

BGIA-Report 5/2005

Lufttechnik in Industriehallen

Zusammenfassung der Vorträge
anlässlich des BGIA-Seminars
G3 „Technische Schutzmaßnahmen“ am
16./17. September 2003 in Dresden



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Verfasser: Nadja von Hahn
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA
Sankt Augustin

Redaktion: Zentralbereich des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für
Arbeitsschutz – BGIA, Referat Informationsmanagement

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA
Alte Heerstr. 111, D-53754 Sankt Augustin
Telefon: +49 / 02241 / 231 – 01
Telefax: +49 / 02241 / 231 – 1333
Internet: www.hvbg.de
– November 2005 –

ISBN: 3-88383-693-1

ISSN: 1860-3491

Lufttechnik in Industriehallen

Zusammenfassung der Vorträge gehalten anlässlich des BGIA-Seminars

G3 „Technische Schutzmaßnahmen“ am 16./17. September 2003 in Dresden

Kurzfassung

Die Auslegung lufttechnischer Anlagen in Industriehallen ist in weiten Bereichen der Industrie immer noch ungenügend. Niedrige Gefahrstoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz sowie akzeptable klimatische Bedingungen können oft nicht erreicht werden. Grundlage für eine effektive Minderung der Gefahrstoffexposition sowie die Aufrechterhaltung eines angemessenen Klimas durch lufttechnische Maßnahmen ist eine umfassende Planung der Gesamtanlage. Die Planung beginnt mit der richtigen Auslegung der Erfassungseinrichtungen. Dabei ist zu beachten, dass durch Erfassung die Gefahrstoffe an ihrer Entstehungsstelle effektiv abgesaugt werden. Wichtig für lufttechnische Maßnahmen ist vor allem eine sachgemäße Luftführung, die u. a. auch die Wärmelast in der Industriehalle berücksichtigt (Schichtlüftung). Im Rahmen der neuen TA Luft und im Zusammenhang mit einer Reinlufrückführung ist außerdem ein besonderes Augenmerk auf eine effektive Abscheidung der Gefahrstoffe aus der Abluft zu legen. Im Rahmen der G3-Seminarreihe des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA stellten Fachleute ihre Erfahrungen mit lufttechnischen Anlagen in Industriehallen vor. Ziel des Seminars war es, die Teilnehmer über verschiedene Aspekte der Lufttechnik in Industriehallen und über positive Beispiele aus der Praxis zu informieren sowie Hilfestellungen für die Unterstützung der Betriebe in Fragen lufttechnischer Maßnahmen zu geben.

Ventilation in industrial shops

Summary of papers delivered at the BGIA G3 seminar on technical protective measures, held in Dresden on 16/17 September 2003

Summary

The design of ventilation systems in industrial shops remains unsatisfactory in many areas of industry, often failing to assure low concentrations of hazardous substances in workplace atmospheres, or acceptable climatic conditions. If ventilation measures are to reduce exposure to hazardous substances and to maintain a pleasant workplace atmosphere, it is essential that the ventilation system be planned comprehensively as a whole. Planning begins with proper design of the collection devices, which must exhaust the hazardous substances effectively at the point at which they are produced. Ventilation measures are particularly dependent upon proper air conduction, which also takes account of aspects such as the thermal load in the industrial shop (displacement ventilation). As part of the new German "TA Luft" (Technical Guidelines "Air" and in conjunction with the routing of clean air back to the shop, particular attention must also be paid to effective separation of the hazardous substances from the exhaust air. In the framework of the G3 series of seminars held by the BG Institute for Occupational Safety and Health (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA), experts described their experience with ventilation systems in industrial shops. The objective of the seminar was to inform participants of various aspects of ventilation technology in industrial shops, with descriptions of successful examples, and to provide guidance for supporting plants in ventilation issues.

Installations d'aération dans les bâtiments industriels

Synthèse des exposés présentés lors du séminaire BGIA G3 „Mesures de protection techniques“, qui s'est déroulé les 16 et 17 septembre 2003 à Dresde

Résumé

La conception des installations d'aération pour bâtiments industriels présente encore des lacunes dans de nombreux secteurs de l'industrie. Une faible concentration de substances dangereuses dans l'air ainsi que des conditions climatiques supportables ne peuvent souvent pas être atteintes. La condition sine qua non pour toute réduction effective de l'exposition aux substances dangereuses ainsi que pour le maintien de conditions climatiques convenables par des mesures d'aération est une étude approfondie de l'ensemble de l'installation. Cette étude commence par la conception adéquate des équipements d'aspiration. À cet effet, il est impératif que l'aspiration des substances dangereuses s'opère effectivement à la source. Il est important que les mesures techniques d'aération assurent, en premier lieu, une circulation appropriée de l'air, tenant compte, entre autres, de la charge thermique du bâtiment (aération sur plusieurs niveaux). Pour satisfaire à la nouvelle réglementation TA Air et en liaison avec le recyclage de l'air régénéré, il convient, en outre, de s'assurer que la séparation des substances dangereuses contenues dans l'air vicié est bien effective. Dans le cadre de la série de séminaires G3 organisée par l'Institut pour la Sécurité et la Santé au Travail des BGs (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA), des spécialistes faisaient part de leur expérience dans le domaine des installations d'aération pour bâtiments industriels. L'objectif du séminaire était de présenter aux participants les différents aspects de l'aération des bâtiments industriels ainsi que des exemples de réalisations adéquates et de leur donner des recommandations pour l'assistance des entreprises dans le domaine des mesures techniques d'aération.

Instalaciones de ventilación en naves industriales

Resumen de las ponencias presentadas con ocasión del seminario BGIA G3 „Medidas técnicas de protección“, 16 y 17 de septiembre de 2003, en Dresden

Resumen

El diseño de instalaciones de ventilación en naves industriales todavía resulta ser insuficiente en muchos ámbitos de la industria. A menudo, no se logran alcanzar bajas concentraciones en contaminantes en el aire de ambientes de trabajo y condiciones climáticas aceptables. La planificación exhaustiva de la instalación completa es base imprescindible para asegurar una efectiva reducción de la exposición a contaminantes y para mantener un clima adecuado, mediante medidas de ventilación. La planificación inicia con la correcta concepción de los dispositivos de captación. En esto, se deberá tener en cuenta que los contaminantes efectivamente sean aspirados en su fuente de origen. La adecuada conducción del aire es de especial importancia para las medidas de ventilación, que consideran, entre otros, también la carga térmica en la nave industrial (ventilación estratificada). Además, en el marco del nuevo Reglamento sobre la Calidad del Aire (TA Luft) y con relación a la reintroducción de aire depurado, se deberá prestar especial atención en la efectiva separación de los contaminantes contenidos en el aire de salida. Las experiencias con instalaciones de ventilación fueron presentadas por expertos con ocasión del ciclo de seminarios G3, organizados por el BG-Instituto de Seguridad y Salud Laboral (BGIA por sus siglas en alemán). Los seminarios tuvieron la finalidad de informar a los participantes sobre distintos aspectos relativos a las técnicas de ventilación en naves industriales y de presentar ejemplos positivos derivados de la práctica, así como de brindarle a las empresas ayudas útiles referentes a la implementación de medidas técnicas de ventilación.

Inhaltsverzeichnis

1	Lufttechnische Maßnahmen – Einführung in die Problematik	9
	W. Pfeiffer, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin	
2	Erfassungstechnik und Hinweise zur Dimensionierung	15
	F. Lehnhäuser, Fa. ThyssenKrupp HiServ, Gießen	
3	Lufttechnik in Industriehallen	31
	R. Detzer, Fa. Imtech Deutschland, Hamburg	
4	Erfassung in der Praxis	41
	W. Schulz-Nigmann, Fa. ThyssenKrupp HiServ, Gießen	
5	Erfassung luftgetragener Gefahrstoffe am Beispiel der Automobil- und Schwerindustrie	57
	F. Wittorf, Fa. Imtech Deutschland, Frankfurt am Main	
6	Absaugung und Abscheidung von Emissionen an Werkzeugmaschinen	67
	H. Baur, Fa. Keller Lufttechnik, Kirchheim unter Teck	
7	Schichtenströmung in der Lebensmittelindustrie – Beispiel Küchen und Backwarenverteilzentren	81
	J. Huber, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Bezirksverwaltung München, Germering	
8	Reduzierung der Konzentration von Dieselmotoremissionen durch Schichtenströmung in einer Verladehalle	89
	P. Rietschel, Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Mannheim	
9	Beurteilung von lufttechnischen Maßnahmen	95
	R. Stockmann, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin	
	Anschriften der Autoren	115



1 Lufttechnische Maßnahmen – Einführung in die Problematik

Wolfgang Pfeiffer,
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin

Beim Umgang mit Gefahrstoffen sind neben organisatorischen auch technische Schutzmaßnahmen notwendig. Dazu zählen in erster Linie die Vermeidung und Minderung von Emissionen. Erst wenn dadurch kein ausreichender Gesundheitsschutz erreicht werden kann, sind lufttechnische Maßnahmen anzuwenden. Dazu zählen die

- Erfassung der Gefahrstoffe an der Entstehungs- oder Austrittsstelle durch geeignete Absaugung,
- Ableitung der Erfassungsluft,
- Abscheidung der Gefahrstoffe aus der Erfassungsluft,
- Raumlüftung sowie
- Luftführung.

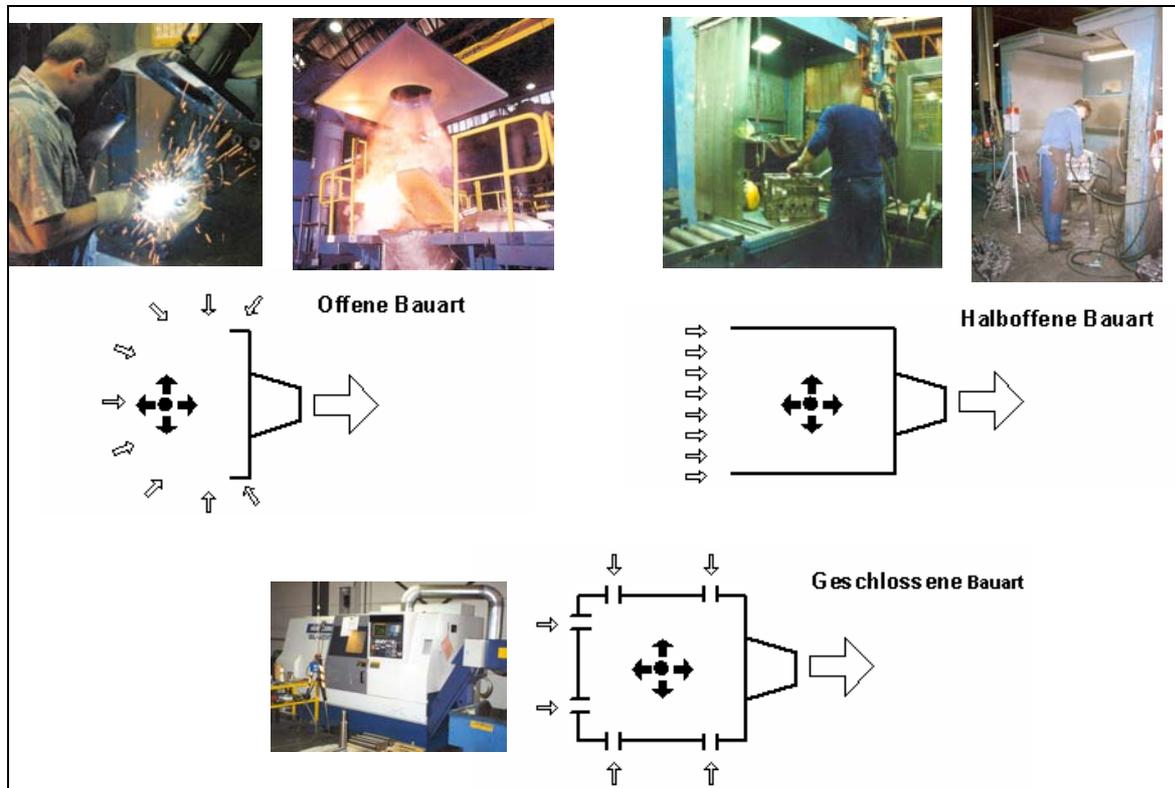
Die wichtigsten Aspekte bei der Ausführung solcher Maßnahmen sind

- Arbeitsverfahren,
- konstruktive Anforderungen an die Erfassungseinrichtung,
- Maschinenschutz und
- Brand- und Explosionsschutz.

Die konstruktiven Anforderungen an die Erfassungseinrichtung ergeben sich aus den zu erfüllenden Aufgaben bzw. aus dem jeweiligen Einsatzort. Abbildung 1 (siehe Seite 10) gibt einen Überblick über unterschiedliche Arbeitsverfahren und die sich ableitenden konstruktiven Anforderungen an die Erfassungseinrichtung. Hier sind zunächst geschlossene, halb offene und offene Erfassungseinrichtungen zu unterscheiden.



Abbildung 1:
Verschiedene Verfahren zur Erfassung



Die Abscheidung der Stoffe aus der erfassten Luft sollte möglichst vollständig erfolgen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die gereinigte Erfassungsluft statt an die Außenluft zur Wärmenutzung in den Arbeitsraum zurückgeführt werden soll. Abbildung 2 (siehe Seite 11) gibt einen Überblick über mögliche Abscheiderarten.

Für die Erfassungseinrichtungen ist der Maschinenschutz insbesondere im Zusammenhang mit dem Brand- und Explosionsschutz zu sehen. Nach der EU-Richtlinie 98/37/EG (Maschinen-Richtlinie) [1] sind entsprechend Artikel 3 grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen gemäß Anhang I der Verordnung zu erfüllen.

Bei der Erfassung der Gefahrstoffe kommt es auch darauf an, dass möglichst alle Emissionsstellen in das Erfassungskonzept eingebunden werden. Abbildung 3 (siehe Seite 11) veranschaulicht dies am Beispiel einer Werkzeugmaschine.



Abbildung 2:
Verschiedene Arten von Abscheidern

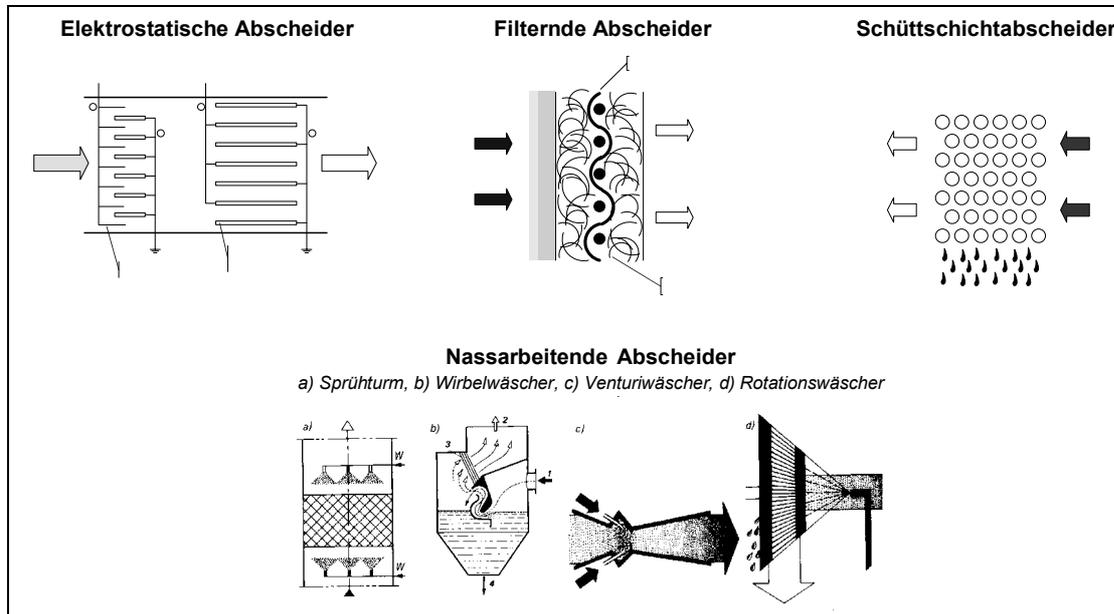
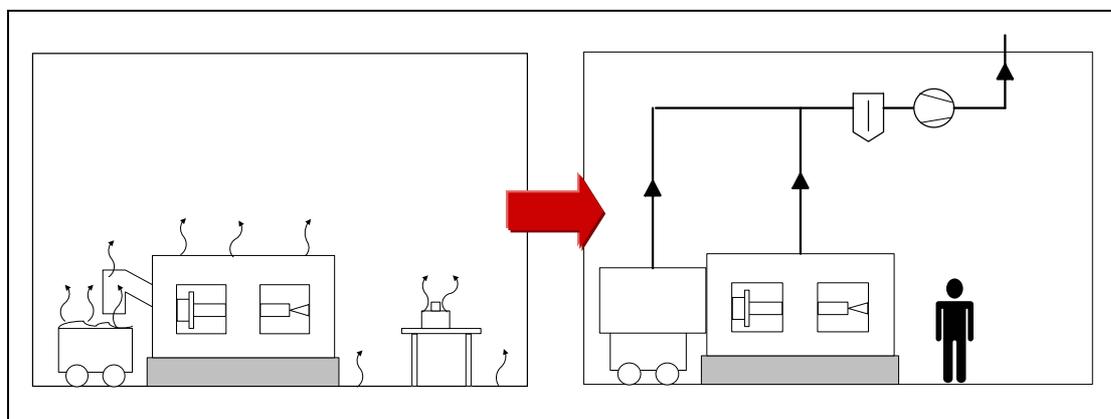


Abbildung 3:
Schematische Darstellung einer vollständigen Erfassung aller möglichen Emissionsquellen



Die Raumlüftung in Industriehallen hat verschiedene Aufgaben zu erfüllen:

- Ausgleich des Luftdefizits, das durch die Absaugung (Erfassung) entsteht,
- Reduzierung der Gefahrstoffkonzentrationen sowie
- Schaffung und Aufrechterhaltung eines erträglichen Raumklimas.



Eine freie Luftführung (Abbildung 4) ist in der Regel nicht dazu geeignet, die gestellten Aufgaben zu erfüllen. In Räumen mit Auftriebsströmungen (Thermikströmen) sind darüber hinaus Mischlüftungen (impulsreiche Luftzuführung) ungeeignet. Insbesondere bei der Führung der Zuluft von oben nach unten (Abbildung 5) werden die Gefahrstoffe im gesamten Raum verteilt.

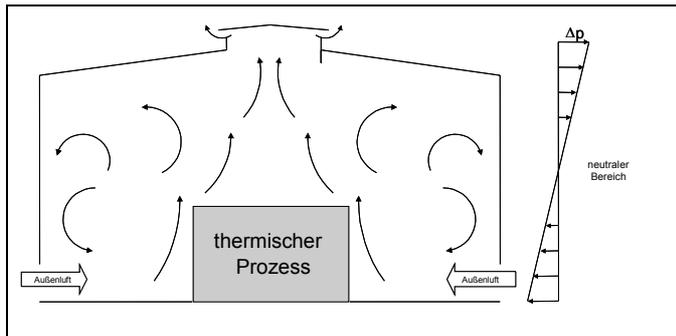


Abbildung 4:
Prinzip der freien Lüftung

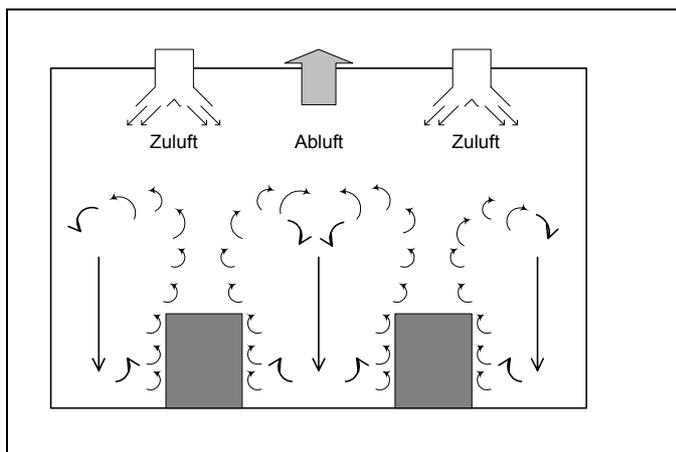


Abbildung 5:
Prinzip der Mischlüftung
(Zuluft von oben)

Eine Belüftung von Räumen mit impulsarmen Luftdurchlässen im Bodenbereich – so genannte Quelllüftung – hat sich seit einiger Zeit durchgesetzt. Das Prinzip dieser Art der Raumlüftung, der so genannten Schichtlüftung, zeigt Abbildung 6 (siehe Seite 13).

Die durch thermischen Auftrieb zur Decke aufsteigende Luft wird im Bereich der Aufenthaltszonen der Beschäftigten über spezielle Luftdurchlässe mit impulsarmer Zuluftströmung durch Frischluft ersetzt. Hierdurch wird eine Rückströmung der mit Gefahrstoffen angereicherten Luft vermieden.

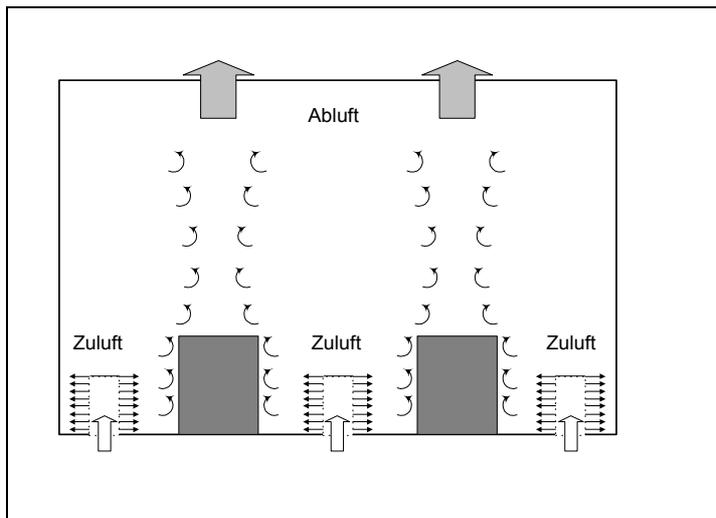


Abbildung 6:
Prinzip der Schichtlüftung
(Quelllüftung)

Diese kurze Zusammenfassung soll deutlich machen, dass die Planung und Ausführung lufttechnischer Maßnahmen enormen Sachverstand benötigt, der häufig in den Mitgliedsbetrieben nicht oder nur unzureichend vorhanden ist. Werden Maßnahmen getroffen, stellt sich deren Erfolg oder Misserfolg oft erst nach der ersten Inbetriebnahme heraus.

Die Berufsgenossenschaften haben u. a. die Aufgabe, die Mitgliedsunternehmen bei den zu treffenden Maßnahmen beratend zu unterstützen. Themen und Inhalte der nachfolgenden Beiträge sollen helfen zu erkennen, welche Maßnahmen beim Umgang mit Gefahrstoffen zu treffen sind.

Literatur

- [1] Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen (Maschinen-Richtlinie). ABl. EG Nr. L 207 (1998), S. 1; geänd. durch Richtlinie 98/79/EG – ABl. EG Nr. L 331 (1998), S. 1



2 Erfassungstechnik und Hinweise zur Dimensionierung

Frank Lehnhäuser,
Fa. ThyssenKrupp HiServ, Gießen

2.1 Zusammenfassung

Dieser Beitrag schildert – dem derzeitigen Stand der Technik entsprechend – Methoden und Berechnungsverfahren zur Auslegung und Anwendung offener Erfassungseinrichtungen. Der Einfluss von Querströmungen auf die Erfassung luftfremder Stoffe sowie deren Berücksichtigung bei der Auslegung wird aufgezeigt. Da die Methoden zur Auslegung nur bedingt verallgemeinert werden können bzw. die Randbedingungen in der Praxis nur mit großer Ungenauigkeit abzuschätzen sind, erfordert die Auslegung der Erfassungseinrichtungen ein hohes Maß an Erfahrung. Ferner werden Entwicklungen der Fa. ThyssenKrupp HiServ zur Verbesserung offener Erfassungseinrichtungen vorgestellt.

2.2 Einleitung

Bei industriellen Produktionsprozessen werden oftmals Wärme- und Stofflasten freigesetzt, deren Auswirkungen auf das Klima und die Luftqualität am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung vermindert werden müssen, um gesundheitliche Schäden der Beschäftigten zu vermeiden. Das Arbeitsschutzgesetz vom 7. August 1996 [1] erhebt für den Umgang mit Gefahrstoffen drei Grundforderungen:

1. Das Arbeitsverfahren ist so zu gestalten, dass gefährliche Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe nicht frei werden, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.
2. Kann die Entstehung dieser Stoffe nicht vermieden werden, so sind diese an der Entstehungs- oder Austrittsstelle vollständig zu erfassen und anschließend ohne Gefahr für Mensch und Umwelt zu beseitigen, soweit dies nach dem Stand der Technik möglich ist.



3. Ist eine vollständige Erfassung nicht möglich, so sind die dem Stand der Technik entsprechenden Lüftungsmaßnahmen zu treffen.

Wenn also die so genannten Primärmaßnahmen, wie beispielsweise der Ersatz emissionsreicher Herstellungsverfahren durch emissionsarme, nicht realisierbar sind, werden in den Fällen, in denen der Produktionsprozess, die Lage und Umgebung des Produktionsgebäudes oder dessen Bauweise es erfordern, lufttechnische Maßnahmen (Sekundärmaßnahmen) ergriffen. Deren Ziel besteht darin, den Zustand der Raumlufthinsichtlich Reinheit und Temperatur innerhalb zulässiger Expositionsgrenzen zu halten.

Die Umsetzung dieses Gesetzes wird durch nationale und internationale Regelwerke ergänzt. Die Kommission Reinhaltung der Luft – KRdL im VDI überarbeitet zurzeit die Richtlinien VDI 2262 und VDI 3929, in denen die technische Ausführung der oben angegebenen Maßnahmen verankert wird. Die Regelwerke werden zusammengefasst und gemäß Tabelle 1 (siehe Seite 17) neu strukturiert.

Da sich die unter Umständen beträchtlichen Investitionen für die Lufttechnik nicht unmittelbar produktivitätssteigernd auswirken, wird man unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten bestrebt sein, den technischen Aufwand zur Einhaltung der Klima- und Schadstoffgrenzwerte zielorientiert auszurichten und zu minimieren. Daher ist es sinnvoll, zunächst die einzuhaltenden Grenzwerte zu definieren und, sofern organisatorische oder betriebstechnische Maßnahmen nicht durchführbar sind, strömungsmechanische Prinzipien anzuwenden, die eine Minimierung der Luftströme ermöglichen. Die wirtschaftlich sinnvollste Maßnahme besteht darin, die Schadstoffe oder Wärmeströme – häufig ist beides miteinander gekoppelt – an der Emissionsquelle mithilfe von Erfassungseinrichtungen (Absaughauben) örtlich abzusaugen und über geeignete Abscheideverfahren aus dem Luftstrom zu entfernen.

Im Folgenden sollen daher die aktuellen Auslegungsverfahren und Beurteilungskriterien für das Erfassen luftfremder Stoffe dargestellt werden, die auch in die Überarbeitung der genannten Richtlinien einfließen. Darüber hinaus wurden im Labor der Fa. ThyssenKrupp HiServ in den vergangenen Jahren umfangreiche Entwicklungsvorhaben



durchgeführt, um die Effizienz der eingesetzten Erfassungselemente zu verbessern. Deren Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten werden ebenfalls aufgezeigt.

