



BGIA-Report 4/2006

Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Styrol

Zusammenfassung der Vorträge
anlässlich des BGIA-Seminars
G3 „Technische Schutzmaßnahmen“ am
13./14. September 2005 in Dresden



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

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

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
– Juni 2006 –

ISBN: 3-88383-704-0

ISSN: 1860-3491

Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Styrol

Zusammenfassung der Vorträge gehalten anlässlich des BGIA-Seminars
G3 „Technische Schutzmaßnahmen“ am 13./14. September 2005 in Dresden

Kurzfassung

Bei der Herstellung polymerer Produkte aus Styrol gelangen erhebliche Mengen dieses Stoffes in die Raumluft. Der Verdampfungsverlust kann mehrere Kilogramm pro Schicht und Arbeitsplatz betragen, sodass der Arbeitsplatzgrenzwert von 86 mg/m^3 häufig überschritten wird. Darüber hinaus sind die Unternehmen gefordert, die Styrol-emissionen an die Außenluft zu begrenzen, um die Geruchsschwellenwerte der TA Luft einhalten zu können. Hierzu können u. a. Nachverbrennungsanlagen eingesetzt werden. Um die Kosten für die Nachverbrennung gering zu halten, werden die Absaugvolumenströme so weit wie möglich reduziert. Dies führt zu einer Erhöhung der Konzentration im Arbeitsbereich und somit zu einem Widerspruch mit den Zielen des Arbeitsschutzes. Um die Belastungen auf das technisch machbare Maß zu senken, sind sowohl Verbesserungen im Arbeitsumfeld zur Minimierung diffuser Emissionen als auch an den Erfassungseinrichtungen erforderlich. Die Probleme können nur im Rahmen einer Gesamtkonzeption gelöst werden. Im Rahmen der G3-Seminarreihe des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA stellten Fachleute ihre Erfahrungen mit Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Styrol vor. Ziel des Seminars war es, die Teilnehmer über Einzelmaßnahmen und Gesamtkonzepte sowie über positive Praxisbeispiele für Schutzmaßnahmenkonzepte zu informieren und Hilfestellungen für die Unterstützung der Arbeitgeber in Fragen des Arbeitsschutzes bei Tätigkeiten mit Styrol zu geben.

Protective measures relating to the handling of styrene

Summary of papers delivered at the BGIA seminar G3 on technical protective measures, held in Dresden on 13/14 September 2005

Abstract

Substantial quantities of styrene are released into the atmosphere during the manufacture of polymer products from this material. The evaporation loss may amount to several kilograms per shift and workplace, with the result that the workplace limit value of 86 mg/m³ is frequently exceeded. In addition, companies are required to limit styrene emissions to the outside air, in order to observe the threshold limits for odour given by the TA Luft. Waste gas combustion plant or similar may be employed for this purpose. In order to keep the costs of waste gas combustion low, the exhaust flowrate are reduced as far as possible. This leads to an increase in the concentration within the working area, and thus to a discrepancy with the objectives of occupational safety and health. In order for the exposure to be reduced to the technically feasible level, improvements are required both in the working area, for minimization of diffuse emissions, and in the exhaust equipment. The problems necessitate an integral solution. In the G3 series of seminars held by the BG Institute for Occupational Safety and Health (BGIA, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz), experts reported on their experience with protective measures for tasks involving styrene. The objective of the seminar was to inform the participants of specific measures, generic concepts, and examples of protection concepts implemented successfully in practice, and also to support employers by providing guidance in OH&S issues related to tasks involving styrene.

Mesures de protection en relation avec l'utilisation du styrène

Synthèse des exposés présentés lors du BGIA séminaire G3 „Mesures de protection techniques“, qui s'est déroulé les 13 et 14 septembre 2005 à Dresde

Résumé

Lors de la fabrication de polymères à base de styrène, des quantités importantes de cette substance s'échappent dans l'air ambiant. La perte par évaporation peut atteindre plusieurs kilogrammes par poste de huit heures et poste de travail, de sorte que la valeur limite spécifique à un poste de travail de 86 mg/m³ est fréquemment dépassée. En outre, les entreprises doivent limiter les émissions de styrène dans l'atmosphère, afin de respecter les seuils d'odeur de la réglementation TA Air. À cet effet, il est possible d'utiliser, entre autres, des installations de postcombustion. Pour que les coûts de la postcombustion restent faibles, les débits volumétriques d'aspiration sont réduits le plus possible. Ceci se traduit par une augmentation de la concentration dans la zone de travail, ce qui est en contradiction avec les objectifs de la sécurité du travail. Pour réduire les nuisances à un niveau réalisable techniquement, il est nécessaire d'améliorer l'environnement du poste de travail pour minimiser les émissions diffuses aussi bien que les équipements d'aspiration. Les problèmes ne peuvent être résolus qu'en mettant en œuvre un concept global. Dans le cadre de la série de séminaires G3 organisée par le Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA (Institut pour la santé et la sécurité du travail des organismes d'assurance et de prévention des risques professionnels), des spécialistes faisaient part de leur expérience dans le domaine des mesures de protection en relation avec l'utilisation du styrène. L'objectif du séminaire était de présenter aux collaborateurs des mesures individuelles, des concepts globaux ainsi que des exemples de concepts de mesures de protection adéquats mis en œuvre et de leur donner des recommandations pour l'assistance des employeurs dans le domaine de la protection des travailleurs lors d'activités mettant en œuvre du styrène.

Medidas preventivas al manipular estireno

Resumen de las ponencias presentadas con ocasión del BGIA Seminario G3 „Medidas Técnicas de Protección“, 13 y 14 de septiembre de 2005, en Dresden

Resumen

Al fabricar productos de polimerización, sobre la base de estireno, se desprenden considerables cantidades de dicha sustancia, dando origen a una contaminación del aire en el entorno del puesto de trabajo. Debido a que la pérdida por evaporación puede ascender a algunos kilogramos por jornada laboral, a menudo, se excede el valor límite admisible de 86 mg/m³. Además, las empresas deberán cumplir la exigencia de limitar la emisión de estireno al aire libre, a efecto de cumplir con los valores umbral olfatorios definidos por el TA "Aire" (siglas en alemán; Reglamento sobre la calidad del aire). Para ello, se pueden utilizar, por ejemplo, instalaciones de postcombustión. El caudal de aspiración se reduce lo más posible, a fin de bajar los costos de la postcombustión. Pero, esta medida entra en contradicción con los objetivos de la seguridad laboral, ya que conlleva un aumento de la concentración en el lugar de trabajo. Por lo tanto, se requieren mejoras dirigidas a minimizar las emisiones difusas en los ambientes laborales así como a optimizar los dispositivos de captación, para reducir la contaminación a los niveles técnicamente viables. La solución para esta problemática consiste únicamente en la aplicación de un concepto integrado. Expertos presentaron sus experiencias con medidas de protección al manipular estireno en el marco del ciclo de seminarios G3 del BG-Instituto de Seguridad y Salud Laboral (BGIA por sus siglas en alemán). Con el seminario se pretendió informar sobre medidas individuales y conceptos integrados así como ejemplos prácticos de medidas de protección exitosas, con la finalidad de apoyar a los empresarios en lo relativo a la implementación de medidas de seguridad efectivas al manipular estireno.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Problematik	9
	S. Mohr, Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Nürnberg	
2	Schutzmaßnahmenkonzept – Tätigkeiten mit Styrol	17
	W. Pfeiffer, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA, Sankt Augustin	
3	Emissionsminderung in Styrol verarbeitenden Anlagen	25
	R. Schlachta, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg	
4	Emissionsminderung in der Produktion von Automobilteilen.....	39
	P. Gross, Fa. Menzolit-Fibron, Bretten	
5	Branchenregelung Säureschutzbau	49
	E. Teich Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Frankfurt am Main	
6	Abluftreinigung	59
	D. Bryniok, Fa. BioSolutions Ingenieurgesellschaft, Dußlingen	
7	Abluftreinigung durch NTO-Technologie	77
	J. Markert, Fa. Keller Lufttechnik, Kirchheim unter Teck	
8	Lufttechnik in Fertigungshallen	87
	T. Winkler, Fa. Imtech Deutschland, Hamburg	
9	Be- und Entlüftung bei der UP-Harz-Verarbeitung	113
	R. Siegberg, Königstein	
	Anschriften der Autoren	127



1 Einführung in die Problematik

Steffen Mohr,
Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Nürnberg

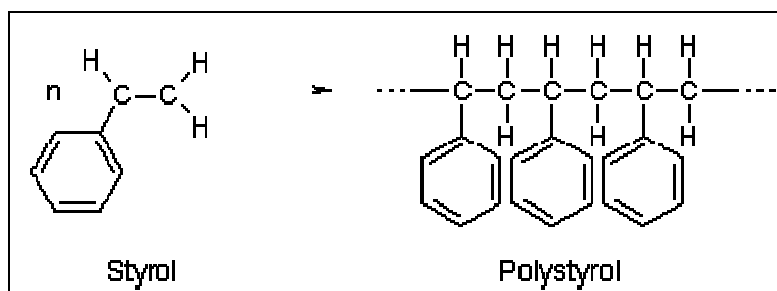
1.1 Verwendung von Styrol

In einer Presseinformation der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) [1] wurde aus Anlass des Jahres der Chemie 2003 Styrol als Molekül des Monats vorgestellt:

„Polystyrol ist eine lange Kette aus Hunderttausenden gleicher Moleküle, aus Styrol. Dieser einzelne Baustein sieht ganz anders aus als ein Kunststoff: Eine farblose, süß riechende Flüssigkeit, deren Dämpfe die Augen und Atemwege reizen. Es kommt im Steinkohlenteer vor, in geringen Mengen auch in Erdbeeren, Zimt oder Kaffeebohnen, ist in der Natur also keineswegs unbekannt. Um ihre Pharaonen der Nachwelt zu erhalten, benutzten die alten Ägypter unter anderem Styrax, ein flüssiges Baumharz. Das half auch über Jahrhunderte gegen die Krätze, und Duftmischer verfeinerten damit Parfüm.“

Heutzutage begegnet uns Styrol in Form seines Polymers Polystyrol (Abbildung 1) täglich in vielfacher Gestalt: Joghurtbecher, Plastikspielzeug, Styropor – um nur einiges zu nennen. Daneben dient es als Lösungsmittel und Reaktionspartner für ungesättigte Polyesterharze zur Herstellung von faserverstärkten Kunststoffen, Polyesterlacken und -klebstoffen oder Polyestergießharzen.

Abbildung 1:
Molekülstrukturen von Styrol und Polystyrol





Ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) werden durch Polykondensation von zweiwertigen Alkoholen (Glykolen) und Dicarbonsäuren hergestellt, von denen mindestens eine der Reaktionskomponenten eine Kohlenstoff-Doppelbindung aufweist. Es entstehen Ester in Form von langkettigen Molekülen, die aus abwechselnden Glykol- und Carbonsäuregliedern gebildet werden und als Festharze (z. B. Alkydharze) vorliegen.

Diese Festharze werden mit ungesättigten polymerisierbaren Verbindungen, am häufigsten mit Styrol, vermischt. Der Styrolanteil in diesen Gemischen beträgt 20 bis 45 %. Bei Zugabe eines Katalysators (organische Peroxide), der häufig auch als Härter bezeichnet wird, und eines Beschleunigers (z. B. Cobaltverbindungen) bilden sich daraus durch Kopolymerisation dreidimensional vernetzte, feste, unschmelzbare und unlösliche Produkt (Pressmasse, Laminat, Schutzlack usw.) [2].

1.2 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Basis für den Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) von 20 ppm für Styrol [3] ist die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) vorgeschlagene maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK). Der MAK-Wert ist toxikologisch begründet.

In mehreren länderbezogenen Projekten, zuletzt 2004 in einem Projekt der Bezirksregierung Köln, konnten Grenzwertüberschreitungen für Styrol festgestellt werden [4]:

„Mit einer Exposition gegenüber Styrol ist bei jeder offenen und halboffenen Verarbeitung von Styrol und styrolhaltigen Gefahrstoffen und insbesondere Polyesterharzen während der Herstellung von Glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) zu rechnen.“

Für Arbeitsplätze, an denen keine Tätigkeiten mit Styrol durchgeführt werden, z. B. Innenraumarbeitsplätze wie Büros oder Verkaufsräume, sind die Richtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) des Umweltbundesamtes anzuwenden. Bei Überschreitung des Richtwertes II, der für Styrol 0,3 mg/m³ beträgt, besteht Handlungsbedarf. Der Richtwert I, der auch als Sanierungszielwert aufgefasst werden kann, beträgt 0,03 mg/m³ [5].



Neben einer Belastung der Atemluft lassen sich bei Tätigkeiten mit Styrol auch Probleme durch direkten Hautkontakt beobachten. Styrol ist zwar nicht als „hautresorptiv“ eingestuft, also in der MAK-Werte-Liste nicht mit „H“ markiert [6], wird aber mit der Kombination der R-Sätze 36 und 38 (R 36/38) „Reizt die Augen und die Haut“ gekennzeichnet. Dies ist bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen. Hilfestellung kann das Diskussionspapier „Gefährdungen durch dermale Exposition“ des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) liefern [7]. Neben Styrol sind bei der Gefährdungsbeurteilung auch weitere Inhaltsstoffe der UP-Harz-Zubereitungen zu berücksichtigen.

1.3 Umweltschutz

Im Hinblick auf den Umweltschutz müssen ebenfalls Grenzwerte für Styrolemissionen ausgehend von den Produktionsstandorten eingehalten werden. Dies wird u. a. in der VOC-Verordnung (31. BImSchV) [8] geregelt. Davon sind auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen betroffen (siehe auch Beitrag „Emissionsminderung in Styrol verarbeitenden Anlagen“ auf Seite 25).

1.4 Schutzmaßnahmen

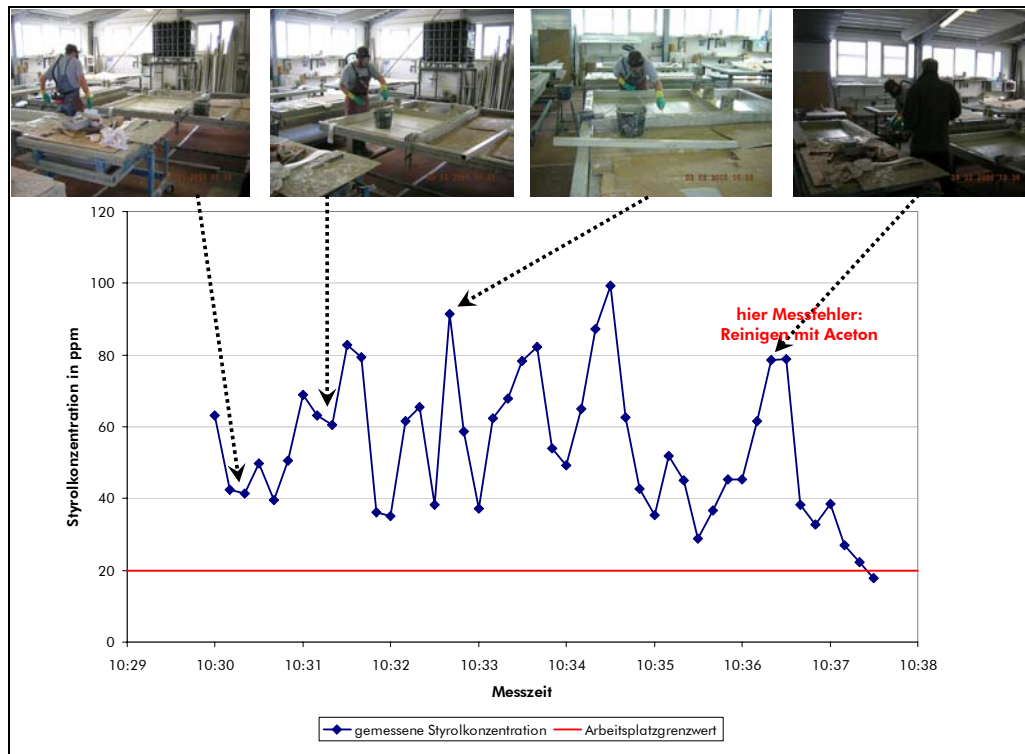
Basierend auf der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [9] hat der Arbeitgeber zunächst eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Aufgrund der Einstufung von Styrol als „Gesundheitsschädlich“ (Gefahrensymbol X_n) gelangt man bei der Gefährdungsbeurteilung zunächst in Schutzstufe 2. Dies bedeutet, dass Schutzmaßnahmen nach §§ 8 und 9 der Gefahrstoffverordnung durchzuführen sind. Wird der Arbeitsplatzgrenzwert trotzdem nicht eingehalten, so gelangt man in Schutzstufe 3 und es sind zusätzlich Schutzmaßnahmen nach § 10 durchzuführen. Dazu zählen u. a. Messungen zur Überprüfung der Einhaltung des Grenzwertes sowie die regelmäßige Veranlassung von Vorsorgeuntersuchungen.

Orientierende Styrolmessungen können z. B. mit Photoionisationsdetektoren (PID) durchgeführt werden (Beispiel siehe Abbildung 2, Seite 12). Diese Messgeräte sind in der Regel auch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) erschwinglich. Die nach



§ 9 Absatz 6 der GefStoffV für die Messung erforderliche Fachkunde kann z. B. in Seminaren, u. a. angeboten von mehreren Berufsgenossenschaften, erworben werden.

Abbildung 2:
Orientierende Luftmessung mit einem PID-Gerät bei Handlaminierarbeiten
(wegen MAK-Wert-Überschreitung mit Atemschutzhaube)



Biomonitoring, dies bedeutet hier die Bestimmung des Biologischen Arbeitsplatztoleranzwertes (BAT) für Styrol, ist nach § 15 der GefStoffV Bestandteil der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen.

Bei der Auswahl der Schutzmaßnahmen müssen gleichzeitig sowohl der Arbeits- und Gesundheitsschutz der Beschäftigten als auch der Umweltschutz berücksichtigt werden.

Um die Exposition am Arbeitsplatz zu reduzieren, wurde in der Vergangenheit häufig die Absaugleistung der raumluftechnischen Anlage erhöht. Dies führt jedoch zu unnötigen Kosten. Als sinnvoller hat sich erwiesen, die raumluftechnische Anlage zu optimieren und gleichzeitig diffuse Emissionsquellen zu vermeiden (siehe Beiträge „Schutzmaßnahmenkonzept – Tätigkeiten mit Styrol“, Seite 17, und „Luftechnik in



Fertigungshallen“, Seite 87). Um gleichzeitig den Anforderungen des Umweltschutzes zu genügen, müssen unter Umständen geeignete Abluftreinigungsverfahren eingesetzt werden (siehe Beiträge „Abluftreinigung“, Seite 59, und „Abluftreinigung durch NTO-Technologie“, Seite 77).

1.5 Ausblick

Der Arbeitskreis „Styrol“ im Fachausschuss Chemie überarbeitet zurzeit grundlegend das Merkblatt „Styrol und styrolhaltige Zubereitungen“ (BGI 613) [10]. Derzeit liegt ein Entwurf für die Neufassung des Abschnitts 7 „Schutzmaßnahmen“ vor, in dem insbesondere auf die Lüftungstechnik, sonstige Maßnahmen zur Emissionsminderung sowie auf die Abluftproblematik eingegangen wird. Das Merkblatt wird künftig unter dem Titel „Styrol – Polyesterharze und andere styrolhaltige Zubereitungen“ erscheinen.

Nach gegenwärtigem Erkenntnisstand gehört Styrol zu den gesicherten neurotoxischen Lösungsmitteln. Das Merkblatt zur entsprechenden Berufskrankheit BK-Nr. 1317 „Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösungsmittel oder deren Gemische“ wurde Anfang 2005 neu gefasst [11].

Über aktuelle Studien zur Neurotoxizität und Ototoxizität von Styrol wurde auf der 45. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM) referiert [12; 13].

1.6 Literatur

- [1] Schiffe heben wie im Comic und das 3-Liter-Haus. Pressemitteilung der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) 2003.
<http://www.teli.de/jdc/mdm-styrol.html>
- [2] AVK-TV-Handbuch. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Verstärkte Kunststoffe technische Vereinigung e. V., Baden-Baden 2004
- [3] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). Ausg. 1/06. BArbBl. (2006) Nr. 1, S. 41-55



- [4] Kooperationsprogramm Projekt Styrol – Abschlussbericht Köln. Hrsg.: Bezirksregierung Köln 2004.
<http://www.bezreg-koeln.nrw.de/Html/abt5/dez55/55abschlussbericht.pdf>
- [5] Innenraumarbeitsplätze – Vorgehensempfehlung für die Ermittlungen zum Arbeitsumfeld. Report der gewerblichen Berufsgenossenschaften, der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand und des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz – BGIA. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2005. www.hvbg.de/bgia, Webcode 1506447
- [6] MAK- und BAT-Werte-Liste 2005. Hrsg.: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Wiley VCH, Weinheim 2005
- [7] *Hebisch, R.; Rühl, R.*: Hautkontakt mit Arbeits- und Gefahrstoffen – Ein Diskussionspapier des AGS. *Ergomed* (2002) Nr. 1, S. 24-26
- [8] 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – VOC-Verordnung – 31. BImSchV) vom 21. August 2001. BGBl. I (2001), S. 2180, geänd. BGBl. I (2004), S. 3758
- [9] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 23. Dezember 2004. BGBl. I (2004), S. 3758, geänd. BGBl. I (2004), S. 3855
- [10] Berufsgenossenschaftliche Information: Styrol und styrolhaltige Zubereitungen (BGI 613). Ausg. 1/99. Carl Heymanns, Köln 1999
- [11] Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 1317 – Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösungsmittel oder deren Gemische. *BARbBl.* (2005) Nr. 3, S. 49-51



- [12] *Hoffmann, J.; Leitel, T.; Ihrig, A.; Triebig, G.*: Expositionsstudie zur akuten Ototoxizität von Styroldämpfen in Verbindung mit einer Lärmexposition. 45. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), Bochum, April 2005
- [13] *Ihrig, A.; Klek, S.; Leitel, T.; Hoffmann, J.; Triebig, G.*: Kammerstudie zur Frage neurotoxischer Effekte einer mehrstündigen Exposition gegenüber 50 ppm Styrol. 45. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V. (DGAUM), Bochum, April 2005



2 Schutzmaßnahmenkonzept – Tätigkeiten mit Styrol

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

2.1 Einleitung

Styrol wird u. a. zur Herstellung polymerer Produkte, z. B. glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), benötigt. Dabei erfüllt es eine Doppelfunktion: Es dient nämlich gleichzeitig als Lösungsmittel für die Kopolymere (z. B. Acrylnitril, Butadien, Polyesterharze) sowie als Polymerisationskomponente.

