

STRUKTURBILDUNG IN REALITÄTSNAHEN INNENRÄUMEN

Claudia Kandzia und Dirk Müller
 RWTH Aachen, E.ON Energy Research Center
 Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Mathieustraße6, 52074 Aachen
 Email: ckandzia@eonerc.rwth-aachen.de

ABSTRACT

Thermal comfort and the ventilation effectiveness are important targets for the construction of modern supply systems. Both targets depend on the distribution of local temperatures and velocities of air in a room. In a new experiment the modelling processes in room air streams are examined experimentally. The construction of the test facility provides forced convection in the upper part of the room due to the supply air jets and free convection at the walls of the heat sources. A comparison of the experimental data of the room air structure inside the test facility with a CFD simulation shows similar results.

KURZFASSUNG

Menschen in der Industriegesellschaft verbringen mehr als 90 % ihrer Zeit in Innenräumen. Bei der Auslegung von Gebäuden ist die thermische Behaglichkeit daher ein wichtiges Kriterium. Diese ist abhängig von der lokalen Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung im Raum. Das instationäre Verhalten dieser Strömungsstrukturen ist auch heute noch nur unzureichend erforscht.

In einem neuen Experiment werden Strukturbildungsprozesse in Raumluftströmungen untersucht. Die dafür aufgebaute Versuchskabine hat eine für Innenräume charakteristische Geometrie. Vergleiche der experimentellen Untersuchungen mit CFD Simulationen zeigen ähnliche Ergebnisse.

AUFBAU DER VERSUCHSKABINE

Die Versuchskabine ist drei Meter hoch, vier Meter breit und fünf Meter tief. Über die gesamte Länge der Versuchskabine sind direkt unter der Decke an beiden Seiten des Prüfraumes Schlitzdurchlässe angebracht. Jeder der Durchlässe ist einen Meter lang, so dass ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil der Zuluft über die gesamte Länge der Versuchskabine gewährleistet werden kann. Ein Volumenstromregler vor jedem Durchlass ermöglicht das Variieren der Zuluftgeschwindigkeit zwischen 0,8 m/s und 5,0 m/s. Die sich daraus ergebende Reynoldszahl liegt somit zwischen 1000 und 6500.

Die Abluftdurchlässe befinden sich im Bodenbereich der Versuchskabine. Acht Volumenstromregler

garantieren ein gleichmäßiges Abführen der Luft aus der Versuchskabine.

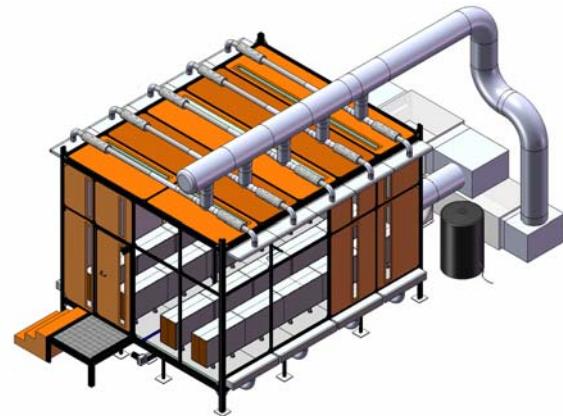


Abbildung 1 Versuchskabine: Aachener Modellraum

In Abbildung 1 ist die beschriebene Innenraumgeometrie dargestellt.

Thermische Lasten in der Versuchskabine werden mithilfe von elektrisch beheizten Wärmequellen bereitgestellt. Die Wärmequellen sind 0,6 Meter hoch, 0,4 Meter breit und 5,0 Meter lang. Sie sind aus Aluminiumplatten gefertigt, die mit Heizfolien beklebt sind. Durch das Einbringen von Dämmmaterial im Inneren der Wärmequellen wird eine Temperaturschichtung vermieden. Die Leistung der Wärmequellen kann mithilfe von Labornetzgeräten zwischen 0 und 6000 Watt variiert werden. Abbildung 2 zeigt die Wärmequellen in der Versuchskabine.



