

Quelllüftung und ihre Anwendungsbereiche

Vorteile und Einsatzgrenzen von Raumluftrömung

Dr.-Ing. Franc Sodec

Prinzip der Quelllüftung

Die Quelllüftung ist eine impulsarme Strömungsart, bei der die Raumluftrömung überwiegend durch den thermischen Auftrieb beeinflusst wird. Die Zuluft wird mit sehr geringer Luftgeschwindigkeit ausgeblasen. Die Ausblasgeschwindigkeit liegt in der Größenordnung von 0,1 – 0,2 m/s im Komfortbereich, 0,3 – 0,6 m/s im Industriebereich.

Die Luftdurchlässe werden überwiegend auf dem Boden aufgestellt. Die kältere Zuluft, die zur Abfuhr der Wärme erforderlich ist, legt sich durch die Schwerkraft auf den Boden, verteilt sich großflächig über der Bodenfläche und strömt anschließend an den Wärmequellen entlang nach oben, wo sie im Deckbereich abgesaugt wird (Abb.1). Auf diese Weise wird sowohl die Wärme als auch

die Stoffbelastung wirksam aus dem Aufenthaltsbereich verdrängt [1, 2]. Deshalb wird die Quelllüftung oft auch Verdrängungsströmung genannt (im englischsprachigen Raum *displacement ventilation*).

Durch den maßgeblichen Einfluss der thermischen Kraft auf die Raumluftrömung bildet sich stets ein vertikaler Temperaturgradient aus, der bei der Dimensionierung der RLT-Anlage zu be-

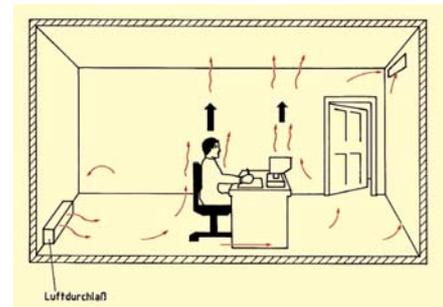


Abb.1 Prinzip der Quelllüftung

achten ist. Es entsteht aber auch eine vertikale Schichtung in der Konzentration luftfremder Stoffe, da diese aus dem Aufenthaltsbereich nach oben verdrängt werden [3].

Diese Strömungsart wird in Verwaltungsgebäuden, in Versammlungsräumen und in Industriehallen eingesetzt. Es sind dabei einige unterschiedliche Einsatzkriterien zu beachten, die hier beschrieben werden.

Quelllüftung in Verwaltungsgebäuden

In Verwaltungsgebäuden sind vor allem Büroräume zu betrachten. Hier beträgt die lichte Raumhöhe zwischen 2,7 und 3,0 m. Der vertikale Temperaturgradient ist wegen der relativ niedrigen Raumhöhe von großer Bedeutung.

Er hängt bei der Quelllüftung von folgenden Größen ab:

- spezifische Wärmebelastung im Raum (W/m²)

