Fachbericht - Anwendungstechnik

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen

Ihr Partner für lufttechnische Anlagen





Seite 1 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Linienhafte Absaugung von Rauchgasen

Prof. Dr.-Ing. H.J. Gerhardt
Dipl.-Ing. B. Konrath
I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH
Institut an der Fachhochschule Aachen

1. Einleitung

In vielen Bereichen der Anwendungstechnik ist die linienhaft gleichmäßige Erfassung von Schadstoffen oder Staub erforderlich. Beispiele sind die linienhaften Staubabsaugungen der Textilindustrie, die Absaugung keimbelasteter Luft an Sortieranlagen der Abfallwirtschaft, die linienhafte Absaugung physiologisch bedenklicher Gasbeimischungen an Reaktoren der chemischen Industrie. Absaugungen sind in strömungstechnischer Hinsicht Senken. Die Absaugestärke, d.h. der Unterdruck, nimmt sehr rasch mit der Entfernung von der Senke ab. Bei linienhaften Absaugungen ergibt sich eine zusätzliche Schwierigkeit durch die Forderung einer gleichmäßigen Absaugewirkung über die gesamte Absaugelänge. Von den Autoren wurden in den 70-er Jahren des letzten Jahrhunderts umfangreiche Grundlagenstudien zur Entwicklung linienhafter Absaugesysteme durchgeführt und die Drallrohrabsaugung entwickelt. Bereits in den 80-er Jahren wurde die Anwendung dieses Prinzips für die maschinelle Entrauchung großer Räume vorgeschlagen. Im Institut für Industrieaerodynamik werden auf der Basis dieser frühen Untersuchungen konzeptionelle Entwicklungen zur optimalen Anpassung der Drallrohrabsaugung auf unterschiedliche Anforderungen erarbeitet. Als Beispiel wird in dem vorliegenden Beitrag die Entrauchung für einen etwa 8.500 m² großen Teilbereich einer großen Industriehalle (Grundfläche ca. 40.000 m²) beschrieben.

2. Linienhafte Absaugung mittels Drallrohr

2.1 Strömungstechnische Grundlagen

Will man bei üblichen Absaugeanlagen über eine größere Länge ein konstantes Absaugevolumen sicherstellen, so muss der Querschnitt des Absaugkanals ein Vielfaches des Eintrittsquerschnittes in den Absaugkanal betragen. Beim Drallrohr genügt dagegen ein Flächenverhältnis von etwa 1. Über die Wirkungsweise von Drallrohren wurde verschiedentlich berichtet, z. B. Kramer und Thiessen (1986) und Kramer und Gerhardt (1987, 1988, 1989). Sie soll im Folgenden kurz erläutert werden.



Seite 2 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Das Drallrohr besteht aus einem kreiszylindrischen Rohr mit einem sich über die gesamte Rohrlänge erstreckenden tangential angeordneten Absaugeschlitz, siehe Bild 1 (entnommen Kramer und Gerhardt (1987 und 1988)).

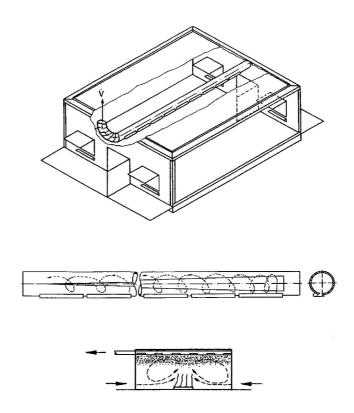


Bild 1: Rauchableitung mittels Drallrohr (entnommen Kramer und Gerhardt (1987 und 1988))

Durch die tangentiale Einströmung bildet sich im Rohr eine Wirbelströmung aus. Handelt es sich um ein Drallrohr mit beidseitiger Absaugung, so entsprechen die Stromlinien dieser Wirbelströmung einer Schraubenlinie mit von der Rohrmitte zu den Rohrenden hin ständig zunehmender Steigung. Die Verteilungsstromlinie, welche sich bei symmetrischer Absaugung zu beiden Seiten genau in der Rohrmitte einstellt, ist staupunktfrei. Dies ist vorteilhaft, wenn die abzusaugenden Gase klebrige Stäube oder Dämpfe enthalten, welche an der Rohrwand kondensieren können. In diesen Fällen besteht nämlich immer im Staupunkt die Gefahr der Anlagerung von Staub bzw. Kondensat. Das Drallrohr kann ebenfalls bei einseitiger Absaugung betrieben werden. In diesem Fall beginnt auf dem der Absaugeseite abgewandten Ende des Drallrohres die vorerwähnte schraubenlinienartige Wirbelströmung mit der Steigung 0. Auch hier bildet sich kein Staupunkt.



