

MESSTECHNISCHE UND RECHNERISCHE UNTERSUCHUNG AUFTRIEBSINDUZIERTER RAUMLUFTSTRÖMUNGEN IM REALMAßSTAB

Stephan Schlitzberger¹, Anton Maas¹, Wolfram Haupt², Florian Antretter²

¹Fachgebiet Bauphysik, Universität Kassel, Deutschland

²Lehrstuhl für Bauphysik, Technische Universität München, Deutschland

KURZFASSUNG

CFD-Berechnungen, welche sich in zahlreichen Anwendungsbereichen wie beispielsweise der Automobilindustrie bereits durchgesetzt haben, erhalten mehr und mehr Einzug in die Planung natürlicher Lüftungskonzepte von Gebäuden. Messtechnische Untersuchungen mit exakt dokumentierten Randbedingungen, welche als Validierungsgrundlage für derartige Berechnungen von elementarer Bedeutung sind, wurden bislang und insbesondere für Auftriebsströmungen nicht bzw. nur sehr unzureichend dokumentiert. Für die Glaubwürdigkeit der zukünftigen Entwicklungen im Bereich der rechnerischen Modellierung von Raumluftrömungen sind solche Untersuchungen allerdings unerlässlich.

Zu diesem Zweck und mit dem Ziel, good-practice-Beispiele für erfolgreiche CFD-Modellierungen zu veröffentlichen, werden in einem realmaßstäblichen Versuchsstand (siehe Bild 1) diverse Untersuchungen zum Strömungsverhalten der Raumluftrömung unter Einfluss regelbarer Oberflächentemperaturen der raumumschließenden Flächen durchgeführt und ausgewertet.

ABSTRACT

CFD-Calculations, which are already well established in other fields, for example in the automotive industry, are now being applied more and more to the design of natural ventilation in buildings. Despite the fundamental importance of very precisely measuring project areas, usage of this relevant technology in the field of indoor air movements has not yet been realized. In particular, no studies of buoyant indoor convection in real-scale with all boundary conditions measured accurately have been published yet. This is a significant obstacle for further developments in modelling indoor airflow.

Using a real-scale setup (see Bild 1) consisting of a room with both heatable and/or coolable surrounding surfaces which itself is located in an air-conditioned hall, numerous experiments will be carried out in order to analyze various simulations of natural ventilation and to find good-practice examples.

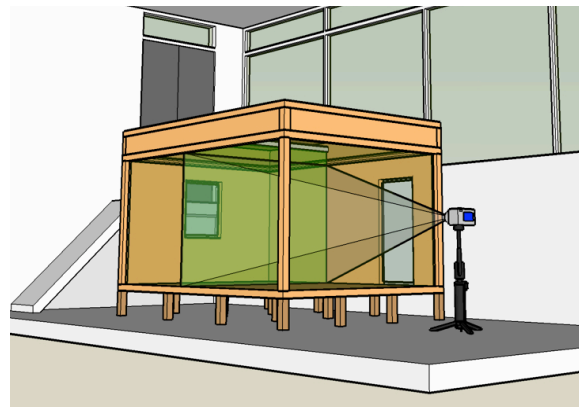


Bild 1

Skizze des Versuchsstandes „Raum im Raum“

EINLEITUNG

Durch den Einsatz des Particle Streak Tracking Verfahrens (PST) (Müller, 2001; Raffel et. al. 2007) soll geklärt werden, welche Strömungsfelder sich durch freie Konvektion innerhalb von Aufenthaltsräumen einstellen. Vor dem Hintergrund einer zunächst möglichst einfach rechnerisch abbildbaren Versuchsanordnung werden zunächst Fälle ohne direkten Nutzereinfluss untersucht. Grundlage der Messungen ist eine realmaßstäbliche Versuchsanordnung (als „Raum im Raum“ bezeichnet), welche die auftretenden Oberflächentemperaturen, Raumlufthtemperaturen sowie ggf. durch Temperaturdifferenzen hervorgerufene Luftströmungen über geöffnete Fenster nachbilden kann. Durch eine Flächenheizung bzw. -kühlung der raumumschließenden Flächen können Bauteile jeder beliebigen Speicherfähigkeit sowie Wand-, Decken- und Fußbodenheizungen bzw. -kühlungen nachgebildet werden. Der obere Abschluss des Messraumes wird als transparente Zwischendecke ausgeführt, sodass ein Lichtschnitt von oben in den Raum eingebracht werden kann. Der Lichtschnitt wird durch Hochleistungs-LEDs erzeugt und dient der optischen Erfassung der sich frei im Raum bewegenden und der Raumluftrömung folgenden Tracerpartikel (mit Helium gefüllte Seifenblasen).