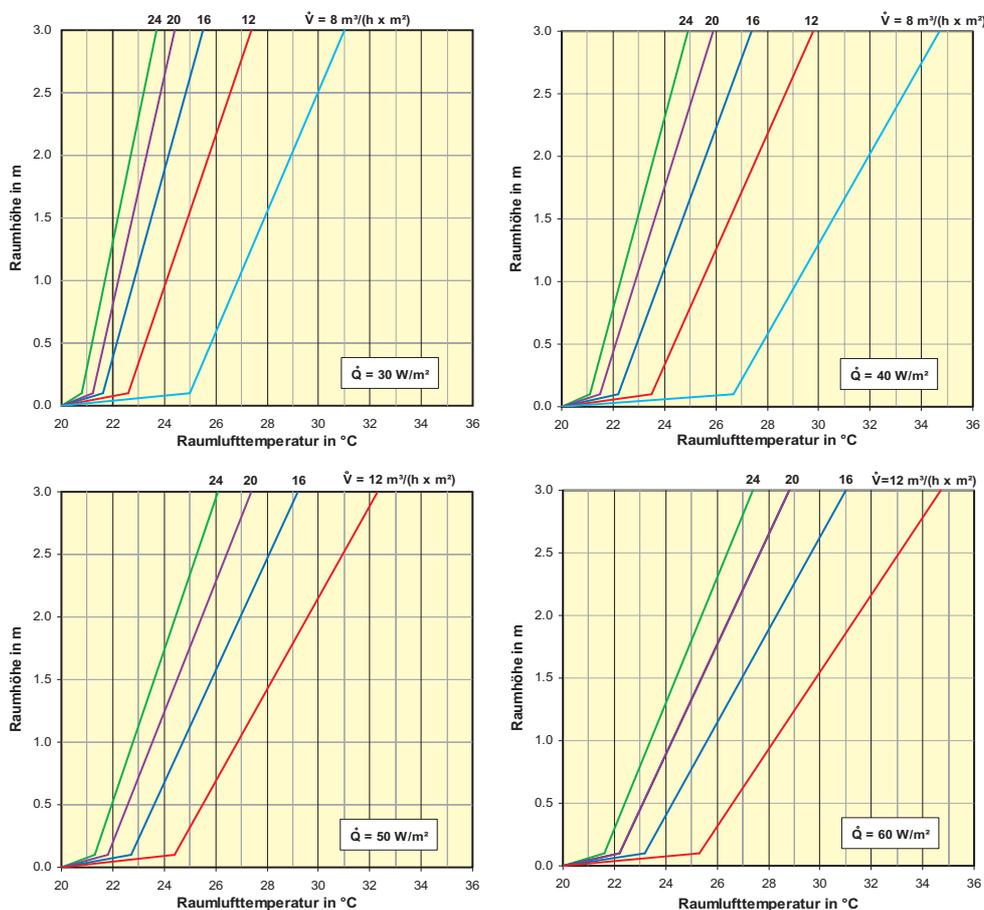


Abb.2 Näherungsweise berechneter vertikaler Temperaturverlauf in einem 3 m hohen Raum



Danke Dr. Franc Sodec



Im Januar 1972 trat Dipl.-Ing. Dr. Franc Sodec in die Fa. Krantz Lufttechnik, Aachen, ein. Bereits sechs Jahre später, im Januar 1978, übernahm er die Leitung der Abteilung Forschung und Entwicklung, die er bis zu seinem Ausscheiden aus der TKT Facility Engineering GmbH, Bergisch Gladbach, am 26. September 2002 innehielt. Schnell erwarb er sich einen internationalen Ruf auf dem Gebiet der Raumlufttechnik. In mehr als fünfhundert Veröffentlichungen berichtete er über seine Forschungen und gab die Zielrichtungen der technischen Entwicklungen vor. Dr. Sodec hat in entscheidender Weise die technische Innovationsstärke unseres Unternehmens geprägt und wird uns auch nach seinem Ausscheiden in den wohlverdienten Ruhestand mit Rat und Tat begleiten.

Mit neuem Elan

Seit 1. September 2002 ist **KRANTZ KOMPONENTEN** in die M+W Zander Gruppe, Stuttgart, eingebunden. M+W Zander zählt zu den weltweit führenden Unternehmen der Reinraumtechnik, Gebäudetechnik und des Gebäudemanagements. Durch diese Integration entstehen für unsere Kunden sinnvolle und nutzbringende Synergien und ein erweitertes Leistungsspektrum.

Mehr denn je werden wir Sie vom hohen Innovationsgrad unserer »Lösungen mit System« überzeugen.



Krantz Technology GmbH · Geschäftsbereich KOMPONENTEN

Postfach 10 09 53 · 52009 Aachen · Telefon +49 (0) 241.441 - 1 · Telefax +49 (0) 241.441 - 555 · info@krantz.de · www.krantz.de

JENOPTIK Group.

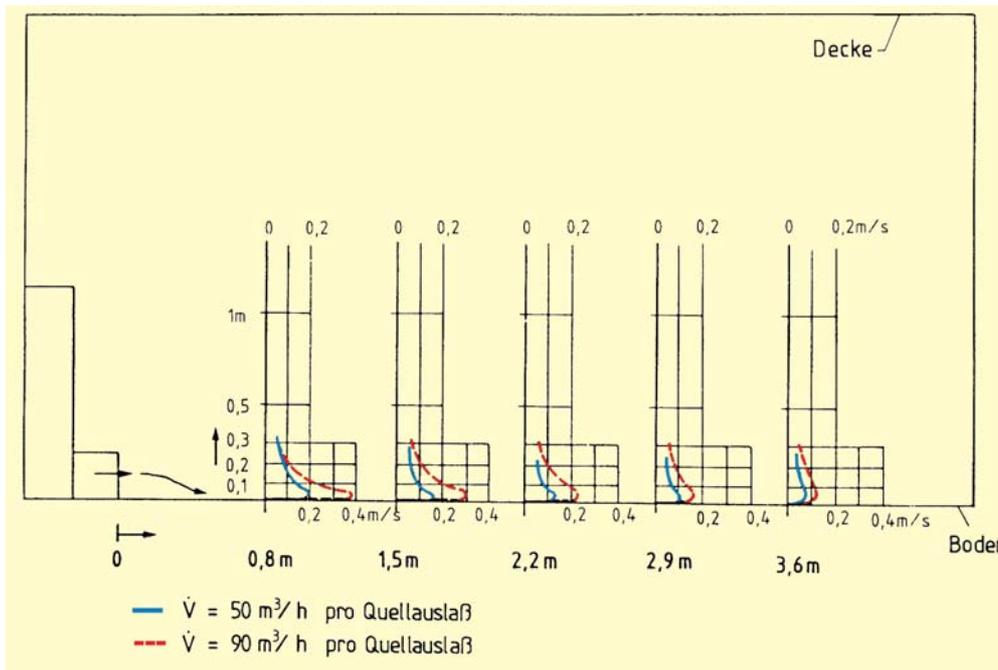


Abb.3 Verlauf der Luftgeschwindigkeiten bei der Quelllüftung (Beispiel)

- ▶ spezifischer Luftvolumenstrom ($m^3/(h \cdot m^2)$)
- ▶ Raumhöhe (m)