Tabelle 1:
Neustrukturierung VDI 2262 und VDI 3929

Bisheriger Stand		zukünftige Strukturierung	
Richtlinie	Inhalt	Richtlinie	Inhalt
VDI 2262, Blatt 1 [2] Allgemeine Anforderungen 04/93	Stoffausbreitung und Gegenmaßnahmen, Schutzmaßnahmen, Abscheidetechnik, Wärmenutzung, Technische Gewährleistung	VDI 2262, Blatt 1 Allgemeine Anforderungen	Allgemeine Anforderungen, Begriffe, Definitionen
VDI 2262, Blatt 2 [3] Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen 12/98	Organisatorische Maßnahmen, stoffbezogene Maßnahmen, fertigungstechnische Maßnahmen, betriebstechnische Maßnahmen, Begleitmaßnahmen	VDI 2262, Blatt 2 Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen	Organisatorische Maßnahmen, stoffbezogene Maßnahmen, fertigungstechnische Maßnahmen
VDI 2262, Blatt 3 [4] Lufttechnische Maßnahmen 05/94	Grundlagen für die Auslegung, Erfassung luftfremder Stoffe, Raumlufttechnik	VDI 2262, Blatt 3 Lufttechnische Maßnahmen	Grundlagen, Raumlufttechnik, Abscheidetechnik, Wärmenutzung, bauliche und technische Anforderungen
VDI 3929 [5] Erfassen luftfremder Stoffe 08/92	Entstehung und Ausbreitung, Bauarten von Erfassungseinrichtungen, Auslegung von Erfassungseinrichtungen, Beispiele	VDI 2262, Blatt 4 [6] Erfassen luftfremder Stoffe 03/04	Entstehung und Ausbreitung luftfremder Stoffe, Bauarten von Erfassungseinrichtungen, Auswahl von Erfassungseinrichtungen, Auslegungsverfahren, Beurteilungskriterien

2.3 Berechnung des Erfassungsvolumenstroms

Die Berechnung des Volumenstroms, der zu einer vollständigen Erfassung freigesetzter Schadstoffe führt, ist bislang nur über Näherungsverfahren möglich. Häufig erfolgt die Auslegung durch empirisch ermittelte Kenngrößen. Genaue Erkenntnisse über den erforderlichen Erfassungsvolumenstrom lassen sich in der Regel nur durch Experimente im Labor oder vor Ort bzw. durch numerische Strömungssimulationen gewinnen. Die



beiden praxisgerechten Näherungsverfahren zur Auslegung betrachten die Stofffreisetzung zunächst unabhängig von der Erfassung.

2.3.1 Volumenstrombilanzierung

Der Volumenstrombilanzierung liegt ein physikalisches Modell gemäß Abbildung 1 zugrunde. Der kontaminierte Luftstrom $\dot{V}_s(z_{ER})$, der am Ort der geplanten Erfassungseinrichtung vorbeiströmt, setzt sich zusammen aus dem freigesetzten Emissionsvolumenstrom \dot{V}_1 (in der Regel ein Schadstoff-Luft-Gemisch) und dem aus der Umgebung induzierten Luftstrom $\dot{V}_2(z)$. Die Induktion, d. h. das Ansaugen und Beimischen von Umgebungsluft, vergrößert den kontaminierten Luftstrom $\dot{V}_s(z)$ entlang des Ausbreitungsweges der Emissionen teilweise beträchtlich.

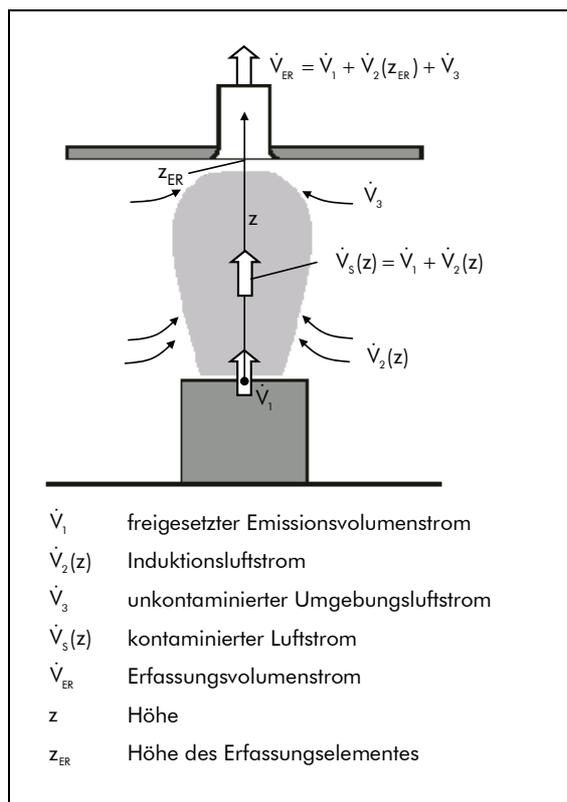


Abbildung 1:
Physikalisches Modell zur
Volumenstrombilanzierung

Eine Erfassungseinrichtung bezieht ihre Luft je nach der Form des Erfassungselementes aus einem wesentlich größeren Raumbereich. Das bedeutet, dass der Erfassungsluftstrom nur zum Teil aus dem kontaminierten Luftstrom besteht und zu einem mehr oder



weniger großen Anteil aus unkontaminierter Umgebungsluft \dot{V}_3 . Der abzusaugende Erfassungsvolumenstrom \dot{V}_{ER} muss größer sein als der Schadstoffstrom $\dot{V}_s(z_{ER})$ in Höhe der Erfassungseinrichtung. Der Erfassungsluftstrom ist somit nach dem kontaminierten Luftstrom in Höhe der Erfassungseinrichtung plus einem Zuschlag zu bemessen:

$$\dot{V}_{ER} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2(z_{ER}) + \dot{V}_3 \quad (1)$$

Die beiden ersten Summanden ergeben den am geplanten Ort der Erfassungseinrichtung vorbeiströmenden Schadstoffstrom

$$\dot{V}_s(z_{ER}) = \dot{V}_1 + \dot{V}_2(z_{ER}) \quad (2)$$

Aus Gl. (2) kann abgelesen werden, dass es notwendig ist, die Erfassungseinrichtung möglichst nahe am Ort der Schadstofffreisetzung zu platzieren, weil dann der in den Schadstoffstrom induzierte Umgebungsluftstrom $\dot{V}_2(z)$ gering ist.

Die Dimensionierung des notwendigen Erfassungsluftstromes \dot{V}_{ER} erfolgt in der Regel unter Verwendung des so genannten Absauggrades σ_A , der für einige Fälle empirisch ermittelt wurde. Er setzt sich aus den beiden Zuschlagsfaktoren σ_s und σ_{quer} zusammen.

$$\dot{V}_{ER} = \dot{V}_s(z_{ER}) \cdot \sigma_A = \dot{V}_s(z_{ER}) \cdot \sigma_s \cdot \sigma_{quer} \quad (3)$$

Für die Bestimmung des kontaminierten Volumenstromes $\dot{V}_s(z_{ER})$ eignen sich je nach Anwendungsfall unterschiedliche Berechnungsmethoden (thermische Konvektionsströme, Freistrahler, Strömung an bewegten Maschinenteilen).

Der Zuschlagsfaktor σ_s ist u. a. abhängig von der Form und Anordnung des Erfassungselementes. Er berücksichtigt die ungewollt abgesaugte unkontaminierte

Umgebungsluft. Dieser Zuschlag hängt von vielen Einflussgrößen ab, sodass man ihn bislang nur mithilfe von Näherungswerten gemäß Abbildung 2 bemessen kann.

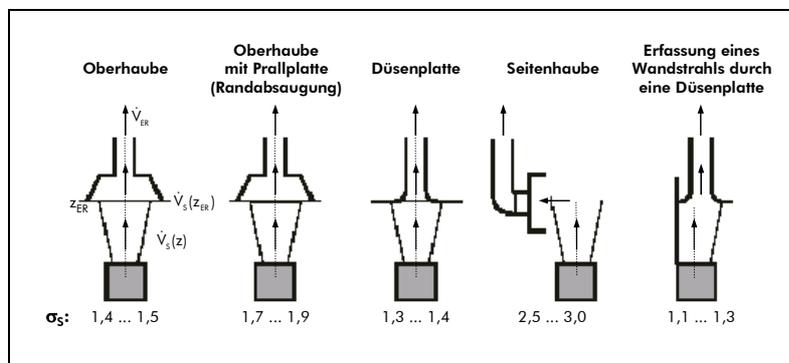


Abbildung 2:
Anhaltswerte für den Zuschlagsfaktor σ_s (ohne Berücksichtigung möglicher Querströmungen)

Der Zuschlagsfaktor σ_{quer} berücksichtigt zusätzliche Störluftbewegungen in Form von Querströmungen, die z. B. durch offen stehende Tore oder thermikbedingte Nachströmungen bei natürlicher Belüftung hervorgerufen werden. Er wird später näher erläutert.

2.3.2 Geschwindigkeitsverfahren

Beim Geschwindigkeitsverfahren [7] nimmt man an, dass für eine vollständige Erfassung der luftfremden Stoffe die Geschwindigkeit im Erfassungsbereich der Absaugung überall zumindest gleich groß derjenigen des kontaminierten Luftstroms sein muss (Abbildung 3):

$$w_{\text{ER}} \geq w_{\text{S}}$$

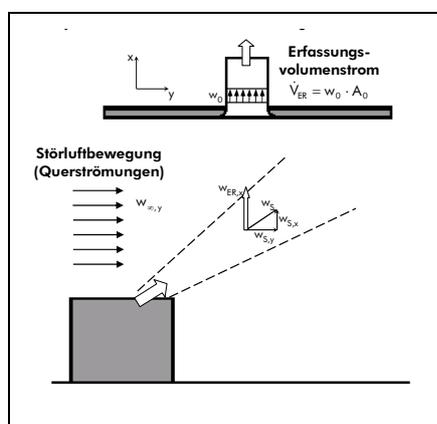


Abbildung 3:
Physikalisches Modell des Geschwindigkeitsverfahrens



Für die praktische Auslegung werden die Geschwindigkeiten auf der Symmetrieachse der Senkenströmung $w_{ER,x}$ verglichen mit der Geschwindigkeitskomponente der Stoffströmung (senkrecht zu dieser Achse) $w_{S,y}$ plus der Geschwindigkeitskomponente einer möglichen Querströmung $w_{\infty,y}$:

$$w_{ER,x} \geq w_{S,y} + w_{\infty,y} \quad (4)$$

Die Anwendung dieses Verfahrens erfordert die Kenntnis der Geschwindigkeitsfelder der Erfassungseinrichtungen. Angaben hierzu findet man in der einschlägigen Fachliteratur (u. a. [6; 8 bis 10]). Nun lässt sich die erforderliche Geschwindigkeit w_0 in der Abluftöffnung A_0 und somit auch der Erfassungsvolumenstrom \dot{V}_{ER} ermitteln:

$$\dot{V}_{ER} = w_0 \cdot A_0 \quad (5)$$

Richtwerte für Erfassungsgeschwindigkeiten w_{ER} sind:

- bei geringer Eigengeschwindigkeit

$$w_{ER} = 0,25 \text{ .. } 0,5 \text{ m/s (z. B. Bäder, Tanks, Schweißen)}$$

- bei größerer Eigengeschwindigkeit

$$w_{ER} = 0,5 \text{ .. } 1,0 \text{ m/s (z. B. Spritzkabinen, starke thermische Konvektion)}$$

- bei großer Eigengeschwindigkeit

$$w_{ER} = 1,0 \text{ .. } 2,0 \text{ m/s (z. B. Schleifen, Sandstrahlen)}$$

2.4 Erfassung unter dem Einfluss von Querströmungen

In der Praxis sind in Industriehallen Querströmungen vorhanden, deren Ursachen meist offen stehende Türen oder Tore oder der Einfluss von Kühlluftgebläsen sind.

Querströmungen wirken sich störend auf die Ausbreitung der luftfremden Stoffe und die Effizienz von Erfassungseinrichtungen aus. Es kommt zu Ausspülungen in den



Arbeitsbereich der Beschäftigten (Abbildung 4). Eine mangelhafte Erfassung mit seitlichem Emissionsaustrag ist meist darauf zurückzuführen, dass Querströmungen bei der Auslegung nicht angemessen berücksichtigt wurden.

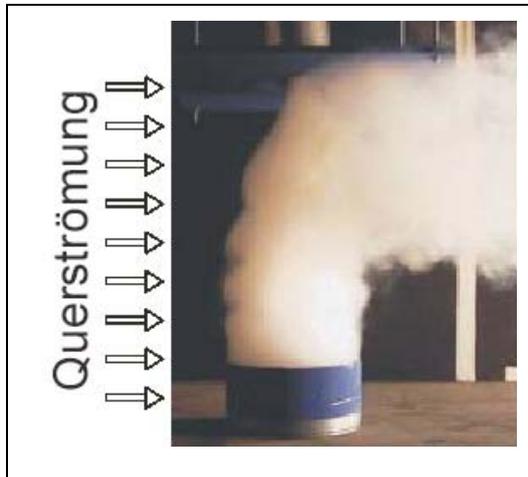


Abbildung 4:
Einfluss von Querströmungen auf die Erfassung

Im Labor der Fa. ThyssenKrupp HiServ wurden Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluss von Querströmungen zu quantifizieren und geeignete Auslegungskriterien zu ermitteln. Untersucht wurde u. a. ein typischer Standardfall gemäß Abbildung 5.

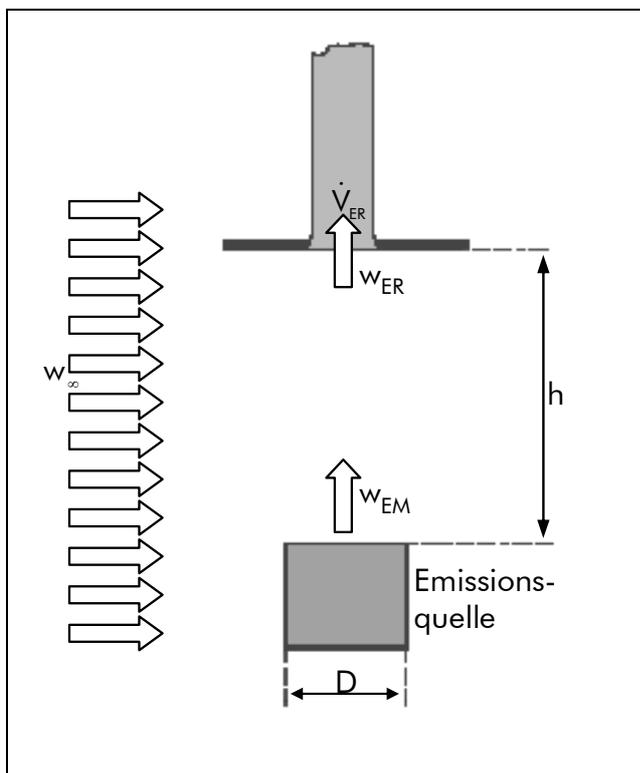


Abbildung 5:
Exemplarisches Versuchsergebnis –
Erfassungsgrad in Abhängigkeit des
Erfassungsvolumenstroms



Dabei handelt es sich um eine Erfassungseinrichtung, die zentrisch oberhalb einer Emissionsquelle angeordnet ist. Das System ist durch folgende Parameter gekennzeichnet:

w_{EM} Emissionsgeschwindigkeit

\dot{V}_{ER} Erfassungsvolumenstrom

D Emissionsquellendurchmesser

w_{∞} Geschwindigkeit der Querströmung

h Abstand zwischen Emissionsquelle und Erfassungseinrichtung

Zur Quantifizierung des Einflusses der Querströmung wurde mithilfe von Tracergas der Erfassungsgrad bestimmt. Der Erfassungsgrad η_s gibt den Anteil der entstehenden luftfremden Stoffe an, der mit der Erfassungseinrichtung direkt am Entstehungsort erfasst werden kann. Er ist als Quotient aus erfasstem Stoffstrom und freigesetztem Stoffstrom definiert:

$$\eta_s = \frac{\dot{m}_{ER,S}}{\dot{m}_s} \quad (6)$$

Abbildung 6 (siehe Seite 24) zeigt ein exemplarisches Versuchsergebnis für die folgenden Randbedingungen:

$$w_{EM} = 2 \text{ m/s}; D = 300 \text{ mm};$$

$$w_{\infty} = 0,4 \text{ m/s}; h = 1200 \text{ mm}$$

Die zugehörigen Rauchfotos aus Abbildung 7 (Seite 24) vermitteln einen Eindruck über die Erfassungsqualität bei unterschiedlichen Erfassungsgraden. Deutlich wird, dass einerseits bei dem visuellen Eindruck einer mangelhaften Erfassung (linkes Bild) immerhin noch 70 % der freigesetzten Emissionen abgesaugt werden und andererseits bei einem sehr guten visuellen Eindruck (rechtes Bild) der Erfassungsgrad lediglich 95 % beträgt.



Abbildung 6:
Exemplarisches Versuchsergebnis – Erfassungsgrad in
Abhängigkeit vom Erfassungsvolumenstrom

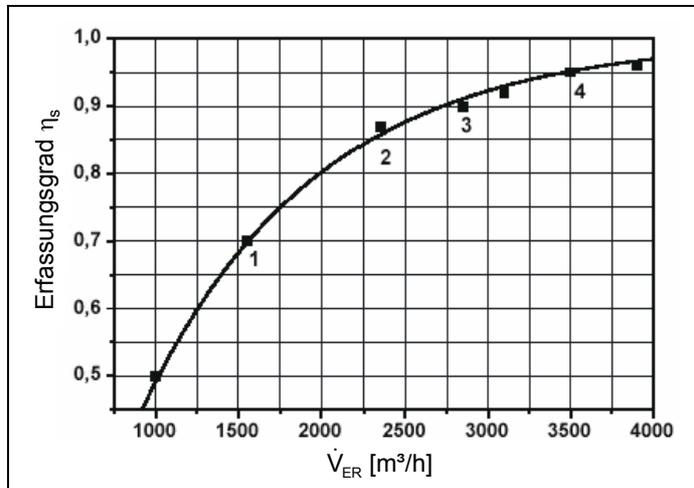
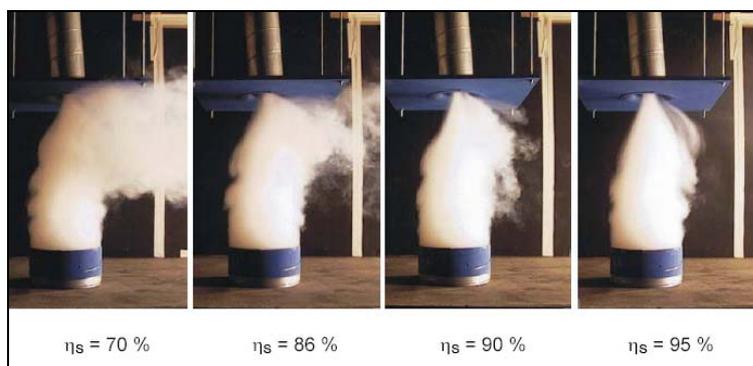


Abbildung 7:
Strömungsverhältnisse bei unterschiedlichen Erfassungsgraden



Der notwendige Erfassungsvolumenstrom zur vollständigen Erfassung der freigesetzten Emissionen ($\eta_s = 100\%$) beträgt für das Beispiel ein Vielfaches des Wertes bei querströmungsfreier Umgebung. Daher wird im Hinblick auf den technischen Aufwand, den große Volumenströme erfordern, vorgeschlagen, die Bemessung von Erfassungselementen unter Berücksichtigung von Querströmungen auf einen Erfassungsgrad von 95 % vorzunehmen. Für die so definierte technisch nahezu vollständige Erfassung lassen sich die zur Auslegung erforderlichen Querströmungsfaktoren σ_{quer} aus Tabelle 2 (siehe Seite 25) entnehmen. Sie finden Verwendung bei der Volumenstrombilanzierung (siehe oben).



Tabelle 2:
Erforderliche Querstromfaktoren σ_{quer}

$w_{\text{EM}} [\text{m/s}]$	$h/D = 1$				$h/D = 2$				
	0,1	0,2	0,5	1,0	$w_{\infty} [\text{m/s}]$	0,1	0,2	0,5	1,0
0,3	7,1	--	--	--	9,3	--	--	--	--
0,5	3,0	6,3	--	--	3,8	8,2	--	--	--
1,0	1,4	2,2	5,2	--	1,6	2,6	6,7	--	--
1,5	1,2	1,5	2,7	5,5	1,3	1,7	3,4	7,2	--

2.5 Erfassungseinrichtungen

Ein wesentliches Merkmal der Strömung an einer Erfassungseinrichtung ist der rasche Geschwindigkeitsabbau vor der Abluftöffnung und die damit verbundene geringe Tiefenwirkung (Abbildung 8). Die Strömungsgeschwindigkeiten in axialer Richtung vermindern sich demnach stark innerhalb sehr kurzer Entfernung. Bei gleichem Volumenstrom liegen die Geschwindigkeiten der Senkenströmung in einer Entfernung $x/d = 10$ um mehr als den Faktor 100 niedriger als bei einem Blasstrahl. Dieser Umstand stellt eine wesentliche Problematik der Schadstofffassung dar und führt insbesondere bei offenen Systemen und deren korrekter Auslegung zu großen Volumenströmen.

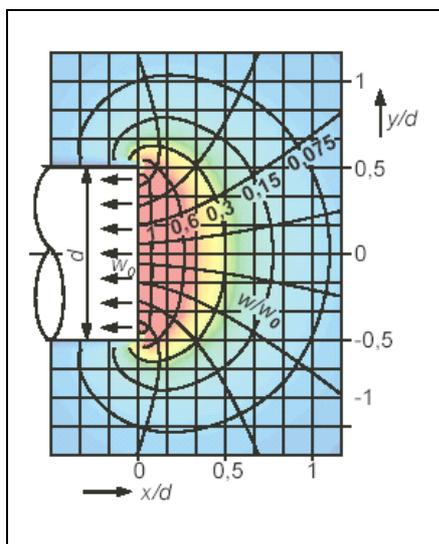


Abbildung 8:
Geschwindigkeitsfeld vor einer Rohröffnung



Hieraus leitet sich die Notwendigkeit ab, die Erfassungseinrichtung möglichst nahe an der Emissionsquelle anzuordnen. Dies bedeutet in der Regel, in den Prozess oder die Arbeitsabläufe eingreifen zu müssen und das Erfassungselement angepasst zu gestalten. Derartige universelle Lösungen erfordern die Akzeptanz aller Betroffenen, insbesondere auch der betroffenen Arbeiter.

In den letzten Jahren entwickelte die Fa. ThyssenKrupp HiServ neue Erfassungseinrichtungen, die im Folgenden dargestellt werden sollen. Ziel war es, bei gleichem Volumenstrom die Qualität der Erfassung zu verbessern bzw. bei gleicher Qualität mit geringerem Volumenstrom abzusaugen.

2.5.1 Düsenplatte

Abbildung 9 zeigt die Strömungsverhältnisse an einer Düsenplatte. Die Vorteile liegen in der radial zum Zentrum gerichteten seitlichen Zuströmung. Sie schnürt den Konvektionsstrom ein und wird damit stabiler gegenüber Querströmungen. Darüber hinaus bildet sich ein Geschwindigkeitsfeld vor der Düsenplatte aus, das weiter in den Raum hineinreicht und damit die Erfassungstiefe vergrößert. Letztere wird durch den Gütegrad η_G beurteilt, der die von Erfassungseinrichtungen erzeugten Strömungsfelder unabhängig von äußeren Einflüssen vergleichbar macht.



Abbildung 9:
Strömung an einer Düsenplatte

In Abbildung 10 (siehe Seite 27) werden die auf experimentellem Wege ermittelten Gütegrade einiger Düsenplatten und konventioneller Oberhauben verglichen. Dabei werden die Wirkungen unterschiedlicher Einrichtungen deutlich. Anwendungsgebiete



der Düsenplatte finden sich beispielsweise an punktförmigen Emissionsquellen wie etwa Ofenabsaugungen.

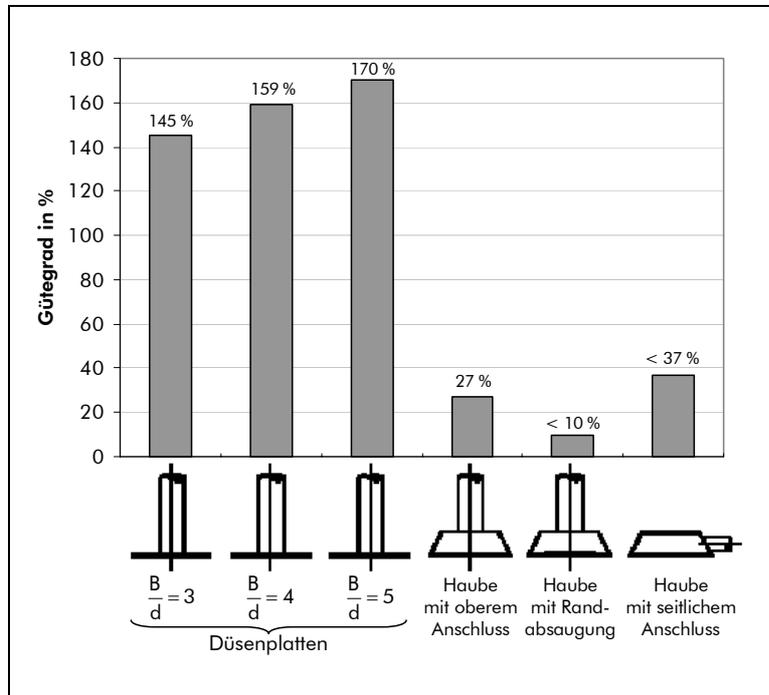


Abbildung 10:
Gütegrade einiger Erfassungseinrichtungen

Die Abbildungen 11 und 12 (siehe Seite 28) stellen die Strömungsverhältnisse an einem Schmelzofen vergleichend dar: Einmal ausgestattet mit einer konventionellen Oberhaube, bei der es aufgrund ihrer geringen Erfassungstiefe bereits bei kleinen Querströmungen zu einem Schadstoffaustrag (Auspülungen) kommt, und einmal ausgestattet mit einer Düsenplatte, die auch bei einer stärkeren Thermikströmung die Schadstoffe mit gleichem Volumenstrom sicher erfasst.



Abbildung 11:
Strömungsverhältnisse an einem Schmelzofen mit konventioneller Oberhaube



Abbildung 12:
Strömungsverhältnisse an einem
Schmelzofen mit Düsenplatte

2.5.2 Wirbelhaube

Die Wirbelhaube arbeitet nach dem Prinzip der in der Natur auftretenden Wirbelstürme. Der Wirbel entsteht durch die Überlagerung einer Senkenströmung und eines Potenzialwirbels gemäß Abbildung 13 und lässt sich technisch durch gegenüberliegende Absaugöffnungen erzeugen. Die Anströmung regt die Zirkulation an, die sehr schnell zu einem ausgeprägten Wirbelgebilde heranwächst. Die beiden gegenüberliegenden Unterdruckfelder schließen sich zu einer linienförmigen Wirbelsenke zusammen. Im Zentrum bildet sich ein Wirbelfaden aus, innerhalb dessen sich axiale Querströmungen einstellen. Der Kern des Wirbels dreht wie ein fester Körper und weist in seiner Längsrichtung eine gleichförmige Druckverteilung auf, die eine gleichmäßige Zuströmung über die gesamte Wirbellänge bewirkt. Er wurde in Abbildung 14 (siehe Seite 29) mit Rauch sichtbar gemacht. Außerhalb des Wirbelfadens erkennt man auf den Strömungsaufnahmen deutlich die in Form von logarithmischen Spiralen verlaufenden Stromlinien (siehe Abbildung 15, Seite 29).