Abbildung 2 Wärmequellen in der Versuchskabine

Der Aufbau der Versuchskabine berücksichtigt sowohl freie Konvektionsströmung an den in der

Versuchskabine befindlichen Wärmequellen als auch die erzwungene Konvektion im Bereich der Zuluftdurchlässe im Deckenbereich

Neben experimentellen Untersuchungen werden numerische Berechnungen durchgeführt.

Für den Vergleich der Messergebnisse mit Ergebnissen numerischer Berechnungen ist es hilfreich Effekte einzeln bestimmen und den Strahlungseinfluss vernachlässigen zu können. Mit dieser Randbedingung können die Rechenzeiten verkürzt werden. In der Versuchskabine sind alle Innenwände mit Aluminiumfolie beklebt. Aluminium-folie hat einen sehr niedrigen Emissionsgrad, was das Vernachlässigen des Strahlungseinflusses ermöglicht.

In den beiden Längsseiten des Prüfraumes sind fünf, an Vorder- und Rückseite jeweils vier Sichtfenster eingebaut. Jedes dieser Sichtfenster ist 0,1 Meter breit. So kann der Einsatz optischer Messtechnik ermöglicht werden.

In Abbildung 3 sind die Sichtfenster für die optische Messtechnik und die mit Aluminiumfolie beklebten Innenoberflächen dargestellt.

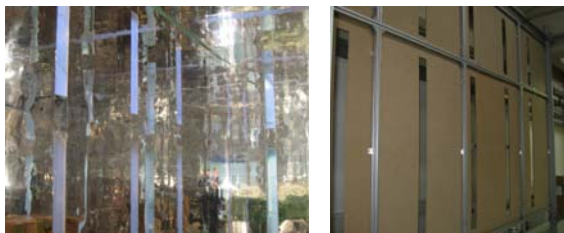


Abbildung 3 Mit Aluminiumfolie beklebte Innenoberflächen und Sichtfenster

Die Temperatur in jedem Zu- und Abluftdurchlass wird mithilfe von Widerstandsthermometern gemessen. In der Versuchskabine ist eine Traversiervorrichtung eingebracht. An dieser befinden sich an der horizontalen Achse zwölf Geschwindigkeitssensoren und ebenfalls zwölf Widerstandsthermometer in einem Abstand von jeweils 0,33 Metern. So kann sowohl die Geschwindigkeit als auch die Temperatur an nahezu allen Punkten im Raum gemessen werden. Für die Messungen der Geschwindigkeit werden omnidirektionale Geschwindigkeitssensoren verwendet. Sie senden alle zwei Sekunden einen über 16 Werte gemittelten Wert der Geschwindigkeit per Funksignal an den Rechner.

Von besonderem Interesse bei diesen experimentellen Untersuchungen sind instationäre Effekte der Strömungsstrukturen. Die Messzeit der Geschwindigkeit und der Temperatur beträgt daher bis zu 30 Minuten an einem Messort.

Die Funkboxen der Geschwindigkeitssensoren, der Datalogger für die Temperatursensoren und die Motoren für die Traverse sind unterhalb des Prüfstandes befestigt. So kann der Einfluss der Traverse auf die Raumluftrömungsstruktur minimiert werden. In Abbildung 4 ist die vertikale Achse der Traverse in der Versuchskabine und die Haltevorrichtung unterhalb des Prüfstandes dargestellt.

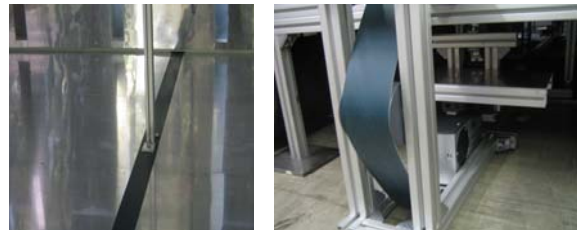


Abbildung 4 Traversiervorrichtung

ERGEBNISSE

Für den Vergleich der experimentellen Untersuchungen mit den Ergebnissen der numerischen Berechnung sind sowohl örtlich als auch zeitlich konstante Randbedingungen für die Messungen notwendig. Daher ist ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil über die gesamte Länge des Zuluftdurchlasses zu gewährleisten.

