

Die gute Belüftung von großen Versammlungsräumen mit stark wechselnder Nutzung ist nicht die bevorzugte Einsatzdomäne der Quelllüftung, da freie Raumströmungen Einfluß auf die Verteilung der Frischluft nehmen. Es wird ein Saal

mit 800 Sitzplätzen bei unterschiedlicher Nutzung untersucht. Effekte bei der Luftführung im Raum unter varierten Belastungssituationen, die bereits während der Planung anhand einer numerischen Strömungssimulation erkennbar waren, unterzogen die Autoren einer Messung und strömungstechnischen Interpretation.

Ergebnisse, besonders bei intensivem Wärmeeintrag durch einen Beleger, zeigt man die AIVC 11172.

Untersuchung zum Einsatz von Quellluftanlagen in großen Versammlungsräumen

Jens Männel, Matthias Hoffmann, Zwickau

Die Belüftung von Räumen mit impulsarmen Luftauslässen, oft als Quelllüftung bezeichnet, hat sich in einer großen Anzahl von ausgeführten Anlagen als komfortable und wirtschaftliche Alternative zur Mischlüftung erwiesen. Anlagen dieser Art, insbesondere mit seitlicher Zulufteinbringung, sind bisher jedoch hauptsächlich in Räumen kleinerer Abmessungen hergestellt und untersucht worden [1].

In großen Versammlungsräumen ist diese Lösung vergleichsweise selten angewendet worden. Wo es möglich ist, greift man auf bewährte Konzepte zurück, die eine Verteilung der Luft im Aufenthaltsbereich der Personen gestatten. Bei der Planung der Musikhalle Markneukirchen [2] forderte der Auftraggeber, die Saallüftung so auszuführen, daß eine bewegliche Bestuhlung auf einem durchgehenden Parkettfußboden aufgestellt werden kann. Eine impulsarme Lüf-



Dipl.-Ing. Jens Männel VDI diplomierte an der TU Chemnitz-Zwickau in der Fachrichtung Wärme- und Umwelttechnik (Prädikat Auszeichnung). Im Ingenieurbüro Dr. Schlott und Partner GmbH, Zwickau, befaßt er sich neben der Planung und Bauüberwachung von wärme-, klima- und sanitärtechnischen Anlagen mit der Behandlung von Fragen der FernwärmeverSORGUNG sowie der Lösung akustischer Probleme in RLT-Anlagen.

Prof. Dr. rer. nat. Matthias Hoffmann VDI vertritt an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) das Lehrgebiet Computergestützte Planungsmethoden im Studiengang Versorgungs- und Umwelttechnik.



tung konnte deshalb nur über Luftauslässe an den Längswänden und vor der Fensterfront erfolgen. Um Gewißheit darüber zu erlangen, daß bei verschiedenartiger Nutzung und Auslastung der Sitzkapazität eine komfortable Belüftung des Saales gegeben ist, wurden wäh-

