

# Freie Luftströmungen entsorgen Parkräume

RLT-Anlagen ohne Blechkanäle als Alternative zur Querlüftung mit Blechkanälen – 1. Teil



*In Parkräumen großer Längsausdehnungen wird die Entsorgung von Motorabgasen, speziell aber von deren CO-Gas-Komponente mit raumlufttechnischen Anlagen hauptsächlich bei Querlüftung auf räumlich kurzen Wegen betrieben. Die hierfür benötigten lüftungstechnischen Kanäle haben oft schon allein*

*aufgrund ihrer Anwesenheit eine Abwertung des Parkraumes mit restriktiven Einflüssen auf die Akzeptanz der Nutzer zur Folge.*

*Abhilfe kann in solchen Fällen die kanallose Längslüftung schaffen. Je nach gewünschter Raumlufthausqualität in den Zonen örtlich höchster Belastung sind die Volumenströme bei der Längsentsorgung auch nicht größer als bei der konventionellen Querlüftung. In Verbindung mit*

*architektonisch klarer und lichttechnisch positiver Gestaltung lassen sich auf diese Weise gut übersichtliche Parkräume mit freundlicher Atmosphäre schaffen, die der Nutzer gerne annimmt.*

*Diese Arbeit befaßt sich mit den unterschiedlichen Wirkungsweisen beider Systeme: Ist die Längsentsorgung zeitkritisch, so müssen bei der Querlüftung die jeweiligen raumlufttechnischen Ortsbedingungen berücksichtigt werden. Beide Systeme sind jedoch hinsichtlich der Entsorgungsfunktion gleichwertig. Die Längslüftung könnte ihre Begrenzung jenseits der bis heute realisierten Anlagen durch die dem Nutzer nicht mehr zumutbaren Strömungsgeschwindigkeiten der Raumlufthaus beim Übergang zu Tunnelparksystemen haben. Gegenüber der Querlüftung hat sie den Vorteil, ohne Kanalsysteme und bei eingeschossigen Parkeinrichtungen meistens nur mit einer Abluftanlage auszukommen.*

**Dr.-Ing. Hermann Krug,**  
Leiter des Technischen Referats der ERG,  
Zentralverwaltung Pforz

In schmalen Parkräumen großer Längsausdehnungen wird die Entsorgung von Motorabgasen, speziell aber von deren CO-Gas-Komponente hauptsächlich mit der Querlüftung durchgeführt. Für diesen Zweck sind an beiden Längswandungen lüftungstechnische Kanäle mit stellbaren Gittern zur Regulierung der örtlichen Volumenströme erforderlich. Über die Kanalgritter wird Raumlufthaus abgesaugt bzw. Außenluft eingeblasen. Beim Entsorgungskonzept mit nur einseitiger Absaugung der Raumlufthaus strömt Außenluft durch gegenüberliegende Öffnungen frei nach.

Die lüftungstechnischen Kanäle verlaufen entweder außerhalb der baulichen Anlage oder sie werden im Parkraum realisiert.

Bei großer Längsausdehnung einer Garage haben die Innenkanäle aus Blech in den Stellplatzbereichen meist auch einen größeren Raumbedarf. Die platzsparende Herstellung von Außenkanälen mit Fertigbauteilen oder aus Ortbeton einschließlich der lüftungstechnisch erforderlichen Verbindungs-Öffnungen durch die Decke oder durch die Wände in den Parkraum ist meist sehr kostenintensiv und oft auch so nicht zu verwirklichen.

Im Hinblick auf die Akzeptanz einer Garage durch die Benutzer sollte neben der guten Überschaubarkeit des Parkraumes mit guter Ausleuchtung die Entsorgung ohne die oft erdrückend wirkenden Blechkanäle angestrebt werden.

Hierzu bietet sich die Längslüftung des Parkraumes an. Für diesen Zweck werden den beiden stirnseitigen Begrenzungswandungen im Abstand von z. B. 1 m lüftungstechnische Wände vorgelassen, die mit stellbaren Gittern zur Regulierung der örtlichen Volumenströme bestückt sind. Eine dieser Wandungen dient zur Absaugung der Raumlufthaus, über die gegenüberliegende wird Außenluft eingeblasen.