Abbildung 13:
Schematische Darstellung einer Überlagerung von Wirbel und Senke

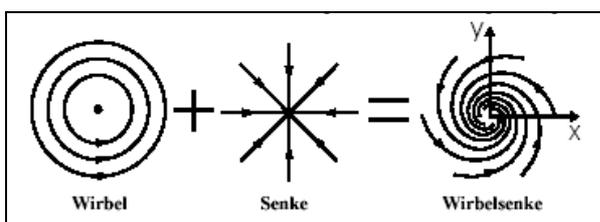




Abbildung 14:
Wirbelfaden in der Wirbelhaube

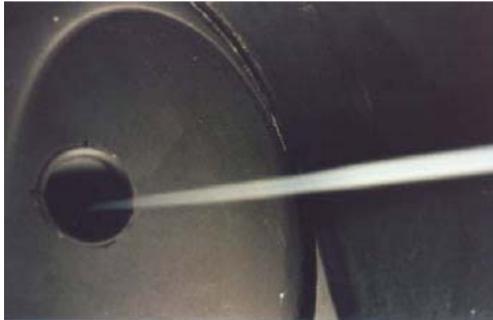


Abbildung 15:
Spiralförmige Stromlinien in der Wirbelhaube



Der wesentliche Vorteil dieser Strömungsform liegt in den hohen Strömungsgeschwindigkeiten, die zur Absaugung besonders vorteilhaft einzusetzen sind. Sowohl theoretische Berechnungen als auch Geschwindigkeitsmessungen mittels Particle-Image-Velocimetry weisen Geschwindigkeiten auf, die am Rand des Wirbelfadens um das 10- bis 20fache größer sind als die mittlere Geschwindigkeit in der Absaugöffnung. Gegenüber der normalen Senkenströmung lassen sich um 50- bis 100fach größere Geschwindigkeiten erzielen und so die Schadstoffeffassung wirksam verbessern.

2.6 Literatur

- [1] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG) vom 07. August 1996. BGBl. I (1996), S. 1246; zul. geänd. BGBl. I (2004), S. 1950
- [2] VDI 2262-1: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatzplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Blatt 1: Allgemeine Anforderungen (04.93). Beuth, Berlin 1993
- [3] VDI 2262-2: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatzplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Blatt 2: Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen (12.98). Beuth, Berlin 1998



- [4] VDI 2262-3: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatzplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Blatt 3: Lufttechnische Maßnahmen (05.94). Beuth, Berlin 1994
- [5] VDI 3929: Erfassen luftfremder Stoffe (08.92). Beuth, Berlin 1992
- [6] VDI 2262-4 Entwurf: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatzplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Blatt 4: Erfassen luftfremder Stoffe (03.04). Beuth, Berlin 2004
- [7] VDI 3802: Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten (12.98). Beuth, Berlin 1998
- [8] Ermittlung von Geschwindigkeitsfeldern vor Saugöffnungen. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens der Norddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft und der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften. Hrsg.: ThyssenKrupp HiServ, Gießen 2003. <http://www.vmbg.de/Sites/forschung/saugoeffnung.htm> (31.10.2005)
- [9] *Baturin, W. W.*: Lüftungsanlagen für Industriebauten. VEB Technik, Berlin 1959
- [10] *Vogel, P.*: Schadstofffassung. In: *Heinrich, G.* (Hrsg.): Reihe Luft- und Kältetechnik. VEB Technik, Berlin 1975



3 Lufttechnik in Industriehallen

Rüdiger Detzer,
Fa. Imtech Deutschland, Hamburg

3.1 Allgemeines

Wesentliche Aufgabe der Raumluftechnik in Fertigungsstätten ist die Erfassung und Beseitigung von luftgetragenen Schadstoffe oder Keimen, die über das Zuluftsystem in den Raum eingebracht, im Raum selbst generiert oder beim Produktionsprozess freigesetzt werden. Grundsätzlich unterscheidet man heute zwischen Räumen, bei denen die Luftzufuhr auf der Basis einer Mischströmung erfolgt, und Räumen, die mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung (Schichtenströmung) belüftet sind.

3.2 Mischströmungen

Bei Mischströmungen überwiegen Schadstoffausbreitungen, die durch turbulente Austauschbewegungen verursacht werden. Alle anderen Strömungsmechanismen sind von untergeordneter Bedeutung. Die Zuluft wird über einzelne, meist im Deckenbereich angeordnete Luftdurchlässe in den Raum eingebracht. In Abbildung 1 ist dies schematisch dargestellt.

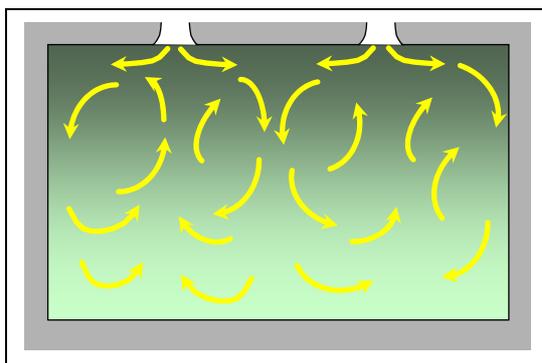


Abbildung 1:
Schematische Darstellung einer
Mischströmung

Die in den entstehenden Luftstrahlen enthaltene Strömungsenergie wird dadurch abgebaut, dass Umgebungsluft aus dem Raum angesaugt und dem Luftstrahl beige-mischt wird. Demnach findet am Strahlrand ein Impulsaustausch statt, der dazu führt,



dass der Luftstrahl auf seinem Weg durch den Raum an transportiertem Luftvolumen zunimmt und gleichzeitig an Geschwindigkeit verliert.

Der als Induktionsanteil bezeichnete, dem Strahl beigemischte Luftstrom ist um ein Vielfaches größer als der am Auslass eingebrachte Primärluftstrom und strömt aus anderen Raumbereichen nach. Dies führt zu intensiver Raumdurchströmung und einer gleichmäßigen Verteilung aller im Raum vorhandenen luftgetragenen Verunreinigungen. Dabei ist insbesondere der Turbulenzgrad der Strömung von wesentlicher Bedeutung. Dieser ist bei Mischströmungen besonders hoch.

3.3 Schichtenströmung

Speziell in Industriebereichen mit stofflichen und thermischen Belastungen werden heute Schichtenströmungen eingesetzt, um die Luftverhältnisse zu verbessern. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn größere thermische Freisetzungen zu erwarten sind. Abbildung 2 verdeutlicht das zugrunde liegende Strömungsprinzip.

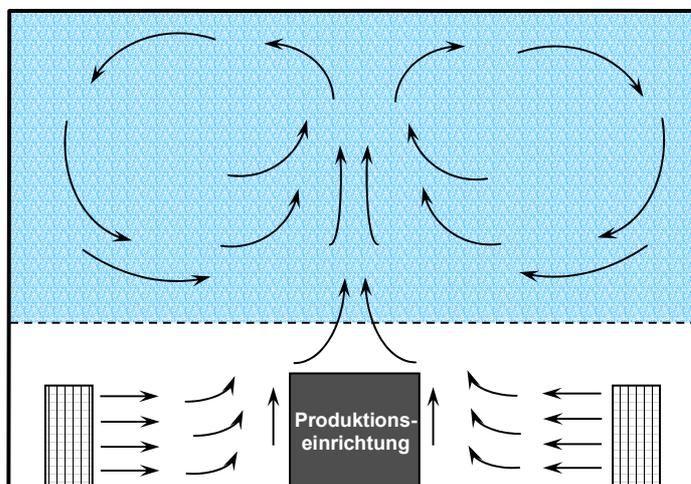


Abbildung 2:
Schematische Darstellung
einer Schichtenströmung

Schichtenströmungen zeichnen sich dadurch aus, dass sich die Raumluftrömung nicht durch die Zuluffführung, sondern durch einzelne freie Konvektionsbewegungen einstellt. Jeder Körper, der eine höhere Oberflächentemperatur als die Umgebungsluft aufweist, bewirkt eine vertikal nach oben gerichtete Luftströmung. Diese führt oberhalb des Wärme abgebenden Körpers zu einem Thermikstrahl, der die Eigenschaften eines



Luftfreistrahles besitzt; das heißt, die im Thermikstrahl enthaltene Strömungsenergie wird durch Induktion von Umgebungsluft abgebaut (Abbildung 3).

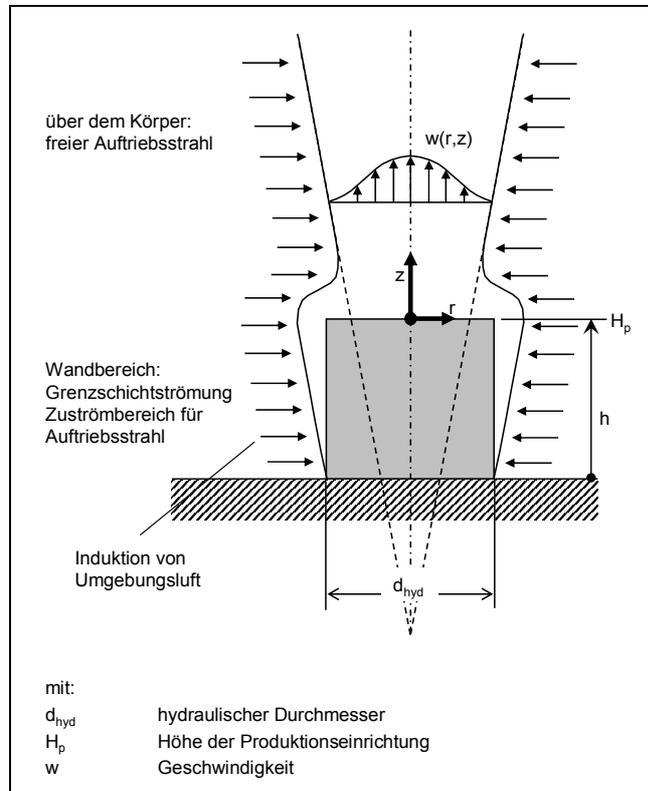


Abbildung 3:
Aufbau eines Thermikstrahls

Wird nun die durch direkte Konvektion nach oben transportierte Luft und die Induktionsluft bis zu einer entsprechenden Höhe im unteren Raumbereich nachgespeist, bilden sich zwei deutlich unterschiedliche Luftschichten aus. Während im unteren Raumbereich die Luft nahezu Zuluftqualität besitzt, ergeben sich in der oberen Schicht deutlich höhere Kontaminationen an luftfremden Stoffen, die gas- oder partikelförmig sein können (Abbildung 4, siehe Seite 34).

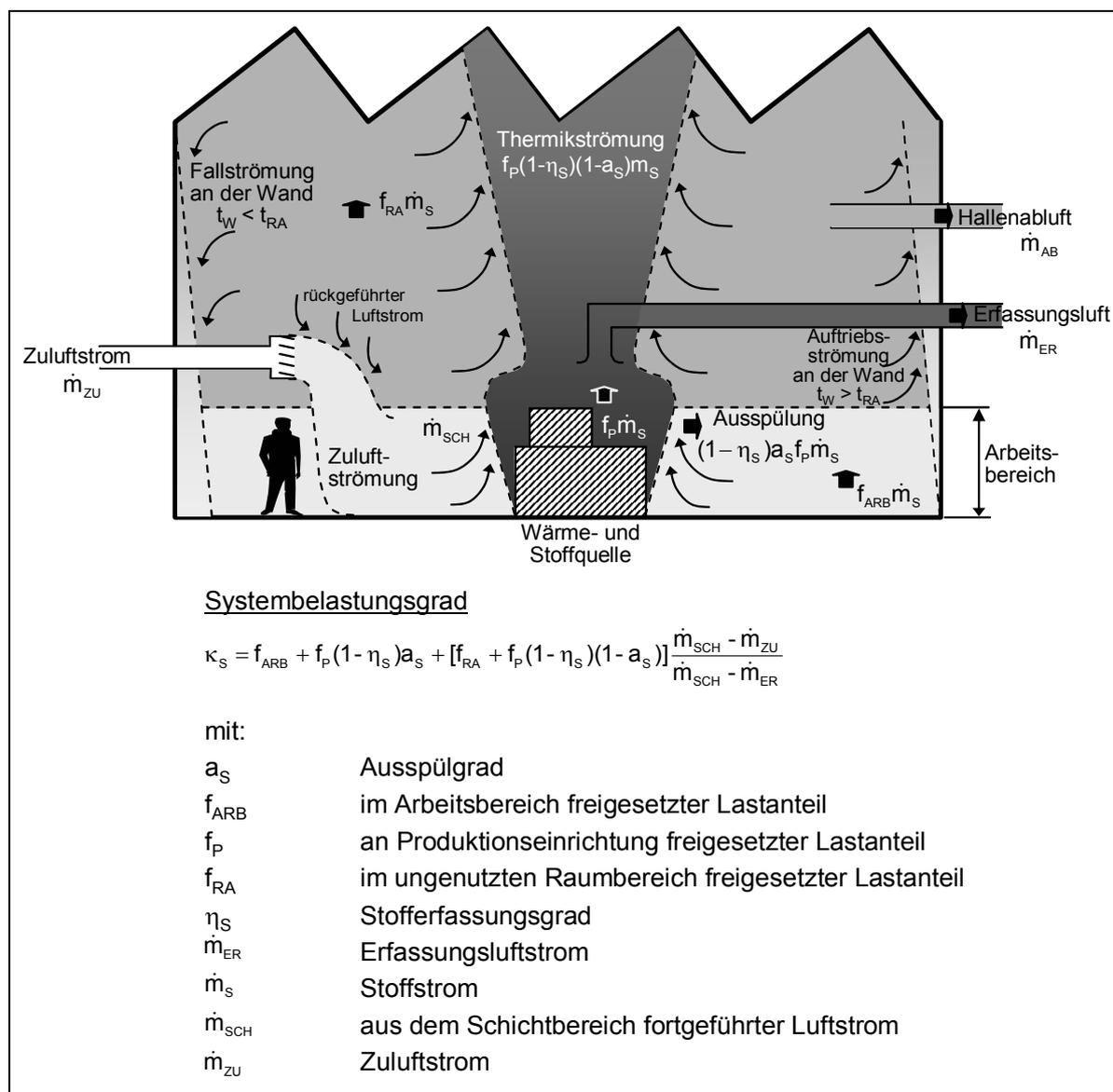
Um dies zu erreichen, sind gewisse Voraussetzungen zu schaffen:

- Der Konvektionsstrom ist bis zu einer Schichthöhe H vollständig durch Zuluft im unteren Raumbereich zu ersetzen, um Rückströmungen von oben zu verhindern. Die Schichtgrenze muss oberhalb des Arbeitsbereiches liegen.



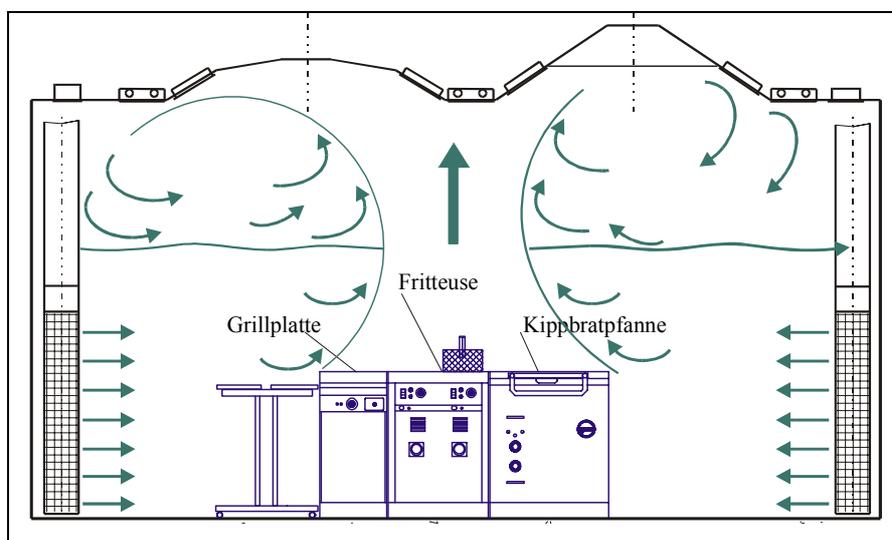
- ❑ Die Nachführung von Zuluft muss impulsarm erfolgen. Wesentlich dabei ist, dass durch die nachgeführte Zuluft die an den Wärmequellen entstehenden Thermikströme nicht gestört werden, damit es nicht zu Ausspüleffekten kommen kann.
- ❑ Thermikströmungen, insbesondere an kalten Wandflächen, sind zu vermeiden, da Kaltluftströmungen an kalten Flächen Einmischprozesse höher kontaminierter Luft in den unteren Raumbereich bewirken.

Abbildung 4:
Einflussgrößen auf die Schichtenbildung



Diese Strömungsform, ursprünglich für thermisch belastete Industriehallen entwickelt, eignet sich ebenfalls für die Belüftung von Küchenbereichen (Abbildung 5). Sie kann darüber hinaus in der Reinraumtechnik eingesetzt werden, wenn im Raum selbst höhere innere Wärmelasten auftreten. Thermikströmungen erhöhen bei Mischströmungen den Turbulenzgrad und wirken somit dem gesteckten Schutzziel entgegen.

Abbildung 5:
Schichtenströmung in Küchen

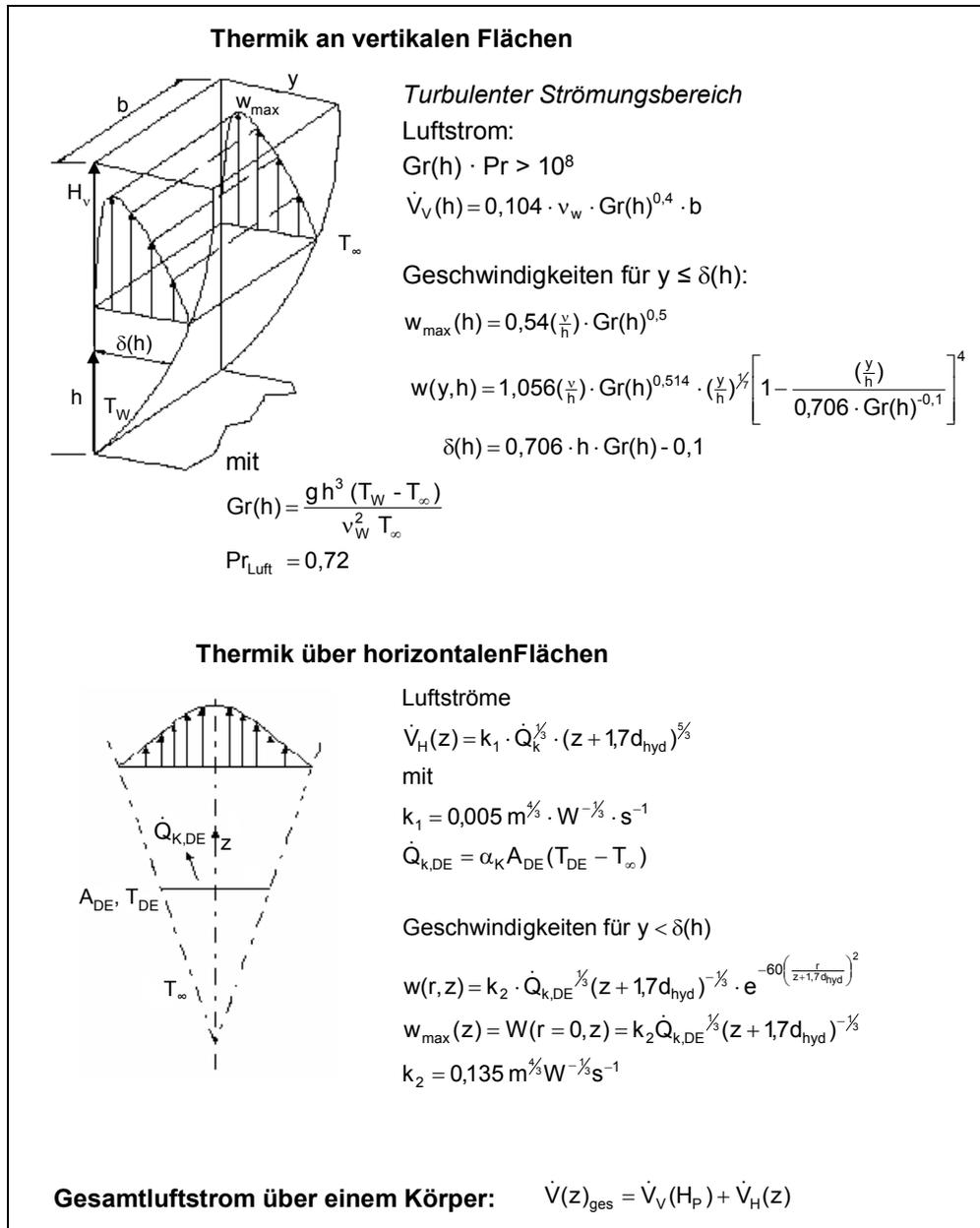


Zur Dimensionierung der Luftströme für Schichtenströmungen sind die an den Thermikquellen entstehenden Thermikströme zu ermitteln. Die dazu gehörenden Algorithmen wurden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsvorhabens [1] entwickelt und sind in Abbildung 6 (siehe Seite 36) zusammenfassend dargestellt.

Betrachtet werden die thermisch wirksamen Oberflächen der Prozesseinrichtungen, die im Allgemeinen horizontal oder vertikal im Raum angeordnet sind. Bei sowohl horizontal als auch vertikal vorhandenen Wärme abgebenden Oberflächen können die Vertikalflächen häufig vernachlässigt werden, da die horizontalen Flächen einen erheblich größeren Anteil zum Thermikstrom beitragen.



Abbildung 6:
Gleichungen für die Thermikluftströme an horizontalen und vertikalen Flächen sowie über Körpern (siehe auch [2])



Darüber hinaus empfiehlt sich eine Kontrollrechnung nach den Gesetzmäßigkeiten der Mischströmung:

$$\frac{\dot{V}_{Zu}}{V_R} = \frac{\dot{E}}{V_R(k_R - k_{Zu})}$$



mit

\dot{V}_{Zu} Zuluftvolumenstrom

V_R Raumvolumen

k_R Schadstoffkonzentration im Raum

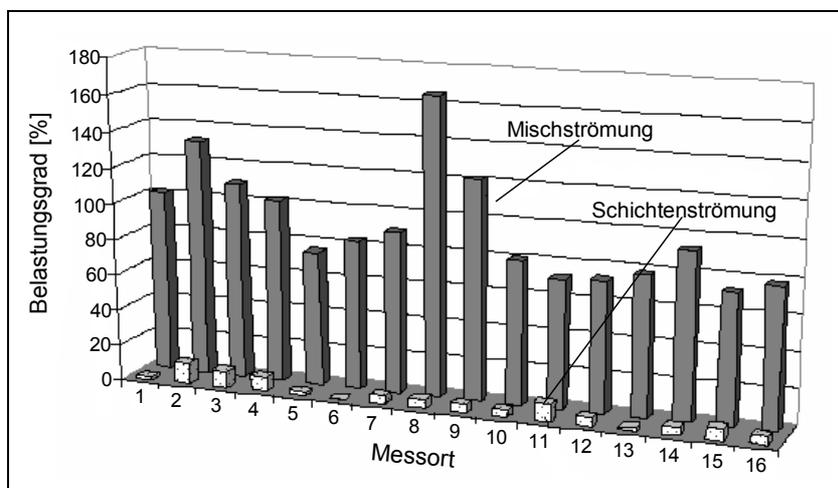
k_{Zu} Schadstoffkonzentration in der Zuluft

\dot{E} pro Zeiteinheit emittierte Luftverunreinigungen

Im Falle einer Schichtenströmung ist k_R die Schadstoffkonzentration in der oberhalb des Arbeitsbereiches entstandenen Luftschicht, die auch der Konzentration der im oberen Raumfeld entnommenen Abluft k_{Ab} entspricht.

Schichtenströmungen haben in verschiedenen technischen Anwendungen ihre Bewährungsprobe bestanden: Untersucht wurde der Bereich einer Aluminiumgießerei, in der Motorteile für die Automobilindustrie gegossen werden. Durch Einsatz einer Schichtenströmung verbesserte sich der Belastungsgrad im Aufenthaltsbereich bei gleichem Luftstrom nahezu um den Faktor 10 gegenüber einer Mischströmung (Abbildung 7).

Abbildung 7:
Örtliche Gefahrstoffbelastung an Arbeitsplätzen bei unterschiedlicher Luftführung





Dabei beschreibt der Belastungsgrad den Anteil an luftfremden Stoffen von den insgesamt emittierten Stoffgrößen, der im Arbeitsbereich fühlbar wird.

Der Einsatz der Schichtenströmung ist nicht nur in besonders hohen Räumen möglich. Hierzu ein Beispiel aus dem Bereich der Großküchen: Bei gleichem Luftstrom konnten die im Atembereich gemessenen Aerosole und gasförmigen Substanzen gegenüber einer Mischströmung deutlich reduziert werden (Abbildungen 8 und 9).

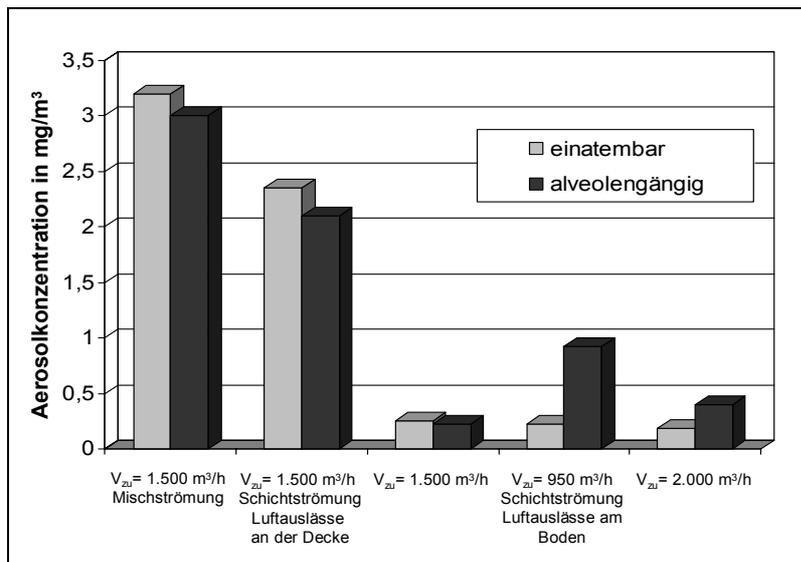


Abbildung 8: Einfluss der Zuluftführung und der Luftmenge auf die Aerosolkonzentration in Küchen

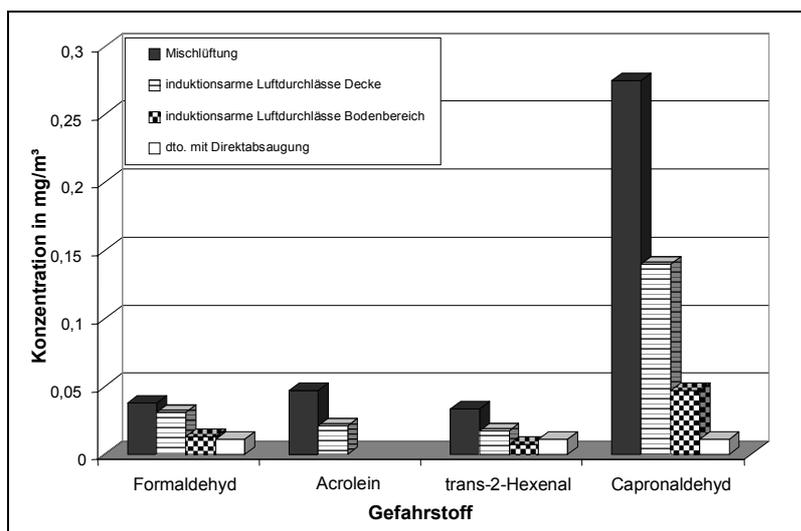


Abbildung 9: Einfluss der Zuluftführung und der Luftmenge auf die Gefahrstoffkonzentration in Küchen

Auch bei der Entrauchung von Gebäuden wird die Schichtenströmung eingesetzt, um die Personenrettung im Brandfall sicherstellen zu können.