Der Styrolanteil in Fertigprodukten schwankt zwischen 30 und 50 %. Bei der Herstellung styrolhaltiger Produkte, vor allem während der Formteilherstellung (siehe Abbildungen 1 und 2) und in der anschließenden Aushärtphase, verdampft der Anteil von Styrol, der als Lösungsmittel dient, sodass die eingesetzte Styrolmenge immer deutlich über der in Fertigprodukten liegt.

Abbildung 1:
Handauftrag



Abbildung 2:
Spritzverfahren



Die entstehenden Emissionen belasten zunächst das Arbeitsumfeld und gelangen dann über die Raumlüftung in die Außenluft. Zusammen mit den Emissionen aus der Abluft von Erfassungseinrichtungen sowie aus Reaktionsöfen und Aushärtlagerstätten führen sie häufig zu Geruchsbelästigungen im Nahbereich der Fertigungsstätten.



2.2 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Styrol wird überwiegend über die Atemwege aufgenommen. Die Aufnahme über die Haut ist sehr gering. Als Gesundheitsgefahren sind Schädigungen des zentralen Nervensystems bekannt. Schleimhautreizungen an Augen und in den oberen Atemwegen wurden weitgehend untersucht. Gegenwärtig werden mutagene und kanzerogene Effekte durch die Einwirkungen von Styrol diskutiert.

2.3 Umweltschutz

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [1] gehören Fertigungsstätten, in denen Kunstharze hergestellt und verarbeitet werden, in der Regel zu den genehmigungsbedürftigen Anlagen (siehe Nummern 5.2 und 5.7 in Spalte 2 des Anhangs der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV [2]). Genehmigungsbedürftige Anlagen sind nach § 5 des BImSchG so zu errichten und betreiben, dass u. a.

- *„schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können,*
- *Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen.“*

Weiterhin ist zu prüfen, ob die Anlage unter die VOC-Verordnung (31. BImSchV) [3] fällt.

Neben der weitgehenden Begrenzung der Styrolemissionen steht die Reinigung der styrolhaltigen Abluft im Vordergrund. Wegen der niedrigen Geruchsschwelle von Styroldampf kann eine Abluftreinigung nur durch katalytische, thermische oder oxidative Reinigungsverfahren ausreichend wirksam erfolgen. Die Energiekosten sind abhängig vom Absaugluftstrom und von der Styrolkonzentration in der Abluft. Geht



es um Einsparungen bei den Luftströmen, entstehen sicherheitstechnische Konflikte zwischen Umwelt- sowie Arbeits- und Gesundheitsschutz.

2.4 Gefährdungsbeurteilung

Bei der Gefährdungsbeurteilung nach Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [4] sind in der Regel folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Bei der Herstellung styrolhaltiger Produkte ist grundsätzlich mit einer Exposition zu rechnen.
- Diffuse Quellen führen im Arbeitsraum zu einer erheblichen Grundlast.
- Expositionskonzentration und Expositionsspitzen sind je nach Arbeitsverfahren sehr unterschiedlich.
- Zusätzliche Staubbelastungen entstehen beim Ansetzen und Mischen von Einsatzstoffen.
- Innerhalb von Einhausungen sowie Erfassungs- und Absaugeinrichtungen (Rohrleitungen, Abscheider usw.) ist mit dem Entstehen von Bränden und Explosionen zu rechnen.
- Grundsätzlich ist Persönliche Schutzausrüstung (PSA) zu verwenden.
- Stoffsubstitutionen sind nicht möglich.
- Im Lagerbereich treten Emissionen durch Nachverdampfung aus Produkten auf.
- Bei der Bearbeitung von Fertigungsprodukten kommt es zu hohen Staubentwicklungen.

Die Gefährdungsbeurteilung nach GefStoffV führt zu einer Einstufung solcher Arbeitsbereiche in Schutzstufe 3. Generell lassen sich folgende Schutzmaßnahmen ableiten:



- Optimierung der Arbeitsplatzgestaltung im Hinblick auf die Anzahl an Emissionsquellen und die zu treffenden Maßnahmen zur Emissionsminderung an verbleibenden Emissionsquellen,
- Bereitstellung geeigneter Arbeitsmittel, die ein Verarbeiten unter Berücksichtigung geringster Emissionen ermöglichen,
- ggf. räumliche Trennung unterschiedlicher Emissionsbereiche,
- Vermeidung oder Verminderung diffuser Quellen,
- konsequente Durchsetzung von Hygienemaßnahmen,
- Optimierung der Erfassung der Emissionen,
- Raumlüftung nach dem Prinzip der Schichtlüftung,
- Abscheidung bzw. Reinigung der Abluft,
- Lagerung in geschlossenen Behältnissen und Vermeidung offener Vorratsgefäße,
- regelmäßige Entsorgung von Abfällen.

2.5 Schutzmaßnahmenkonzept

Unter Beachtung eines ganzheitlichen Konzeptes sind, wie bereits erwähnt, sowohl Vorgaben für den Arbeits- und Gesundheitsschutz als auch für den Umwelt- und Nachbarschaftsschutz zu beachten. Um ein für beide Schutzbereiche wirksames Konzept entwickeln zu können, müssen folgende Maßnahmen berücksichtigt werden:

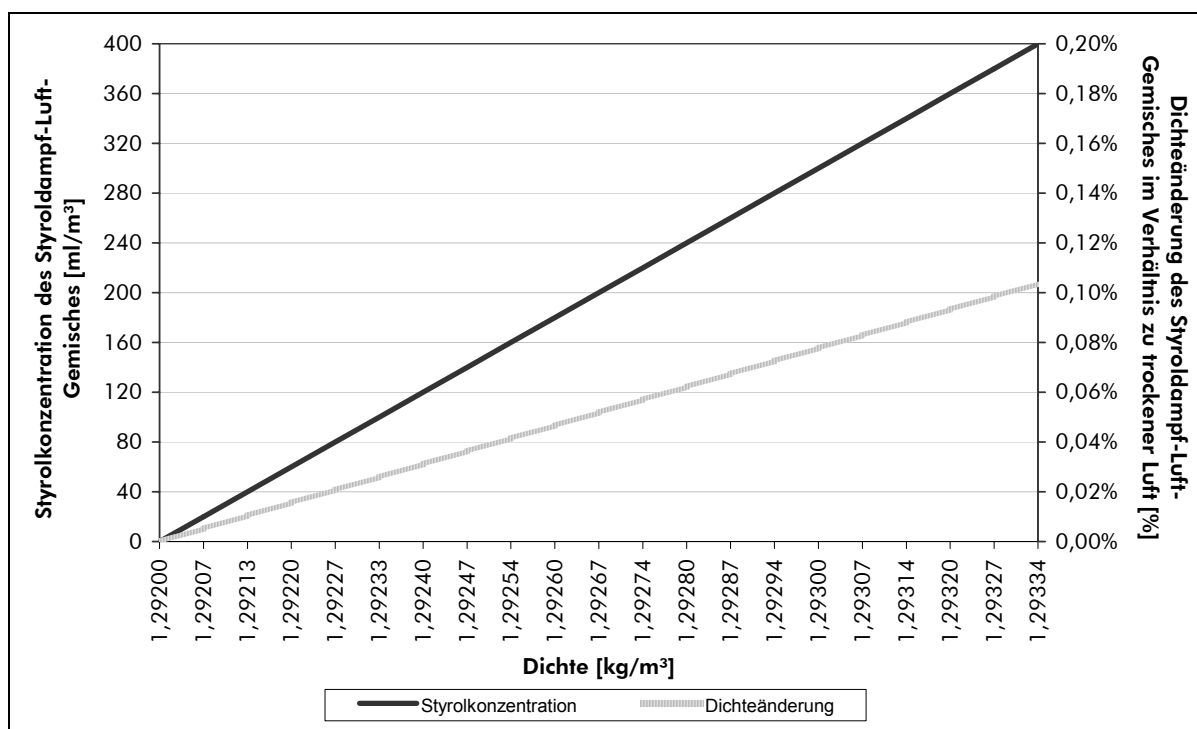
- Vermeidung von Emissionen,
- hochwirksame Absaugung/Erfassung der unvermeidbaren Emissionen,
- Vermeidung von diffusen Emissionsquellen und
- Raumlüftung.



Bevor auf die einzelnen Maßnahmen eingegangen werden soll, ist ein allgemein vorherrschendes Vorurteil auszuräumen: Styroldämpfe in reiner Form sind zwar deutlich schwerer als Luft, ein Styroldampf-Luft-Gemisch dagegen ist nur unwesentlich schwerer. So liegt der Dichteunterschied eines Styroldampf-Luft-Gemisches gegenüber reiner Luft bei einer maximalen Styrolkonzentration von 20 ml/m³ (ppm, Arbeitsplatzgrenzwert) unter 0,01 % (siehe Abbildung 3). Die Annahme, dass technische Schutzmaßnahmen darauf auszurichten sind, das Styroldampf-Luft-Gemisch im Bodenbereich zu erfassen, ist daher unrealistisch.

Abbildung 3:

Änderung der Dichte eines Styroldampf-Luft-Gemisches bei zunehmender Styrolkonzentration im Vergleich zu trockener Luft bei 20 °C und 1 013 mbar



Bei der Auswahl der technischen Schutzmaßnahmen bleibt also das unterschiedliche spezifische Gewicht von Luft und Styrol unberücksichtigt. Ausnahmen gelten für Lagerbereiche, in denen flüssiges Styrol oder styrolhaltige Flüssigkeiten gelagert werden. Hier können z. B. beim Auslaufen der Flüssigkeiten oberhalb der Flüssigkeitspfützen hohe Styrolkonzentrationen auftreten, die ggf. entzündbar sind.



Neben den Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Emissionen sind weitere Maßnahmen gegen Brände und Explosionen zu treffen.

2.6 Arbeitsverfahren/Expositionen

Das Schutzmaßnahmenkonzept ist auf das jeweilige Arbeitsverfahren auszurichten. Man unterscheidet im Wesentlichen Handverfahren von automatisierten Verfahren. Bei den verschiedenen Verfahren treten recht unterschiedliche Styrolemissionen auf. Während sich die Vermeidung und Erfassung von Emissionen bei automatisierten Verfahren relativ einfach gestalten lassen, ist insbesondere die Erfassung der Emissionen bei Handverfahren (siehe Abbildung 1, Seite 17) weitaus schwieriger. Dies gilt insbesondere bei der Bearbeitung großflächiger Teile im Handlaminierverfahren, z. B. im Schiffskörperbau. Ähnlich schwierig ist die Emissionserfassung bei der Rohrherstellung im Wickelverfahren. In beiden Fällen sind große Verdampfungsflächen vorhanden, die besondere Anforderungen an die Emissionserfassung stellen. Hierzu müssen in Zukunft weitere Konzepte entwickelt und erprobt werden.

Große Probleme bereiten auch diffuse Emissionsquellen, wie sie in der Praxis häufig zu beobachten sind. Folgendes Beispiel soll diese Problematik verdeutlichen:

Um den Arbeitsplatzgrenzwert einzuhalten, dürfen in einem Raum von 1 000 m³ bei einfachem Luftwechsel (Luftwechselrate $\lambda = 1 \text{ h}^{-1}$) maximal 86 g Styrol pro Stunde verdampfen. Dies gilt unter der Bedingung, dass sich die verdampfte Styrolmenge gleichmäßig und verzögerungsfrei im gesamten Raum ausbreitet. Da dies in der Praxis nicht der Fall ist und die verdampfte Stoffmasse den unmittelbaren Arbeitsbereich stärker belastet, muss die verdampfte Gesamtmasse deutlich geringer sein, um den Arbeitsplatzgrenzwert einhalten zu können.

Diffuse Emissionsquellen verursachen eine Grundlast in den Arbeitsräumen, die sich mit der Konzentration am Arbeitsplatz aufaddiert. Untersuchungen zeigen immer wieder, dass diffuse Emissionen für zu hohe Expositionskonzentrationen verantwortlich sind.

Erfassungssysteme bilden für diffuse Emissionen eine Strömungssenke. Diese Erfassungssysteme befinden sich in der Regel im Tätigkeitsbereich der Beschäftigten, was zur Folge hat, dass Emissionen aus diffusen Quellen in die Atemluft der Beschäftigten transportiert werden. Aus diesem Grund kann die Erfassungstechnik nur dann erfolgreich zu einer Begrenzung der Expositionskonzentration am Arbeitsplatz beitragen, wenn diffuse Quellen weitgehend vermieden werden (siehe Abbildungen 4 und 5).

Abbildung 4:
Beispiel für diffuse Emissionsquellen



Abbildung 5:
Vermeidung diffuser Emissionsquellen



2.7 Zusammenfassung

Bei der Herstellung styrolhaltiger Produkte treten vermehrt sowohl Umweltbelastungen als auch Belastungen im Bereich des Arbeits- und Gesundheitsschutzes auf. Schutzmaßnahmen zum Abbau dieser Belastungen müssen nach einem ganzheitlichen Konzept geplant und ausgeführt werden. Zunächst gilt es, diffuse Belastungen zu beseitigen oder zu minimieren. Unvermeidbare Emissionen sind an der Entstehungs- oder Austrittsstelle zu erfassen. Hierzu sind Systeme erforderlich, die bei möglichst geringem Luftstrom die Emissionen vollständig erfassen. Diese Systeme sind teilweise noch nicht vorhanden und müssen auf die unterschiedlichsten Emissionsquellen angepasst werden.

Zur Vermeidung von Umweltbelastungen ist die Erfassungsluft Reinigungssystemen zuzuführen, die Styroldämpfe weitestgehend abbauen, um vor allem auch Geruchsemissionen zu vermeiden.



2.8 Literatur

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002. BGBl. I (2002), S. 3830, zul. geänd. BGBl. I (2005), S. 1865

- [2] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 14. März 1997. BGBl. I (1997), S. 504, zul. geänd. BGBl. I (2005), S. 1687

- [3] 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – VOC-Verordnung – 31. BImSchV) vom 21. August 2001. BGBl. I (2001), S. 2180, geänd. BGBl. I (2004), S. 3758

- [4] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 23. Dezember 2004. BGBl. I (2004), S. 3758, geänd. BGBl. I (2004), S. 3855



3 Emissionsminderung in Styrol verarbeitenden Anlagen

Richard Schlachta,
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

3.1 Einleitung

Unter ungesättigten Polyesterharzen (UP-Harze) versteht man Lösungen von ungesättigten (Doppelbindungen enthaltenden) Polyestern in monomeren polymerisierbaren Vinylverbindungen, z. B. Styrol. Styrol ist daher mit ca. 40 Gewichts-% ein wesentlicher Bestandteil von UP-Harzen. Aufgrund ihrer vielseitigen Eigenschaften werden UP-Harze in weiten Bereichen des Handwerks und der Industrie eingesetzt. So finden sie Verwendung als Anstrichstoffe, Oberflächenbeschichtungen, Press-, Gieß- und Tränkmassen, Verklebungen und Spachtelmassen. Glasfaserverstärkte Polyesterharze werden verwendet zur Herstellung von

- Sportgeräten und Booten,
- Verkleidungen und Gehäusen,
- Behältern und Apparaten sowie
- Rohrleitungen.

Nicht faserverstärkte UP-Harze finden Verwendung bei der Herstellung von

- Knöpfen,
- Polyesterlacken und
- Spachtelmassen.

Das im Polyesterharz enthaltene Styrol erfüllt hierbei zwei Funktionen: Zum einen ist es Reaktionspartner, zum anderen auch Lösemittel. Aufgrund seines hohen Dampfdruckes hat Styrol eine hohe Verdunstungsrate. Darüber hinaus besitzt es einen intensiven charakteristischen Geruch. Diese Eigenschaften führten in der Vergangenheit häufig zu Belästigungen in der Nachbarschaft Styrol verarbeitender Betriebe.



3.2 Emissionsrelevante Stoffe bei Anlagen zum Verarbeiten von flüssigen UP-Harzen mit Styrolzusatz

Die Geruchsschwelle von Styrol liegt bei 0,02 bis 3,4 mg/m³. Die Verdunstungsrate von Styrol ist stark temperaturabhängig: Je Grad Temperaturänderung verändert sich die Styrolverdunstung um ungefähr 5 g/m². So erhöht sich die Sättigungskonzentration von Styrol in der Luft z. B. von ca. 26 g/m³ bei 20 °C auf ca. 47 g/m³ bei 30 °C. Styrol zählt nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [1] zu den „Organischen Stoffen“ (Nummer 5.2.5).

Neben Styrolemissionen treten bei Anlagen zum Verarbeiten von flüssigen UP-Harzen auch Emissionen von Reinigungsmitteln auf. In der Regel wird Aceton verwendet, ein Stoff entsprechend Nr. 5.2.5 der TA Luft. Die Einsatzmenge des Acetons entspricht häufig in etwa der Menge an verbrauchtem Styrol.

3.3 Immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbedürftigkeit

Bevor Anforderungen an Anlagen zur Verarbeitung von UP-Harzen mit Styrolzusatz gestellt werden, muss die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbedürftigkeit geklärt sein. Folgende Nummern des Anhangs der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen [2] kommen dabei in Betracht:

□ Nummer 5.7:

„Anlagen zur Verarbeitung von flüssigen ungesättigten Polyesterharzen mit Styrol-Zusatz (...) zu

a) Formmassen (...)

b) Formteilen oder Fertigerzeugnissen (...)

für einen Harzverbrauch von ≥ 500 Kilogramm je Woche.“

Bei diesen Anlagen handelt es sich u. a. um solche zur Herstellung von Gegenständen, z. B. Rohre, Behälter und Bootskörper, aus faserverstärkten Kunstharzen. Die Begriffe Formmasse, Formteile usw. sind in der Norm DIN 7708 Teil 1 [3] festgelegt.



□ Nummer 5.2:

„Anlagen zum Beschichten, Imprägnieren, Kaschieren, Lackieren oder Tränken von Gegenständen, Glas- oder Mineralfasern oder bahnen- oder tafelförmigen Materialien (...) mit Kunstharzen, (...) wie Polyesterharze, wenn der Harzeinsatz ≥ 10 kg/h beträgt.“

Als Reaktionsharze sind solche Kunstharze definiert, die unter weitgehender Selbstvernetzung ausreagieren, z. B. Polyesterharze. Die Mengenangabe in Kilogramm je Stunde bezieht sich auf den Einsatz der Reaktionsharze, nicht auf etwa auch noch erforderliche Füllstoffe, Beschleuniger oder Härter.

□ Ggf. Nummer 5.1:

„Anlagen zur Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen einschließlich der zugehörigen Trocknungsanlagen unter Verwendung von organischen Lösemitteln, insbesondere zum Appretieren, Beschichten, Entfetten, Imprägnieren, Kaschieren, Kleben, Lackieren, Reinigen oder Tränken mit einem Verbrauch an organischen Lösemitteln von ≥ 25 Kilogramm je Stunde oder ≥ 15 Tonnen je Jahr.“

Nummer 5.7 ist im Verhältnis zu den Nummern 5.1 und 5.2 des Anhangs zur 4. BImSchV die speziellere Vorschrift. Generell liegen die Voraussetzungen für eine Genehmigungserfordernis nach Nummer 5.7 dann vor, wenn die erzeugten Produkte durch die eingesetzten Stoffe bestimmt sind. So stellt z. B. das Auffüllen der Hohlräume zwischen den Wicklungen elektrischer Motoren mit ungesättigten Polyesterharzen mit Styrolzusatz kein Verarbeiten zu Fertigerzeugnissen dar, da das Produkt weiterhin durch den elektrischen Motor und nicht durch den Einsatzstoff Harz geprägt ist. Anlagen zum Ausfüllen von Hohlräumen zwischen den Wicklungen elektrischer Motoren, Generatoren oder Startern mittels Gießen, Träufeln, Tauchen u. a. (Tränken) mit Reaktionsharzen (z. B. ungesättigte Polyesterharze/Styrol), unterliegen der Genehmigungserfordernis nach Nummer 5.2. Bei nicht nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz [4] genehmigungsbedürftigen Anlagen ist das Baurecht einschlägig.



3.4 Anforderungen an Anlagen zum Verarbeiten von flüssigen UP-Harzen mit Styrolzusatz

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die relevanten Anforderungen an Anlagen zum Verarbeiten von flüssigen UP-Harzen mit Styrolzusatz in Abhängigkeit von der immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsbedürftigkeit.

Tabelle 1:
Relevante Anforderungen an Anlagen zum Verarbeiten von UP-Harzen

Genehmigungsbedürftige Anlagen	Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen
<p>Emissionsgrenzwerte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Für Anlagen entsprechend 31. BImSchV [5]: siehe 31. BImSchV ▪ Ansonsten für Anlagen der Nummer 5.7 des Anhangs der 4. BImSchV siehe TA Luft Nr. 5.2.5 in Verbindung mit Nr. 5.4.5.7 	<p>Emissionsgrenzwerte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Für Anlagen entsprechend 31. BImSchV [5]: siehe 31. BImSchV ▪ Ansonsten siehe TA Luft als Erkenntnisquelle
Für Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen siehe Nr. 4 der TA Luft.	Für Anforderungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen siehe Nr. 4 der TA Luft.
Beim Verarbeiten, Fördern, Umfüllen oder Lagern flüssiger organischer Stoffe siehe Nr. 5.2.6 der TA Luft.	TA Luft als Erkenntnisquelle sowie 31. BImSchV
Erstmalige und wiederkehrende Messungen nach Nr. 5.3.2 der TA Luft sowie kontinuierliche Messungen nach Nr. 5.3.3 der TA Luft	Für Anlagen entsprechend 31. BImSchV: Erstmalige und wiederkehrende Messungen nach § 5 der 31. BImSchV
Für Anforderungen an geruchsintensive Stoffe siehe Nr. 5.2.8 der TA Luft	Für Anforderungen an geruchsintensive Stoffe siehe Nr. 5.2.8 der TA Luft als Erkenntnisquelle
Für Anforderungen an die Ableitbedingungen für organische Lösemittel siehe TA Luft Nr. 5.5 bzw. VDI 2280 [6]	Für Anforderungen an die Ableitbedingungen für organische Lösemittel siehe VDI 2280 [6]



3.4.1 Anforderungen nach TA Luft

Emissionsbegrenzungen für genehmigungsbedürftige Anlagen

- Anlagen nach Nr. 5.7 des Anhangs der 4. BImSchV

Einhaltung der Emissionswerte für organische Stoffe im Abgas:

Massenstrom 0,50 kg C/h oder Massenkonzentration 85 mg C/m³

Die Möglichkeiten, Styrolemissionen durch primärseitige Maßnahmen, z. B. durch Einsatz styrolarmer oder -freier Harze, weiter zu vermindern, sind auszuschöpfen.