Der Temperaturgradient ist umso größer, je höher die Wärmebelastung, je niedriger der spezifische Luftvolumenstrom und je niedriger die Raumhöhe ist. Die Lufterwärmung im Raum kann man bei der Quelllüftung in zwei Bereiche einteilen [4, 5, 6]: Zunächst folgt die Erwärmung der Zuluft über dem Boden durch den Kontakt mit der wärmeren Bodenfläche und durch die Beimischung der Raumluft. Anschließend folgt der annähernd lineare Temperaturanstieg über die Raumhöhe durch die Verdrängung der Wärmelasten nach oben. Mit einigen Vereinfachungen lässt sich der vertikale Temperaturverlauf im Raum annähernd berechnen. Die Ergebnisse einer solchen Berechnung sind für einen 3 m hohen Raum in Abb.2 dargestellt. Dem Bild ist z.B. zu entnehmen, dass für einen spezifischen Luftvolumenstrom von $20 \text{ m}^3/(h \cdot m^2)$ der vertikale

Temperaturgradient folgende Werte annimmt:

- $30 \text{ W/m}^2 \rightarrow 1,2 \text{ K/m}$
- $40 \text{ W/m}^2 \rightarrow 1,5 \text{ K/m}$
- $50 \text{ W/m}^2 \rightarrow 2,1 \text{ K/m}$
- $60 \text{ W/m}^2 \rightarrow 2,3 \text{ K/m}$

Der quantitative Einfluss des spezifischen Luftvolu-

menstromes auf den Temperaturgradienten ist z.B. für eine Wärmebelastung von 50 W/m^2 mit folgenden Werten zu belegen:

- $12 \text{ m}^3/(h \cdot m^2) \rightarrow 2,7 \text{ K/m}$
- $16 \text{ m}^3/(h \cdot m^2) \rightarrow 2,3 \text{ K/m}$
- $20 \text{ m}^3/(h \cdot m^2) \rightarrow 2,1 \text{ K/m}$
- $24 \text{ m}^3/(h \cdot m^2) \rightarrow 1,7 \text{ K/m}$

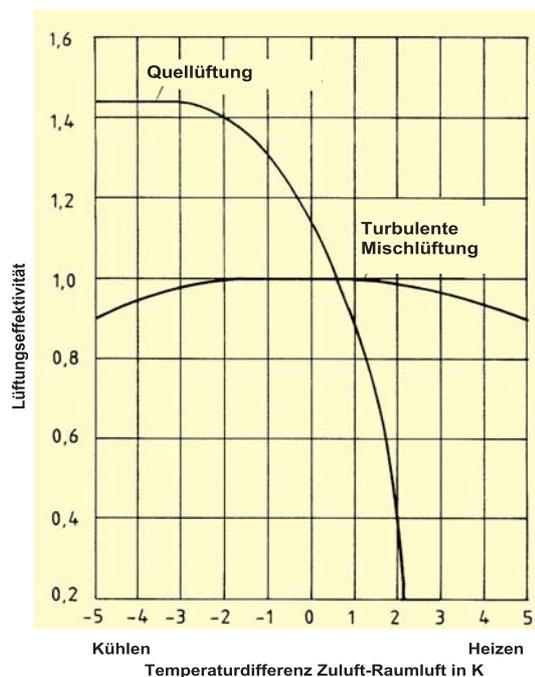


Abb.4 Lüftungseffektivität im Kühl- und Heizfall

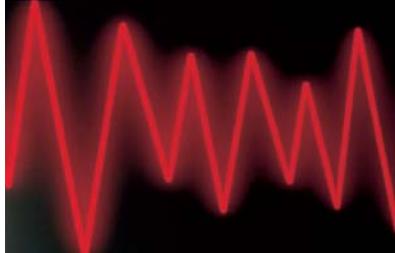
Der vertikale Temperaturgradient beeinflusst andererseits die thermische Behaglichkeit. Zu große vertikale Temperaturgradienten wirken auf die Menschen unbehaglich. Das Unbehagen über „kalte Füße, warmen Kopf“ ist allgemein bekannt. Um dem vorzubeugen, lässt die **DIN 1946, Teil 2** einen maximalen vertikalen Temperaturgradienten von 2 K/m zu.

Bewertet man die Berechnungsergebnisse nach diesen Kriterien, so stellt man fest, dass in einem 3 m hohen Raum der Grenzwert für spezifische Wärmelasten von 50 W/m^2 fast stets überschritten wird. Verschiedene Messergebnisse und Literaturstellen [1, 6] bestätigen diese Aussage. Demnach gilt für die Quelllüftung in Büroräumen, dass die thermische Behaglichkeit bis zu einer spezifischen Wärmebelastung von ca. 45 W/m^2 eingehalten werden kann.

Ein wichtiges Kriterium ist auch die Ausblasgeschwindigkeit. Wegen dem niedrigen Strahlimpuls legt sich der kalte Luftstrahl infolge der Schwerkraft auf den Boden, schnürt ein und wird beschleunigt (Abb.3).