3.4 Literatur

- [1] *Biegert, B.; Dittes W.*: Katalog technischer Maßnahmen zur Luftreinhaltung – Konzeption, Auswahl und Auslegung von Einrichtungen. In: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). Fb 834. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2001

- [2] VDI 2262-4 Entwurf: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatzplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Blatt 4: Erfassen luftfremder Stoffe (03.04). Beuth, Berlin 2004



4 Erfassung in der Praxis

Wolfgang Schulz-Nigmann,
Fa. ThyssenKrupp HiServ, Gießen

4.1 Einleitung

In diesem Beitrag sollen die Auslegung und Umsetzung von Erfassungseinrichtungen anhand von Beispielen verdeutlicht werden. Der Schwerpunkt liegt auf der Berechnung mit Gleichungen in der in Arbeit befindlichen Richtlinie VDI 2262 Blatt 4 [1] sowie unter Zuhilfenahme von Modell- und Vor-Ort-Versuchen. An den Beispielen wird deutlich, dass mit der richtigen Auswahl und Auslegung des Erfassungselementes eine emissionsarme Arbeitsumgebung geschaffen werden kann. Auch bei komplexeren Problemstellungen der Erfassungstechnik kann durch eine Ist-Aufnahme bzw. durch theoretische Grundlagenermittlung in Verbindung mit einem Modellversuch, einer Strömungssimulation oder einem Vor-Ort-Versuch eine technisch korrekte und wirtschaftliche Auslegung sichergestellt werden.

Bei der Schweißraucherfassung ist der Abstand zwischen Erfassungselement und Emissionsquelle sowie die Konstruktion der Erfassungseinrichtung für die Wirksamkeit entscheidend. Durch Zuluftunterstützung kann, wie beispielsweise bei der Badabsaugung sowie bei der Erfassung am Klebetisch und in der Schweißkabine gezeigt, eine sichere Erfassung gewährleistet werden.

4.2 Emissionserfassung bei der Umfüllung von Roheisen

4.2.1 Prozessbeschreibung

In Stahlwerken wird das vom Hochofen kommende Roheisen in Mischerpfannen umgefüllt. Hierzu wird eine Grube errichtet, in der ein auf Schienen fahrender Wagen die Mischerpfanne in das benachbarte Hallenschiff fährt. Im vorliegenden Fall weist die Mischerpfanne eine Höhe von ca. 4,8 m bei einem Durchmesser von ca. 4,5 m auf und fasst einen Inhalt von ca. 250 t flüssigem Eisen. Die Pfanne wird mit dem Wagen



in der Umfüllgrube (Oberkante Fußboden = - 7 250 mm) in Position gebracht. Anschließend wird die am Kran hängende und mit Roheisen gefüllte 100-Tonnen-Pfanne von oben ausgekippt. Wahlweise kann auch eine Anlieferung des Roheisens in Torpedopfannen erfolgen.

Beim Umfüllvorgang kommt es zu chemischen Reaktionen, vor allem mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff, die mit einer starken Rauchentwicklung verbunden sind. Die Erfassung der Emissionen soll durch eine örtliche Erfassungseinrichtung erfolgen.

Zur Gestaltung und Auslegung der Erfassungseinrichtung werden im Labor Modellversuche mit unterschiedlichen Erfassungseinrichtungen und -geometrien im Maßstab 1 : 4 durchgeführt [2].

4.2.2 Bestimmung der Emissionscharakteristik

Bei einer Bestandsaufnahme ermittelt sich die Geschwindigkeit der entstehenden Rauchgase zu ungefähr 2,7 m/s bis 2,8 m/s. Die Geschwindigkeiten werden mithilfe von Videoaufnahmen festgestellt. Als Austrittsfläche für den Emissionsvolumenstrom sind ca. 80 % der Mischpfannenöffnung und 50 % der Roheisenpfannenöffnung zu berücksichtigen. Diese Werte beruhen auf Einschnüreffekten der aufsteigenden Konvektionsvolumenströme. Die strömungstechnisch effektiven Pfannenaustrittsflächen und die aus der Ist-Aufnahme ermittelten Emissionsvolumenströme gibt Tabelle 1 wieder.

Tabelle 1:
Daten zur Emissionscharakteristik im Emissionsmaximum [3]

	Emissionsgeschwindigkeit in m/s	effektive Pfannenaustrittsfläche in m ²	Emissionsvolumenstrom in m ³ /h
Mischpfanne	2,8	9,1	91 455
Roheisenpfanne	2,7	2,7	26 244
Summe:			117 699



4.2.3 Bestimmung der Freiräume und Erfassungsbereiche, Auswahl des Erfassungskonzeptes

Um den Vorgang des Umfüllens nicht zu behindern, wird die Erfassungseinrichtung im hinteren seitlichen Bereich angeordnet und erhält eine Zuströmfläche (Dach), die soweit wie möglich über dem Prozess geführt wird (siehe Abbildungen 1 und 2).

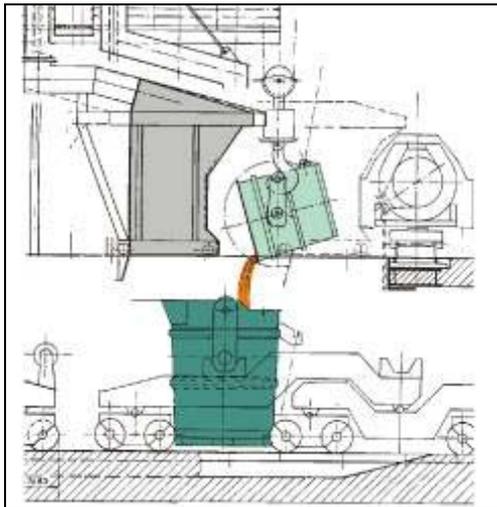


Abbildung 1:
Schematische Darstellung einer
Umfüllgrube mit einer konventionellen
Oberhaube als Erfassungselement [3]

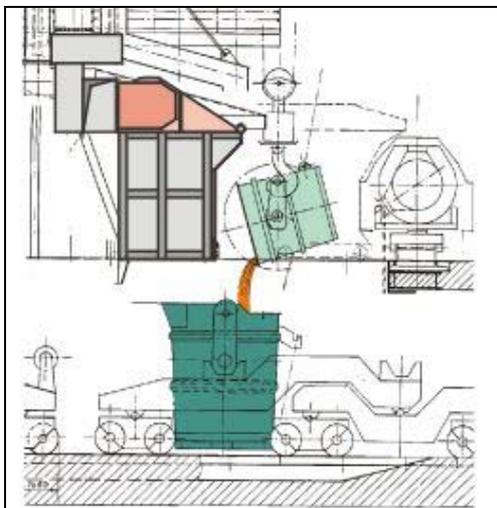


Abbildung 2:
Schematische Darstellung einer
Umfüllgrube mit einer Wirbelhaube
als Erfassungselement [3]

4.2.4 Störströmungen

Windbedingte Störströmungen treten durch das nahe gelegene Hallentor auf. Sie werden durch ein partielles Verschließen des Tores und durch Seitenwände an der Erfassungseinrichtung (Abbildung 3, siehe Seite 44) eliminiert und bleiben bei der Auslegung unberücksichtigt.



Abbildung 3:
Erfassungseinrichtung an der
Roheisenumfüllgrube [3]

4.2.5 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Für die einzelnen Varianten werden verschiedene Emissionsvolumenströme eingestellt und die zur vollständigen Erfassung nötigen Mindestabluftströme ermittelt. In einer zuvor durchgeführten Emissionsanalyse wurde der notwendige Auslegungsbereich, d. h. der primär freigesetzte Konvektionsvolumenstrom, bestimmt. Hieraus ergibt sich in Verbindung mit den Ergebnissen der Modellstudie ein zur vollständigen Erfassung notwendiger Volumenstrom von ca. 300 000 m³/h [3] (Abbildung 4).

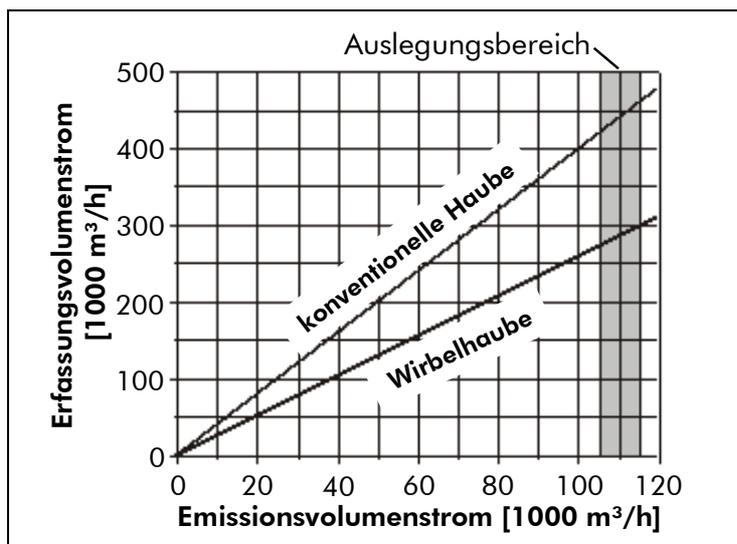


Abbildung 4:
Ergebnis der Modellstudie für
die Roheisenumfüllgrube [3]



4.3 Erfassung von Dämpfen aus Industriebädern

Industriebäder werden über seitliche Erfassungseinrichtungen abgesaugt, um die Zugänglichkeit von oben z. B. für das Eintauchen von Werkstücken zu gewährleisten. Die Erfassungseinrichtungen werden häufig in Form eines einseitigen oder auch beidseitigen Saugschlitzes gemäß Abbildung 5 ausgeführt.

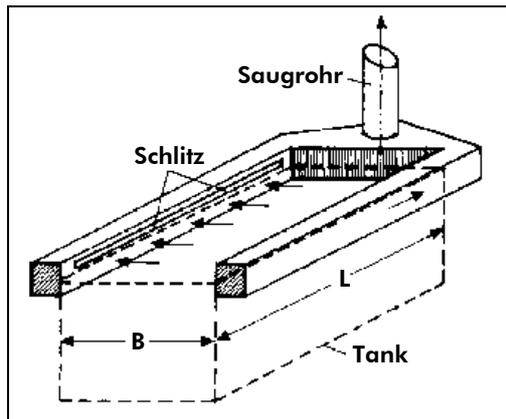


Abbildung 5:
Schematische Darstellung eines Saugschlitzes ohne Flansch auf zwei gegenüberliegenden Seiten eines Bades [4]

Eine vereinfachte Auslegung kann nach dem Geschwindigkeitsverfahren erfolgen.

Berechnungsbeispiel Säurebad: Ein Salzsäurebad der Größe $1,2 \times 0,95 \text{ m}^2$ mit einer Badtemperatur von 50 °C (323 K) befindet sich in einer Halle, die eine Temperatur von 20 °C (293 K) und eine Störströmung von $0,2 \text{ m/s}$ aufweist. Das Bad wird einseitig auf einer Schlitzhöhe von 60 mm mit einer Erfassungsgeschwindigkeit von $0,4 \text{ m/s}$ abgesaugt [1].

Für ein Bad mit einseitigem Saugschlitz und beidseitigem Flansch gilt [5; 6]:

$$\frac{w_0}{w_x} = 2 \frac{x}{h} \quad (1)$$

$$\dot{V} = 2 \cdot x \cdot w_x \cdot l \quad (2)$$

mit

$$x = B; l = L$$

$$w_x = w_{ER}$$



Unter Einführung folgender Korrekturfaktoren

- für den Randeinfluss

$$K_1 = \left(\frac{B}{L}\right)^{0,2} \quad \text{bei einseitiger Absaugung}$$

$$K_1 = \left(\frac{B}{2L}\right)^{0,2} \quad \text{bei beidseitiger Absaugung}$$

- für den Erfassungsgrad

$K_2 = 1,0$ bis $1,5$ für Stoffe, bei denen ein zeitweiser Austrag in den Raum vertretbar ist

$K_2 = 1,5$ bis $1,75$ für toxische Stoffe

$K_2 = 1,75$ bis $2,0$ für akut toxische Stoffe

- für die Störströmung der Umgebungsluft

$$K_3 = 1,9 \cdot w_\infty^{0,32}$$

$$K_3 \geq 1,0$$

- für die Badtemperatur

$$K_4 = 1 + \frac{T_{\text{Bad}} - T_\infty}{T_\infty}$$

erhält man für den notwendigen Erfassungsvolumenstrom:

$$\dot{V}_{\text{ER}} = 2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot B \cdot L \cdot w_{\text{ER}} \quad (3)$$

Unter Berücksichtigung der oben genannten Berechnungsgleichung und der Faktoren K_1 bis K_4 folgt:

$$\begin{aligned} \dot{V}_{\text{ER}} &= 2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot B \cdot L \cdot w_{\text{ER}} = 2 \cdot 0,954 \cdot 1,625 \cdot 1,135 \cdot 1,102 \cdot 0,95 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ &= 1,768 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 6.400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned} \quad (4)$$



Unter Berücksichtigung von Variante 6, gemäß einer Arbeit der Fa. Thyssen Krupp HiServ [7], kann der Erfassungsvolumenstrom auch wie folgt berechnet werden:

$$\dot{V}_{ER} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot L \cdot h \cdot \frac{W_{ER}}{10^{\sum_{k=0}^5 a_k \left(\log \frac{B}{h}\right)^k}} \quad (5)$$

$$= 0,954 \cdot 1,0 \cdot 1,135 \cdot 1,102 \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,06 \text{ m} \cdot \frac{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0195}$$

$$= 1,758 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 6.350 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Durch die Strömungssimulation, die dieser Berechnung zugrunde liegt, ist der Faktor K_2 bereits im Ergebnis der Formel enthalten und muss deswegen nicht mehr berücksichtigt werden.

4.4 Nachführbare Schweißrauchabsaugsysteme

Abbildung 6 zeigt einen typischen Schweißarbeitsplatz mit Düsenplatte an einem beweglichen Absaugarm. Für das folgende Auslegungsbeispiel wurde von einer Schutzgasschweißung (MIG/MAG¹), Maschinenkonstruktion aus Cr-Ni-Stahl, horizontale Schweißnähte mit einer Länge bis 200 mm ausgegangen. Aufgrund der kanzerogenen Inhaltsstoffe wird eine höhere Erfassungsgeschwindigkeit gewählt.



Abbildung 6:
Beispiel für einen Schweißarbeitsplatz mit einer Düsenplatte an einem beweglichen Absaugarm

¹ MIG = Metall-Inertgas-Schweißen, MAG = Metall-Aktivgas-Schweißen

*Variante 1:*

Erfassungsgeschwindigkeit: $w_{ER} = 0,4 \text{ m/s}$

Abstand: $x = 0,3 \text{ m}$

Absaugrohr DN 150: $d = 0,15 \text{ m}$

Die notwendige Absauggeschwindigkeit w_0 wird berechnet auf der Basis der Variante 2a gemäß [7] mit

$$\log\left(\frac{w_x}{w_0}\right) = \sum_{i=0}^6 B_i \cdot \left(\log\left(\frac{x}{d_{hydr}}\right)\right)^i \quad (6)$$

mit

$$B_0 = -0,94025$$

$$B_1 = -1,7132$$

$$B_2 = -0,69865$$

$$B_3 = 0,57923$$

$$B_4 = 0,32933$$

$$B_5 = -0,26654$$

$$B_6 = -0,1675$$

zu $w_0 = 12,7 \text{ m/s}$

Daraus ergibt sich nach

$$\dot{V} = w_0 \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,224 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (7)$$

ein Volumenstrom von ungefähr $850 \text{ m}^3/\text{h}$.

Variante 2:

Erfassungsgeschwindigkeit: $w_{ER} = 0,4 \text{ m/s}$

Abstand: $x = 0,5 \text{ m}$

Absaugrohr DN 150: $d = 0,15 \text{ m}$



Auf der Basis der Variante 2a gemäß [7] wird die notwendige Absauggeschwindigkeit w_0 berechnet zu $w_0 = 34,3 \text{ m/s}$ und der Volumenstrom zu ungefähr $2\,200 \text{ m}^3/\text{h}$.

In der Praxis wird als nachführbare Erfassungseinrichtung oft ein Saugrohr mit angebauter trichterförmiger Absaughaube verwendet. Mit einer Erfassungseinrichtung der Bauart „Düsenplatte“ oder „Stutzen mit Flansch“ kann dagegen ein um bis zu 25 % reduzierter Erfassungsvolumenstrom angesetzt werden.

4.5 Erfassung an einem Klebetisch

4.5.1 Prozessbeschreibung

An einem Arbeitstisch mit den Abmessungen $1,5 \times 12 \text{ m}^2$ wird Teppichboden mit einem Kleber eingestrichen. Der Arbeiter muss sich beim Einstreichen mit dem Oberkörper über den Tisch beugen. Sein Kopf und damit der Atembereich befinden sich in unmittelbarer Nähe der Gefahrstofffreisetzung (Abbildung 7).

Abbildung 7:
Beispiel für einen Klebetisch als Arbeitsbereich [8]



Aufgrund der großflächigen Aufbringung des Klebers verdunstet das enthaltene Lösungsmittel sehr schnell, sodass in der Atemluft hohe Konzentrationen der in Tabelle 2 (siehe Seite 50) aufgeführten Gefahrstoffe festzustellen sind.



Tabelle 2:
Lösungsmittel und ihre Grenzwerte (Stand: 2002)

Gefahrstoff	MAK-Wert		Spitzenbegrenzung
	in mg/m ³	in ml/m ³	
Cyclohexan	700	200	4
Ethylacetat	1 500	400	= 1 =
n-Heptan	2 100	500	4
Methylcyclohexan	2 000	500	4
Toluol	190	50	4

4.5.2 Bestimmung der Emissionscharakteristik

Die Freisetzung der Gefahrstoffe erfolgt durch Diffusionsvorgänge an der Kleberoberfläche; das heißt, die freigesetzten Stoffe sind gasförmig und werden ohne Eigenbewegung freigesetzt. Sie breiten sich von der Oberfläche entsprechend der sich einstellenden Raumluftrichtung aus. Während der Austrocknung des Klebers liegt die Oberflächentemperatur des Arbeitstisches 1 bis 3 K unterhalb der Raumtemperatur.

4.5.3 Bestimmung der Freiräume und der Erfassungsbereiche, Auswahl des Erfassungskonzeptes

Die Verwendung einer konventionellen Oberhaube über Kopfhöhe des Arbeiters scheidet aus, da sie die Emissionen durch den Atembereich führen würde. Eine nach oben überstehende seitliche Erfassungseinrichtung ist wegen der möglichen Arbeiterschwierigkeiten (Zwangshaltungen) ebenfalls nicht verwendbar. Aufgrund der niedrigen Emissionsgeschwindigkeit wird daher vorgeschlagen, die Ausbreitung der Emissionen durch impulsarme Zuluft über dem Arbeitstisch derart zu beeinflussen, dass eine möglichst schmale linienförmige Erfassungseinrichtung in Form von Wirbelhauben entlang beider Tischlängsseiten eine Erfassung ermöglicht. Dies führt zu einer prinzipiellen Konzeption gemäß Abbildung 8 (siehe Seite 51), für die im Rahmen eines Laborversuches die Funktionalität überprüft und die Auslegung festgelegt wird.

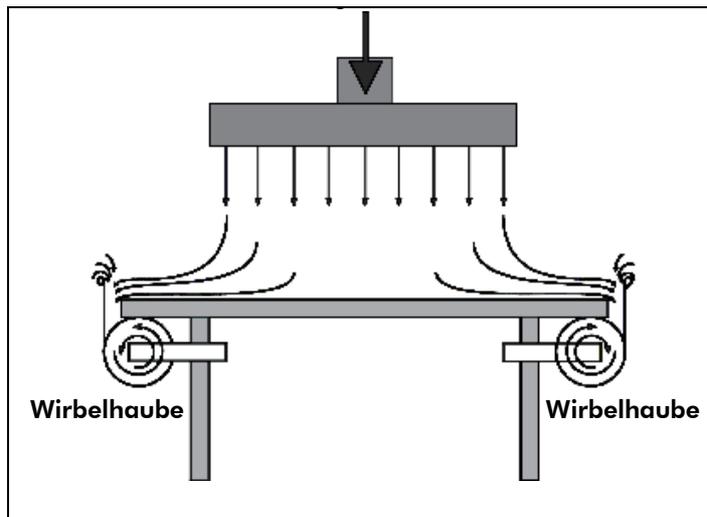


Abbildung 8:
Schematische Darstellung
des Prinzips der Gefahrstoff-
erfassung am Klebetisch [8]

4.5.4 Bestimmung von Störgrößen und Abhilfemaßnahmen

Da der Hallenbereich, in dem insgesamt drei Klebetische aufgestellt sind, nicht über eine eigene separate Luftzufuhr verfügt, bilden sich Ausgleichsströmungen zwischen den einzelnen Hallenbereichen aus. Sie wurden als horizontale Querströmungen von bis zu 0,4 m/s ermittelt. Ferner ist ein Wandluftheizgerät so installiert, dass bei dessen Betrieb Störströmungen zu erwarten sind. Es wurde deshalb in einen weit von den Klebetischen entfernten Bereich versetzt. Außerdem wurde der Arbeitsbereich von den übrigen Hallenbereichen durch Einbauten abgetrennt. Der Einfluss von Störströmungen wird somit ausgeschlossen; deshalb werden sie bei der Auslegung der Erfassungseinrichtung nicht weiter berücksichtigt.

4.5.5 Versuchsdurchführung

Ohne Störströmungen und aufgrund der vergleichsweise niedrigen Tischoberflächentemperatur, durch die sich keine thermische Konvektionsströmung ausbildet, kann die Luftaustrittsgeschwindigkeit an dem impulsarmen Luftauslass mit ca. 0,1 m/s sehr niedrig gewählt werden. Die sich unterhalb des Auslasses einstellende turbulenzarme Verdrängungsströmung wird auf dem Arbeitstisch umgelenkt und strömt horizontal entlang der Kleberoberfläche. Die freigesetzten Gefahrstoffe folgen der Strömung und gelangen so in den Erfassungsbereich der Wirbelhauben. Der notwendige Erfassungsluftstrom wurde im Versuch mithilfe von Medien zur Sichtbarmachung von Strömungen



bestimmt und beträgt ca. $1\ 200\ \text{m}^3/\text{h} \bullet \text{m}$ Tischlänge. Weiterhin ist sicherzustellen, dass die Zulufttemperatur immer ca. 1 bis 2 K unter der Raumlufttemperatur liegt. Eine höhere Temperatur (Übertemperatur) würde die ausgebrachte Zuluft unter dem Einfluss eigener Thermik nach oben steigen lassen. Ebenfalls ist eine Untertemperatur von mehr als 3 K zu vermeiden, um eine Einschnürung des Zuluftstromes nach unten durch den Beschleunigungseffekt zu vermeiden.

Bei der Versuchsdurchführung zeigt sich, dass die Elemente der gewählten Kombination eines Zuluftauslasses mit der Erfassungseinrichtung sehr genau aufeinander abgestimmt werden müssen, um mit niedrigen Erfassungsluftströmen ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen. Bei mangelnder Erfahrung ist die Überprüfung eines derartigen Konzeptes im Versuch dringend zu empfehlen. Die ausgeführte Installation ist in Abbildung 9 dokumentiert.

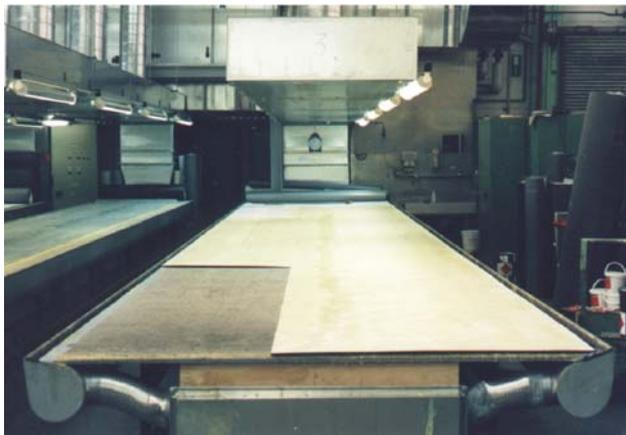


Abbildung 9:
Beispiel für einen Klebetisch mit seitlich angeordneten Wirbelhauben und oberer impulsarmer Luftzufuhr [8]

4.6 Schweißkabine mit impulsarmer Luftnachführung

Abbildung 10 (siehe Seite 53) zeigt eine Schweißkabine, die aus der Kombination einer Erfassungseinrichtung mit einem integrierten Zuluftsystem besteht. Innerhalb der Kabine werden Schweißarbeiten mit Stabelektroden oder durch halbautomatisches Schweißen durchgeführt.

Durch die Luftnachführung unter Einsatz einer impulsarmen Verdrängungsströmung (vgl. VDI 2083) [9] kann eine gerichtete Luftströmung aufgebaut werden, die freigesetzte luftfremde Stoffe zum Erfassungsbereich hinführt.



Abbildung 10:
Beispiel für eine Schweißkabine
mit integrierter Luftzufuhr und Halte-
konstruktion für das Werkstück

Die Zuluft wirkt dem thermischen Auftrieb des freigesetzten Schweißrauches entgegen, unterbindet das Aufsteigen des Rauches in den höher gelegenen Atembereich und versorgt diesen gleichzeitig mit Frischluft. Ferner berücksichtigt diese Strömungsform das Arbeitsumfeld, in dem möglichst keine Zugerscheinungen auftreten sollen.

Zur Ausbildung der beschriebenen und in Abbildung 11 dargestellten Strömung muss der Abluftvolumenstrom größer als der Zuluftvolumenstrom sein. Für die Zuluft wird vorteilhaft aufbereitete Außenluft eingesetzt. Es kann jedoch auch, sofern eine ausreichende Qualität sichergestellt werden kann, Hallenluft über einen Umluftventilator verwendet werden.

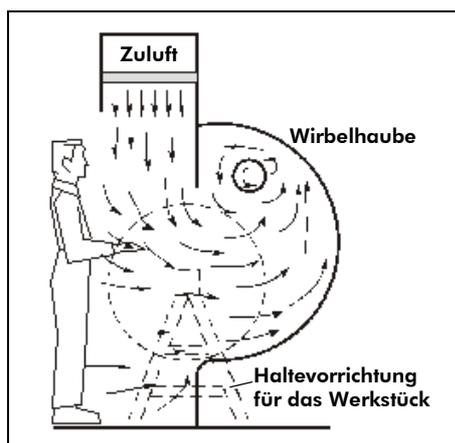


Abbildung 11:
Schematische Darstellung der Strömungsverhältnisse in einer Wirbelhaube mit integrierter impulsarmer Luftzufuhr von oben

Die Zulufttemperatur darf nur unwesentlich über der Raumlufthtemperatur liegen. Andernfalls bewirken thermische Auftriebskräfte eine Strömungsumkehr und das gewünschte Strömungsbild stellt sich nicht ein. Als praktikabel erwiesen sich analog zur Reinraumtechnik Zuluftaustrittsgeschwindigkeiten zwischen 0,20 m/s und 0,45 m/s.



Sie sind abhängig von der Versperrung sowie vom thermischen Auftrieb des Schweißrauches.

4.7 Wirbelhaube über einer Gieß- und Kühlstrecke

Bei der Herstellung von Kurbelgehäusen für Motoren auf einer automatischen Formanlage entstehen beim Abguss der furanharzgebundenen Formen unter Wärmeeinwirkung Zersetzungsprodukte, die sich an der Formkastenoberfläche kurz nach dem Abguss zunächst entzünden und teilweise verbrennen. Als Einzelkomponenten sind insbesondere Benzol, Toluol und Xylol sowie deren Verbrennungsprodukte zu verzeichnen. Eine vorhandene Absaugung erfasst die Gießgase nahezu vollständig, wobei sich jedoch unverbrannte organische Verbindungen im Rohrsystem ablagern. Durch Flammenüberschlag kam es wiederholt zu Bränden im Kanalnetz, die neben den Brandschäden auch zu Ausfallzeiten führten.

Durch den Einsatz einer Wirbelhaube, in deren Zentrum sich sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten aufbauen, wurden die Flammen gewissermaßen „ausgesaugt“ und ein Flammenüberschlag und daraus resultierende Kanalbrände vermieden (Abbildung 12). Bei der vorliegenden Konzeption wird davon ausgegangen, dass die Pfanne durch einen Deckel abgedeckt wird und hier kein nennenswerter Schadstoffaustrag erfolgt.



