

## Raumluftströmung

## Freie Lüftung in Bürogebäuden

Olaf Zeidler, Berlin

Viele RL-Anlagen, die in den 60er- bis 80er Jahren installiert wurden haben das Ende ihrer Lebensdauer erreicht. Mehr oder weniger umfangreiche Sanierungsmaßnahmen sind erforderlich. Am Hermann-Rietschel-Institut wurden im Rahmen des Verbund-Forschungsvorhabens SANIREV (gefördert durch Projektträger BEO und Fa. ROM) Untersuchungen zur Sanierung von RL-Anlagen durchgeführt. Bei Sanierungen stellt sich oft die Frage, ob nicht gänzlich auf eine RL-Anlage verzichtet werden kann. Daher wurden systematische Untersuchungen zur Raumluftströmung bei Fensterlüftung durchgeführt.

## Autor



Dipl.-Ing. Olaf Zeidler, Jahrgang 1970, studierte Energie- und Verfahrenstechnik an der TU-Berlin, anschließend Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Hermann-Rietschel-Institut für Heizungs- und Klimatechnik bis Ende 1999. Zur Zeit ist er einer der geschäftsführenden Gesellschafter der KLIMA-KONZEPT Ingenieurgesellschaft in Berlin. Zu seinen Aufgabenbereichen gehören die Durchführung von Gutachten, Schulungen, Beratungen, messtechnischen Untersuchungen sowie Simulationen.

Die Raumströmung bei geöffnetem Fenster entsteht durch Winddruck oder thermischen Auftrieb, die entstehende Raumströmung ist davon unabhängig. Ist der Winddruck zu groß, kann davon ausgegangen werden, dass die Fenster entsprechend geschlossen werden. Deshalb soll für die Ermittlung der Einsatzgrenzen der Fensterlüftung der einfachere Fall betrachtet werden, bei dem der Luftaustausch durch das Fenster aufgrund von Thermik stattfindet.

Ist die Umgebungstemperatur niedriger als die Raumtemperatur stellt sich durch den Dichteunterschied der Luft ein Druckunterschied zwischen außen und innen ein. Daraus resultiert bei geöffneten Fenstern ein Luftaustausch zwischen außen und innen. Über den unteren Teil der Öffnungsfläche strömt Außenluft in den Raum. Ist das Fenster gekippt, bildet sich an den Seiten des Fensters je ein Zuluftstrahl (Bild 1).

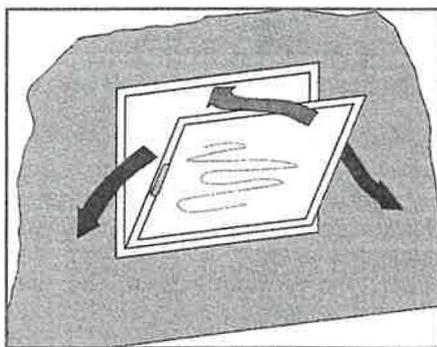


Bild 1

Wege der Luft bei geöffnetem Kipfenster (außen kälter als innen)

Die eintretende Luft fällt zu Boden und vermischt sich dabei mit Raumluft. Über den oberen Teil des Fensters verlässt die Abluft den Raum. Der ein- und austretende Massenstrom ist gleich groß. An der Stelle, an der sich die beiden Luftströme begegnen, wird die Druckdifferenz null (Nullfaden). Bild 2 zeigt den Verlauf der Raumluftströmung bei geöffnetem Fenster.

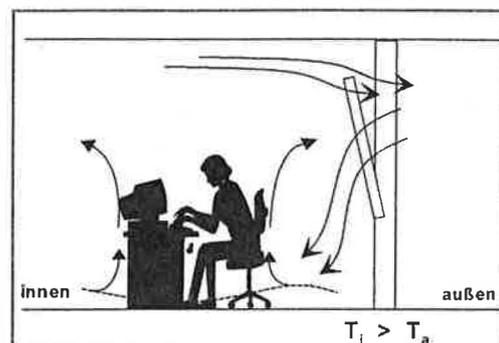


Bild 2

Raumströmung bei Fensterlüftung

Im Raum stellt sich eine Quellluftströmung mit einer Zuluftschicht in Bodennähe ein. Die Wärmequellen fördern durch ihre Auftriebsströmung Luft aus Bodennähe nach oben. Aus der Luftschicht unter der Decke des Raums gelangt die Luft über den oberen Teil der Fensteröffnung nach außen.

