

Ein Beitrag der FLT Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik

Effekte und Nutzen instationär betriebener Raumlüftung

Hans Werner Roth, Stuttgart

Die Auswirkungen von instationären Zulufttemperaturen und / oder instationären Volumenströmen auf die Raumströmung, Temperaturverteilung und Lüftungseffektivität sollen durch grundlegende Raumströmungsversuche und numerische Berechnungen erfasst werden. Es ist zu klären, ob sich die Thermische Behaglichkeit und die Raumluftqualität durch eine instationäre Betriebsweise im Vergleich zu einer stationären verbessern lässt.

Die im Vorspann genannte Aufgabenstellung wurde experimentell und rechnerisch am E.ON Research Center, RWTH Aachen (ERC), von Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller [1] und rechnerisch von Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting, Fachbereich Energie, Gebäude, Umwelt, Fachhochschule Münster (EGU) [2], im Auftrag der FLT bearbeitet.

Autor



Dr.-Ing. Hans Werner Roth, LTG Aktiengesellschaft, Stuttgart, ist Obmann der Arbeitsgruppe Raumlufttechnik in der FLT Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik.

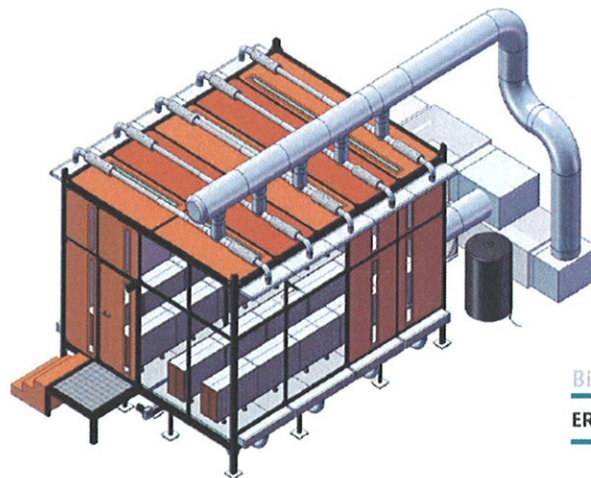


Bild 1
ERC-Prüfkabine

Untersuchungsprogramm und Ergebnisse

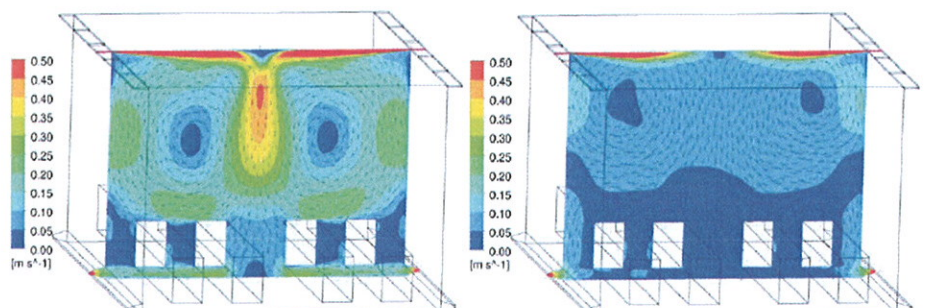
Am ERC nutzte man eine adiabate Versuchskabine, wie in Bild 1 gezeigt, bei der die Zuluft über je fünf pro Raumseite, deckenbündig eingebaute Schlitzluftauslässe gegeneinander eingeblasen wird. Jeder Luftdurchlass ist an einem Volumenstromregler angeschlossen, der den Zuluftstrom mit einer festen Periodendauer zwischen 50 und 200 s um +/- 33 % um einen Mittelwert verändert. In einer mit „2-D-Sinus“ bezeichneten Betriebsweise arbeiten die fünf Luftauslässe pro Seite synchron, in der Periode um 180° versetzt, so dass der gesamte Volumenstrom im Raum konstant bleibt. Dadurch verschiebt sich der Treffpunkt der Deckenluftstrahlen periodisch. Der sich von der Decke ablösende Luftstrahl pendelt zwischen beiden Raumwänden hin und her. Die Ergebnisse der CFD-Simulation sind für den sta-

tionären und instationären Betriebsfall in Bild 2 gegenüber gestellt. Zuluft- und Raumtemperatur sind gleich groß und bleiben konstant.