Abbildung 12:
Beispiel für den Einsatz einer
Wirbelhaube an einer Gieß-
und Kühlstrecke



Ferner konnte der Volumenstrom, der durch einen Vor-Ort-Versuch bestimmt wurde, aufgrund der besonders gleichmäßigen Absaugung über die gesamte Länge der Kühlstrecke (40 m) auf einen Wert von ca. 55 000 m³/h deutlich vermindert werden.

4.8 Spülmaschinenabsaugung

An ausgeführten Anlagen ist festzustellen, dass die zentrale Absaugung an einer Spülmaschine nicht in der Lage ist, die besonders geruchsintensiven Spülmitteldämpfe an der Ein- und Austrittsseite zu erfassen. Häufig führt dies zu Beschwerden bei Küchenbetreibern.

Abhilfe lässt sich durch den Anbau einer Wirbelhaube schaffen, die entstehende Dämpfe mit vergleichsweise geringem Volumenstrom absaugt. Ein Nachrüsten ist problemlos möglich. Der abzusaugende Volumenstrom beträgt je nach Maschine zwischen 700 m³/h und 2 000 m³/h. Sinnvollerweise werden sowohl Ein- als auch Austrittsseite mit einem derartigen Element bestückt (Abbildung 13).

Abbildung 13:
Beispiele für Wirbelhauben an Spülmaschinen



4.9 Literatur

- [1] VDI 2262-4 Entwurf: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatzplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Blatt 4: Erfassen luftfremder Stoffe (03.04). Beuth, Berlin 2004



- [2] Entwicklungsbericht 307-11-1234. Hrsg.: ThyssenKrupp HiServ, Gießen 1998 (unveröffentlicht)
- [3] Hüttenwerke Krupp Mannesmann Duisburg. Abschlussbericht 802-72-1889. Hrsg.: ThyssenKrupp HiServ, Gießen 1997 (unveröffentlicht)
- [4] *Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schamek, E.-R.*: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenbourg, München 2000
- [5] *Baturin, W.W.*: Lüftungsanlagen für Industriebauten. VEB Technik, Berlin 1959
- [6] *Vogel, P.*: Schadstofffassung. In: *Heinrich, G.* (Hrsg.): Reihe Luft- und Kälte-technik. VEB Technik, Berlin 1975
- [7] Ermittlung von Geschwindigkeitsfeldern vor Saugöffnungen. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens der Norddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft und der Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften. Hrsg.: ThyssenKrupp HiServ, Gießen 2003. <http://www.vmbg.de/Sites/forschung/saugoeffnung.htm> (31.10.2005)
- [8] MAN AG Salzgitter. Abschlussbericht 802-70-2028. Hrsg.: ThyssenKrupp HiServ, Gießen 1998 (unveröffentlicht)
- [9] VDI 2083-2: Reinraumtechnik – Bau, Betrieb und Instandhaltung (02/96). Beuth, Berlin 1996



5 Erfassung luftgetragener Gefahrstoffe am Beispiel der Automobil- und Schwerindustrie

Falko Wittorf,
Fa. Imtech Deutschland, Frankfurt am Main

5.1 Einleitung

In den verschiedenen Betrieben der Automobil- und Schwerindustrie werden bei der Herstellung, Bearbeitung und Veredelung von Produkten luftgetragene Emissionen wie z.B. Gase, Stäube und Aerosole freigesetzt. Da die vollständige Kapselung derartiger Prozesse nach wie vor die Ausnahme bildet, können die Gefahrstoffemissionen sowohl die Luftqualität unmittelbar im Arbeitsumfeld als auch in der gesamten Halle beeinträchtigen sowie diffus in die Umwelt gelangen.

Die Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte, die als Arbeitsplatzgrenzwerte sowie als Emissionsgrenzwerte beispielsweise in der TA Luft konkretisiert sind, erfordert insbesondere bei offenen Emissionsquellen lufttechnische Einrichtungen zur Erfassung, Ableitung und zunehmend auch zur Reinigung gefahrstoffbelasteter Luft.

Den größten Investitions- und Betriebskostenanteil einer kompletten ablufttechnischen Anlage bildet in der Regel die Abluftreinigung. Aus diesem Sachverhalt resultiert eine aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten unmittelbar abzuleitende Forderung: Der Abluftvolumenstrom muss so klein wie möglich ausgelegt werden, um diesen Kostenblock zu minimieren.

Eine effektive Möglichkeit dieser Forderung zu entsprechen, ist die Berücksichtigung hoch wirksamer Erfassungseinrichtungen bei der Planung der ablufttechnischen Gesamtanlage. Absaugelemente aus der Gruppe der ROM-Düsenplatten- und ROM-Drall[®]-Technologie der Fa. ROM in Hamburg erfassen luftgetragene Gefahrstoffe aufgrund der optimierten Strömungseigenschaften besonders effektiv und gleichmäßig. Im Vergleich zu konventionellen Lösungen wirken diese Systeme minimierend auf den



zu installierenden Abluftvolumenstrom sowie auf Investitions- und Betriebskosten – bei optimaler Erfassung der Emissionen.

Anhand verschiedener Referenzanlagen in der Automobil- und Schwerindustrie sollen im Folgenden innovative hoch wirksame Erfassungseinrichtungen aus den Bereichen der ROM-Düsenplatten- und ROM-Drall®-Technologie vorgestellt werden.

5.2 Praktische Beispiele von Erfassungseinrichtungen

5.2.1 Fa. Porsche in Zuffenhausen

Beim Verkleben von Pkw-Interieurteilen mit Spritzklebern treten an Spritzständen hohe Lösungsmittlemissionen u. a. von Isocyanaten auf (Abbildungen 1 und 2).

Abbildung 1:
Spritzstand zum Verkleben von
Pkw-Interieurteilen



Abbildung 2:
Lösungsmittlemissionen beim
Verkleben von Pkw-Interieurteilen



Im Rahmen einer Konzeptstudie wurde am Spritzstand zunächst die Konzentration der Emissionen als Gesamtkohlenstoff ermittelt und mit den geltenden Grenzwerten verglichen. Durch eine Neukonzeption des Spritzstandes konnten die Werte deutlich gesenkt werden (Abbildung 3, siehe Seite 59). Dazu wurde in den Spritzstand eine rund umlaufende Drallerfassung integriert (Abbildung 4, siehe Seite 59).



Abbildung 3:
Arbeitsbereich nach Neukonzeption
des Spritzstandes



Abbildung 4:
Erfassung von Lösemittlemissionen
am Spritzstand mit einer rundumlaufenden Drallerfassung

5.2.2 Fa. DaimlerChrysler in Düsseldorf

Beim manuellen Schweißen von Lkw-Rahmenkonstruktionen treten Rauchemissionen auf. Durch den Einbau von Drallerfassungselementen, deren Wirkungsweise in den Abbildungen 5 und 6 (siehe Seite 60) dargestellt wird, oberhalb des Arbeitsplatzes können die Schadstoffe fast vollständig erfasst werden.

Aufgrund der Vorgaben für Schweißarbeitsplätze, die – in diesem Fall durch Vorhänge – voneinander abgetrennt sein müssen, wurden vier Einzelhauben installiert (siehe Abbildung 7, Seite 60).



Abbildung 5:
Darstellung der Wirkungsweise
der Drallerfassungselemente mittels
Rauchversuchen



Abbildung 6:
Darstellung des Erfassungsstroms
an einem Drallerfassungselement



Abbildung 7:
Abtrennung der einzelnen Hauben
durch Vorhänge

5.2.3 Fa. Bayerische Motorenwerke (BMW) in München

Beim MAG-Schweißen von Pkw-Rahmenkonstruktionen an einer Ausschweißtrommel treten Rauchemissionen auf. Bei der Lösungsfindung spielt die Konstruktion der



Schweißtrommel (siehe Abbildungen 8 und 9) eine große Rolle, da sie den Einbau von Erfassungselementen wesentlich erschwert.

Abbildung 8:
Darstellung der Ausschweißtrommel
(Kopfstand)



Abbildung 9:
Darstellung der Ausschweiß-
trommel (normale Position)



Als Lösung ergab sich die Anbringung von Doppeldrallhauben direkt an der Schweiß-
trommel, wie sie aus den Abbildungen 10, 11 und 12 (siehe Seite 62) ersichtlich wird.



Abbildung 10:
Darstellung der Ausschweißtrommel
mit eingezeichneter Doppeldrallhaube
(Kopfstand)



Abbildung 11:
Darstellung der Ausschweißtrommel mit
Doppeldrallhaube (Kopfstand)



Abbildung 12:
Darstellung der Ausschweißtrommel mit
Doppeldrallhaube (normale Position)

5.2.4 Fa. MAN B&W DIESEL in Augsburg

Bei der Zerspanung von Graugussteilen werden sowohl bei der Trocken- als auch bei der Nassbearbeitung Kühlschmierstoffdämpfe freigesetzt. Diese können durch den Einbau einer Drallabsaugung im Bereich der Werkzeugmaschine erfasst werden (siehe Abbildung 13).



Abbildung 13:
Erfassung von Kühlschmierstoffdämpfen
durch eine Drallabsaugung oberhalb
einer Werkzeugmaschine



5.2.5 Fa. DE GLOBE FOUNDRIES B.V. in Weert, Niederlande

Beim Schmelzen von Gusseisen treten Rauchemissionen gemäß Abbildung 14 auf. Diese können mithilfe einer dreiseitig umlaufenden Drallhaube (Abbildung 15) erfasst werden.

Abbildung 14:
Rauchemissionen beim Schmelzen
von Gusseisen



Abbildung 15:
Erfassung von Rauchemissionen mittels
dreiseitig umlaufender Drallhaube



5.2.6 Fa. BOLIDEN LDM B.V. in Drunen, Niederlande

Beim Schmelzen von Messing treten Rauchemissionen auf, die mithilfe einer Düsenplatte (siehe Abbildung 16) erfasst werden können.



Abbildung 16:
Erfassung von Rauchemissionen mittels
einer Düsenplatte



5.3 Luftführung

Neben der richtigen Auslegung von Erfassungseinrichtungen ist auch die Luftführung in der Halle ein wesentlicher Aspekt, um die Effektivität einer ablufttechnischen Anlage bei gleichzeitig niedrigen Betriebskosten zu steigern. Dabei wird die Thermik, ausgelöst durch warme Produktionseinrichtungen (Abbildung 17), ausgenutzt.

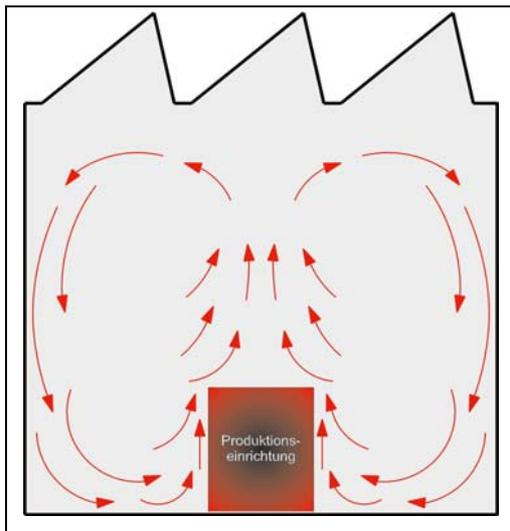


Abbildung 17:
Schematische Darstellung der Thermikströmung in einer Produktionshalle

Durch kühlere Zuluft im Boden wird das Aufströmen der Wärme- und Stoffemissionen unterstützt, sodass sich eine Schichtgrenze ausbildet (Abbildung 18). Oberhalb dieser Grenze sammeln sich die Wärme- und Stofflasten an, während die Zone unterhalb mit sauberer Zuluft angereichert wird.

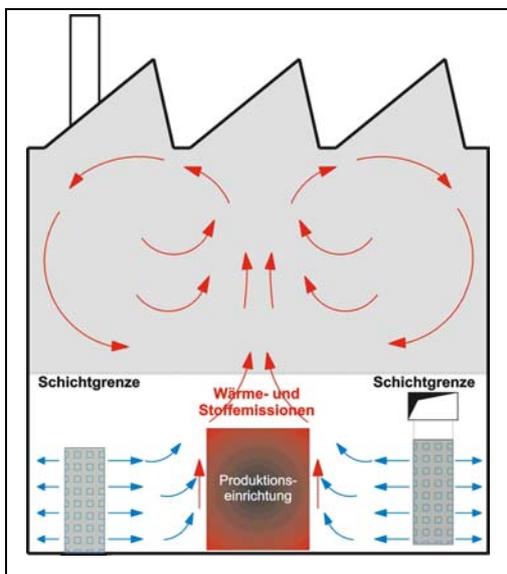


Abbildung 18:
Schematische Darstellung der Schichtenströmung mit Auslass am Boden



5.4 Zusammenfassung

Prinzipiell müssen bei der Industriellen Lufttechnik sowohl die Einzelkomponenten als auch die gesamten Anlagen auf der Basis von Istaufnahmen und Konzept- sowie Modellstudien individuell an die Problemstellung angepasst werden. Dabei muss die Dimensionierung, Konstruktion sowie das Design in enger Abstimmung zwischen den Architekten, den ausführenden Gewerken, dem Bauherrn, dem Betreiber, den Brandschutzgutachtern und den Planern erfolgen.



6 Absaugen und Abscheiden luftfremder Stoffe an Werkzeugmaschinen

Herbert Baur,
Fa. Keller Lufttechnik, Kirchheim unter Teck

6.1 Allgemeines

Bei der zerspanenden Bearbeitung von Bauteilen in Werkzeugmaschinen entstehen, neben dem fertigen Werkstück, Späne als Abfall bzw. Recyclingstoffe. Je nach Werkstoff und Bearbeitungsverfahren werden Zerspanungsprodukte unterschiedlicher Teilchengröße bzw. Fraktionierung erzeugt. Das Partikelkollektiv mit einem aerodynamischen Durchmesser von $< 500 \mu\text{m}$ wird per Definition als Staub bezeichnet.

Bei den weitaus meisten zerspanenden Bearbeitungsverfahren werden zusätzlich Kühlschmierstoffe eingesetzt. Diese Bearbeitungshilfsstoffe haben, wie der Name sagt, als Aufgaben sowohl die Wärmeabfuhr als auch die Schmierung an der Eingriffsstelle zwischen Werkzeugschneide und Werkstück. Dem Kühlschmierstoff kommt oftmals entscheidende Bedeutung für die erreichbare Qualität des Werkstücks und die Standzeit des Werkzeugs zu. Mit dem Kühlschmierstoff wird jedoch auch ein weiteres Entsorgungs- bzw. Recyclingprodukt in den Prozess eingeschleust.

Der staubförmige Anteil aus den Zerspanungsprodukten sowie verdampfter oder vernebelter Kühlschmierstoff können sich von der Entstehungsstelle als luftfremde Stoffe in die nähere oder weitere Umgebung ausbreiten. Durch diese Emissionen luftfremder Stoffe entstehen Einwirkungen auf die sich im Umfeld befindlichen Einrichtungen und beschäftigten Personen. Je nach Konzentration und stofflichen Wirkungskriterien können luftfremde Stoffe zu Gefahrenquellen werden, wie z. B.

- Beeinträchtigung von Personen durch Inhalation und Hautkontakt,
- funktionelle Beeinträchtigung von Maschinen, Elektroinstallationen, elektrischen bzw. elektronischen Steuersystemen und raumklimatischen Einrichtungen,



- erhöhte Brand- und Explosionsgefahr bzw. Erhöhung des Gefahrenpotenzials bei Bränden und Explosionen mit anderweitigen Ursachen sowie
- erhöhte Rutsch- und Absturzgefahr durch Ablagerungen auf den Trittplächen.

Zur Vermeidung der von luftfremden Stoffen ausgehenden Gefahren sind folgende Schutzmaßnahmen vorzusehen:

- Gefahrenpotenzial minimieren, z. B. Minimalmengenschmierung,
- Kühlschmierstoffrezepturen ohne gefährliche Inhaltsstoffe verwenden,
- umlaufende Kühlschmierstoffe pflegen sowie
- Aerosole, Dämpfe und Stäube absaugen und abscheiden.

Lässt sich die Entstehung und Ausbreitung luftgetragener luftfremder Stoffe durch primäre Maßnahmen nicht verhindern, kann dem letztlich nur durch Erfassung und Absaugung entgegengewirkt werden.

6.2 Stofffassung

Die Qualität und Wirksamkeit einer Absaugeinrichtung wird nachhaltig durch die Gestaltung und Platzierung der Erfassungseinrichtung beeinflusst. Folgende Kriterien sind bei der Erfassung luftfremder Stoffe zu beachten:

- Die freigesetzten Stoffe sollen mit einem möglichst geringen Saugluftvolumenstrom erfasst und somit an einer Ausbreitung in die Umgebung gehindert werden.
- Die Erfassungseinrichtung darf den Bearbeitungsprozess und die periphere operative Handhabung nicht nachteilig beeinflussen.
- Luftfremde Stoffe müssen zumindest so stark erfasst werden, dass eine Unterschreitung von Arbeitsplatzgrenzwerten erreicht wird.



Bei der Gestaltung von Erfassungseinrichtungen werden drei Bauformen unterschieden:

- geschlossene Bauart,
- halb offene Bauart,
- offene Bauart.

Eine optimale Erfassung bei minimiertem Saugluftvolumenstrom wird bei geschlossener Bauart der Erfassungseinrichtung erreicht (Abbildung 1).



Abbildung 1:
Absauganschlüsse an vollständig gekapselten Werkzeugmaschinen

Bei Werkzeugmaschinen, Bearbeitungszentren und Transferstraßen kann dies am besten durch eine komplette Einkleidung erzielt werden (Abbildung 2, siehe Seite 70). Bei neuen Maschinen und Produktionsanlagen wird dies in der Regel bereits vom Maschinenhersteller berücksichtigt. Durch die Vollverkleidung wird über einen relativ niedrigen Saugluftvolumenstrom lediglich ein Unterdruck innerhalb der Einkleidung aufrechterhalten, sodass luftfremde Stoffe nicht nach außen entweichen können.

Beim Einsatz von Hochdruckspülöl und schnell laufenden Werkzeugen kann durch die feine Vernebelung innerhalb der Einkleidung eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen. Dieser Gefahr muss durch geeignete technische Maßnahmen begegnet werden.



Abbildung 2:
Absauganschlüsse an
vollständig gekapselten
Werkzeugmaschinen

Maschinen- und Produktionseinrichtungen mit komplizierten mehrachsigen Bewegungsabläufen, Beschickungs- und Entladungsrobotern, aber auch ältere Produktionseinrichtungen lassen sich meist nicht vollständig einkapseln: Hier müssen angepasste Erfassungseinrichtungen halb offener oder offener Bauart installiert werden.

Bei der halb offenen Bauart wird die Emissionsquelle möglichst so weit umschlossen, dass nur die Bedienungsseite offen bleibt. Durch den offenen Querschnitt strömt die Hallenluft nach und erfasst dabei die frei werdenden luftfremden Stoffe. Der erforderliche Saugluftvolumenstrom ist in Abhängigkeit von der Größe des Nachströmquerschnitts und der Ausbreitungsdynamik am Freisetzungsort festzulegen.

Erfassungseinrichtungen offener Bauart mit großer räumlicher Distanz zur Entstehungsstelle (Abbildung 3, siehe Seite 71) kommen bei Werkzeugmaschinen kaum zum Einsatz und werden deshalb hier nicht weiter berücksichtigt.

Die erforderlichen Saugluftvolumenströme nehmen in Abhängigkeit von der Bauform, ausgehend von der geschlossenen Bauart über die halb offene bis zur offenen Bauart, zu. Dies beeinflusst auch die gesamte nachgeschaltete Anlagenperipherie, wie Rohrleitungssystem, Abscheidersystem, Gebläse, elektrischer Kraftbedarf, Schallschutz und sonstige anlagenspezifische Einrichtungen.

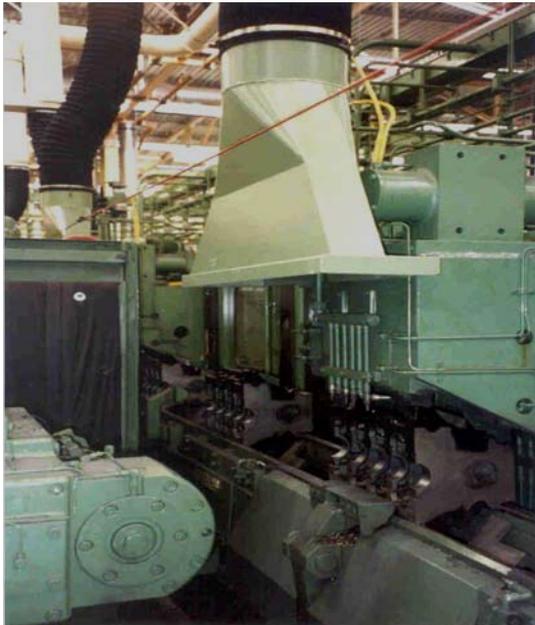


Abbildung 3:
Erfassungseinrichtung offener Bauart

6.3 Abscheideverfahren

Wenn luftfremde Stoffe abgesaugt werden, befinden sich diese mehr oder weniger homogen verteilt im Saugluftvolumenstrom. Zur Aufrechterhaltung einer kontinuierlichen Absaugung muss dieser Saugluftvolumenstrom am Ende des Anlagensystems wieder in die freie Atmosphäre überführt werden. Meist sind die Konzentrationen luftfremder Stoffen so hoch, dass eine Abscheidung aus dem Luftvolumenstrom erforderlich ist. Hierzu sind geeignete Abscheideaggregate einzusetzen. Für Werkzeugmaschinen werden vier verschiedene Abscheideverfahren mit unterschiedlichen Mechanismen eingesetzt:

- Fliehkraftabscheider,
- trocken arbeitende filternde Abscheider,
- trocken arbeitende elektrostatische Abscheider sowie
- nass arbeitende Abscheider.

Die Auswahl des Abscheideverfahrens bzw. der Abscheiderart hängt davon ab, in welcher Form die Emissionen auftreten. Es gibt folgende Unterscheidungsmerkmale:



- Emulsions- und Ölnebel ohne nennenswerte feste Verunreinigung,
- Nebel und Dämpfe in Verbindung mit staubförmigen Emissionen sowie
- weitgehend trockene staubförmige Emissionen.

6.3.1 Fliehkraftabscheider

Für Späne und Grobstaub werden Zyklonabscheider eingesetzt. Diese Abscheideaggregate bestehen aus einem zylindrischen Oberteil und einem konischen Unterteil. Der Absaugluftvolumenstrom tritt tangential im oberen Bereich des zylindrischen Teils ein und wird dadurch in Rotation versetzt. Durch die dabei entstehenden Massekräfte werden die luftfremden Stoffpartikel nach außen getragen und wandern, der Schwerkraft folgend, über den zylindrischen und konischen Teil nach unten, wo sie über entsprechende Austragsorgane entnommen werden. Die Trägerluft verlässt das Aggregat nach oben und kann entweder direkt oder über eine entsprechende Nachfiltereinrichtung in die freie Atmosphäre überführt werden.

Zyklonabscheider haben den Vorteil, dass sie keinerlei Filtermedien oder Filterhilfsstoffe benötigen. Allerdings nimmt die Wirksamkeit mit zunehmender Feinheit der Staubfraktionen deutlich ab.

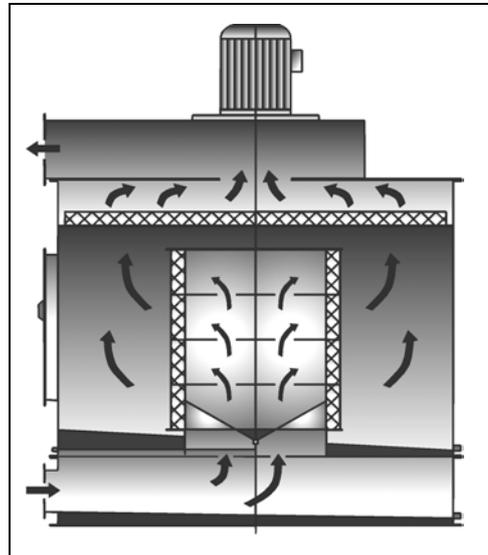
Für die Abscheidung von Kühlschmierstoffaerosolen werden Fliehkraftabscheider eingesetzt, die als kleine Baueinheiten meist oberhalb der Bearbeitungsmaschinen angeordnet sind (Abbildung 4, siehe Seite 73). Der abgesaugte Luftvolumenstrom wird durch einen rotierenden Innenkörper geführt, der die Kühlschmierstoffröpfchen beschleunigt und auf die Innenwand des fest stehenden Gehäuses schleudert. Der niedergeschlagene Flüssigkeitsfilm läuft durch Schwerkrafteinwirkung nach unten und wird aus dem Gerät ausgeschleust (Abbildung 5, siehe Seite 73). Auch bei diesen Fliehkraftabscheidern nimmt die am Partikel angreifende Kraft direkt proportional zur Masse ab.



Abbildung 4:
Beispiel für einen
Aerosolnebelabscheider



Abbildung 5:
Aufbau und Funktionsweise eines
Aerosolnebelabscheiders



6.3.2 Trocken arbeitende filternde Abscheider

Trocken filternde Abscheider (Abbildung 6) arbeiten mit einer Kombination aus den Abscheidemechanismen Trägheit, Sperrwirkung und Diffusion. Die im Saugluftvolumenstrom enthaltenen Partikel müssen ein poröses Filterelement durchströmen.



Abbildung 6:
Trocken filternder Abscheider zur Absaugung
und Abscheidung von Spänen und Staub



Bei der Abscheidung von Flüssigaerosolen bestehen die Filterelemente aus einer Schüttung bzw. Schichtung von Wirrfaservliesen oder Gestrieken. Als Fasermaterial können feine Aluminium-, Edelstahl- bzw. Glas- oder Kunststofffasern verwendet werden. Faserdurchmesser, Dichte und Dicke des Filterelements beeinflussen nachhaltig den Abscheidegrad.

- ❑ Bei der Abscheidung durch Trägheit treffen die Tropfen auf die Faseroberfläche und werden dort abgelagert.
- ❑ Die Abscheidung durch Sperrwirkung tritt dann auf, wenn der Durchmesser eines Tropfens im Verhältnis zum Durchmesser der Faser bzw. der zwischen den Fasern entstehenden Poren relativ groß ist. Die Abscheidewirkung ist in diesem Fall mit einem Siebeffekt vergleichbar.
- ❑ Die Abscheidung durch Diffusion ist nur für Teilchen im Submikrobereich von Bedeutung. Deren Bewegungen werden durch die Brownsche Molekularbewegung beeinflusst, wodurch die Tropfen auf die Oberfläche der Faser diffundieren.

Die auf den Fasern aufgeschlagenen Tropfen vereinigen sich zu einem Flüssigkeitsfilm, der durch die Schwerkraft nach unten fließt und so aus dem Filterelement in den Flüssigkeitssumpf abtropft.

Bei der Trockenabscheidung von Stäuben werden Filterelemente aus Textilgeweben, Vliesen oder gesinterten und oberflächenbeschichteten Kunststoffen verwendet. Die Abscheidung erfolgt durch Trägheit bzw. Sperrwirkung, wenn die Trägerluft das Filtermedium durchströmt.

Für einen kontinuierlichen Betrieb müssen trocken filternde Staubabscheider automatisch regeneriert werden. In der Filtrationstechnik wird hierzu überwiegend die JET-Impuls-Abreinigung eingesetzt. Dabei werden die Filterelemente taktweise kurzzeitig mit einem Druckluftimpuls gegengeschpült, wobei der auf der Rohgasseite anlagernde Filterkuchen abgeworfen wird.



6.3.3 Trocken arbeitende elektrostatische Abscheider

Bei diesen Abscheidersystemen wird der Saugluftvolumenstrom zunächst durch eine so genannte Ionisationszone geführt. Dort erhalten die abzuscheidenden Teilchen eine elektrische Aufladung durch Anlagerung von Ionen. In der anschließenden Zone strömt der Saugluftvolumenstrom durch eine Anzahl von plattenförmigen Niederschlagselektroden, die entgegen der Teilchenladung gepolt sind. Durch elektrische Kraftwirkungen wandern die Teilchen zu den Abscheideelektroden und werden dort niedergeschlagen.

