

Anwendungen der Tracertechnik im Automobil

Von Willigert Raatschen und Jürgen Kling

1 Einleitung

Mit praktischen Beispielen untermuert, werden verschiedene Möglichkeiten zum Einsatz der Tracertechnik (im deutschen auch häufig als Spurengastechnik bezeichnet) bei der Entwicklung und Bewertung der Automobilklimatisierung aufgezeigt. Zunächst wird ein Meßverfahren zur Bestimmung der Undichtigkeit einer Fahrgastkabine bei geschlossenen Lüftungsklappen und fahrendem Kraftfahrzeug erklärt. Anschließend wird der Einfluß der Dichtigkeit der Umluftklappe während der Fahrt bei Umluftbetrieb gemessen und die Vorgehensweise bei der Messung erläutert. Es folgt eine Bestimmung des Zuluft-Volumenstroms über den Lüfter. Abschließend wird eine Meßmethode zur Bestimmung der Lüftungseffektivität, wie sie in der Gebäude-Klimatechnik immer mehr an Bedeutung gewinnt, auf den Automobilbereich übertragen, um Aussagen über die unterschiedliche Exposition von Fahrgästen durch zum Beispiel Tabakrauch zu erhalten.

2 Dichtigkeit der Fahrzeugkabine

Im Gebäudebereich werden Messungen mit Spurengasen seit mehr als 30 Jahren durchgeführt, wobei insbesondere in den letzten fünf Jahren sowohl die Meßtechnik erheblich verbessert als auch die Meßmethoden verfeinert wurden. Während die bislang recht komplizierte und sensible Meßtechnik fast ausschließlich im wissenschaftlichen Bereich eingesetzt wurde, findet sie dank einer neuen Generation zur Spurengasanalyse jetzt auch in den unterschiedlichsten Bereichen eine breitbandige Anwendung. Neben dem traditionellen Gebäudebereich ist die Umweltechnik zu nennen, wo Schornsteinabgase in der Atmosphäre genauso verfolgt werden können wie der Einfluß der Flugzeugabgase auf die Wohngebiete um Flughäfen herum oder die Ausbreitung von Automobilabgasen in der Umgebung oder deren Beitrag zu einer bestimmten Immissionsituation.

Eine hohe Dichtigkeit der Fahrgastzelle, das heißt Lüftungsklappen geschlossen bei ausgeschaltetem Ventilator, ist erwünscht, um bei plötzlicher Verschlechterung der Außenluftqualität den eintretenden Schadgasstrom möglichst gering zu halten. Auf die Problematik von geschlossenen Lüftungsklappen (CO₂-Anreicherung, beschlagene Scheiben etc.) wird hier nicht eingegangen. Dieser Beitrag soll dazu dienen, die Dichtigkeit der Fahrgastzelle zu quantifizieren.

Das Schließen von Lüftungsklappen kann manuell erfolgen, es wird aber in der Zukunft vermehrt automatisch durch das Vorstellen der Umluftklappe mit Hilfe eines Schadgas-Sensorsignals erfolgen. Über die Dichtigkeit der Fahrgastzelle bestimmt sich die zeitliche Konzentrationszunahme sowohl der von außen eintretenden als auch der im Fahrzeuginneren selbst freigesetzten Schadgase in der Kabine.

Um die Dichtigkeit eines Raumes/Gebäudes oder in diesem Falle einer Fahrgastzelle zu ermitteln, bieten sich zwei Verfahren an

2.1 Über- oder Unterdrucktest

Hier wird das zu untersuchende Volumen mit einem Ventilator auf einen definierten Über- oder Unterdruck gebracht. Gemessen wird die Druckdifferenz zwischen innen und außen und der einblasene oder abgesaugte Volumenstrom. Man erhält eine Kennlinie gemäß Bild 1, aus der

Die mit dem Tracergas gefüllte Spritze wurde mit weniger als 0,5 ml des Spurengases SF₆ gefüllt und bis auf 50 ml Spritzenvolumen mit Luft verdünnt. Bei einem Fahrgastzellen-Volumen von etwa 1 bis 2 m³ ergibt sich an Anfang eine maximale Konzentration zwischen 200 und 300 ppb. Mit einem Lüfter oder durch das Durchmischen der Luft mit einer Zeitlupe läßt sich leicht eine gleichmäßige Durchmischung herstellen. Je nach Dichtigkeit werden in mehr oder weniger kurzen Zeitabständen (zwei Minuten) mit leeren Spritzen der Fahrgastzelle fünf Luftproben entnommen. Die ganze Messung dauert somit nur 10 bis 15 Minuten. Nach Beendigung der Messung kann ein Labor mit vorhandenem Spurengas-Analysegerät die Konzentration der Spritzen bestimmen.

