

VORHERSAGE UND ANALYSE NATÜRLICHER LÜFTUNGSVORGÄNGE

Ralf Gritzki, Wolfgang Richter, Markus Rösler

Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden, Dresden, Germany

gritzki@tga.tu-dresden.de, wrichter@tga.tu-dresden.de, roesler@tga.tu-dresden.de

KURZFASSUNG

Die rechnerische Vorhersage natürlicher Lüftungsvorgänge in Gebäuden gestaltet sich aufgrund der Problematik der Randbedingungen und der instationären Natur des Vorganges oft schwierig. Hinzu kommt, dass der reine Lüftungsvorgang nur eine Teilinformation liefert, wenn es zum Beispiel um eine Nachtlüftung zur Entwärmung geht.

Unter Nutzung der Möglichkeiten einer speziellen Finite Elemente Methode (FEM) lassen sich Randbedingungsformulierungen finden, die für die Berechnung natürlicher Lüftungsvorgänge geeignet sind. Weiterhin werden Möglichkeiten und Kriterien vorgestellt, instationäre Lüftungsvorgänge unter hygienischen und energetischen Gesichtspunkten zu analysieren. Der energetische Aspekt kann besonders herausgearbeitet werden, wenn man Raumluftströmungsberechnung und thermische Gebäudesimulation geeignet kombiniert.

ABSTRACT

The computational prediction of natural ventilation is often raising difficulties because of problematic boundary conditions and the unsteady nature of the flow. In addition, the pure ventilation process only delivers a part of information, for instance in case of night ventilation for cooling purposes.

Using the possibilities of a special stabilized FEM-code one is able to find formulations for boundary conditions, which are very useful for the simulation of natural ventilation problems. Furthermore we present some criteria and possibilities for the analysis of transient ventilation tasks from the energetic and the hygienic point of view.

EINLEITUNG

Um im Gebäudebereich verstärkt auf natürliche Lüftung zu setzen, sind zuverlässige Planungs- und Analysewerkzeuge notwendig. Für detaillierte Studien ist es dabei unumgänglich, die Raumluftströmung zu berechnen. Auf der Basis eines in Zusammenarbeit zwischen der Universität Göttingen und der TU Dresden

entwickelten Forschungscode wurden daher Modelle zur Beschreibung, Berechnung und Analyse von natürlichen Lüftungsvorgängen entwickelt.

RANDBEDINGUNGEN

Die der FEM zugrunde liegenden mathematischen Methoden bieten eine elegante Möglichkeit zur Implementierung von Randbedingungen für natürliche Lüftung. Hierbei ergibt sich aus der Variationsformulierung der inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichung und der entsprechenden Umformulierungen ein Randintegral über das man durch Vorgabe des Druckes spannungsfreies Zu- und Abströmen modellieren kann. Die sich selbsttätig einstellende Strömungsrichtung resultiert aus den Differenzen zwischen statischem Druckprofil im Innern des Berechnungsgebiets und dem dazugehörigen vorgegebenen Druckprofil des Außenbereichs. Ausführliche Informationen zu den Gleichungen und den Formulierungen befinden sich in (Gritzki et al., 2000) und (Gritzki, 2001).

BERECHNUNGSMÖGLICHKEITEN

Der eingesetzte Forschungscode *ParallelNS* bietet die Möglichkeit, mit moderater Parallelisierung zu arbeiten. Nach dem Master-Slave-Prinzip auf der Basis von PVM kann einerseits das Strömungsgebiet in nichtüberlappende Teilgebiete zerlegt werden. Andererseits ist es auch möglich, die nichtüberlappende Gebietszerlegung auf die Gebäudehülle und die Anlagentechnik auszudehnen, indem die thermische Gebäudesimulation in den Berechnungsprozess eingebunden wird. Dadurch ergeben sich besonders im Hinblick auf energetische Berechnungen und Bewertungen entscheidende Vorteile.