Falls es die räumliche Konfiguration strömungstechnisch zuläßt, ist auch nur eine lüftungstechnische Absaugwand erforderlich. Außenluft strömt dann frei z. B. über den Querschnitt der Ein-/Ausfahrt nach.

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen sollen Aufschluß darüber geben, in welchem Umfange die Querlüftung mit Blechkanälen zur Entsorgung eines Parkraumes hinsichtlich der Luftqualität gleichwertig durch Längslüftung ohne Kanäle ersetzt werden kann.

## Grundlagen

Für die Durchführung der dem besseren Verständnis dienenden Grundlagen-Untersuchungen wurde ein leerer Parkraum mit glatten Begrenzungswandungen der Innen-Abmessungen

Länge  $L = 100 \text{ m}$ ,  
Breite  $B = 17 \text{ m}$ ,  
Höhe  $H = 2,5 \text{ m}$

gewählt.

Die Nutzfläche des Parkraumes beträgt  $F = 1700 \text{ m}^2$ .  
Er hat das Leervolumen  $V = 4250 \text{ m}^3$ .

Querschnitt der Strömung in Längsrichtung  
 $17 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 42,5 \text{ m}^2$ .

Querschnitt der Strömung senkrecht hierzu:  
 $100 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 250 \text{ m}^2$ .

Während einer Stunde sollen Phantomautos entsprechend der Laufzeiten ihrer Motoren in diesem Parkraum  $0,5 \text{ m}^3 \text{ CO-Gas}$  freigesetzt haben. Es findet zunächst kein Luftaustausch statt.

Nach idealisiert homogener Durchmischung der Gaskomponenten wird sich der CO-Gehalt der Raumlufthaus auf

$$\frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ CO}}{4250 \text{ m}^3} = 0,000118 \frac{\text{m}^3 \text{ CO}}{\text{m}^3} = 118 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3 \text{ CO}}{\text{m}^3} \quad (1)$$

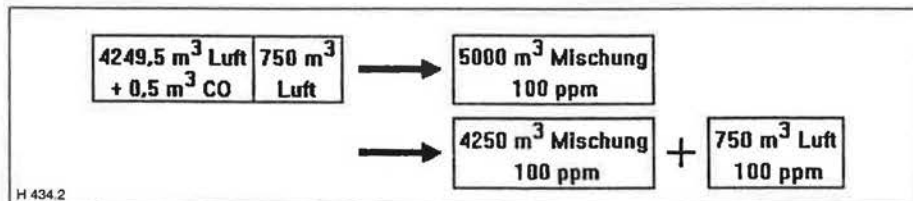


dies sind 118 ppm (ppm steht für parts per million) einstellen (Bild 1).

Umgekehrt müßten nach diesem Formalismus die 0,5 m<sup>3</sup> CO mit dem Luftvolumen

$$V_{\text{m}^3} = \frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ CO}}{100 \text{ ppm}} \times 10^6 \text{ m}^3 = 5000 \text{ m}^3 \quad (2)$$

homogen vermischt werden, damit der CO-Gehalt der Raumluft entsprechend den sicherheitstechnischen Anforderungen von z. B. 100 ppm [1; 2] nicht übersteigt. Hierzu wäre eine Vergrößerung des



realen Luftvolumens im Parkraum um 750 m<sup>3</sup> erforderlich. Da dies aus baulichen Gründen nicht möglich ist, wird das Raumluftvolumen durch Einblasen zusätzlicher, nicht vorbelasteter Luft gewissermaßen vergrößert. Das Einblasen hat dieselbe Wirkung wie Absaugen von Raumluft und Nachströmen nicht vorbelasteter Luft. Hierbei entweichen 750 m<sup>3</sup> Raumluft, die mit 100 ppm kontaminiert sind (Bild 2).

Dieser Vorgang läuft in folgenden Einzelschritten ab:

An das Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes werden im gedanklichen Experiment 750 m<sup>3</sup> Luft ohne Vorbelastung angedockt. Die beiden Luftvolumina vermischen sich. Der CO-Gehalt im Luftraum mit dem Volumen 5000 m<sup>3</sup> nimmt den Wert 100 ppm an. 750 m<sup>3</sup> Luft mit dem CO-Gehalt 100 ppm werden abgekoppelt. Zurück bleibt das Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes mit dem CO-Gehalt von 100 ppm.