Die Luftgeschwindigkeiten im Nahbereich des Luftdurchlasses sind höher als die Austrittsgeschwindigkeit. So ist z.B. nach Abb. 3 in $0,8 \text{ m}$ Entfernung vom Luftdurchlass die Luftgeschwindigkeit $0,2 \text{ m/s}$ bei einer Ausblasgeschwindigkeit von $0,15 \text{ m/s}$ und $0,38 \text{ m/s}$ bei der Austrittsgeschwindigkeit von $0,25 \text{ m/s}$. Um sicherzustellen, dass eine zugfreie Raumluftströmung auch im Bodenbereich in ca. 1 m Abstand vom Luftdurchlass erreicht wird, ist es zu empfehlen, die Ausblasgeschwindigkeit auf $0,2 \text{ m/s}$ zu begrenzen.

www.robatherm.de



MSR-Technik



Kältetechnik



Sorptionstechnik



**Direkt-
befeuerung**



Hygiene

robatherm 
the air handling company

robatherm – der Spezialist, wenn es um Raumluftechnische Geräte geht. Individuell, leistungsstark und wirtschaftlich: das ist unsere Stärke. Genau deshalb finden Sie unsere Geräte überall dort, wo komplexe Anforderungen projektspezifische Lösungen verlangen. In Bürogebäuden und Produktionshallen ebenso wie in Konzertsälen und Krankenhäusern. Wir sprechen von „air handling“ und meinen damit raumluftechnische Lösungen auf den jeweiligen Einsatzzweck individuell abgestimmt. Mehr Informationen finden Sie unter www.robatherm.de

robatherm · Industriestr. 26 · 89325 Burgau, Germany · Telefon 08 222 / 999-0 · Telefax 08 222 / 999-222 · E-Mail info@robatherm.de · www.robatherm.de



Abb.5 Stuhlquellauslass

Abb.3 ist auch zu entnehmen, dass höhere Luftgeschwindigkeiten lediglich in der bodennahen Schicht von einigen cm auftreten. Im restlichen Raum sind die Raumluftgeschwindigkeiten stets äußerst gering und liegen in der Größenordnung von 0,04 – 0,08 m/s. Der Grund liegt darin, dass die aufsteigende

Luftströmung fast ausschließlich durch die Thermik beeinflusst wird. Die bis jetzt beschriebene Charakteristik der Raumluftströmung gilt für den Kühlfall, d.h. wenn die Zuluft kälter als die Raumluft ist. Wird die Zuluft wärmer als die Raumluft, d.h. es tritt der Heizfall auf, so entweicht die Zuluft unmittelbar nach dem Austritt aus dem Luftdurchlass nach oben. Dafür sorgt beim fehlenden Strahlimpuls die Schwerkraft bzw. die thermische Auftriebskraft, die dann von unten nach oben wirkt. Die Konsequenz ist, dass die warme frische Zuluft nicht die Personen erreicht, sondern vorher in den Deckenbereich entweicht, wo die Abluft abgesaugt wird. So verschlechtert sich deutlich die Luftqualität im Aufent-

haltsbereich. Aus diesem Grunde eignet sich die Quelllüftung in Büroräumen nicht zum Heizen.

Dies bestätigen Untersuchungen der Lüftungseffektivität, deren Ergebnisse beispielhaft in Abb.4 dargestellt sind [7]. Ablesbar ist die Lüftungseffektivität für den Kühlfall und Heizfall sowohl für die Quelllüftung als auch für die turbulente Mischlüftung.

Während sich bei der turbulenten Mischlüftung die Lüftungseffektivität mit der Wärmelast nicht viel ändert, ist der Einfluss bei der Quelllüftung vehement. Im Kühlfall wird erwartungsgemäß eine sehr hohe Lüftungseffektivität, d.h. hohe Luftqualität im Aufenthaltsbereich erreicht. Sie ist deutlich höher als bei der turbulenten Mischlüftung,



Abb.6 Stufenquellauslass

was einen der wesentlichen Vorteile der Quelllüftung ausmacht. Sobald jedoch die Zuluft wärmer wird als die Raumluft, verschlechtert sich rapide die Luftqualität.

Wird die Quelllüftung in Büroräumen eingesetzt, sind zum Heizen andere Mittel einzusetzen, z.B. statische Heizkörper.

