aufrechterhaltung dieser Zustände berechnet werden. Die hierfür notwendigen thermischen Vorgänge wie Lüftung, Kühlung oder Beheizung eines Raumes werden zum jeweiligen Zeitschritt durch Näherungsrechnungen behandelt.

In der thermischen Bilanz des Raumes werden mit Hilfe der Randbedingungen an den inneren Bauteiloberflächen

für Konvektion und Strahlung diese inneren Zustandsänderungen berücksichtigt.

Jedes System zur Beheizung von Räumen kann für seine wärmetechnische Behandlung in einen Konvektions- und Strahlungswärmeanteil zerlegt werden. Von der reinen Luftheizung über die Radiatorheizung bis zur Strahlungheizung (Fußboden, Decke) können verschiedene Variationen der Wärmeanteile näherungsweise berechnet werden.

Die Lüftungswärmeverluste des Raumes werden über Luftwechselzahlen berücksichtigt. Je nach Nutzung des Raumes sind diese Luftwechselzahlen zeitabhängig variabel einzugeben.

Die drei wichtigsten physikalischen Einflußgrößen der thermischen Behaglichkeit sind die Raumlufttemperatur,

die mittlere Strahlungstemperatur der Raumschlüssungsflächen und die Luftbewegung. Diese können als Klimasondegröße im Experiment mit einer elektrischen Klimasonde und in der Rechnung mit einem mathematischen Näherungsmodell dieser Sonde erfaßt werden. Die Wärmebilanz dieses Sondenmodells wird als Zweipunktregler für die Heizquelle verwendet. Durch diese

Regelung ist es möglich, verschiedene Heizungsarten (Luft-, Strahlungsheizung) und Bauteiloberflächentemperaturen (aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen, Schichtaufbauten, physikalischen Eigenschaften der Oberflächen etc.) zu erfassen und zu bewerten (Behaglichkeitsanforderung).

Vergleich zwischen Experiment und Rechnung

Umfangreiche Messungen der Temperatur- und Wärmestromverhältnisse und des Heizwärmeverbrauchs eines Versuchsraums wurden durchgeführt [2, 3] und zur Überprüfung der Simulationsmethode herangezogen. In der folgenden Tabelle sind als Beispiel die experimentell und rechnerisch ermittelten Temperaturwerte im thermisch eingeschwungenen Zustand und der mittlere, stündliche Heizwärmeverbrauch für zwei Fälle angegeben.

Parameter		Fall A		Fall B	
		Ex.	Re.	Ex.	Re.
Luftwechselzahl	1/h	0	0	1	1
Äquivalenztemperatur	°C	20,1	20,2	20,0	20,1
Lufttemperatur in Raummitte	°C	20,5	20,4	20,6	20,2
Oberflächentemperatur					
der Decke	°C	20,5	20,5	20,7	20,4
des Bodens	°C	19,3	20,0	19,8	19,9
der Innenwände	°C	20,4	20,3	20,5	20,2
der Außenwand	°C	17,7	17,7	18,4	17,9
der Verglasung innen	°C	12,2	13,0	12,4	12,9
der Verglasung außen	°C	-1,1	+0,6	-0,7	+0,5
der Heizkörper-rückwand	°C	32,0	31,4	36,4	39,2
des Heizkörpers	°C	47	45	57	59
Heizwärmeverbrauch	W	358	327	576	626
Differenz zwischen Experiment und Rechnung	%	-	-8,7	-	+8,7

Tabelle
Experimentell (Ex.) und rechnerisch (Re.) ermittelte Temperaturverhältnisse und Heizwärmeverbrauch eines Raumes bei einer Außenlufttemperatur von konstant -10 °C und einem vorgegebenen Behaglichkeitskriterium.

Beim Fall A war die mechanische Entlüftung des Raumes abgeschaltet und somit die Luftwechselzahl nahezu Null. Ohne Lüftungswärmeverluste ausgleichen zu müssen, beträgt somit im Experiment die mittlere Heizkörperoberflächentemperatur 47 °C entsprechend einem mittleren stündlichen Heizwärmeverbrauch von 358 W.

Der Vergleich der experimentell und rechnerisch ermittelten Werte für den Fall A zeigt einen um etwa 9 % geringeren Heizwärmeverbrauch bei der Simulationsrechnung. Die Übereinstimmung bei den Oberflächen- und Lufttemperaturwerten ist gut, bis auf die Wärmeübertragung durch Konvektion im Bereich des Heizkörpers und Fensters. Hier sind dreidimensionale, unterschiedliche Warmluftströmungen im Realfall nur ungenügend durch eine eindimensionale Simulationsmethode nachzubilden.

Im Fall B bei eingeschalteter mechanischer Entlüftung mit einer konstanten Luftwechselzahl von 1 h^{-1} wirken sich diese Geometrieverhältnisse und Näherungen deutlicher auf die Übereinstimmung von Experiment und Rechnung aus. Deshalb ergibt sich ein um ca. 9 % höherer rechnerischer Wärmeverbrauch.

In diesem Fall wäre eine Temperaturschichtung in der Raumhöhe und Raumtiefe differenzierter in der Rechnung vorzunehmen, was bei der dargestellten Simulationsmethode prinzipiell möglich ist.

Die Anwendung der vorgestellten numerischen Simulationsmethode ist durch die angeführten Näherungen begrenzt, soweit dies die Absolutwerte des Wärmeverbrauchs betrifft. Sofern die notwendigen Näherungsannahmen physikalisch sinnvoll und in der Größenordnung richtig sind, lassen sich dennoch Einflüsse von Parameter-Änderungen, das heißt Ergebnisse von Änderungsmaßnahmen, in ihrer Relation zueinander richtig wiedergeben.

Literaturhinweise

- [1] Frangoudakis, A.; Kupke, Chr.; Mechel, F. P.: „Berechnung des Wärmedurchgangs durch mehrschichtige Wände mit gleichzeitiger Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung.“ Ges.-Ing. 103 (1982), H. 1, S. 35 – 39.
- [2] Kupke, Chr.; König N.: „Heizwärmeverbrauch und instationäre Heizung.“ Bericht BW 156/79 für das BMFT, Bonn.
- [3] König, N.; Frangoudakis, A.: „Einfluß von infrarot reflektierend beschichteten Materialien auf den Heizwärmeverbrauch eines Raumes.“ Bericht BW 162/82 für Fa. Gebr. Ditzel, Bammental.

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK
7000 STUTTGART 80 (VAIHINGEN), Nobelstraße 12, Tel. (0711) 686800
Außenstelle: 8150 HOLZKIRCHEN (OBB.), Postfach 1180, Tel. (08024) 1572