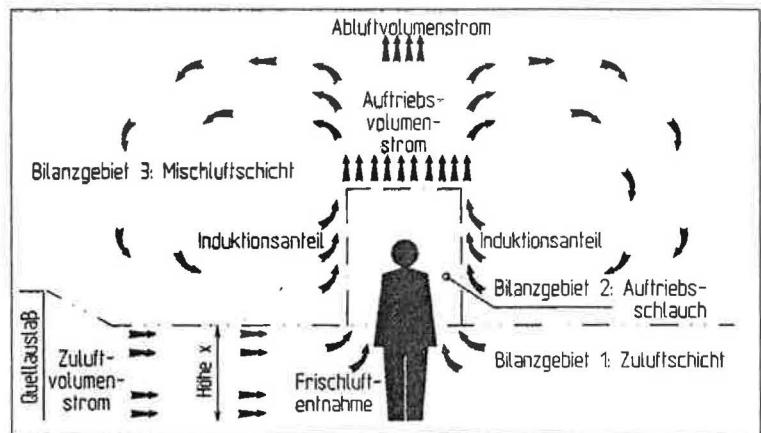


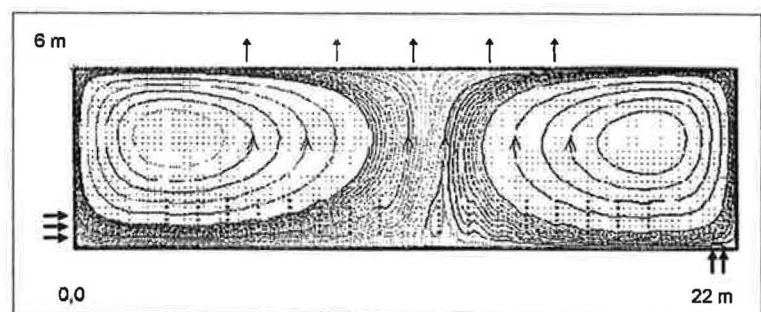
Bild 1 Bilanzgebiete der Quelllüftungsströmung.

Beschreibung der Quelllüftung im Modell

rend der Planung der Lüftungsanlage an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Zwickau (FH) numerische Raumströmungssimulationen für unterschiedliche Nutzungs situationen angestellt [3]. Bereits bei der Simulation wurde bestätigt, daß die Raumgeometrie und die Verteilung der Wärmequellen einen entscheidenden Einfluß auf die Entwicklung des Strömungsbildes haben. In der Arbeit [4] sind die Prognosen der Computersimulation über die Wirkung der Quelllüftung in der Halle nach deren Fertigstellung einer genaueren Untersuchung unterzogen worden. Einige Ergebnisse sollen im vorliegenden Beitrag besprochen werden.

Physikalische Modelle für die Quelllüftung sind in der Literatur mehrfach behandelt worden, stellvertretend sei auf [5] verwiesen. In einem Raum mit der typischen Anordnung der impulsarmen Luftauslässe in Fußbodennähe und der Absaugungen im oberen Raumbereich können Bilanzgebiete, die in Bild 1 wiedergegeben sind, unterschieden werden.

Bild 2 Numerische Simulation bei mittlerer Belegung des Saales – Stromlinien im quasistationären Zustand – Halbquerschnitt in der Lage der Meßstellen.



Die Relation zwischen Zuluftvolumenstrom und inneren Lasten sowie deren Anordnung bestimmt das Aussehen des Strömungsbildes.

Es kann sich eine Verdrängungsströmung ausbilden, wenn der Auftriebsstrom der Personen und Geräte im Raum geringer als der Zuluftvolumenstrom ist. Sind beide Ströme annähernd gleichgroß, ergibt sich ein Bild nach der Idealvorstellung der Quellluftströmung: Aus einem Frischluftsee am Boden entnehmen die Verbraucher so viel Luft, wie sie durch Auftrieb bewegen können. Diese Situation für schwach besetzte Räume ist in [1; 5 u.a.] beschrieben. In Räumen, die eine höhere Wärmequellendichte aufweisen, so z.B. Konzertsäle, Vorlesungsräume u.ä., herrscht nach kürzerer Zeit eine Luftzirkulation vor, die zu einer nicht erwünschten Mischung von frischer und verbrauchter Luft führen kann, sofern sie sich unvorhergesehen entwickelt. Einen Eindruck dieser Erscheinung vermittelt das Strömungsbild aus der numerischen Strömungssimulation des Saales in **Bild 2**. Für den Planer kommt es darauf an zu erkennen, ob in den Randbereichen unkomfortable Strömungsgeschwindigkeiten auftreten können oder im Innenbereich eine Unterversorgung mit Frischluft zu bemängeln ist.

