

MIT LACHGAS DEM LUFTSTROM AUF DER SPUR

Luftstrommessung in Raumlufttechnischen Anlagen mit Hilfe der Spürgasmethode¹⁾

Die Luftstrom-Messung in Kanälen nach der Spürgasmethode beruht darauf, daß dem unbekannten Luftstrom ein genau bekannter Spürgasstrom (Stickoxidul; N₂O; Lachgas) an einer ausgewählten Stelle beigemischt wird. Nach der Mischstrecke, die durch Originalbauteile der betreffenden RLT-Anlage dargestellt wird, erfolgt die Messung der Spürgaskonzentration unter stationären Bedingungen. Unter der Annahme einer idealen Mischung zwischen Spürgas und Luft wird der gesuchte Luftstrom aus dem Spürgaserhaltungssatz berechnet.

Die Annahme einer idealen Mischung ist nicht bei allen Bauteilen gerechtfertigt. Bekannt ist, daß bei geraden, leeren Kanälen nach ca. $80 \cdot d_{hyd}$ Mischstrecke noch ca. 5% an der theoretischen Mischkonzentration fehlen. Durch Richtungsänderungen wird die Mischstrecke verkürzt. Weitere, für den Einsatz der Spürgasmethode notwendige Informationen und Kenntnisse über Mischeigenschaften von Bauteilen fehlen.

In der vorliegenden Arbeit wird an Hand von experimentellen Ergebnissen über die Eignung von mehrreihi-

gen Glattrohr- und Lamellenrohr-Wärmeübertrager sowie über Ventilatoren mit axialer und radialer Förderrichtung berichtet.

Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Presser, Fachhochschule des Landes Rheinland-Pfalz, Abteilung Trier, Fachbereich Versorgungstechnik

Dipl.-Ing. (FH) Ralf Becker Assistent im Fachbereich Versorgungstechnik der Fachhochschule des Landes Rheinland-Pfalz, Abteilung Trier

¹⁾ Die Studenten Rolf Weber und Armin Neu haben im S.S. 1986 im Rahmen ihrer Diplom-Arbeiten einen großen Teil der Versuche durchgeführt.

Einleitung

Die Luftstrom-Bestimmung nach der Spürgasmethode beruht darauf, daß dem unbekannten Luftstrom ein genau bekannter Spürgasstrom an einer ausgewählten Stelle beigemischt wird. Nach einer Mischstrecke, die durch Originalbauteile der betreffenden RLT-Anlage dargestellt wird, erfolgt die Messung der Spürgaskonzentration bei stationären Bedingungen. Unter der Annahme einer idealen Mischung zwischen Spürgas und Luft wird der gesuchte Luftstrom aus dem Spürgaserhaltungssatz berechnet. Als Spürgas dient Stickoxidul (N₂O; Lachgas). Die Annahme der idealen Mischung ist nicht für alle Bauteile der Mischstrecke gerechtfertigt. Über die Mischeigenschaften der verschiedenen Bauteile liegen leider nur spärliche Informationen vor.

In dem Bericht „Bulletin M83/11; The National Swedish Institute for building research“ wird zusammenfassend über Messungen mit der Spürgasmethode (N₂O; Lachgas) berichtet. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Es wird die benötigte relative Misch-

strecke in Abhängigkeit vom Aufbau der Kanalstrecke angegeben, bei der 5% oder 10% systematischer Fehler beim berechneten Luftstrom auftreten. Die größte Mischlänge benötigt der gerade leere Kanal, die kürzeste der Ventilator. Dabei wird auf die speziellen Bauparameter bei Ventilatoren (Schaufelzahl, Schaufelform, Drehzahl, Förderrichtung usw.) nicht eingehen.

Tabelle 1: Erforderliche relative Mischlängen (L/d_{hyd}) für systematische Fehler von 5% und 10% (nach „Bulletin M83/11, The national Swedish Institute for building research“)

lfd. Nr.	Aufbau der Meßstrecke	L/d_{hyd} für Fehler	
		5%	10%
1	Gerader, leerer Kanal Spürgaszugabe und Mischgasentnahme punktförmig im Zentrum	80	60
2	Gerader, leerer Kanal Spürgaszugabe durch Ring ($0,63 \cdot D$) mit vier Bohrungen a) Mischgasentnahme punktförmig im Zentrum b) Mischgasentnahme durch Ring ($0,63 \cdot D$) mit vier Bohrungen	25 15	20 10
3	Kanal mit zwei aufeinander folgenden Bögen 90° Spürgaszugabe durch Ring ($0,63 \cdot D$) mit vier Bohrungen a) Mischgasentnahme punktförmig im Zentrum b) Mischgasentnahme durch Ring ($0,63 \cdot D$) mit vier Bohrungen	20 10	15
4	Ventilator Spürgaszugabe durch Ring ($0,63 \cdot D$) mit vier Bohrungen Mischgasentnahme durch Ring mit vier Bohrungen	10	5

einer bemerkenswerten Reduzierung der Mischstrecke gegenüber der Einpunktentnahme bei gleicher Meßgenauigkeit.

Grundsätzlich benötigt die Spürgasmethode Mischstrecken, an deren Ende näherungsweise die theoretische Mischkonzentration erreicht wird. Unter den vor Ort angetroffenen Verhältnissen müssen notgedrungen auch Mischstrecken akzeptiert werden, die eine gut reproduzierbare und zuverlässige Abweichung bis zu ca. 10% vom idealen Mischzustand gewährleisten.

Die generelle Erprobung der in der Bundesrepublik Deutschland wenig bekannten Spürgasmethode und die Erforschung der Mischeigenschaften verschiedenster Bauelemente (mehrreihiger Glattrohr- und Lamellenrohrwärmeaustauscher, Ventilatoren mit axialem und radialem Förderrichtung) haben den Verfasser veranlaßt, eigene Messungen durchzuführen.

Meßprinzip

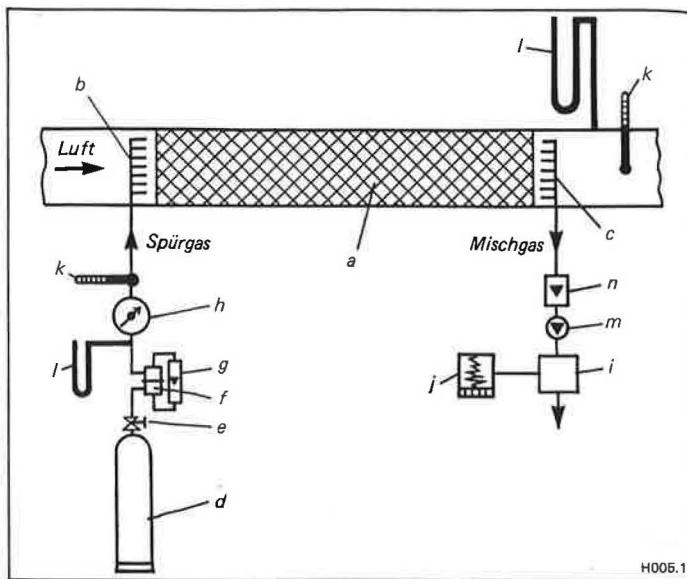
Dem unbekannten Massenstrom an feuchter Luft wird ein bekannter Massenstrom Spürgas beigemischt. Die sich am Ende der Mischstrecke im stationären Betrieb einstellende Spürgaskonzentration wird gemessen.