In fensterbelüfteten Räumen kann es bei offenen Türen zu Nachbarräumen und Fluren zu einem Luftaustausch quer durch das Gebäude kommen. Für diesen Fall der Querlüftung des Raumes lassen sich zwei Möglichkeiten unterscheiden:

1. Es strömt zusätzlich Luft über angrenzende Räume in den betrachteten Raum. Aus Kontinuitätsgründen ist der Abluftstrom durch das Fenster größer als der Zuluftstrom. Die Höhe des Nullfadens ist niedriger als bei reiner Fensterlüftung. Durch den geringeren Zuluftstrom ist nicht mit erhöhten Luftgeschwindigkeiten im Raum zu rechnen.
2. Es strömt Luft aus dem betrachteten Raum in angrenzende Räume. In diesem Fall ist der Zuluftstrom durch das Fenster größer als der Abluftstrom. Der Abstand des Nullfadens vom Boden vergrößert sich. Das Fenster muss weiter geschlossen werden. Dieser Fall lässt sich dann genauso betrachten, wie bei einseitiger Fensterlüftung.

In instationären Fällen, wenn die Luft im Gebäude kälter als außen ist, kann sich das Strömungsbild umkehren. Die

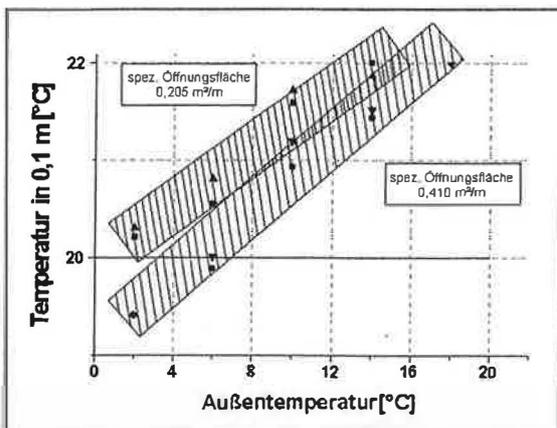


Bild 3

Temperatur in Bodennähe in Abhängigkeit der Außentemperatur

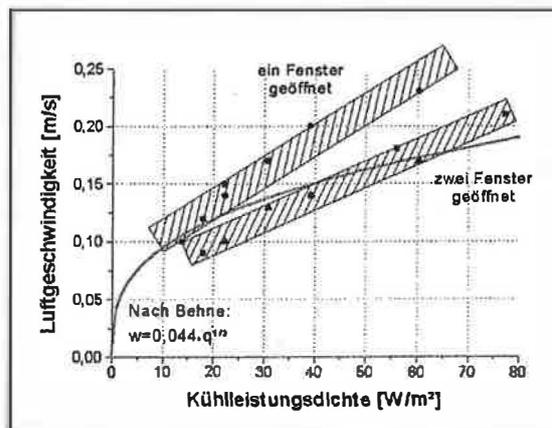


Bild 4

Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Kühlleistungsdichte

Luft tritt durch den oberen offenen Querschnitt in den Raum und durchmischt sich mit der Raumluft. Die Raumluft, deren Temperatur unterhalb der Außenluft liegt verlässt den Raum durch den unteren, offenen Querschnitt des Fensters. Der Raum und die Raumluft erwärmen sich dabei solange, bis ein stationärer Zustand vorliegt. Die Raumluft ist dann durch die inneren und äußeren Lasten wärmer als die Außenluft. Es stellt sich dann die oben beschriebene Quellluftströmung wieder ein.

Bei weit geöffneten Fenstern kann eine Mischströmung im Raum erzeugt werden. Im hier betrachteten Fall spielt dies keine Rolle. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Winter und in der Übergangszeit die Fenster im stationären Fall nur wenig geöffnet sind.

### Luftgeschwindigkeiten und Temperaturen

Um die Lufttemperaturen und die Luftgeschwindigkeiten in fensterbelüfteten Räumen zu untersuchen ist am Hermann-Rietschel-Institut ein Versuchsstand aufgebaut. In diesem Versuchsstand ist ein Büroraum mit offenen Fenstern nachgebildet.