Nachweis der Frischluftströmung

Die Abgrenzung von Frischluft- und darüberliegender Mischungsschicht bei Quellluftanlagen ergibt sich aus einer signifikanten Änderung der Schadstoffkonzentration über der Raumhöhe und kann durch den Kontaminationsgrad quantifiziert werden. Die Höhe der Frischluftschicht gilt nach [5] als erreicht, wenn der Kontaminationsgrad (= inverse Lüftungseffektivität nach DIN 1946/2) den Wert 0,2 überschreitet. Für die Untersuchung größerer Räume unter Betriebsbedingungen ist es wegen des großen Zeitaufwandes nahezu unmöglich die Ausbildung der Frischluftschicht durch Luftqualitätsmessungen zu verfolgen, be-

sonders dann, wenn das Ziel gestellt worden ist, die Messung während öffentlicher Veranstaltungen durchzuführen. Daher war es notwendig, nach einfachen und doch aussagefähigen Meßmethoden zu suchen. In Frage kommt eine Messung der Luftgeschwindigkeit, um Strömungen am Boden nachzuweisen. Des weiteren wurde der Zusammenhang zwischen den Temperaturen in einer bodennahen Luftschicht und dem Grad der Mischung von Raumluft und zugeführter Frischluft genutzt. Wegen der niedrigeren Temperatur der zuströmenden Frischluft korrelieren Luftqualität und Lufttemperatur deutlich.

In einem Raum mit Quellluftanlage bewirkt der von Personen hervorgerufene Auftriebsstrom, daß die Lufttemperatur in Bodennähe immer unter der Temperatur in der Mischungszone liegen wird. Es ist physikalisch sinnvoll anzunehmen, daß bei einer funktionierenden Quelllüftung eine Inversion der Temperaturschichtung ausgeschlossen werden kann. Andererseits wird sich bei einer Übertemperatur von Raumluft- und Boden-temperatur gegenüber der Zulufttemperatur die über den Boden

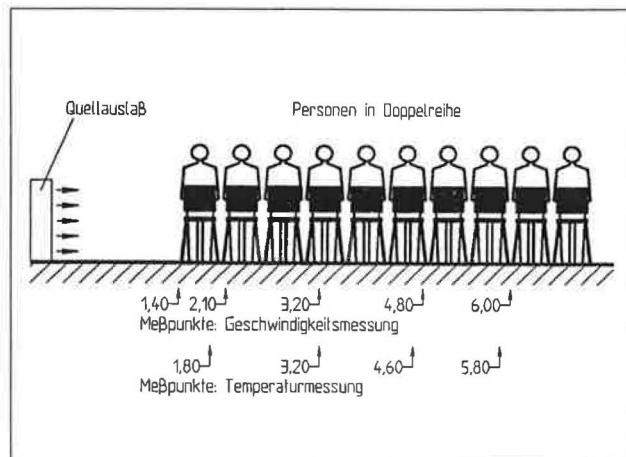


Bild 3 | Anordnung zur Temperatur- und Luftgeschwindigkeitsmessung im Laborversuch.

- a) der Wärmeübergang vom Boden an die Frischluft
- b) Mischungsvorgänge an der Grenzschicht von schnellbewegter Frischluftschicht und höheren, langsam bewegten Luftschichten und
- c) Vermischungen mit rückgeführter oder stehender, verbrauchter Luft.

