



A027

LUFTFÜHRUNG IN VERSAMMLUNGSRÄUMEN



Luftführungssysteme für Versammlungsräume können resultierend folgenderweise bewertet werden: Ist eine feste Bestuhlung vorgesehen, so ist die Luftzufuhr über Stühle und Pulte vorzuziehen. Hierbei eignet sich vorzüglich das Mikroklima-Luftführungssystem. Ohne feste Bestuhlung sind schwenkbare Weitwurfdüsen, die in Wänden oder Emporen eingebaut sind, vorteilhaft.

Nur wenn weder Tisch-, Stuhl- noch Wandauslässe aus bestimmten Gründen nicht in Frage kommen, ist auf Decken- und eventuell Bodenauslässe auszuweichen, wobei die Probleme und die Einschränkungen dieser Luftführungsarten in Versammlungsräumen zu beachten sind.

In folgendem Beitrag werden die verschiedenen Luftführungssysteme hinsichtlich ihrer charakteristischen Einsatzbedingungen bewertet.

Dr.-Ing. Franc Sodéc, Aachen

Anforderungen an RLT-Anlagen in Versammlungsräumen

Bei der Auslegung von RLT-Anlagen für Versammlungsräume, wie Theatersäle, Hörsäle, Konferenzräume, Konzertsäle sind folgende wichtige Besonderheiten dieser Räume zu berücksichtigen:

- dichte Personenbelegung (etwa 1 Person/0,6 m²),
- große Höhe (5 m bis 16 m),
- niedriges zulässiges Geräuschniveau (25 bis 35 dB(A)),
- in der Regel keine direkt angrenzenden Außenwände oder Außenfenster, daher geringer Anteil der äußeren Wärme,
- besondere Raumkonfiguration: Emporen, Podium, stufenartige Sitzreihen.

Die dichte Personenbelegung bedeutet einen hohen Anteil des Außenluftvolumenstromes und eine relativ große spezifische Wärmebelastung. In den meisten Fällen ist zwar die äußere Wärme gering, dennoch beträgt die spezifische Belastung wegen der Personen- und Beleuchtungswärme nicht selten 150 bis 200 W/m².

Große Höhen bedeuten, daß die Luftführung über Deckenluftauslässe sehr problematisch ist. Die Strahlwege müssen sehr genau der Wärmebelastung und den Ausblashöhen angepaßt werden. Bei schwankenden Lasten verändert sich gleichzeitig die Eindringtiefe der Luftstrahlen.

Niedriges zulässiges Geräuschniveau erfordert eine sehr sorgfältige Auslegung der gesamten RLT-Anlage, vom Ventilator bis zum Luftauslaß, und das sowohl zuluft- als auch abluftseitig.

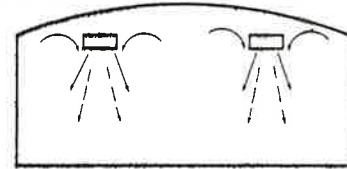
Das Fehlen der äußeren Wärme hat zur Folge, daß die Kühllastschwankungen ziemlich witterungsunabhängig sind und hauptsächlich durch die Änderung der Belegungsdichte bedingt sind.

Die Raumkonfigurationen der Versammlungsräume verlangen eine enge Integration der Luftauslässe und der Luftkanäle in die Bautechnik. Sie erfordern eine sehr intensive Zusammenarbeit zwischen dem Klimaingenieur, dem Architekten und dem Bauingenieur.