Die Dormier GmbH in Friedrichshafen setzt diese Meßtechnik in Zusammenarbeit mit der TracerTech GmbH, Immenstaad, als erstes deutsches Unternehmen in der Automobiltechnik ein.

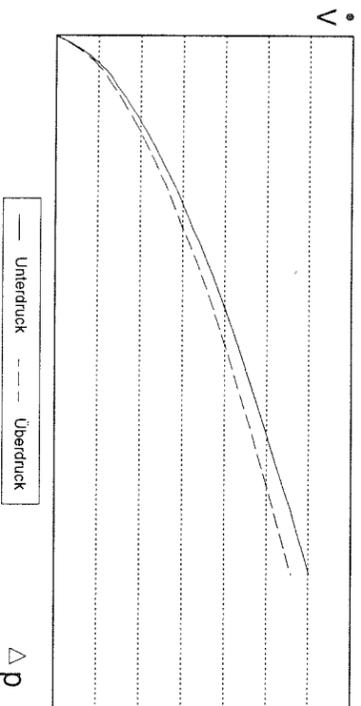


Bild 1: Ergebnisse eines Über- und Unterdrucktests, qualitativ
Fig. 1: Results of a pressurization and depressurization test, qualitative

sich bei einem definierten Differenzdruck ein bestimmter Leckagestrom ergibt. Dieser so bestimmte Leckagestrom eignet sich gut zur Vergleichbarkeit von Automobilen oder zur quantitativen Bewertung bei Veränderungen der Kabinendichtigkeit. Es ist offensichtlich, daß dieser Versuch nur bei stehendem Automobil durchgeführt werden kann und hohen apparativen Aufwand erfordert. Über Schwankungen des so ermittelten Leckagestromes bei Serienfertigung sind nur sehr schwer Aussagen zu machen.

Ungeeignet ist dieses Testverfahren für die oben angesprochene manuelle oder automatische Schließung der Luftzufuhr mit der Bewertung der Dichtigkeit der Fahrgastzelle bei fahrendem Automobil. Während beim Drucktestverfahren im Stehen der Außendruck an der gesamten Fahrzeughülle konstant ist, gibt es bei fahrendem Fahrzeug große Druckunterschiede an der Kabinenaußenhaut, die für den Luftaustausch der Kabinenluft bestimmend sind.

2.2 Spurengas-Meßmethode

Dieses Verfahren kann im Gegensatz zum Drucktestverfahren sehr einfach und ohne Vorbereitungen bei fahrendem Automobil vorgenommen werden. Der Befahrer entleert bei konstanter Geschwindigkeit und geschlossener Luftzufuhr eine Kunststoffspritze mit 50 ml Volumen, wie sie aus dem medizinischen Bereich bekannt ist.

Der Vorteil der neuentwickelten Meßtechnik ist, daß mit geringsten Spurengaskonzentrationen zwischen 50 ppt (50 · 10⁻¹² und 300 ppb (300 · 10⁻⁹) gearbeitet werden kann. Schwefelhexafluorid, SF₆, ist als Spurengas sehr gut für derartige Messungen geeignet, weil es nicht toxisch, geruchlos, preiswert und bis in niedrigste Konzentrationen nachweisbar ist. SF₆ hat selbst bei diesen niedrigen Konzentrationen den Vorteil, daß eine Adsorption von SF₆-Molekülen an Oberflächen vernachlässigbar gering ist.

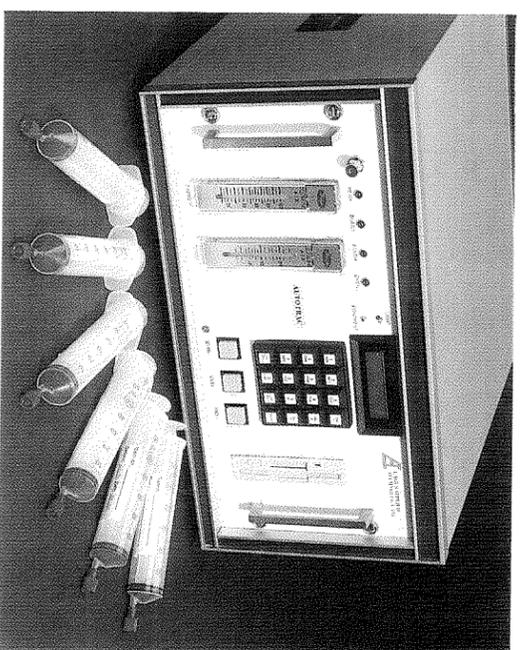


Bild 2 / Fig. 2

Autotrac Gaschromatograph mit Electron Capture Detector zur automatischen und manuellen (mit Spritzen) Analyse von SF₆-Traceproben mit integrierter Auswertung von Volumenstrom- und Dichtkeitsmessungen
Autotrac gas chromatograph with electron capture detector for automatic and manual (syringe) analysis of SF₆ tracer samples with integrated evaluation of volume flow and leakage measurements

