

Numerische Untersuchung zur Partikelablagerung im Nahbereich von Deckenluftdurchlässen

Heiko Timmer, Manfred Zeller,
Aachen

Bei Luftdurchlässen, welche in die Raumdecke integriert sind und deckennah ausblasen, kommt es häufig zu sehr störenden und erhebliche Reinigungs- bzw. Sanierungskosten verursachenden Verschmutzungen des Durchlasses und der Decke. In der vorliegenden Untersuchung werden die Bewegungen von Partikeln in der Raumluft mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation berechnet und ihr Abscheideverhalten mit Experimenten aus der Literatur in Abhängigkeit von den Strömungsparametern verglichen. Es zeigt sich, dass die Turbulenz als ein maßgebender Einfluss für das Verschmutzungsproblem anzusehen ist.

Autoren



Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Heiko Timmer, Jahrgang 1974, studierte Maschinenbau und Betriebswirtschaftslehre an der RWTH Aachen. Seit April 1999 ist er wissenschaftlicher Angestellter am dortigen Lehrstuhl für Wärmeübertragung und Klimatechnik.



Prof. Dr.-Ing. Manfred Zeller, Jahrgang 1939, studierte an der RWTH Aachen Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Verfahrenstechnik. Seit 1982 ist er Professor an dieser Hochschule und leitet die Abteilung Klimatechnik.

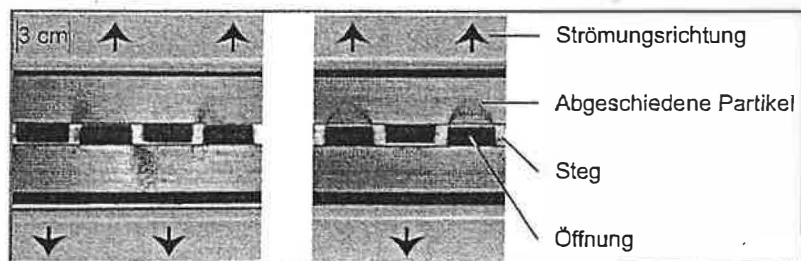


Bild 1

Reale Verschmutzungen bei wechselseitiger Einblasung

Die Verschmutzung von Decken im Nahbereich von Luftdurchlässen ist ein weithin bekanntes Problem. Die Verschmutzungen treten dabei nicht gleichmäßig, sondern in charakteristischen Schmutzschlieren auf, wie sie Bild 1 in einer Fotografie von unten gegen die Decke zeigt. Die hier dargestellten Linearlufteinlässe blasen die Zuluft wechselseitig, wie durch die Pfeile angedeutet, in einem flachen Winkel gegen die Decke ein. Man erkennt, dass sich im Nachlaufbereich der Stege zwischen den Durchlassöffnungen regelrechte Schmutzfahnen ausbilden. Ferner sieht man abgeschiedene Teilchen auch auf den Stegen des Durchlasses.

Während es zu den Ursachen verschiedene weder theoretisch noch empirisch belegte Hypothesen gibt, herrscht Einigkeit darüber, dass die abgeschiedenen Teilchen aus dem Raum selbst stammen und nicht über die Zuluft zugeführt werden [1; 2]. Verschmutzungs-

versuche wurden in der Literatur hauptsächlich mit Farbe durchgeführt, die mit Druckluft in einen Raum dispergiert wurde. Die sich einstellenden Verschmutzungsbilder konnten dann qualitativ ausgewertet werden, wobei sich ähnliche Schmutzstrukturen wie in der Realität ergaben [2].