Wahl des Luftführungssystems

Die Zuluft kann in Versammlungsräumen grundsätzlich von der Decke, von

von der Decke

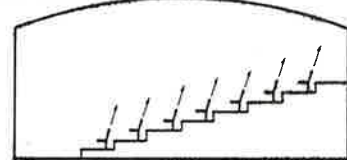


aus der Empore



von der Wand

aus den Stühlen



aus dem Boden



H953.1

Bild 1: Prinzipielle Möglichkeiten der Luftzufuhr in Versammlungsräumen

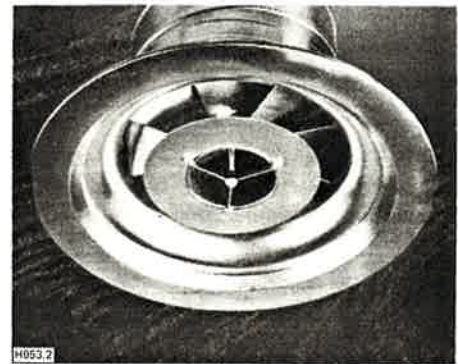


Bild 2: Deckendrillauslaß mit verstellbarer Strahlrichtung

der Wand bzw. von der Empore, aus den Stühlen bzw. Pulten oder aus dem Boden ausgeblasen werden (Bild 1). Was sind die Vor- und Nachteile dieser einzelnen Luftführungssysteme und wann entscheidet man sich für das eine oder andere?

Luftzufuhr von der Decke

Die Luftzufuhr von der Decke ist in Versammlungsräumen mit großen Problemen verbunden, und zwar im wesentlichen aus folgenden Gründen:

- große Ausblashöhe
- niedriger Geräuschpegel
- von der Belegungsdichte abhängige Eindringtiefe

Große Ausblashöhen verlangen einen starken Impuls der Zuluftstrahlen, um den Aufenthaltsbereich ausreichend zu durchspülen. Großer Impuls ist mit hohen Austrittsgeschwindigkeiten der Zuluftstrahlen verbunden, die wiederum einen erhöhten Schalleistungspegel zur Folge haben. Hinzu kommt, daß sich die Eindringtiefe der Zuluftstrahlen stark mit der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zuluft verändert [1, 2]. So ist z.B. bei einem senkrechten isothermen Strahl mit dem Düsendurchmesser von 60 mm, der Austrittsgeschwindigkeit von 3 m/s und der Ausblashöhe von 10 m die Strahlgeschwindigkeit in 1,2 m Höhe über dem Boden noch 0,14 m/s. Im Kühllastfall erhöht sich bei einer Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zuluft von 4 K die Strahlgeschwindigkeit auf 0,31 m/s, bei 8 K sogar auf 0,38 m/s.

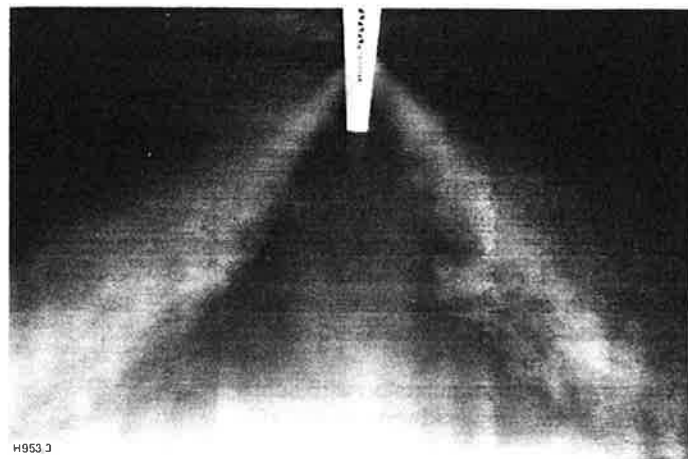
Hier wird von einer gleichmäßigen Temperatur über der Hallenhöhe ausgegangen. Treten vertikale Temperaturschichtungen auf, so kommt es zu weiteren Veränderungen der Eindringtiefe.

Die Konsequenz für die Luftzufuhr ist also:

- Es sind Luftauslässe einzusetzen, die stabile Luftstrahlen mit ausreichender Eindringtiefe erzeugen.
- Die Eindringtiefe bzw. die Strahlrichtung soll veränderbar sein, und zwar abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zuluft. Dabei sind eventuell auftretende vertikale Temperaturschichtungen zu berücksichtigen.
- Werden aus irgendwelchen unumgänglichen Gründen nicht verstellbare Luftauslässe eingesetzt, so ist die Eindringtiefe so auszulegen, daß im maximalen Kühllastfall der Aufenthaltsbereich ausreichend, dennoch zugfrei durchspült wird. Die Ausblashöhe soll jedoch nicht über 7 m betragen. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Frischluftzufuhr in den Aufenthaltsbereich im Teillastbetrieb oder sogar im Heizbetrieb soll mindestens die Hälfte der Abluft im Bodenbereich abgesaugt werden.
- Es ist ein großer Wert auf den niedrigen Schalleistungspegel der Luftauslässe zu legen.