Seite 3 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Bild 2 (entnommen Kramer und Gerhardt (1989)) zeigt die Auslegedaten einer Drallrohrabsaugung.

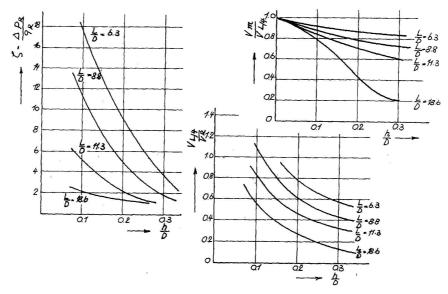


Bild 2: Auslegungsdiagramme zur Dimensionierung eines Drallrohres mit beidseitiger Absaugung (entnommen Kramer und Gerhardt (1989))

Man erkennt, dass ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser von ca. *L/D* = 8 bei einem Verhältnis von Absaugeschlitzhöhe zu Drallrohrdurchmesser von ca. *h/D* = 0,15 noch eine recht gleichmäßige Verteilung der Absaugegeschwindigkeit über der gesamten Drallrohrlänge liefert. Ein geringer Nachteil ist der etwas höhere Druckverlust des Drallrohres gegenüber einem normalen Lüftungskanal. Dieser wird jedoch durch die anderen Vorteile, insbesondere die äußerst einfache Strömungsführung und der extrem geringe Platzbedarf, kompensiert. Andere, zur linienhaften Absaugung eingesetzte Systeme, weisen zum Teil wesentlich größere Druckverluste oder/und einen wesentlich größeren Platzbedarf zur Erreichung der gleichen Gleichmäßigkeit auf. Ein weiterer Vorteil einer Drallrohrabsaugung ist die Möglichkeit, die Absaugewirkung durch Anordnung von Klappen im Absaugeschlitz sektionsweise zu schalten. Diese Anordnung kann z. B. gewählt werden, wenn über das Drallrohr zum einen die Grundlüftung des betrachteten Bereiches erfolgen soll, zum anderen eine eher punktuelle, große Absaugeleistung, z. B. im Brandfall über dem Brandherd, ermöglicht werden soll.

Der Hauptvorteil der Drallrohrabsaugung, die recht gleichmäßig über die gesamte Rohrlänge verteilte Absaugewirkung, ist physikalisch durch die Wirbelströmung zu erklären, welche sich im Drallrohr ausbildet. Die Wirbelströmung ist am Ort des größten Abstandes zur Absaugeseite – also in Rohrmitte bei beidseitiger Absaugung bzw. am geschlossenen Rohrende bei einseitiger Absaugung – am intensivsten. Durch diese Wirbelströmung wird die Axialströmung behindert. Man kann sich ersatzweise einen Kegel vorstellen, dessen Basisfläche sich in der Mitte bzw. am geschlossenen Ende des Drallrohres befindet. Dieser Kegel übt auf die Axialströmung eine Verdrängungswirkung aus, durch welche, wenn die Axialströmung allein betrachtet wird, ein Kanal mit parabolisch zunehmendem Querschnitt entsteht. Dieser Kanal sorgt für eine Gleichmäßigkeit der Einströmung.



Seite 4 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



2.2 Anwendung des Drallrohrprinzips auf die Rauchableitung

Die Anwendung soll für eine große Industriehalle erläutert werden. Es handelt sich um eine bestehende Werkshalle der Adam Opel AG, welche für die Produktion des neuen Opel Astra umgebaut wurde. Sie besitzt eine Länge von ca. 350 m und eine Breite von ca. 135 m bei einer mittleren Hallenhöhe von etwa 15 m. Ein Teilbereich der Halle mit einer Länge von 53 m, welche über die gesamte Breite der Werkshalle reicht, ist 2-geschossig ausgeführt. Die lichte Höhe des EG beträgt dort etwa 8 m. Mit Ausnahme des 2-geschossigen Hallenteils wird die gesamte Werkshalle im Brandfall über natürlich wirkende Rauchabzugsgeräte (NRA) entraucht. Die Minimierung der NRA- und Zuluftflächen erfolgte durch I.F.I. auf der Basis eines Modellversuches (M = 1:100) unter besonderer Berücksichtigung des Seitenwindeinflusses.