Den schematischen Aufbau der Meßeinrichtung zeigt Bild 1. Spürgas wird in einer Ebene vor der Mischstrecke *a* dem Luftstrom über eine besondere Verteilverrichtung *b* zugeführt. Die Bereitstellung der erforderlichen Spürgasmenge erfolgt über eine Vorratsflasche *d* in Verbindung mit einem Druckminderventil *e*. Durch einen Differenzdruckregler *f* wird der Spürgasstrom konstant gehalten. Das Spürgasvolumen wird mit einem Gaszähler *h* ermittelt. Zur Grobeinstellung des Spürgassstromes dient ein Schwebekörper-Meßgerät *g*. Die zur Berechnung der Spürgasdichte benötigten Zustandsgrößen Temperatur und Druck werden in unmittelbarer Nähe der Volumenmessung bestimmt. Die Mischgasentnahme erfolgt mit einer Absaugvorrichtung *c* hinter der Mischstrecke. Den für den Gasanalysator *i* erforderlichen Mischgasstrom besorgt eine Membran-Förderpumpe *m*. Der Mischgasstrom wird durch ein Schwebekörper-Volumenstrom-Meßgerät *n* der Größenordnung nach erfaßt. Die Spürgaskonzentration wird am Meßgerät analog angezeigt. Zur Beobachtung des Konzentrations-Zeit-Verlaufes wird ein Linienschreiber eingesetzt.

Als Spürgas wird Stickoxid (N_2O ; Lachgas) gewählt. Die Lachgaskonzentration in der Außenluft kann erfah-

Bild 1: Schematischer Aufbau der Meßeinrichtung

- a Mischstrecke,
- b Spürgaszugabe,
- c Mischgasentnahme,
- d Vorratsflasche mit Spürgas,
- e Druckminderventil,
- f Differenzdruckregler,
- g Schwebekörper-Volumenstrom-Meßgerät,
- h Gaszähler für Spürgasvolumen,
- i Gasanalysator,
- j Linienschreiber für Spürgaskonzentration,
- k Temperaturmessung,
- l Differenzdruckmessung,
- m Membran-Förderpumpe,
- n Schwebekörper-Volumenstrom-Meßgerät.



H005.1

rungsgemäß $\leq 1 \text{ ppm}$ angenommen werden. Auf eine meßtechnische Erfassung wird daher verzichtet. Der eventuell auftretende Fehler bei Versuchen mit ca. 100 ppm ist relativ klein. Im Handel ist Lachgas in ausreichender Reinheit erhältlich.

Die Dichte von Lachgas beträgt beim physikalischen Normzustand (0°C , 1,013 bar) $1,96358 \text{ kg/m}^3$. Sie ist also größer als die vergleichbare Dichte der Luft von $1,293 \text{ kg/m}^3$. Bei Strömungsgeschwindigkeiten $> 2 \text{ m/s}$ ist eine Entmischung nicht zu befürchten.

Der nicht bekannte Volumenstrom an feuchter Luft läßt sich unter der Annahme einer idealen Mischung zwischen Spürgas und Luft aus dem Erhaltungssatz für Stoffströme berechnen.

$$\dot{V}_{\text{Luft}} = \frac{\dot{m}_{\text{Spürgas}}}{C_{\text{Spürgas}}^*}$$

Dabei wird das Spürgas in großer Verdünnung angenommen. Vorausgesetzt wird ferner, daß die Spürgaskonzentration in der anströmenden Luft null ist. Aus den direkten Meßwerten unter Berücksichtigung der thermodynamischen Zustände (Temperatur und Druck) von reinem Spürgas und Mischgas erhält man den Luftvolumenstrom nach folgender Beziehung:

$$\dot{V}_{\text{Luft}} = \left(\frac{\dot{V}_{\text{Spürgas}}}{C_{\text{Spürgas}}^*} \right) \left(\frac{p_E}{p_A} \right) \left(\frac{T_A}{T_E} \right)$$

Es bedeuten:

- \dot{V}_{Luft} Luftvolumenstrom in m^3/s
- $C_{\text{Spürgas}}^*$ Spürgaskonzentration in $\text{kg Spürgas/m}^3 \text{ Luft}$
- $\dot{m}_{\text{Spürgas}}$ Massenstrom Spürgas in kg/s
- $\dot{V}_{\text{Spürgas}}$ Spürgasvolumenstrom in m^3/s bei Druck p_E und Temperatur T_E (direkter Meßwert)

$C_{\text{Spürgas}}$ Spürgaskonzentration im Mischgasstrom $\text{m}^3 \text{ Spürgas/m}^3 \text{ Luft}$ bei Druck p_A und Temperatur T_A (direkter Meßwert)

p_E Gesamtdruck Spürgas in Pa bei der Volumenstrom-Messung

p_A Gesamtdruck Mischgas in Pa bei der Konzentrations-Messung

T_E Absoluttemperatur Spürgas bei der Volumenstrom-Messung

T_A Absoluttemperatur Mischgas bei der Konzentrations-Messung

Bei der numerischen Rechnung stellte sich heraus, daß die Druck- und Temperaturkorrekturen bei der vorliegenden Meßanordnung vernachlässigt werden dürfen.

Messung des Spürgasvolumenstromes

Für das vorliegende Meßproblem wurden trockene und nasse Gaszähler ausgewählt. Beide Zählertypen messen das Gasvolumen nach dem Verdrängungsprinzip. Sie erreichen eine Meßgenauigkeit $< \pm 1\%$.

Der trockene Gaszähler²⁾, auch Balgengaszähler genannt, besteht aus zwei Bälgen. Sie werden periodisch gefüllt und entleert. Die dadurch bedingte diskontinuierliche Arbeitsweise, die sich in einer entsprechenden Anzeige äußert, erfordert eine Meßzeit $> 20 \text{ min}$. Bei Beachtung dieser Zeitprämisse zeigt sich kein merkbarer Einfluß auf die Meßgenauigkeit. Die preiswerten Balgengaszähler nach DIN 3374 werden in elf Größen von 25 bis $250 \text{ m}^3/\text{h}$ hergestellt.

²⁾ Grundlagen der Gastechnik, Hanser-Verlag München 1981, S. 171.

Verwendet wurde der Gaszähler G4 (Elster AG Mainz) mit einer Nennbelastung von $4 \text{ m}^3/\text{h}$, einer Mindestbelastung von $0,04 \text{ m}^3/\text{h}$ und einer Maximalbelastung von $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Eine spezielle Einstellung des Balgenzählers erfolgte an der „Staatlich anerkannten Prüfstelle für Gasmeßgeräte“ der Stadtwerke Trier für Belastungen $< 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Prüfschein:

Belastung m^3/h	Meßfehler %
0,300	-0,3
0,250	-0,2
0,200	-0,3

Der nasse Gaszähler besteht aus einem mehrteiligen (vierteiligen) Schauferlrad mit Kastenschaufeln. Das umgebende Gehäuse ist mit Öl oder Wasser gefüllt.

Verwendet wurde ein nasser Experimentiergaszähler (Elster AG Mainz) für max. 625 l/h und Drücke bis 5000 Pa mit Öl als Füllflüssigkeit.