- Übrige Anlagen

Einhaltung der Emissionswerte für organische Stoffe im Abgas:

Massenstrom 0,50 kg C/h oder Massenkonzentration 50 mg C/m³

Anforderungen an die Ableitbedingungen nach Nr. 5.5 der TA Luft

Es gelten die Mindestanforderungen zur Ableitung organischer Lösemittel nach VDI-Richtlinie 2280:

- 3 m über First eines Giebeldachs,
- 5 m über Flach- und Sheddächern,
- 5 m über Firsthöhe der Wohngebäude in 50 m Umkreis und
- mindestens 10 m über dem Erdboden.

Anforderungen zur Verminderung der VOC-Emissionen beim Verarbeiten, Fördern, Umfüllen oder Lagern von flüssigen organischen Stoffen nach Nr. 5.2.6 der TA Luft

Anforderungen an erstmalige und wiederkehrende Messungen nach Nr. 5.3.2.1 der TA Luft

Nach Errichtung bzw. wesentlicher Änderung sind nach Erreichen des ungestörten Betriebes, jedoch frühestens nach dreimonatigem Betrieb und spätestens sechs Monate nach Inbetriebnahme, und anschließend wiederkehrend im Allgemeinen



nach drei Jahren Emissionsmessungen durch eine nach § 26 BImSchG bekannt gegebene Messstelle durchzuführen.

□ Anforderungen an kontinuierliche Messungen nach Nr. 5.3.3 der TA Luft

Bei Anlagen, bei denen der Massenstrom organischer Stoffe (Stoffe entsprechend Nr. 5.2.5 der TA Luft), angegeben als Gesamtkohlenstoff, 2,5 kg C/h überschreitet, sollen die relevanten Quellen mit Messeinrichtungen ausgerüstet werden, die den Gesamtkohlenstoffgehalt kontinuierlich ermitteln.

□ Anforderungen an geruchsintensive Stoffe nach Nr. 5.2.8 der TA Luft

Bei Anlagen, die bei bestimmungsgemäßem Betrieb oder wegen betrieblich bedingter Störanfälligkeit geruchsintensive Stoffe emittieren können, sind Maßnahmen zur Emissionsminderung zu treffen, z. B. Anlagen einhausen, Anlageteile kapseln, im gekapselten Raum einen Unterdruck erzeugen, Einsatzstoffe, Erzeugnisse und Abfälle geeignet lagern.

Geruchsintensive Abgase sind in der Regel Abgasreinigungseinrichtungen zuzuführen oder es sind gleichwertige Maßnahmen zu treffen.

Bei der Festlegung des Umfangs der Anforderungen im Einzelfall sind insbesondere der Abgasvolumenstrom, der Massenstrom geruchsintensiver Stoffe, die örtlichen Ausbreitungsbedingungen, die Dauer der Emissionen und der Abstand der Anlage zur nächsten vorhandenen oder in einem Bebauungsplan festgesetzten schützenswerten Nutzung (z. B. Wohnbebauung) zu berücksichtigen. Soweit in der Umgebung einer Anlage Geruchseinwirkungen zu erwarten sind, sind die Möglichkeiten, Emissionen durch dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen weiter zu vermindern, auszuschöpfen.

3.4.2 Anforderungen nach der 31. BImSchV

Bei der Verarbeitung von flüssigen UP-Harzen mit Styrolzusatz sind in Abhängigkeit von der angewendeten Verfahrenstechnik verschiedene Zuordnungen zu Tätigkeiten



nach Anhang II der 31. BImSchV möglich. Folgende Nummern des Anhangs II können einschlägig sein:

- Nummer 14 Klebebeschichtung
- Nummer 8 Beschichten von sonstigen Metall- oder Kunststoffoberflächen
- Nummer 10.1 Beschichten von Geweben.

Eine exakte Zuordnung ist jeweils aufgrund des konkreten Produktionsablaufs vorzunehmen. Bei der Ermittlung des Lösemittelverbrauchs bleibt der Anteil von Styrol, der sich chemisch verändert, unberücksichtigt. Nur der Styrolanteil, der nicht reagiert, wird herangezogen. Die bei der Reinigung der Geräte und Aggregate verwendeten Lösemittel sind bei der Ermittlung des Lösemittelverbrauchs bei der jeweiligen Tätigkeit zu berücksichtigen.

Sofern in Abhängigkeit von der Verfahrenstechnik die Verarbeitung von flüssigen UP-Harzen einer Tätigkeit nach Anhang II zugeordnet werden kann und die Lösemittelverbrauchsschwelle überschritten wird, unterliegt diese Tätigkeit der 31. BImSchV. Zur Einhaltung der Anforderungen der 31. BImSchV kann sich der Betreiber entweder für die Emissionsgrenzwerte nach Anhang III oder für einen Reduzierungsplan nach Anhang IV entscheiden.

Bei Anwendung eines Reduzierungsplans für Beschichtungsanlagen nach Abschnitt IV B der 31. BImSchV ergeben sich für diese Anlagentypen höhere Zielemissionen als Styrol im Harz vorhanden ist. Daher stellt sich die noch offene Frage, ob ein Reduzierungsplan für diese Anlagentypen geeignet ist.

Beispiel: Klebebeschichtung bahnenförmiger Materialien (Nr. 14 des Anhangs II der 31. BImSchV)

- | | |
|---|--------------|
| <input type="checkbox"/> eingesetzte Menge an Harz und Styrol: | 130 000 kg/a |
| <input type="checkbox"/> davon Styrol (40 Gewichts-%): | 52 000 kg/a |
| <input type="checkbox"/> Harz = Festkörper: | 78 000 kg/a |
| <input type="checkbox"/> O5 = Styrolmenge, die ausreagiert (97 Gewichts-%): | 50 440 kg/a |



Anwendung des Reduzierungsplans B

Die jährliche Bezugsemission errechnet sich aus der Multiplikation der Feststoffgesamtmasse mit einem Multiplikationsfaktor, der Tabelle 2 in Anhang IV B der 31. BImSchV entnommen werden kann:

$$78\ 000\ \text{kg/a} * 3 = 234\ 000\ \text{kg/a} = \text{Bezugsemission}$$

Die Zielemission berechnet sich aus der Bezugsemission multipliziert mit einem von der Anlagenart abhängigen Prozentsatz, der Tabelle 2 in Anhang IV B der 31. BImSchV entnommen werden kann. Somit ergibt sich für Anlagen der Nr. 14.1 ein Prozentsatz von (10 + 5) Prozent.

$$234\ 000\ \text{kg/a} * 15\ \% = 35\ 100\ \text{kg/a} = \text{Zielemission}$$

Um die Einhaltung eines Gesamtemissionsgrenzwertes oder die Einhaltung der Zielemission des Reduzierungsplans zu überprüfen, ist die Lösemittelbilanz zur Ermittlung der Emissionen zu erstellen. Die Emissionen E lassen sich wie folgt aus den diffusen Emissionen F und den Emissionen in gefassten Abgasen O1.1 berechnen:

$$E = F + O1.1$$

Dabei gilt:

$$F = I1 - O1.1 - O5 - O6 - O7 - O8$$

mit

- I1 Menge an organischen Lösemitteln oder ihre Menge in gekauften Zubereitungen, die in der Anlage eingesetzt wird
- O5 Menge an organischen Lösemitteln, die aufgrund chemischer oder physikalischer Reaktionen vernichtet oder aufgefangen werden (s.o.)
- O6 Menge an organischen Lösemitteln, die in eingesammeltem Abfall enthalten ist
- O7 organische Lösemittel, die als Produkt verkauft werden
- O8 Menge organischer Lösemittel, die zur Wiederverwendung zurückgewonnen wurden



Unter der Annahme, dass O6, O7 und O8 vernachlässigbar sind und I1 der insgesamt eingesetzten Styrolmenge (52 000 kg/a) zusammen mit der Reinigungsmittelmenge (12 000 kg/a) entspricht, ergibt sich für die Gesamtemission E:

$$E = I1 - O5 = (52\,000 \text{ kg/a} + 12\,000 \text{ kg/a}) - 50\,440 \text{ kg/a} = 13\,560 \text{ kg/a}$$

Die tatsächliche Gesamtemission ist somit kleiner als die Zielemission.

Des Weiteren sind in der 31. BImSchV Anforderungen zu Messungen, zur Überwachung und zu Ableitbedingungen enthalten. Insbesondere müssen die Betreiber im Rahmen der jährlichen Lösemittelbilanzierung einen Nachweis über den Lösemittelverbrauch und über die Einhaltung der diffusen Emissionen bzw. über die Einhaltung des Reduzierungsplans erbringen.

3.5 Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen entsprechend Nr. 4 der TA Luft

3.5.1 Schutz vor erheblichen Geruchsbelästigungen

Bei Anlagen zur Verarbeitung von flüssigen UP-Harzen mit Styrolzusatz können aufgrund der hohen Geruchsintensität selbst bei Einhaltung der festgelegten Emissionsgrenzwerte schädliche Umwelteinwirkungen durch erhebliche Geruchsbelästigungen nicht immer ausgeschlossen werden. Im Genehmigungsverfahren sollte dies berücksichtigt werden. Die Beurteilung hierzu kann nach der Geruchsimmissions-Richtlinie (GIRL) [7] unter Verwendung einer Geruchsimmissionsprognose erfolgen. In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Prüfung können ggf. weitergehende emissionsmindernde Maßnahmen erforderlich sein.

3.5.2 Schutz der menschlichen Gesundheit

Für luftverunreinigende Stoffe, für die keine Immissionswerte festgelegt sind, wird eine Prüfung, ob schädliche Umwelteinwirkungen hervorgerufen werden können, erforderlich, wenn hierfür hinreichende Anhaltspunkte bestehen. Solche Anhaltspunkte liegen vor, wenn



- nach Art des Verfahrens,
- aufgrund der Zusammensetzung der Einsatz-, End- und Nebenprodukte bzw.
- aufgrund der Ableitungsbedingungen (z. B. kurzzeitige hohe Freisetzungen durch Notkaminbetrieb)

bestimmte Stoffe in einer Art und Menge emittiert werden, dass sie am Einwirkungsort zu Gefahren, erheblichen Nachteilen oder erheblichen Belästigungen führen können. Dabei kommt den Umgebungsverhältnissen im Einzelfall eine besondere Bedeutung zu.

Die stoff- und anlagenbezogenen Informationen müssen mit den Umgebungsverhältnissen verknüpft werden. Kriterien für hinreichende Anhaltspunkte für mögliche schädliche Umwelteinwirkungen sind:

- anlagenbezogene Kriterien, z. B. hohe Abgasmengen oder hohe Massenströme,
- stoffbezogene Kriterien, z. B. Emissionen geruchsintensiver kanzerogener Stoffe,
- umgebungsbedingte Kriterien, z. B. besondere Schutzgüter im Wirkungsbereich (wie Krankenhaus, Kindergarten).

Als Bagatellgrenze für einen irrelevanten Beitrag von einer Anlage für nicht kanzerogene gesundheitsschädigende Stoffe gilt im Regelfall eine Zusatzbelastung der Anlage von $\leq 3\%$ des Orientierungswertes. Der Länderausschuss für Immissionschutz schlägt für Styrol einen Orientierungswert von $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittel- und Kurzzeitwert vor [8].

Anmerkung: Mittelwerte der Hintergrundbelastung [9]

- Land: $0,28$ bis $0,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Stadt: $0,29$ bis $3,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Industrie: $1,3$ bis $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



3.6 Emissionsmindernde Maßnahmen bei Anlagen zum Verarbeiten von flüssigen UP-Harzen mit Styrolzusatz

- ❑ Einsatz emissionsarmer Harze und Reinigungsmittel
 - LSE (low styrene emission)-Harze:
Verhinderung der Verdunstung durch Bildung eines Oberflächenfilms durch Paraffin
 - DCPD (Dicyclopentadien)-Harze:
5 bis 30 % DCPD als Styrolersatz; ca. 3 bis 5 % weniger Styrolemissionen, schnellere Härtung
 - INSERT (intrinsic styrene emission reduction technology)-Harze:
Styrolgehalt ca. 30 %, jedoch ca. 35 % weniger Styrolemissionen gegenüber Standardharzen
 - lichthärtende UP-Harze
 - emissionsarme Reinigungsmittel:
Substitution von Aceton durch Lösemittel mit niedrigem Dampfdruck (siehe z. B. [10])
- ❑ Emissionsarme Auftragsverfahren
 - Fächerstrahldüse
 - Injektionsverfahren „RTM(resin transfer molding)-Verfahren“:
Einlage von Glasfasern in zwei- oder mehrteiliges mit Trennmittel versehenes Werkzeug; dichter Verschluss; Injektion des Reaktionsharzes durch Injektionsöffnungen; Reduktion der Styrolemission auf ca. 1 % gegenüber den herkömmlichen Verfahren (z. B. Spritzen)
 - „Vacuum bagging technique“:
vor der Aushärtung Abdeckung des Laminats mit einer Plastikfolie und Anlegen eines Vakuums



- Airless-Spritzen
 - Umstellung von Spritzverfahren auf Applikationen mit hohem Auftragwirkungsgrad (z.B. „Non-Atomized“-Techniken),
 - Kalibrierung des Druckes der Spritzpistole (ACMA-Kalibrieranweisung; ACMA, American Composites Manufacturers Association).
- Organisatorische und betriebstechnische Maßnahmen
- Dichtheit sämtlicher Leitungssysteme, Behälter, Gefäße, Pumpstationen etc. sicherstellen.
 - Gebinde und Behälter mit Harz und Harzresten weitestgehend geschlossen halten.
 - Im gesamten Betrieb auf Sauberkeit achten,
 - Harz- und Raumtemperatur niedrig halten, da ein Temperaturanstieg um 1 °C die Emissionsrate um ca. 5 g/m² erhöht.
 - Lagertanks mittels Gaspindelverfahren befüllen.
 - Beim Reinigen der Arbeitsgeräte mit Lösemitteln geschlossene Anlagen mit Kühleinrichtungen verwenden.
 - Be- und Entlüftung optimieren.
 - Beschichtungs-/Reinigungsmittel über Rohrleitungen zum Beschichtungs-/Reinigungsapparat transportieren.
 - Geschlossene Handhabung und Transport von Gebinden, Vorratsgefäßen, Zwischengefäßen, Arbeitsbehältern, Behältern mit Materialien bzw. Abfällen (z. B. Reinigungsmittel, gebrauchte Putzlappen).



- Vorrat an Saugmaterialien in ausreichender Menge vor Ort zum Einsatz bei Verschütten von Lösemitteln. Das gesammelte Material ist bis zum Abtransport bzw. bis zur Reinigung in geschlossenen Behältern aufzubewahren.

3.7 Literatur

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBL. 25-29 (2002), S. 511-605
- [2] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 14. März 1997. BGBl. I (1997), S. 504, zul. geänd. BGBl. I (2005), S. 1687
- [3] DIN 7708-1: Kunststoff-Formmassen Kunststoffherzeugnisse; Begriffe (12.80). Beuth, Berlin 1980
- [4] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 26. September 2002. BGBl. I (2002), S. 3830, zuletzt geändert BGBl. I (2005), S. 1865
- [5] 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – VOC-Verordnung – 31. BImSchV) vom 21. August 2001. BGBl. I (2001), S. 2180, geänd. BGBl. I (2004), S. 3758
- [6] VDI 2280: Ableitbedingungen für organische Lösemittel (08.05). Beuth, Berlin 2005
- [7] Feststellung und Beurteilung von Geruchsimmissionen (Geruchsimmissions-Richtlinie – GIRL) vom 12. Januar 1995



- [8] Unterausschuss „Wirkungsfragen“ des LAI: Bewertung von Chrom-, Nickel- und Styrol-Immissionen. Erich Schmidt, Berlin 1999
- [9] Toxicological profile for styrene. Hrsg.: Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Atlanta 1992
- [10] <http://www.faeber-schmid.ch/navigation.htm>



4 Emissionsminderung in der Produktion von Automobilteilen

Peter Gross,
Fa. Menzolit-Fibron, Bretten

4.1 Einleitung

Die Firma Menzolit-Fibron ist als Kunststoff verarbeitendes Unternehmen schwerpunktmäßig im Automobilzulieferbereich tätig. Die Anwendungen im Nutzfahrzeugbereich sowie im Pkw-Außenhautbereich sind vielfältig (siehe Abbildungen 1 und 2, Seite 40).

Abbildung 1:
Formteilanwendungen für die Nutzfahrzeugindustrie





Abbildung 2:
Formteilanwendungen für Personenkraftwagen



Die Tätigkeiten von Menzolit-Fibron gliedern sich

- in den Halbzeugbereich, bei dem Harzmatten (Sheet-Moulding-Compound, SMC) hergestellt werden, die als Ausgangsprodukt für das Heißpressverfahren dienen, und
- in den Formteilbereich, bei dem die Formteile in beheizten Pressformen unter hohem Druck hergestellt werden.

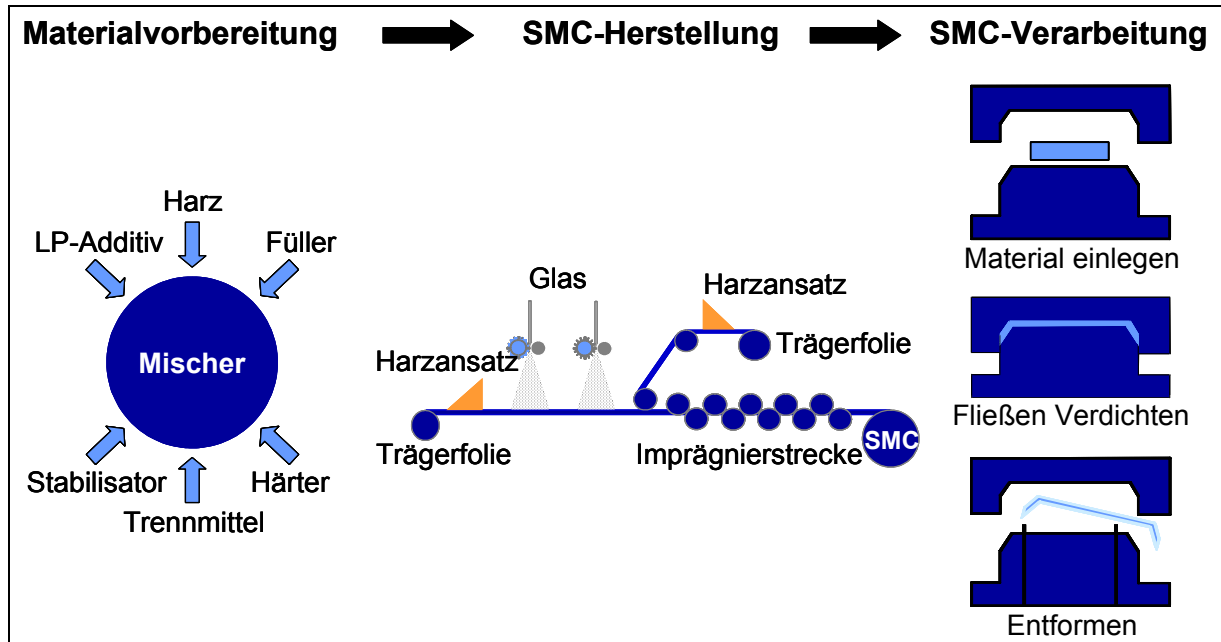
Beide Bereiche werden vom Umgang mit Styrol bzw. styrolhaltigen Produkten geprägt.

4.2 SMC-Herstellung und -Verarbeitung

SMC bestehen zu ungefähr jeweils einem Drittel aus in Styrol gelöstem Harz, Füllstoff (Kreide) und Glasfasern. Ihre Herstellung erfolgt in zwei Prozessschritten (siehe Abbildung 3, Seite 41).



Abbildung 3:
Schematische Darstellung der SMC-Herstellung und -Verarbeitung



Im Bereich der Materialvorbereitung werden zunächst die flüssigen und pulvrigen Komponenten in Chargen zu einem pastösen Harz-Füllstoff-Gemisch verrührt. Die Rührbottiche werden zu den SMC-Anlagen transportiert, wo das Harz-Füllstoff-Gemisch in einen unteren und einen oberen Rakelkasten gepumpt wird. Unterhalb der Rakelkästen, die mit einem definierten Spaltmaß geöffnet sind, läuft jeweils Trägerfolie durch, die auf diesem Weg mit Harz beschichtet wird.

Im nächsten Abschnitt der Maschine wird Verstärkungsglas auf die beschichtete Unterfolie aufgestreut. Anschließend wird das Compound durch die beschichtete Oberfolie geschlossen und in der Imprägnierstrecke vernetzt. Am Ende der Maschine wird das SMC dann entweder auf Rollen oder als Gelege von der Maschine abgenommen.

Innerhalb einer mehrtägigen Reifezeit wird aus der zunächst pastösen teigigen Harzmatte ein schnittfestes Material, das innerhalb eines bestimmten Verarbeitungsfensters im Heißpressverfahren auf hydraulischen Pressen verarbeitet werden kann. Vom Zeitpunkt ihrer Herstellung auf der SMC-Anlage an werden die Harzmatten in styroldichte Folie eingepackt. So werden an dieser Stelle Emissionen vermieden.



