

NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN AN KOMPLEXEN LUFTDURCHLÄSSEN

Rita Streblov, Dirk Müller

Hermann-Rietschel-Institut der Technischen Universität Berlin

Marchstr. 4, 10587 Berlin

Email: rita.streblov@tu-berlin.de <http://www.tu-berlin.de/fak3/hri>

KURZFASSUNG

In diesem Beitrag werden Messungen an einem komplexen Luftdurchlass mit Ergebnissen der numerischen Strömungssimulation (CFD) verglichen. In den CFD Berechnungen wird dabei durch Auflösung der gesamten Durchlassgeometrie die Durchströmung des Durchlasses mitberechnet. Experimentelle Untersuchungen zur Geschwindigkeitsverteilung werden im Aufenthaltsbereich durchgeführt sowie mit gesonderten Messungen im Nahfeld des Durchlasses nach dem Laser-Doppler Verfahren (LDA). Eine Visualisierung der Strömung findet durch Nebel und heliumgefüllte Seifenblasen statt.

Der untersuchte Dralldurchlass zeigt ein sehr komplexes Strömungsbild und instationäre Strukturen in der induzierten Raumluftströmung. Die berechneten Raumluftgeschwindigkeiten und die Geschwindigkeitsverteilung im Nahfeld des Durchlasses stimmen weitgehend mit experimentellen Daten überein. Es zeigt sich aber, dass das gewählte Turbulenzmodell die im Experiment auftretenden großskaligen Wirbel nicht wiedergeben kann.

ABSTRACT

This paper reports results of computational fluid dynamic simulations (CFD) and measurements using a complex swirl diffuser. For the numerical calculations the diffuser is incorporated and presented in detail in the simulation resolving also the flow inside the diffuser. Velocity measurements are performed in the occupied region supplemented by Laser-Doppler-Anemometry (LDA) measurements in the near-zone of the diffuser. The flow pattern is also visualized by smoke and helium filled bubbles.

The analyzed diffuser shows a complex flow pattern with transient flow structures in the induced room air. The calculated velocities and the velocity distribution in the near-zone of the diffuser agree rather well with measurements. But the use of a standard two equation turbulence model is not able to resolve the vortices revealed in the experiments.

EINLEITUNG

Die Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung im Raum sind entscheidende Größen bei der Planung von Lüftungssystemen. Die Ausführung des Zuluftdurchlasses ist dabei ein entscheidender Faktor. Neben experimentellen Untersuchungen gewinnt dabei die numerische Strömungssimulation einen immer höheren Stellenwert in der Vorhersage der sich im Raum einstellenden Strömungsverhältnisse. Dabei finden verschiedene vereinfachende Ansätze Anwendung in denen die komplexe Durchlassgeometrie durch vereinfachende geometrische oder mathematische Modelle ersetzt wird (Nielsen, 1992). Für ein optimales Design eines Zuluftdurchlasses ist aber auch die Strömung im und im Nahfeld des Durchlasses entscheidend. In diesem Bereich kann die Gleichmäßigkeit der Zuluftverteilung beurteilt werden. Für diese Untersuchungen ist eine mögliche Vorgehensweise, die gesamte Durchlassgeometrie mit zu berücksichtigen und in das Berechnungsgebiet miteinzubeziehen.

Zur Validierung der durchgeführten CFD Berechnungen fanden umfangreiche Geschwindigkeitsmessungen insbesondere im Nahfeld und auch im Durchlass selbst statt. Aus den gewonnen Ergebnissen können Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von CFD Berechnungen für die Entwicklung von Dralldurchlässen abgeleitet werden.

NUMERISCHES MODELL

Die Hauptbestandteile eines komplexen Dralldurchlasses sind in Abbildung 1 zu sehen. Im Anschlusskasten eingebaut sind ein Lochblech zur Vergleichmäßigung der Strömung und eine Traverse zur Befestigung der Frontplatte mit den einzelnen Lamellen. Die Lamellen werden mit allen konstruktiven Details nachgebildet.

Zur Wiedergabe aller konstruktiven Details wird ein hybrides Gitter mit einer sehr hohen Gitterauflösung innerhalb des Durchlasses gewählt. Der Raum wird mit einem strukturierten Netz an das Gitter des

Durchlasses über ein numerisches Interface gekoppelt.

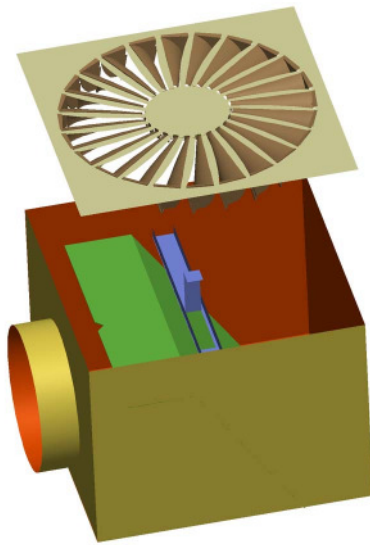


Abbildung 1 Explosionsdarstellung des verwendeten Geometriemodells

Zur Berechnung des Strömungsfeldes wurde das $k-\epsilon$ Turbulenzmodell und das SST Turbulenzmodell gewählt.

Ausgehend von stationären Berechnungen erfolgt eine instationäre Berechnung des Strömungsfeldes.