Den gleichen Effekt könnte man erzielen, wenn Luft theoretisch so langsam und so gleichmäßig verteilt kontinuierlich eingeblasen werden würde, daß die Raumluft in allen Volumeneinheiten ständig mit 100 ppm kontaminiert wäre.

Wenn die Raumluft, deren CO-Gehalt 118 ppm beträgt, durch nachströmende, unbelastete Außenluft ohne Durchmischung wie mit einem Kolben aus dem Raum gepreßt wird, dann tritt auch Luft mit dem CO-Gehalt 118 ppm aus. Da sich bei diesem Vorgang die ausgetragene CO-Gas-Menge erhöht, kann das zugeführte Luftvolumen entsprechend kleiner sein. Wenn  $V$  das zur Entsorgung der Raumluft auf die CO-Gas-Konzentration von 100 ppm notwendige unbelastete Luftvolumen ist, dann gilt

$$\frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ CO} - V \text{ m}^3 \times 118 \text{ ppm} \times 10^{-6}}{4250 \text{ m}^3} = 100 \text{ ppm} \times 10^{-6} \quad (3).$$

Umgeformt erhält man

$$V \text{ m}^3 = \frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ CO} - 4250 \text{ m}^3 \times 100 \text{ ppm} \times 10^{-6}}{118 \text{ ppm} \times 10^{-6}} \quad (4)$$

$$V = 636 \text{ m}^3.$$

Die Berechnung eines Volumens oder eines Volumenstromes nach der Methode, die Gleichheit von Raumluftbelastung und Be-

lastung der Fortluft zum Ergebnis hat, beinhaltet demnach immer eine Sicherheitsreserve.

Wenn das Volumen von 750 m<sup>3</sup> nachströmender Luft im Beispiel Gl. (1) mit 15 ppm vorbelastet ist, dann ergibt sich folgende CO-Bilanz:

$$\begin{array}{rcl} 750 \text{ m}^3 \times 15 \text{ ppm} \times 10^{-6} & = & 0,01125 \text{ m}^3 \text{ CO} \\ \text{zuzüglich der vorhandenen} & & 0,5 \text{ m}^3 \text{ CO} \\ \text{sind dies insgesamt} & & 0,51125 \text{ m}^3 \text{ CO} \end{array}$$

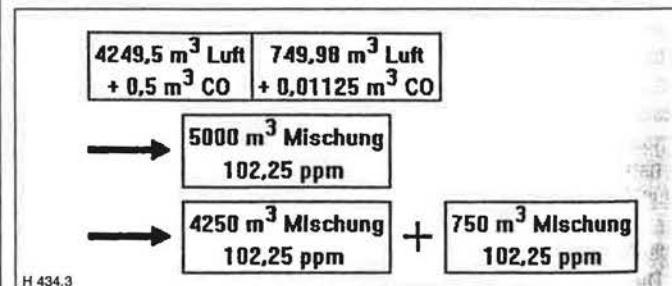
Bezogen auf das Gesamtluftvolumen stellt sich der CO-Gehalt auf

$$\frac{0,51125 \text{ m}^3 \text{ CO}}{5000 \text{ m}^3 \text{ CO}} = 102,25 \text{ ppm.}$$

ein.

Einzelschritte:

An das Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes werden 750 m<sup>3</sup> Luft mit der CO-Gas-Vorbelastung 15 ppm angedockt. Die beiden Luftvolumina vermischen sich. Der CO-Gehalt im Luftraum mit dem Volumen 5000 m<sup>3</sup> nimmt den Wert 102,25 ppm an. 750 m<sup>3</sup> Luft mit dem CO-Gehalt 102,25 ppm werden abgekoppelt. Zurück bleibt das Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes mit dem CO-Gehalt von 102,25 ppm (Bild 3).



Die nächste Aufgabe besteht wieder in der Bestimmung des mit der Vorbelastung von 15 ppm zuzuführenden Luftvolumens, damit sich der CO-Gehalt der Raumluft auf 100 ppm reduziert.