Die ersten zwei Vorgänge sind hauptsächlich von den Relativge-

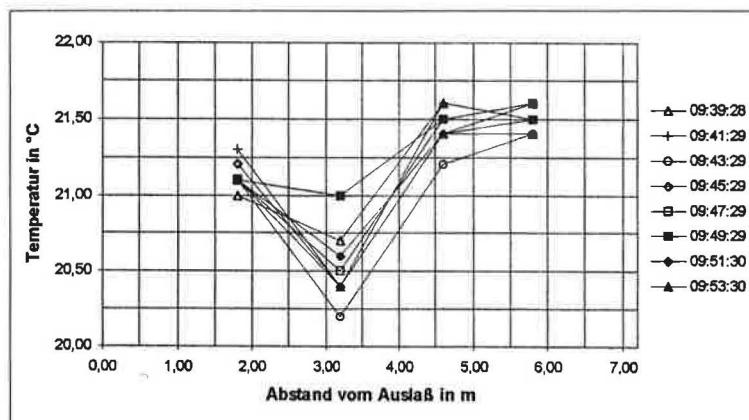


Bild 4 | Entwicklung des Temperaturverlaufes im Laborversuch mit einseitiger Zulufteinströmung.

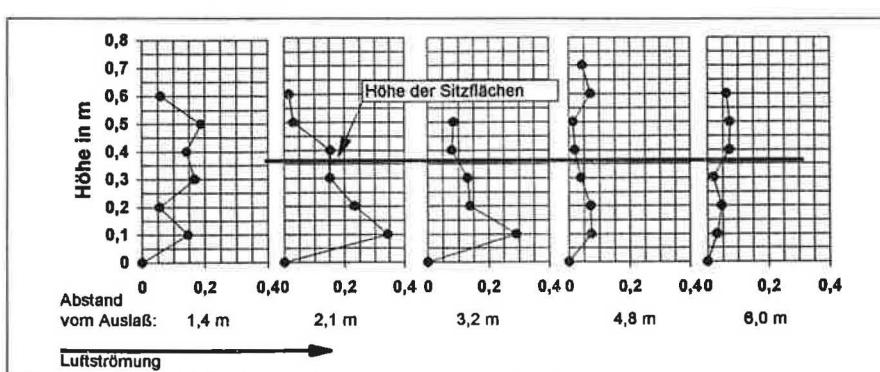


Bild 5 | Geschwindigkeitsprofile in m/s im Laborversuch mit einseitiger Zuströmung.

Untersuchung zum Einsatz von Quellluftanlagen in großen Versammlungsräumen

Bild 6 | Meßaufbau der Temperaturfühler in 0,25 m Höhe über dem Boden für die Meßreihen 1 und 2 in der Musikhalle.

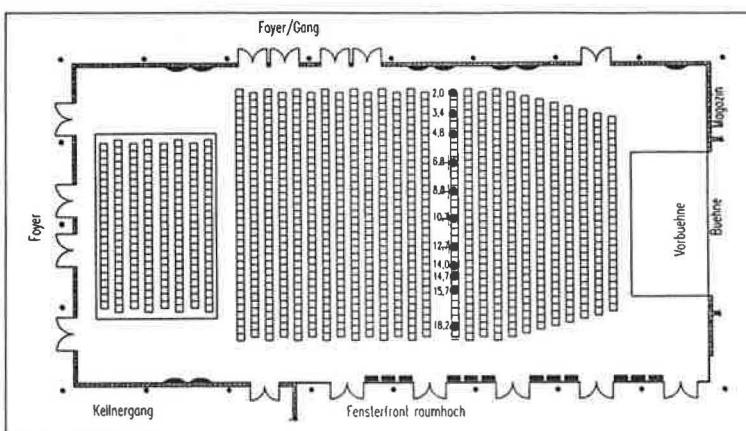
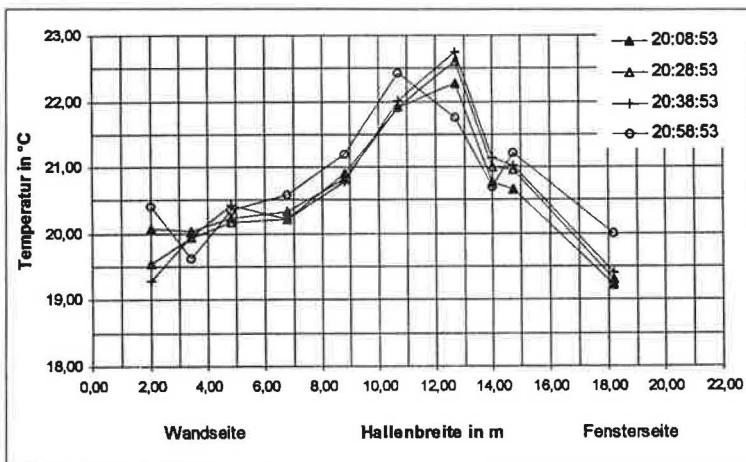