Die unten aufgeführten Ergebnisse wurden für den stationären Fall ermittelt. Dabei wurden für unterschiedliche Außentemperaturen, verschiedene thermische Lasten sowie entsprechende Fensterstellungen die Luftgeschwindigkeiten und Lufttemperaturen gemessen.

Die kritischen Lufttemperaturen sind in Bodennähe zu erwarten. In Bild 3 ist die Abhängigkeit zwischen den Temperaturen in 0,1 m über dem Boden und der Außentemperatur dargestellt. Für die Darstellung wurden Mittelwerte der

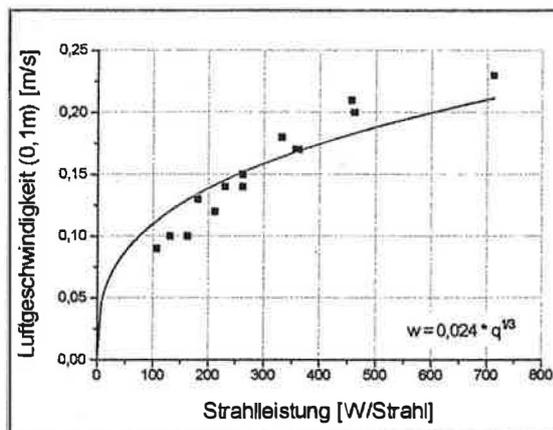


Bild 5

Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Leistung des Zuluftstrahls

Temperaturmesswerte im Abstand von 1,3 m um das geöffnete Fenster gewählt.

Es sind zwei schraffierte Bereiche eingezeichnet. Diese gelten für unterschiedliche spezifische Öffnungsflächen (hier die Fläche, die pro lfd.Meter Fassadenlänge geöffnet ist). Für den Versuchsstand bedeutet dies, dass der obere, eingezeichnete Bereich für halb geöffnete Kippfenster, der untere für ganz geöffnete Kippfenster gilt. Soll eine Lufttemperatur von 20 °C in Bodennähe nicht unterschritten werden, lassen sich Grenztemperaturen für die Lüftung mit Außenluft, die nicht unterschritten werden sollten, ableiten. Bei einer Öffnungsfläche von 0,205 m²/m (entspricht einem um 2,5° gekippten Fenster) liegen die minimalen Außentemperaturen um 0 °C. Wird die Öffnungsfläche verdoppelt auf 0,41 m²/m (entspricht am Versuchsstand einem um 5,0° gekippten Fenster) liegt das Minimum bei einer Außentemperatur von 6 °C

Der durch das Fenster einströmende Zuluftvolumenstrom hat Außentemperatur. Aus dem Volumenstrom und

der Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abluft lässt sich eine Kühlleistung der Zuluft ermitteln. Die durchgeführten Versuche zeigen eine Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeiten im Raum von der Kühlleistung der zuströmenden Außenluft. Bild 4 zeigt den Zusammenhang zwischen Kühlleistungsdichte (bezogen auf die Fläche des Raumes) und Luftgeschwindigkeit in Bodennähe. Dabei wird die Luftgeschwindigkeit im Raum außer von der Außentemperatur und dem zugeführten Volumenstrom auch von der räumlichen Verteilung der Eintrittsöffnungen beeinflusst.

Es sind zwei schraffierte Bereiche im Diagramm eingezeichnet. Der obere Bereich gilt für ein gekipptes Fenster, der untere Bereich zeigt die Messwerte, wenn zwei Fenster gekippt sind. Als zusätzliche Orientierungshilfe ist eine von Behne [2] empirisch ermittelte Kurve für Luftgeschwindigkeiten im Raum angegeben. Es ist zu erkennen, dass für zwei gekippte Fenster deutlich niedrigere Luftgeschwindigkeiten zu erwarten sind als bei einem. Ist ein Kippfenster geöffnet entstehen zwei Zuluftstrahlen, bei

zwei geöffneten Fenstern entstehen vier Strahlen. Somit ist eine bessere Verteilung der einströmenden Luft erreicht.

Wird die eingebrachte Kühlleistung auf die einzelnen Strahlen bezogen lässt sich das folgende Diagramm erstellen (Bild 5).