Bei der Abscheidung von Flüssigaerosolen entsteht auf den Abscheideelektroden ein Flüssigkeitsfilm, der durch die Schwerkraft nach unten fließt und aus dem Gerät ausgeschleust werden kann. Werden trockene Stäube abgeschieden, müssen die Niederschlagselektroden in bestimmten Zeitabständen mechanisch gereinigt oder mithilfe von entsprechenden Flüssigkeiten abgewaschen werden.

Die Einsatzmöglichkeiten bzw. die Anwendungsgrenzen von elektrostatischen Abscheidern müssen beachtet werden. Bei wassergemischten Kühlschmierstoffen ist die Funktion durch die gute elektrische Leitfähigkeit des Wassers nur bei konstruktiver Berücksichtigung dieses Einflussfaktors möglich. Bei reinen dünnflüssigen Ölen werden gute Abscheideergebnisse erzielt. Durch staubförmige Verunreinigungen oder sonstige Einflüsse können auf den Niederschlagselektroden Rückstände verbleiben, wodurch sich der Abscheidegrad zunehmend verschlechtert. Dies gilt auch für den Aufbau eines trockenen Filterkuchens. In diesen Fällen muss der elektrostatische Abscheider regelmäßig komplett abgeschaltet und gewaschen werden.

6.3.4 Nass arbeitende Abscheider

Wenn an Bearbeitungseinrichtungen oder Transferanlagen Stationen mit und ohne Kühlschmierstoffeinsatz betrieben werden, können sowohl flüssige als auch Staubaerosole entstehen. Eine derartige Stoffkombination kann in trocken filternden Abscheidern nicht abgeschieden werden, daher kann im Prinzip nur eine Nassabscheidung eingesetzt werden. Dasselbe gilt bei der Freisetzung von Stoffen mit erhöhter Brand- und



Explosionsgefahr, z. B. bei der Bearbeitung von Leichtmetall-Legierungen, wie Aluminium und Magnesium (Abbildung 7).



Abbildung 7:
Nassetstaubungsanlage zur Abscheidung
von Schleifstaub bei der Bearbeitung von
Aluminium- und Magnesiumlegierungen

Ein Nassabscheidersystem besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Saugrohrleitungssystem von den einzelnen Erfassungsstellen zum Abscheider,
- Benetzungs- bzw. Bedüsungsbereich, z. B. durch eine Venturidüse,
- Tropfenabscheider zur Trennung von gereinigter Luft und Wasser,
- Absaugventilator zur Förderung des Saugluftvolumenstroms und Überwindung der Gesamtdruckdifferenz des Anlagensystems,
- Abluftrohrleitung bzw. Abluftkamin mit Abluftschalldämpfer und gegebenenfalls wahlweise Abluft- oder Reinaluftückführung sowie
- Waschwasserbehälter mit direkter oder indirekter (Pumpe) Förderung des Kreislaufwassers zur Bedüsungszone sowie geeigneten Vorrichtungen zur Ausräumung von Schwimmschlamm und Sediment.



Die Abscheidung der luftfremden Stoffe aus dem Saugluftvolumenstrom erfolgt durch Benetzung der Staubpartikeln mit Wasser innerhalb der Bedüsungszone. Der nachgeschaltete Tropfenabscheider zur Trennung des gereinigten Saugluftvolumenstromes vom Waschwasser arbeitet nach dem Fliehkraftprinzip.

Wenn die Gefahr besteht, dass abgesaugte luftfremde Stoffe im Saugrohrleitungssystem Ablagerungen bilden, die bei der Einbringung einer Zündquelle zu einem Brand führen könnten, besteht die Möglichkeit, die Bedüsungszone unmittelbar hinter die Erfassungseinrichtung zu verlegen. Sie wirkt dann wie eine Flammensperre. Durch die permanente Spülung der Rohrleitungen mit Waschflüssigkeit entstehen keine Ablagerungen mehr. Wartung und Reinigung des Rohrleitungssystems entfallen dadurch.

Durch die Benetzung der abgesaugten Luft mit kaltem Waschwasser kommt es im Bereich der Düse und auch im weiteren Bereich der Rohrleitung zu Kondensationswirkungen, die eine Abscheidung der in der Gasphase befindlichen Kühlschmierstoffanteile begünstigt.

Bei nass arbeitenden Abscheidern wird die relative Luftfeuchtigkeit durch das in den Gasstrom eingedüste Wasser erhöht. Durch die an das Waschwasser abgegebene Verdunstungswärme kühlt der Luftstrom ab. Gleichzeitig stellt der in der Bedüsungszone vorhandene Wassertropfenschleier eine Vielzahl von Kondensationskernen zur Verfügung. An ihnen kondensieren gasförmige luftfremde Stoffe, die so auf mechanischem Wege durch die Wassertropfen abgeschieden werden können. Nass arbeitende Abscheider erlauben deshalb in gewissem Umfang auch eine Abscheidung gasförmiger Stoffe. Im Gegensatz dazu ist bei allen trocken arbeitenden Abscheideverfahren nur die Abscheidung partikelförmiger luftfremder Stoffe möglich. Die Gasphase kann nicht beeinflusst werden.

6.4 Brand- und Explosionssicherheit

Beim Einsatz von nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen speziell im Hochdruckbereich in Verbindung mit schnell rotierenden Werkzeugen kann innerhalb geschlossener Werkzeugmaschinenverkleidungen eine brennbare und explosive Atmosphäre



entstehen. Diesem Gefährdungsrisiko muss der Werkzeugmaschinenhersteller durch geeignete Maßnahmen Rechnung tragen. Auch das Absaug- und Abscheidesystem muss in dieses Sicherheitskonzept mit eingebunden werden. Folgende Punkte sind zu berücksichtigen:

- Der Absaugluftvolumenstrom ist so zu dimensionieren, dass die Aerosolkonzentration in der Werkzeugmaschine möglichst unter der unteren Explosionsgrenze liegt.
- Die Werkzeugmaschine ist mit der Absaugung zu verriegeln. Ein Betrieb ist nur bei eingeschalteter Absaugung möglich.
- Durch konstruktive Maßnahmen sind Zündquellen, z. B. durch elektrostatische Entladungen, innerhalb des Abscheiders auszuschließen.
- Der Abscheider ist in das Gesamtschutzkonzept (Löschmaßnahmen) einzubeziehen.
- Bei Detektion eines Brand- oder Explosionsereignisses ist die Absaugung sofort abzuschalten.

Bei der Trockenbearbeitung von Leichtmetall-Legierungen, wie Aluminium und Magnesium, kann durch den anfallenden Feinstaub ebenfalls Brand- und Explosionsgefahr bestehen. Konzentrationen, die die untere Explosionsgrenze überschreiten, treten dabei jedoch kaum in der Werkzeugmaschine, dafür aber umso wahrscheinlicher in einem filternden Abscheider auf.

Nach den heute üblichen Sicherheitsstandards werden bei der Bearbeitung von Leichtmetall-Legierungen überwiegend Nassabscheidersysteme eingesetzt. Durch die Staubbennetzung einerseits und die automatische Ablösung eventuell abgesaugter Zündquellen andererseits wird bei diesen Abscheidersystemen die Brand- und Explosionsgefahr automatisch eliminiert. Durch entsprechende Überwachungseinrichtungen ist lediglich sicherzustellen, dass die Absaug- und Abscheideeinrichtung während des Betriebs der Werkzeugmaschine ordnungsgemäß funktioniert.



Soll bei der Leichtmetallbearbeitung in besonderen Fällen ein trocken arbeitendes System eingesetzt werden, muss ein hoher sicherheitstechnischer Aufwand betrieben werden. Der Filterapparat muss für den möglichen Explosionsdruck druckstoßfest gebaut werden. Das Zurückschlagen einer eventuellen Explosionsdruckwelle in die Werkzeugmaschine muss durch eine entsprechende Schnellschlusseinrichtung sicher verhindert werden. Durch Sensoren ist die ordnungsgemäße Funktion der Absaug- und Abscheideanlage zu überwachen und mit dem Betrieb der Werkzeugmaschine zu verriegeln.

Das gesamte sicherheitstechnische Konzept muss hinsichtlich Brand- und Explosionsschutz zwischen Werkzeugmaschinenhersteller, Ausrüstern der Absauganlagen, Herstellern der Brand- und Explosionsschutzeinrichtungen sowie dem Anwender abgestimmt werden. Selbstverständlich sind dabei auch die einschlägigen Vorschriften, Richtlinien und Normen sowie gegebenenfalls vorhandene Werksvorschriften zu beachten.

6.5 Raumluftechnik

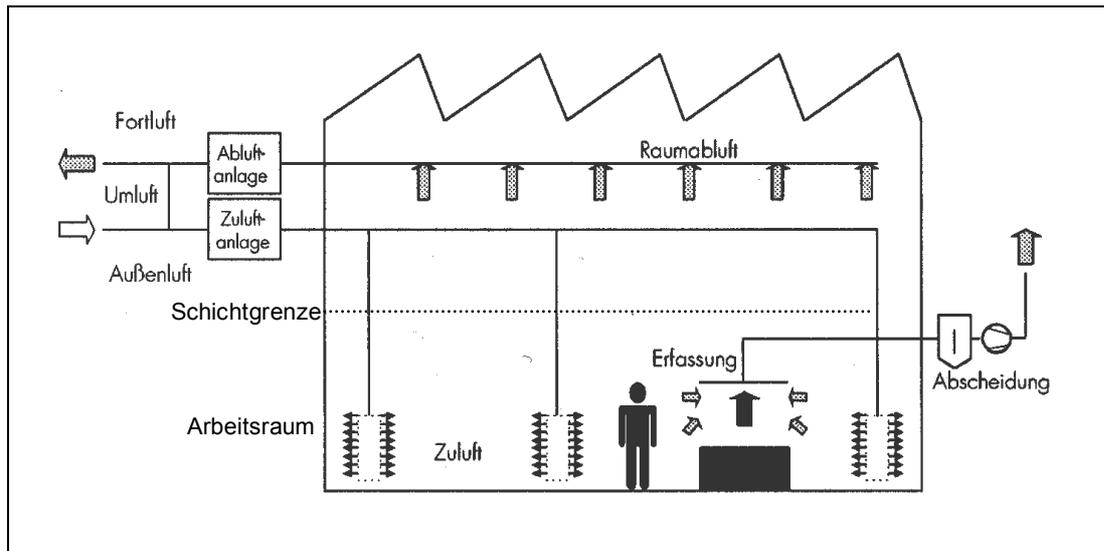
Durch die Absaugung an Werkzeugmaschinen wird der Produktionshalle ständig ein bestimmter Luftvolumenstrom entzogen, der durch Nachströmung ersetzt werden muss. In der Regel sollte die Luft nicht über undichte Stellen des Gebäudes nachströmen, da dadurch insbesondere in Abhängigkeit von Witterung und Jahreszeit unkontrollierte Zugerscheinungen auftreten. Stattdessen sollte dem Arbeitsraum möglichst über eine raumluftechnische Anlage klimatisch aufbereitete Außenluft zugfrei zugeführt werden. Während der Heizperiode sowie bei bestimmten Aufstellungsbedingungen kann eine Reinlufrückführung vom Abscheider in den Arbeitsraum erfolgen bzw. mit einer raumluftechnischen Anlage kombiniert werden.

Gegenüber den herkömmlichen Konzepten der Verdrängungslüftung oder Mischlüftung wird heute überwiegend das Prinzip der Schichtlüftung eingesetzt. Die Schichtlüftung geht von dem Grundsatz aus, dass eine optimale Raumlufqualität nur im Arbeitsbereich erforderlich ist. Luftfremde Stoffe und Wärmelasten werden über



Direkterfassung bzw. Hallenabluft über die Decke abgeführt. Die klimatisch aufbereitete Zuluft wird impulsarm in Bodennähe zugeführt (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8:
Schema eines Raumlüftungskonzepts mit Direkterfassung von Emissionen,
Raumabluft und bodennaher Zuluft zur Erzeugung einer Schichtlüftung





7 Schichtenströmung in der Lebensmittelindustrie – Beispiel Küchen und Backwarenverteilzentren

Josef Huber,
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten,
Bezirksverwaltung München, Germering

Das in anderen Industriezweigen zur wirksamen Lastenabfuhr seit Jahren bewährte Prinzip der Schichtenströmung bietet sich auch in der Lebensmittelindustrie an. Unabdingbare Voraussetzung und Motor der Schichtenströmung sind Thermikströme. Diese entstehen über heißen Oberflächen, wie z. B. Küchenherden. Mit der zur Decke strebenden Thermikströmung werden die beim Kochen entstehenden Wärme-, Feuchte- und Stofflasten mitgenommen. In Küchen werden diese über im Deckenbereich positionierte Erfassungseinrichtungen (Küchenlüftungshaube bzw. -decke) erfasst und abgeführt.

Bei der Mischströmung wird die gleich große und kühlere Zuluftmenge in der Regel mit hoher Geschwindigkeit von der Decke aus in den Raum eingeblasen (Abbildung 1). Dies erfolgt entgegen der aufsteigenden Thermikströmung und auch gegen die vorhandene Temperaturschichtung.

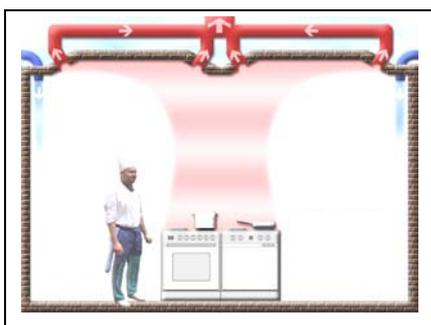


Abbildung 1:
Beispiel für Mischströmung – Zuluft wird mit hoher
Geschwindigkeit von der Decke aus eingebracht

Wegen vorhandener Quereinflussungen der Thermikströmung können Wärme-, Feuchte- und Stofflasten an den Erfassungseinrichtungen vorbeigeführt und mit dem Zuluftstrom in die darunter liegenden Arbeitsbereiche zurückgeführt werden (Abbildung 2, siehe Seite 82). Dies trägt zu einer Erhöhung der klimatischen und stofflichen Belastung der Beschäftigten bei.

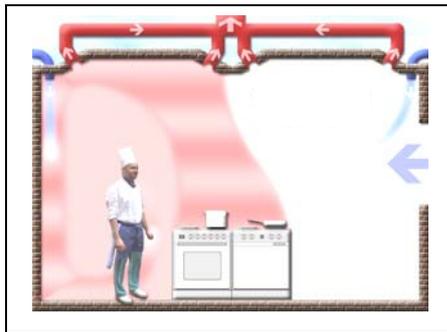


Abbildung 2:
Rücktransport von Wärme-, Feuchte- und Stofflasten in den Arbeitsbereich durch Querströmungen

Bei der Schichtenströmung wird die Zuluft im Idealfall bodennah und zugfrei eingebracht (Abbildung 3). Im Arbeitsbereich bildet sich ein so genannter „Frischlufsee“, eine klimatisch und stofflich nahezu unbelastete Zone. Über dieser Frischluftzone nehmen die Temperatur und Stoffkonzentration sprunghaft zu. Die Höhe H dieser Frischluftzone wird durch den eingebrachten Luftvolumenstrom bestimmt. Nach VDI 2052 „Raumluftechnische Anlagen für Küchen“ [1] wird dieser so berechnet, dass die Höhe der Frischluftzone sicher bis über die Köpfe der Beschäftigten reicht, bei Küchenlüftungsdecken beispielsweise bis auf ca. 2,50 m Höhe.

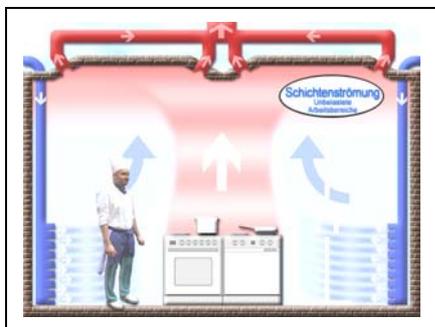


Abbildung 3:
Beispiel für eine Schichtenströmung mit bodennahen Luftdurchlässen

Durch Schichtenströmung mit bodennahen Luftdurchlässen werden die in Küchen gegebenen physikalischen Bedingungen der Thermikströmung und Temperaturschichtung genutzt und nicht gestört: Gegenüber anderen Lüftungssystemen ist eine erhebliche Reduzierung der klimatischen und stofflichen Belastung an diesen Arbeitsplätze nachgewiesen [2].

Da in Küchen Lebensmittel be- und verarbeitet werden, müssen u. a. auch hygienische Anforderungen berücksichtigt werden. Die Anforderungen an bodennahe Luftdurchlässe für Küchen werden in DIN 18869 Teil 3 [3] beschrieben.



Mittlerweile gibt es eine Reihe gewerblicher Küchen, die über eine praktische Ausführung der Schichtenströmung mit bodennahen Luftdurchlässen verfügen, wie die Abbildungen 4 bis 6 veranschaulichen.



Abbildung 4:
Beispiel für einen zylinderförmigen Quellluftdurchlass, der in einer Ecke positioniert ist



Abbildung 5:
Beispiel für das induktionsarme und zugfreie Ausströmverhalten eines in der Ecke positionierten zylinderförmigen Quellluftdurchlasses (Nebelbild)



Abbildung 6:
Beispiel für einen vor der Wand angebrachten Flächenluftdurchlass



Auch in anderen Zweigen der Lebensmittelindustrie bietet sich wegen vorhandener Thermikströme eine Schichtenströmung zur wirksamen Wärme-, Feuchte- und Stofflastenabfuhr an. Im Folgenden wird über eine entsprechende Umsetzung in einem Backwarenverteilzentrum berichtet.

Während der Nachtschicht werden warme Backwaren, die in Kisten gestapelt sind, in geschlossenen Fahrzeugen angeliefert und zwischengelagert. Die Backwaren weisen bei der Anlieferung Temperaturen von 40 bis 70 °C auf und kühlen während der Zwischenlagerung in der Halle ab. Dabei werden Thermikströme freigesetzt sowie erhebliche Wärme-, Feuchte- und Stofflasten in die Halle abgegeben.

In der vormals ungenügend belüfteten Halle kam es zu einer Anreicherung der Lasten in den Arbeitsbereichen und zu Beschwerden der Beschäftigten über ein schwülwarmes Klima. Die Verhältnisse in der Halle waren geeignet, um mittels Schichtenströmung eine wirksame Wärme-, Feuchte- und Stofflastenabfuhr zu erreichen. Die Abschätzung des die mittleren Thermikströme ersetzenden Zu- und Abluftvolumenstromes ergab eine zu installierende Anlagenleistung von 40 000 m³/h.

Die Erfassung der Thermikströme erfolgt über drei längs der Hallendecke angeordnete Abluftkanäle. Die Zuluft wird über 19 gleichmäßig über die Hallenfläche verteilte zylinderförmige Quellluftdurchlässe bodennah und zugfrei eingebracht (Abbildung 7).

Abbildung 7:
Positionierung der Quellluftdurchlässe





Die Luftdurchlässe haben eine Bauhöhe von 1,25 m bei einem Durchmesser von 400 mm (Abbildung 8). Der Luftvolumenstrom beträgt jeweils ca. 2 100 m³/h. Aus Reinigungsgründen wurden die Durchlässe ca. 20 cm über dem Fußboden positioniert und darüber hinaus mit einem Anfahrerschutz versehen.



Abbildung 8:
Beispiel für einen über dem Fußboden positionierten Quellluftdurchlass mit Anfahrerschutz

Im Nebelbild kann die Schichtenströmung mit der Ausbildung des „Frischluffsees“ in den Arbeitsbereichen nachgewiesen werden (Abbildung 9).

Abbildung 9:
Ausbildung eines „Frischluffsees“ in der Nebeldarstellung





Der Last mindernde Effekt durch die Schichtenströmung schlug sich auch in den Messwerten nieder. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen den zeitlichen Verlauf von Raumlufttemperatur bzw. absoluter Feuchte vor und nach Installation der Lüftungsanlage im Vergleich. Die Messwerte entsprechen jeweils den Mittelwerten von zwölf über die gesamte Halle verteilten und in 1,70 m Höhe befindlichen Messpunkten. Die Bedingungen während der beiden Messserien waren absolut vergleichbar.

Abbildung 10:
Darstellung des Verlaufs der mittleren Raumlufttemperatur über den Zeitraum einer Schicht vor bzw. nach Installation der Be- und Entlüftungsanlage

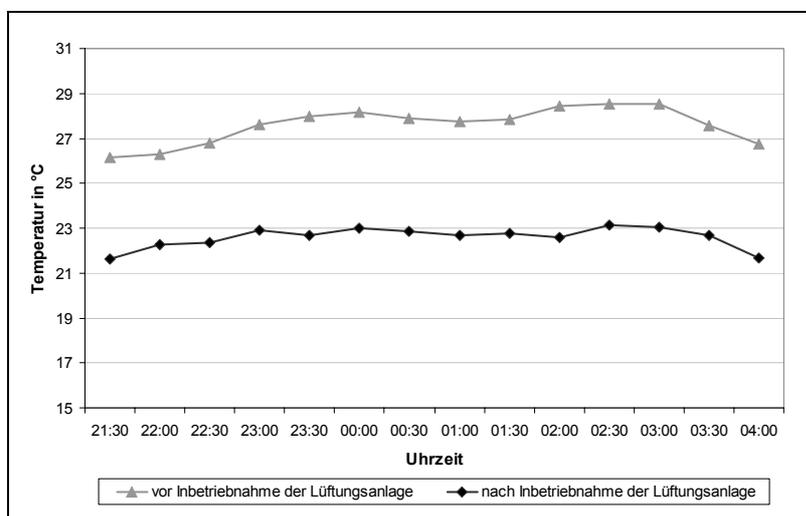
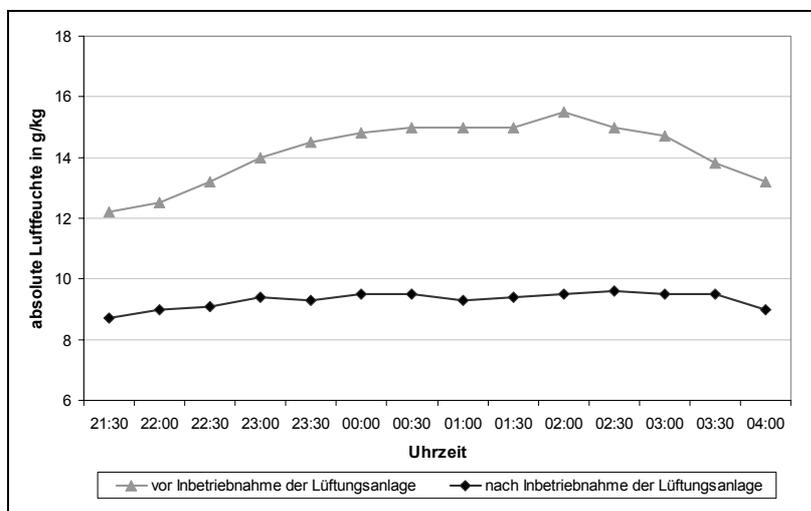


Abbildung 11:
Darstellung des Verlaufs der absoluten Luftfeuchtigkeit über den Zeitraum einer Schicht vor bzw. nach Installation der Be- und Entlüftungsanlage





Die mittlere Raumlufftemperatur konnte um ca. 5 °C auf ein behagliches Temperaturniveau von im Mittel 22,6 °C gesenkt werden. Die absolute Luftfeuchtigkeit konnte um ca. 5 g/kg auf im Mittel 9,3 g/kg reduziert werden. Damit liegt eine mittlere relative Feuchte von 54 % vor, die dem Behaglichkeitsbereich entspricht.

Der nachgewiesene Abbau der klimatischen Belastung – Wärme und Feuchte – mithilfe der Schichtenströmung führte zu überaus positiven Äußerungen der Beschäftigten.

Literatur

- [1] VDI 2052: Raumlufftechnische Anlagen für Küchen (06.99). Beuth, Berlin 1999
- [2] Einfluß der Zuluffführung auf die Konzentration verschiedener Schadstoffe im Arbeitsbereich von Küchengeräten. FSA-Bericht F-01-9501. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin, Mannheim
- [3] DIN 18869-3: Großküchengeräte – Einrichtungen zur Be- und Entlüftung von gewerblichen Küchen – Teil 3: Luftdurchlässe, Anforderungen und Prüfung (03.05). Beuth, Berlin 2005



8 Reduzierung der Konzentration von Dieselmotoremissionen durch Schichtenströmung in einer Verladehalle

Peter Rietschel,
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Mannheim

8.1 Einleitung

Dieselmotoren prägen das Bild in leistungsfähigen Umschlagbereichen, wie im Verladebereich der Bitburger Brauerei. Hier werden in einer geschlossenen Halle – Abmessungen: 320 m x 30 m x 10 bis 12 m – von 25 Dieselstaplern mit einer Tragfähigkeit von 8 t ca. 70 Lastkraftwagen pro Schicht be- und entladen und pro Monat etwa 40 000 l Diesel verbraucht. Pro Jahr werden etwa 4,2 Mio. hl Bier, dies entspricht ca. 1 Mio. t, umgeschlagen.

Trotz Rußfiltern und Lüftung kam es in der geschlossenen Halle zeitweise zu hohen Konzentrationen an Dieselmotoremissionen (DME). Im Rahmen einer anstehenden Erneuerung der bestehenden Lüftungsanlage in einem 180 m langen Teilstück der Halle wurde in Zusammenarbeit zwischen Brauerei, Lüftungsanlagenbauer und Berufsgenossenschaft nach einem optimalen Konzept für die neue Hallenlüftung gesucht. Im Gegensatz zu den bisherigen Anwendungen der Schichtenströmung handelt es sich in einer Verladehalle um bewegte Emissionsquellen, den Flurförderzeugen und den Lkw. Dies führt zu Verwirbelungen durch die Fahrbewegungen und der Einschränkung, dass Frischluft in Bodennähe nur von den Seitenwänden, aus relativ großer Entfernung, zugeführt werden kann. Die Luftauslässe benötigen also einerseits eine große Wurfweite, dürfen andererseits aber nicht zu unerwünschten Verwirbelungen der Luft führen.

8.2 Visualisierungsversuche

Die Markierung der Abgase der Stapler mit Nebel zeigte, dass die Abgase schnell nach oben steigen. Dort sind sie nicht mehr den Verwirbelungen durch die Fahrbewegungen ausgesetzt. Insofern ist zu erwarten, dass eine Schichtung mit Frischluft



im unteren und Abluft im oberen Hallenteil trotz der Fahrbewegungen der Stapler stabil sein sollte.

8.3 Simulation der Schichtenströmung

Vor der erstmaligen Realisation einer Schichtenströmung in einer Verladehalle war sorgfältig zu prüfen, ob unter den gegebenen Bedingungen ein erfolgreicher Betrieb erwartet werden kann. Da vergleichbare Objekte noch nicht zur Verfügung standen, wurde die Schichtenströmung ansatzweise mithilfe der vorhandenen alten Lüftungsanlage simuliert. Hierzu wurde die 320 m lange Halle auf zwei unterschiedliche Arten belüftet:

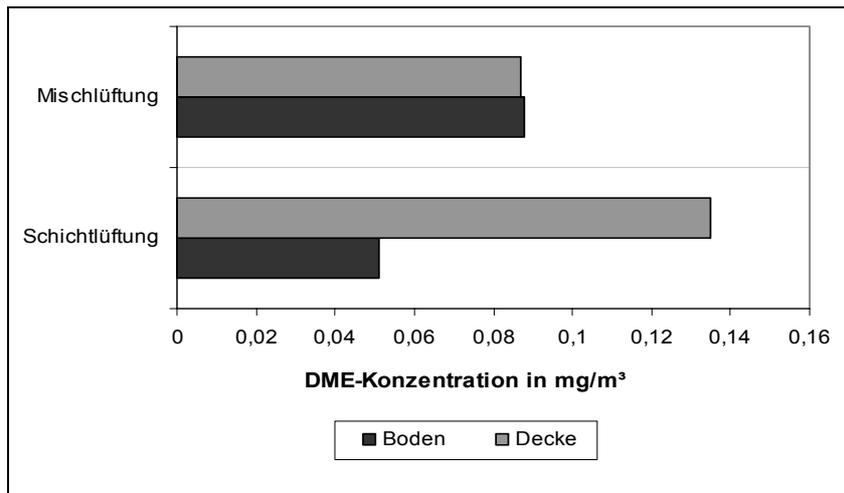
- ❑ Im ersten Teil wurden die Deckenlüfter ausschließlich auf Abluft gefahren, während die Zuluft durch die Blocklager und durch teilweise geöffnete Rolltore überwiegend vom Bodenbereich her zugeführt wurde. Dadurch wurde ansatzweise eine Schichtenströmung erzeugt.
- ❑ Im zweiten Teil wurden die Deckenlüfter auf Zu- und Abluft gefahren, was der konventionellen Mischströmung entspricht.