Bild 7 | Entwicklung des Temperaturverlaufs aus den 10-Minuten-Mittelwerten der Meßreihe 1 in der Musikhalle (150% Belegung) bei zweiseitiger Zulufteinströmung.



schwindigkeiten bestimmt und dabei näherungsweise unabhängig von der Wärmequellendichte im Raum, solange der Ausbreitungsraum der Frischluft nicht verstellt wird. Der dritte Vorgang dagegen wird wesentlich von den Wärmequellen im Raum hervorgerufen und beeinflußt. Da im Beinbereich sitzender Personen genügend Freiraum für die Frischluftausbreitung bleibt, können die Vorgänge a) und b) als nahezu konstant angesehen werden. Folglich kann die Temperaturzunahme in Strömungsrichtung als ein qualitatives Indiz für die Menge der zugemischten, verbrauchten Luft aufgefaßt werden und macht so den Einfluß der im Saal befindlichen Personen deutlich.

Wird nun die Temperatur an mehreren Stellen in der erwarteten Strömungsrichtung der Frischluft in Bodennähe (z.B. ca. 25 cm über dem Boden) gemessen, so können diese Temperaturen höchstens gleich der Maximaltemperatur im Raum sein. Dieser Fall entspräche (örtlich betrachtet) der idealen

Mischlüftung. Wenn der durch die aufgebaute Meßkette ermittelte Temperaturanstieg unter besetzten Bedingungen in der Größenordnung des Anstieges unter unbesetzten Bedingungen liegt, ist dies ein Indiz für eine wirksame Quelllüftung zwischen den Meßstellen. Nimmt der Anstieg im Laufe der Frischluftausbreitung stark zu, so ist dies ein Hinweis auf stärkere Mischung mit Raumluft aus höheren Schichten und stellt somit ein Indiz für die eingeschränkte Wirksamkeit der Quelllüftung dar.

Somit kann die Untersuchung der Frischluftausbreitung vereinfachend auf eine horizontale Temperaturmessung in geringer Höhe über dem Boden zurückgeführt werden, die zumindest eine qualitative Beschreibung zuläßt. Die Abfrage der einzelnen Meßstellen erfolgt dabei nahezu parallel und kann als Zeitreihe aufgenommen werden.

Der dabei entstehende Fehler entzieht sich allerdings wegen den sehr vielen Einflußfaktoren einer quantitativen Bestimmung, so daß

nur mit Hilfe von Vergleichsmessungen eine qualitative Abhängigkeit zwischen Ausbreitung der Frischluft und Temperatur gefunden werden kann.

Überprüfung des Verfahrens im Labor

Zur Überprüfung der dargelegten Zusammenhänge ist eine Versuchreihe im Labor der HTW Zwickau durchgeführt worden, bei der zur Verdeutlichung der Abhängigkeiten mehrere Messungen und Beobachtungen durchgeführt wurden. Die Versuchsanordnung ist in Bild 3 dargestellt.