Beim Heißpressverfahren wird für das Formteil ein Zuschnitt aus der Harzmatte erstellt. Die Größe der einzelnen Lagen und die Menge sind vom jeweiligen Formteil abhängig. Vor dem Einlegen der Harzmatte in die Pressform wird die Trägerfolie entfernt. Der Zuschnitt kann maschinell über Zuschneidemaschinen bzw. manuell mit Cuttermessern erfolgen. Nach dem Schließen der Pressform beginnt der Polymerisationsprozess innerhalb der Form. Das Styrol wird zu diesem Zeitpunkt fast vollständig umgewandelt. Bei der SMC-Herstellung kommen somit folgende Anlagen- bzw. Arbeitsbereiche als Emissionsquellen infrage:

- Rührbottiche,
- Rakelkästen sowie
- verunreinigte Arbeitsmittel.

Bei der SMC-Verarbeitung treten folgende Emissionsquellen auf:

- Zuschneidemaschine bzw. -tisch,
- Abziehen der Trägerfolie sowie
- Abfälle.

4.3 Historie der Maßnahmen zur Emissionsreduzierung bei der Halbzeugfertigung

Die Halbzeugfertigung wurde 1986/87 als genehmigungsbedürftige Anlage errichtet. Zum damaligen Zeitpunkt wurde eine Abluftanlage mit einer Nennleistung von 10 000 m³/h mit anschließender Abluftreinigung betrieben (siehe Abbildung 4, Seite 43).

Veränderungen im Laufe der Jahre durch Maschinenumstellungen, Erweiterungen sowie den Wechsel der eingesetzten Reinigungsmittel erforderten eine Neukonzeption sowohl der Abluftanlage als auch der Abluftreinigung.



Abbildung 4:
Abluftanlage mit einer
Nennleistung von 10 000 m³/h

4.3.1 Neukonzeption der Abluftanlage

Zunächst wurde eine Bilanzierung der benötigten Absaugkapazität durchgeführt. Die Absaugstränge wurden dabei in die zwei Prozessschritte Materialvorbereitung und SMC-Herstellung aufgeteilt. Bei der SMC-Herstellung wurde in eine Filteranlage mit einem Volumenstrom von 15 000 m³/h investiert. Bei der Materialvorbereitung wurde basierend auf der bestehenden Anlage die gemessene Realleistung von 6 000 m³/h auf eine Nennleistung von 10 000 m³/h erhöht. Somit steht ein Gesamtabsaugvolumenstrom von 25 000 m³/h zur Verfügung (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5:
Neukonzipierte Abluftanlage



4.3.2 Rohrleitungen

Im Rahmen der Neukonzeption der Abluftanlage erfolgte ein kompletter Rückbau der bestehenden Rohrleitungen. Neue Rohre wurden – angepasst an die neue Absaugleistung – installiert (siehe Abbildung 6). Dabei wurde hoher Wert auf die Einrichtung einer genügenden Anzahl von Revisionsöffnungen gelegt.



Abbildung 6:
Neuinstallation der Rohrleitungen

4.3.3 Abluftreinigungsverfahren

Der vergrößerte Abluftvolumenstrom muss entsprechend den Genehmigungsvorgaben gereinigt werden. Nach langer Abwägung entschied man sich für eine RTO(Regenerativ Thermische Oxidations)-Anlage, da sie eine absolute Betriebssicherheit gewährleistet (siehe Abbildung 7).



Abbildung 7:
Dreikammer-RTO-Anlage



Nebeneffekt dieser Entscheidung war, dass im Betrieb intensiv nach Styrolquellen zur Verbrennung gesucht wurde, um sich einer autothermen Reaktion anzunähern.

4.3.4 Optimierung der Erfassungselemente

Um die Styrolemissionen wirkungsvoll zu erfassen, wurde eine lufttechnische Ist-Aufnahme durchgeführt. Durch die Investition in ROM-Drall®-Hauben an den Rakelkästen (siehe Abbildung 8) wurde eine optimale Erfassung realisiert. Ebenso wurde die Absaugung an den Rührbottichen optimiert (siehe Abbildung 9, Seite 46). Auch kleine Emissionsquellen, wie z. B. Lagercontainer für gebrauchte Kleingebinde (siehe Abbildung 10, Seite 46) und Abfallbehälter, wurden berücksichtigt.

Abbildung 8:
ROM-Drall®-Hauben zur Erfassung von Emissionen an Rakelkästen





Abbildung 9:
Optimierte Erfassung
an den Rührbottichen



Abbildung 10:
Erfassung an Lagercontainern
für gebrauchte Kleingebinde



4.3.5 Weitere Ausbaustufe

In einer weiteren Ausbaustufe ist eine Zuluftanlage mit einer Leistung von 30 000 m³/h geplant. Bei der Neuverrohrung der Zuluft soll das System der Schichtlüftung realisiert werden. Im Zuge dieses Projekts wird auch die Wärmerückgewinnung aus der Abluftreinigung realisiert.

4.4 Emissionsquellen bei der Formteilerfertigung

Wie bereits erwähnt, treten auch bei der Formteilerstellung Emissionsquellen auf. Um die Emissionen zu verringern, sind zunächst die Lagermengen an den Arbeitsplätzen gering zu halten. Die styroldichte Verpackung sollte nach der Entnahme aus den Transportbehältern sofort wieder verschlossen werden.



In der Zuschnittfertigung ist nach Möglichkeit die Variante einer zentralen Zuschneide-
rei mit technischer Be- und Entlüftung dem manuellen Zuschnitt an jedem Pressen-
arbeitsplatz vorzuziehen.

Auch beim Abziehen der Trägerfolie entstehen Emissionen, die mit technischer Be- und
Entlüftung beseitigt werden müssen. Vor einigen Jahren wurden daher Zuluftdrallaus-
lässe im Deckenbereich und Absaugwände hinter den Zuschneidetischen installiert
(siehe Abbildungen 11 und 12).



Abbildung 11:
Zuluftdrallauslässe im Deckenbereich



Abbildung 12:
Absaugwand hinter einem
Zuschneidetisch

Diese technische Lösung bringt zwar den gewünschten Erfolg, stellt aber nicht mehr
den Stand der Technik dar, da zwischenzeitlich die Zuluft im bodennahen Bereich
installiert wird. Bei Messungen mit direkt anzeigenden Geräten sind Schwachpunkte
immer dann erkennbar, wenn Verwirbelungen durch Staplerverkehr bzw. die Pressen-
bewegung stattfinden oder thermische Einflüsse die Luftströmung beeinflussen.



Wesentlich drastischer sind vagabundierende Emissionen, ausgehend von Abfällen. Hier ist die Verwendung von möglichst selbstschließenden Abfallbehältern für Harzmattenabfälle und abgezogene Trägerfolie anzustreben.

Beim Pressvorgang selbst sind aufgrund der starken thermischen Einflüsse durch die Pressformtemperatur von ca. 150 °C keine arbeitsschutzrelevanten Emissionen zu finden. Mit den vorgenannten Maßnahmen lassen sich Belastungen am Arbeitsplatz bis auf einen Bewertungsindex für Styrol von 0,12 bis 0,15 reduzieren.



5 Branchenregelung Säureschutzbau

Elfi Teich,
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, Frankfurt am Main

5.1 Einführung

Säureschutzbetriebe sind bei den unterschiedlichsten Berufsgenossenschaften (BG) versichert, z. B.

- BG der keramischen und Glas-Industrie
 - DSB Säurebau GmbH
 - Leipziger Säurebau GmbH
 - Steuler Industrieller Korrosionsschutz GmbH
- BG der Bauwirtschaft (BG BAU)
 - KCH Group GmbH
 - Reko-Remscheider Korrosionsschutz GmbH
 - SKO Säureschutz und Kunststoffbau GmbH
- BG Chemie
 - Tip Top Oberflächenschutz Elbe GmbH (Stahlgruber)
- Großhandels- und Lagerei-BG
 - K & W GbmH

Die Mehrzahl der Betriebe sind im Westerwald beheimatet und bei der BG der keramischen und Glas-Industrie bzw. bei der BG BAU versichert. Viele der kleineren Säureschutzbetriebe wurden von Mitarbeitern der großen Betriebe gegründet. Aufgrund der jeweiligen Firmensitze verteilt sich die Zuständigkeit auch auf verschiedene Bundesländer; im Wesentlichen ist jedoch Rheinland-Pfalz betroffen. Die Baustellen der Säureschutzbetriebe sind über ganz Deutschland verstreut und darüber hinaus auch weltweit zu finden.



Die Branchenregelung Säureschutzbau [1] wurde im Wesentlichen von Vertretern der Westerwälder Säureschutzbaubetriebe, der BG der keramischen und Glas-Industrie, der BG BAU sowie dem Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz erarbeitet.

Ziel der Branchenregelung ist eine umfassende Beschreibung der Arbeiten und der nötigen Maßnahmen auf Baustellen des Säureschutzbaus. Damit erhalten die Bau-firmen eine Sicherheit dafür, wie sie arbeiten können. Die Aufsichtsgremien können anhand der Branchenregelung vor Ort überprüfen, ob die Beschäftigten ausreichend geschützt sind. Die Auftraggeber haben die Möglichkeit, sich bei Ausschreibungen und später auf den Baustellen an der optimalen Vorgehensweise zu orientieren. Aus diesen Anforderungen ergibt sich der gegenwärtige Inhalt der Branchenregelung:

- Vorwort
- Einleitung
- Tätigkeitsprofil eines Säureschutzbaumonteurs
- Pflichten des Arbeitsgebers
- Pflichten der Beschäftigten
- Verantwortung des Auftraggebers
- Anhänge
 - Produkte und Produktgruppen im Säureschutzbau
 - Umgangsregelungen für phenol-, furan- und styrolhaltige Reaktionsharze
 - Hautschutz
 - Schutzhandschuhe
 - Fußschutz
 - Betriebsanweisungsentwürfe
 - Ausnahmegenehmigungen
 - Rücktransport von Gefahrgutgebinden zum Betriebssitz bzw. zur Entsorgung
 - Arbeitsmedizinische Vorsorge



Wesentliche Grundlage für die Branchenregelung Säureschutzbau sind die in diesem Bereich verwendeten Produkte:

- Epoxydharze (GISCODE),
- Furanharze,
- Gummierungschemikalien,
- Reinigungsmittel,
- Methylmethacrylat (MMA)-Beschichtungen (GISCODE, LASI/ALMA-Empfehlung),
- Phenolharze,
- Polyurethanharze (GISCODE),
- styrolhaltige Reaktionsharze (Vinylester-, Polyesterharze),
- Trennlacke.

Zu Trennlacken, Staub, Quarzstaub, Gummierungschemikalien und Reinigungsmitteln werden die Umgangsregeln noch erarbeitet.

Bereits Mitte der 1990er-Jahre hat der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) die hohen Expositionen beim Einsatz von styrolhaltigen Reaktionsharzen zur Kenntnis genommen. Da es nicht möglich ist, die Expositionen durch technische Schutzmaßnahmen abzusenken, stimmte der AGS dem gemeinsamen Vorschlag von Vertretern der Bau-Berufsgenossenschaft Frankfurt am Main sowie des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz zur Verwendung von gebläseunterstützten Atemschutzhauben zu.

In der LASI-Veröffentlichung „Beschichten von Industriefußböden und anderen großen Flächen in Innenräumen mit Methylmethacrylat (MMA)-Harzen“ (LV 19) [2] haben die Länder ähnlich hohe Expositionen von Methylmethacrylat bei entsprechenden Beschichtungsarbeiten beschrieben. Die zu diesen Produkten vorliegenden Expositions-



daten werden in einer Expositionsbeschreibung zur Tätigkeit der Säureschutzbaumonteur dargestellt und mit den weiteren Expositionsmessungen beim Einsatz von Säureschutzbaumonteur ergänzt.

In der Expositionsbeschreibung werden erstmals auch die Expositionen beim Einsatz von Furan- und Phenolharzen dargestellt. Auch hier sind die Expositionen, ähnlich wie bei allen anderen Arbeiten der Säureschutzbaumonteur, sehr hoch und nicht durch technische Maßnahmen in den Griff zu bekommen. Diese extreme Situation gemeinsam von Arbeitgebern, Arbeitnehmern und Arbeitsschutzbehörden zu beschreiben, ist eine der wesentlichen Leistungen der Branchenregelung Säureschutzbau. Diese Branchenregelung macht deutlich, dass es Arbeitsplätze gibt, an denen die Arbeitsplatzgrenzwerte regelmäßig überschritten werden, aber sie zeigt auch Lösungen auf, die Betriebe umsetzen können und den Beschäftigten zumutbar sind. Die Ergebnisse dieser gemeinsam beratenen und beschlossenen Maßnahmen werden letztendlich in den Betriebsanweisungsentwürfen der Branchenregelung Säureschutzbau dargestellt.

Auch zu Epoxydharzen und Polyurethanharzen gibt es entsprechende Vorarbeiten (GISCODE für Epoxydharze und Polyurethanharze).

5.2 Haut- und Handschutz für Säureschutzbaumonteur

Geplant ist, in der ersten Ausgabe der Branchenregelung ausschließlich Hautschutzprodukte der Fa. Stockhausen aufzuführen (siehe Abbildung 1, Seite 53), da die Säureschutzbaubetriebe ausschließlich Produkte dieser Firma einsetzen. Für die weiteren Ausgaben ist beabsichtigt, auch Produkte anderer Hersteller aufzunehmen.

Schutzhandschuhe werden in der Branchenregelung Säureschutzbau auf die jeweils eingesetzten Produkte konkret angegeben. Die Angabe der Fabrikate wurde gemeinsam mit den Säureschutzbaufirmen und den Schutzhandschuhherstellern erarbeitet.

Im Handschuhplan der Branchenregelung werden u. a. auch Handschuhe aufgeführt, die nur über einen Teil der Schicht einen wirksamen Schutz bieten. Damit gibt man sich keinesfalls mit einem unzureichenden Schutz zufrieden. Vielmehr wurde auf



diesem Wege eine optimale Lösung gefunden, die einerseits die Praxis auf den Baustellen berücksichtigt und andererseits ein wirtschaftliches Vorgehen ermöglicht.

Abbildung 1:
Auszug aus dem Hautschutzplan der Branchenregelung Säureschutzbau

Hautschutzplan			
Hautzustand/Anwendungsbereich	vor und während der Arbeit		nach der Arbeit
	Hautschutz	Hautreinigung	Hautpflege
bei Belastungen durch Harze und Kleber, Lösemittel, Isocyanate, Amine	Arretil		
beim Tragen von Schutzhandschuhen, Schutzkleidung, Schutzhüben zur Verminderung der Hauterweichung	STOKO Emulsion		
bei empfindlicher und strapazierter Haut (auch zur Ganzkörperreinigung)		Praecutan Plus	
bei Verschmutzungen durch Harze und Kleber		Slig Spezial	
bei normaler Haut			Stokolan
bei trockener Haut			Stoko Vitan

Bei Tätigkeiten mit Säureschutzbaumaterialien sind oft nur Butylhandschuhe über den gesamten Zeitraum einer Schicht beständig. Aufgrund ihrer Dicke stoßen diese Schutzhandschuhe jedoch auf Akzeptanzprobleme. Da die Handschuhe auf Baustellen im Säureschutzbau ohnehin zwei- bis dreimal pro Tag gewechselt (und entsorgt) werden, können auch Handschuhe, z. B. aus Nitril, verwendet werden, die nur über einen Zeitraum von zwei oder drei Stunden Schutz bieten. Diese Nitrilhandschuhe werden von den Monteuren akzeptiert und daher auch getragen. Selbstverständlich wird in den Betriebsanweisungen darauf hingewiesen, dass jeder Monteur pro Schicht frei über zwei bis drei Paar Handschuhe verfügen muss und ein Wechsel nach den entsprechenden Zeiten zu erfolgen hat (siehe Abbildung 2, Seite 54).

Nachdem durch die Handschuhhersteller Comasec, KCL und Rex Gummitechnik geeignete Handschuhe für die in Anhang 2 der Branchenregelung Säureschutzbau genannten Produktgruppen ermittelt wurden, erfolgte auf der Baustelle einer Säureschutzbaufirma eine Trageerprobung durch vier Beschäftigte, die Plattierungsarbeiten ausführten. Die geeigneten Handschuhe wurden von den Herstellern zur Verfügung



gestellt. Zunächst sichteten die Monteure die Handschuhe auf ihren ergonomischen Tragekomfort mit anschließender Auswahl für die weitere Tätigkeit. Bei der Trageerprobung fiel auf, dass die Monteure nur mit einem Handschuh arbeiten (siehe Abbildung 3). Die Hand, die die Kelle führt, wird nicht durch einen Handschuh geschützt.

Abbildung 2:
Auszug aus dem Handschuhplan der Branchenregelung Säureschutzbau

Handschuhplan						
Produktgruppe	Hersteller	Handschuhmaterial				
		Nitril	Nitril/Baumwolle	Neoprene	Neoprene/ Baumwolle	Butyl
Furanharze	Comasec	Comatril/S, velourisiert Schichtdicke: 0,425 mm Level 4 > 120 min	Fleximax 27 oder 35 Gesamtwandstärke: ca. 0,9 mm Level 4 > 120 min			Butyl Plus Schichtdicke: 0,3 oder 0,5 mm Level 6 > 480 min
	KCL	Camatril 729/730/732/733 Schichtdicke: 0,33 mm Level 2 > 30 min*	Tricatril 737/736 Gesamtwandstärke: 0,8 mm Level 2 > 30 min*	Camapren 720/722/726 Schichtdicke: 0,6 mm Level 6 > 240 min	Tricopren 723/725 Gesamtwandstärke: 0,8 mm Level 6 > 480 min	Butoject 897/898 Schichtdicke: 0,3 mm Level 6 > 480 min
		Dermatril 741/740/743 Schichtdicke: 0,2 mm Level 2 > 30 min*				
	MAIGOLD Ind.	G 26 G, velourisiert Schichtdicke: 0,43 mm Level 4 > 120 min	CR 30 Gesamtwandstärke: ca. 1 mm Level 4 > 120 min			
	Rex Gummetechnik					Erista BX Schichtdicke: 0,5 mm Level 6 > 480 min

* Praxistest am 22.09.2005



Abbildung 3:
Trageerprobung bei Plattierungsarbeiten

Die erste Trageerprobung zeigte, dass ein baumwollgefüllter Nitrilhandschuh bevorzugt wurde. Weitere Tests sind sowohl bei den Plattierungsarbeiten als auch bei anderen Tätigkeiten im Säureschutzbau notwendig.



5.3 Fußschutz

Bei den zuständigen Berufsgenossenschaften sind keine Hautprobleme an den Füßen von Säureschutzbaumonteurinnen bekannt. Es ist daher davon auszugehen, dass der bisher verwendete Fußschutz ausreichend vor den Säureschutzbau-Chemikalien schützt. Da vermutlich Anfang 2006 eine europäische Norm zu Chemikalienschutzschuhen in Kraft treten wird, ist zu vermuten, dass das Tragen von Gummistiefeln in dieser Branche verpflichtend wird.

Ähnlich wie das Tragen von feuchtigkeitsdichten Schutzhandschuhen stellt auch das Tragen von Gummistiefeln eine Belastung für die Beschäftigten dar. Es führt zur Aufweichung der Haut und kann vermehrte Hautprobleme zur Folge haben. Da einerseits bisher keine Hautprobleme aufgetreten sind und andererseits die Akzeptanz von Lederschutzschuhen im Gegensatz zu Gummistiefeln sowohl bei den Beschäftigten als auch bei den Arbeitgebern (aufgrund der Kosten) deutlich höher ist, wurde geprüft, inwieweit die im Säureschutzbau verwendeten Chemikalien das Schuhleder durchdringen.

Hierzu wurden unterschiedlichste Reaktionsharze auf den von den Firmen verwendeten Fußschutz, insbesondere auf die Nähte, aufgebracht. Nach dem Aushärten der Reaktionsharze wurde das Leder an den Auftragsstellen aufgeschnitten und die Eindringtiefe der Chemikalien geprüft. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass die Harze nach dem Aushärten sehr oft vom Leder absprangen und lediglich eine dünne Schicht an der Oberfläche leicht beschädigt wurde. Selbst an den Stellen, an denen die aufgetragenen Chemikalien in die Nähte eindringen konnten, härteten sie aus, bevor sie durchdringen konnten (siehe Abbildung 4, Seite 56).

Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis Fußschutz des Fachausschusses Persönliche Schutzausrüstungen (PSA) durchgeführt. Bisher wurden Schuhe der Firmen van Elten GmbH (Modell: Lutz) und STEITZ SECURA (Modell: Ohio Bau) getestet. Die Ergebnisse werden in der ersten Fassung der Branchenregelung Säureschutzbau veröffentlicht. Weitere Tests an verschiedenen Schuhen sind geplant.



Abbildung 4:
Untersuchung an Fußschutz



Die Schuhe können von den Monteuren nur dann getragen werden, wenn sie möglicherweise Kontakt mit Säureschutzbauchemikalien haben. Sind Arbeiten durchzuführen, bei denen permanenter Kontakt mit Flüssigkeiten (Säuren, Lösungsmittel usw.) besteht, bieten nur Chemikalienschutzschuhe entsprechend der vorgenannten Norm einen Schutz.

5.4 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Aufgrund ihrer Tätigkeiten u. a. mit Chemikalien sind Säureschutzbaumonteure nach zahlreichen Berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen zu untersuchen:

- G 1.1 „Mineralischer Staub: Teil 1: Quarzhaltiger Staub“ [3],
- G 23 „Obstruktive Atemwegserkrankung; hier: Atemwegsreizende (chemisch-irritative und chemisch-toxische) Arbeitsstoffe“ [4],
- G 24 „Hauterkrankungen“ [5],
- G 26 „Atemschutzgeräte“ [6],
- G 27 „Isocyanate“ [7],
- G 29 „Toluol, Xylol“ [8],
- G 45 „Styrol“ [9] sowie
- G 20 „Lärm“ [4].



Die Berufsgenossenschaftlichen Grundsätze sehen unterschiedliche Fristen für die Untersuchungsintervalle vor. Häufig beinhalten mehrere Grundsätze gleiche oder ähnliche Untersuchungsabschnitte. Die Branchenregelung Säureschutzbau sieht daher eine auf die Arbeiten des Säureschutzbaumonteurs abgestimmte arbeitsmedizinische Betreuung vor, die die notwendigen Untersuchungsinhalte der entsprechenden Grundsätze berücksichtigt. So werden Verdoppelungen vermieden und die Beschäftigten und Betriebe entlastet. Die Untersuchungstermine sind nicht länger davon abhängig, ob für irgendeinen Grundsatz eine Untersuchung notwendig ist, sondern hängen vom Gesamteindruck bei der Untersuchung des Säureschutzbaumonteurs ab.