Die Messungen dienen der Validierung von fluid-dynamischen Berechnungen des Versuchsaufbaus mit der Methode der Computational Fluid Dynamics (CFD) und werden an der Universität Kassel durchgeführt. Die rechnerischen Untersuchungen erfolgen daraufhin an der Technischen Universität München.

Vorversuche im Labormaßstab (Haupt, 2001) haben gezeigt, dass Auftriebsströmungen des Mediums Luft nur sehr bedingt mit zweidimensionalen, stationären oder quasistationären Modellen realitätsnah beschreibbar sind. Auch das Ausnutzen geometrischer Symmetrien hat sich als problematisch für belastbare Ergebnisse gezeigt. Diese Ansätze finden derzeit aber so gut wie ausschließlich Anwendung, da eine dreidimensionale, instationäre Modellierung bis vor kurzem für Räume im Realmaßstab nur äußerst zeitintensiv auf Höchstleistungsrechnern durchführbar war.

In letzter Zeit sind Raumströmungskataloge und -atlanten erschienen, die ausschließlich auf CFD-Simulationen beruhen und die zum Teil unplausible Ergebnisse aufweisen. Um in Zukunft auf CFD-Berechnungen beruhende Fehlvorhersagen zu vermeiden, die bei Architekten und Bauherren für einen zweifelhaften Ruf des an sich zukunftsweisenden Werkzeugs CFD sorgen, ist eine verstärkte Validierung der Berechnungsmethode CFD zwingend erforderlich. Mit dem Veröffentlichen von "good practice" - Beispielen für eine erfolgreiche rechnerische Modellierung messtechnisch ermittelter Strömungsverhältnisse erfolgt ein wichtiger Schritt in Richtung Anwendersicherheit als Voraussetzung für die Nutzung von CFD als verlässliches Planungswerkzeug.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erfolgen der Aufbau und die messtechnische Ausstattung des Versuchstandes, worauf die im Folgenden genannten Projektphasen aufbauen:

- Vorversuche zur Abstimmung der verschiedenen messtechnischen Instrumente.
- Validierungsmessungen, zunächst im leeren und geschlossenen Raum, dann unter Berücksichtigung von idealisiertem Mobiliar, verschiedener Heizflächenanordnungen und bei geöffnetem Fenster.
- Detaillierte Untersuchungen zur Strömungsform in unmittelbarer Nähe der Wandoberflächen mit dem Ziel, bestehende Korrelationen von Wärmeübergangskoeffizienten zu validieren bzw. neue Formulierungen für die untersuchten Fälle abzuleiten.

- Durchführung der korrespondierenden numerischen Modellierung.
- Aufbau und Betrieb einer web-basierten Plattform zur Veröffentlichung und Dokumentation der Ergebnisse.

MESSTECHNISCHE UNTERSUCHUNG

Der als „Raum im Raum“ bezeichnete Versuchstand befindet sich in einem teilklimatisierten Laborraum des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen in Kassel (Hauser et. al., 2004) und wurde bislang eingesetzt, um den Luftaustausch von Wohnräumen anhand von Tacergasmessungen zu quantifizieren (Hall, 2004).

Durch die transparent ausgeführte Zwischendecke des Versuchstandes wird mittels LEDs ein senkrechter Lichtschnitt aufgespannt. Mit Helium gefüllte Seifenblasen, welche sich selbst gravitations- und auftriebsneutral verhalten, folgen dem Verlauf der sich unter Einfluss der unterschiedlichen Oberflächentemperaturen einstellenden Raumluftströmung. Während diese Bläschen den Lichtschnitt passieren, werden sie durch eine hoch auflösende Kamera über definierte Belichtungsmuster erfasst. Durch Mehrfachbelichtung sind schließlich Spuren der Bläschen, die sog. Streaks, auf den gewonnenen Bildern zu erkennen, aus deren Form die Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit der Bläschen errechnet werden kann. Je nach Anzahl der auswertbaren Streaks entsteht auf diese Weise ein zweidimensionales Strömungsvektorbild über den gesamten von dem Lichtschnitt ausgeleuchteten Querschnitt.