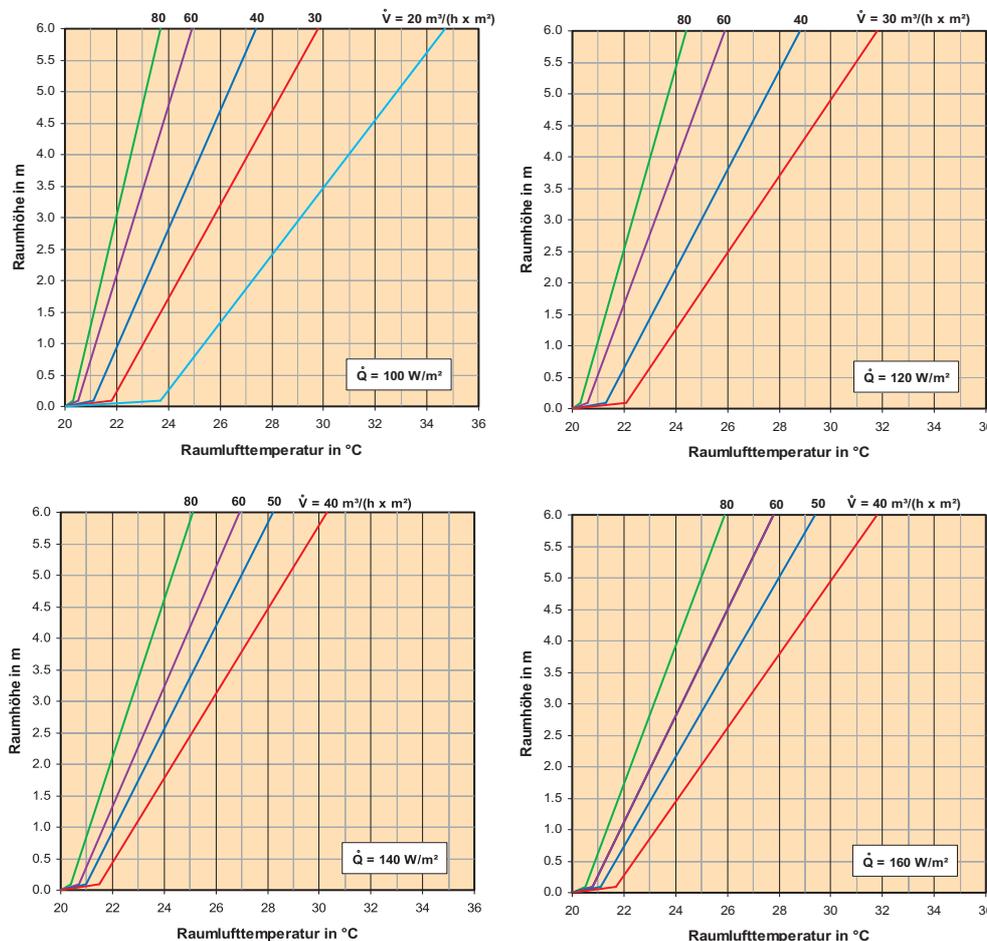


Abb.7 Näherungsweise berechneter vertikaler Temperaturverlauf in einem 6 m hohen Raum

Quelllüftung in Versammlungsräumen

In Versammlungsräumen sind viele Randbedingungen vorteilhaft für die Quelllüftung:

- ▶ größere Raumhöhe
- ▶ geringer vertikaler Temperaturgradient
- ▶ eine Vielzahl von Luftdurchlässen in Stühlen oder Stufen integriert
- ▶ geringe Luftvolumenströme, dadurch geringe Ausblasgeschwindigkeiten möglich
- ▶ Luftdurchlässe in unmittelbarer Nähe der einzelnen Personen
- ▶ hohe Luftqualität auch im Heizfall

Diese günstigen Voraussetzungen werden dann sinnvoll genutzt, wenn die Zuluft aus dem Stuhlbein oder aus der Stufe ausgeblasen wird. Zu diesem Zweck wird entweder das Stuhlbein perfo-

riert und als Quellausschlüsse ausgebildet oder es werden in die Stufen Luftdurchlässe eingebaut (Abb.5 und 6). Die Luftzufuhr über Stuhlquellausschlüsse ist nur bei fester Bestuhlung möglich. Stufenquellausschlüsse können bei fester oder loser Bestuhlung eingesetzt werden. Sie verlangen eine stufenförmige Ausbildung des Versammlungsraumes. Pro Person wird normalerweise ein Luftvolumenstrom von 30-40 m³/h ausgeblasen [8]. Die Zulufttemperatur soll mindestens 20°C betragen. Wegen der Nähe der Luftdurchlässe zu den Personen ist die Ausblasgeschwindigkeit auf maximal 0,18 m/s zu begrenzen. Auf diese Weise wird eine zugfreie Raumluftströmung um die Personen erreicht. Bei Stufen-Luftdurchlässen ist darauf zu achten, dass sich die Strömungen aus den einzelnen Stufenreihen nicht überlagern, was zu immer höheren Luftgeschwindigkeiten bei den tiefer liegenden Stufen führen würde. Mit geeigneter Konstruktion des Quellausschlusses, bei dem die Zuluft leicht nach oben geblasen wird, lässt sich dies vermeiden.

Bei größerer Raumhöhe ist der vertikale Temperaturgradient unkritischer als in Büroräumen. Abb.7 zeigt den vertikalen Temperaturgradienten für einen 6 m hohen Versammlungsraum.

Die spezifische Wärmelast beträgt im dicht belegten Theater- oder Konzertsaal 150 – 160 W/m² (1 Person auf ca. 0,5 m² + Beleuchtung). Wird pro Person ein Luftvolumenstrom von 30-40 m³/h zugeführt, so entspricht dies ca. 60-80 m³/(h m²). Die erforderliche Temperaturdifferenz zwischen Abluft und Zuluft ergibt sich zu 6-8 K. Der vertikale Temperaturgradient beträgt in einem 6 m hohen Raum unter diesen Bedingungen max. 1,2 K/m (Abb. 7).