5.5 Literatur

- [1] Branchenregelung Säureschutzbau. www.gisbau.de/service/saeure/saeureb.htm
- [2] LASI/ALMA-Empfehlung für verfahrens- und stoffspezifische Kriterien für die Arbeitsbereichsüberwachung: Beschichten von Industriefußböden und anderen großen Flächen in Innenräumen mit Methylmethacrylat (MMA)-Harzen (LV 19) (10.99). Hrsg.: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), 1999
- [3] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 1.1 „Mineralischer Staub, Teil 1: Quarzhaltiger Staub“ (BGI 504-1-1). Carl Heymanns, Köln 1998
- [4] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 23 „Obstruktive Atemwegserkrankungen“ hier: atemwegsreizende (chemisch-irritative und chemischtoxische) Arbeitsstoffe (BGI 504-23) (05.02). Carl Heymanns, Köln 2002
- [5] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz



- G 24 „Hauterkrankungen“, (mit Ausnahme von Hautkrebs) (BGI 504-24). Carl Heymanns, Köln 1998
- [6] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 26 „Atemschutzgeräte“ (BGI 504-26). Carl Heymanns, Köln 1998
- [7] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 27 „Isocyanate“ (BGI 504-27). Carl Heymanns, Köln 1998
- [8] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 29 „Toluol, Xylol“ (BGI 504-29). Carl Heymanns, Köln 1998
- [9] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 45 „Styrol“ (BGI 504-45). Carl Heymanns, Köln 1998
- [10] Berufsgenossenschaftliche Informationen: Auswahlkriterien für die spezielle arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 20 „Lärm“ (BGI 504-20). Carl Heymanns, Köln 1998



6 Abluftreinigung

Dieter Bryniok,
Fa. BioSolutions, Dußlingen

6.1 Einleitung

Die neue Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [1] und die 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (VOC-Verordnung) [2] erfordern die Installation von Abluftreinigungsanlagen auch bei vielen vorwiegend kleinen und mittleren Unternehmen und Handwerksbetrieben, die keine nach der früher geltenden Verordnung genehmigungspflichtige Anlage betreiben. Darunter fallen viele Styrol verarbeitende Betriebe, wie beispielsweise Verarbeiter von Polyesterharzen. Der Werkstoff Styrol stellt spezifische Anforderungen an eine Abluftreinigungsanlage, die einerseits die Auswahl geeigneter Abluftreinigungsverfahren erheblich einschränken, andererseits eine individuelle Betrachtung der spezifischen Rahmenbedingungen in jedem Einzelfall erfordern.

6.2 Eigenschaften von Styrol

Ursache für die speziellen Anforderungen an die Abluftanlage sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Styrol (Tabelle 1, siehe Seite 60), die auch die weite Verbreitung als Grundstoff in der industriellen Produktion begründen.

Insbesondere die schlechte Löslichkeit von Styrol in Wasser, das durch den Henry-Koeffizienten K_H beschriebene Gleichgewicht zwischen Konzentration in der Gasphase $c_{i, \text{Gasphase}}$ und Konzentration in Lösung $c_{i, \text{Lösung}}$

$$K_H = \frac{c_{i, \text{Gasphase}}}{c_{i, \text{Lösung}}}$$

und der sich daraus ableitende schlechte Stoffübergang aus der Gasphase in Wasser sind zu beachten.



Tabelle 1:
Physikalische und chemische Eigenschaften von Styrol nach [3; 4]

Chemische Formel	$C_6H_5-CH=CH_2$
Molare Masse	104,15 g/mol
Schmelzpunkt	-30,6 °C
Siedepunkt	145 °C (bei 1 013 mbar)
Dichte	905,9 kg/m ³ (bei 20 °C)
Dampfdruck	6,24 mbar (bei 20 °C)
Sättigungskonzentration	27 g/m ³ (bei 20 °C)
Löslichkeit in Wasser	320 mg/l (bei 20 °C)
Henry-Koeffizient	0,120 (bei 25 °C)
Explosionsgrenzen in Luft	1,1 bis 8 Vol.-%
Geruchsschwelle	0,2 bis 3,2 mg/m ³
Umrechnungsfaktor für Luftkonzentration	1 ppm entspricht 4,33 mg/m ³

Noch wichtiger ist allerdings die ausgeprägte chemische Reaktionsfähigkeit von Styrol. Unter Normalbedingungen reagiert Styrol mit Luftsauerstoff unter Bildung eines sehr reaktionsfähigen Epoxids (siehe Abbildung 1).

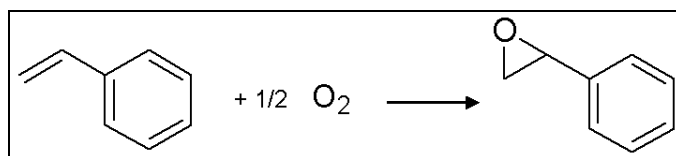


Abbildung 1:
Oxidation von Styrol

Darüber hinaus ist Styrol über sämtliche Polymerisationsmechanismen polymerisierbar. Unter dem Gesichtspunkt der Abluftreinigung sind vor allem die radikalische (siehe Abbildung 2, Seite 61), die kationische (siehe Abbildung 3, Seite 61) und die thermische Polymerisation zu beachten, da in Produktionsabluftströmen oftmals Bedingungen herrschen, die diese Mechanismen begünstigen.

In der Produktionsabluft können aufgrund dieser Reaktionsmechanismen unter geeigneten Bedingungen klebrige Aerosole gebildet werden, die unter Umständen zu erheblichen Störungen in Abluftleitungen, technischen Aggregaten und auch Abluftreinigungsanlagen führen.



Abbildung 2:
Radikalische Polymerisation von Styrol

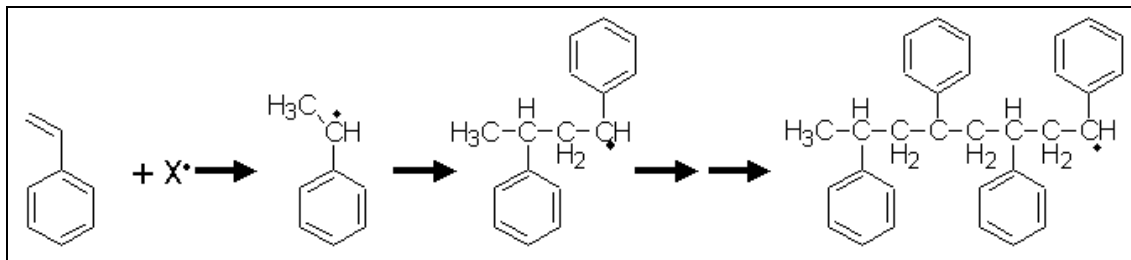
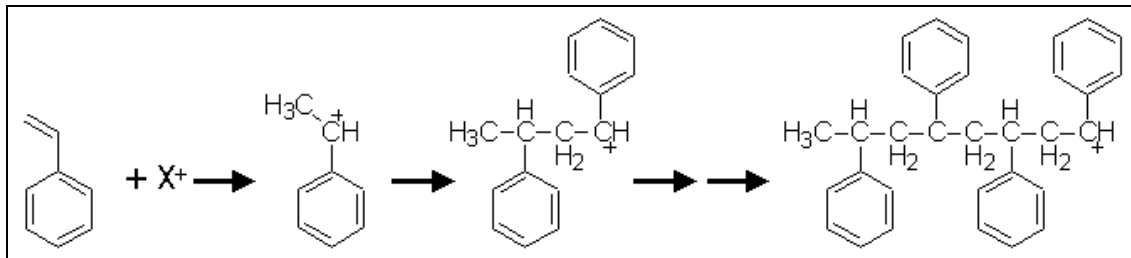


Abbildung 3:
Kationische Polymerisation von Styrol



6.3 Abluftreinigungsverfahren

Die nach dem derzeitigen Stand der Technik gebräuchlichen Abluftreinigungstechniken sind

- thermische Verfahren
 - thermische Nachverbrennung,
 - regenerative Nachverbrennung,
 - katalytische Nachverbrennung,
- biologische Verfahren
 - Biofilter,
 - Biowäscher,
 - Bio-Tricklingfilter,
- Plasma-Verfahren,
- Ultraviolett (UV)-/Ozon-Oxidation,



- Absorption,
- Adsorption,
- Kondensation.

Welches dieser Verfahrensprinzipien zur Anwendung kommen kann, muss sowohl aufgrund der Eigenschaften von Styrol, wie

- Polymerisation durch Sauerstoff, UV-Strahlung, Temperatur,
- Bildung klebriger Aerosole,
- schlechte Wasserlöslichkeit,
- schlechter Stoffübergang,
- Zündfähigkeit.
- Wassergehalt,

der Eigenschaften und Zusammensetzung des Rohgases, z. B.

- Temperatur,
- Staub,
- Radikalbildner, Katalysatoren, Härter, Kopolymere etc.,
- Konzentrationsschwankungen,
- Volumenstrom,

als auch unter Berücksichtigung der individuellen örtlichen Rahmenbedingungen, wie

- erforderlicher Reinheitsgrad des Styrols für die Wiederverwertung,
- Bedarf an Strom, Dampf, Heißluft oder Stickstoff im Produktionsbetrieb,



- logistische Rahmenbedingungen,
- verfügbarer Platz

entschieden werden.

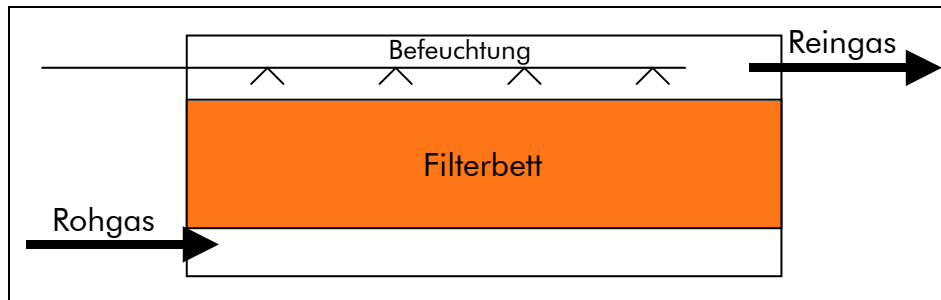
Aufgrund der schlechten Wasserlöslichkeit und des unbefriedigenden Stoffübergangs von Styrol aus der Gasphase in Wasser scheiden wässrige Absorptionsverfahren (Gaswäsche) von vornherein aus. Wegen der erheblichen Polymerisationsneigung sind alle Anlagen und Verfahren mit Schüttungen und Festbetten (katalytische Nachverbrennung, Biofilter, Adsorber) kritisch zu betrachten und nur in geeigneten Fällen nach individueller Prüfung aller Rahmenbedingungen anzuwenden. Nachfolgend werden zwei Techniken eingehender betrachtet, die sich hinsichtlich styrolbeladener Abluft noch im Entwicklungsstadium befinden und gute Perspektiven für ein breites Anwendungspotenzial aufweisen: der biologische Schadstoffabbau in einem Bio-Tricklingfilter und die Absorption mit hoch siedenden Lösemitteln.

6.4 Biologische Abluftreinigung

Gängige Biologische Abluftreinigungstechniken werden unterschieden in Biofilter, Biowäscher und Bio-Tricklingfilter oder Rieselbettreaktoren.

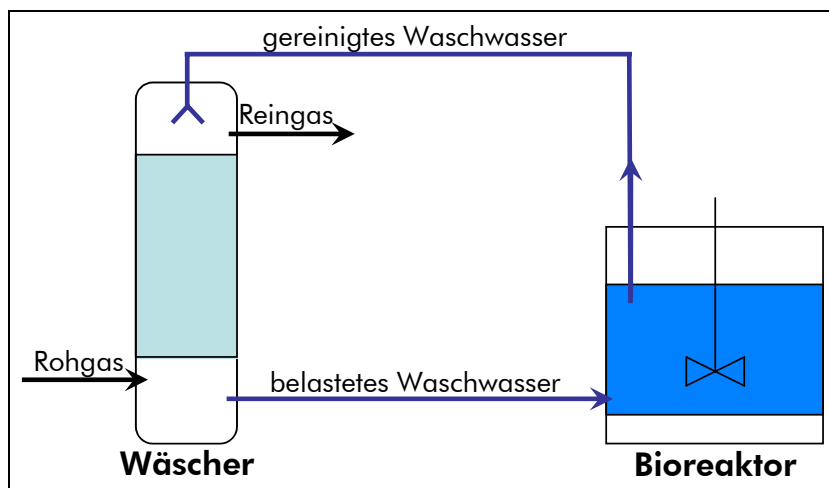
In einem Biofilter (siehe Abbildung 4, Seite 64) wird der beladene Abluftstrom durch ein Filterbett aus organischem Filtermaterial, wie Rindenmulch, Wurzelholz oder Kompost, geleitet. Das Material dient einerseits als Aufwuchsfläche für Mikroorganismen, die Schadstoffe abbauen und als Kohlenstoff- und Energiequelle nutzen, andererseits versorgt es die Mikroorganismen mit den notwendigen Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor etc. Man unterscheidet offene Flächenfilter, die speziell bei sehr großen Abluftströmen eingesetzt werden und einen erheblichen Flächenbedarf aufweisen, und geschlossene Filter in Containerbauweise, die leichter regulierbar sind und in der Regel bessere Wirkungsgrade zeigen. Bei Filtermaterialien mit sehr feinkörniger Schüttung und feinen Poren besteht die Gefahr der Verblockung.

Abbildung 4:
Schematische Darstellung eines Biofilters



Ein Biowäscher (siehe Abbildung 5) ist eine Kombination aus einem Gaswäscher und einer biologischen Reinigungsstufe, in der die Schadstoffe biologisch abgebaut und das Washwasser für eine Rückführung in den Wäscher regeneriert wird. Diese biologische Reinigungsstufe kann je nach Anwendungsfall ein kompakter Bioreaktor oder die Betriebskläranlage des Produktionsbetriebes sein. Für die Behandlung styrol-belasteter Abluft scheidet der Biowäscher wegen der schlechten Wasserlöslichkeit von Styrol aus.

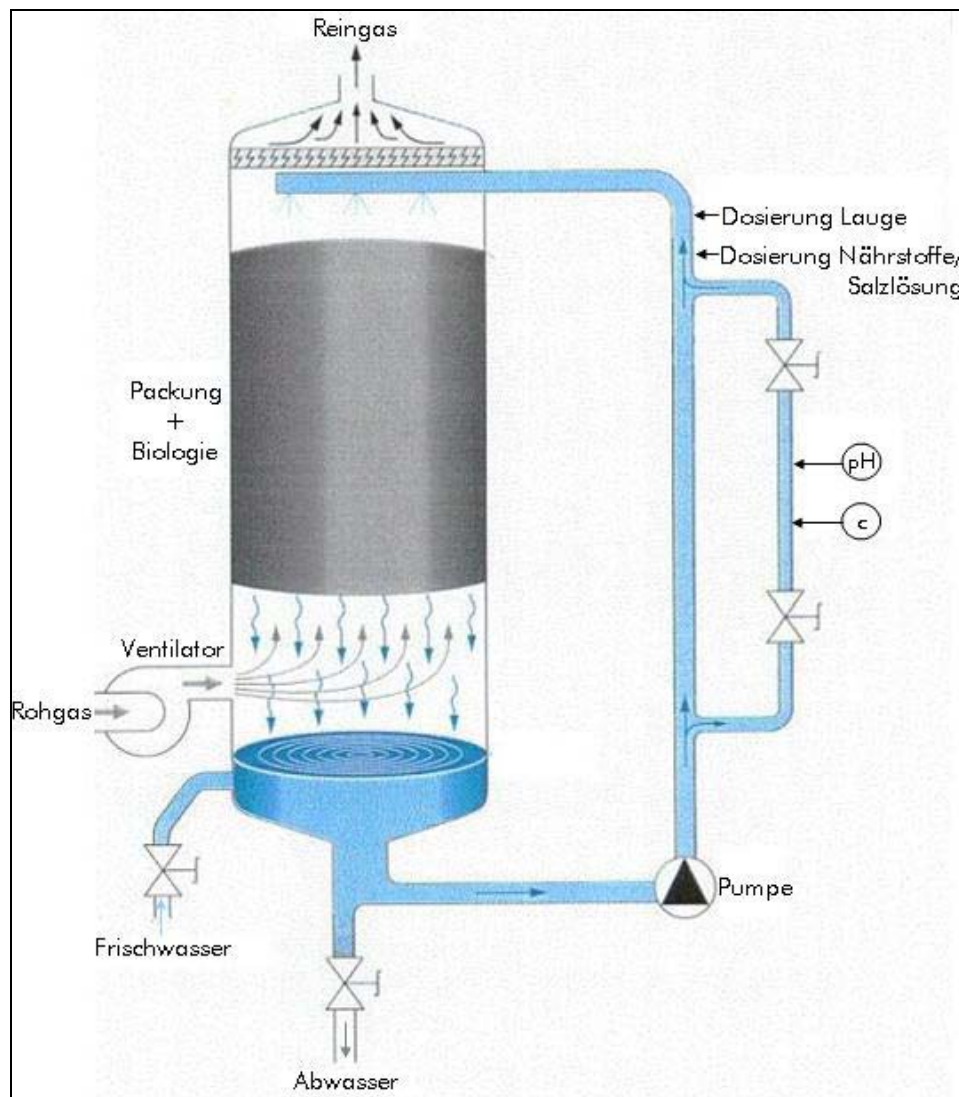
Abbildung 5:
Schematische Darstellung eines Biowäschers



Ein Bio-Tricklingfilter oder auch Rieselbettreaktor (siehe Abbildung 6, Seite 65) vereinigt die Vorteile eines Biofilters mit denen eines Biowäschers. Der Wasserkreislauf des Biowäschers ist im Rieselbettreaktor in einem Aggregat vereinigt. Der biologische Abbau findet bereits im Wäscher statt. Als Aufwuchsträger dienen anorganische

Materialien wie Kunststoff- oder Keramikfüllkörper. Da Styrol nur von wachsenden Bakterienkulturen, d. h. sich vermehrenden Bakterien, abgebaut wird, besteht die Gefahr einer Verblockung des Filters bei zu engen Poren oder freien Zwischenräumen.

Abbildung 6:
Schema eines Bio-Tricklingfilters oder Rieselbettreaktors



Am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) in Stuttgart wurde der Styrolabbau in einem Bio-Tricklingfilter mit einem Reaktorvolumen von 30 Litern und einem Textilmaterial aus Polyamid als Aufwuchsträger für die Styrol abbauenden Bakterien eingehend untersucht. In der Versuchsanlage (Abbildungen 7 und 8, Seite 66) wird Pressluft durch einen gekühlten und lichtundurchlässigen



Stripper mit Styrol geleitet und mit styrolfreier Pressluft gemischt. Auf diese Weise sind sowohl die Styrolkonzentration als auch der Volumenstrom variierbar. Die pH-Regulierung und die Nährstoffzufuhr erfolgen über ein Mischgefäß, das in den Flüssigkeitskreislauf integriert ist. Die Styrolkonzentrationen in Rohgas und Reingas werden online über einen Flammenionisationsdetektor (FID) oder einen Gaschromatografen (GC) mit integriertem FID gemessen, um einen breiten Messbereich zu erfassen. Die Probenahmestellen liegen im Sumpfraum des Reaktors und in der Reingasableitung.

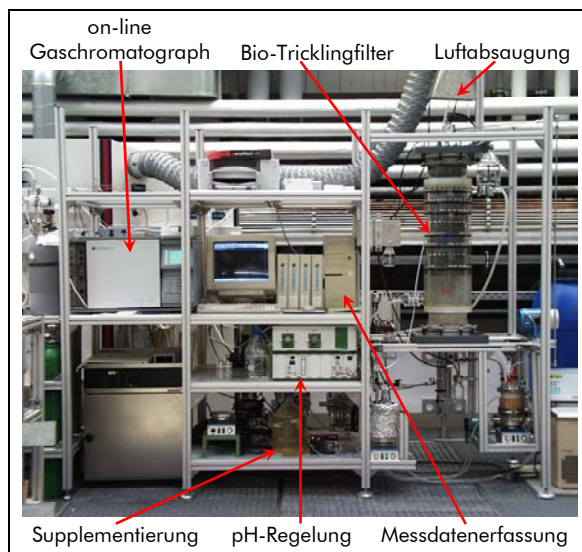


Abbildung 7:
Bio-Tricklingfilter – Versuchsanlage
am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik

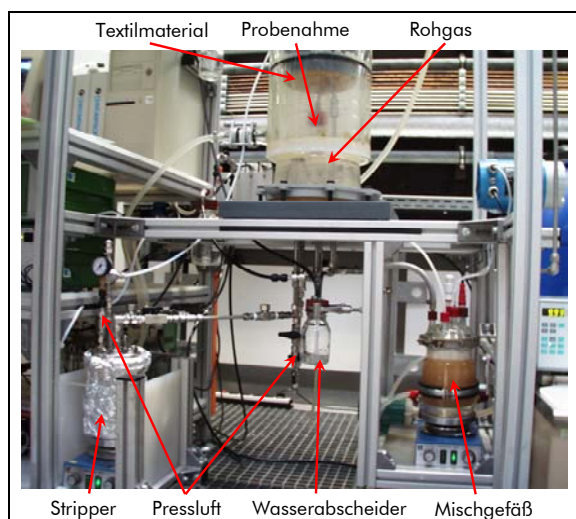


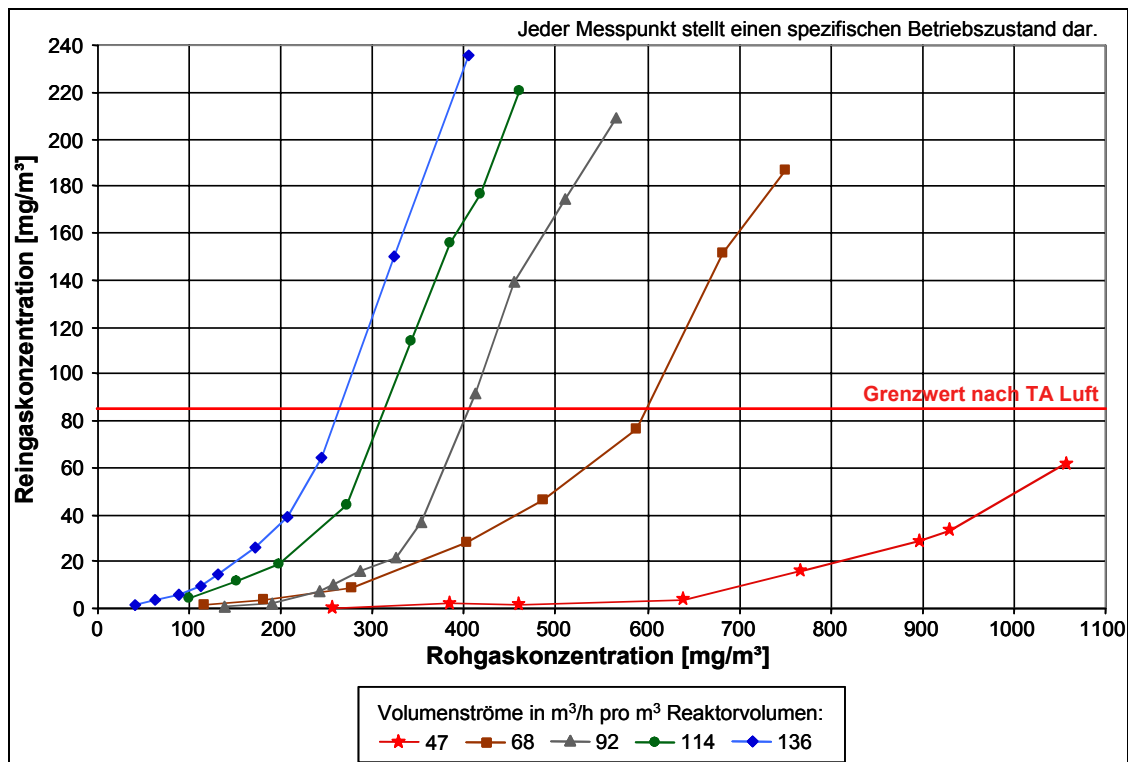
Abbildung 8:
Probenahme und Rohgaszufuhr
der Versuchsanlage

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 9 (siehe Seite 67) dargestellt. Wie zu erwarten war, stieg die Styrolkonzentration im Reingas in Abhängigkeit von der



Konzentration im Rohgas an, wobei der Anstieg bei hohen Filtervolumenbelastungen signifikant steiler war.