$V \text{ m}^3 \times 15 \text{ ppm} \times 10^{-6}$  ergibt die CO-Gas-Menge im unbekannten Luftvolumen  $V \text{ m}^3$ . Im Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> sind 0,5 m<sup>3</sup> CO vorhanden. Die CO-Menge  $V \text{ m}^3 \times 15 \text{ ppm} \times 10^{-6} + 0,5 \text{ m}^3 \text{ CO}$  sind auf das Gesamtluftvolumen  $V \text{ m}^3 + 4250 \text{ m}^3$  zu beziehen. Dieser Quotient ergibt

$$\frac{V \text{ m}^3 \times 15 \text{ ppm} \times 10^{-6} + 0,5 \text{ m}^3 \text{ CO}}{V \text{ m}^3 + 4250 \text{ m}^3} = 100 \text{ ppm} \quad (5)$$

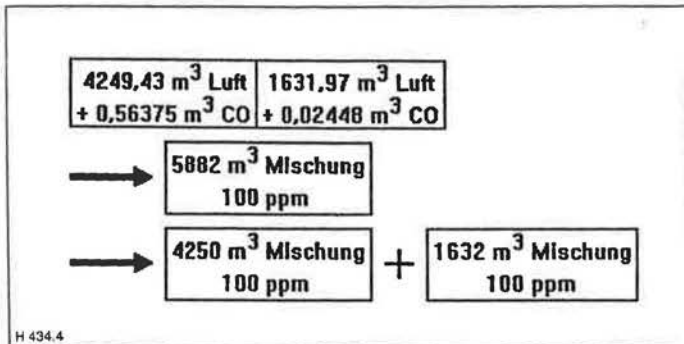
Hieraus berechnet sich das Volumen  $V$  zu

$$V = \frac{0,075 \text{ m}^3 \text{ CO}}{100 \text{ ppm} - 15 \text{ ppm}} \times 10^6 = 882 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Waren es ursprünglich 750 m<sup>3</sup> unbelasteter Luft, die zugeführt werden mußten, so hat sich der Luftbedarf mit der Vorbelastung 15 ppm auf jetzt 882 m<sup>3</sup> zur Reduzierung des CO-Gehalts auf 100 ppm erhöht.

**Einzelschritte:**

An das Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes werden 882 m<sup>3</sup> Luft mit der CO-Gas-Vorbelastung 15 ppm angedockt. Die beiden Luftvolumina vermischen sich. Der CO-Gehalt im Luftraum mit dem Volumen 5132 m<sup>3</sup> nimmt den Wert 100 ppm an. 882 m<sup>3</sup> Luft mit dem CO-Gehalt 100 ppm werden abgekoppelt. Zurück bleibt das Luftvolumen 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes mit dem CO-Gehalt von 100 ppm (Bild 4).



Der CO-Gehalt der Luft im Parkraum hat schon 15 ppm erreicht, bevor die Phantomautos 0,5 m<sup>3</sup> CO freisetzen. Es soll jetzt wieder das mit ebenfalls 15 ppm vorbelastete Luftvolumen bestimmt werden, mit dem der CO-Gehalt im Parkraum auf 100 ppm reduziert werden kann. In diesem Falle erweitert sich die Gleichung (6) um

$$4250 \text{ m}^3 \times 15 \text{ ppm} \times 10^{-6} = 0,06375 \text{ m}^3 \text{ CO.}$$

Man erhält Gl. (7)

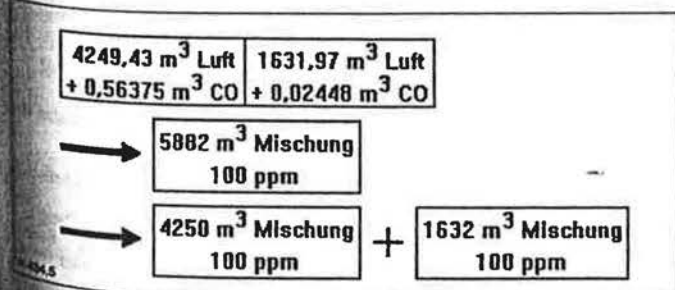
$$\frac{V \text{ m}^3 \times 15 \text{ ppm} \times 10^{-6} + 0,5 \text{ m}^3 \text{ CO} + 0,06375 \text{ m}^3 \text{ CO}}{V \text{ m}^3 + 4250 \text{ m}^3} = 100 \text{ ppm (7).}$$