Zwei Luftauslaßarten, die in Versammlungsräumen in den Decken eingesetzt werden können, zeigen die *Bilder 2* und *3* [3]. Im *Bild 2* ist ein variabler Drallauslaß mit verstellbarer Strahlrichtung, im *Bild 3* ein schräg ausblasender, nichtverstellbarer Induktivauslaß dargestellt.

Bild 3: Nicht verstellbarer linearer Deckenluftauslaß mit schräg blasenden Luftstrahlen

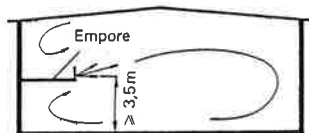


H953.3

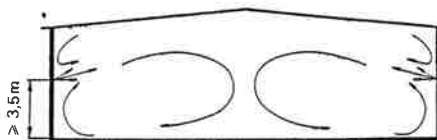


H953.4

Bild 4: Schwenkbare Weitwurfdüse



Einbau in die Brüstung einer Empore



Einbau in zwei gegenüberliegende Wände



Einbau in eine Wand

H953.5

Bild 5: Mögliche Einbausituationen der Weitwurfdüsen

Die Vorteile der Luftzufuhr von der Decke sind:

- einfache Montage der Luftkanäle
- optisch wenig auffällig
- geringer Eingriff in die Innenarchitektur des Raumes.

Die Nachteile sind:

- Die richtige Auslegung der Luftauslässe ist mit großen Problemen verbunden. Es bedarf großer Erfahrungen und oft teurer Raumströmungsuntersuchungen.
- Die Eindringtiefe ist stark von der thermischen Belastung des Raumes abhängig.
- Die Luftauslässe verlangen meist Stellmotoren, die zusätzliche Investitions- und Wartungskosten verursachen.
- Die Zuluftstrahlen müssen das Warmluftpolster unter der Decke durchdringen.
- Ein Teil der verbrauchten Warmluft unter der Decke wird induziert und wieder in den Aufenthaltsbereich zurückgeführt.
- Zur genügenden Durchspülung des Raumes im Teillastbetrieb ist eine Absaugung in Bodennähe erforderlich (ca. 50% der Abluft).

Zuluftzufuhr von der Wand oder der Empore

Bei der Auslegung der Luftauslässe sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen [4].

- Es sind große Wurfweiten nötig (10 bis 30 m).
- Die genaue Einstellung des Luftausblaswinkels läßt sich nicht vorausberechnen.
- Die Luftauslässe sind noch näher dem Aufenthaltsbereich als Deckenluftauslässe, also muß deren Schalleistungspegel noch niedriger sein.

Nach diesen Gesichtspunkten ergeben sich folgende Anforderungen an die Luftauslässe:

Die Austrittsgeschwindigkeit der Zuluftstrahlen liegt im Bereich 6 bis 12 m/s, um eine ausreichende Wurfweite zu erzielen.

Der Auslaßdurchmesser, der ebenfalls die Eindringtiefe beeinflusst, soll im Bereich 80 mm bis 150 mm liegen.

Weil der Strahlverlauf nicht exakt vor- auszuberechnen ist, sind verstellbare bzw. schwenkbare Luftauslässe zu wählen, bei denen die Neigungswinkel bei der Inbetriebnahme der Anlage nachträglich korrigiert werden können.

Aus akustischen Gründen dürfen wegen der erforderlichen hohen Ausblasgeschwindigkeit keine Einbauten (Lamellen, Lochbleche, Leitbleche, Drallschaufel) in die Luftauslässe eingebaut werden, da diese störende Geräusche erzeugen würden.

Dieser Anforderungskatalog wird sehr erfolgreich mit schwenkbaren Weitwurf- düsen erfüllt [4], deren Formgebung den akustischen Gesichtspunkten angepaßt ist. Der Schalleistungspegel solcher Düsen beträgt z.B. bei einer Ausblasgeschwindigkeit von 10 m/s etwa 24 bis 28 dB(A). Solche schwenkbare Weitwurf- düse zeigt Bild 4.