Werkprüfschein:

Belastung m^3/h	Meßfehler %
0,025	+0,6
0,200	+0,4
0,400	$\pm 0,0$
0,625	-0,6

Eine laboreigene Prüfung der Meßgenauigkeit erfolgte mit einer relativ einfachen Vorrichtung. Sie ergab im vorliegenden Fall eine gute Übereinstimmung mit der Werksprüfung.

Messung der Spürgaskonzentration

Die Lachgaskonzentration in einem Luftstrom kann derzeit mit akzeptabler Meßgenauigkeit³⁾ nur mit den teuren Infrarot-Gasanalysatoren gemessen werden. Von großem Vorteil ist, daß die Geräte neben der analogen Anzeige eine kontinuierliche Konzentrationsmessung (z.B. Aufzeichnung des Meßsignals auf Linienschreiber) zulassen.

Das Meßprinzip beruht auf der Lichtabsorption im Infrarot-Bereich (Lambert-Beer'sches Gesetz). Die Kalibrierung und Überprüfung wird mit entsprechenden Prüfgasen durchgeführt.

Eingesetzt wurde der Infrarot-Gasanalysator Uras 3G von der Firma Hartmann und Braun mit einem Meßbereich von $0 \div 100 \text{ ppm}$ und einem Schreiberausgang von $0 \div 20 \text{ mA}$.

³⁾ Das Verfahren mit Prüfröhrchen arbeitet diskontinuierlich. Es treten Meßfehler $> 10\%$ auf. Das Verfahren scheidet im vorliegenden Fall aus.

Um die Fehler bei der Konzentrationsmessung klein zu halten, wird die Lachgaseinspeisung beim Experiment so gesteuert, daß etwa 90 ppm erreicht werden.

Spürgas-Zugabe

Die bekannt schlechte Quermischung zwischen parallelen Gasströmen von verschiedener Dichte erfordert besondere Maßnahmen bei der Spürgaszugabe. Durch geeignete Vorrichtungen muß dafür gesorgt werden, daß das Spürgas von vorneherein möglichst gleichmäßig dem zu messenden Luftstrom beigemischt wird. Nach zahlreichen orientierenden Versuchen haben sich die in Bild 2 zusammengestellten Verteilvorrichtungen als optimal herausgestellt. Lediglich zum Vergleich wird immer die Einpunkteinspeisung im Gleichstrom herangezogen, da sie minimale Herstellungskosten und geringen Aufwand verursacht.

Bild 2a zeigt das kreuzförmige Verteilsystem für kreis- und rechteckförmige Kanäle. Auf jeder der beiden Achsen sind nach der Trivialregel eine Vielzahl von Bohrungen angebracht.

Für die Einspeisrichtung gibt es zwei Alternativen. In Bild 2d strömt das Spürgas im Gleichstrom d.h. auf der Leeseite aus. Der Ausströmvorgang erfolgt zwar kontinuierlich, der Quermischungseffekt ist jedoch gering.

Wird Spürgas im Gegenstrom d.h. auf der Luvseite dem Luftstrom beigemischt (Bild 2c), dann erfolgt dies impulsartig und äußert sich in relativ starken zeitlichen Konzentrationschwankungen im Mischgasstrom. Existieren viele Ausströmöffnungen, dann wird dieser instationäre Effekt durch Überlagerung gemildert. Der Quermischungseffekt ist relativ groß, insbesondere bei nicht zu dünnen Verteilrohren.

Das ringförmige Verteilsystem zeigt Bild 2b. Je nach Größe des Querschnittes und angestrebter Meßgenauigkeit werden ein oder zwei Ringe benötigt. Im Gegensatz zu kreuzförmigen Verteilsystemen lassen sich ringförmige Verteilvorrichtungen wesentlich schwerer in Kanäle einbauen. Die Öffnungen (1 oder 2 mm Dmr.) werden auf der Luvseite angebracht. Bei der Gestaltung des Überdruckraumes müssen die bekannten Gesetze für annähernd gleichmäßiges Ausströmen beachtet werden.

Mischgas-Entnahme

Wird am Ende der Mischstrecke eine annähernd ideale Mischung zwischen Luft und Spürgas erreicht, wie z.B. beim Axialventilator, dann ist eine punktförmige Absaugung richtig. Unter realistischen Bedingungen wird in RLT-Anlagen jedoch der theoretische

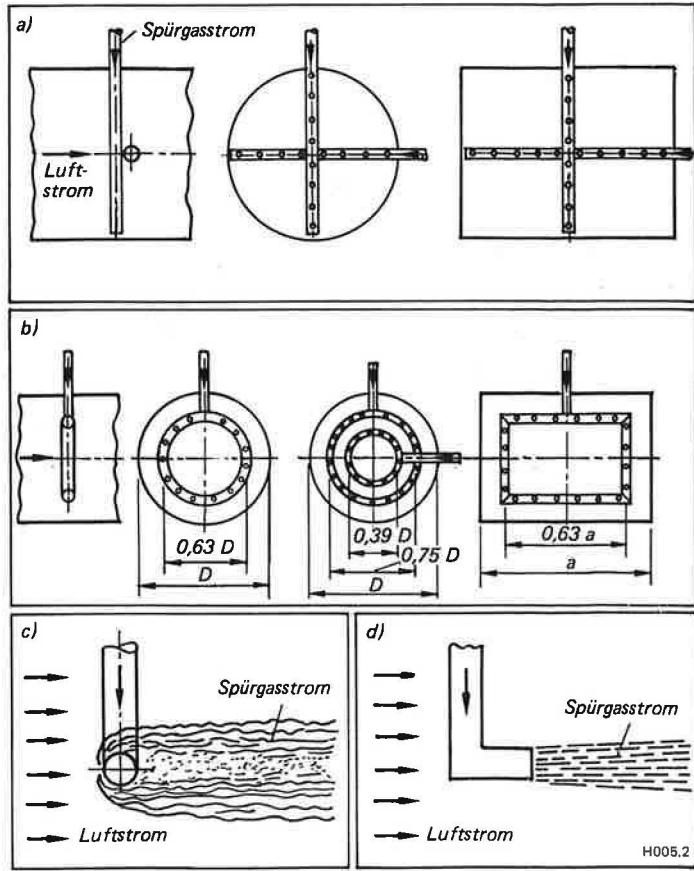


Bild 2: Verteil-Vorrichtungen für Spürgas
a) Kreuzförmige Verteilung,
b) Ringförmige Verteilung,
c) Einspeisung im Gegenstrom,
d) Einspeisung im Gleichstrom

Wert nicht erreicht. D.h. es liegt am Ende der Mischstrecke in vielen Fällen eine ausgeprägte Partialdruckverteilung vor. Aus diesem Sachverhalt heraus kann generell mit einer punktförmigen Absaugung kein ausreichend genaues Ergebnis erreicht werden. Es muß vielmehr zur „Verbesserung der Mischung“ eine geeignete Absaugvorrichtung ausgesucht werden. Absaugkreuz und Absaugring sind geeignet, da sie den Strömungsquerschnitt in wesentlichen Bereichen gleichmäßig abdecken. Die Öffnungen, deren Abstände nach der Trivialregel festgelegt werden, befinden sich auf der Luvseite. Damit an allen Öffnungen weitgehend gleiche Luftströme abgesaugt werden, müssen die bekannten Gesetze für die Druckraumgestaltung eingehalten werden. Lediglich zum Vergleich wird die punktförmige Absaugung herangezogen.