Es wird sowohl im Kühl- als auch im Heizfall eine hohe Luftqualität im Aufenthaltsbereich erreicht, da die Zuluft in unmittelbarer Nähe der Personen ausgeblasen wird. Im Heizfall entweicht zwar die warme Zuluft bald nach dem Austritt nach oben, umströmt jedoch dabei die Personen, wodurch es zu keiner Beeinträchtigung der Luftqualität kommt.

Sind die Versammlungsräume mit Emporen oder

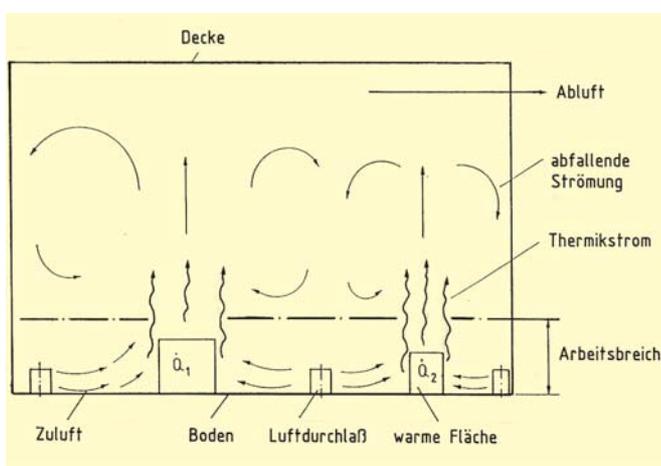


Abb.8 Verdrängungsströmung von unten nach oben in einer Industriehalle

Terminal 3 Flughafen Stuttgart



26 RLT-Geräte der Baureihen AT4 und AT58 sorgen mit einer Gesamtluftmenge von 1,5 Mio. m³/h für eine wirtschaftlichkeits- und behaglichkeits-optimierte Klimatisierung des neuen Gebäudekomplexes. Ein technisches Highlight stellt dabei das RLT-Gerät für die zentrale Außenluftaufbereitung dar, das mit einer Luftmenge von 2 x 360000 m³/h und seinen Abmessungen von 31 m x 23 m x 6,2 m einen sowohl ingenieur-technischen als auch logistischen Meilenstein auf dem Gebiet der raumluft-technischen Geräte darstellt.

Neben der eigentlichen Größe des Geräts zur zentralen Außenluftaufbereitung der Baureihe AT58 beeindruckt auch die integrierte Technologie zur nachhaltigen Klimatisierung. Wärme- und Kälterückgewinnung, Verwendung von adiabater Kühlung sowie der Einsatz des energieeffizienten Lufttransportsystems AL-KO AirVent, sind nur einige Beispiele für die ökonomisch und ökologisch optimierten Systemlösungen, die bei der Klimatisierung des neuen Terminals 3 erfolgreich umgesetzt wurden.

www.al-ko.de

Galerien versehen, so ist darauf zu achten, dass wegen des vertikalen Temperaturgradienten die Umgebungstemperatur vor der Empore bzw. Galerie ca. 3 K wärmer sein kann als im Parterre. Um das Eindringen dieser warmen

- ▶ Luftschleier an der Vorderkante der Empore
- ▶ Erhöhung des Luftvolumenstromes pro Person auf der Empore um 15-20%

Eine Anordnung von Quellausschlüssen vor den Seitenwänden ist für Räume mit tieferen Sitzreihen nicht zu empfehlen. Der erforderliche Luftvolumenstrom pro Meter

Wandlänge wäre zu hoch, und der Nahbereich, in dem höhere Luftgeschwindigkeiten herrschen, würde in die Sitzreihen hineinragen. Dies würde zu Zugerscheinungen führen.

Eine solche Anordnung ist nur für Versammlungsräume mit geringer Belegungsdichte, wie Restaurants, Konferenzzimmer, Lesesäle, prinzipiell denkbar.

Quelllüftung in Industriehallen

Quelllüftung bzw. Verdrängungsströmung hat in Industriehallen dann ihre große Berechtigung, wenn die Produktion mit einer signifikanten Wärmefreisetzung und Schadstoffemission verbunden ist. Die Wärme und die

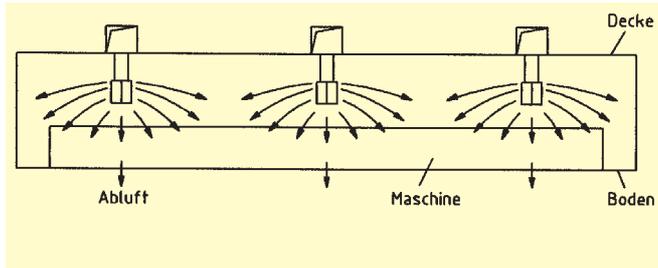


Abb.9 Verdrängungsströmung von oben nach unten in einer Industriehalle

Schadstoffe werden effektiv aus dem Aufenthaltsbereich verdrängt.