Abbildung 9:
Abhängigkeit der Styrolkonzentration im Reingas von der Rohgaskonzentration bei verschiedenen Filtervolumenbelastungen



Werden die Styrolkonzentrationen im Reingas gegen die spezifischen Filterbelastungen, also die Styrolfracht im Rohgas bezogen auf das Filtervolumen dargestellt, ist der Unterschied bei hohen Filtervolumenbelastungen deutlich geringer (siehe Abbildung 10, Seite 68).

Mit diesen Messkurven ist es möglich, einen Bio-Tricklingfilter grob zu dimensionieren und einen Pilotversuch für den realen Abluftstrom auszulegen. Der Filter wird dazu über einen längeren Zeitraum mit intermittierender Berieselung betrieben. In Abbildung 11 (Seite 68) ist der Einfluss der Berieselung deutlich zu erkennen. Die Styrolkonzentration im Reingas steigt durch die erhöhte Feuchtigkeit während der Berieselungsintervalle steil an und nimmt während der berieselungsfreien Zeit wieder ab.



Abbildung 10:
Styrolkonzentration im Reingas in Abhängigkeit von der spezifischen Filterbelastung (Styrolfracht in g/m^3 Filtervolumen) bei verschiedenen Filtervolumenbelastungen

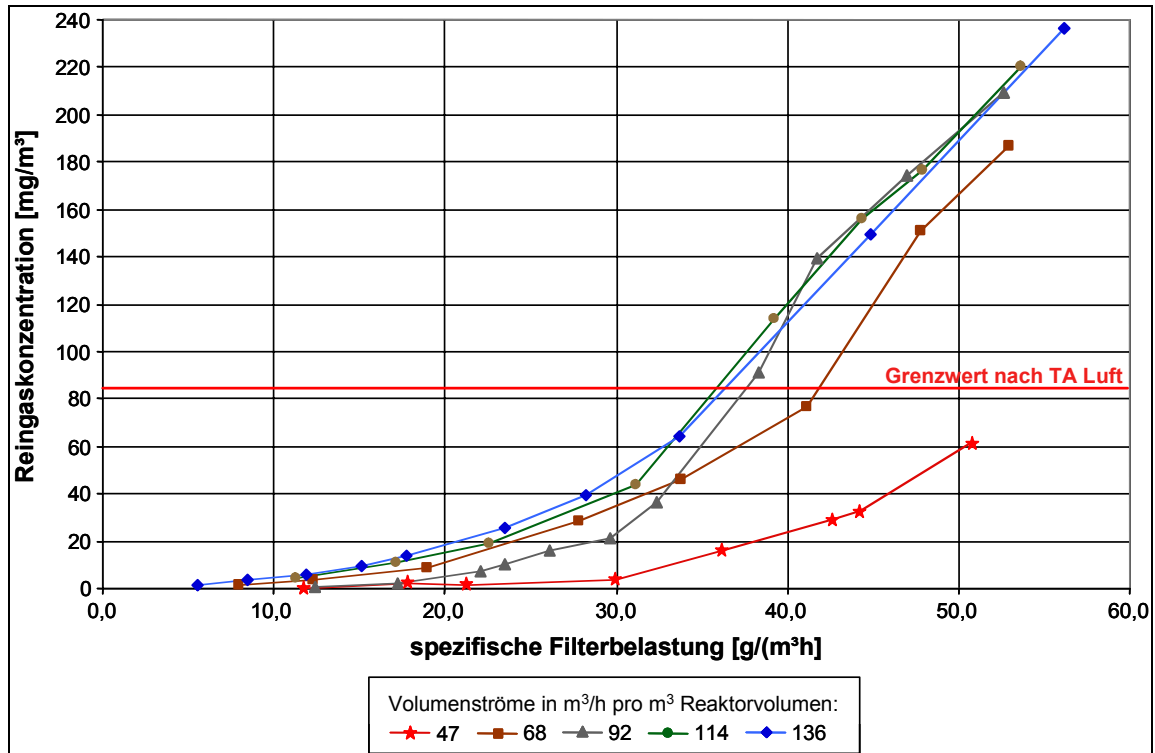
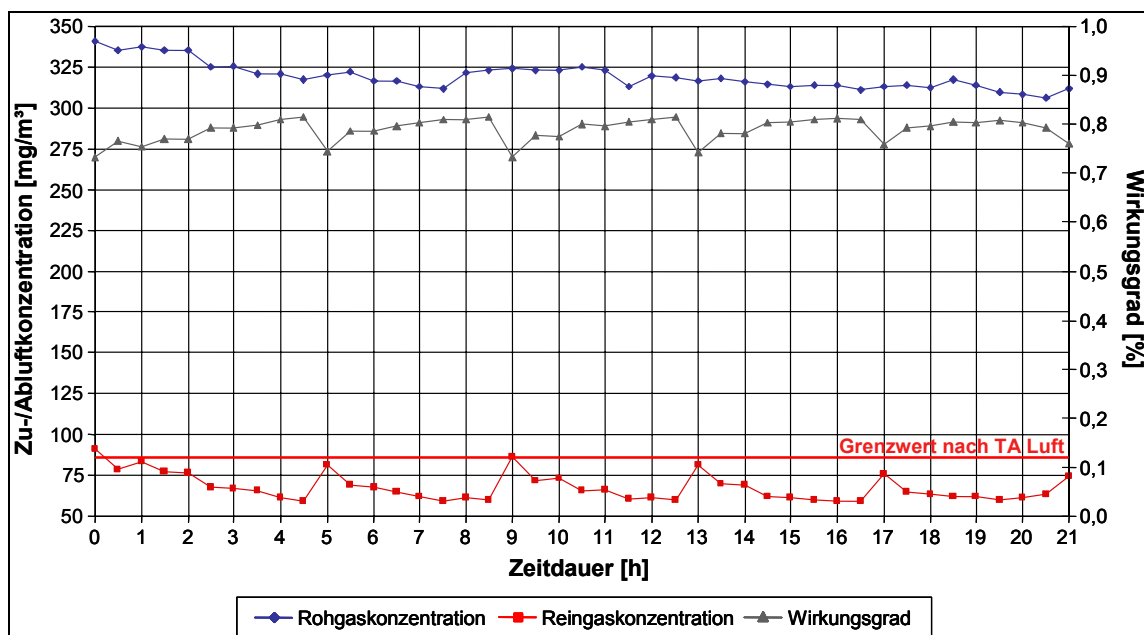


Abbildung 11:
Betrieb des Bio-Tricklingfilters mit intermittierender Berieselung





Da Styrol nur von wachsenden Bakterienkulturen abgebaut wird, muss der Filter über das umlaufende Wasser mit Nährstoffen versorgt werden. Das führt einerseits zu einem wesentlich besseren spezifischen Wirkungsgrad als bei einem Biofilter, andererseits zu einer sehr starken Biomasseproduktion (siehe Abbildung 12). Bei dichten Packungen kann dies zu einer Verstopfung des Filters führen, weshalb ein ausreichend großer Gasraum oder eine Möglichkeit zur Abreinigung des Filters vorgesehen werden muss.

Abbildung 12:

Textilmaterial aus Polyamid, (a) vor und (b) nach der Versuchsreihe; das Material selbst wird nicht biologisch abgebaut und dient als Träger für den Aufwuchs von Mikroorganismen

(a)



(b)



6.5 Abluftreinigung durch Hochsiederwäsche und Styrolrückgewinnung

In Styrol verarbeitenden Betrieben ist Styrol ein wesentlicher Rohstoff für die Produktion. Styrol, das über die Abluft ausgetragen wird, geht daher bereits über den Beschaffungspreis als Verlust in die Kostenrechnung ein. Aus diesem Grund ist eine Rückführung von Styrol aus der Abluft in die Produktion grundsätzlich zu erwägen.

Eine Rückgewinnung direkt aus dem Abluftstrom durch Kondensation wird in aller Regel an den niedrigen Styrolkonzentrationen und an Begleitkontaminationen in der Abluft scheitern. Für eine Rückgewinnung ist daher ist eine selektive Aufkonzentrierung



von Styrol erforderlich. Dafür stehen Adsorption und Absorption als eingeführte Techniken zur Verfügung.

Bisher durchgeführte Versuche zur Styrolrückgewinnung durch Adsorption und Desorption scheiterten an der mangelnden Qualität des zurückgewonnenen Styrols und an den geringen Standzeiten der verwendeten Adsorptionsmittel.

Die Absorption oder Abluftwäsche ist eine seit langem eingeführte und routinemäßig verwendete Technik zur Überführung von Stoffen aus der Luft in Flüssigkeiten. Als Waschmedium wird meist Wasser verwendet. Bei wasserunlöslichen Stoffen wie Styrol müssen hoch siedende hydrophobe oder amphotere Flüssigkeiten, so genannte „Hochsieder“, verwendet werden. Man spricht daher auch von „Hochsiederwäsche“. Deren wesentliche Vorteile sind:

- Die Abgasinhaltsstoffe werden aufkonzentriert, dadurch wird deren Rückgewinnung und Wiederverwertung möglich.
- Ist der Hochsieder preisgünstig, kommt auch eine energetische Verwertung in Betracht.
- Es handelt sich um eine ausgereifte, seit langem vielfach eingesetzte Technologie.
- Das erforderliche Apparatvolumen ist vergleichsweise gering.
- Die Investitionskosten sind vergleichsweise niedrig.

Die Auswahlkriterien für geeignete Hochsieder sind:

- hohes Absorptionsvermögen für Styrol,
- Preis,
- Verfügbarkeit,
- hoher Siedepunkt,
- niedriger Dampfdruck sowie
- Oxidationsstabilität.



Bisher werden für die Hochsiederwäsche hoch siedende Mineralöle oder synthetische Verbindungen auf Glykoetherbasis eingesetzt. Eine neue kostengünstige Alternative, die bisher nur in Laborversuchen getestet wurde, stellt Rapsmethylester (RME, Biodiesel) dar. In Laborversuchen an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mit RME und durch Simulationsrechnungen, die BioSolutions für Methyloleat (MO), den Hauptbestandteil von RME, sowie verschiedene typische Abluftinhaltsstoffen durchgeführt hat, wurde gezeigt, dass RME bzw. Methyloleat hervorragend geeignet ist, um unpolare Verbindungen wie Aromaten, Alkane und Ether aus der Abluft zu entfernen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2:
Aktivitätskoeffizienten für verschiedene Abluftinhaltsstoffe
und hoch siedende Waschmedien

Lösemittel	RME ¹	MO ²	DEG-DBE ³	PEG-DME ⁴	TEG-DME ⁵
Toluol	1,076	0,657	1,459		
Ethylacetat	1,044	0,794	0,827		
Heptan	1,525	0,831			4,111
Octan	1,837	0,902			
Butanol	2,904		3,155		
Methanol	3,436	3,925			0,853
Ethanol	4,122	3,936		0,341	

- ¹ RME: Rapsmethylester
² MO: Methyloleat
³ DEG-DBE: Diethylenglykoldibutylether
⁴ PEG-DME: Polyethylenglykoldimethylether
⁵ TEG-DME: Tetraethylenglykoldimethylether

Je niedriger der Aktivitätskoeffizient einer Kombination von Verbindungen ist, desto besser ist das entsprechende Waschmedium geeignet, die betreffende Verbindung aus Luft zu absorbieren. Die Daten für Rapsmethylester wurden experimentell bestimmt [5] und für alle anderen Hochsieder einschließlich Methyloleat durch Simulationsrechnungen ermittelt. Die Werte für Styrol sind aufgrund der Strukturähnlichkeit mit denen von Toluol vergleichbar.

Neben den hervorragenden Eigenschaften als Absorptionsmittel für unpolare Verbindungen ist vor allem der vergleichsweise niedrige Preis, der mindestens um den



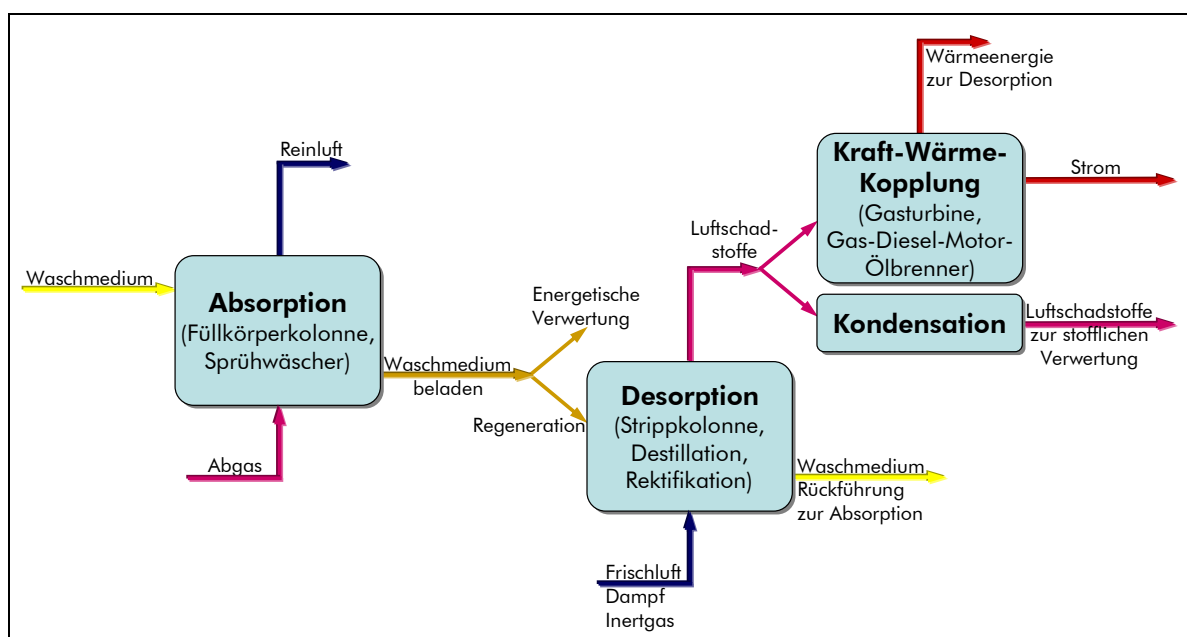
Faktor sieben unter dem Preis der üblicherweise verwendeten Hochsieder liegt, ein entscheidender Vorteil gegenüber herkömmlichen Hochsiedern.

Bei den derzeitigen Heizölpreisen kommt daher sogar die energetische Verwertung von beladenem Rapsmethylester anstelle von Heizöl zur Bereitstellung von Wärmeenergie oder in einem Blockheizkraftwerk in Betracht. Bei der Verstromung im Blockheizkraftwerk ist eine Einspeisevergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) [6] möglich, da es sich bei Rapsmethylester um einen regenerativen Energieträger handelt. Der Heizwert von Rapsmethylester entspricht in etwa dem von Heizöl, wobei RME emissionsärmer verbrennt und die Ökobilanz deutlich positiver ist.

Gegenüber anderen Hochsiedern zeichnet sich RME vor allem durch seinen extrem niedrigen Dampfdruck aus sowie durch die Tatsache, dass eine Umweltgefährdung durch RME praktisch auszuschließen ist.

Eine Prinzipskizze aller Verfahrensvarianten der Abluftwäsche mit RME ist in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13:
Prinzipskizze der Abluftwäsche mit Rapsmethylester (RME)
mit allen Verfahrensvarianten





Das Rohgas wird in einem Wäscher gereinigt, wobei die wasserunlöslichen Abluftinhaltsstoffe im RME aufgenommen werden. Der beladene RME kann entweder direkt einer energetischen Verwertung zugeführt oder durch Strippung mit Luft oder Inertgas bzw. durch Dampfstrippung regeneriert werden. Dabei werden die Abluftinhaltsstoffe wieder in die Gasphase überführt. Durch Absorption und Desorption können diese Stoffe um den Faktor zehn oder mehr aufkonzentriert werden. Durch diese Konzentrationserhöhung können die Stoffe, in diesem Fall Styrol, autotherm verbrannt werden, z. B. in einem Blockheizkraftwerk, oder durch Kühlung des Strippgases auskondensiert und in die Produktion zurückgeführt werden.

In den Tabellen 3 und 4 (siehe Seite 74) sind beispielhafte Kostenrechnungen für einen styrolhaltigen Produktionsabluftstrom mit einer Styrolkonzentration von circa 350 mg/m^3 aufgeführt. Die Kostenrechnung wurde im Jahr 2002 auf der Basis damals gültiger Preise durchgeführt. Für dieses konkrete Beispiel ergaben sich Nettogesamtkosten von 45 bzw. 55 Cent pro $1\,000 \text{ m}^3$ Abluft.

Tabelle 3:
Kostenrechnung zur Reinigung styrolhaltiger Abluft (350 mg/m^3)
mit Rückgewinnung von Styrol (alle Angaben in €/1 000 m^3)

Kosten	
Verbrauch Waschmedium inklusive Dampferzeugung	0,33
Strom	0,04
Personalkosten	0,17
Verschleiß und Wartung	0,19
Summe der Betriebskosten	0,73
Abschreibung oder Kapitaldienst	0,32
Gesamtkosten	1,05
Einnahmen	
Verkauf von Styrol	0,50
Nettobetriebskosten	0,23
Nettogesamtkosten	0,55



Tabelle 4:

Kostenrechnung zur Reinigung styrolhaltiger Abluft (350 mg/m^3) mit energetischer Verwertung von styrolbeladenem Rapsmethylester (alle Angaben in €/1 000 m^3)

Kosten	
Verbrauch Waschmedium inklusive Dampferzeugung	0,14
Strom	0,03
Personalkosten	0,19
Verschleiß und Wartung	0,21
Summe der Betriebskosten	0,57
Abschreibung oder Kapitaldienst	0,39
Gesamtkosten	0,96
Einnahmen	
Verkauf von Styrol	0,51
Nettobetriebskosten	0,06
Nettobesamtkosten	0,45

Damit dürfte die Hochsiederwäsche nach Vollkostenrechnung neben der biologischen Abluftreinigung die günstigste Alternative zur Reinigung styrolhaltiger Abluft sein.

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei der Hochsiederwäsche mit RME um eine Methode, die noch nicht im technischen Maßstab angewendet wurde. Eine Reihe von Fragen muss im Rahmen von Entwicklungsprojekten geklärt werden.

In Labortests muss ermittelt werden, wie sich Lösemittelgemische als Abluftinhaltsstoffe bei der Wäsche mit RME verhalten und wie sich die Unterschiede verschiedener RME-Chargen auf die Absorption auswirken.

Eine kritische Eigenschaft von RME ist sein Eigengeruch, der sich negativ auf seine Anwendbarkeit zur Abluftbehandlung auswirken könnte. Im Zweifelsfall muss RME entsprechend vorbehandelt werden.

Für eine thermische Verwertung von beladenem RME müssen die erforderlichen Qualitätskriterien als Brennstoff gewährleistet werden können. Für das Recycling von



Styrol oder anderen Abluftinhaltsstoffen muss die erforderliche Qualität für die Produktion eingehalten werden können.

Vor allem muss die Technik in Praxisversuchen mit realen Abluftströmen in aussagekräftigem Maßstab erprobt werden.

6.6 Fazit

Nur wenige der gängigen Abluftreinigungsverfahren sind geeignet, um styrolhaltige Abluftströme zu reinigen. Eine sichere und zuverlässige Technik ist die thermische Nachverbrennung, die allerdings zu einer für kleine und mittlere Unternehmen unverträglich hohen Kostenbelastung führt, da neben den hohen Investitionskosten die Betriebskosten für die Stützfeuerungen kalkuliert werden müssen, die erforderlich ist, da die Styrolkonzentration in Abluftströmen in aller Regel für eine autotherme Verbrennung zu niedrig ist.

Alle anderen Techniken können erst angewendet werden, wenn sie für den individuellen Abluftstrom in einem Pilotversuch getestet wurden. Das ist nicht nur wegen der Stoffeigenschaften von Styrol erforderlich, sondern insbesondere auch wegen der in fast jedem Abluftstrom vorhandenen Begleitkontaminationen.