Hieraus berechnet sich das Volumen V zu

$$V = \frac{0,13875 \text{ m}^3 \text{ CO}}{100 \text{ ppm} - 15 \text{ ppm}} \times 10^6 = 1632 \text{ m}^3 \quad (8).$$

**Einzelschritte:**

An den Parkraum mit dem Leervolumen 4250 m<sup>3</sup>, das die CO-Gas-Menge 0,5 m<sup>3</sup> enthält und außerdem die Vorbelastung von 15 ppm hat, werden 1632 m<sup>3</sup> Luft mit ebenfalls der CO-Gas-Vorbelastung von 15 ppm angedockt. Die beiden Luftvolumina vermischen sich. Im Luftraum mit dem Volumen 5882 m<sup>3</sup> nimmt der CO-Gehalt den Wert von 100 ppm an. 1632 m<sup>3</sup> Luft mit dem CO-Gehalt von 100 ppm werden abgekoppelt. Zurück bleibt das Luftvolumen von 4250 m<sup>3</sup> des Parkraumes mit dem CO-Gehalt von 100 ppm (Bild 5).



Gegenüber dem Vorgang nach Gl. (5) und (6) hat sich hier lediglich die CO-Gas-Menge im Parkraum von 0,5 m<sup>3</sup> CO um 4250 ppm  $\times$  15 ppm  $\times$  10<sup>-6</sup> = 0,06375 m<sup>3</sup> CO erhöht. Dieses Entsorgungsmodell wurde nur zur Verdeutlichung des nachstehenden Ereignisses mit aufgenommen.

Die bisher quantenhaften Betrachtungen werden jetzt in dynamische Vorgänge überführt.

Die Frage gilt in diesem Falle dem Volumenstrom, der für die Reduzierung eines bestimmten CO-Gas-Stromes, z. B. auf einen vorgegebenen Wert mit einer raumluftechnischen Anlage, zu erzeugen ist.

Wenn die Pkws aufgrund der Laufzeiten ihrer Motoren den CO-Gas-Volumenstrom 0,5 m<sup>3</sup>/h erzeugen, dann ist bei einer CO-Vorbelastung der nachströmenden Außenluft mit 15 ppm der Volumenstrom

$$Q \text{ m}^3/\text{h} = \frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ CO}/\text{h}}{100 \text{ ppm} - 15 \text{ ppm}} \times 10^6 \quad (9)$$

$$Q = 5882 \text{ m}^3/\text{h}$$

für die Reduzierung des CO-Gehaltes der Raumluft erforderlich. Diese 5882 m<sup>3</sup> sind schon bei der Zwischenrechnung im Beispiel Gl. (7) vorgekommen.

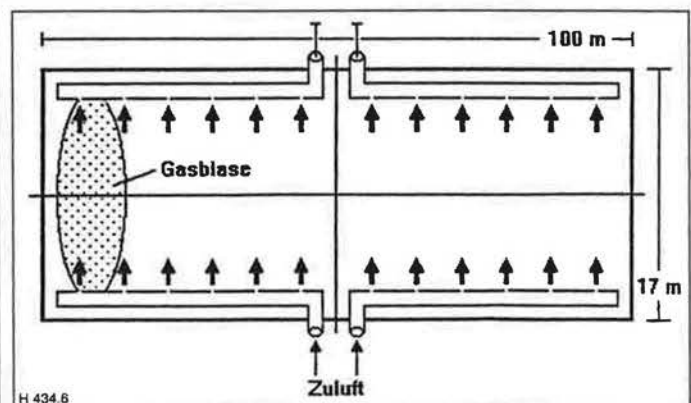
Dies ist die Generalformel, mit der nach Ermittlung von Motorlaufzeiten die zur Entsorgung von Parkräumen notwendigen Volumenströme raumluftechnischer Anlagen dann aufgrund der hierbei freigesetzten CO-Gas-Mengen festgelegt werden.