The Application of Tracer Gas Techniques in Automobiles

by Willigert Raatschen and Jürgen Kling

The paper outlines simple but very impressive ways how to use tracer gas techniques during design, development and quality assurance of automobile ventilating systems. The tracer method introduced here works with tracer concentrations between 5 ppt (10⁻¹²) up to 300 ppb (10⁻⁹). The preferable tracer used is sulfurhexafluoride, SF₆. Tracer concentration analysis is done by gas chromatography with electron capture detector (Fig. 2). These low concentrations allow air sampling by using simple 60cc syringes with later analysis in a laboratory.

The first test described is the determination of the automobile envelope leakage, measured in a moving car. An injection syringe filled with air and 0,5 ml SF₆ is injected into the interior of a car. After permitting the tracer gas to mix, 5 air samples are taken every 2 minutes. The evaluation of the tracer decay yields the air change rate (Fig. 3) under real conditions, i.e. the pressure distribution around the envelope, and the infiltrated air volume.

The leakage rate of a car is a measure for how fast an ambient contaminant enters the interior of an automobile (Fig. 4). Furthermore, it is outlined how the effective volume of an automobile cabin can be derived from tracer decay data.

The second example for the application of tracer gas techniques in automobiles is demonstrated by measuring the volume flow rate of the ventilating system. Here diluted SF₆ is continuously injected upstream of the fan (Fig. 5). Taking some syringe samples at the supply air grilles under steady state conditions (Tab. 1) it is straight forward to derive the flow rate with high accuracy and very little test preparation time. The flow rate test as well as the leakage test is done in less than 15 minutes.

The third test was to determine the exposure of passengers in an automobile, when the driver is smoking. Constant injection of diluted SF₆ is used to model the release of tobacco smoke. In the breathing zone of the passengers air is continuously pumped into a sampling bag. The specific dose, *d*, and the actual dose, *D*, for a tobacco constituent is derived from the injection rate and the measured mean concentration. An example is given to use the ventilation efficiency concept for building ventilating systems for the evaluation of the airflow pattern in automobile cabins (Fig. 7).

At the end the authors discuss further applications for using advanced tracer gas techniques including the tracing of exhaust gas in the ambient.

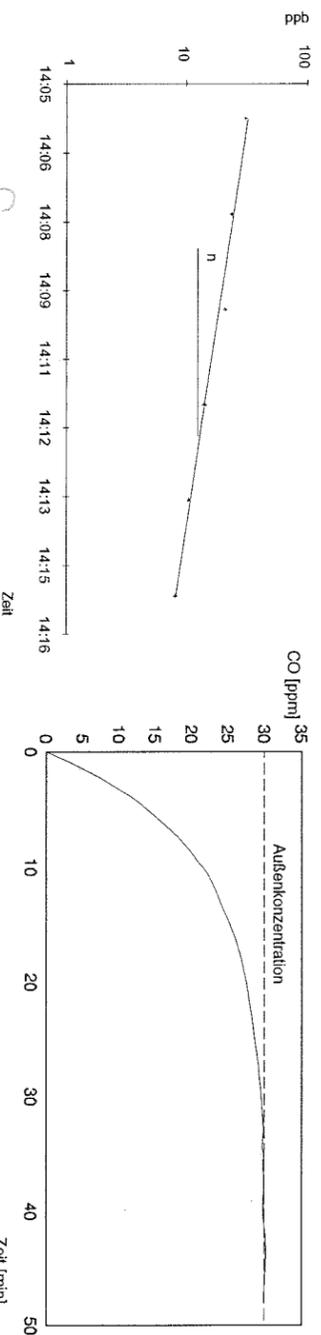


Fig. 3: Result of an air exchange rate measurement using the tracer decay method

Fig. 4: Build-up of cabin concentration, when car with an air change rate of 7,57/h enters a tunnel with a CO-level of 30 ppm

Bild 3: Ergebnis einer Dichtigkeitsmessung nach der Konzentrations-Abklingmethode. Die fünf Proben wurden vor der Analyse verdünnt, um im Eichbereich des Analysebereiches zu sein

Bild 4: Konzentrationsanstieg des Kohlenmonoxidgehaltes der Kabinenluft bei einer Tunneldurchfahrt

Die Analyse der Proben erfolgt mit dem in Bild 2 speziell entwickelten Gaschromatographen mit ECD (Electron Capture Detector).