Die Zuluftzufuhr in den Raum erfolgt einseitig mit einer Untertemperatur von ca. 5 K, wobei zusätzlich die Zulufttemperatur im Versuchsverlauf variiert wurde. Mit den aufgenommenen horizontalen und vertikalen Temperaturprofilen, Nebelversuchen, Videoaufzeichnungen und Beobachtungen wurde festgestellt, daß sich über dem mittleren Teil der zwei, mit je 12 Personen besetzten, Reihen eine deutlich erkennbare Auftriebsströmung ausbildete, die aus der Frischluftschicht am Boden gespeist wurde. Bei den nahe am Auslaß sitzenden Personen konnte dagegen keine Frischluftentnahme festgestellt werden. Ihrer Auftriebskraft wirkte die Abwärtsströmung eines Wirbels entgegen, der sich im Versuchsräum bildete. Ein zwischen den ersten zwei Meßorten vor dem Auslaß gemessener Temperaturabfall stützt dieses Modell. Diese Erscheinung soll hier mit Rückströmung bezeichnet werden.

Aber auch bei den letzten drei Sitzplätzen konnte die gewünschte, aus der Frischluftschicht gespeiste Auftriebsströmung nicht beobachtet werden. Wegen der geringen Zuluftrate von $18 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{Person}$ sind diese Plätze mit Frischluft unversorgt. Diese Beobachtung erhärtet der starke Geschwindigkeitsabfall an den beiden hinteren Meßplätzen. Die horizontale Temperaturmessung (in 25 cm Höhe) spiegelt diesen Sachverhalt in einem sehr geringen Temperaturanstieg zwischen den zwei letzten Meß-

orten wider (Bilder 4 und 5). Das beschriebene Phänomen soll mit *Ausdünnung* bezeichnet werden.

Die gute Übereinstimmung zwischen den Beobachtungen und Messungen zeigt, daß eine qualitative Gliederung des Gebietes der sich ausbreitenden Frischluft mittels horizontaler Temperaturmessungen möglich ist.

Feldmessungen und Ergebnisse

Insgesamt wurden drei Versuchsreihen in unterschiedlichen Veranstaltungen aufgenommen. Eine, wie bereits erwähnt, während eines Seminars im Labor der HTW Zwickau. Die zwei anderen Versuche liefen während öffentlicher Veranstaltungen in der Musikhalle Markneukirchen, bei der ersten Meßreihe war eine Saalauslastung von 150%, bei der zweiten eine Saalbelegung von 30% vorhanden. Die Anordnung der Meßstellen in

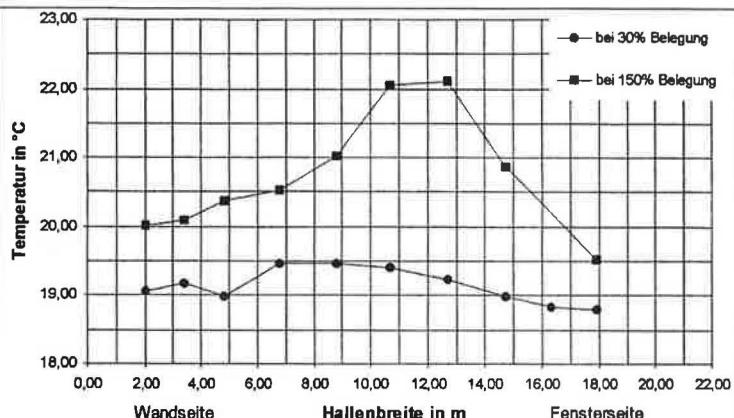


Bild 8 | Vergleich der Temperaturverläufe von Meßreihe 1 (150% Belegung) und Meßreihe 2 (30% Belegung) in der Musikhalle bei zweiseitiger Zulufteinströmung, dargestellt jeweils als Mittelwerte bis zur ersten Pause.

der Musikhalle Markneukirchen ist in Bild 6 zu finden.