Es sind die Luftgeschwindigkeiten im Raum über der Leistung der Zuluftstrahlen aufgetragen. So lassen sich die zu erwartenden Geschwindigkeiten für verschiedene Kühlleistungen pro Zuluftstrahl ablesen. Die hier dargestellten Ergebnisse sind, im Vergleich zu den auf die Kühlleistungsdichte bezogenen Werten, allgemeiner anwendbar. Soll die Behaglichkeitsgrenze von 0,15 m/s nicht überschritten werden, dann sind maximale Leistungen von 250 - 300 W/Strahl möglich.

### Zusammenfassung

Fensterlüftung in Bürogebäuden lässt in der Übergangszeit behagliche Raumluftzustände zu und es können auch Lasten abgeführt werden. Im Winter besteht allerdings die Gefahr von Zuger-

scheinungen und im Sommer können die Raumtemperaturen außerhalb des Behaglichkeitsgebietes liegen. Die am Hermann-Rietschel-Institut durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Anforderungen an die Behaglichkeit folgende Grenzen setzen:

- Bei einem geöffneten Kippfenster liegt die Grenze bei ca. 25 W/m<sup>2</sup>
- Bei zwei geöffneten Kippfenstern liegt die Grenze bei ca. 40 W/m<sup>2</sup>
- Die Außentemperatur sollte nicht unter 0 bis 6 °C liegen (je nach Fensteranordnung).

Zusammenfassend lässt sich eine Grenze der Leistung pro Zuluftöffnung **angeben**. Es sollten 250 bis 300 W/Zuluftstrahl nicht überschritten werden. Für den Bau künftiger Bürogebäude und für die Sanierung bereits bestehender bedeutet dies, dass Fassaden mit möglichst vielen unterschiedlich großen, einstellbaren Öffnungen versehen werden sollten. So lässt sich der benötigte Zuluftstrom individuell anpassen. Die Fensterlüftung in Bürogebäuden hat allerdings auch damit nur einen eingeschränkten Einsatzbereich. H 142

### Literatur

- [1] Andersen, K. T.: *Natural Ventilation in Atria*, ASHRAE Transactions, Symposia 1995.
- [2] Behne, M.: *Temperatur-, Luftgeschwindigkeits- und Konzentrationsverteilungen in Räumen mit Deckenkühlung*; Dissertation an der TU-Berlin (1995).
- [3] Detzer, R.: *Die Fassade des Gebäudes - Ein Instrument der Planung*; DKV Jahrestagung 1995 in Ulm.
- [4] DIN 1946 Teil 2: *Raumlufttechnik-Gesundheitstechnische Anforderungen*, Beuth Verlag Berlin; 1994.
- [5] Fitzner, K.: *Einfluß der Kühlleistungsdichte auf die Luftgeschwindigkeit*, Kälte Klima Ingenieur Ki 1996.
- [6] Krühne, H.: *Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Quellluftströmung*, Dissertation an der TU-Berlin, Hermann-Rietschel-Institut 1995.
- [7] Zeidler, O. Lang, J.: *Sanierung von raumlufttechnischen Anlagen*, BINE Profiinformativon II / 97, Fachinformationszentrum Karlsruhe.

## Volontär/in für die HLH

### Wir suchen Sie

Als Dipl.-Ing. Versorgungstechnik (TH/Universität) bringen Sie das erforderliche fachliche Hintergrundwissen mit. Kommunikationsfähigkeit und gute Ausdrucksfähigkeit in Wort und Schrift gehören zu Ihren Stärken. Sie verfügen über gute Englisch- und EDV-Kenntnisse.

### Wir sind

ein junges, expandierendes Unternehmen und bieten interessante Ein- und Aufstiegsmöglichkeiten. Im Springer-VDI-Verlag erscheinen 13 technisch-wissenschaftliche Fachzeitschriften und Fachmagazine.

### Wir bieten Ihnen

eine abwechslungsreiche Tätigkeit in einem engagierten, kreativen Redaktionsteam, gute Entwicklungs-Perspektiven und selbständiges Arbeiten mit großem Gestaltungs- und Handlungsspielraum. Sie schreiben und bearbeiten Beiträge und recherchieren. Dazu gehören auch der Besuch von Messen und Kongressen sowie von Unternehmen im In- und Ausland.

Dr. Thomas Burska-Erler, Leiter Redaktionen, freut sich auf Ihre Bewerbung:  
Tel. 02 11/61 03-4 02,  
E-Mail: burska@technikwissen.de



Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG, Verlag für technische Fachzeitschriften  
Heinrichstr. 24, 40239 Düsseldorf, Internet: www.technikwissen.de