Die instationäre Strahlausbreitung erzeugt im isothermen Lastfall über einen größeren Raumbereich stärkere Geschwindigkeitsgradienten und damit auch eine intensivere Durchmischung der Zuluft. In einer horizontalen Messenebene, 1,1 m über dem Boden, sind die Raumluftgeschwindigkeiten niedriger und ausgeglichener.

Bild 2

Gemittelte Geschwindigkeiten einer Strömungsberechnung, links stationär, rechts 2-D-Sinus, T = 200 s, beide Fälle isotherm



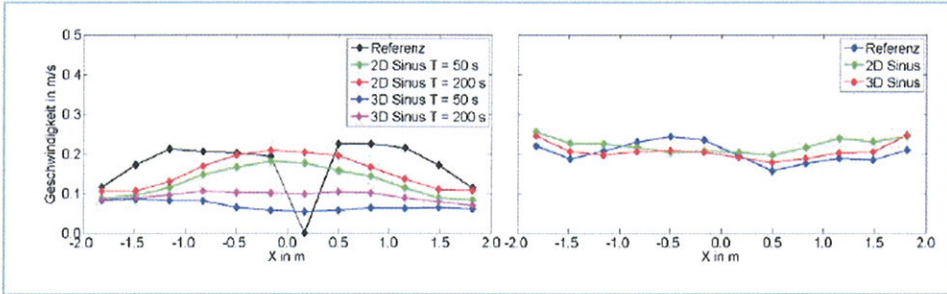


Bild 3

Vergleich der gemessenen Geschwindigkeiten über der Raumbreite in 1,1 m Höhe, links isotherm, rechts im Kühlfall (-8 K) bei T = 200 s

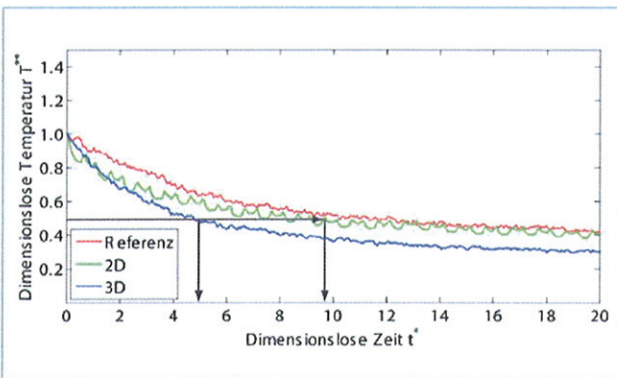


Bild 4

Dimensionslose Temperatur in Raummitte in Höhe von 0,5 m

Bilder 1-4: E.ON ERC

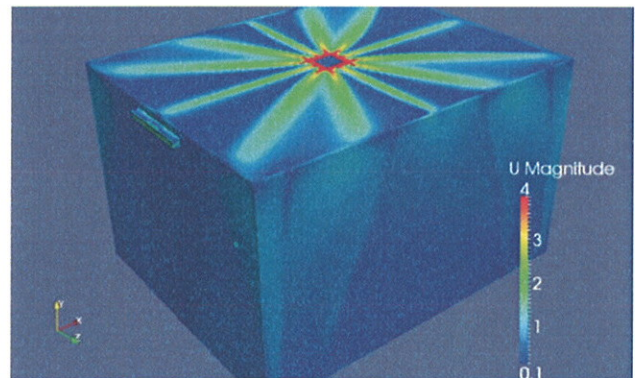


Bild 5

Modellierung des Deckenluftauslasses. Darstellung der Raumluftgeschwindigkeiten

Dieser Vorteil ist im Kühlfall nicht mehr nachweisbar. Für einen 18-fachen Luftwechsel und eine Zuluftuntertemperatur von -8 K (150 W/m²) sind keine Vorteile der instationären Betriebsweise erkennbar, wie gemessene Geschwindigkeiten in Bild 3 zeigen. Im Kühlfall bewirken die Auftriebsströmung an den Wärmequellen und die Dichteunterschiede zwischen Zu- und Raumluft auch bei stationären Zuluftströmen einen schnellen Geschwindigkeitsabbau.