Das Bild 7 zeigt einen Ausschnitt der gemessenen Temperaturverläufe aus Meßreihe 1 (150% Belegung) zu verschiedenen Zeiten. Aufgrund der Laboruntersuchungen muß angenommen werden, daß die Funktion der Quellluft im mittleren Bereich (10 bis 13 m), bedingt durch die Überbelegung der Halle, nur noch eingeschränkt wirksam ist. Dort hat sich im Ver-

lauf der Veranstaltung eine lokale Mischluftzone im Bodenbereich ausgebildet, die von der strömenden Frischluftschicht erst in der Pause, in der der Saal weitgehend leer war, wieder zurückgedrängt worden ist. Dieser Sachverhalt läßt bezüglich zur *Ausdünnung* der Frischluft Parallelen zum Laborversuch erkennen. Die Hypothese von einer Verstärkung der Rückströmung wird durch die Linie 20:58:53 im Diagramm Bild 7 gestützt. Ein

ABGLEICHEN REGELN MISCHEN ENTLÜFTEN



TACONOVA-Regelgeräte sorgen für individuelle Behaglichkeit.



TACONOVA-Abgleichventile bringen jede Hydraulik problemlos ins Gleichgewicht.



tacanova
die Marke für Abgleichen, Regeln, Mischen und Entlüften.

TACONOVA-Mischer liefern Brauchwasser temperaturgenau und ohne Verbrühungsrisiko.



TACONOVA-Entlüftungs- und Sicherheitsarmaturen erhöhen die Anlagenverfügbarkeit.

TACONOVA GmbH
Haustechnik-Armaturen
Rudolf-Diesel-Strasse 8
78224 Singen
Tel. 07731-98 28 80
Fax 07731-98 28 88

Vertrieb jetzt direkt hier in
Deutschland

Untersuchung zum Einsatz von Quellluftanlagen in großen Versammlungsräumen

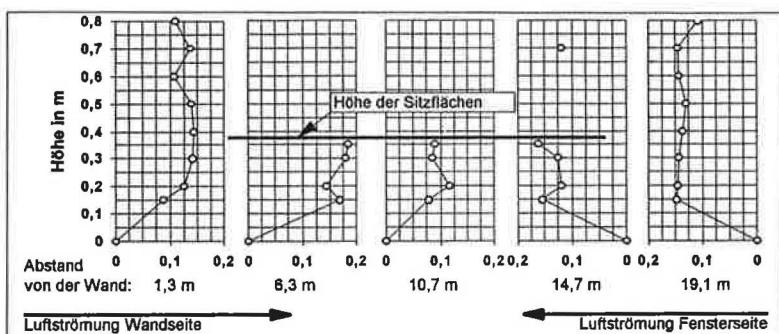


Bild 9 Geschwindigkeitsprofile in m/s der Meßreihe 2 (30% Belebung) in der Musikhalle mit zweiseitiger Zuluft einströmung.

Wirbel warmer Luft drückt die zuströmende Frischluft zu Boden, so daß die minimale Temperatur erst an Meßstelle 2 aufgenommen worden ist.

Bei der Meßreihe 2 zeigen sich unter einer Hallenauslastung von ca. 30% und nur geringer Untertemperatur der Zuluft sehr ausgewogene Temperaturprofile (Bild 8). Die zeitweise in Betrieb befindliche Fußbodenheizung stört die charakteristische Form der Temperaturprofile nicht, sondern erzeugt lediglich eine *Temperaturnivea-anhebung* in der Frischluftschicht. Durch die gemessenen Geschwindigkeitsprofile in Bild 9 läßt sich nachweisen, daß sich trotz der in Betrieb befindlichen FBH die Zuluftfront bis in die Saalmitte hinein ausbreitet. Die Untersuchung zeigt, daß die Quelllüftung bei teilbelegter Halle die gestellten Anforderungen erfüllte, wobei die Personen, wie in den anderen Versuchen auch, einen ausgesprochenen Sitzblock bildeten.

Aus den drei Versuchen lassen sich die beobachteten Ursachen und Wirkungen auf die Luftströmung in Räumen mit hoher Wärmequellendichte zusammenfassen. (s. Tabelle 1). Unter Freiraum soll das für die Mischungsschicht zur Verfügung stehende Raumvolumen

über Freiflächen und Wärmequelle verstanden werden.