Die Modelluntersuchungen zeigten, dass für den 2-geschossigen Hallenbereich nur eine maschinelle Rauchableitung möglich ist. Vom I.F.I. wurde eine Drallrohrabsaugung empfohlen, da wegen der Transporteinrichtungen der Fertigung und der Lüftungsrohre nur geringe Bauhöhen für die notwendige Strömungsführung im Deckenbereich zur Verfügung standen. Bild 3 zeigt eine typische Deckenansicht.

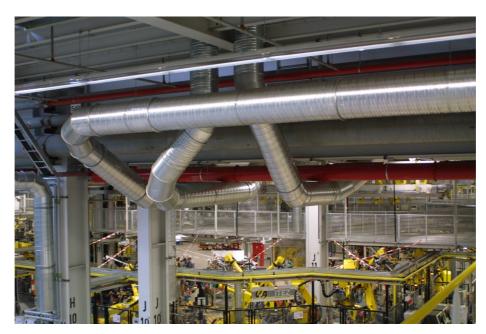


Bild 3: Typische Deckenansicht der neuen Opel-Werkshalle K180



Seite 5 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Die maximale Bauhöhe beträgt ca. 750 mm, in Teilbereichen lediglich 300 mm. Um eine flächendeckende Rauchabsaugung im Deckenbereich sicherzustellen, wurde die 8.500 m² große Teilfläche gedanklich in vier etwa gleich große Rauchabschnitte unterteilt. Zur Entrauchung dient der Ventilator der Lüftungsanlage. Im Brandfall wird lediglich die Absaugung im jeweiligen Rauchabschnitt aktiviert und auf den Ventilator der Lüftungsanlage aufgeschaltet. Die Abschnittsbildung ermöglicht also die Verwendung eines vergleichsweise kleinen Ventilators, der entsprechend dem in einem Rauchabschnitt anfallenden Rauchgasvolumenstrom und den Druckverlusten der Strömungsführung – im Wesentlichen durch die Drallrohre – ausgelegt wurde.

Bild 4 zeigt eine Schemaskizze der Hallenanordnung – mit der Einteilung in 4 Rauchabschnitte – sowie der Strömungsführung.

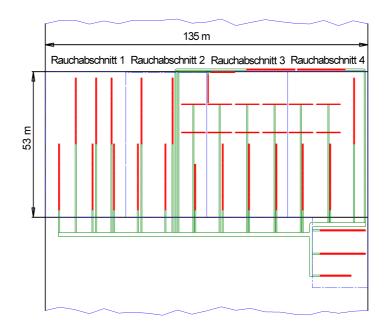


Bild 4: Schemaskizze der Halleneinteilung in 4 Rauchabschnitte und der Drallrohranordnung

Alle Drallrohre münden im Bereich des Höhenversatzes der Werkshalle in einen Sammelkanal, der zur Ventilatoreinheit führt. Durch eine Klappensteuerung wird die Ventilatorleistung dem vom Brand betroffenen Rauchabschnitt aufgeschaltet. Die 4 Rauchabschnitte beinhalten jeweils 3 bzw. 4 Drallrohrstränge. Wegen der großen Absaugelänge (53 m) und der durch die Höhenbegrenzung gegebenen maximalen Drallrohrdurchmesser (500 mm) musste jeder Drallrohrstrang in 2 Sektionen unterteilt werden. Für jede Linie werden also am Sammelkanal 2 Drallrohre angeschlossen. Ein Drallrohr reicht dabei etwa zur Mitte des Halleneinflussbereiches, das andere Drallrohr dagegen bis zu dessen Ende, besitzt jedoch nur in seiner hinteren Hälfte Absaugeschlitze.



Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Seite 6 von 11

Zur einfachen Montage wurden alle Drallrohre mit einer Sektionslänge von 2 m ausgeführt, siehe Bild 5.



Bild 5: Typische Drallrohreinheit in der neuen Opel-Werkshalle K180

Jede Drallrohrsektion besitzt einen Absaugeschlitz, dessen Länge auf die örtlichen Gegebenheiten angepasst wurde. Typische Schlitzlängen sind I = 830 mm und 1.000 mm. Die Schlitzweite beträgt 25 mm. Um den Absaugevolumenstrom trotz der sehr großen Drallrohrlängen möglichst konstant zu halten, wurden in den ersten beiden Sektionen – vom Erfassungskanal aus betrachtet –die Schlitzweiten auf 12 mm reduziert.