Die Einbaumöglichkeiten dieser Luft- auslässe gehen aus Bild 5 hervor. Die Luftauslässe können aus optischen Gründen teilweise oder ganz hinter der Wand oder Verkleidung eingebaut werden. Das Beispiel einer Anordnung der Weitwurf- düsen in der Empore eines Saales zeigt Bild 6. Hier einige Hinweise zur Auslegung der Luftauslässe:

► Der Strahlausblaswinkel ist so einzu- stellen, daß im maximalen Kühl- lastbetrieb intensiv, jedoch zugfrei durchspült wird.

► Zur Gewährleistung einer ausrei- chenden Frischluftzufuhr in den Aufent- haltsbereich im Teillastbetrieb soll min- destens ein Drittel der Abluft in Boden- nähe abgesaugt werden.

► Wegen der hohen Induktion der Zu- luftstrahlen, bedingt durch deren hohe Austrittsgeschwindigkeit, sollen die Luftauslässe mindestens 3,5 m über dem Boden eingebaut werden. Bei zu niedriger Einbauhöhe verursacht die hohe Induktion den Eindruck von Zuger- scheinungen.



Bild 6: Eurogroß Aachen, Weitwurfdüsen in der Empore

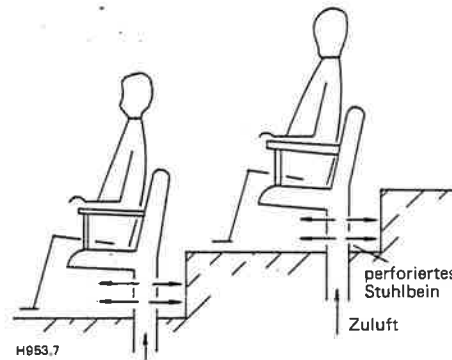


Bild 7: Luftzufuhr durch das Stuhlbein

Die Vorteile der Luftzufuhr von der Wand oder Empore sind:

- Das Warmluftpolster unter der Decke bleibt im wesentlichen unberührt (was allerdings von der Gesamtraumhöhe abhängig ist).
- Auf automatische Verstellung der

Strahlrichtung kann verzichtet werden.

- Die Eindringtiefe ist nicht so stark von der Wärmebelastung abhängig, wie bei Deckenauslässen.
- Große Wurfweiten mit niedrigem Geräuschpegel sind problemlos erreichbar.

Die Nachteile sind:

- Eingriff in den Wandaufbau und in die Innenarchitektur des Raumes.
- Richtige Einstellung der Luftauslässe erst nach Inbetriebnahme der Anlage möglich.
- Zu genügenden Durchspülung des Raumes im Teillastbetrieb ist Absaugung in Bodennähe erforderlich.

Luftzufuhr aus Stühlen oder Pulten

Den Problemen der erforderlichen großen Wurfweiten, der veränderbaren Eindringtiefe und der unerwünschten Induktion der verbrauchten Warmluft entgeht man, wenn die Zuluft aus Stühlen oder Pulten ausgeblasen wird.

Es treten hierbei neue Gesichtspunkte auf, die bei der Auslegung zu beachten sind:

- Die Strahlgeschwindigkeiten und die Strahlrichtung müssen noch sorgfältiger ausgelegt werden, da die Ausblasöffnungen im Aufenthaltsbereich sind.
- Die Luftauslässe müssen einen noch geringeren Schalleistungspegel aufweisen.
- Es muß ein Doppelboden oder eine Druckkammer vorhanden sein.
- Diese Luftführungsart ist nur bei fester Bestuhlung einsetzbar.