Die Wärmequellen können auch bei dichter, blockartiger Anordnung als Einzelwärmequellen aufgefaßt werden, von denen jede ihren eigenen Auftriebsstrom erzeugt. Je- doch liegen die Wärmequellen dann so dicht beieinander, daß sich die Auftriebsströme vereinigen und damit in den geringen Zwischenräumen eine Abwärtsströmung von Luft aus höheren Luftschichten verhindert wird. Diese Abwärtsströmung weicht dann auf die Randbereiche aus.

Resümee

Die Untersuchungsergebnisse lassen den Schluß zu, daß es prinzipiell möglich ist, das bestehende Quelllüftungsmodell auch auf Räume höherer Wärmequellendichte anzuwenden. Wie bei gering belegten Räumen zeigt sich auch in Räumen mit großer Belegungsdichte die typische Strömungsform mit der am Boden entlangstreichenden Frischluft und den Auftriebsströmungen über den Wärmequellen. Dabei verringert sich der Frischluftanteil in der Strömung am Boden mit zunehmendem Abstand des Verbrauchers vom Auslaß. Ordnet

man jedem Luftauslaß ein 'Versorgungsgebiet' im Raum zu, das von diesem Gerät ausreichend mit Frischluft beliefert wird, so werden Größe und Form dieser Gebiete maßgeblich von der Entwicklung der übergeordneten Raumströmung bestimmt.

Es ist davon auszugehen daß diese Zuordnung temporär ist, da sich die Gebiete im Verlaufe einer Veranstaltung mit den Luftzuständen und den Grundströmungen verändern. Eine stabile, über den Raum gleichmäßig ausgebildete Frischluftschicht ist nicht zu beobachten.

Für die Beurteilung der richtigen Anordnung der Quellluftauslässe und ihren Einfluß auf die gesamte Raumströmung ist eine numerische Strömungssimulation hilfreich. Das trifft besonders dann zu, wenn auch in extremen Belastungssituationen eine anforderungsgerechte Belüftung des Raumes gesichert sein soll. [H 620]

Literaturangaben

- [1] Mayer, E. (Hrsg.): Menschengerechte Raumklimatisierung durch Quelllüftung und Flächenkühlung. IRB Verlag Stuttgart 1995.
- [2] Schlott, S.: Bauanalyse Musikhalle in Markneukirchen. TAB 1/96, S.23
- [3] Hoffmann: Untersuchung der Temperatur- und Strömungsprofile bei der Quelllüftung im Veranstaltungszentrum Markneukirchen mittels Computersimulation. Forschungsbericht HTW Zwickau (FH) 10/95.
- [4] Männel, J.: Untersuchung des Strömungs- und Temperaturprofils in der Musikhalle Markneukirchen. Diplomarbeit TH Zwickau, 1996.
- [5] Fitzner, K.: Impulsarme Luftzufuhr durch Quelllüftung. HLH 39 (1988) Nr.4, S. 173-181.

Tabelle 1 Störung der Quellluftströmung bei hoher Wärmequellendichte.

Ursache	Wirkung	Beschreibung
Zuluftvolumenstrom zu klein	Ausdünnung	keine gleichmäßig dünne Schicht, sondern unversorgte Bereiche, eine Zeit lang stationär, später u. U. in ein instationäres Verhalten umschlagend
starke Bewegung	Verwirbelung	örtliche Mischungen durch Bewegungskonzentrationen im Gangbereich, instationär
zu geringe Freiräume	Rückströmung	örtliche Abwärtsströmungen, die in die Frischluftschicht eindringen und somit verbrauchte Luft zumischen, instationär
Heizbetrieb (FBH)	Temperaturnivea-anhebung	keine maßgebliche Strömungsbehinderung, solange die Frischluft Untertemperatur aufweist