Luftstrom-Vergleichsmessung

Zur Beurteilung der erreichten Meßgenauigkeit bei der Spürgas-Methode wird eine „genaue“ Vergleichsmessung an der jeweiligen Apparatur in Serienanordnung durchgeführt.

Hauptsächlich wird die Einlaufmeßdüse mit Kreisquerschnitt eingesetzt. Die Einlaufkontur⁴⁾ setzt sich aus zwei Kreisbögen zusammen. Mit dem angenommenen Düsenbeiwert von 1 berechnet sich der Volumenstrom zu

$$V = k \sqrt{\frac{1,2}{\Delta p_{\text{Düse}} \rho}}$$

Die Konstante k läßt sich aus dem Düsendurchmesser berechnen. ($k = 146$ bei 200 mm Dmr. und $k = 71,54$ bei 140 mm Dmr.) Der mittlere Fehler liegt zwischen $\pm 1\%$ und $\pm 2\%$. Für höhere Genauigkeitsansprüche muß der Düsenbeiwert in Abhängigkeit von der *Reynolds-Zahl* berücksichtigt werden.

Neben der Einlaufmeßdüse wird die Volumenstrom-Meßdüse von Trox mit

⁴⁾ Handbuch der Klimatechnik Bd. 2 (1986) C. F. Müller, Karlsruhe.

Bild 3: Meßstrecke für Axialventilator und Glattrohrbündel
(Maße in mm)

- a Einlaufdüse,
- b Spürgas-Zugabe bei Glattrohrbündel,
- c Glattrohrbündel,
- d Mischgas-Entnahme hinter Glattrohrbündel bzw. Spürgas-Zugabe bei Axialventilator,
- e Leitrad,
- f Laufrad,
- g Wabengleichrichter,
- h Mischgas-Entnahme hinter Axialventilator,
- i Volumenstrom-Meßdüse

$k = 83$ für eine Nennweite von 160 eingesetzt. Die Meßunsicherheit liegt nach Angaben des Herstellers bei $\pm 4\%$.

Bei der Interpretation der Meßergebnisse wird der Vergleichsstrom mit 100% angesetzt.

Untersuchte Bauelemente

Die Spürgasmethode benötigt eine wirksame Mischstrecke. Besonders geeignet sind daher alle Bauteile und Kanalstrecken von RLT-Anlagen, die große Strömungsturbulzenzen, Wirbel und Drall erzeugen. Dazu zählen u.a. Stromrichtungsänderungen, Drosselklappen, Wärmeübertrager und Ventilatoren. Wenig geeignet sind lange, gerade Kanalstrecken. Die vorliegende Arbeit befaßt sich ausschließlich mit der Untersuchung von drei Ventilatortypen und zwei Wärmeübertragerbauarten.

Axialventilator

Den Aufbau der Meßstrecke zeigt Bild 3. Der Axialventilator befindet sich in einem geraden Strömungskanal. Auf der Saugseite folgt einer Einlaufdüse ein Glattrohrbündel. Auf der Druckseite schließt sich hinter einem Strömungsgleichrichter die Volumenstrommeßdüse von Trox an.

Verwendet wurde das Fabrikat Trox-vent Typ VL4AO66-4D; DN 250 mit direktem Antrieb und Vorleitvorrichtung.

Schaufelzahl Laufrad	8
Schaufelzahl Leitrad (45°)	9
Schaufelwinkel max.	45°
Laufraddurchmesser	250 mm
Nabendurchmesser	158 mm
Maximale Drehzahl	3000 min ⁻¹

Radialventilatoren mit Trommelläufer

Den Aufbau der Meßstrecke zeigt Bild 4. Der Ventilator saugt aus einer Kammer an und fördert in einen direkt angeschlossenen Kanal. Zur Ermittlung des Vergleichsstromes dient eine Einlaufmeßdüse, die auf der Saugseite angeordnet ist. Die Spürgaszugabe erfolgt bei einem Durchmesser von 220 mm. Mischgas wird alternativ an drei verschiedenen Stellen entnommen. Die erste Absaugebene hat $2 \cdot d_{\text{hyd}}$ und die zweite $5 \cdot d_{\text{hyd}}$ Abstand vom Ventilatordruckstutzen. In beiden Fällen wird ein Absaugkreuz bzw. -ring verwendet. Die dritte Entnahmestelle ist punktförmig. Die Mischstrecke setzt sich in diesem Fall aus einer ca. 5 m langen geraden Kanalstrecke, zwei Krümmern 90° mit Umlenkblechen, einem Knie 90° ohne Einbauten und gegenläufigen Drosselklappen zusammen.

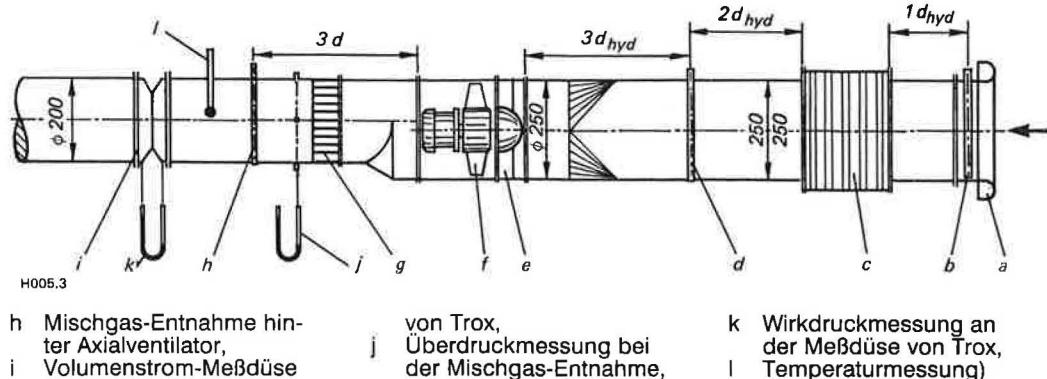
Als Mischkörper werden verwendet:

- Radialventilator (Fabrikat Fischbach-Acoven Typ SD 8-970 D 17-4) mit 52 vorwärtsgekrümmten Schaufeln. Das Laufrad (360 mm Dmr.) wird direkt über einen Scheibenanker motor angetrieben. Die Drehzahl ist stufenlos regelbar von 0 auf max. 1371 min⁻¹. Der Ventilator ist beidseitig saugend.
- Radialventilator (Fabrikat Gebhardt, Typ TEA 01-355-4) mit 42 vorwärts gekrümmten Kreisbogenschaufeln. Das Laufrad (355 mm Dmr.) wird direkt über einen Außenläufermotor angetrieben. Die Drehzahl ist stufenlos regelbar von 0 auf max. 1330 min⁻¹. Der Ventilator ist einseitig saugend.

Glattrohrbündel

Das Glattrohrbündel befindet sich in einem Strömungskanal mit quadratischem Querschnitt (250 mm \times 250 mm; vgl. Bild 3). Es besteht aus elf Reihen, jede Reihe umfaßt zehn Rohre mit 12 mm Außendurchmesser. Die Aufteilung der Rohre ist festgelegt durch ein Querteilungsverhältnis 2, ein Längsteilungsverhältnis 2 und ein Verzweigungsverhältnis 1.