Seite 7 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Alle Ansaugschlitze sind beidseitig mit gut gerundetem Einlauf versehen, siehe Bild 6.

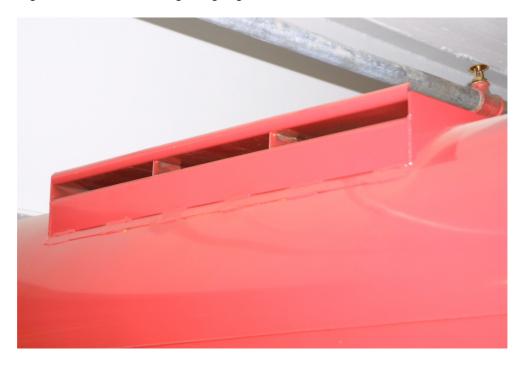


Bild 6: Ansaugschlitz eines Drallrohres

3. Abnahmeversuche

3.1 Lufttechnische Überprüfung

Der Sollvolumenstrom für die einzelnen Rauchabschnitte beträgt $V_{h,Soll,RA} = 110.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Dies führt je nach Anzahl der Drallrohre im jeweiligen Rauchabschnitt zu Sollvolumenströmen der Drallrohre $V_{h,Soll,DR} = 10.000$ bis $15.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Alle Drallrohrstränge wurden durch Drosselstellen so eingestellt, dass sich eine maximale Abweichung von 15 % des Sollwertes ergab. Eine genauere Justierung ist nicht erforderlich und war im vorliegenden Fall auch nicht möglich, da jeweils die am Rand eines Rauchabschnittes befindlichen Drallrohre bei Aktivierung der Drallrohre des Nachbarbereiches diesen ebenfalls zugeschaltet werden. Dies bedeutet, dass die am Rand eines jeden Rauchabschnittes befindlichen Drallrohre auf 2 Rauchabschnitte abgestimmt werden müssen.



Seite 8 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Der Absaugevolumenstrom entlang der Rohrachse wurde für einseitig und mittig angeschlossene Drallrohre bestimmt. Hierzu wurden die Eintrittsgeschwindigkeiten in den Einströmspalten gemessen. In Bild 7 ist die relative Einströmgeschwindigkeit U/ \overline{U} und der relative Einströmvolumenstrom V_h/\overline{V}_h für ein einseitig angeschlossenes Drallrohr über der relativen Drallrohrlänge aufgetragen

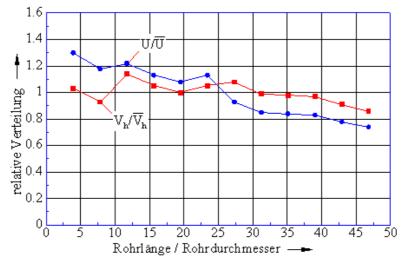


Bild 7: Relative Einströmgeschwindigkeit U/\overline{U} und relativer Einströmvolumenstrom V_h/\overline{V}_h in Abhängigkeit von der relativen Rohrlänge L/D für ein einseitig angeschlossenes Drallrohr

Die örtliche Einströmgeschwindigkeit und der örtliche Einströmvolumenstrom wurden dabei auf die über die gesamte Drallrohrlänge L gemittelte Geschwindigkeit bzw. den Volumenstrom bezogen, die Drallrohrlänge auf den Drallrohrdurchmesser. Der Absaugevolumenstrom entlang der Rohrachse ist nahezu konstant mit einer maximalen Abweichung vom Mittelwert von nur □15 %. Dies bedeutet, dass über die gesamte Länge des Drallrohres – entsprechend etwa dem 50-fachen des Rohrdurchmessers(!) – eine nahezu konstante Absaugeleistung vorhanden ist. Eine derartige Gleichmäßigkeit des Absaugevolumenstroms lässt sich mit herkömmlichen Kanälen nur durch häufige Anpassung des Kanalquerschnittes erzielen, was jedoch bei gesteuerten Schlitzklappen nicht anwendbar ist.



Seite 9 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Ein ähnlich gutes Ergebnis hinsichtlich der Volumenstromverteilung wird auch bei einem mittig angeschlossenen Drallrohr erreicht, siehe Bild 8.