Zur Messung wurde neben sammelnden Messverfahren mit zweistündiger Probenahme außerdem in Zusammenarbeit mit dem Institut für Gefahrstoffforschung (IFG) der Bergbau-Berufsgenossenschaft ein neuer direkt anzeigender Sensor für Dieselmotoremissionen eingesetzt, der fotoelektrische Aerosolsensor [1]. Dieser Sensor gibt innerhalb von Sekunden verlässliche Momentanwerte der Rußkonzentration, genauer gesagt, der Konzentration an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) an. Neben zeitlichen Konzentrationsverläufen lässt sich damit schnell die räumliche Verteilung der Rußkonzentration ermitteln. Mehrere Messungen im Atembereich der Beschäftigten sowie in 9 m bis 11 m Höhe in der Nähe der Hallendecke sowohl im ersten als auch im zweiten Hallenteil zeigten klar den Unterschied der beiden Lüftungskonzepte: Im Bereich der grob simulierten Schichtenströmung im ersten Hallenteil war die DME-Konzentration im Deckenbereich zwei- bis dreimal höher als im Atembereich in Bodennähe. Im Bereich der Mischströmung im zweiten Hallenteil war die



Konzentration erwartungsgemäß überall gleich hoch (Abbildung 1). Sie entsprach in etwa dem Mittelwert aus den Werten, die im ersten Hallenteil am Boden und an der Decke gemessen wurden.

Abbildung 1:
Darstellung der Messergebnisse bei der Simulation der Schichtenströmung



Somit konnte in der Verladehalle mit dieser nur behelfsmäßig realisierten Schichtenströmung bereits ein deutlicher Effekt nachgewiesen werden. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für eine Entscheidung zum Einbau einer Lüftungsanlage nach dem Prinzip der Schichtenströmung.

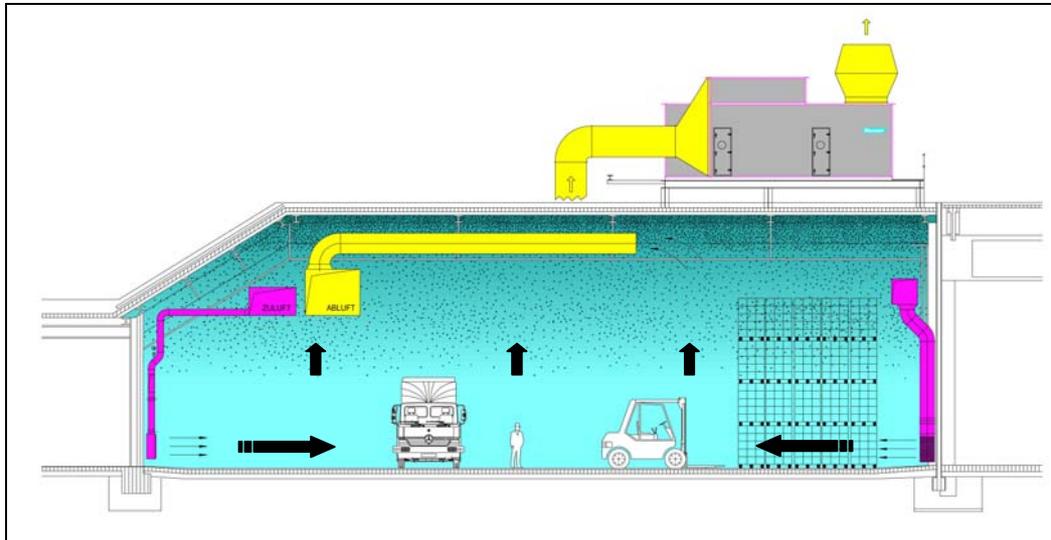
8.4 Installation der Schichtenströmung

Zu Beginn des Jahres 2002 baute die Fa. Wiessner, Bayreuth, die Lüftung nach dem Schichtenströmungskonzept in den 180 m langen ersten Teil der Verladehalle ein (Abbildung 2, siehe Seite 92). Die entscheidenden Bestandteile sind 40 im Bodenbereich an den Hallenseiten eingebaute Verdrängungsluftauslässe, welche die 30 m breite Halle impulsarm mit Frischluft versorgen ($175\,000\text{ m}^3/\text{h}$).

Die Abluft ($280\,000\text{ m}^3/\text{h}$) wird an der Decke abgezogen. Die Luftdifferenz kommt durch Ansaugen von Luft aus dem Blocklager zustande. Bei Beheizung der Halle findet eine Energierückgewinnung über Wärmeräder statt.



Abbildung 2:
Prinzip der Schichtenströmung
(mit freundlicher Genehmigung der Fa. Wiessner, Bayreuth)



Die bedarfsgerechte Steuerung der frequenzgeregelten Antriebe der Ventilatoren wird mithilfe eines Sichttrübungsmessgerätes (Fa. Sigrist) vorgenommen. Die Anpassung der Lüftungsleistung an den augenblicklichen Bedarf dient der Energieeinsparung.

8.5 Erste Erfahrungen mit der Schichtenströmung

Die Wirksamkeit der neuen Lüftungsanlage wurde mittlerweile anhand mehrerer Messungen der DME an verschiedenen Orten in der Halle untersucht (Abbildung 3, siehe Seite 93). Die erste Messung fand an einem Tag mit hohem Umschlag im Frühsommer statt. Die DME-Konzentrationen betragen sowohl in den Staplerkabinen als auch an einem ortsfesten Messpunkt nur ein Viertel der Werte, die zuvor unter ansonsten gleichen Bedingungen mit der alten Lüftung gemessen wurden.

Eine zweite Messung wurde im Winter unter geringfügig anderen Betriebsbedingungen durchgeführt. Dabei ergaben sich etwas höhere Konzentrationen als im Sommer, die aber immer noch weitaus niedriger waren als die mit der Mischströmung erhaltenen Werte.

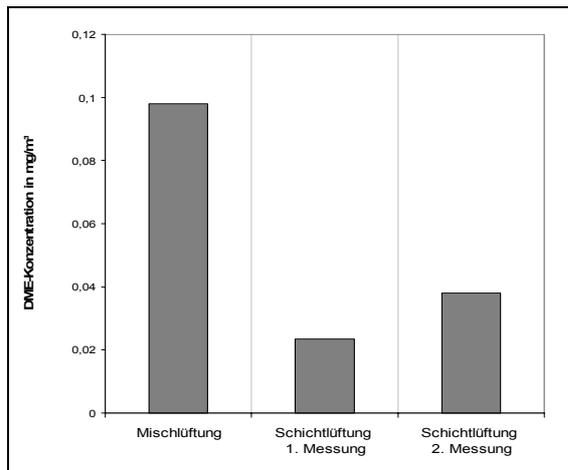


Abbildung 3:
Vergleich der Wirksamkeit von
Misch- und Schichtlüftung

Als Test dafür, ob sich die eingangs beschriebene Schichtung der Luft in der Halle einstellt, wurde zusätzlich die Rußkonzentration in 6 m Höhe auf einem Leergutblock gemessen. Die Konzentration war hier 35 % größer als diejenige in Bodennähe. Das ist ein Hinweis auf die sich einstellende Schichtung: Frischluft in Bodennähe, abgas-haltige Luft in Deckennähe.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass mithilfe der Schichtenströmung sowohl im Sommer als auch bei Beheizung der Halle im Winter eine deutliche Reduktion der DME-Konzentration in den Arbeitsbereichen einer Verladehalle erzielt werden kann [2; 3]. Die Messergebnisse decken sich mit dem überaus positiven subjektiven Eindruck der Beschäftigten. Überdies ist die Lärmbelastung der Beschäftigten und Nachbarn deutlich zurückgegangen. Der Energieverbrauch der neuen Lüftungsanlage ist geringer als der der alten.

Da es sich um eine anspruchsvolle Lüftungstechnik handelt, sollte deren Auslegung nur erfahrenen Fachfirmen übertragen werden.

8.6 Weiterführende Literatur

- [1] *Przybilla, K.; Berkahn, W.; Burtscher, H.; Dahmann, D.; Matter, U.; Rietschel, P.*: Monitoring diesel particulates in working areas with the photoelectric aerosol sensor. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 62 (2002) Nr. 6, S. 279-284



- [2] *Hummrich, S.; Lauer, T.; Neyses, M.:* Saubere Luft in Verladehallen. Brauwelt 46/47 (2002), S. 1768-1770
- [3] *Neyses, M.; Rietschel, P.:* Prima Klima – Neuartiges Lüftungskonzept in der Verladehalle der Bitburger Brauerei. Akzente 3 (2003), S. 8-10



9 Beurteilung von lufttechnischen Maßnahmen

Reinhard Stockmann,
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin

9.1 Allgemeines

Die Anwendung von Indikatoren zur Identifikation von Bewegungen stellt in der Forschung eine seit langem bewährte Technik dar. Beispielsweise werden Flüssigkeiten oder sogar Flüsse mit geeigneten, z. B. fluoreszierenden Stoffen, versetzt, um Strömungen untersuchen zu können. Ein anderes Beispiel ist das Beringen von Vögeln, um deren Wanderungszüge zu untersuchen.

Zur Überprüfung von Raumluchtströmungen gibt man Indikatorgase in den zu untersuchenden Luftstrom und detektiert diese Indikatorgase an verschiedenen Stellen im Raum. Dabei wird sowohl die Konzentration als auch deren zeitlicher Verlauf registriert.

Die Indikatorgase werden auch Tracergase genannt, da das englische Wort „trace“ oder „to trace“ übersetzt werden kann mit „Spur“ oder „etwas aufspüren“. Für Tracergasmessungen in Innenräumen sind besondere Anforderungen an das Indikatorgas zu stellen, insbesondere sollte es

- im verwendeten Konzentrationsbereich ungiftig sein,
- chemisch inert, geruch- und geschmacklos sein,
- nicht brennbar sein,
- sich leicht und gut mit Luft vermischen,
- einfach und mit großer Genauigkeit messbar sein sowie
- in der normalen Außenluft im verwendeten Konzentrationsbereich nicht vorhanden sein.



In der Vergangenheit wurden Helium, Wasserstoff, Kohlendioxid und -monoxid, Lachgas sowie radioaktiv markierte Gase eingesetzt. In neuerer Zeit werden im Wesentlichen Schwefelhexafluorid, Helium sowie perfluorierte Kohlenwasserstoffverbindungen verwendet.

9.2 Übersicht über die Einsatzgebiete der Tracergasmesstechnik

Die Tracergasmesstechnik lässt sich vielfältig einsetzen. Beispielhaft seien folgende Bereiche genannt:

- Beurteilung der Wirksamkeit einer Raumlüftung,
- Ausbreitungsuntersuchungen zur Abschätzung der Verteilung von Gefahrstoffen in Arbeitsbereichen,
- Beurteilung des Erfassungsgrades von Erfassungseinrichtungen (Absaugerichtungen) sowie
- Dichtigkeitsuntersuchungen.

Für jede der genannten Möglichkeiten ist eine besondere Messstrategie erforderlich. Der Aufbau der Messeinrichtungen ist im Wesentlichen jedoch immer gleich.

9.3 Messsysteme für Tracergasuntersuchungen

Die verschiedenen Messsysteme unterscheiden sich durch die Art der Zudosierung des Tracergases sowie durch die Methode der Sammlung und Ermittlung der Tracergaskonzentrationen.

Die Zudosierung des Tracergases kann auf folgende Arten erfolgen:

- direkt aus der Gasflasche über Druckminderer und ggf. Durchflussmesser,
- manuell aus gefüllten Gasbehältern, wie z. B. Gassäcken oder Gasmäusen,
- durch kontinuierliches Austreten des Tracergases aus Diffusionsröhrchen.



Zur Probenahme und Messung der Tracergaskonzentration stehen ebenfalls mehrere Methoden zur Auswahl:

- Probenahme auf Sammelröhrchen, die anschließend im Labor analytisch ausgewertet werden,
- manuelle Probenahme mithilfe von Gasmäusen, Spritzen oder Beuteln, die anschließend im Labor analytisch untersucht werden,
- Probenahme mithilfe von Schläuchen und Ermittlung der Konzentration mit einem Analysator an einer oder mehreren Stellen im zu untersuchenden Raum. Sind mehrere Messstellen vorhanden, kann ein Messstellenumschalter eingesetzt werden.
- Probenahme und Analysegerät befinden sich direkt am Messpunkt. Die Daten werden zur weiteren Verarbeitung an eine Zentralsteuereinheit übermittelt.

Zur analytischen Auswertung werden vorzugsweise Infrarotspektrometer oder Gaschromatografen eingesetzt.

9.4 Tracergasmesssystem des BGIA

Mit dem umfangreichen Messsystem des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA können alle oben genannten Möglichkeiten abgedeckt werden. Ebenso sind Ermittlungen auch im industriellen Umfeld bei einem vergleichsweise geringen Aufbauaufwand möglich. Auf dem Markt sind weitere Systeme erhältlich, die auf anderen Arten der Zudosierung sowie anderen Nachweismethoden basieren [1; 2].

Das im BGIA verwendete Messsystem arbeitet mit Schwefelhexafluorid als Tracergas. Schwefelhexafluorid (SF_6) ist ein farb- und geruchloses Gas. Bei 20 °C und 1 bar beträgt seine Dichte 6,08 g/l. Es hat demnach eine etwa fünfmal höhere Dichte als Luft. Einmal mit Raumluft vermisches Schwefelhexafluorid entmischt sich nicht mehr. Damit die Dichteunterschiede zur Luft nicht zu groß werden, darf die Konzentration an Schwefelhexafluorid 80 ppm (ml/m^3) nicht überschreiten. Bei besonderen



Anforderungen an die Dichtegleichheit mit Luft kann auch ein Gemisch von Helium und Schwefelhexafluorid eingesetzt werden.

Schwefelhexafluorid ist chemisch inert. Es reagiert erst oberhalb von 500 °C mit einigen Metallen und Legierungen. Reines Schwefelhexafluorid ist ungiftig und der ehemalige MAK-Wert betrug 1 000 ppm (6 000 mg/m³). Dieser Wert stellt keine Toxizitätsgrenze dar und ist lediglich als obere analytisch noch beherrschbare Begrenzung für toxikologisch nicht unmittelbar wirksame Gase angesetzt. Somit besteht ein weiterer Sicherheitsspielraum [3].

Unter Einwirkung elektrischer Entladungen und Lichtbögen zerfällt Schwefelhexafluorid. Die Zersetzungsprodukte sind von unterschiedlicher Giftigkeit und können Reizungen von Haut, Augen und Schleimhäuten verursachen. In größeren Mengen eingeatmet verursachen sie Übelkeit, Schwindel und Lungenödeme. Bereits innerhalb von Sekunden werden selbst bei geringen Mengen einiger Zersetzungsprodukte (ehe eine Vergiftungsgefahr besteht) bestimmte Warnsignale, wie z. B. unangenehm stechender Geruch, Reizung von Nase, Mund und Augen, ausgelöst [4].

Aus Umweltschutzgründen sollte die freigesetzte Schwefelhexafluoridmenge möglichst gering gehalten werden, da Schwefelhexafluorid ein stark Ozon schädigendes Gas ist. Im Vergleich zu Kohlendioxid wirkt Schwefelhexafluorid ca. 24 000mal stärker.

Das Messsystem detektiert Schwefelhexafluorid im Konzentrationsbereich von 0 bis 10 ppm. Daher kann im zu beurteilenden Raum bei auftretender Rezirkulation die Konzentration an Schwefelhexafluorid geringfügig über diesen Wert ansteigen. Schätzungsweise kann eine kurzfristige Konzentration von 20 bis 30 ppm auftreten.

Das Messsystem des BGIA besteht aus einem Steuer- und Dosierstand sowie sechs Messeinheiten. Der Steuer- und Dosierstand stellt die Zentrale des Gesamtmesssystems dar (Abbildung 1, Seite 99). Von dieser Basisstation aus werden sowohl die Zudosierung des Schwefelhexafluorids als auch die gesamte Messung gesteuert; dazu gehört auch der Datenempfang von den einzelnen Messstationen per Datenfunk (Telemetrie) und die Darstellung der Daten auf einem Rechner, der die Daten abspeichert.



Abbildung 1:
Steuer- bzw. Dosierstand des BGIA
für Tracergasmessungen

Von der Dosierstation aus, die aus einer Gasflasche mit reinem Schwefelhexafluorid und einer Dosiereinheit mit drei Massendurchflussreglern besteht, kann das Gas in Mengenbereichen von 0 bis 50 ml/min, 0 bis 500 ml/min und 0 bis 5 000 ml/min geregelt werden. Die Signale der Massendurchflussregler werden über eine Datenleitung in den Rechner übermittelt und dort gespeichert. Die Vorgabe der Massendurchflussmenge erfolgt aus Sicherheitsgründen manuell.

Weiterhin ist in der Basisstation ein Kompressor eingebaut, der einen einstellbaren Luftvolumenstrom von 0 bis 5 m³/h bei maximal 800 mbar liefert, in den Schwefelhexafluorid zudosiert werden kann. Dieses Luft-Schwefelhexafluorid-Gemisch kann über Flächendurchlässe gezielt an bestimmten Punkten im Raum, z. B. rund um Maschinen mit Erfassungseinrichtungen zur Ermittlung des Erfassungsgrades, in die Raumluft eingebracht werden.

Jede einzelne der sechs Messstationen (Abbildung 2, siehe Seite 100) besteht aus einem Einstrahl-Infrarot-Analysator, einem Datenlogger mit der Möglichkeit, weitere Sensoren anzuschließen, und einem Sender, der die vom Datenlogger kommenden digitalen Signale an den Empfänger in der Basisstation übermittelt. Zurzeit sind an jedem Datenlogger außer dem Infrarot-Analysator noch Sensoren für die Temperatur und die relative Luftfeuchte angeschlossen.



Abbildung 2:
Messstation des BGIA

Die verwendeten Infrarot-Analysatoren vom Typ Foxboro-SapphIRe 5E bzw. 100E verfügen über einen Messbereich von 50 bis 10 000 ppb mit langem Strahlweg. Die Auflösung ist besser als 50 ppb und die Genauigkeit beträgt 50 ppb für den Messbereich von 0 bis 1 000 ppb und 300 ppb für den Messbereich von 1 000 bis 10 000 ppb. Die Analysatoren verfügen über eine Feuchte- und Temperaturkompensation. Die Datenrate beträgt bei dieser Einstellung 30 Sekunden. Ohne Kompensation ist ein kürzeres Zeitintervall möglich.

9.5 Messstrategien

Die Messstrategie ist abhängig von Randbedingungen, wie z. B. Ort, Lage, Raumgröße sowie Art der vorhandenen Lüftung (natürlich oder maschinell). Ferner bestimmt die Fragestellung, welche Messstrategie anzuwenden ist:

- Bei Ausbreitungsuntersuchungen wird das Tracergas an den Stellen zudosiert, an denen Gefahrstoffe emittieren. Die Messungen erfolgen an mehreren Punkten im gleichen Raum oder auch in benachbarten Räumen. Nach Auswertung der Versuche kann eine Aussage über die Ausbreitung (Richtung, Stärke etc.) der Gefahrstoffe getroffen werden.
- Bei der Beurteilung von Erfassungs- und Absaugeinrichtungen wird ein ähnlicher Weg beschritten. In diesem Fall werden neben den Messungen in der Umgebung auch Messungen in der Erfassungsluft durchgeführt. Aus dem Verhältnis von



erfasstem Tracergas zur gesamten zudosierten Tracergasmenge kann anschließend der Erfassungsgrad bestimmt werden.

Bei den beschriebenen Messstrategien ist von besonderer Bedeutung, dass die Tracergasfreisetzung analog zur Freisetzung der Gefahrstoffe erfolgen muss. Durch verschiedene Auslassformen, wie Düsen oder Düsenplatten, durch die das Tracergas mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausströmt, sowie durch Veränderung der Tracergaszusammensetzung, die auch zu einer Veränderung der Dichte des Tracergases führt, wird versucht, möglichst realitätsnahe Bedingungen zu schaffen.

Bei der Beurteilung einer Raumlüftung interessieren vor allem

- die Quantifizierung des Luftaustausches
 - Wie viel Luft wird pro Zeiteinheit im Raum ausgetauscht?
- in welcher Form und auf welchen Wegen die Luft im Raum ausgetauscht wird.
 - Wie ist die Luftführung im Raum?
 - Werden einzelne Bereiche des Raumes bevorzugt mit Frischluft versorgt und andere vernachlässigt?

9.6 Beispiele für Messungen

Anhand von Beispielen soll im Folgenden die Leistungsfähigkeit der Tracergasmesstechnik dokumentiert werden.

9.6.1 Luftwechselfmessungen

9.6.1.1 Definition des Luftwechsels

Der Luftwechsel in einem Raumvolumen oder besser die Luftwechselzahl λ des Raumvolumenelementes x ist definiert als das Verhältnis des in das Raumvolumen eintretenden Luftvolumenstromes zum effektiven Volumen des Raumvolumenelementes x :



$$\lambda = \frac{\dot{V}_{L,x}}{V_x} \quad (1)$$

mit

λ Luftwechsel in 1/h

$\dot{V}_{L,x}$ Luftvolumenstrom, der in das Raumelement x eintritt in m³/h

V_x Volumen des betrachteten Raumelementes x in m³

Die so definierte Luftwechselzahl ist eine reine Rechengröße und nur für kleine Räume anwendbar. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass in diesen Räumen keine ausgeprägten Strömungspfade existieren und dass die Raumlufte vollständig durchmischt ist. Bei Räumen, die über weitere Öffnungen nach außen verfügen, sodass z. B. über Fensterfugen Zuströmungen der Außenluft erfolgen können, ist die errechnete Luftwechselzahl nicht mehr exakt.

Bei der Luftwechselfmessung mittels Tracergas werden örtliche oder integrale, auf den gesamten Raum bezogene Luftwechselzahlen ermittelt. Folgende Verfahren zur Luftwechselfmessung sind bekannt:

Konzentrationsabklingmethode

Das Tracergas wird in die zu untersuchende Zone zudosiert und homogen über den gesamten Bereich verteilt. Anschließend wird der zeitliche Konzentrationsabfall messtechnisch erfasst.

Konstant-Injektionsmethode

Hierbei wird das Tracergas mit konstantem Volumenstrom in die betreffende Zone zudosiert. Dabei wird die Tracergaskonzentration an den zu betrachtenden Punkten kontinuierlich gemessen. Bei dieser Methode wird der Raumluftewechsel nicht auf direktem Wege bestimmt, stattdessen wird der Zuluftvolumenstrom in die Zone gemessen. Zur Bestimmung der Raumluftewechselzahl muss zusätzlich das Raumlumen ermittelt werden.



□ Konstant-Konzentrations-Methode

Die Konstant-Konzentrations-Methode verlangt einen sehr hohen technischen Aufwand, da die Tracergaskonzentration in dem zu betrachtenden Raumvolumen konstant gehalten werden muss, was eine ständige Nachjustierung der Zudosierung erfordert. Diese Methode wird hauptsächlich in der Forschung angewendet, daher soll hier nicht weiter auf sie eingegangen werden.

9.6.1.2 Durchführung der Messungen

Bei einer Zudosierung des Tracergases über eine Dosiereinheit, bei der die Dosiermenge bekannt ist, können aufeinander folgend sowohl die Konstant-Injektionsmethode als auch anschließend die Konzentrationsabklingmethode angewendet werden. Zunächst wird solange Tracergas in die Zone zudosiert, bis die Maximalkonzentration erreicht ist, d. h. ein Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfuhr von Tracergas besteht. Anschließend wird die Dosierung abgeschaltet, sodass sich die Tracergaskonzentration abbauen kann.

An den Messpunkten wird sowohl der Aufbau als auch der Abbau der Konzentration aufgezeichnet. Der Gleichgewichtszustand bzw. die maximale Konzentration sollte im oberen Messbereich der Analysengeräte liegen, damit der Abfall der Konzentration über einen möglichst großen Messbereich verfolgt werden kann.

Das Tracergas sollte in der zu beurteilenden Zone homogen verteilt sein. Dies kann durch Messungen an verschiedenen Stellen innerhalb dieser Beurteilungszone kontrolliert werden. Bei Vorhandensein von Inhomogenitäten ist die Beurteilungszone kleiner zu wählen, ggf. muss der zu beurteilende Raum in mehrere Beurteilungszonen aufgeteilt werden. Zu Beginn der Messung nach der Konzentrationsabklingmethode sollte in der Beurteilungszone eine Konzentrationsabweichung von weniger als 5 % auftreten.

Der Gesamtverlauf einer solchen Messung ist beispielhaft in Abbildung 3 (siehe Seite 104) dargestellt.

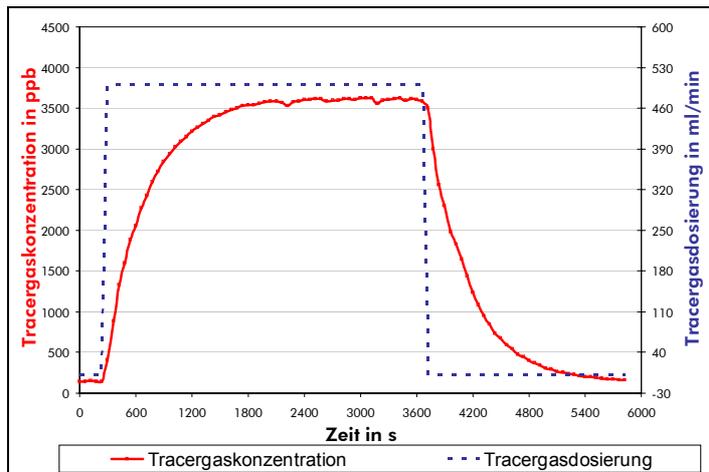


Abbildung 3:
Beispiel einer Tracergasmessung
sowohl nach der Konstant-
Injektionsmethode als auch nach
der Konzentrationsabfallmethode

Meistens erfolgen einfache Luftwechselfmessungen nach der Konzentrationsabfallmethode. Aus dem zeitlichen Verlauf der Konzentrationsabnahme wird der Luftwechsel berechnet, wobei bei idealer Durchmischung folgende Gleichung angewendet werden kann:

$$c_{(t)} = c_{(t=0)} \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

mit

$c_{(t)}$ Tracergaskonzentration zum Zeitpunkt t in ppb

$c_{(t=0)}$ Tracergaskonzentration zu Beginn des Konzentrationsabfalls in ppb

λ Luftwechselzahl in 1/h

t Zeit in h

Durch Angleichen des ermittelten Konzentrationsabfalls an eine Exponentialkurve kann daraus die Luftwechselzahl bestimmt werden.

9.6.1.3 Beispiele für Luftwechselfmessungen

Beispiel Büroraum

In einem Büroraum wurden nacheinander zwei Messungen durchgeführt. Bei der ersten Messung waren alle Fenster und Türen geschlossen, während bei der zweiten



Messung zwei Fenster in Kippstellung geöffnet waren. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse dieser Messungen dargestellt.