Die Spürgaszugabe erfolgt ca. $1 \cdot d_{\text{hyd}}$ vor dem Glattrohrbündel



durch kreuz- bzw. ringförmige Verteilvorrichtungen mit zwölf Bohrungen auf der Luvseite und alternativ über vier Wandbohrungen der Einströmdüse. Die Mischgasentnahme erfolgte $1,6 \cdot d_{hyd}$ hinter dem Bündel über ein Absaugkreuz mit zwölf Bohrungen auf der Luvseite.

Der Vergleichsluftstrom wird mit einer stromabwärts angeordneten Volumenstrom-Meßdüse (NW 160) nach Trox bestimmt.

Lamellenrohr-Wärmeübertrager

Die Einbausituation zeigt Bild 5. Der Lamellenrohr-Wärmeübertrager befindet sich in einem rechteckigen Strömungskanal von $485 \text{ mm} \times 260 \text{ mm}$. Er besteht aus vier Reihen mit fluchtender Rohranordnung. Sechs Rohre bilden eine Reihe.

Rohrdurchmesser 12 mm
Querteilungsverhältnis 3,4
Lamellen-Maße 255 mm \times 38 mm \times 0,22 mm mit sechs Öffnungen
Lamellen-Zahl 513 je m

Die Spürgaszugabe erfolgt ca. 0,4 m vor dem Wärmeübertrager über eine kreuzförmige Verteilvorrichtung mit zwölf Bohrungen auf der Luvseite. Mischgas wird an der Position d (vgl. Bild 5) über ein Absaugkreuz entnommen.

Meßergebnisse

Die Genauigkeit der vorgestellten Meßmethode wird an Hand des Vergleichsluftstromes (100%) beurteilt.

Da aber die Luftstrom-Messung nach der Spürgas-Methode um so genauer funktioniert, je intensiver die Mischung zwischen Spürgas und Luft durch den betreffenden Mischkörper erfolgt, ist bei der Interpretation des Meßergebnisses ein Gütegrad für die Konzentration sinnvoll. Der Gütegrad vergleicht allgemein das Erreichte mit dem maximal Erreichbaren. Im vorliegenden Fall stellt das Erreichte die gemessene Konzentration am Ende der Mischstrecke dar. Das maximal Erreichbare wird verkörpert durch die theoretisch berechenbare Konzentration bei idealer Mischung. Es gilt:

$$\eta_c = \frac{c_{\text{gemessen}}}{c_{\text{theoretisch}}}$$

Bei idealer Mischung ist $\eta_c = 1$. Je mehr sich η_c dem Wert 1 nähert, um so genauer ist die Luftstrommessung nach der Spürgas-Methode.

Die erreichte Meßgenauigkeit einer Mischstrecke wird außer vom eigentlichen Mischkörper durch eine Reihe von Versuchsparametern beeinflußt.

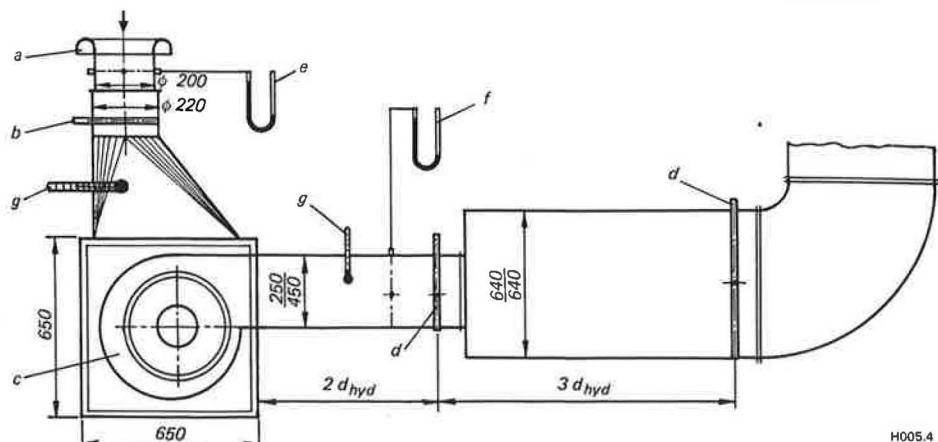


Bild 4: Meßstrecke für Radialventilatoren (Maße in mm)

- a Einlaufmeßdüse,
b Spürgas-Zugabe,
c Radialventilator,
d Mischgas-Entnahme,

- e Wirkdruckmessung an der Einlaufmeßdüse,
f Überdruckmessung bei der Mischgas-Entnahme,
g Temperaturmessung)

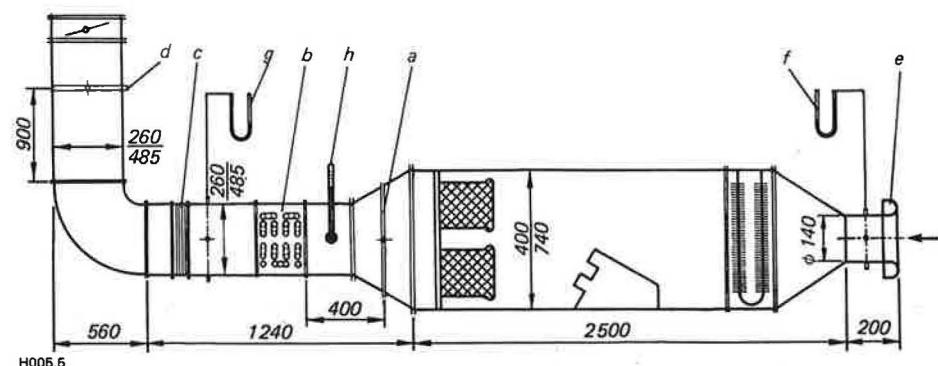


Bild 5: Meßstrecke für Lamellenrohrwärmeübertrager (Maße in mm)

- a Spürgas-Zugabe,
b Lamellenrohr-Wärmeübertrager,
c Tropfenabscheider,
d Mischgas-Entnahme,

- e Einlaufmeßdüse,
f Wirkdruckmessung an der Einlaufdüse,
g Überdruckmessung bei der Mischgas-Entnahme,
h Temperaturmessung)

Dazu zählen die Luftgeschwindigkeit, die Höhe der Spürgaskonzentration, die Art der Mischgasabsaugvorrichtung, die Art der Spürgaszugabevorrichtung, der Abstand zwischen Zugabe und Entnahme usw.

Von den mehr als 100 durchgeführten Versuchen wurden jeweils zwei Versuche für jede untersuchte Mischkörpergeometrie ausgewählt und in Tabelle 2 aufgelistet. Die aus den Meßwerten berechneten Größen enthält Tabelle 3. Zur Bewertung der Meßmethode werden herangezogen:

- der berechnete Luftstrom nach der Spürgas-Methode, der gemessene Vergleichsluftstrom (100%) und die prozentuale Abweichung.
- die theoretisch berechnete Spürgaskonzentration am Ende der Mischstrecke, die gemessene Spürgaskonzentration und der Gütegrad der Konzentration.