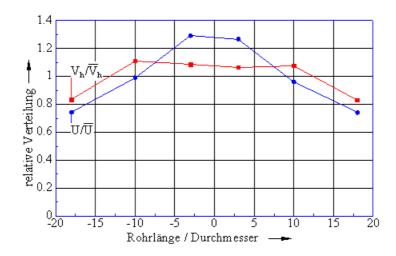


Bild 8: Relative Einströmgeschwindigkeit U/\overline{U} und relativer Einströmvolumenstrom V_h/\overline{V}_h in Abhängigkeit von der relativen Rohrlänge L/D für ein mittig angeschlossenes Drallrohr

3.2 Realversuch

Die Effektivität der maschinellen Entrauchung mittels Drallrohren wurde in einem so genannten Realversuch überprüft. Hierzu wurde ein im Hinblick auf die Rauchableitung kritischer Hallenbereich ausgewählt, der durch eine Transportbühne höhengeteilt war. Die Bühne mit einer Breite von ca. 5 m befindet sich in 5 m Höhe und besitzt einen undurchlässigen Boden. Es wurde ein Brandgeschehen unter der Bühne simuliert, bei dem das Rauchgas gegen die Bühnendecke aufsteigt, sich dort seitlich verteilt, an den Bühnenkanten ablöst und in den Hallendeckenbereich strömt. Von dort verteilt sich das Rauchgas beidseitig in Richtung der achsparallel zur Arbeitsbühne verlaufenden Drallrohre.

Das Brandgeschehen wurde durch einen vom I.F.I. speziell entworfenen Rauchgasgenerator nachgestellt. Die Leistung des Rauchgenerators entspricht einer Wärmefreisetzung von ca. 3,2 KW. Dem simulierten Rauchgasstrom wurde zur Sichtbarmachung ein Nebelfluid beigemischt.



Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



Seite 10 von 11

Nach simuliertem Brandbeginn wird die Lüftungsanlage abgeschaltet, werden die Lüftungsventilatoren auf die Kanäle der Drallrohrabsaugung aufgeschaltet und die Nachströmöffnungen in den Hallenseitenwänden geöffnet. Bereits 3 min nach Versuchsbeginn stellte sich ein stationärer Zustand mit einer Rauchschicht im Hallendeckenbereich mit einer Dicke von ca. 700 mm ein. Die Rauchschicht beschränkte sich im Wesentlichen auf den Deckenbereich oberhalb der Bühne mit einer Länge – in Drallrohrachsrichtung betrachtet – von nur etwa 5 m. Nur sehr geringe Rauchmengen strömten zu den benachbarten Drallrohren ab und wurden dort erfasst. Die Effektivität der Drallrohrabsaugung ist also so groß, dass eine Rauchausbreitung weitestgehend verhindert wurde. Während der gesamten Versuchszeit betrug die Höhe der rauchfreien Schicht auf der Bühne deutlich mehr als 2 m, siehe Bild 9.



Bild 9: Rauchausbreitung auf einer Bühne oberhalb des simulierten Bandes bei Rauchableitung mittels Drallrohren

Das von der Genehmigungsbehörde geforderte Schutzziel, nämlich die Sicherstellung einer raucharmen Schicht der Höhe ca. 2,5 m im Bodenbereich des EG, wurde somit deutlich übertroffen.



Seite 11 von 11

Linienhafte Absaugung von Rauchgasen



4. Literatur

Kramer, C. und Thiessen, V. (1986):

Bemessung von maschinellen Rauchabzügen. FLT Forschungsbericht 3/1/64/86, Forschungsgemeinschaft für Luft- und Trocknungstechnik, Frankfurt/Main

Kramer, C. und Gerhardt, H.J. (1987 und 1988)

Ventilation and Heat and Smoke Extraction from Industrial Buildings; Preprints Vol. 4, 7th International Conference on Wind Engineering, Aachen 1987, <u>and</u>: C. Kramer und H.J. Gerhardt (Edts), Advances in Wind Engineering, Proc. 7th Int. Congress on Wind Engineering, Elsevier, 1988

Kramer, C. und Gerhardt, H.J. (1989):

Zonenabsaugung und Belüftung für eine Produktionshalle mit zeitweilig auftretender hoher Staubentwicklung, DKV-Tagungsbericht 16. Jahrgang (1989), Hannover, Band 4