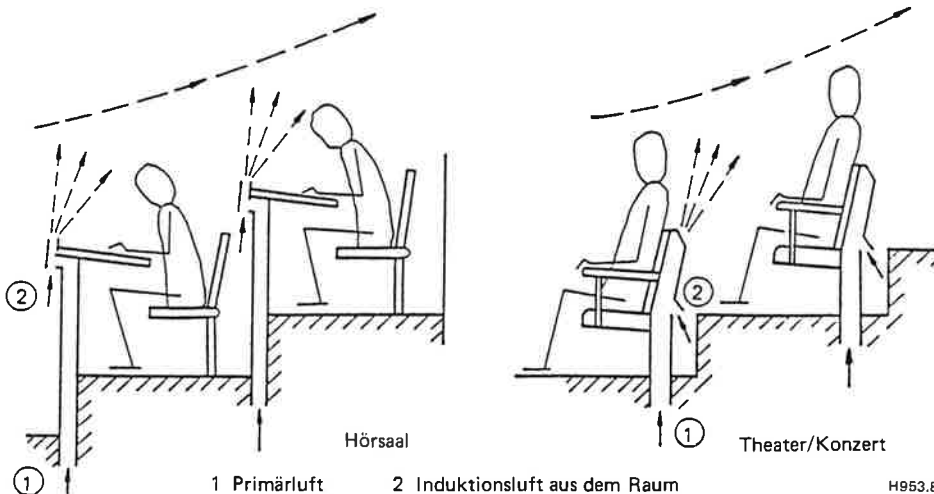


Bild 8: Mikroklima-Luftführungssystem

Auf dem Markt sind zwei Systeme der Luftzufuhr aus Stühlen bzw. Pulten vorhanden:

- Luftzufuhr durch das Stuhlbein (Bild 7)
- Luftzufuhr aus der Rückenlehne eines Stuhles oder der Vorderkante eines Pultes (Bild 8). Dieses System bezeichnet man auch als Mikroklima-Luftführungssystem.

Bei der Luftzufuhr durch das Stuhlbein ist das Stuhlbein perforiert und mit Leitblechen oder Leitkegeln ausgestattet. Die Zuluft wird mehr oder weniger horizontal ausgeblasen. Die Ausblasgeschwindigkeiten betragen etwa 0,2 bis 0,5 m/s. Der Luftvolumenstrom pro Stuhl ist 30 bis 40 m³/h, die Zulufttemperatur minimal 18 °C.

Beim Mikroklima-Luftführungssystem wird die aufbereitete Primärluft aus einem Druckraum der hohl ausgebildeten Tisch- oder Stuhlhalterung zugeführt. Durch ein Induktionssystem im Tischverteilkanal oder in der Stuhlrückwand wird Raumluft (Sekundärluft) mit der Primärluft vermischt. Die Zuluft tritt beim Tisch in der Regel an der Tischvorderkante und beim Stuhl an der Oberseite der Rückenlehne unter einem Strahlwinkel zur Vertikalachse von 0 bis 20 ° aus. Die Ausblasrichtung ist auf jeden Fall so gewählt, daß der Kopf der sitzenden Person nicht dem direkten Strahlbereich, sondern dem Induktionsbereich ausgesetzt ist. Der Strahlimpuls muß so gewählt werden, daß die Strahlrichtung im Aufenthaltsbereich bei allen Lastsituationen stabil ist.

Der Primärluftvolumenstrom pro Stuhl oder Pult bzw. Tisch beträgt beim Mikroklima-Luftführungssystem 20 bis 40 m³/h. Die Ausblasgeschwindigkeit ist etwa 1,5 m/s, die minimale Primärlufttemperatur 18 °C. Der Anteil der induzierten Sekundärluft im Luftauslaß ist 40 bis 50% des Primärluftvolumenstromes. Den Strahlverlauf beim Mikroklima-Luftführungssystem zeigen die Bilder 9 und 10.

Durch das Konzept des Mikroklima-Luftführungssystems, der Auswahl der Ausblasgeschwindigkeit und der Induktionswirkung der Primärluft erreicht man [5], daß

- die Luftführung im Aufenthaltsbereich stabil ist und die sich in derartigen Räumen ausbildenden Großwirbeln die Aufenthaltszone nicht beeinflussen.
- die aufbereitete Zuluft dem Atembereich des Menschen direkt zugeführt wird (Mikroklimazone) und
- durch die Sekundärluftvermischung für eine ausreichende Konvektion im Bereich der sitzenden Person gesorgt wird.