Berechnung der Partikelablagerung und Vergleichsmessungen

Das dreidimensionale Strömungsfeld im Raum lässt sich mit dem kommerziellen CFD-Code Fluent™ berechnen. Die hier betrachtete Anordnung orien-

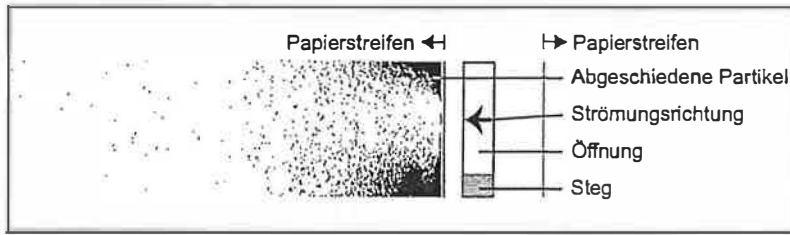


Bild 2

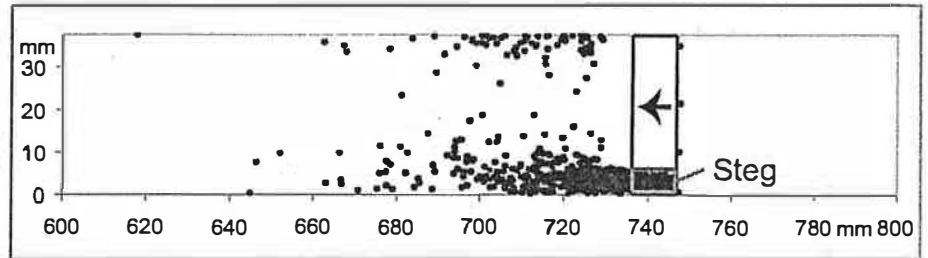
Experimentelle Verschmutzungsbilder bei einseitiger Einbläsung

tiert sich an zur Verfügung stehenden Versuchen, bei denen die Luft über einen handelsüblichen Linearluftdurchlass an der Decke einseitig unter einem spitzen Winkel gegen die Decke in den Raum eingeblasen wird. Die Rechnung liefert das zu erwartende Strömungsbild: Die Luftstrahlen, die sich aufgrund des Coanda-Effekts an die Decke anlegen und dabei in direkter Nähe des Durchlasses ein kleines Wirbelgebiet bilden, erzeugen die von Linearluftdurchlässen bekannte, raumfüllende Walzenströmung. Unterhalb des Durchlasses entsteht dadurch eine aufwärts gerichtete Ansaugströmung.

Das Verhalten eines kugelförmigen Teilchens definierter Größe und Dichte, das im Raum ausgesetzt wird, lässt sich nach Lagrange verfolgen. Auf dieses Teilchen wirken die Gravitation und die durch die Strömung verursachten Reibungs- und Druckkräfte sowie die hier vernachlässigten Einflüsse von Thermo- und Elektrophorese. Die aus der Kräftebilanz am Partikel folgende Bewegungsgleichung beschreibt die Partikelbahn. Auf diese wirkende Einflüsse der Strömungsturbulenz werden dabei über stochastische Modelle berücksichtigt.

Zur Überprüfung der angestellten Berechnungen werden Verschmutzungsmessungen aus der Literatur [3] herangezogen. Bei diesen wurde Farbe in einem 1,5 x 1 m großen Modellraum dispergiert. Zur Ermittlung der Ablagerungen waren an der Decke um den Durchlass herum Papierstreifen angeklebt, auf denen sich Farbe niederschlagen konnte.

Für den Fall der einseitigen Einbläsung, bei der alle Elemente des Linearluftdurchlasses in dieselbe Richtung einblasen, ergibt sich das in Bild 2 gezeigte Verschmutzungsbild, in dem man deutlich die Schmutzfahnen in Strömungsrichtung hinter den Stegen erkennt. Da die Papierstreifen erst in etwa 5 mm Entfernung vor und hinter dem Durchlass angebracht sind, können für den nicht abgedeckten Bereich und die Stege keine Aussagen über die Verunreinigungen getroffen werden.