Das verwendete Verfahren wurde in dieser Form bereits intensiv getestet und validiert und ermöglichte aufgrund der räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Resultate die effiziente Untersuchung einer Vielzahl praktisch relevanter Fälle, siehe auch (Richter, 2003).

ANALYSE UND KRITERIEN

Neben einer energetischen Bewertung der auftretenden Strömungsverhältnisse kommt auch deren hygienischer Beurteilung eine wachsende Rolle zu. Darum ist es erforderlich, zusätzlich zum auftretenden tatsächlichen Luftwechsel Informationen über die Effektivität des Luftaustauschs verfügbar zu machen. Da die überwiegend in der Praxis eingesetzten Kriterien zur Bewertung des Luftaustauschs, wie der Luftaustauschwirkungsgrad ε_a ausschließlich für stationäre Strömungsverhältnisse gültig sind, wurde eine Erweiterung dieser Kriterien auf instationäre Strömungen vorgenommen.

Mit der Hinzunahme einer Transportgleichung für das Alter der Luft

$$\frac{\partial \tau_p}{\partial t} + (\vec{u} \circ \nabla) \tau_p - \nabla \circ (D_{\tau,e} \nabla \tau_p) = 1 \quad (1)$$

$$\text{mit: } D_{\tau,e} := \frac{v}{Sc_\tau} + \frac{v_t}{Sc_{\tau,t}}, \quad Sc_\tau = Sc_{\tau,t} = 1.0$$

sowie der instationären Berechnung von Referenzströmungen gleichen Luftwechsels bzw. gleichen mittleren Luftalters, siehe auch (Gritzki, 2001) eröffnet sich eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Bewertung instationärer natürlicher Lüftungsvorgänge aus ebendieser hygienischen Sichtweise. Als Referenzströmungen wurden ideale Verdrängungsströmungen (Strömungsform mit dem bestmöglichen auftretenden Luftaustausch) sowie die Strömung bei idealer Durchmischung mit jeweils zum Untersuchungsgebiet äquivalentem durchströmtem Volumen eingesetzt.

Gleichung (1) liefert Informationen über die lokale Verteilung des Luftalters zu jedem beliebigen Zeitpunkt einer instationären Simulation. Basierend auf (1) und der dazugehörigen Referenzströmung ist man mit dem lokalen Luftaustauschindex

$$\varepsilon_{p,t}^a = \frac{\tau_{p,ref}^{ab}}{\tau_p} \quad (2)$$

als Quotient vom Luftalter am Austritt der Referenzströmung und lokalem Luftalter im Raum in der Lage, normierte Aussagen über die Qualität des Luftaustauschs an jedem beliebigen Raumpunkt des Untersuchungsgebiets zu treffen.

Als Kriterium für die Effektivität des Luftaustauschs des gesamten Untersuchungsgebiets kann der instationäre Luftaustauschwirkungsgrad

$$\varepsilon_t^a = \frac{\langle \tau_{ref} \rangle}{\langle \tau \rangle}, \quad (3)$$

der den Quotient von mittlerem Luftalter der Referenzströmung gleichen Luftwechsels und tatsächlichem mittlerem Luftalter im Untersuchungsgebiet darstellt, genutzt werden. Der im Raum wirksame Luftwechsel ergibt sich dann aus dem globalen Luftwechsel multipliziert mit ε_t^a :

$$\lambda_{hyg} = \varepsilon_t^a \cdot \lambda. \quad (4)$$

Da (3) relativ träge auf plötzliche Änderungen der Strömungsverhältnisse reagiert, wurde zusätzlich auf Basis der instationären Verdrängungsströmung gleichen mittleren Luftwechsels ein **hygienischer Luftwechsel** λ_{hyg} definiert, der Informationen über den pro Zeitschritt tatsächlich am Luftaustausch beteiligten Volumenstrom liefert. Dieses Kriterium ermöglicht auch bei stark instationären Strömungsverhältnissen eine exakte Vorhersage des tatsächlichen Luftaustauschs, siehe (Gritzki et al., 2003). Für die detaillierte Berechnung aller Größen, speziell auch der letztgenannten, sei auf (Gritzki, 2001) verwiesen. Abschließend ist anzumerken, dass sowohl die stationären, als auch die instationären Kriterien bei stationären Strömungsverhältnissen identische Resultate liefern.