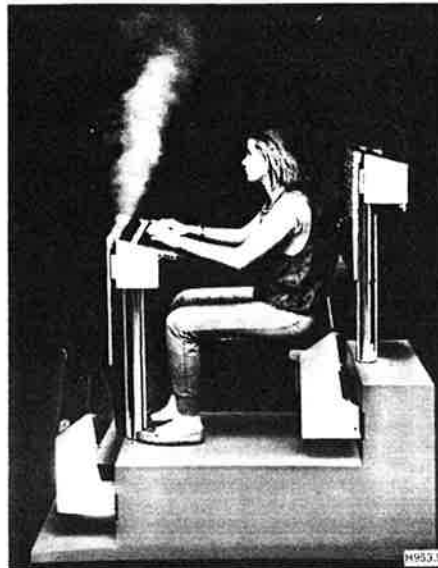


Bild 9: Mikroklima-Luftführungssystem. Strahlverlauf am Hörsaalpult

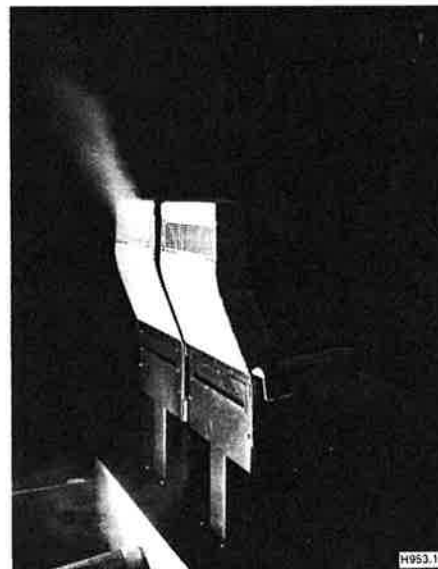


Bild 10: Mikroklima-Luftführungssystem. Strahlverlauf beim Theaterstuhl

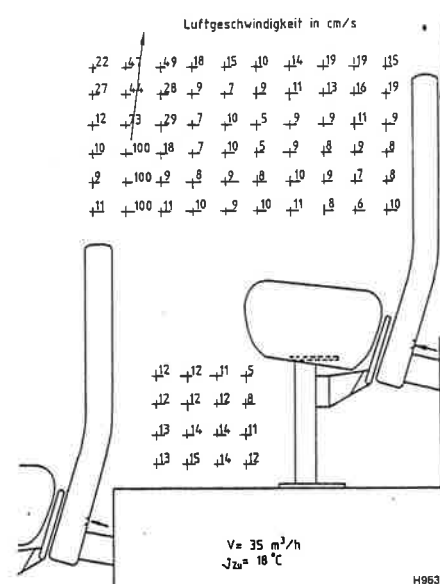


Bild 11: Geschwindigkeitsverteilung beim Mikroklima-Luftführungssystem

Die gleichmäßige Temperaturverteilung im Aufenthaltsbereich und die zugfreie Raumluftströmung im Mikroklimabereich zeigen die Meßergebnisse, die beispielhaft in den Bildern 11 und 12 dargestellt sind.

Die zwei Luftführungsarten:

- Luftzufuhr durch das Stuhlbein,
 - Mikroklima-Luftführungssystem,
- können folgenderweise gegenübergestellt werden:
- Vorteile der Luftzufuhr durch das Stuhlbein:
- einfachere Ausbildung des Stuhles oder Tisches
 - geringere Gefahr der Abdeckung der Luftausblasöffnung
 - die Ausblasöffnungen sind unauffälliger.

Vorteile des Mikroklima-Luftführungssystems:

- Die frische Zuluft wird direkt, jedoch zugfrei in den Aufenthaltsbereich - und nicht erst in den Bodenbereich - eingeblasen,
- kein Kaltluftsee über dem Boden,
- bessere Vermischung der Raumluft
- geringere Temperaturdifferenz im Aufenthaltsbereich (1 K statt 3 bis 4 K),
- Zugfreiheit in der gesamten Aufenthaltszone, einschließlich dem Bodenbereich.

Beiden Systemen ist eigen, daß ein Schalleistungspegel unter 20 dB(A) ohne Probleme zu erreichen ist.

Wegen der Luftzufuhr in den direkten Aufenthaltsbereich und der Absaugung unter der Decke sind Ablufttemperaturen bis 30 °C zu erzielen. Das bedeutet, daß Temperaturdifferenzen zwischen Ab- und Zuluft von 12 K zu bewerkstelligen sind. Mit Decken- oder Wandauslässen sind maximale Temperaturdifferenzen von 10 K zu realisieren. Daraus folgt, daß bei gleicher Kühllast der Gesamtvolumenstrom kleiner ist bzw. bei gleichem Gesamtvolumenstrom eine höhere Kühllast abgeführt werden kann. Spezifische Kühllasten bis 240 W/m² sind mit der Luftzufuhr aus Stühlen bzw. Tischen vor allem mit dem Mikroklima-Luftführungssystem gut abführbar.