Mit der herkömmlichen Meßtechnik waren 1000- bis 10 000fach höhere SF₆-Konzentrationen notwendig, wobei zur Analyse ebenfalls größere Probenvolumina (einige Liter) notwendig waren. Das Autohac-System benötigt ein Probengasvolumen von nur 10 ml zur Analyse, das heißt, mit einer Probenahme-spritze von 50 ml könnte eine Analyse bis zu fünfmal wiederholt werden. Es verfügt weiterhin über eine Auswertesoftware.

ware, mit welcher direkt die Luftwechselzahl oder der Luftvolumenstrom (siehe Kapitel 3) berechnet und mit Fehlertoleranz ausgegeben wird.

In Bild 3 ist das Ergebnis einer Luftwechsel- oder Dichtigkeitsmessung an einem Audi 100 CD mit nachträglich eingebauter Klimaanlage dargestellt. Bei abgeschaltetem Ventilator und geschlossener Umluftklappe (also keine Außenluftzufuhr) wurde bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h alle zwei Minuten eine Luftprobe genommen.

Die Messung hier hatte eine Ungenauigkeit von weniger als 2%. Der gemessene Luftwechsel beträgt $n = 7,57/h \pm 0,15$, zur Durchführung von Luftwechselmessungen siehe auch [1, 2]. Bei einem effektiven freien Kabinenvolumen von 2,0 m³ beträgt somit der bei 70 km/h einbringende Leckagevolumenstrom $V_L = V_{Kab} \cdot n = 2,0 \cdot 7,57 = 15,1 \text{ m}^3/h$. Fährt der Fahrer zum Beispiel mit 70 km/h durch einen Straßentunnel, in welchem ein Kohlenmonoxidgehalt von 30 ppm herrscht, so steigt innerhalb der Fahr-gastzelle bei geschlossenen Lüftungs-klappen die Kohlenmonoxidkonzentration, wie in Bild 4 dargestellt, an.

Wurde während der Messung auch die Injektionszeit und die injizierte Spurengasmenge notiert, so läßt sich hierüber auch das effektive durchströmte Kabinenvolumen bestimmen.

Die Steigerung der Regressionsgeraden in Bild 3 entspricht dem Luftwechsel n . Extrapoliert man die Gerade bis zum Beginn der Injektion, so erhält man die Konzentration C_0 . Das tatsächlich am Luftaustausch teilgenommene effektive Kabinenvolumen ergibt sich somit zu

$$V_{Kab,eff} = \frac{V_{SF_6}}{C_0}$$

In obiger Beispielmessung beträgt $V_{Kab,eff} = 2,0 \text{ m}^3 \pm 0,3$.

Es wurde eine weitere Messung bei 70 km/h jetzt mit Umluftbetrieb, aber bei Ventilatorstufe III durchgeführt.

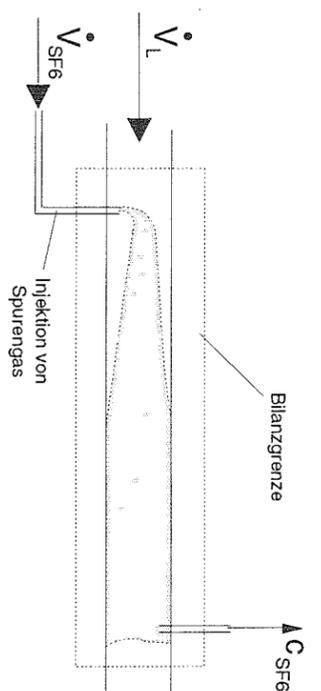


Bild 5: Volumenstrommessung mit Tracergas

Fig. 5: Principle of tracer test set-up to measure volume flow rates

Der Luftwechsel ist nun auf $n = 8,48/h \pm 0,2$ angestiegen. Es ist anzunehmen, daß durch den Unterdruck auf der Saugseite des Ventilators nicht nur Umluft, sondern auch noch Außenluft über Undichtigkeiten angesaugt wurde.

Diese sehr einfache Meßmethode ermöglicht Aussagen, welche mit keiner anderen Technik mit so geringem Aufwand machbar wären. Die Möglichkeit der Analyse im Labor erspart einen sonst nötigen großen apparativen Aufwand. Insbesondere ist hier die Möglichkeit gegeben, in einer repräsentativen Anzahl von Serienfahrzeugen die Schwankungsbreite der Kabinendichtheit zu ermitteln, undichte Umluftklappen aufzusuchen oder Umluftanteile (Verhältnis von Außenluft- zu Umluftvolumenstrom) zu bestimmen.

3 Volumenstrommessung

Die Volumenstrommessung mit Tracergasen gehört zu den einfachen und traditionellen Methoden überhaupt. Hier wird, wie in Bild 5 gezeigt, ein definierter Spurengasvolumenstrom in den Zuluftkanal injiziert und stromabwärts die Konzentration gemessen.