Überwiegt die Wärmeproduktion oder die Emission leichter Schadstoffe, so wird die Zuluft vorzugsweise im Bodenbereich eingeblasen und die Abluft im Deckenbereich abgesaugt [1]. Die thermische Auftriebskraft und die Auftriebskraft infolge von Dichteunterschieden der Schadstoffe zur Luft bewirken die Nachströmung der impulsarmen Zuluft nach oben (Abb. 8). Zu solchen Hallen gehören z.B. Gießereien, Druckereien, Bügeleien.

Überwiegt dagegen die Emission schwererer Schadstoffe, wie z.B. Fasern, Lackpartikel, Schleifstäube, Styrol-Dämpfe oder Formaldehyd-Dämpfe, so wird die Zuluft bevorzugt turbulenzarm oberhalb des Aufenthaltsbereiches ausgeblasen und

die Abluft in Bodennähe abgesaugt (Abb. 9). Beispielfhaft gehören dazu Spinnereien, Webereien, Lackereien oder Laminierungsprozesse [1].

Die hohe Effektivität der Wärme- und Schadstoffabfuhr durch die Quelllüftung zeigen Abb.10 und 11.

In Abb.10 ist z.B. die erreichbare Raumlufttemperatur dargestellt, die sich in einer Druckerei mit einer Wärmebelastung von 180 W/m² bei der turbulenzarmen Mischlüftung und bei der Verdrängungsströmung mit Luftdurchlässen im Bodenbereich einstellen würde [9]. Bei gleichem Luftvolumenstrom und gleicher Zulufttemperatur erreicht man im Aufenthaltsbereich mit der turbulenten Mischlüftung eine Raumlufttemperatur von 31°C, mit der Verdrängungsströmung 24°C. Abb.11 zeigt die Anzahl der

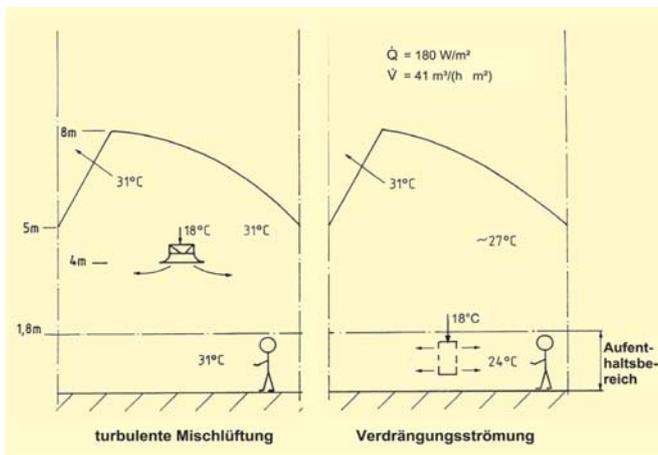


Abb.10 Erreichbare Raumlufttemperatur im Aufenthaltsbereich (Beispiel)

Partikel, die an den einzelnen Arbeitsplätzen einer Autolackiererei erreicht werden, wenn die Zuluft aus ca. 3 m Höhe turbulenzarm aufgefächert nach unten geblasen wird [10]. Obwohl die Zuluft nur mit Filtern der Klasse F9 gereinigt wird, erreicht man Reinraumklassen zwischen

ten. Sehr geeignet sind Ausblashöhen von ca. 3 m.

Aus den einzelnen Luftdurchlässen werden deutlich höhere Luftvolumenströme ausgeblasen, als in Verwaltungsgebäuden und in Versammlungsräumen. In der Regel beträgt der Luftvolumenstrom pro Luftdurchlass

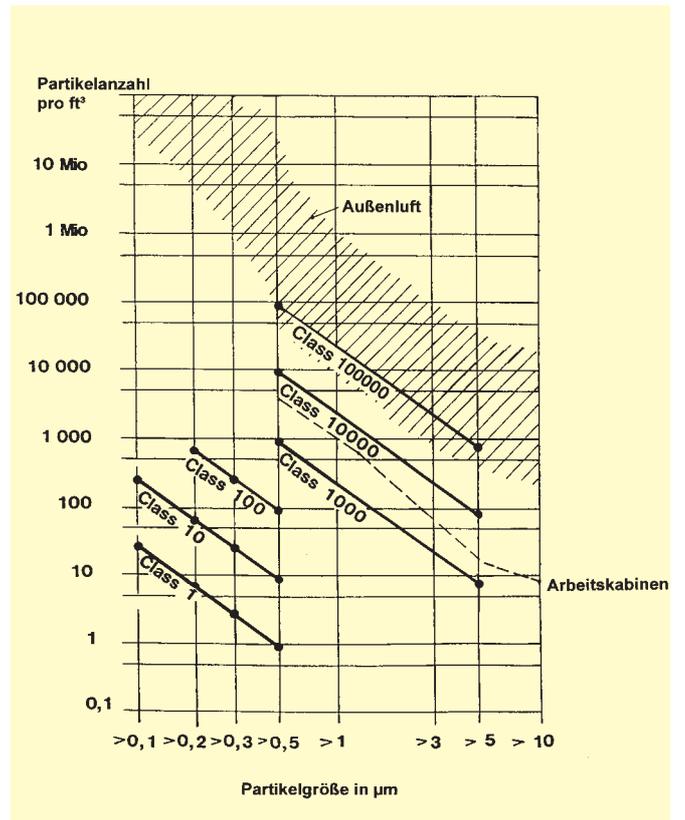


Abb.11 Partikelkonzentration an den einzelnen Arbeitsplätzen einer Autolackiererei (Beispiel)

10.000 und 100.000 Partikeln nach US-Fed. Standard 209.