Für die Untersuchung des aus energetischer Sicht wirksamen Luftaustauschs kommt die Definition eines **energetischen Luftwechsels** λ_{ener} zur Anwendung. λ_{ener} wird ermittelt, indem man den globalen Luftwechsel mit einem energetischen Luftaustauschwirkungsgrad ε_{ener} multipliziert.

$$\lambda_{ener} = \varepsilon_{ener} \cdot \lambda \quad (5)$$

Der energetische Luftaustauschwirkungsgrad ε_{ener} ergibt sich durch den Vergleich von austretendem Enthalpiestrom und maximal möglichem Enthalpiestrom unter den gegebenen Randbedingungen. Als Bezugssituation kann man faktisch wiederum eine ideale Verdrängungsströmung ansehen, bei der Ein- und Austrittstemperatur die maximale Temperaturspreizung erreichen.

Der energetische Luftwechsel zeigt an, wie die Strömung im Raum zur Entwärmung (im Kühlfall) oder Erwärmung (im Heizfall) beiträgt.

AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Am Beispiel für das hier vorgestellte Programmsystem dienen exemplarisch drei ausgewählte Fälle einer Studie zur numerischen Untersuchung natürlicher Fensterlüftung (Richter, 2003). Innerhalb der Studie wurden verschiedenste Fenstertypen und Fensteranordnungen hinsichtlich des sich temperaturabhängig einstellenden Luftwechsels und der Effektivität der Lüftung selbst untersucht. Dabei variierten die wirksamen Temperaturdifferenzen zwischen innen und Außentemperaturen in einem Bereich von 3 bis 25 K.

Die hier vorgestellten Berechnungen verliefen instationär bei stationären Randbedingungen (Temperatur der Innenwände: 20 °C, konstante Außentemperatur) Weitergehende Informationen finden sich in (Richter, 2003)

Der untersuchte Basisraum hatte die Abmaße BxHxT = 5x2,5x4,1m. Die Abbildungen zeigen die Ergebnisse des lokalen Luftaustauschindex für die Fälle: oberes Fensterband geöffnet, unteres Fensterband

geöffnet und beide Fensterbänder geöffnet (bei 10 K wirksamer Temperaturdifferenz).

Anhand der Abbildungen 1 bis 3 ist sehr gut erkennbar, dass einerseits der globale Luftwechsel bei zwei offenen Fenstern mit 29,45 /h etwa den fünffachen Wert der zwei weiteren Fälle annimmt und dass darüber hinaus die Effektivität des Luftaustauschs in Abbildung 1 deutlich höher ist (0.69 gegenüber 0,5 bzw 0.3).