Der Volumenstrom ergibt sich zu

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V}_{SF_6}}{C_{SF_6}}$$

Vorteilhaft ist dieses Meßverfahren überall da, wo herkömmliche Volumenstrommeßverfahren wie Meblende, Staudruckverfahren, Anemometer etc. versagen, das heißt wo sich wegen zu kurzer Rohrleitung, Einmündungen oder Krümmungen keine ausgeprägte Rohrströmung einstellt. Die Verwirklichungen, welche die klassischen Volumenstrommeßverfahren nicht anwendbar machen, sind für das Spurengas-Meßverfahren von Vorteil. So ist zum Beispiel eine Spurengasgabe vor einem Lüfter für eine gute Durchmischung der Zuluft mit dem Spurengas sehr vorteilhaft. Einbau-

ten und Krümmungen unterstützen die Durchmischung ebenfalls. Besonders im Automobilbereich kann die Volumenstrommessung mit einem Spurengas sehr gut eingesetzt werden. Wegen der großen Sensitivität des Analyseverfahrens arbeitet man hier nicht mit reinem SF₆, sondern mit einem SF₆-Luftgemisch. Dieses läßt sich in kleine, handliche, druckfeste Gasflaschen füllen, Bild 6. Der Durchfluß kann zum Beispiel mit einem elektronischen Massendurchflußmesser (Speisespannung 12 V), Bild 6a, oder einem Schwebekörper-Durchflußmesser, Bild 6b, gemessen werden.

Die nachfolgende Volumenstrommessung wurde ebenfalls in dem Audi 100 CD durchgeführt. Injiziert wurde direkt vor dem Zuluftventilator, die Umluftklappe war vollständig geöffnet (also nur Außenluft), der Lüfter wurde in Stufe III betrieben. Injiziert wurde mit einem Etichgas von 787 ppm SF₆ in N₂ bei einer Injektionsrate von 55 cm³/min. Die Probenahme erfolgte während der Fahrt bei einer konstanten Geschwindigkeit von 90 km/h mit 50-ml-Spritzen. Ein 5 cm langer Schlauch auf der Spritze wurde durch das mittlere beziehungsweise linke Lüftungsgitter in den Zuluftkanal geschoben; abwechselnd wurden Luftproben genommen. Tabelle 1 gibt die Meßwerte wieder.

$$\dot{V}_{zu} = \frac{V_{SF_6}}{C_{SF_6}} = \frac{55 \text{ cm}^3/\text{min}}{10,36 \cdot 10^{-9}} \cdot 787 \cdot 10^{-6} = 4,18 \cdot 10^6 \text{ cm}^3/\text{min} = 251 \text{ m}^3/h \pm 11$$

Während bei Messungen mit dem Pitot-Rohr eine ausgeprägte Rohrströmung vorhanden sein muß, können weiterhin Verwirbelungen des Pitot-Rohres im Luftstrom beträchtlichen Einfluß auf das Ergebnis haben. Bei der Messung mit Spurengas sind derartige personenbezogene Meßfehler ausgeschlossen. Es muß nur auf eine gute Durchmischung des Spurengases mit der Zuluft geachtet werden. Die Qualität der Durchmischung kann aber nun sehr leicht überprüft werden, indem einfach an unterschiedlichen Stellen im Strömungsquerschnitt Proben genommen und auf Konzentrationsunterschiede hin untersucht werden.

Uhrzeit	C _{as} [ppb]
14:45	10,6
14:47	10,2
14:49	10,6
14:51	9,92
14:53	10,5
Durchschnitt	10,36

4 Lüftungseffektivität

In der Klimatechnik wird hierunter verstanden, wie effektiv ein Lüftungssystem ein gestelltes Anforderungsprofil erfüllt. Zwei Beispiele dafür:

Bei einem Verdrängungs-Lüftungssystem (etwa Quelllüftung) soll die Zuluft wie ein Kolben den Raum durchströmen. Als Größe für die Beurteilung dieser Art von Luftströmungsmuster dient der Luftaustausch-Wirkungsgrad η_a . Bei $\eta_a = 1$ ist eine ideale Verdrängungsströmung vorhanden. Bei einem Mischlüftungssystem wäre $\eta_a = 0,5$.

Bei Kurzschlußströmung wäre $\eta_a < 0,5$. Die Ermittlung der Lüftungseffektivität erfolgt mit einer Spurengasmessung. Die Details hierzu sind ausführlich in [1] beschrieben. Hat ein Lüftungssystem nun die Aufgabe, im Raum emittierte Schadstoffe effektiv abzuführen, so läßt sich hierzu wiederum eine Kenngröße, zum Beispiel der Belastungsgrad, finden, der mit einem Spurengasversuch bestimmt werden kann.