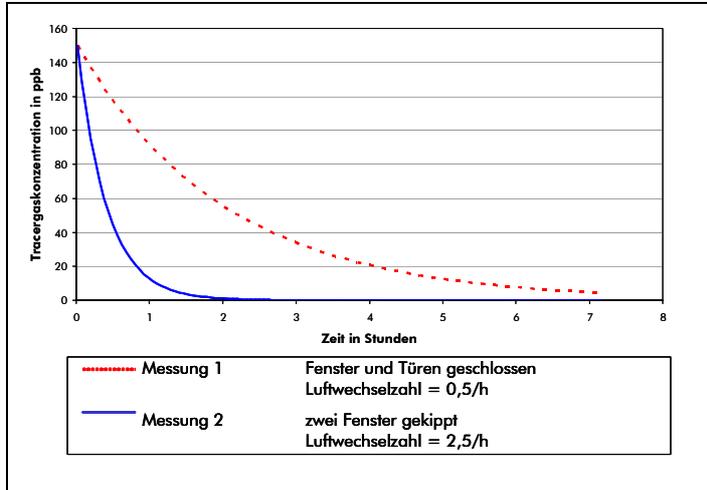


Abbildung 4:
Bestimmung der Luftwechselzahl
in einem Büroraum bei unterschiedlichen
Randbedingungen

Mithilfe der Luftwechselzahlen können Abschätzungen darüber vorgenommen werden, auf welche Werte mögliche Gefahrstoffkonzentrationen in Abhängigkeit von der Lüftungssituation ansteigen könnten.

Beispiel Werkhalle

In einer Werkhalle mit maschineller Lüftung – Zuluft im Deckenbereich in der Mitte der Halle, Abluft im Deckenbereich an den Hallenwänden – wurden die lokalen Luftwechselzahlen an sechs Messstellen ermittelt. Das Ergebnis der Messungen ist in Abbildung 5 dargestellt.

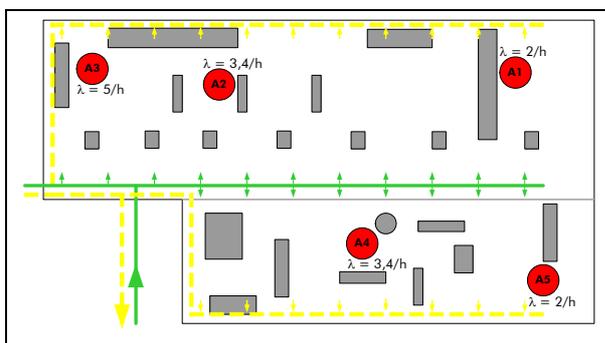


Abbildung 5:
Skizze der Werkhalle mit den
ermittelten örtlichen Luftwechselzahlen

Anhand der gemessenen Luftwechselzahlen wird erkennbar, dass an den Zuluftdurchlässen unterschiedliche Luftvolumenströme auftreten. So sind die gemessenen Luftwechselzahlen am Ende der Halle am geringsten. Da hier verfahrensbedingt die



höchsten Gefahrstoffemissionen zu erwarten sind, sind die Gefahrstoffkonzentrationen entsprechend hoch. Eine Verbesserung der Situation sollte durch einen hydraulischen Abgleich der Lüftungskanäle erfolgen, sodass über die Kanallänge ein gleichmäßiger Zuluftvolumenstrom in die Halle eingebracht werden kann.

9.6.2 Schadstofftransport

Bei der Überprüfung von Stofftransportvorgängen müssen mindestens zwei lüftungstechnische Zonen berücksichtigt werden:

1. die Zone, in der sich ein Schadstoff befindet, sowie
2. die Zone, in die der Schadstoff durch Lufttransportvorgänge gelangen kann.

In der ersten Zone wird das Tracergas ausgebracht und in der zweiten Zone wird seine Konzentration messtechnisch nachgewiesen. Wichtig ist, dass sich das Tracergas analog zu den luftgetragenen Gefahrstoffen verhält. Die Dosierung und Messung des Tracergases erfolgen in ähnlicher Weise wie bei Luftwechselfmessungen. Im Folgenden werden drei Beispiele vorgestellt.

Beispiel 1

In einem abgeschotteten Bereich, der über eine technische Lüftung (Außenluft, Fortluft) verfügt, wird offen mit Gefahrstoffen umgegangen. Der Bereich ist von einem Lager umschlossen, das sich in einer Produktionshalle befindet (Abbildung 6, siehe Seite 107). Die Lüftungskanäle sind so verbaut, dass ein Zugang nur durch größere Montagearbeiten möglich ist.

Anhand einer Tracergasuntersuchung sollte überprüft werden, ob Gefahrstoffe aus dem Gefahrstoffbereich in die Produktionshalle gelangen können. Hierzu wurde in die Zuluftleitung des Bereichs Tracergas zudosiert und dessen Konzentration sowohl im Lager als auch in der Produktionshalle messtechnisch ermittelt. Die Messung wurde dreimal wiederholt; die Ergebnisse sind in Abbildung 7 (siehe Seite 107) dargestellt.

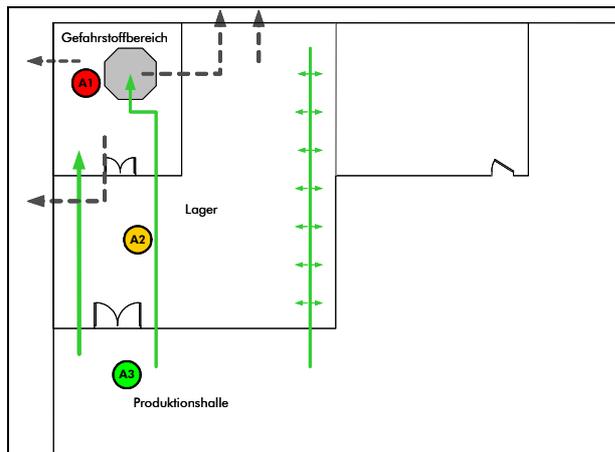


Abbildung 6:
Skizze des Untersuchungsgebietes
im Beispiel 1

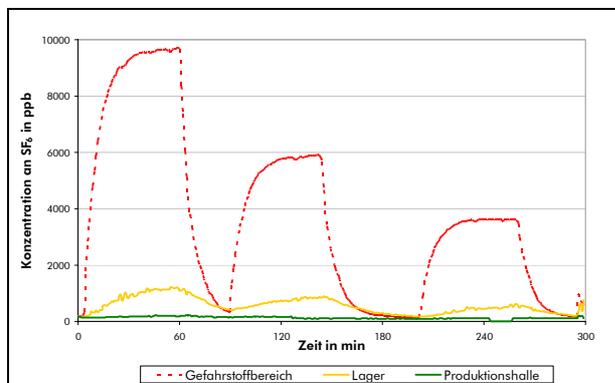


Abbildung 7:
Verlauf der Tracergaskonzentrationen
an den Messstellen im Beispiel 1

Aus den Verläufen der Tracergaskonzentration ist ersichtlich, dass ein geringer Stofftransport über die häufig geöffneten Türen zwischen Gefahrstoff- und Lagerbereich stattfindet. In den Produktionsbereich, in dem sich die Mitarbeiter aufhalten, werden jedoch keine Gefahrstoffe transportiert.

Beispiel 2

In einer lang gestreckten Werkhalle (ca. 150 m x 30 m) mit spanender Metallbearbeitung ist in einem Bereich eine Hallenlüftung, die nach dem Tangentiallüftungsprinzip arbeitet, installiert (Abbildung 8, siehe Seite 108). Neben der lokalen Hallenlüftung ist für den Winterbetrieb eine Reihe von Luftheritzern, die mit Umluft arbeiten, vorhanden.

Es sollte untersucht werden, ob aus dem Bereich, in dem sich die Lüftung befindet, Schadstoffe in andere Bereiche transportiert werden. Bei der Untersuchung wurde Tracergas in die Zuluft der Hallenlüftung zudosiert. An den in Abbildung 8 markierten



Messstellen wurde daraufhin die Tracergaskonzentration ermittelt, die in Abbildung 9 dargestellt ist.

Abbildung 8:
Skizze des Untersuchungsbereiches im Beispiel 2

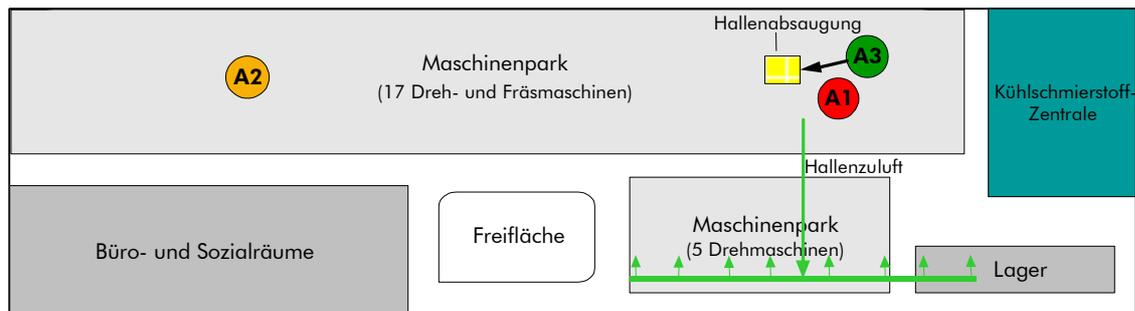
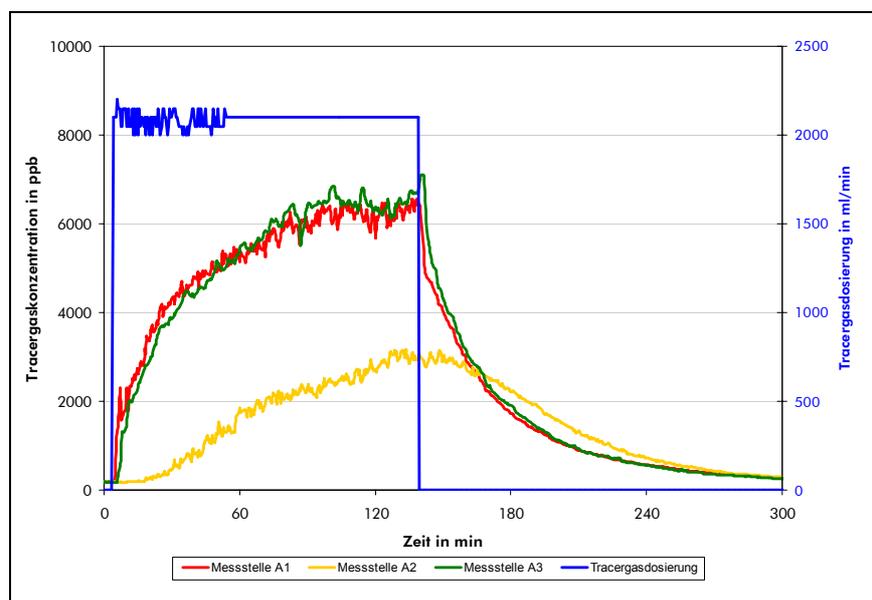


Abbildung 9:
Verlauf der Tracergaskonzentrationen an den Messstellen in Beispiel 2



Man erkennt, dass das Tracergas auch im unbelüfteten Bereich der Halle nachgewiesen werden kann, es treten also Querlüftungseinflüsse auf. Luftgetragene Gefahrstoffe, z. B. Kühlschmierstoffe, können auf diese Weise in den unbelüfteten Bereich transportiert werden. Der Kurvenabfall der Tracergaskonzentration verläuft sowohl für die Messstelle in der Abluft (A3) als auch für die Messstelle im Arbeitsbereich gleicher-



maßen ideal exponentiell. Daraus kann man schließen, dass im Bereich der Tangentiallüftung eine Mischlüftung vorliegen muss, die sich im Wesentlichen auf die Lufterhitzer und die Elektromotoren der Maschinen zurückführen lässt.

Beispiel 3

Im Rahmen der Erarbeitung von BG/BGIA-Empfehlungen war es von Interesse, wie schnell sich luftgetragene Gefahrstoffe, insbesondere Kühlschmierstoffdämpfe, bei der Metallbearbeitung in einer Werkhalle, die keine technische Lüftung besitzt, ausbreiten. Dazu wurde in eine Werkhalle mit den Abmessungen 30 m x 70 m x 6 m (Abbildung 10) mit spanender Metallbearbeitung an einer Stelle der Halle Tracergas zudosiert und die Tracergaskonzentration an verschiedenen anderen Stellen in der Halle ermittelt.

Das Tracergas wurde über einen Sinterkegel, der auf einer Werkzeugmaschine installiert war, direkt in die Raumluft dosiert. Die sich an den verschiedenen Messstellen ergebenden Verläufe der Tracergaskonzentration sind in Abbildung 11 (siehe Seite 110) dargestellt.

Man erkennt, dass die Messstelle, die sich unterhalb der Hallendecke befindet, als erste einen Anstieg der Tracergaskonzentration aufweist.

Abbildung 10:
Skizze des Untersuchungsgebietes im Beispiel 3

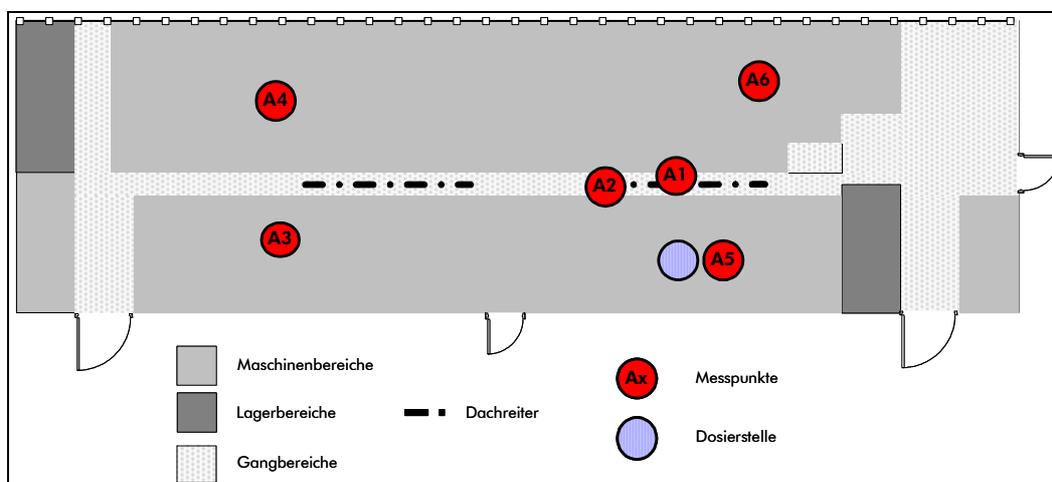
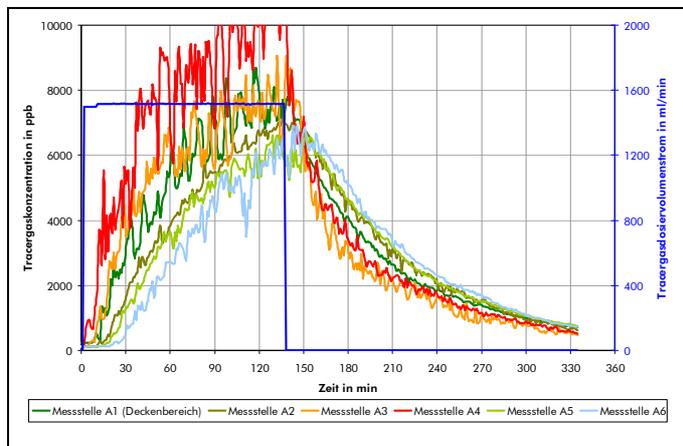


Abbildung 11:
Verlauf der Tracergaskonzentrationen an den Messstellen in Beispiel 3



Der Anstieg der Tracergaskonzentration an den anderen Messstellen, speziell an den beiden weiter entfernten, erfolgt allerdings nur geringfügig verzögert. Bedingt durch die Thermik in der Halle findet eine schnelle (< 20 Minuten) homogene Durchmischung der Luft statt. Entsprechend werden sich freigesetzte Gefahrstoffe ebenfalls homogen verteilen.

9.6.3 Bestimmung von Erfassungsgraden

Zur Entwicklung des Normentwurfs DIN ISO 15012-2 [5] wurden drei mögliche Prüfverfahren – Geschwindigkeitsverfahren, Tracergasverfahren und Schweißverfahren – auf ihre Machbarkeit überprüft.

Zur Prüfung des Tracergasverfahrens wurde in einer Prüfkabine ein Tisch mit fünf Düsen (Kreuzanordnung: 450 mm x 450 mm), über die das Tracergas SF₆ mit 83 % He dosiert wurde, installiert. Oberhalb dieser Düsen wurden verschiedene Schweißraucherfassungshauben installiert und die Tracergaskonzentration sowohl im Kabinenabsaugkanal als auch im Schweißrauchabsaugkanal gemessen. Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 12 (siehe Seite 111) skizziert.

Die sowohl ohne als auch mit Erfassungseinrichtung gemessenen Tracergaskonzentrationen sind in Abbildung 13 (siehe Seite 111) dargestellt.

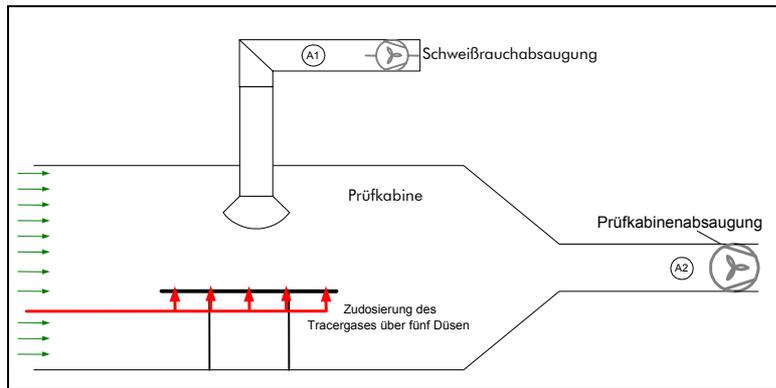


Abbildung 12:
Skizze der Prüfkabine für die Prüfung von Schweißraucherafassungshauben

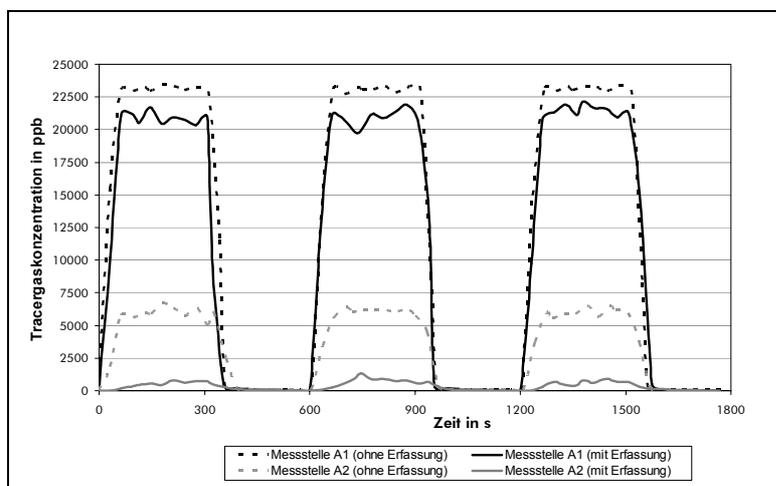


Abbildung 13:
Vergleich des Verlaufs der Tracergaskonzentrationen an den Messstellen mit und ohne Erfassung

Mithilfe der folgenden Bilanzgleichungen kann daraus der Erfassungsgrad berechnet werden:

- Erfassungsgradberechnung für den Messpunkt Kabinenabsaugung

$$\eta_c = \left[1 - \frac{\int c_{t,mit} dt}{\int c_{t,ohne} dt} \right] \cdot 100 \% \quad (3)$$

- Erfassungsgradberechnung für den Messpunkt in der Schweißrauchabsaugung

$$\eta_c = \left[\frac{\int c_{t,mit} dt}{\int c_{t,ohne} dt} \right] \cdot 100 \% \quad (4)$$

mit

η_c Erfassungsgrad in %

$c_{t,mit}$ Konzentration des Tracergases über dem Tisch in ppb

$c_{t,ohne}$ Konzentration des Tracergases direkt in der Absaugleitung in ppb



In diesem konkreten Fall ergab sich ein Erfassungsgrad von 89 %.

Bei einem Vergleich des Tracergasverfahrens mit entsprechenden Messergebnissen der Schweißrauchkonzentration aus gravimetrischer Auswertung wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Verfahren auch für unterschiedliche Absaughauben festgestellt. Eine ähnlich gute Übereinstimmung ergab sich zu Messungen mit einem Streulichtfotometer.

9.6.4 Überprüfung von Luftführungen

In Werkhallen, in denen thermische Prozesse stattfinden, stellt eine Schichtlüftung (Schichtströmung) die effektivste Form der Lüftung dar. In einer großen Halle mit den Abmessungen 165 m x 80 m x 7 m werden in einem Teil Roh- und Fertigmaterial gelagert, während sich im anderen Teil große, bis unter die Decke reichende Maschinen befinden. Die Maschinen sind aufgeständert, sodass deren warme bzw. heiße Oberflächen in ca. 2 m Höhe über dem Hallenboden beginnen. In diesem Bereich von ca. 40 m x 50 m wurde eine Schichtlüftung installiert. Über 24 Quellluftdurchlässe werden ca. 55 000 m³/h Zuluft in die Halle geführt. Die Abluft wird über einen Durchlass, der zentral unterhalb der Decke angeordnet ist, aus der Halle abgeführt (Abbildung 14).

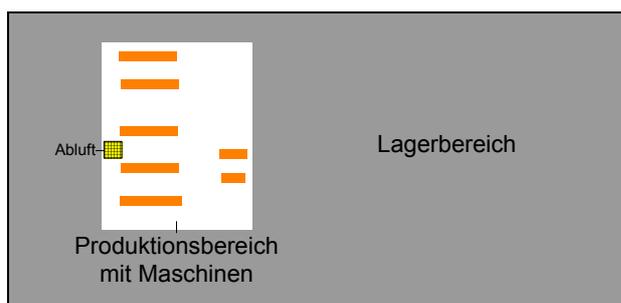


Abbildung 14:
Skizze des Untersuchungsgebietes

Bei den Tracergasuntersuchungen wurde das Gas in die Zuluft dosiert und die Konzentration an mehreren Messstellen in der Halle sowie in der Abluft messtechnisch erfasst. Im Bereich der Maschinen wurde dabei in zwei unterschiedlichen Höhen gemessen. In Abbildung 15 (siehe Seite 113) sind die Verläufe der Tracergaskonzentrationen an den Messstellen dargestellt.

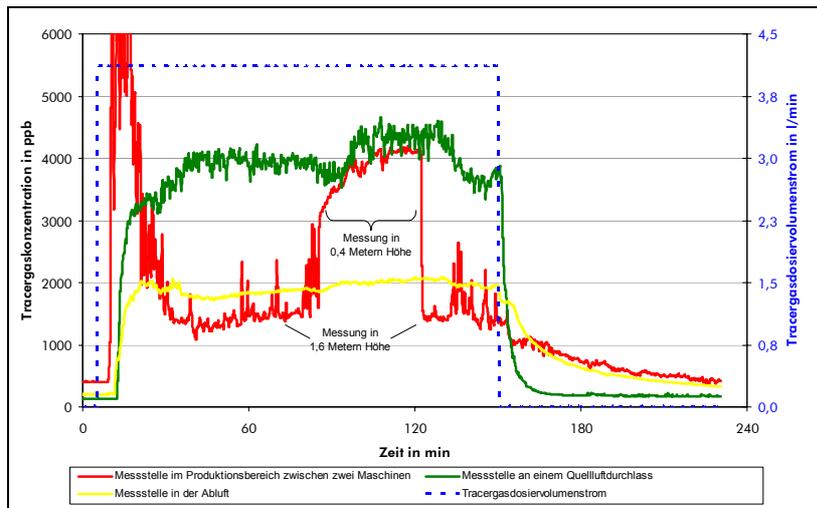


Abbildung 15:
Verlauf der Tracer-
gaskonzentrationen
an verschiedenen Mess-
stellen

Aus den Tracergasuntersuchungen sowie weiteren hier nicht dokumentierten Untersuchungen sind im Wesentlichen folgende Probleme erkennbar:

- Die Abluft besteht zu mindestens 50 % aus Fremdluft, d. h. nicht mit Tracergas geimpfter Luft.
- Die Zuluft gelangt über den Boden auch in den Lagerbereich.
- Die Schichtgrenze liegt unterhalb des Atembereichs der Beschäftigten in ca. 40 cm bis 50 cm Höhe über dem Boden.
- Durch die bis an die Decke reichenden Maschinen bilden sich unterhalb der Decke bevorzugte Luftströmungen aus und eine freie Strömung zur zentralen Absaugstelle ist daher nicht mehr gegeben.
- Die Abluft wird aus anderen Bereichen (geringere Druckwiderstände) angesaugt.

Obwohl in diesem Fall eine dem Problem angepasste Schichtlüftung installiert wurde, wurden bei der praktischen Umsetzung nicht alle Probleme ausreichend berücksichtigt. Dies zeigt auch, dass große und langjährige Praxiserfahrung notwendig ist, um die vor Ort auftretenden Einzelprobleme sachgerecht lösen zu können.



9.7 Ausblick

Wie die Beispiele zeigen, bietet die Tracergasmesstechnik vielfältige Möglichkeiten, Lufttransportvorgänge und Lüftungen zu untersuchen. Sie kann im Rahmen von Projekten, die sich mit Gefahrstoffminderungsmaßnahmen beschäftigen, sehr hilfreich sein. Einschränkungen bestehen durch den erheblichen Aufwand für solche Untersuchungen, sodass sie nicht routinemäßig durchgeführt werden können. Des Weiteren können nur Prozesse nachgebildet werden, bei denen gewährleistet ist, dass sich der zu betrachtende Gefahrstoff analog zum verwendeten Tracergas verhält.

9.8 Literatur

- [1] *Raatschen, W.*: Tracergasmessungen in der Gebäudetechnik: Luftaustausch – Messung und Simulation. *gi – Gesundheitsingenieur* 116 (1995) Nr. 2, S. 78-87 und Nr. 3, S. 129-138
- [2] VDI 4300 Blatt 7: Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen (07.01). Beuth, Berlin 2001
- [3] Berufsgenossenschaftliche Informationen: SF₆-Anlagen (BGI 753) (08.04). Hrsg.: Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik. Carl Heymanns, Köln 2004
- [4] Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe – MAK-Werte: Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten. 39. Lfg. 11/04. Hrsg.: H. Greim. Wiley-VCH, Weinheim 2004 – Losebl.-Ausg.
- [5] (Norm-Entwurf) DIN EN ISO 15012-2: Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung von Luftreinigungssystemen; Teil 2: Prüfung des Erfassungsbereiches von Absaugeinrichtungen für Schweißrauch (08.00). Beuth, Berlin 2000



Anschriften der Autoren

Dipl.-Ing. Herbert Baur	Fa. Keller Lufttechnik Neue Weilheimer Straße 30 73230 Kirchheim unter Teck
Prof. Dr. Rüdiger Detzer	Fa. Imtech Deutschland Tilsiter Straße 102 22047 Hamburg
Dipl.-Ing. Josef Huber	Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, Bezirksverwaltung München Streiflacher Straße 5A 82110 Germering
Dipl.-Ing. Frank Lehnhäuser	Fa. ThyssenKrupp HiServ Rathenaustraße 8 35394 Gießen
Dipl.-Ing. Wolfgang Pfeiffer	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA Alte Heerstraße 111 53754 Sankt Augustin
Dr.-Ing. Peter Rietschel	Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten Dynamostraße 7-11 68165 Mannheim
Dipl.-Ing. Wolfgang Schulz-Nigmann	Fa. ThyssenKrupp HiServ Rathenaustraße 8 35394 Gießen



Dipl.-Ing. Reinhard Stockmann

Berufsgenossenschaftliches Institut
für Arbeitsschutz – BGIA
Alte Heerstraße 111
53754 Sankt Augustin

Dr. Falko Wittorf

Fa. Imtech Deutschland
Berner Straße 107
60437 Frankfurt