Messtechnische Untersuchungen am Zuluftdurchlass geben Aufschluss über die Randbedingungen direkt am Einlass. Diese werden für erste experimentelle Untersuchungen zur Raumluftrömungsstruktur im Inneren der Versuchskabine genutzt.

In Abbildung 5 ist die Strömungsvisualisierung der austretenden Luft an zwei Zuluftdurchlässen dargestellt. Es ist ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil über die gesamte Länge des Durchlasses zu erkennen. Des Weiteren kann verdeutlicht werden, dass das Verbinden zweier Durchlässe nahezu keinen Einfluss auf die Strömungsstruktur hat.

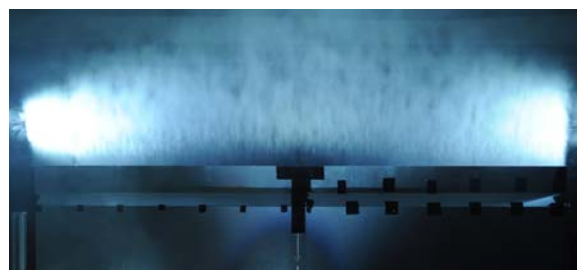


Abbildung 5 Visualisierung der austretenden Strömung an zwei Zuluftdurchlässen

Detailliertere Informationen über die austretende Geschwindigkeit an einem Zuluftdurchlass werden mit hochauflösenden Messungen mit dem Laser-Doppler-Anemometer (LDA) erzielt. Mit dem LDA

können zwei Geschwindigkeitskomponenten gemessen werden, die Komponente in Hauptströmungsrichtung und eine Komponente senkrecht dazu.

In Abbildung 6 sind zwei verschiedene Messebenen über dem Zuluftdurchlass dargestellt. In der Mitte des Durchlasses (Messebene 1) wird über die gesamte Länge des Durchlasses ein Geschwindigkeitsprofil vermessen. Über die Höhe des Durchlasses (Messebene 2) werden die Geschwindigkeitskomponenten vermessen, um zusätzlich Aussagen über die turbulente kinetische Energie treffen zu können.

Neben den Messebenen sind in der Abbildung zusätzlich fünf Distanzstücke abgebildet. Mithilfe dieser wird eine gleichmäßige Höhe von 20 mm über die gesamte Länge des Durchlasses erreicht.

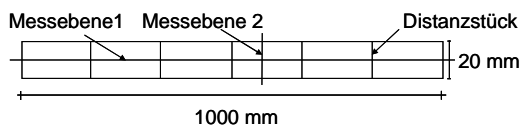


Abbildung 6 Messebenen am Zuluftdurchlass

In Abbildung 7 ist das Geschwindigkeitsprofil in Hauptströmungsrichtung und senkrecht zu dieser dargestellt. Die Geschwindigkeitsprofile sind für zwei verschiedene Entfernungen (2 mm und 30 mm) von der Durchlassöffnung aufgetragen.

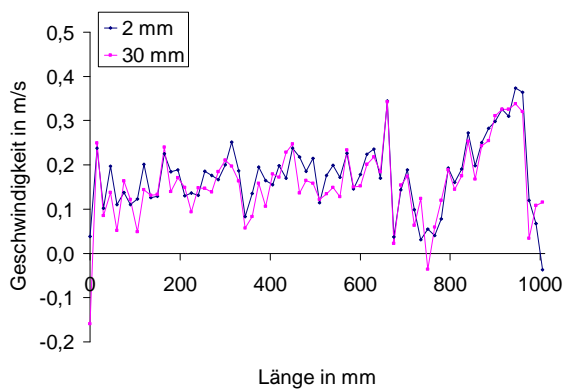
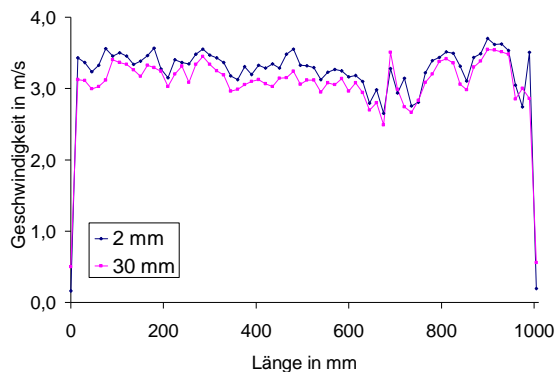


Abbildung 7 Geschwindigkeitsprofile in Hauptströmungsrichtung und senkrecht zu dieser

Beide Entfernungen liefern ein sehr gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil. Die mittlere Geschwindigkeit

liegt dabei bei etwa 3,3 m/s in Hauptströmungsrichtung.