Formelzeichen	Bezeichnung
Ap	Druckdifferenz
At	Zeitdifferenz
c	Spurengaskonzentration
V	Volumenstrom
d	spez. Dosis
n	Luftwechselzahl
c ₀	Anfangskonzentration zur Zeit t = 0
c̄	mittlere Konzentration
η _a	Luftaustausch-wirkungsgrad
V	Volumen
D	Dosisbelastung
ζ	Raumbelastungsgrad

Indizes	
L	Luft
Kab	Kabine
eff	effektiv
SF ₆	Spurengas, Schwefelhexafluorid
zu	Zuluft
Beutel	Probennahmebeutel
B	Beifahrer
vr	vorre rechts
AZ	Aufenthaltszone
N ₂	Stickstoff
ab	Abluft
i	Schadstoffkomponenten „i“

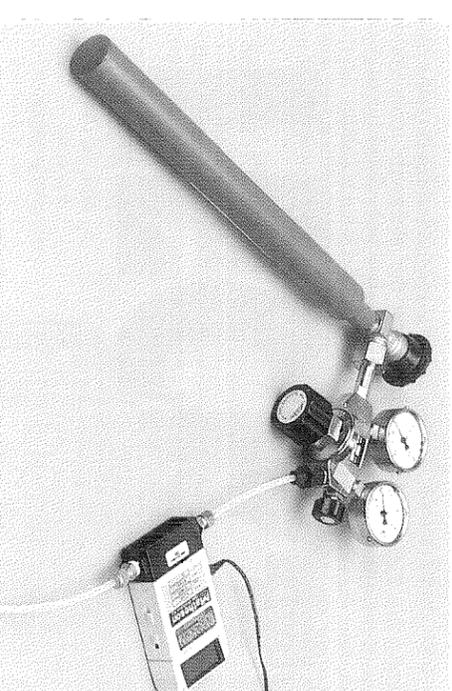


Bild 6a: Kleinstahlf flasche mit Druckminderer und elektronischem Durchflußmesser

Fig. 6a: Lecture bottle with diluted SF₆ pressure controller, and electronic mass flow meter

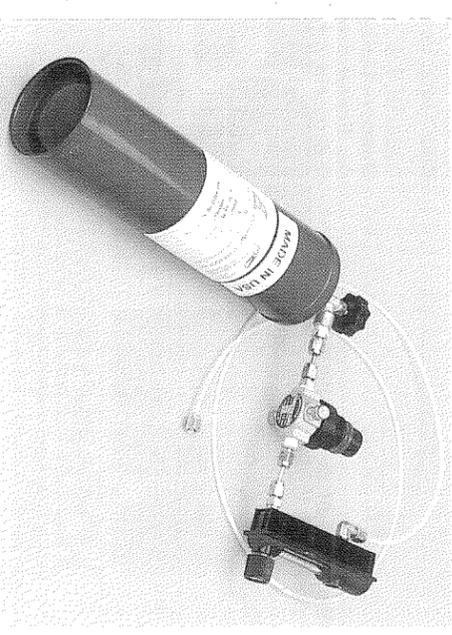


Bild 6b: Gasdruckbehälter mit Drossel und Schwebekörper-Durchflußmesser

Fig. 6b: Gas cylinder with nozzle and rotating ball flow meter

Table 2: Mittlere über Probenahmebeutel gemessene Konzentrationen an drei Beifahrersitzplätzen während eines simulierten Tabakrauchversuches

Beifahrer vorne rechts	Beifahrer hinten rechts	Beifahrer hinten links
6,58	9,73	9,86
12,6	18,5	18,8

Von den zahlreichen Möglichkeiten der Spurengas-Messtechnik soll hier nur eine näher betrachtet werden. Wie ist die Belastung beziehungsweise die Exposition der Beifahrer, wenn der Fahrer raucht? Ein sehr einfacher Versuch hierzu sieht so aus, daß der Fahrer über einen Zigaretten-Dummy, aus welchem ein konstanter Spurengas-Volumenstrom austritt, die Bewegung der Zigarette zwischen Mund und Aschenbecher nachmacht. In Abmähle der drei Beifahrer wird für die Rauchdauer einer Zigarette von etwa sechs Minuten mit einer Kleinen Probenahmepumpe Luft in einen Plastikbeutel gepumpt. Nach sechs Minuten enthalten alle Beutel eine mittlere Konzentration, die analysiert werden kann und aus der sich die unterschiedliche Belastung der Beifahrer bei einer definierten Lüftungskappenstellung bestimmen läßt.