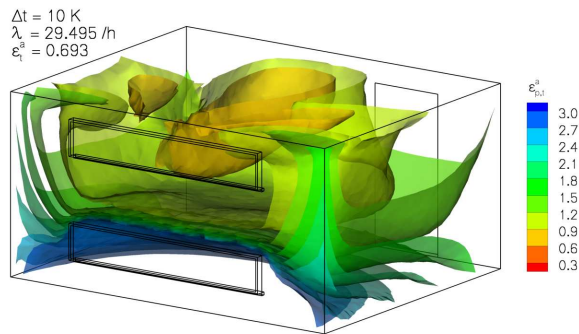


Abbildung 1 Lokaler Luftaustauschindex – beide Fenster geöffnet

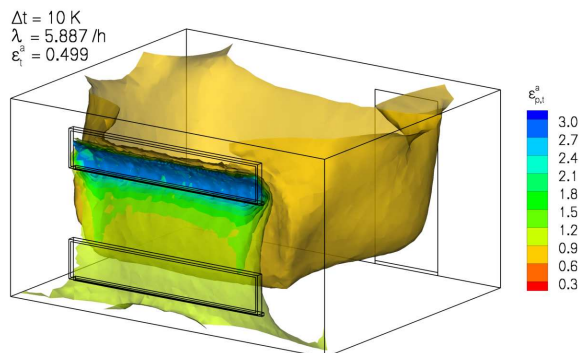


Abbildung 1 Lokaler Luftaustauschindex – oberes Fenster geöffnet

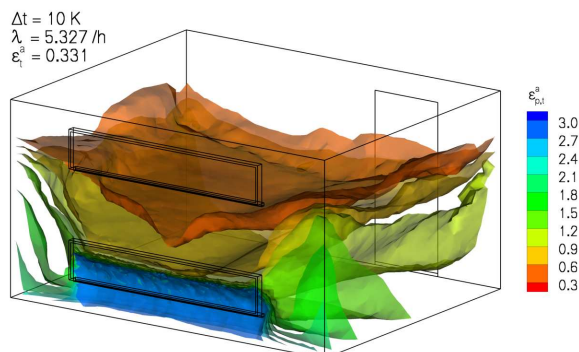


Abbildung 1 Lokaler Luftaustauschindex – unteres Fenster geöffnet

Dies spiegelt sich auch in den in den Abbildungen sichtbaren Isoflächen des lokalen Luftaustauschindex

wider, die in Abbildung 1 erheblich höhere Werte aufweisen, was letztlich ein Indiz für „jüngere“, also frischere Raumluft darstellt. Die Variante, das untere Fensterband zu öffnen, stellt aus Sicht eines möglichst effektiven Luftaustauschs den ungünstigsten Weg dar. Weitere ausführliche Ergebnisse sowie die Untersuchungen und Bewertungen unter energetischen Gesichtspunkten befinden sich wiederum in (Richter, 2003)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen in (Richter, 2003) und die hier kurz dargestellten Resultate zeigen deutlich, dass es mit Hilfe der vorgestellten Werkzeuge möglich ist ein Vorhersage und Analyse natürlicher Lüftungsvorgänge durchzuführen. Hierbei können sowohl energetische als auch hygienische Aspekte berücksichtigt werden, wodurch sich eine sehr umfassende Möglichkeit der Bewertung verschiedenster Strömungsverhältnisse ergibt.

Die Resultate sind plausibel und stimmen sehr gut mit den durchgeführten Validierungsuntersuchungen in (Seifert, 2005) und den durchgeführten Referenzrechnungen überein.

LITERATUR

- Gritzki, R., Müller, H., Richter, W., Rösler, M. 2000. Finite Element Calculation of Natural Ventilation, Roomvent 2000, Proc. 7th International Conference on Air Distribution in Rooms, Reading, UK, July 9-12, 2000, vol I, pp. 319-323
- Gritzki, R. 2001. Bestimmung der Effektivität nutzerbedingter Fensterlüftung mit Hilfe numerischer Simulationsverfahren, Der Andere Verlag, Osnabrück, 2001.
- Gritzki; R., W. Richter, M. Rösler 2003. How to predict the air exchange efficiency for hybrid ventilation systems, Int. Journal of Ventilation, Vol. 1, HybVent SE: 33-39
- Richter, W., Seifert, J., Gritzki, R., Rösler, M. 2003. Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht. Abschlussbericht, Bau- und Wohnforschung, F2425, ISBN 3.8167-6002-3 Fraunhofer IRB Verlag 2003
- Seifert, J. 2005. Zum Einfluss von Luftströmungen auf die thermischen und aerodynamischen Verhältnisse in und an Gebäuden, Dissertation, TU Dresden, Fakultät für Maschinenwesen 2005