Vorteilhaft in Industriehallen wirkt sich - ähnlich wie in Versammlungsräumen - die große Hallenhöhe aus, die zwischen 6 m und 10 m oder mehr betragen kann. Bei der Luftführung von unten kann die Wärme wirkungsvoll in den Deckenbereich verdrängt werden.

Wird die Zuluft turbulenzarm oberhalb des Aufenthaltsbereiches ausgeblasen, so ist die Ausblashöhe so niedrig wie möglich zu hal-

ten. Das bedeutet, es werden große Eindringtiefen erreicht, die in der Größenordnung von 10-20 m liegen. Im Winter wird in den meisten Industriehallen mit der Zuluft beheizt. Um das vorzeitige Entweichen der warmen Zuluft nach oben zu verhindern, werden die Quellauslässe bzw. Verdrängungsauslässe für Industriehallen in der Regel verstellbar ausgeführt. Ist die Zuluft wärmer als die Raumluft wird die Zuluft steiler nach unten geblasen. Die Verstellung ge-



schiebt entweder manuell oder automatisch in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Raumluft, entweder mit einem Stellmotor oder mit dem Thermostaten.

Zusammenfassung

Die Quelläftung weist in Büroräumen, Versammlungsräumen und Industriehallen verschiedene Merkmale auf.

In Büroräumen mit den Raumhöhen von ca. 3 m eignet sich die Quelläftung gut bis zu spezifischen Raumkühllasten kleiner 50 W/m^2 . Außerdem muss die Zuluft stets kälter als die Raumluft sein. Die minimale Zulufttemperatur ist 20°C , die maximale Ausblasgeschwindigkeit $0,20 \text{ m/s}$. Im Kühlfall erreicht man eine hohe Lüftungseffektivität, die sich im Heizfall rapide verschlechtert. Die Quelläftung eignet sich in Büroräumen nicht zum Heizen. In Versammlungsräumen wird vorzugsweise jeder Person bzw. jedem Sitzplatz ein Quellauslass zugeordnet.

Wegen der Nähe des Luftdurchlasses zu den Personen soll die Ausblasgeschwindigkeit maximal $0,18 \text{ m/s}$, die Zulufttemperatur minimal 20°C betragen. Der Quellauslass kann gut in das Stuhlbein oder in die Stufe integriert werden. Wegen der geringen erforderlichen Eindringtiefe kann die Quelläftung auch zum Heizen benutzt werden. Die größte Berechtigung hat die Quelläftung in Industriehallen mit signifikanter Wärmeproduktion und Schadstoffemissionen. Die Zuluft wird entweder im Bodenbereich oder oberhalb des Aufenthaltsbereiches ausgeblasen. Die Kriterien dabei sind die Art der emittierten Schadstoffe und die Inten-

sität der Wärmeproduktion. Die Luftdurchlässe werden in der Regel verstellbar ausgeführt, damit mit der Zuluft auch geheizt werden kann.

*Autor: Dr.-Ing. Franc Sodec, Leiter
Forschung und Entwicklung,
Krantz TKT Facility Engineering,
Bergisch-Gladbach*

*Fotos und Grafiken,
Krantz TKT Facility Engineering*

Literatur

- [1] Sodec, F.: Verdrängungsströmung. TAB, Nr. 7, 1990
- [2] Detzer, R., Dittes, W.: Gezielte Belüftung der Arbeitbereiche in Produktionshallen zum Abbau der Schadstoffbelastung. BMFT-Bericht HLK 1-92, 1992
- [3] Fitzner, K.: Impulsarme Luftzufuhr durch Quelläftung. HLH 39, Nr. 4, 1988
- [4] Krühne, H.: Auslegung und Grenzen der Quelläftströmung. HLH 49, Nr. 4, 1998
- [5] Appleby, P.: Displacement ventilation: a design guide. Building Service, April 1989
- [6] Yuan, X. et al.: A Critical Review of Displacement Ventilation. Ashrae Transactions 4101 (RP-949)
- [7] Wyatt, T.: The DSCH approach to more natural indoor air climates. CLIMA 2000 Conference, London, 1993
- [8] Sodec, F.: Air distribution in assembly halls. European Directory of Sustainable and Energy Efficient Building, 1998. James & James Ltd.
- [9] Sodec, F.: Energetisch wirksame Luftzufuhr in Produktionshallen. HLH, Nr. 7, 1998
- [10] Sodec, F.: Air distribution Systems for Paintshops. 4th International Conference on Ventilation for the Automotive Industry, June, 2000, Aachen