Table 2 zeigt die Ergebnisse eines solchen Versuchs. Es wurde ein zeitlich konstanter Spurengas-Massenstrom von 40 cm³/min SF₆ in N₂ (C_{SFG} = 787 ppm) von einem Zigaretten-Dummy an die Kabinenluft abgegeben. Hierbei inhalierte der Fahrer in der gleichen Weise wie mit einer Zigarette und führte den Dummy in unregelmäßigen Abständen vom Aschenbecher zum Mund.

Die spezifische Dosisbelastung der Beifahrer bestimmt sich mit der mittleren Konzentration \bar{C}_{Beutel} zu

$$d = \frac{\bar{C}_{\text{Beutel}} \cdot \Delta t}{V_{\text{SF}_6}}$$

Hierbei ist Δt die Zeitdauer der Probenahme und V_{SF_6} das emittierte Volumen an Spurengas. In dieser Messung betrug die spezifische Dosisbelastung für den Beifahrer vorne rechts $d_{B,vr}$

$$d_{B,vr} = \frac{6,58 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \text{ min}}{40 \text{ cm}^3/\text{min} \cdot 787 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \text{ min}} = 12,6 \frac{\text{s}}{\text{m}^3}$$

Die Dosisbelastung für ein bestimmtes Schadgas im Tabakrauch, D_i , bestimmt sich hieraus zu

$$D_i = d \cdot V_i$$

wobei V_i die insgesamt in diesem Zeitintervall freigesetzte Menge einer Schadstoffkomponente aus dem Tabakrauch,

Quelle:verhalten würde sich an jeder Stelle der Fahrzeukabine nach einer gewissen Zeit eine konstante Endkonzentration einstellen, woraus sich der örtliche Belastungsgrad bestimmen ließe.

Bei vollständiger Durchmischung des Schadstoffes im Raum betrüge der örtliche Belastungsgrad an jeder Stelle der Kabine eins. Erstrebenswert ist ein Belastungsgrad kleiner als eins. Bei ungünstiger Luftführung können aber durchaus Werte wesentlich größer als eins gemessen werden.

5 Diskussion

Dieser Beitrag sollte eine Anregung geben, wo es auch bei der Automobilklimatisierung nützlich sein könnte, mit einer neuen Generation von Spurengas-Meßgeräten und -techniken Aussagen zu erzielen, die bislang mit anderen Meßmethoden entweder gar nicht oder nur mit sehr viel mehr Aufwand möglich waren. Die hier beispielhaft vorgestellten Parametermessungen wurden ohne großen Aufwand an einem Nachmittag während drei Stunden durchgeführt. Es ist noch viel Spielraum für Verbesserungen der Meßtechnik vorhanden. Sicherlich lassen sich über spezielle Tracertechniken noch weitere Aussagen versuchsstechnisch einfach bestätigen, die heute nur mit aufwendigen CFD-Simulationen ermittelt werden können.

Von Interesse könnte hierzu insbesondere auch die Tabakrauchausbreitung in Omnibussen, Flugzeugen und Großraumwaggons der Bahnbetriebe sein. Lebenswichtige Bedeutung können Spurengasmessungen für das Fahrpersonal von Spezialfahrzeugen des Katastrophenschutzes, der Polizei oder der Bundeswehr haben, die gasdichte Kabinen haben sollen. Hier gibt es weiterhin spezielle Tracermethoden, um etwa den gasdichten Einbau von Adsorptionsfiltern einfach und sicher zu überprüfen.

Der vom Fahrtwind induzierte hohe Unterdruck auf der Heckseite eines Automobils kann bei unbeabsichtigten Undichtigkeiten oder ungeschickter Anordnung von Luftaustrittsöffnungen leicht zu einem Rückströmen von Abgasen aus

Dadurch, daß der Fahrer den Zigaretten-Dummy ständig zum Mund führte, war der Emmissionsort des Spurengases nicht fest, worin die Streuung der Meßwerte begründet ist. Bei lokal stationären