Bei den möglichen Alternativen handelt es sich um Biofilter, Bio-Tricklingfilter, UV-/Ozonoxidation und die Hochsiederwäsche mit thermischer Verwertung oder Rückgewinnung von Styrol. Welche dieser Techniken getestet werden sollte oder zum Einsatz kommen kann, hängt vom individuellen Abluftstrom, den Begleitkontaminationen und sonstigen örtlichen Rahmenbedingungen ab.

In jedem Fall muss vor der Detailplanung und Auslegung einer Abluftreinigungsanlage ein Pilotversuch durchgeführt werden, um die Anwendbarkeit der Technik zu prüfen und die erforderlichen Auslegungsdaten zu ermitteln.



6.7 Literatur

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 30. Juli 2002. GMBI. (2002) Nr. 25-29, S. 511-605
- [2] 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (31. BImSchV – Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – VOC-Verordnung) vom 21. August 2001. BGBl. I (2001) Nr. 44, S. 2180, geändert BGBl. I (2004), S. 3758
- [3] *Welzbacher, U.*: Neue Datenblätter für gefährliche Arbeitsstoffe nach der Gefahrstoffverordnung. In: Weka Praxishandbuch. Band 6. Lfg. XII/00. WEKA, Augsburg 1987 – Losebl.-Ausg.
- [4] *Rippen, G.*: Handbuch Umweltchemikalien. 2. Aufl. Band 8. 35. Lfg. VIII/96. ecomed, Landsberg/Lech 1987 – Losebl.-Ausg.
- [5] *Ulrich, J.*: Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg, persönliche Mitteilung
- [6] Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 21. Juli 2004. BGBl. I (2004), S. 1918, geänd. BGBl. I (2005), S. 1970



7 Abluftreinigung durch NTO-Technologie

Jürgen Markert,
Fa. Keller Lufttechnik, Kirchheim unter Teck

7.1 Problemstellung

Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen mit Ausnahme von Methan (NMVOC – Non Methane Volatile Organic Compounds) tragen entscheidend zu einer Reihe von nach wie vor bestehenden Luftreinhalteproblemen bei. In Zusammenwirkung mit Stickoxiden (NO_x) verursachen sie insbesondere hohe Ozonkonzentrationen in der Troposphäre. Des Weiteren weisen einzelne NMVOC (z. B. Phthalate, Glykole etc.) direkt gesundheitsschädigende Wirkungen auf.

Die NMVOC-Emissionen, die bei der Verwendung von Farben und Lacken in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) entstehen, machen neben Verkehrsemissionen und Emissionen aus Produktions- und Verbrennungsprozessen etwa 15 % der gesamten anthropogenen NMVOC-Emissionen in Deutschland aus. Davon entfallen neben den Emissionen aus der Lösemittelanwendung etwa 30 % auf Emissionen aus der Lackverarbeitung.

Zur Reduktion von NMVOC-Emissionen aus Lösemittelanwendungen wurde im März 1999 die so genannte VOC-Richtlinie (Richtlinie 1999/13/EG) [1] beschlossen. Sie regelt 21 Tätigkeitsbereiche aus verschiedenen Industriebereichen (siehe Tabelle 1, Seite 78), die flüchtige organische Verbindungen emittieren. Dabei werden detaillierte Anforderungen u. a. für das Drucken, die Oberflächenreinigung, chemische Reinigung, Beschichtung und Lackierung von Oberflächen, Herstellung von Farben, Lacken, Klebstoffen und Arzneimitteln sowie für die Kautschukumwandlung und für die Extraktion aufgestellt. Mit der Festlegung von Grenzwerten sowohl für die diffusen Emissionen als auch für die Gesamtemissionen relativ zur eingesetzten Lösemittelmenge werden die konzentrationsbezogenen Grenzwerte der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [2] für eine Vielzahl von Anlagen um maximal tolerierbare Gesamt-VOC-Emissionen ergänzt.



Tabelle 1:
Übersicht über Industriebereiche, die unter die VOC-Richtlinie fallen

Automobilindustrie
Druckindustrie
Pharmazeutische und chemische Industrie
Metallbearbeitung, Metallveredlung
Holzimprägnierung
Oberflächenreinigung
Lackier- und Beschichtungsanlagen
Kautschukverarbeitung
Geruchsbeseitigung aus der Abluft, z. B. Verarbeitung von Lebensmitteln, Tierfutter sowie Aufbereitungstechnologie

Die VOC-Richtlinie wurde in Deutschland im August 2001 durch die VOC-Verordnung (31. BImSchV) [3] umgesetzt. Das Umweltbundesamt schätzt, dass in Deutschland ungefähr 15 000 Betriebe unter Zugrundelegung der Schwellenwerte anzeigepflichtig werden und die Einhaltung der Anforderungen nachweisen müssen. Davon fallen nur etwa 1 000 Betriebe bereits unter die Verordnung für genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) [4]. Von der 31. BImSchV (Bundes-Immissionsschutzverordnung) sind Betriebe aus den Bereichen der Farb- und Lackanwendung, der Druckindustrie und der Oberflächenreinigung am meisten betroffen.

Bei der Umsetzung der VOC-Richtlinie können in vielen Betrieben erhebliche Emissionsminderungen bereits durch die Umsetzung von Primärmaßnahmen erreicht werden. Dies konnte durch zahlreiche in letzter Zeit abgeschlossene Untersuchungen belegt werden. Es gibt jedoch kaum Erfahrungen bzw. Untersuchungen über sekundäre Minderungsmaßnahmen in KMU.

Häufig ist eine erhebliche Fehlinterpretation bereits installierter Abluftreinigungsanlagen festzustellen. Die Frage der Berücksichtigung von (medienübergreifenden) Verlagerungseffekten in andere Umweltwirkungsbereiche, z. B. durch einen deutlich erhöhten Energieaufwand, ist für viele Anlagenkonzepte nicht beantwortet. Die bisher zur Verfügung stehenden Konzepte sind eher für große Industrieanlagen und hoch beladene



Abluftvolumenströme konzipiert, d. h. unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten und Aspekten des Klimaschutzes im Zusammenhang mit der Umsetzung der 31. BImSchV sind sie völlig ungeeignet.

7. 2 Stand des Wissens und der Technik

Die derzeit dominierenden Verfahren zur sekundärseitigen Reinigung lösemittelhaltiger Abluftströme sind

- regenerative thermische Oxidation,
- rekuperative thermische Oxidation,
- Adsorption,
- katalytische Oxidation sowie
- Absorption.

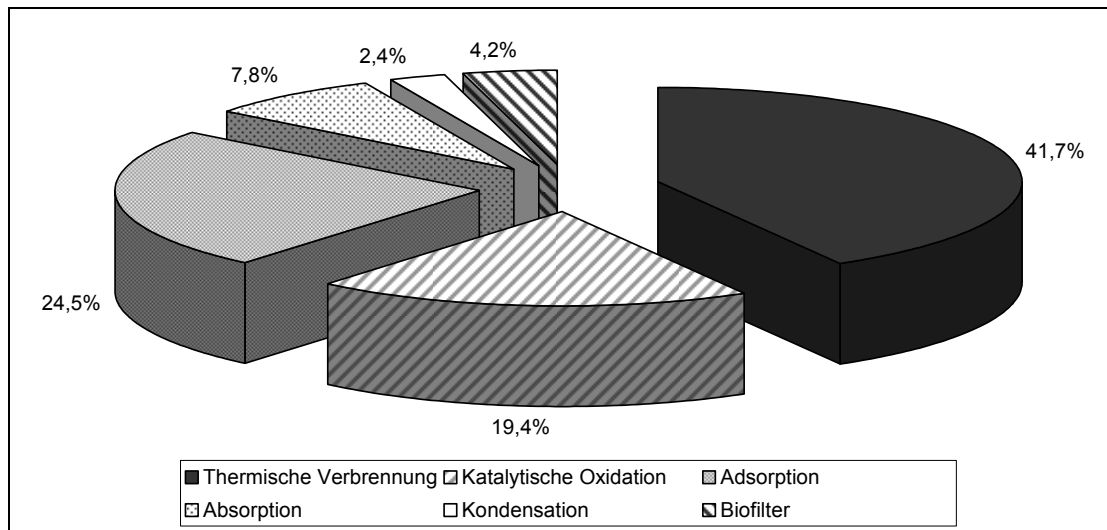
Kaum Anwendung finden Kondensation, biologische Abluftreinigung, sowie Fotooxidation und Non Thermal(NT)-Plasmatechnologie. Die wesentlichen ökonomischen und technologischen Vor- und Nachteile bisher angewandeter Abluftreinigungstechnologien sind für den jeweiligen Einzelfall zu bewerten.

Am weitesten verbreitet ist die thermische Abluftbehandlung (siehe Abbildung 1, Seite 80). Ihre Wirtschaftlichkeit ist dann gegeben, wenn zum einen die Anlage kontinuierlich betrieben wird, da das Aufheizen auf Betriebstemperatur sehr viel Energie erfordert, und wenn zum anderen die VOC-Konzentration im Abluftstrom hoch ist. Erst ab einer VOC-Konzentration von ca. 2 bis 7 g/m³ Luft liefern die brennbaren VOC so viel Energie, dass der Prozess autotherm verläuft. Unter diesen Bedingungen entfallen die Nachteile der thermischen Verfahren, nämlich der hohe Energiebedarf und die zusätzliche Emission von Verbrennungsabgasen. Ein Betrieb, bei dem kontinuierlich hoch VOC-belastete Abluft anfällt, sodass wenig oder gar keine Sekundärenergie zur Verbrennung eingesetzt werden muss, wird daher auch in Zukunft auf thermische Technologien setzen. Dies gilt vor allem für die großindustrielle Anwendung von



Lösemitteln, solange bis die VOC-Belastung der Abluft durch Primärmaßnahmen deutlich gemindert wird.

Abbildung 1:
Marktanteile verschiedener Abluftreinigungsverfahren



Im Gegensatz dazu sind thermische Verfahren wenig bis gar nicht geeignet, betroffenen KMU bei der Umsetzung der VOC-Richtlinie zu helfen. Bei teilweise sehr niedrig beladenen Teilströmen, u. a. durch den Einsatz von Wasserlacken und lösemittelarmen Systemen, diskontinuierlichem Anlagenbetrieb (siehe Abbildung 2, Seite 81) und schwankenden Betriebsbedingungen werden gerade in Lack verarbeitenden KMU hohe Anforderungen an angepasste Anlagenkonzepte gestellt (siehe Abbildung 3, Seite 81).

Durch Primärmaßnahmen sinkt die Belastung der Abluftströme so weit, dass thermische bzw. katalytische Oxidationsverfahren unwirtschaftlich werden, da die Betriebskosten umso mehr steigen, je weniger die Abluftreinigungsanlagen autotherm betrieben werden können. Andererseits sind die Investitionskosten sehr hoch. Andere Verfahren sind entweder nur für spezielle Problemlagen geeignet oder ihre Investitionskosten sind zu hoch.



Abbildung 2:
Verlauf der Lösemittelkonzentration in der Abluft eines Chemie-Batchbetriebs

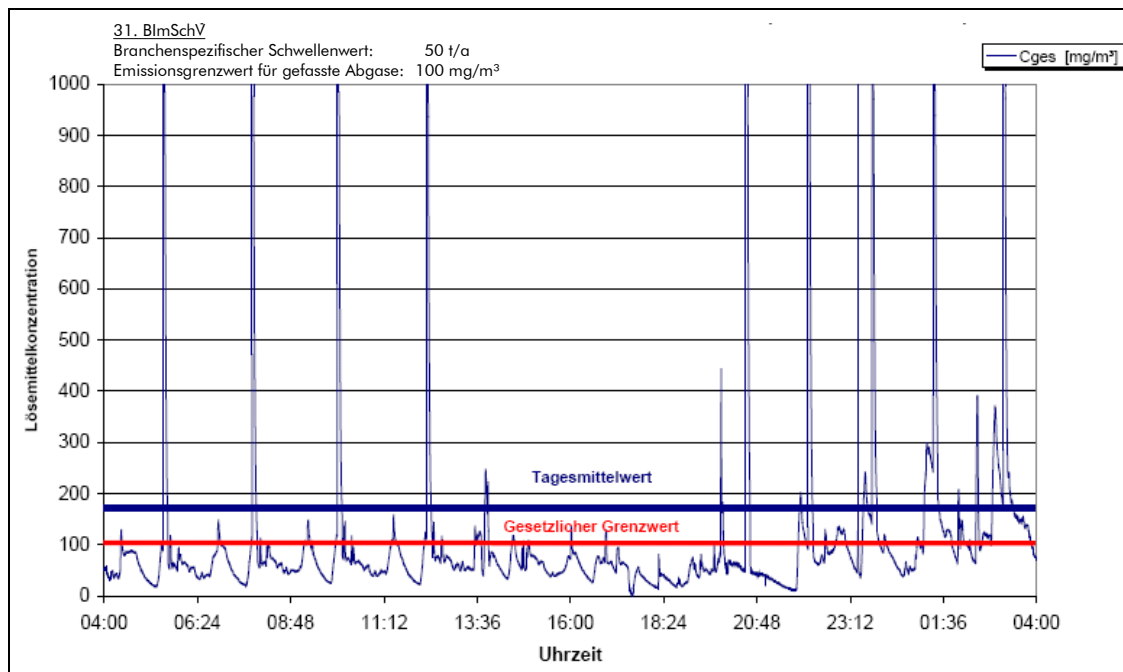
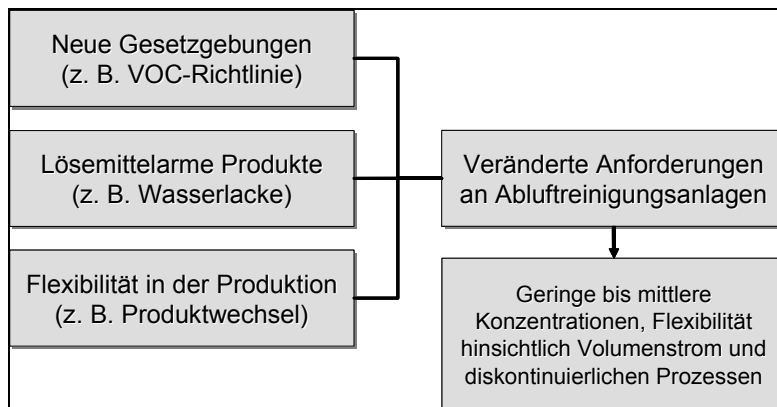


Abbildung 3:
Anforderungen an Abluftreinigungsanlagen



Sollen sich KMU daher auf die Implementierung von Primärmaßnahmen beschränken? Nein, denn für KMU zeigen sekundärseitige Minderungsmaßnahmen Vorteile. Angesichts der notwendigen flexiblen und diskontinuierlichen Arbeitsweise, u. a. aufgrund kurzfristig wechselnder Auftraggeber und deren Anforderungen, ist es oftmals unumgänglich, weiterhin lösemittelhaltige Produkte einzusetzen. Darüber hinaus ist es in vielen von der 31. BImSchV betroffenen Anwendungsbereichen so, dass die



geforderten Grenzwerte in Bezug auf die diffusen Emissionen nur durch deren Erfassung und anschließende sekundärseitige Behandlung eingehalten werden können. Diese Argumente erklären, warum das Vorhandensein einer kostengünstigen sekundärseitigen Möglichkeit zur Abluftreinigung sehr vorteilhaft und in vielen Fällen notwendig ist, um die 31. BImSchV erfüllen zu können.

7.3 NTO-Technologie

Kernkomponenten der Nicht-Thermischen-Oxidations(NTO)-Technologie sind die Adsorption, die Ozonisierung und die Fotolyse (siehe Abbildung 4).

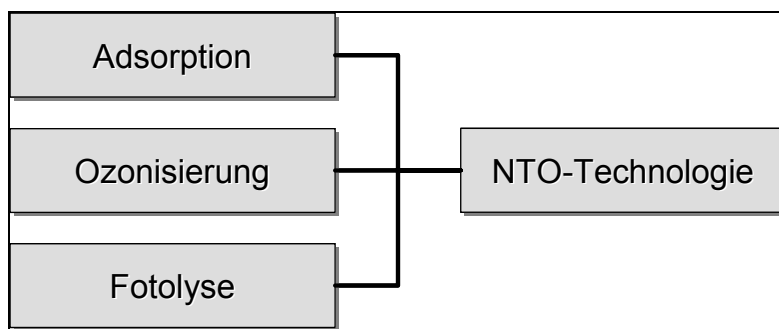
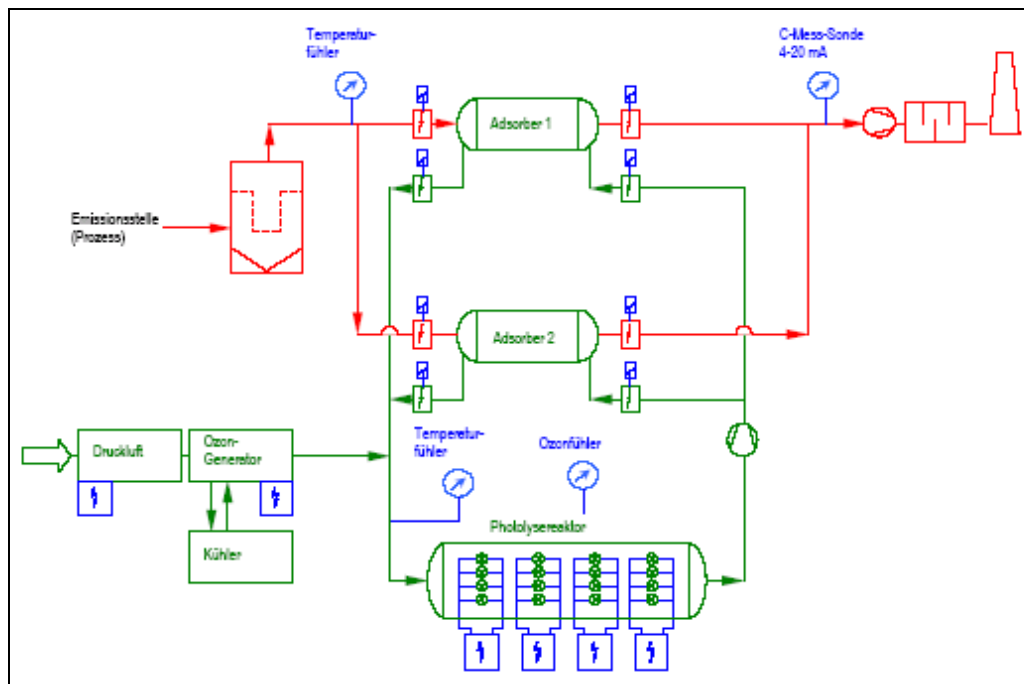


Abbildung 4:
Grundprinzip der
NTO-Technologie

Die alleinige Anwendung der Adsorptionstechnologie scheitert ab bestimmten Rohgaskonzentrationen oftmals an den zu hohen Wechselkosten für das Adsorbens (in der Regel Aktivkohle oder Zeolithe). Eine ausschließliche Ozonisierung der Abluft führt nur in Ausnahmefällen zum gewünschten Erfolg. Ozon alleine besitzt keine ausreichende Oxidationskraft, um die Lösemittelmoleküle vollständig zu Kohlendioxid und Wasser zu mineralisieren. Ebenso sind ausschließlich fotolytisch arbeitende Verfahren kritisch zu bewerten, da zahlreiche eingesetzte Lösemittel im verwendeten Wellenlängenbereich (meist UV-C-Bereich, d. h. von 100 bis 280 nm) keine hinreichende Absorption des Lichtes aufweisen.

Durch die Kombination von Ozonisierung und Fotolyse beim NTO-Verfahren (siehe Abbildung 5, Seite 83) wird unabhängig vom eingesetzten Lösemittel eine ausreichende Oxidationskraft erzielt. Die vorgeschaltete Stufe der Adsorption gewährleistet eine bestmögliche Energieeffizienz und schließt darüber hinaus Ozonemissionen in die Atmosphäre sicher aus.

Abbildung 5:
Schematische Darstellung des NTO-Verfahrens



Es werden zwei im Wechsel arbeitende Adsorptionsfilter (siehe Abbildung 6) eingesetzt, an deren Oberfläche sich die VOC-Moleküle anlagern. Die so gereinigte Abluft wird ins Freie geleitet. Während das eine Adsorptionsfilter tätig ist, wird das andere im Gegenstrom gereinigt. Der dabei entstehende VOC-haltige Luftstrom wird mit Ozon vermischt (siehe Abbildung 7) und gelangt in einen so genannten Fotolysereaktor.

Abbildung 6:
Adsorber



Abbildung 7:
Ozongenerator





Im Fotolysereaktor (siehe Abbildung 8) werden die VOC-Moleküle im Rahmen einer Gasphasenreaktion durch Ozon oxidiert. Diese Reaktion tritt – allerdings sehr viel langsamer – auch in der natürlichen Atmosphäre beim Abbau von VOC auf (siehe Abbildung 9). UV-Strahlung (siehe Abbildung 10) regt das Ozon an. Infolgedessen zerfällt es in Radikale, die mit der Luftfeuchtigkeit zu sehr reaktiven Hydroxyradikalen reagieren. Letztere starten den Abbau der organischen Verbindungen. Als Endprodukte werden Wasser (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) gebildet.



Abbildung 8:
Fotolysereaktor



Abbildung 9:
VOC-Abbau in der Atmosphäre

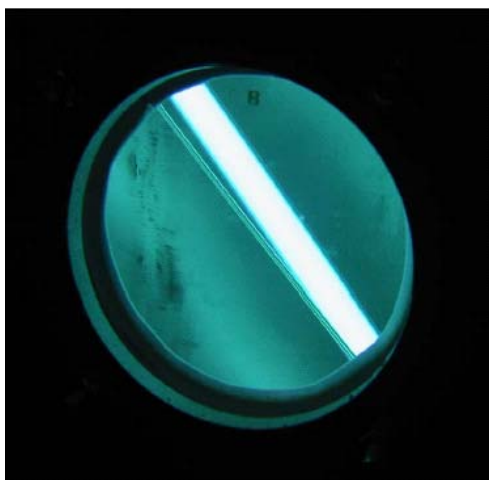


Abbildung 10:
UV-Strahler



Die Reinigung der Adsorptionsfilter erfolgt in einem Kreislaufsystem, das sicherstellt, dass kein Ozon in die Raumluft oder in die gereinigte Abluft entweicht.