Axialventilator

Die aus 22 Versuchen arithmetisch gemittelten Luftstromabweichungen

lagen bei $\pm 1,2\%$, die Extremwerte bei -3% und $+6\%$. Variiert wurden die Anströmgeschwindigkeit durch Drehzahländerung ($3 \div 1,5 \text{ m/s}$) und die Vorrichtungen bei der Spürgas-Zugabe und Mischgas-Entnahme, während der Abstand zwischen Zugabe und Entnahme bei allen Versuchen gleich blieb. Die zeitlichen Konzentrationsschwankungen des Lachgases hinter dem Ventilator lagen bei punktförmiger Zugabe und Entnahme bei etwa $\pm 10\%$, bei kreuzförmigen Vorrichtungen nur bei $\pm 3\%$ bis $\pm 5\%$. Die oben erwähnten negativen Volumenstrom-Abweichungen werden bei punktförmiger Einspeisung und punktförmiger Mischgasentnahme registriert.

Als Ursache kommt die nicht ganz vermisste axiale N_2O -Strähne in Betracht. Zur Vermeidung dieses Effektes empfehlen sich ring- und kreuzförmige Zugabe- und Entnahmeverrichtungen mit jeweils luvseitigen Öffnungen.

Insgesamt gesehen stellt der Axialventilator ein sehr brauchbares Misch-

Tabelle 2: Meßwerte

Ifd. Nr.	Mischstrecke		Gaszähler für Spürgas				Konzentration Spürgas hinter Misch- strecke ppm	Spürgas		Mischgas		Vergleichsluftstrom		Barome- terstand Pa
	Körper	L/d_{hyd}	trocken	naß	Volumen m^3	Meßzeit s		Über- druck Pa	Temp. °C	Über- druck Pa	Temp. °C	Wirk- druck Pa	Temp. °C	
1	Axialventilator	6	x		0,0250	1891	92,5	-35	20	16	20	36,7	19,8	100 085
2	Axialventilator	6		x	0,0450	2867	84,5	-90	18	29	19	64,2	18,3	99 998
3	Radialventilator (Fischbach)	7		x	0,0290	1998	93,0	20	21	0	21	13,1	20,6	97 842
4	Radialventilator (Fischbach)	7	x		0,1660	1810	85,0	232	25	0	28	617,2	26,6	99 904
5	Radialventilator (Gebhardt)	7		x	0,0400	1483	99,0	95	20	746	22	42,2	20,8	100 108
6	Radialventilator (Gebhardt)	7		x	0,0760	2946	86,5	90	22	746	23	49,1	21,6	99 655
7	Lamellenrohr- Wärmeübertrager	5	x		0,0867	2350	97,5	-58	21	-306	22	232	21,7	99 284
8	Lamellenrohr- Wärmeübertrager	5	x		0,0372	2610	95,0	11	21	-59	21	41,8	21,2	99 284
9	Glattrohrbündel	3	x		0,0169	2150	75,0	7	24	0	24	35,4	23,4	99 308
10	Glattrohrbündel	3		x	0,0200	1625	82,0	30	20	28	20	64,1	20,3	99 309

gerät für die Luftstrom-Messung nach der Spürgas-Methode dar. Die theoretische oder ideale Gasmischung wird offensichtlich nur bis auf wenige Prozentpunkte verfehlt. Ursache für den guten Mischungseffekt bildet die Drall-erzeugung durch das Laufrad. Die un-bewertete Schalleistung des Ventila-tors in den Betriebspunkten lag bei Werten zwischen 90 dB und 95 dB. So-wohl die Anströmgeschwindigkeit als auch die Vorrichtungen bei der Zu-gabe und Entnahme des Spürgases haben keinen nennenswerten Einfluß auf das Meßergebnis.

Radialventilatoren mit Trommelläufer

Mit dem Fabrikat Gebhardt wurden 18 Versuche mit Luftströmen von $950 \div 5500 m^3/h$ bei maximaler Ventilatordrehzahl durchgeführt. Die Volumenstromregelung erfolgte durch Drosselung. Nach der Spürgasmethode wurden nur positive Luftstromabweichun-gen von $+2\% \div +5\%$ registriert. Der arithmetische Mittelwert lag bei $+4\%$.

Die deutlich größten Abweichungen mit ca. $+5\%$ im Volumenstrom nach der Spürgasmethode traten bei der punktförmigen Lachgaszugabe auf. Bei der punktförmigen Zugabe und den kleinsten Luftströmen ergaben sich auch die größten zeitlichen Konzentrationsschwankungen bei der Mischgasentnahme von ca. $\pm 10\%$.

Bei allen anderen Zugabe- und Entnahmefvorrichtungen wurden ent-

sprechende Werte von $\pm 2\%$ bis $\pm 4\%$ registriert.

Die ring- und kreuzförmigen Zu-gabe- und Entnahmefvorrichtungen sind im Hinblick auf die erzielbare Meßgenauigkeit praktisch gleichwertig.

Im Bereich der eingestellten Be-triebspunkte variierte der A-bewertete Schalleistungspegel von 73 dB(A) bis 81 dB(A).

Mit dem Fabrikat Fischbach-Acoven wurden ca. 65 Versuche im Bereich von $1000 m^3/h$ bis $3700 m^3/h$ durchgeführt. Die Luftstromeinstellung erfolgte überwiegend über die Drehzahl und nur in wenigen Fällen über Drosselung bei maximaler Drehzahl. Alle nach der Spürgasmethode berechneten Luftströme ergeben positive Abweichun-gen gegenüber dem Vergleichsluftstrom. Sie liegen zwischen den Ex-tremwerten $+4\%$ und $+10\%$ mit dem arithmetischen Mittelwert bei $+7\%$.

Die oben erwähnten Abweichungen weisen keinen eindeutigen Gang mit dem Luftstrom auf. Die Drehzahl hat auch nur einen sehr geringen Einfluß auf die Durchmischung. Etwa um ein Prozentpunkt verringert sich die Volu-menstromabweichung (d.h. verbes-sert sich die Mischung), wenn mit Drosselung bei konstanter Drehzahl experimentiert wird gegenüber der rei-nen Drehzahlregelung. Der Einfluß des Abstandes zwischen der Spürgaszu-gabe vor dem Ventilator und der Mischgasentnahme hinter dem Ventili-tor ist äußerst gering. Es wird praktisch kein Unterschied in der Volumen-

stromabweichung zwischen $2 d_{hyd}$; $5 d_{hyd}$ und $10 d_{hyd}$ registriert. Grundsätzlich sind also keine besonderen Vor- und Nachlaufstrecken erforderlich.

Zum Einfluß der Zugabe- und Entnahmefvorrichtungen (Ring, Doppel-ring, Kreuz, Punkt) ist zu sagen, daß bei gleichbleibender Absaugvorrich-tung (Kreuz) sich bei punktförmiger Einspeisung eine um ca. ein Prozent-punkt größere Volumenstromabwei-chung gegenüber der ring- und kreuz-förmigen Einspeisung einstellt. Die Mischgasabsaugung erfolgte überwie-gend mit Absaugkreuz, selten punkt-förmig. Nennenswerte Unterschiede in der Meßgenauigkeit traten nicht auf. Die zeitlichen Konzentrationsschwan-kungen bei der Entnahme sind bei allen Versuchen gering (ca. $\pm 1\%$). Bei den eingestellten Betriebspunkten lag der A-bewertete Schalleistungspegel bei ca. 89 dB(A).