Ergebnisse

Setzt man in den Modellberechnungen Teilchen auf die geschilderte Weise an verschiedenen Orten innerhalb des Raumes aus, stellt man fest, dass einige von ihnen auf die Decke auftreffen. Sie erreichen die Decke dabei stets über die Ansaugströmung unterhalb des Durchlasses, weshalb sie bei den weiteren Untersuchungen direkt dort zugegeben werden. Nimmt man an, dass ein Teilchen bei Kontakt mit der Decke an ihr haftet und sich nicht mehr ablöst, ergibt sich bei gleichen Randbedingungen wie im Experiment (Bild 2) das gleich skalierte Ablagerungsprofil des Bildes 3. Sowohl die Form der Ablagerungen als auch die Länge der Schmutzfahnen stimmen für einen den Rechnungen zugrunde gelegten Partikeldurchmesser von 10 µm und eine Partikeldichte von 1 kg/dm³ mit den Farbsprühversuchen überein. In der Literatur finden sich für den Farbnebel mittlere Partikeldurch-

Bild 3

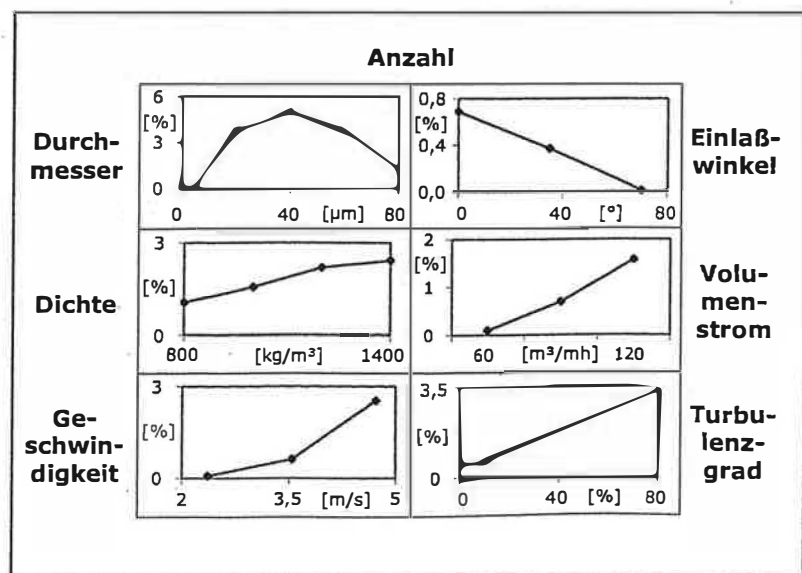
Berechnete Verschmutzungsbilder bei einseitiger Einbläsung

messer in der gleichen Größenordnung [2; 4].

Mit der numerischen Strömungssimulation lassen sich nun mit wesentlich geringerem Aufwand als im Experiment die Einflüsse der Randbedingungen untersuchen. Die Anzahl abgeschiedener Partikel steigt mit Zunahme von Einlassgeschwindigkeit und -volumenstrom sowie Turbulenzgrad am Einlass. Vergrößert man den Einblaswinkel gegen die

Bild 4

Einflüsse auf das Abscheideverhalten



Decke, erreichen weniger Teilchen die Decke. Diese Ergebnisse werden von verschiedenen Untersuchungen mit Farbnebel bestätigt [2, 3]. Bei Zunahme von Durchmesser und Dichte der Partikel steigt die Anzahl abgeschiedener Partikel zunächst und fällt anschließend wieder. Hier macht sich der mit der Partikelmasse zunehmende Einfluss der Gravitation bemerkbar, der ab einer bestimmten Größe die Partikel gegen die Ansaugströmung zu Boden zieht. Bild 4 zeigt den Anteil der berechneten Teilchen mit Deckenkontakt in Abhängigkeit von den Strömungsparametern.

Ferner fällt auf, dass sich schwere Partikel, die also eine hohe Dichte oder einen großen Durchmesser besitzen, vermehrt vor dem Durchlass, also auf der Ansaugseite, ablagern. Bei geringen Durchmessern und Partikeldichten treffen die Teilchen hingegen bevorzugt in Strömungsrichtung hinter dem Durchlass, also auf der Druckseite, auf die Decke.