In beiden Fällen liefern die Gleichungen nur skalare Werte zu den Luftvolumina und den Volumenströmen. Da Richtungsangaben fehlen, könnte der 100 m lange Parkraum theoretisch sowohl mit Längs- als auch Querlüftung jeweils gleichwertig von CO-Gasen entsorgt werden. Mit der Richtungsangabe erhält diese Behauptung aber jetzt eine vektorielle Komponente.

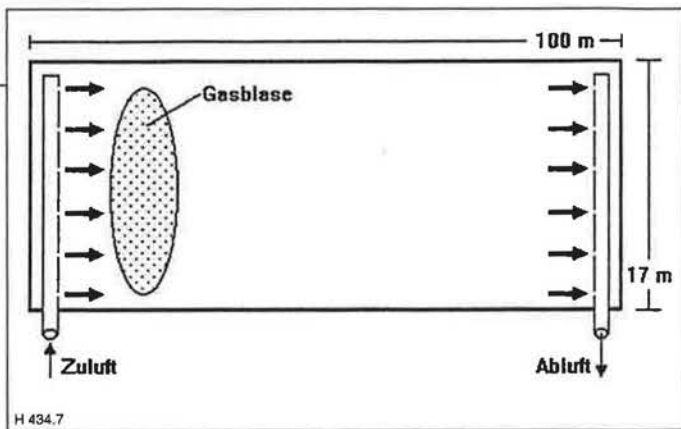
**Strömungen im Testparkraum**

Die Quelle der Zuluft und die Senke der Abluft sollen jeweils die Gesamtflächen der Begrenzungswandungen des 100 m langen Testparkraumes sein, auch wenn in den beiden Grundrissen (Bild 6 und 7) zur Verdeutlichung des Sachverhaltes Kanäle raumluftechnischer Anlagen skizziert wurden.

Die Volumenströme von Zu- und Abluft sollen in beiden Fällen jeweils 6000 m<sup>3</sup>/h betragen.







Bei Querlüftung erreicht die laminare Strömung im leeren Parkraum die Geschwindigkeit

$$v_q = \frac{6000 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}} / 100 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 0,006667 \text{ m/s} \quad (10).$$

Die Geschwindigkeit der Längsströmung im ebenfalls noch leeren Parkraum beträgt

$$v_l = \frac{6000 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}} / 17 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 0,039216 \text{ m/s} \quad (11).$$

Die Strömungs-Geschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die horizontalen Abmessungen

$$\frac{0,039216 \text{ m/s}}{0,006667 \text{ m/s}} = 5,88 = \frac{100 \text{ m}}{17 \text{ m}} \quad (12).$$

Ein Ortspunkt, der sich geschwindigkeitsgleich mit der Strömung bewegt, benötigt für die Querstrecke zwischen Zu- und Abluftwand

$$t_q = \frac{17 \text{ m}}{0,006667 \text{ m/s}} = 2549,87 \text{ s} = 42,5 \text{ min} \quad (13).$$

In Längsrichtung benötigt er

$$t_l = \frac{100 \text{ m}}{0,039216 \text{ m/s}} = 2549,97 \text{ s} = 42,5 \text{ min} \quad (14).$$

Man kann den Formalismus auch ohne Zahlenwerte in allgemeingültiger Form anschreiben und hiermit zeigen, daß in beiden Fällen die Laufzeiten gleich sind.

$$t_q = \frac{B}{\frac{V \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}} / L \times H} = \frac{B \times L \times H}{\frac{V \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}}} \quad (15).$$

$$t_l = \frac{L}{\frac{V \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}} / B \times H} = \frac{B \times L \times H}{\frac{V \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}}} \quad (16).$$

Die Zahlenwerte sollen lediglich verdeutlichen, mit welchen Laufzeiten zu rechnen ist.

Welche Auswirkungen hat dieser Sachverhalt auf das Entsorgungskonzept eines Parkraumes?