Die hohen Ablufttemperaturen bis 30 °C bedeuten keinesfalls, daß es im Aufenthaltsbereich zu warm ist. Hier sind Raumlufttemperaturen je nach Bedarf zwischen 22 und 26 °C ohne weiteres einzuhalten.

Bewertung der Luftzufuhr aus Stühlen oder Pulten:

Vorteile:

- direkte Zufuhr frischer Luft in den unmittelbaren Aufenthaltsbereich,

Luftauslässe

- höhere Temperaturdifferenz zwischen Ab- und Zuluft, dadurch geringer Gesamtvolumenstrom,
- geringerer Druckverlust,
- wegen höherer Zulufttemperatur (18 °C statt 14 bis 16 °C) kleinerer Kälteverbrauch,
- verbrauchte Luft wird nicht zurückgedrängt, sondern entweicht in den Deckenbereich,
- Teilabsaugung der Abluft im Bodenbereich nicht nötig.

Nachteile:

- Druckboden erforderlich,
- feste Bestuhlung Voraussetzung,
- Konstruktion der Stühle bzw. Pulte aufwendiger.

Luftzufuhr aus dem Boden

Bei der Luftzufuhr durch Bodenauslässe sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Man benötigt Luftstrahlen, die stabil sind und die Raumluft intensiv vermischen,
- die Luftauslässe müssen äußerst leise sein,
- es wird ein Doppelboden benötigt,
- die Luftauslässe sind zu Reinigungszwecken herausnehmbar zu gestalten

Auf dem Markt sind drei Arten der Bodenauslässe vorhanden [5]:

- Drallauslässe
- Schlitzplatten
- Schlitzplatten mit aufgeklebtem Teppichboden.

Den Bodendrallauslaß und die Schlitzplatte zeigen beispielsweise die Bilder 13 und 14.

Mit den beiden erstgenannten Auslaßarten, vor allem mit den Bodendrallauslässen läßt sich eine stabile Raumluftströmung erzeugen. Die Temperaturschichtung im Aufenthaltsbereich ist beim Einsatz des Drallauslasses wegen der hervorragenden Induktionswirkung äußerst gering. Dennoch sind diese Auslässe in Versammlungsräumen nur dann einsetzbar, wenn die Sitzanordnung bekannt ist, und zwischen den Sitz- oder Tischreihen ein Abstand von mindestens 2 m bzw. bis zur Wand ein Abstand von mindestens 1 m vorhanden ist. Um Zugerscheinungen zu vermeiden, soll nämlich der Abstand zwischen Luftauslaß und Sitzplatz mindestens 0,8 m betragen.

Hinsichtlich der minimalen Zulufttemperatur, der Ablufttemperatur und der Temperatur im Aufenthaltsbereich gelten die gleichen Werte wie bei der Luftzufuhr aus Stühlen oder Pulten.