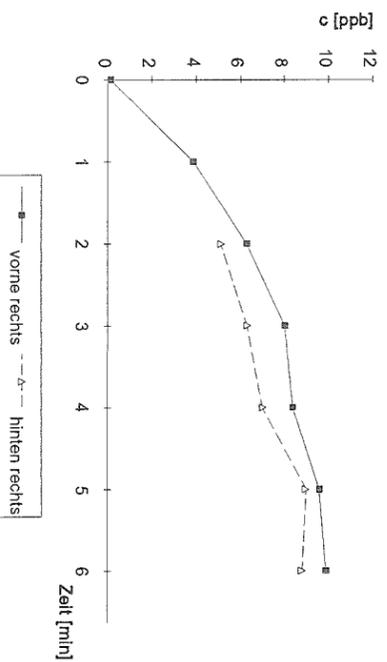


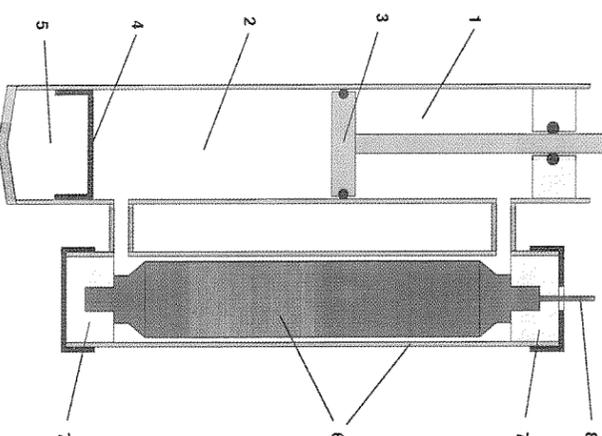
Bild 7: Zeitliche SF₆-Konzentrationszunahme auf Mitfahrerplätzen

Fig. 7: Build-up of tracer concentration in the breathing zone of the passengers

Fahrwerk Schwingungsdämpfer mit elektrorheologischen Fluiden Shock Absorber with Electro-Rheological Fluids

Die Bayer AG, Leverkusen, hat in ersten Versuchen Schwingungsdämpfer mit elektrorheologischen Flüssigkeiten (ERF) getestet. Abhängig von der jeweils angelegten Spannung können diese „intelligenten“ Öle die Dämpferkraft variieren. In Verbindung mit geeigneter Sensorik wird der Fahrbahnzustand direkt über die Radbewegung erfäßt und innerhalb von Millisekunden die benötigte Dämpfung eingestellt.

Zu Versuchszwecken wurde ein handelsüblicher Schwingungsdämpfer so modifiziert, daß die Flüssigkeit nicht – wie üblicherweise – durch Öffnungen im Kolben strömt, sondern über ein elektrorheologisches Ringspalt-Ventil, das die durch den Kolben getriebenen Flüssigkeitskammern des Dämpfers verbindet. Bild. Mit einem Hochspannungsmotordampfer wird die Viskosität der Flüssigkeit – und damit die Härte des Dämpfers – stufenlos durch die Feldstärke gesteuert.



Aufbau des Schwingungsdämpfers mit ERF:

- 1 obere Flüssigkeitskammer
- 2 untere Flüssigkeitskammer
- 3 Kolben
- 4 Gas-Trennkolben
- 5 Gasvolumen
- 6 Ringspalt-ER-Ventil
- 7 Isolation
- 8 Hochspannungsanschluß

Layout of shock absorber with ERF

Weitere Informationen: Bayer AG, D-51368 Leverkusen, Tel. 02 14/30-1, Fax 02 14/30-89 23

Anschriften der Verfasser:
Dr.-Ing. Willibert Raatschen
Normannenweg 142
D-88090 Immenstaad
Dipl.-Ing. Jürgen Kling
Schulerstraße 16
D-88677 Markdorf

dem Auspuff ins Kabineninnere führen. Mit einem einfachen Tracerversuch wird dieser Anteil exakt, schnell und einfach quantifiziert. Der große Vorteil der Tracertechnik mit sehr niedrigen Konzentrationen liegt darin, daß die Analysegeräte nicht mehr im Versuchs-Pkw mitgeführt werden müssen. Hierdurch minimiert sich die Versuchsvorbereitung ganz erheblich. Hinzu kommt ein nicht unerheblicher Preisvorteil. Zum einen ist das speziell für Traceranalysen entwickelte Autotrac-Gerät preislich weitaus günstiger erhältlich als die bei höheren Konzentrationen arbeitenden Gasanalysatoren auf Infrarotdetektionsbasis; zum anderen ist es möglich, Analysespritzen einfach per Post ins Labor zu schicken und den Inhalt dort analysieren zu lassen.

Literaturhinweise

- [1] Raatschen, W.: Was ist Luftungseffektivität. In: KI 5, 6, 7-8/88
- [2] IEA (International Energy Agency-Annex XX report) C. A. Roullet und L. Vandaele (eds). Measurement Techniques related to Air Flow Patterns within Buildings Application Guide, Lausanne, Oct. 1990, AIVC Publication TN34

LECKTESTEN

Automatische Dichtigkeitsprüfung in der Serie – Das Lecktestgerät MFS 20 ist ein Beispiel aus unserem breiten Lieferprogramm, das sämtliche Prüfverfahren und Meßmethoden umfaßt.

JWFROEHLICH TESTTECHNIK
JW Froehlich Maschinenfabrik GmbH
Postfach 10 01 53
D-70745 Leinfelden-Echterdingen
Telefon 0049-7-11/79766-62
Telefax 0049-7-11/757131