Interpretation

Korreliert man die Verschmutzungsbilder mit den Strömungseigenschaften, so zeigt sich eine hohe turbulente kinetische Energie der Strömung in den Bereichen bevorzugter Abscheidung, d.h. insbesondere auf dem Steg und im Nachlaufbereich hinter dem Steg. Hier nehmen die Werte der turbulenten kinetischen Energie in den Simulationsrechnungen Werte bis zu $0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ an, wie sie im restlichen Raum nicht erreicht werden. Man erkennt ferner, dass Ablagerungen nur bei Berücksichtigung der turbulenten Einflüsse auf die Bewegungsgleichung der Teilchen auftreten. Die Turbulenz ist also in jedem Fall eine wesentliche Voraussetzung für den Verschmutzungsvorgang. Auf der Druckseite des Durchlasses scheint die Turbulenz maßgebend für die Ablagerung zu sein, während auf der Ansaugseite die Partikel eher aufgrund ihres Impulses abgeschieden werden. Dafür sprechen auch die Flugbahnen der Partikel, die bei Auftreffpunkten auf der Druckseite flacher und auf der Ansaugseite steiler verlaufen. Um hier eine genauere Aussage treffen zu können, sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich.

Ausblick

Die numerische Strömungssimulation kann nur dann sinnvoll zur Erklärung des Phänomens der Deckenverschmutzung benutzt werden, wenn experimentelle Daten zur Verfügung stehen, auf denen sie sich abstützt. Dazu müssen sowohl die Strömungsparameter im Durchlassbereich als auch die abgeschiedene Partikelmasse in Abhängigkeit vom Ort und von den Partikeleigenschaften gemessen werden. Entsprechende Untersuchungen laufen derzeit in Kooperation mit dem Fachgebiet Prozeß- und Aerosolmeßtechnik der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg im Rahmen eines von der Arbeitsgemeinschaft industrielle Forschung (AiF) und der Forschungsgemeinschaft für Luft- und Trocknungstechnik (FLT) gefördernten Forschungsvorhabens.

H 132

Literatur

- [1] Fichter, R.-H., Knorr, T. & Roth, H.-W.: Präsentation zweier Testverfahren zur Simulation der Deckenverschmutzung durch Luftauslässe, in: CCI (1996), S. 36-38
- [2] Finke, U. & Fitzner, K.: Beurteilung der Deckenverschmutzung durch Schlitzdurchlässe, in: DKV Tagungsbericht (1996), Vol. 23, Nr. 4, S. 119-128.
- [3] Rauer, P.: Untersuchung der Deckenverschmutzung im Bereich induktiver Decken-Zuluftdurchlässe, unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Köln (1996)
- [4] Owen, M. K. & Ensor, D. S.: Airborne particle sizes and sources found in indoor air, in: Atmospheric Environment (1992), Vol. 26A, S. 2149-2162.

AIRFLOW

Das DUPLEX-System

für kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

Komfortlüftung zu erschwinglichen Preisen mit Energiespareffekt für Wohnungen, Büros, Restaurants, Schulen, Werkhallen...
Nutzen Sie zwei Drittel der Abluftwärme, wieder und wieder!



Jetzt auch mit Kühlung!

- hoher Wirkungsgrad
- korrosionsbeständige Wärmetauscher aus Kunststoff
- komfortable Regelung
- integrierte Luftheritzer zum Anschluss an Ihr Heizungssystem
- integrierte Luftkühler
- viele Ausführungen für jedes Platzangebot
- kurze Lieferzeiten

AIRFLOW
Airflow Lufttechnik GmbH
D-53349 Rheinbach
Postfach 1208
Telefon 0 22 26 / 92 05-0
Telefax 0 22 26 / 92 05-11

e-mail: airflow@t-online.de, internet: <http://www.airflow.de>

Lufttechnische Messgeräte · Radial-Ventilatoren · Lüftungssysteme m. Wärmerückgewinnung