Bei der Luftzufuhr durch aufgeklebten Teppichboden müssen Austrittsge-

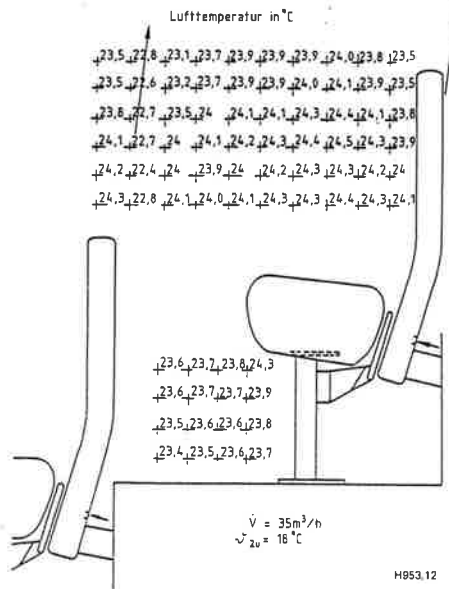


Bild 12: Temperaturverteilung beim Mikroklimatechnik-Luftführungssystem

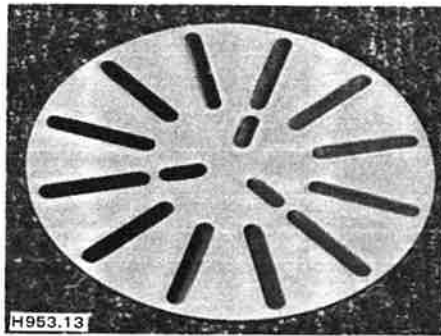


Bild 13: Bodendrallauslaß

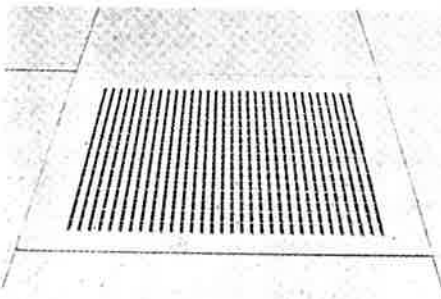


Bild 14: Schlitzplatte

schwindigkeiten unter 0,05 m/s gewählt werden. Dies hat zur Folge, daß im Aufenthaltsbereich zu geringe Luftgeschwindigkeiten, fast Stagnation der Raumluftbewegung, auftreten. Die kühle Zuluft sammelt sich am Boden, was Temperaturdifferenzen im Aufenthaltsbereich bis zu 3 K zur Folge hat. Weiterhin besteht die Gefahr, daß sich der luftdurchlässige Teppichboden mit der Zeit zusetzt. Diese Art der Luftzufuhr kann für Versammlungsräume nicht empfohlen werden.

Vorteile der Luftzufuhr aus dem Boden:

- direkte Luftzufuhr in den Aufenthaltsbereich,

- höhere Temperaturdifferenz zwischen Ab- und Zuluft (bis 12 K), dadurch geringerer Luftvolumenstrom,
- geringe Druckverluste,
- einfache Verlegung der Luftkanäle,
- geringere Kälteenergie wegen höherer Zulufttemperatur (min. 18 °C),
- keine Aufheizprobleme

Nachteile:

- Doppelboden benötigt,
- Reinigung der Luftauslässe bzw. deren Anschlußteile erforderlich,

für Drallauslässe und Schlitzplatten:

- minimaler Abstand zu den Sitzplätzen von 0,8 m nötig

für die mit Teppichboden bedeckten Schlitzplatten:

- Kaltluftsee am Boden,
- zu geringe Luftbewegung im Aufenthaltsbereich,
- Druckverlust des Teppichbodens erhöht sich mit der Zeit.
- Temperaturdifferenzen im Aufenthaltsbereich bis 3 K.

Schlußfolgerung

Die Besonderheiten der Versammlungsräume verlangen spezifische Anforderungen an die Luftführungssysteme. Von den möglichen Arten der Luftzufuhr ist die Mikroklimatechnik durch Stühle oder Pulte vorzuziehen. Gut eignen sich auch geräuscharme schwenkbare Wandauslässe mit großer Wurfweite. Bei Decken- und Bodenauslässen sind gewisse Einschränkungen zu beachten. [H 953]

Literaturangaben

- [1] Regenscheit, B.: Die Berechnung von radial strömenden Frei- und Wandstrahlen sowie Rechteckstrahlen. Gesundheits-Ingenieur (1971) Heft 7, S. 192/201.
- [2] Moog, W.: Dimensionierung von Luftführungssystemen. Forschungsbericht VDI-Z Reihe 6, Nr. 49, Düsseldorf: VDI-Verlag 1978.
- [3] Krantz GmbH & Co., Aachen: Komponenten-Katalog 86/87.
- [4] Sodex, F.: Luftführungssysteme. Hausinterner Bericht Fa. Krantz, Nr. 3554 (1984).
- [5] Moog, W., F. Sodex: Vergleichsbetrachtung der Luftführungssysteme von oben und von unten bei der Klimatisierung von Komforträumen. HLH 29 (1978) Nr. 1, S. 7/14 und Nr. 2, S. 49/74.