Um sowohl den Längs- als auch den Querschnitt des Raumes untersuchen zu können und so ein dreidimensionales Strömungsbild zu erhalten, sind zwei Seitenwände des Versuchstandes als transparente Bauteile ausgeführt, durch welche die Aufnahmen von außen angefertigt werden. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die sich einstellende Raumluftströmung von den messtechnischen Instrumenten unbeeinflusst bleibt.

Neben der Ermittlung der lokalen Strömungsrichtungen und -geschwindigkeiten steht eine möglichst gute Dokumentation der Versuchsrandbedingungen im Vordergrund. Nur so können die durchgeführten Versuche als Validierungsgrundlage für anschließend durchzuführende rechnerische Untersuchungen herangezogen werden.

Um die Oberflächentemperaturen der raumschließenden Flächen regeln zu können, werden die opaken Bauteile mit Kapillarrohrmatten ausgestattet. Der Luftraum zwischen der transparenten Zwischendecke und der Decke des Versuchstandes sowie die Scheibenzwischenräume der

transparenten Wandaufbauten werden über Luftheiz- und -kühlsysteme temperierbar sein.

RECHNERISCHE UNTERSUCHUNG

Bei der numerischen Simulation soll aufbauend auf den Erkenntnissen aus Vorversuchen im Labormaßstab (Haupt, 2001) ermittelt werden, welche Strategien und Parameter für eine erfolgreiche Vorhersage von vorwiegend auftriebs-erregten Raumströmungen Erfolg versprechend sind. Insbesondere im Bereich der Wand- und Turbulenzmodelle, aber auch in der Topologie der Berechnungsgitter sind Einflüsse der Simulationsparameter auf die Berechnungsergebnisse vorherzusehen, die u.U. zu deutlichen Abweichungen von den gemessenen Werten führen können. Ebenso hat das Ausnutzen von Symmetrien der Geometrie und der Randbedingungen bei den bereits durchgeführten Vorversuchen zu massiv fehlerhaften Ergebnissen geführt. Deshalb widmet sich eine eigene Betrachtung der Validität derartiger Speicherplatz sparender Vorgehensweisen. Die an der Technischen Universität München vorhandene Recherausstattung erlaubt die Simulation des Aufbaus ohne Symmetrieebenen mit grobem bis mittelfeinem Gitter auf einer Workstation mit einem Hauptspeicherausbau von 8Gb - feinere Gitter können auf Höchstleistungsrechnern am Leibniz-Rechenzentrum München berechnet werden. Dabei werden die gemessenen Variationen numerisch nachgebildet und die erzielten Rechenergebnisse detailliert mit den Messwerten verglichen. Sowohl die Messergebnisse als auch die Simulationsergebnisse werden jeweils mit kompletten Parametersätzen über eine per Internet abfragbare Datenbank dokumentiert. Zum Vergleich können auch typische "Fehlkonfigurationen", die in der Praxis häufig auftreten, untersucht und dokumentiert werden - etwa die in den seltensten Fällen erfolgreiche zweidimensionale Berechnung turbulenter Auftriebsströmung. Vorwiegend sollen in der entstehenden Datenbank aber "good practice"-Beispiele für eine erfolgreiche Modellierung veröffentlicht werden, die als Vorlage für weniger erfahrene Nutzer dienen kann.

LITERATUR

- Hall, M.: Untersuchungen zum thermisch induzierten Luftwechsellpotenzial von Kippfenstern: Dissertation Universität Kassel 2004.
- Haupt, W.: Zur Simulation von auftriebsinduzierten Innenraumströmungen: Dissertation Universität Gesamthochschule Kassel 2001.
- Hauser, G., Kaiser, J., Rösler, M., Schmidt, D.: Energetische Optimierung, Vermessung und Dokumentation für das Demonstrationsgebäude des Zentrum für Umweltbewusstes

Bauen, Universität Kassel, Abschlussbericht zum BMWA Forschungsvorhaben FKZ 0335006Z. Kassel 2004.

- Müller, D.: Optische Erfassung und numerische Berechnung von zwei- und dreidimensionalen Geschwindigkeitsfeldern mit niedrigen turbulenten Reynolds-Zahlen. Dissertation Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen 2000.
- Raffel, M., Willert, C., Wereley, S., Kompenhans, J.: Particle Image Velocimetry: A Practical Guide. Springer Verlag, Hamburg 2007.