Die Messung der Geschwindigkeitskomponenten in Messebene 2 (Abbildung 6) soll Aufschluss über das Geschwindigkeitsprofil und die turbulente kinetische Energie über die Höhe der Durchlassöffnung geben. Diese Messung wird direkt an der Durchlassöffnung durchgeführt. Die Berechnung der turbulenten kinetischen Energie basiert auf den Schwankungsgrößen der Geschwindigkeit und erfordert alle drei Geschwindigkeitskomponenten. Da mit dem LDA lediglich zwei Geschwindigkeitskomponenten gemessen werden können, wird die Komponente senkrecht zur Hauptströmungsrichtung doppelt gewichtet. Voraussetzung für diese Annahme ist, dass die Turbulenz als isotrop betrachtet werden kann.

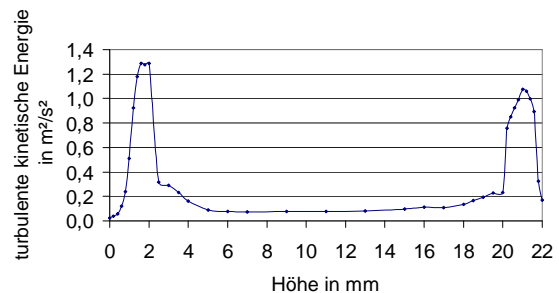
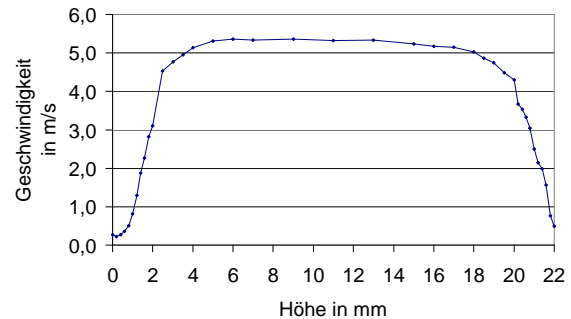


Abbildung 8 Profil der turbulenten kinetischen Energie und der Geschwindigkeit

In Abbildung 8 ist die turbulente kinetische Energie sowie das Geschwindigkeitsprofil über die Höhe des Durchlasses dargestellt. Beide Verläufe entsprechen den erwarteten Werten.

Mithilfe von CFD Simulationen mit dem $k-\omega$ Baseline Modell [1] werden erste Informationen zu den Raumluftströmungsstrukturen im Inneren der Versuchskabine gewonnen. In Abbildung 10 ist die über 1000 Sekunden zeitlich gemittelte Geschwindigkeit für die mittlere Ebene der Versuchskabine dargestellt.

Die Zuluftstrahlen legen sich an der Decke an, treffen sich in der Mitte der Versuchskabine, bilden einen gemeinsamen Strahl und strömen abwärts. Neben dem Strahl hoher Geschwindigkeit bilden sich

links und rechts von diesem Raumwalzen niedriger Geschwindigkeiten aus. Die Geschwindigkeiten in der Mitte dieser Raumwalzen sind nahezu Null.