Der Radialventilator mit Trommelläufer erzeugt die ideale Gasmischung nicht. Es fehlen (soweit eine Verallge-meinerung im Bereich der Trommel-läufer erlaubt ist) ca. 5% an der theore-tischen Mischkonzentration.

Interessant ist eine Betrachtung der Schalleistung bei Ventilatoren, die zu einem großen Teil aus Strömungsab-lösungen an Schaufeln resultiert. Von allen Ventilatoren, die im Bereich der Klimatechnik eingesetzt werden, hat der Axialventilator die höchste Schall-leistung und wie festgestellt, die be-sten Mischeigenschaften. Der Radial-ventilator mit Trommelläufer hat die geringste Schalleistung und entspre-

chend schlechtere Mischeigenschaften. Da der Radialventilator mit Hochleistungsrad in der Schalleistungs-skala zwischen beiden liegt, werden etwas bessere Mischeigenschaften als beim Trommelläufer erwartet.

Da die Versuchsergebnisse nach der Spürgas-Methode gut reproduzierbar und praktisch nicht durch die Geometrie der Einspeis- und Absaugvorrichtung verändert werden, empfiehlt sich die Einführung eines Korrekturfaktors f_k bei der Volumenstromberechnung:

$$\dot{V}_{Luft} = f_k \left(\frac{\dot{V}_{Spürgas}}{C_{Spürgas}} \right) \left(\frac{p_E}{p_A} \right) \left(\frac{T_A}{T_E} \right)$$

Beim Axialventilator ist $f_k = 1$ und beim Radialventilator mit Trommelläufer $f_k = 0,95$. Der Korrekturfaktor für den Radialventilator mit Hochleistungsgrad kann schätzungsweise mit $f_k = 0,97$ angesetzt werden.

Glattrohrbündel

Im Bereich von 200 bis 600 m³/h (entspricht 1 ÷ 3 m/s im leeren Kanal) wurden acht Versuche durchgeführt. Die extremen Volumenstromabweichungen liegen zwischen -29% und +40%. Die von der Zugabevorrichtung herrührenden Lachgas-Strähnen werden beim Passieren des Glattrohrbündels nur unvollkommen vermischt. Sie folgen im wesentlichen den Umlenkungen. Somit lassen sich die un-

terschiedlichen Konzentrationsmeßwerte allein durch die Geometrie der Spürgaszugabe und Mischgasentnahme erklären.

Wird beispielsweise Lachgas durch einen Ring mit Bohrungen eingespeist und Mischgas ebenfalls durch einen Ring entnommen, dann empfängt der Absaugring N₂O-reiche Strähnen. Die gemessene Konzentration ist höher als die theoretische. Daraus berechnet sich eine negative Volumenstromabweichung.

Zur Absaugung N₂O-armen Strähnen kommt es, wenn die Einspeisung von Lachgas über Wandbohrungen und die Entnahme von Mischgas durch einen Ring vorgenommen wird. Die N₂O-Strähnen laufen an der Kanalwand entlang durch das Glattrohrbündel und werden nur in geringem Ausmaß vom Ring erfaßt. Die berechnete Volumenstromabweichung ist dann positiv.

Die zeitlichen Konzentrations-schwankungen hinter dem Bündel sind mit ±25% sehr groß und erschweren die Festlegung eines zeitlichen Mittelwertes. Abschließend wird festgestellt, daß Glattrohrbündel als Mischkörper zur Volumenstrom-Mes-sung nach der Spürgas-Methode völ- lig ungeeignet sind.

Lamellenrohr-Wärmeübertrager

Bei Luftströmen im Bereich von 300 bis 1100 m³/h (entspricht 1 m/s ÷ 3 m/

s im leeren Kanal) wurden zwölf Versuche durchgeführt. Der nach der Spürgas-Methode berechnete Luftstrom weist Abweichungen zum Vergleichs-luftstrom von +17% bis +24% auf. Diese starke Abweichung überrascht, zumal hinter dem Wärmeaustauscher noch ein Tropfenabscheider mit zick-zackförmig gebogenen Blechen und ein 90° Krümmer passiert werden (vgl. Bild 5). Die von der Einspeisung her-rührenden Lachgassträhnen durch-strömen demzufolge den Wärmeaus-tauscher und die folgenden Bauteile, ohne daß eine ausreichende Mi-schung erreicht wird. Die zeitlichen Konzentrationsschwankungen bei der Mischgasentnahme liegen wider Er-warten mit ±3% relativ niedrig. Dies kann eventuell durch die fluchtende Bauart des Wärmeübertragers erklärt werden. Den positiven Volumenstrom-Abweichungen zufolge werden mit der kreuzförmigen Mischgasentnahme mit zwölf Bohrungen offensichtlich lach-gasarme Strähnen abgesaugt. Im Durchschnitt fehlen ca. 20% der theore-tischen (idealen) Konzentration. Die ermittelte Volumenstrom-Abweichung nach der Spürgas-Methode ist bei ei-ner derart schlechten Mischung sicher auch von der gewählten Absaugvor-richtung abhängig und daher äußerst unsicher.

Unabhängig von den konstruktiven Einzelheiten des Wärmeübertragers und der gewählten Verteil- und Ab-saugvorrichtung kommt man zur Er-

Tabelle 3: Meßergebnisse

Idx. Nr.	Mischstrecke		Spürgas-Zugabe			Mischgas-Entnahme			Luftstrom			Spürgaskonzentration		
	Körper	L/d_{hyd}	Punkt	Kreuz	Ring	Punkt	Kreuz	Ring	Ver-gleichs- strom m ³ /h	Spürgasme-thode m ³ /h	Abwei-chung %	gemes-sen ppm	theore-tisch ppm	Güte-grad η_c
1	Axialventilator	6		x				x	505	514	1,80	92,5	94,3	0,98
2	Axialventilator	6			x			x	665	669	0,56	84,5	85	0,99
3	Radialventila-tor (Fischbach)	7			x			x	528,4	561,9	6,30	93	98,89	0,94
4	Radialventila-tor (Fischbach)	7		x				x	3688,5	3929,9	6,50	85	89,5	0,94
5	Radialventila-tor (Gebhardt)	7		x				x	948,3	980,8	3,43	99,0	102,39	0,976
6	Radialventila-tor (Gebhardt)	7	x					x	1022,6	1073,7	5,00	86,5	90,8	0,95
7	Lamellenrohr-Wärmeübertrager	5		x				x	1102,4	1362,3	23,6	97,5	120,4	0,81
8	Lamellenrohr-Wärmeübertrager	5		x				x	461,8	540,28	17	95	111,8	0,85
9	Glattrohrbün-del	3		x				x	501	376,3	-25	75	57	1,32
10	Glattrohrbün-del	3	vier Wand- bohrun- gen					x	664	540,3	-19	84,5	66,7	1,24

kenntnis, daß auch Lamellenrohr-Wärmeübertrager als Mischkörper zur Luftstrom-Messung nach der Spürgas-Methode ungeeignet sind.