Zur Beurteilung eines Aufheizvorgangs wurde eine dimensionslose Raumlufttemperatur

$$T^* = \frac{T_{ZU} - T_{sonde}}{T_{ZU} - T_{start}}$$

und eine dimensionslose Zeit

$$t^* = \frac{t}{\tau_n}$$

eingeführt mit τ_n als nominelle Raumzeitkonstante

$$\tau_n = \frac{V}{\dot{V}} = \frac{60\text{m}^3 \cdot 3600\text{s/h}}{1080\text{m}^3\text{h}} = 200\text{s}$$

Gemäß Bild 4 ist die ursprüngliche Übertemperatur (Zuluft-Raum) mit stationärem und 2-D-Sinus-Betrieb nach $10 \times 200 \text{ s} = 2000 \text{ s}$ um 50 % abgebaut. Erst mit dem intensiveren „3-D-Sinus“-Betrieb, bei dem gegenüberliegende und benachbarte Luftstrahlen um 180° versetzt, also gegeneinander pendeln, ist der gleiche Temperaturausgleich nach der Hälfte der Zeit erreicht.

Vergleiche zwischen Messung und Rechnung zeigen eine gute Übereinstimmung für isotherme Lastfälle und Abweichungen für Kühlfälle. Mit zunehmender Periodendauer wird der gerech-

Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e.v.

Die im Jahr 1964 gegründete FLT ist ein starkes und erfolgreiches Kooperationsnetzwerk der Ventilatoren- und Raumlufttechnik sowie anderer lufttechnischer Prozesse. Sie treibt die gemeinsame vorwettbewerbliche Forschung der Branche voran, bringt Industriexperten und Wissenschaftler an einen Tisch und fördert den wissenschaftlichen Nachwuchs. Ziel ist letztlich, eine schnelle Umsetzung der Ergebnisse unter Berücksichtigung von umwelt-, wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Aspekten in firmenspezifische Produkte.

Vorstandsvorsitzender Dr. Gerd Schaal, LTG AG

Kontakt:
Harald Gustmann
Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik (FLT) e.V.
Lyoner Straße 18
50628 Frankfurt
Telefon:+49 69 6603 1352
Fax: +49 69 6603 2352
E-Mail:gustmann@flt-net.de
http://www.flt-net.de



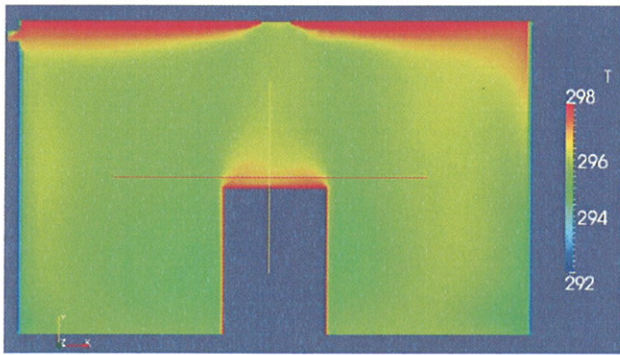


Bild 6

Raumlufttemperaturen bei stationärem Heizfall mit +10 K Übertemperatur (32 °C) und 300 m³/h

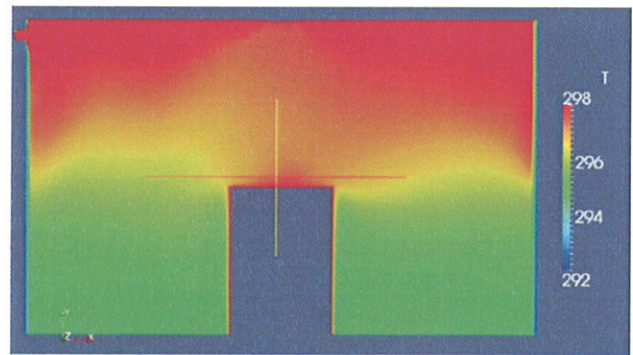


Bild 7

Raumlufttemperaturen bei instationärem Heizfall und maximaler Zulufttemperatur (37 °C)

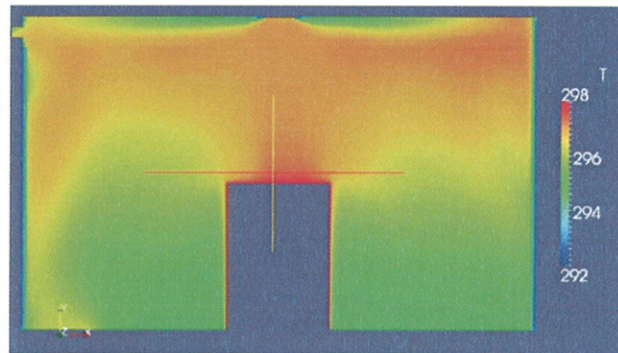


Bild 8

Raumlufttemperaturen bei instationärem Heizfall und minimaler Zulufttemperatur (27 °C)

Bilder 5-8: EGU

nete Geschwindigkeitsabbau größer als der gemessene.