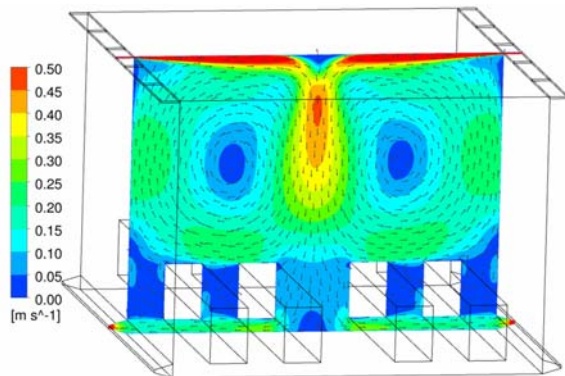


Abbildung 9 Ergebnisse der CFD Simulation mit dem $k-\omega$ BaselineModell

Die ersten experimentellen Untersuchungen werden bei isothermen Randbedingungen durchgeführt. Basierend auf den Simulationsergebnissen werden für diese Experimente drei verschiedene Messhöhen (1,1 m 1,7 m and 2,5 m) in der Versuchskabine definiert. Die Messungen werden in der Mitte der Versuchskabine durchgeführt. Die Zuluftgeschwindigkeit beträgt wie im Fall der Simulation 1,5 m/s.

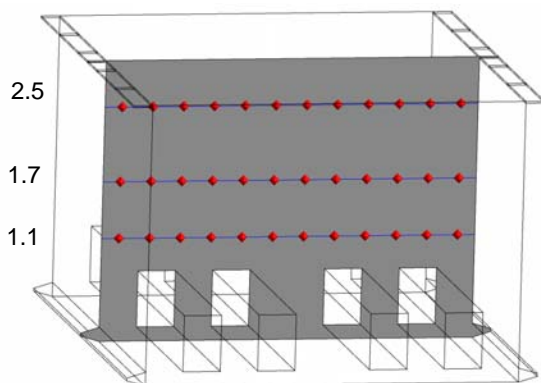


Abbildung 10 Messebenen in der Versuchskabine

In Abbildung 11 ist der Vergleich der experimentellen Untersuchungen mit den Ergebnissen der numerischen Berechnung dargestellt. Der beschriebene Einfluss der Zuluftstrahlen kann auch in den Messergebnissen gefunden werden. In einer Höhe von 2,5 m sind die Geschwindigkeiten in der Mitte der Versuchskabine deutlich höher als im Randbereich. In einer Höhe von 1,7 m ist neben den höheren Geschwindigkeiten in der Mitte der Versuchskabine zu sehen, dass die Geschwindigkeiten links und rechts davon etwas niedriger sind als im Randbereich der Versuchskabine. Dies lässt vermuten, dass die Walzenstruktur der Strömung bei einer hoch aufgelösten Messung ebenfalls gefunden wird.

In einer Höhe von 1,1 m ist die mittlere Geschwindigkeit über die gesamte Breite der

Versuchskabine mit einem Wert von 0,15 m/s nahezu konstant.

Die Geschwindigkeitssonde an Position 7 ist während dieser Messung ausgefallen. Der Wert der mittleren Geschwindigkeit ist daher Null.

Der Vergleich zwischen Experiment und Simulation zeigt eine ähnliche Geschwindigkeitsverteilung.

Mithilfe der Simulationsergebnisse ist es möglich, eine sinnvolle Messzeit der Geschwindigkeit und der Temperatur im Inneren der Versuchskabine zu bestimmen. Des Weiteren können signifikante Gebiete der Strömungsstrukturen ermittelt werden.

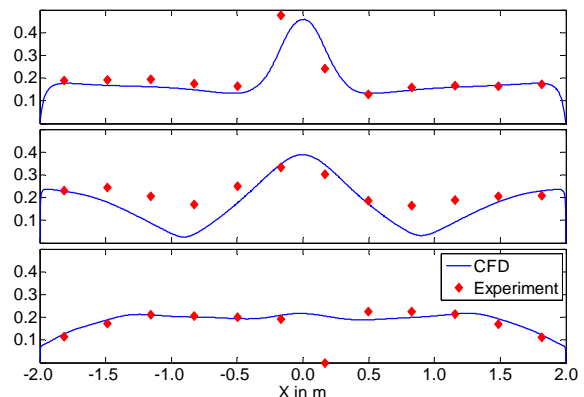


Abbildung 11 Vergleich zwischen Simulation und Experiment

DANKSAGUNG

Wir danken der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) für die finanzielle Unterstützung.

LITERATUR

- [Menter 1994] MENTER, F.: Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. In: *AAA Journal* 32 (1994), S.1598–605