Zusammenfassung

Die Luftstrom-Messung nach der Spürgas-Methode erfordert Mischstrecken, die eine intensive Mischung zwischen Spürgas und Luft herbeiführen. Ideal sind Bauelemente, bei denen die theoretische Mischkonzentration erreicht wird. Als Mischstrecke wenig geeignet sind gerade, leere Kanäle. Sie benötigen bei turbulenter Strömung eine Mischstrecke von ca. $80 d_{hy}$ (Tabelle 1). Hinter der Mischstrecke liegt die Spürgaskonzentration noch etwa 5% unter dem theoretischen Wert. Ursache ist der relativ kleine Turbulenzgrad der Kanalströmung, der zwischen 0,7% und 4% (die Raumströmung erreicht Werte $\geq 40\%$) liegt. Durch Strömungsrichtungsänderungen (Doppelwirbel) wird die Mischstrecke graduell verkürzt. Nicht untersucht wurden die in Klimazentralen z.Z. eingesetzten Mischkammerbauarten, da sie bekannterweise ideale

Mischverhältnisse bei weitem nicht erreichen.

Die in der Klimatechnik üblichen Wärmeübertragerbauarten in Form von quer angeströmten mehrreihigen Lamellenrohr- und Glattrohrbündeln bringen, wie die vorliegenden Versuche gezeigt haben, bei weitem nicht den erforderlichen Mischeffekt. Sie sind für die Luftstrom-Messung nach der Spürgasmethode völlig ungeeignet, da Abweichungen im Luftstrom von $\pm 20\%$ bis $\pm 40\%$ festgestellt wurden, die stark von der Wahl der Spürgaszugabe- und Mischgasentnahmeverrichtung abhängen und daher äußerst unsicher sind.

Bemerkenswert gute Mischeigenschaften in Relation zu den vorgenannten Bauteilen haben Ventilatoren. Von den untersuchten Ventilatorbauarten hat der Axialventilator die besten Mischeigenschaften. Die Luftstromabweichungen liegen im Mittel bei $+1\%$. Das bedeutet, daß der Axialventilator eine Spürgas-Luft-Mischung erzeugt, bei der die Spürgaskonzentration nur etwa 1% von der theoretisch berechenbaren abweicht. Beim Radialventilator mit Trommelläufer liegt je nach Fabrikat die Luftstromabweichung ge-

genüber dem Vergleichsstrom (100%) zwischen $+4\%$ und $+7\%$.

Bei Verwendung von Ventilatoren spielt die Geometrie der Zugabe- bzw. Entnahmeverrichtungen eine völlig untergeordnete Rolle. Man kann den Grad der Zuverlässigkeit jedoch durch kreuz- bzw. ringförmige Konstruktionen verbessern. Die Abstände vor der Saugöffnung und hinter dem Druckstutzen sind jeweils mit $2 \cdot d_{hy}$ als ausreichend anzusehen. Undichtigkeiten auf der Saugseite des Ventilators führen zu einer Verfälschung des Meßergebnisses. Am Ende der Mischstrecke wird eine zu kleine Spürgaskonzentration gemessen.

Die Luftstrom-Messung nach der Spürgas-Methode sollte aus Gründen der Genauigkeit und Zuverlässigkeit nur im Bereich von Ventilatoren bei RLT-Anlagen durchgeführt werden. Der breiten Anwendung hinderlich im Wege stehen z.Z. die teuren Infrarot-Gasanalysatoren.

Die Anwendung der Spürgasmethode ist im allgemeinen auf Sonderfälle beschränkt, bei denen die üblichen Verfahren infolge allzugroßer Strömungsstörungen nicht zum Einsatz kommen.

[H 005]

VDI-GESELLSCHAFT TECHNISCHE GEBAUDEAUSRÜSTUNG

Braunschweiger Bezirksverein

17. 3. 1988

Hermann Gruppe: Überwachungsverordnung für haustechnische Anlagen, Erweiterung der TRD 604 auf 72-Stunden-Betrieb ohne Beaufsichtigung

Veranstaltungsort: TU Braunschweig, Kleiner Sitzungssaal, Pockelsstraße 14, 3300 Braunschweig

Auskunft: Obmann Dipl.-Ing. **Fritz Wagner**, c/o Bezirksregierung Braunschweig, Bohlweg 38, 3300 Braunschweig, Tel. 05 31/4 84 35 46

Bremer Bezirksverein

2. 2. 1988

Rainer Hohmann: DDC-Systeme der neuesten Generation und ihre Vorteile für die Betreiber

1. 3. 1988

H. Wichmann: Energieeinsparung und Schadstoffreduktion durch prozeßgesteuerte Wärmerückgewinnung

Veranstaltungsort: Siemens-Hochhaus, Contrescarpe 72, 2800 Bremen 1

Auskunft: Obmann Ing. (grad.) **Helmut W. Deus**, Am Großen Geeren 11-19, 2863 Ritterhude, Tel. 0 42 92/10 25-10 27

Hamburger Bezirksverein

4. 2. 1988

Prof. Bach: Wieviel Energie und Umweltbelastung kann durch Heiztechniken eingespart werden? Ergebnisse des Forschungsvorhabens Norderstedt

Veranstaltungsort: Heidbergstraße 101 bis 111, 2000 Norderstedt

Auskunft: Obmann Dipl.-Ing. **K.-D. Laabs**, i. Hs. Rud. Otto Meyer, Postfach 10 44 60, 2000 Hamburg 1, Tel. 0 40/6 94 92 59

Bezirksverein München, Ober- und Niederbayern

4. 2. 1988

Dr.-Ing. Horst Bartz: Tendenzen in der Reinraumtechnik (Stand

der Technik – Neuentwicklungen)

Veranstaltungsort: Sitzungssaal 516 beim TÜV, Westendstr. 199, 8000 München 21

Auskunft: Obmann **Gerhart Mathis**, c/o Max Weishaupt GmbH, Nailastraße 11, 8000 München 83, Tel. 0 89/67 20 72

Bezirksverein Saar

3. 3. 1988

Dipl.-Ing. B. Canzler jun.: Perspektiven zum EDV-Einsatz in der Technischen Gebäudeausrüstung

Veranstaltungsort: Hotel am Triller, 6600 Saarbrücken

Auskunft: Obmann Dipl.-Ing. **B. Pasterkamp**, i. Hs. Sanicentral GmbH, Am Torhaus 23, 6600 Saarbrücken, Tel. 06 81/40 09-1 08

Westfälischer Bezirksverein

7. 3. 1988

Dipl.-Ing. Rückert: Abdecksysteme für Schwimmbäder und Solar-Technik

Veranstaltungsort: Hotel Drees-Consul, Hohe Straße 107/117, 4600 Dortmund

Auskunft: Obmann Dipl.-Ing. **W. Giebelmann**, Tucholskystraße 31, 4600 Dortmund 1, Tel. 02 31/51 11 21

Württembergischer Ingenieurverein

18. 2. 1988

Obering, A. Böbel: Bauwerk und Haustechnik

24. 3. 1988

Dipl.-Ing. W. Dittes: Die Gefahrstoffverordnung und ihre Bedeutung für die Lufttechnik in Fertigungsstätten

Veranstaltungsort: TWS, Vortragssaal, Hackstraße 31, 7000 Stuttgart

Auskunft: Obmann Dr.-Ing. **R. Idler**, Hochbauamt der Stadt Stuttgart, Abt. Energiewirtschaft, Eberhardstraße 33, 7000 Stuttgart 1, Tel. 07 11/2 16-22 41