Die numerischen Berechnungen bei Prof. Boiting sollten einen Büroraum mit den Abmessungen (L x B x H) 4 x 5 x 3 m und einen Deckendrallauslass nachbilden (Bild 5). Neben den zuvor beschriebenen Volumenstrompendelungen mit konstanter Zulufttemperatur wurden eine periodisch instationäre Temperatur bei konstantem Volumenstrom und eine Kombination aus instationärer Temperatur und instationärem Luftstrom untersucht. Die Zulufttemperatur schwankte um +/- 5 K, der Volumenstrom um +/- 50 % um den Mittelwert von 300 m³/h (5-facher Luftwechsel). Im Heizfall wird die Zuluft mit einer mittleren Übertemperatur von +10 K eingeblasen, um bei 22 °C Raumtemperatur einen Wärmeverlust von 1 000 W über die Wände auszugleichen. Im stationären Fall ist die Raumtemperatur bis auf den deckennahen Bereich der Zuluftstrahlen bereits weitgehend ausgeglichen, wie Bild 6 zeigt. Die fehlende Temperaturschichtung lässt sich auf zwei Ursachen zurückführen:

1. auf den 5-fachen Luftwechsel zusammen mit einem hochinduktiven Luftauslass und ausreichend hohem Strömungsimpuls entlang den Wänden
2. auf die starke Abkühlung der Raumluft an den Wänden (Heizlast 50 W/m²), wodurch bodennahe Luftstrahlen bis zur Raummitte vordringen können

Eine periodische Veränderung des Zuluftvolumenstroms bei gleicher Zuluft-

temperatur verändert die Temperaturverteilung nur wenig, erhöht aber die Raumluftgeschwindigkeiten entlang den Raumwänden und dem Boden. Diese Betriebsweise ist für den untersuchten Fall nicht zu empfehlen. Variiert man die Zulufttemperatur bei konstantem Volumenstrom, so kann man die instationäre Raumströmung an Hand von Momentaufnahmen zweier typischer Temperaturfelder beschreiben (Bilder 7 und 8): In Bild 7 ist beim Temperaturmaximum eine ausgeprägte Schichtung erkennbar. Nach 100 s ist das Temperaturminimum erreicht. Die kältere Luft unter der Decke durchmischt sich mit dem darunterliegenden Warmluftpolster und baut somit die vertikalen Temperaturunterschiede ab (Bild 8). Im zeitlichen Mittel sind die Raumtemperaturen ausgeglichen.

Zusammenfassung

Stellt man stationäre Betriebsparameter, wie Volumenstrom und Zulufttemperatur auf eine instationäre Betriebsweise um, lassen sich für die untersuchten Beispiele in den Lastfällen „isotherm“ und „(auf)heizen“ geringe Vorteile nachweisen. In allen gemessenen und gerechneten Kühlfällen sind bei instationärem Betrieb keine Vorteile erkennbar.

Die wirksamere, aber technisch schwerer umsetzbare Temperaturpendelung muss sich mit folgendem Stand der Technik messen lassen:

□ Außenzonen werden energetisch effizienter mit Heizflächen abgeschirmt.

□ Für sehr gute Fassaden in Passivhausausführung und Innenzonen genügt eine Aufheizleistung von ca. 10 W/m² über die Lüftung.

□ Hochinduktive Deckenluftdurchlässe können Wohn-, Büro- oder Verkaufsräume mit einer Übertemperatur von 5 K auf Soll-Raumtemperatur erwärmen ohne dass sich große Temperaturgradienten ausbilden oder erhöhte Luftwechsel erforderlich wären.

Eine gute thermische Behaglichkeit und Luftqualität wird durch die Wahl und Auslegung der Luftverteilung und vor allem der dafür geeigneten Luftdurchlässe festgelegt. Es gibt sehr gute Lösungen für eine breite Anwendung von Lüftungssystemen in Decken, Wänden und Böden, die sich durch instationäre Betriebsweise nicht mehr verbessern lassen.

Literatur

- [1] Müller, D. et al.: Raumluftströmungseffekte bei einem instationären Betrieb einer Luftverteilung. E.ON ERC, RWTH Aachen. FLT-Abschlussbericht, April 2010.
- [2] Boiting, B.: Numerische Berechnung instationärer Luftführungssysteme. Fachbereich Energie, Gebäude, Umwelt; FH Münster. FLT-Abschlussbericht, Juli 2010.