LOCHBLECHMODELLIERUNG

Da eine Wiedergabe des Lochblechs mit seiner dichten Lochstruktur im Geometriemodell des Dralldurchlasses nicht möglich ist, wird das Gitter als poröses Medium modelliert. In dem kommerziellen CFD Programm CFX wird der Druckverlust des Gitters durch hinzufügen eines Quellterms zur Impulsleichung berücksichtigt. Für komplexere Lochblechgeometrien muss dabei von einem isotropen auf einen anisotropen Druckverlust übergegangen werden. Besonderes Augenmerk ist dabei auf den Fall der Anströmung des Lochblechs unter einem Winkel zu richten.

Eine genaue Untersuchung unterschiedlicher Anströmsituationen eines Lochblechs finden in einem separaten Versuchsaufbau statt.

VALIDIERUNG

Geschwindigkeitsverteilung im Raum

In den experimentellen Untersuchungen zur Geschwindigkeitsverteilung im Raum wird sowohl die Einbausituation ein Durchlass als auch zwei Durchlässe betrachtet. Die Geschwindigkeiten werden innerhalb eines Messgitters in verschiedenen

horizontalen und vertikalen Abständen zum Durchlass mit omnidirektionalen Sonden erfasst.

Beim Vergleich der Profilmessungen mit den Berechnungen zeigt sich, dass die Berechnungen in Deckennähe gut mit den gemessenen Geschwindigkeitswerten übereinstimmen. Mit zunehmendem Abstand zur Decke baut sich allerdings die Geschwindigkeit in der Berechnung zu schnell ab.

Für den Parallelbetrieb zweier Durchlässe bildet sich zwischen den beiden Durchlässen ein gemeinsamer nach unten gerichteter Strahl aus. Sowohl in der Simulation als auch in der Messung kann ein niederfrequentes Schwanken des Strahls um den Mittelpunkt zwischen den Durchlässen festgestellt werden.

Geschwindigkeitsverteilung im Nahfeld

Bei der Untersuchung des Nahfeldes eines einzelnen Durchlasses im LDA Versuchstand zeigt sich ein stark pulsierender Betrieb des Durchlasses. Der austretende Strahl schnürt sich kurz hinter der Kante der Frontplatte ein und es kommt zu einer Ablösung großskaliger Wirbel von diesem Einschnürungspunkt. Unterhalb des Durchlasses bildet sich ein leicht um den Mittelpunkt des Durchlasses schwankender induzierter Luftstrom aus. Das instationäre Verhalten des Luftstroms deckt sich mit den Simulationsergebnissen. Die Simulationsergebnisse zeigen ebenfalls ein Einschnüren des austretenden Strahls, die großskaligen Wirbel können jedoch in der Simulation nicht wiedergegeben werden. Abbildung 2 zeigt eine Strömungsvisualisierung des austretenden Strahls mittels Nebel, im Vergleich zum berechneten Strömungsfeld rechts oben.

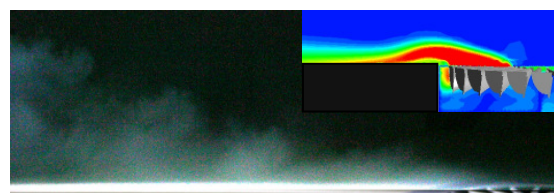


Abbildung 2 Berechnetes Strömungsfeld (rechts) im Vergleich zur Strömungsvisualisierung mit Nebel

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Grund für das Fehlen der sich ablösenden Wirbel scheint das verwendete Turbulenzmodell in Kombination mit einem zu großen Zeitschritt in der Simulation. Eventuell können mit einer Large-Eddy-Simulation genauere Ergebnisse erzielt werden, da die großen Wirbelstrukturen in diesem Fall physikalisch abgebildet werden können.

Die Abweichungen in der Geschwindigkeitsverteilung zwischen den gemessenen und simulierten Strahlprofilen zeigen,

dass der Mischungseffekt der großskaligen Wirbelstrukturen nicht korrekt mit dem verwendeten Turbulenzmodell erfasst wird. Der Strahl weitet sich in der Berechnung nicht genug auf, so dass mit zunehmendem Abstand zur Decke die Geschwindigkeiten geringer ausfallen. Eine zu geringe Geschwindigkeitsdiffusion für den Fall von CFD Berechnungen wurde auch in den Untersuchungen von Cehlin festgestellt. (Cehlin, 2006)

Die Modellierung der Durchströmung des Lochblechs hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung des sich einstellenden Strömungsbildes. Ein steigender Druckverlust bei der Anströmung des Lochblechs unter einem Winkel muss gesondert berücksichtigt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die hier vorgestellten numerischen Berechnungen eines komplexen Dralldurchlasses machen es möglich konstruktive Varianten genau zu untersuchen und somit auch Aussagen im Entwicklungsprozess eines Durchlasses treffen zu können. Da die Effekte großskaliger Wirbel in den CFD Berechnungen mit einem Standard-Zweigliederturbulenzmodell nicht aufgelöst werden, scheint die Geschwindigkeitsdiffusion verglichen mit Messungen unterschätzt zu werden. Auf Grund der hohen Instabilität der Strömung empfiehlt sich eine instationäre Lösung der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen.

DANKSAGUNG

Die Untersuchungen wurden dankenswerter Weise durch Mittel der Heinz-Trox-Stiftung ermöglicht.

LITERATUR

- Cehlin, M. 2006. Visualization of airflow, temperature and concentration indoors – Whole-field measuring methods and CFD, PhD Thesis from KTH, Civil and Architectural Engineering, Stockholm
- Nielson, P.V. 1992. Description of supply openings in numerical models for room air distribution, ASHRAE Transactions, 98(1), pp. 963 – 971