Zur Beantwortung dieser Frage soll der Motor eines startenden Pkws in einem begrenzten Raumvolumen eine erhöhte CO-Gaskonzentration erzeugen. Wenn dieses Luftvolumen – hier Gasblase genannt – eine bestimmte Größe erreicht hat, wird ihre räumliche Ausdehnung, die hauptsächlich aufgrund von Diffusionen stattfindet,

in diesem Modellfall gestoppt. Der sie erzeugende Pkw unterbricht seinen Startvorgang. Verzerrungen der Gasblase aufgrund von Luftströmungen, die normalerweise fahrende Pkws erzeugen, sollen hier nicht auftreten. Das Verhalten der so isolierten Gasblase soll als Einzelereignis betrachtet werden.

Bei Querlüftung berührt die Gasblase sowohl die Zu- als auch die Abluftwand (Bild 6).

Im Falle der Längslüftung befindet sich die Gasblase in Berührung mit der Zuluftwand (Bild 7).

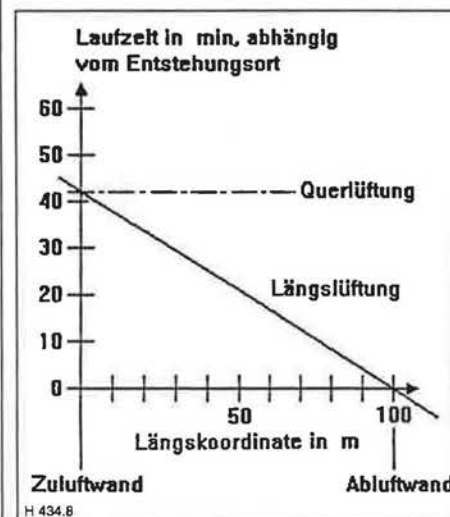
### Querlüftung

Mit dem Einschalten der RLT-Anlage nimmt das Abluftsystem sofort Teile der Gasblase auf. Es dauert theoretisch jedoch ca. 42 min bis die Gasblase vollständig entsorgt worden ist. Dieser Sachverhalt gilt unabhängig von der Lage der Gasblase in Längsrichtung.

### Längslüftung

Die sich vor der Stirnseite mit der Zuluft befindliche Gasblase durchwandert bei ihrer Entsorgung den Parkraum in seiner gesamten Länge. Nach etwa 42 min ist die Gasblase vom Absaugsystem vollständig aufgenommen worden.

Eine Gasblase, die etwa in der Längsmitte des Parkraumes entstanden ist, hat nur eine Laufzeit von ca. 21 min (Bild 8).



Im Gegensatz zur Querlüftung (Bild 6) mit lageunabhängiger, konstanter Entsorgungszeit, ist diese bei Längslüftung (Bild 7) ortsabhängig:

Nur wenn aus dem hinteren Bereich mit der Zuluft entsorgt wird, dann erfolgt dies in beiden Systemen etwa zeitgleich. Je mehr sich der zu entsorgende Bereich der Abluftwand nähert, desto schneller verschwindet die Gasblase bei Längslüftung aus dem Parkraum.

(Wird fortgesetzt)

[H 434 a]

### Literaturangaben

- [1] VDI 2053 Blatt 1, September 1988. Raumlufttechnische Anlagen für Garagen und Tunnel – Garagen –.
- [2] Die z. Z. gültigen Garagenverordnungen der Bundesländer.
- [3] Peter W. Atkins: Einführung in die Physikalische Chemie. VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1993.
- [4] Peter W. Atkins: Wärme und Bewegung. Spektrum der Wissenschaft Heidelberg.
- [5] Handbuch der Klimatechnik – Grundlagen – Berechnung und Regelung – Bauelemente. Arbeitsgemeinschaft der Dozenten für Klimatechnik. Verlag C. F. Müller GmbH, Karlsruhe.
- [6] Kloss, F.: Lufttransport in RLT-Anlagen, Teil I und II. TAB 5/90 und 8/90.
- [7] G. Huber u. H. Kaufer: Experimentelle Strömungsuntersuchung zur Be- und Entlüftung einer öffentlichen Tiefgarage anhand eines Modells; Strömungsversuch und Planung der lufttechnischen Anlage. TAB 9/91.