Zahlreiche Anwendungen (Lackierung, Oberflächenreinigung usw.) sind als unkritisch für den Einsatz der NTO-Technologie zu bewerten. Im speziellen Fall styrolhaltiger Abluft ist eine vorherige Projektierung mittels Pilotanlage aufgrund der besonderen Gegebenheiten bei der Adsorption von Styrol zwingend erforderlich. Für diesen Zweck existiert eine mobile Einheit, die einen Teil des Abluftstromes vor Ort unter Praxisbedingungen reinigt. Die Testanlage ist mit kompletter Messtechnik zum Nachweis aller relevanten Daten ausgerüstet.

7.4 Literatur

- [1] Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen (VOC-Richtlinie). ABl. EG Nr. L 85 (1999) S. 1; zul. geänd. mit der Richtlinie 2004/42/EG. ABl. EG Nr. L 143 (2004), S. 87
- [2] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBI. 25-29 (2002), S. 511-605
- [3] 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – VOC-Verordnung – 31. BImSchV) vom 21. August 2001. BGBl. I (2001), S. 2180, geänd. BGBl. I (2004), S. 3758
- [4] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 14. März 1997. BGBl. I (1997), S. 504, zul. geänd. BGBl. I (2005), S. 1687



8 Lufttechnik in Fertigungshallen

Thomas Winkler,
Fa. Imtech Deutschland, Hamburg

8.1 Einleitung

Die Lufttechnik in Fertigungsstätten hat in der jüngsten Vergangenheit stark an Bedeutung gewonnen, da die bei Fertigungsprozessen frei werdenden luftfremden Stoffe durchaus kanzerogene oder mutagene Eigenschaften aufweisen können. Der Druck zur Verbesserung der Luftverhältnisse in Fertigungsstätten ging nicht zuletzt auch von den Berufsgenossenschaften aus, um eine Reduzierung von Berufskrankheitenzahlen zu erreichen.

Bei der Schadstofffreisetzung finden sich in verschiedenen Produktionsbereichen gas- und partikelförmige Stoffe. Bei den gasförmigen Komponenten sind es insbesondere kurzkettige Aldehyde, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Nitrosamine u. Ä., die eine gesundheitsschädigende Wirkung aufweisen. Aber auch staubförmige Verunreinigungen können Atemwegserkrankungen bewirken, insbesondere dann, wenn die Partikeln alveolengängig sind.

Die Ausbreitung luftfremder Stoffe ist von den strömungsmechanischen Verhältnissen im zu betrachtenden Raum abhängig. Von Einfluss sind insbesondere die Freisetzungsmechanismen, das Luftführungssystem, die Erfassungstechnik sowie Querströmungen. Zur Abfuhr von Stofflasten aus Produktionshallen werden Direkterfassungssysteme und Belüftungsmaßnahmen verwendet. Wirkungsvollste Maßnahme sind Erfassungseinrichtungen, die durch Produktionseinrichtungen oder -verfahren freigesetzte Stoffströme unmittelbar am Entstehungsort absaugen und abführen. Deren Wirksamkeit wird durch den Erfassungsgrad η beschrieben. Die nicht erfassten Stoffströme gelangen in den Raum und werden durch Belüftungsmaßnahmen abgeführt. Insbesondere für Belüftungsmaßnahmen wurde zu Beginn der 1990er-Jahre im Rahmen von Forschungsvorhaben nach Möglichkeiten gesucht, die Luftverhältnisse



in industriellen Fertigungsbereichen zu verbessern. Dabei spielt neben dem eingebrachten Luftstrom auch die Art der Luftzuführung eine wesentliche Rolle.

8.2 Luftführungssysteme

Für die Luftzufuhr in Räume sind grundsätzlich vier verschiedene Strömungsmuster bekannt, die in Abbildung 1 zusammenfassend dargestellt sind:

- Verdrängungsströmung,
- Mischströmung,
- örtliche Mischströmung,
- Schichtenströmung.

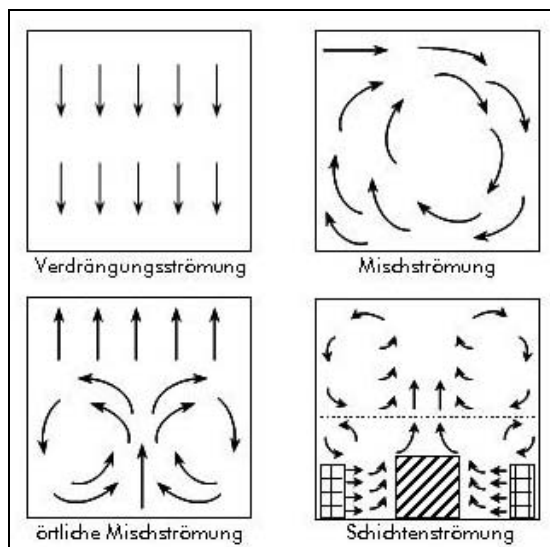


Abbildung 1:
Strömungsmuster im Raum

8.2.1 Verdrängungsströmung

Die Verdrängungsströmung ist gekennzeichnet durch eine großflächige Luftzufuhr, die zur Strömungsstabilisierung sehr große Luftströme bei geringen Temperaturunterschieden zwischen Raum- und Zuluft erfordert, und daher nur in Sonderfällen, zum Beispiel in der Reinraumtechnik, Anwendung findet.



8.2.2 Mischströmung

Bei der Mischströmung wird die Zuluft mit hohem Impuls über Luftdurchlässe in den Raum eingebracht. Abbildung 2 zeigt schematisch das sich einstellende Raumströmungsbild bei einer Zuluft einbringung über Drallluftdurchlässe im Deckenbereich eines Raums.

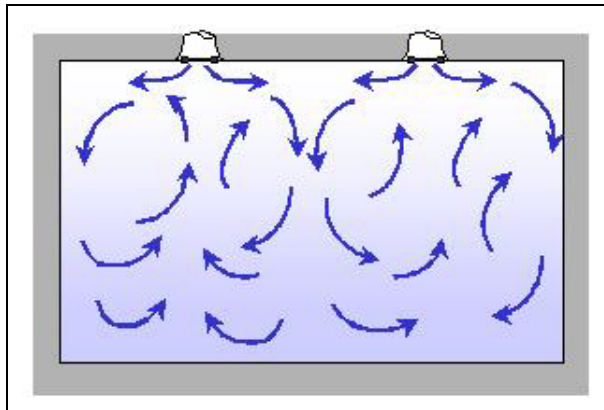


Abbildung 2:
Raumströmungsbild einer
Mischströmung

Die Strömungsgeschwindigkeit im (Zuluft-)Strahl baut sich dadurch ab, dass Umgebungsluft aus dem Raum angesaugt und dem Luftstrahl beigemischt wird. Dadurch nimmt der Luftstrahl auf seinem Weg durch den Raum an transportiertem Luftvolumen zu. Basis hierfür ist der Impulsaustausch am Strahlrand, der durch überlagerte turbulente Bewegungen eine intensive Vermischung von Zuluft und Raumluft bewirkt. Der Induktionsanteil als sekundär bewegter Luftanteil ist dabei um ein Vielfaches größer als der am Durchlass eingebrachte Primärluftanteil und strömt aus anderen Raumbereichen nach.

Hierdurch wird eine gleichförmige Verteilung aller im Raum entstandenen luftfremden Stoffe erreicht, sodass über die mittlere Konzentration hinausragende Konzentrationen nur im unmittelbaren Umfeld der Emissionsquelle auftreten. Während früher die Luftströme für derartige Bereiche aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt wurden – jeder Produktionsbetrieb hatte dazu seine eigenen Werte –, versucht man heute zur Senkung des Energieeinsatzes, die Luftströme zu verringern. Diese Verringerung lässt sich jedoch nur vertreten, wenn entsprechende Auslegungsmöglichkeiten vorhanden sind. Dies setzt voraus, dass die Emissionswerte an der Quelle nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ bekannt sind.



8.2.3 Dimensionierung von Mischströmungen

Die mittlere Konzentration k_R eines luftfremden Stoffes innerhalb eines Raumes ist im Wesentlichen abhängig von den an den Emissionsquellen in den Raum freigesetzten Stoffströmen $\dot{m}_{S,RA}$, dem Zuluftstrom \dot{V}_{ZU} und dessen (möglicher) Schadstoffkonzentration k_{ZU} .

Nimmt man an, dass ab einem Zeitpunkt

$$t = 0$$

z. B. zu Arbeitsbeginn im Raum ein konstanter Schadstoffstrom freigesetzt wird, so lässt sich die zeitliche Änderung der Raumkonzentration durch die Bilanzgleichung

$$\frac{dk_R}{dt} = \frac{\dot{m}_{S,RA}}{V_R} + \frac{\dot{V}_{ZU}}{V_R} \cdot k_{ZU} - \frac{\dot{V}_{ZU}}{V_R} \cdot k_R \quad (1)$$

beschreiben, wobei V_R das Volumen des zu betrachtenden Raumes ist. Die Lösung dieser gewöhnlichen Differenzialgleichung führt auf

$$k_R = \left(k_R(t=0) - k_{ZU} - \frac{\dot{m}_{S,RA}}{\dot{V}_{ZU}} \right) e^{-\frac{\dot{V}_{ZU}}{V_R} t} + k_{ZU} + \frac{\dot{m}_{S,RA}}{\dot{V}_{ZU}} \quad (2)$$

In diesem Zusammenhang stellt

$$k_R(t=0)$$

die Konzentration des luftfremden Stoffes im Raum zum Zeitpunkt

$$t = 0$$

dar.

Für große Zeiten t ergibt sich für den Exponentialausdruck

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\frac{\dot{V}_{ZU}}{V_R} t} \rightarrow 0,$$



sodass für die Konzentration im Raum unter stationären Bedingungen

$$k_R = k_{ZU} + \frac{\dot{m}_{S,RA}}{\dot{V}_{ZU}} \quad (3)$$

folgt. Hieraus kann die Dimensionierungsgleichung für den Zuluftvolumenstrom in der Form

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{\dot{m}_{S,RA}}{k_R - k_{ZU}} \quad (4)$$

gewonnen werden. Wie schon oben erwähnt, ist die Kenntnis der stofflichen Freisetzungsrates $\dot{m}_{S,RA}$ Voraussetzung zur Anwendung dieser Gleichung. Bei der Dimensionierung des Luftstroms wird die Raumkonzentration vorgegeben, wobei gilt

$$k_R \leq k_{R, zul}$$

$k_{R, zul}$ ist die maximal zulässige Konzentration (Arbeitsplatzgrenzwert) des zu betrachtenden luftfremden Stoffes nach TRGS 900, z. B.

$$k_{R, zul, Styrol} \leq 86 \text{ mg/m}^3$$

Mit Bezug auf Gleichung (4) ist festzustellen, dass das Raumvolumen in dieser Beziehung nicht auftaucht. Eine Dimensionierung des Zuluftstroms auf der Basis des häufig herangezogenen Erfahrungswertes „Luftwechsel“

$$LW = \frac{\dot{V}_{ZU}}{V_R}$$

ist daher unzweckmäßig. Diesen Sachverhalt verdeutlicht der Vergleich zwischen Abbildung 3 und Abbildung 4 (siehe Seite 92).



Abbildung 3:
Konzentrationsverlauf in einem 3 200 m³ großen Raum
bei einem Luftwechsel von 20/h nach Gleichung (2)

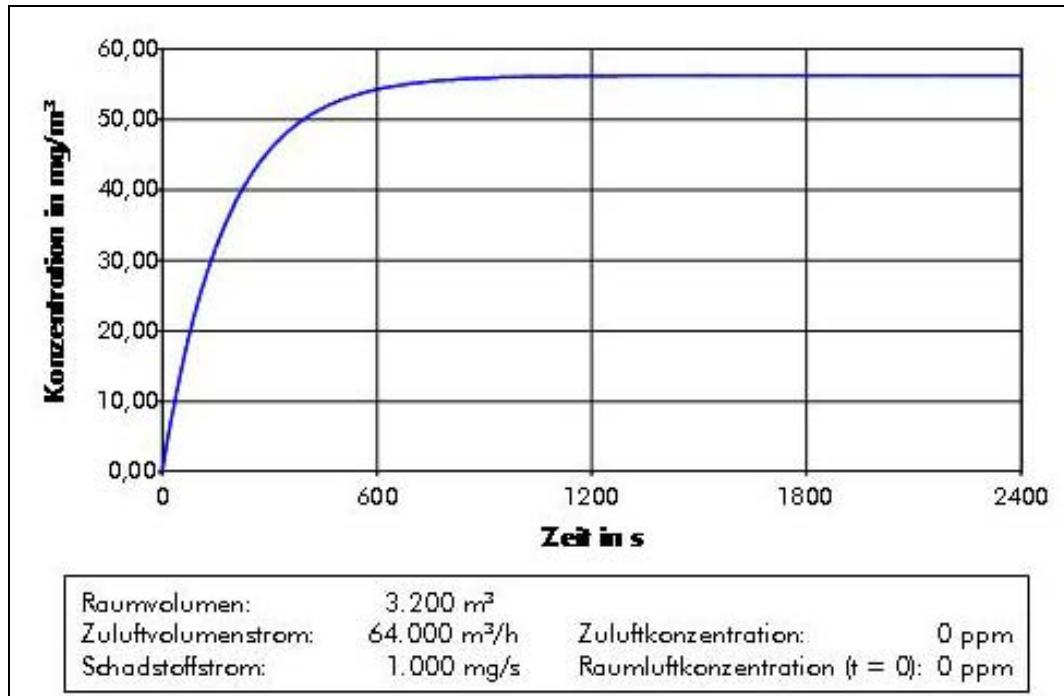
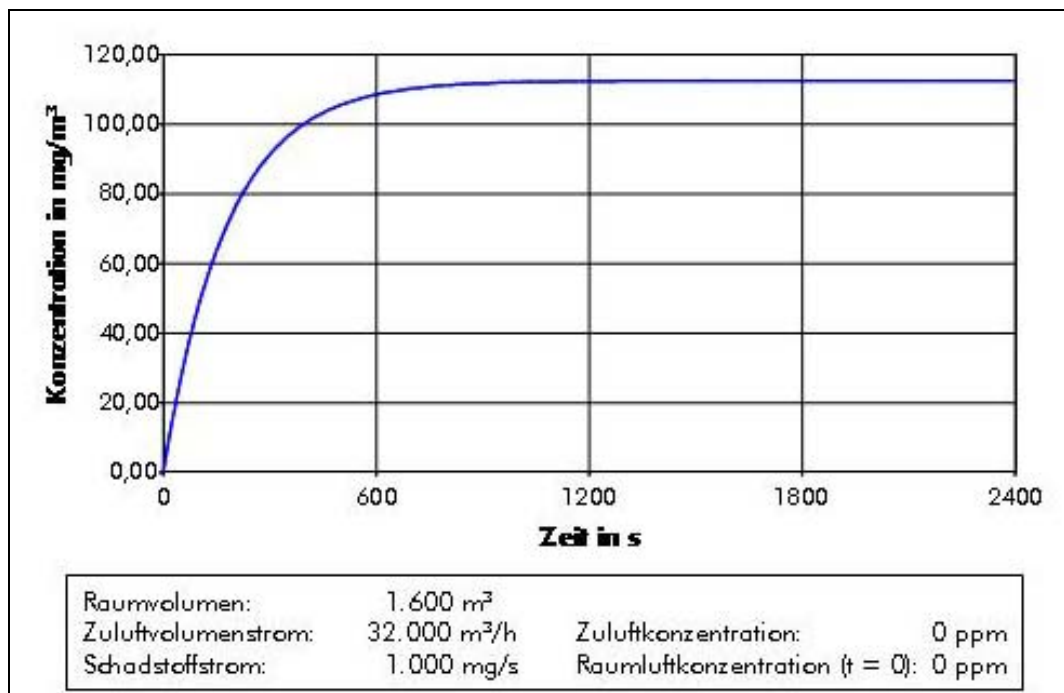


Abbildung 4:
Konzentrationsverlauf in einem 1 600 m³ großen Raum
bei einem Luftwechsel von 20/h nach Gleichung (2)





Die Darstellungen zeigen die sich einstellende Raumkonzentration k_R zweier Räume mit unterschiedlichem Raumvolumen bei einem Luftwechsel von je 20/h. Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird in beiden Räumen ein Schadstoffstrom von

$$\dot{m}_{s,RA} = 1 \text{ g/s}$$

freigesetzt, wobei unterstellt wird, dass zu diesem Zeitpunkt in der Raumlufte eine Konzentration des luftfremden Stoffes von

$$k_R(t = 0) = 0$$

vorliegt. Wie aus Gleichung (4) zu erwarten ist, erreicht die Schadstoffkonzentration in der Raumlufte im stationären Zustand (im vorliegenden Fall ab einer Zeit von ungefähr 1 200 Sekunden) in Abbildung 4 gegenüber Abbildung 3 den doppelten Wert, weil sich die zugrunde gelegten Volumenströme um den Faktor zwei unterscheiden.

Da Raumlufteemperaturen in gleicher Weise wie Schadstoffkonzentrationen beim Einsatz eines Mischlüftungssystems homogen im Raum verteilt vorliegen, bietet dieses System Vorteile bei Räumen, in denen keine Temperaturgradienten erwünscht sind und bei Räumen oder Raumgruppen mit hohen Heizlastanteilen.

8.2.4 Schichtenströmung

In Industriebereichen mit stofflichen und thermischen Belastungen werden heute zur Verbesserung der Luftverhältnisse zunehmend Schichtenströmungen eingesetzt, insbesondere dann, wenn in den Räumen größere thermische Freisetzungen zu erwarten sind. Abbildung 5 (siehe Seite 94) verdeutlicht das Strömungsprinzip. Schichtenströmungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Raumlufteströmung nicht durch die Zuluftführung, sondern durch einzelne freie Konvektionsbewegungen bestimmt wird.

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



Luftfreistrahls besitzt; das heißt, die im Thermikstrahl enthaltene Strömungsenergie wird durch Induktion von Umgebungsluft abgebaut (siehe Abbildung 6).

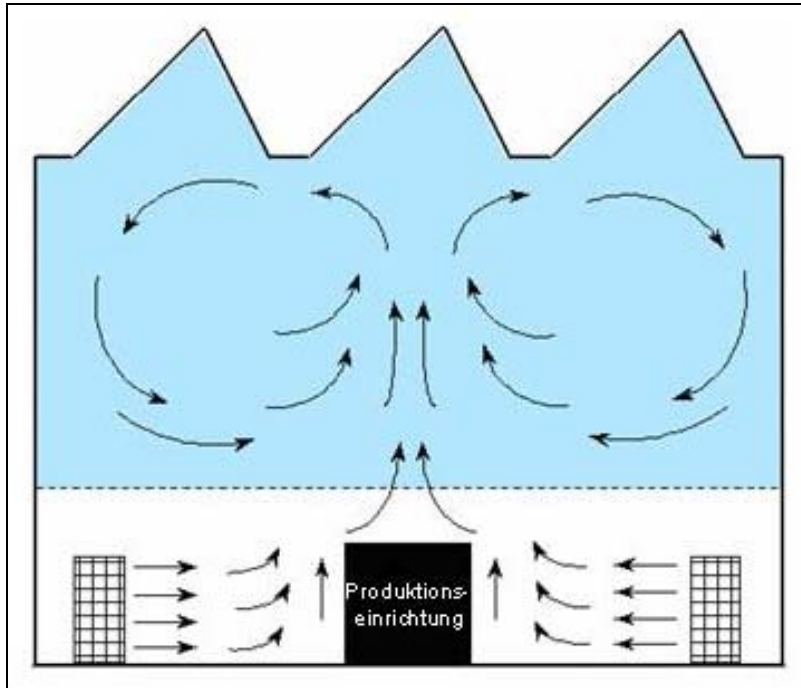
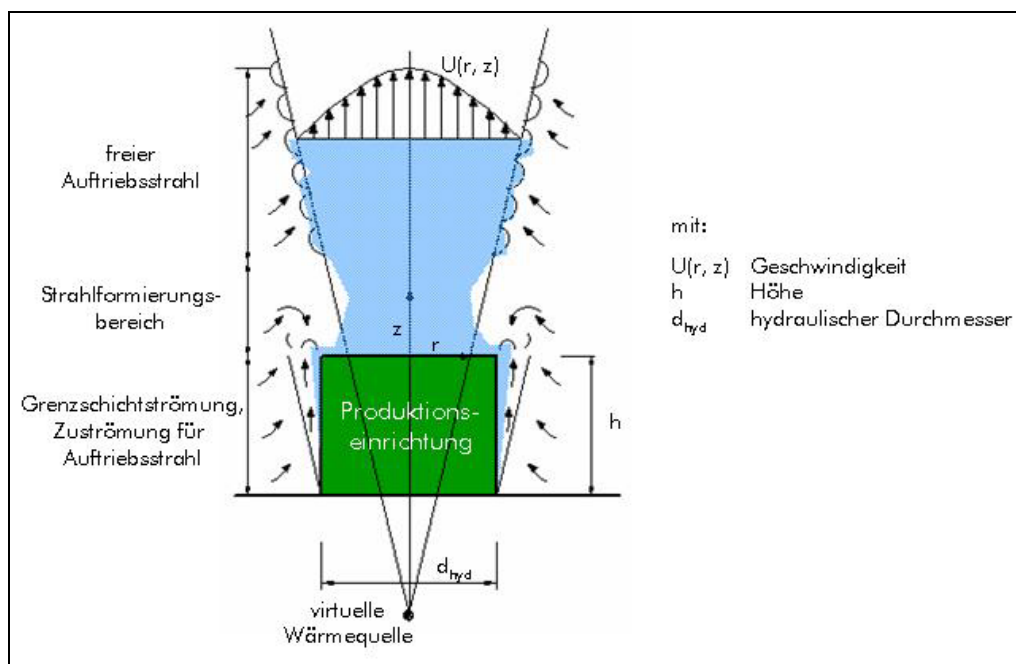


Abbildung 5:
Schematische
Darstellung einer
Schichtenströmung

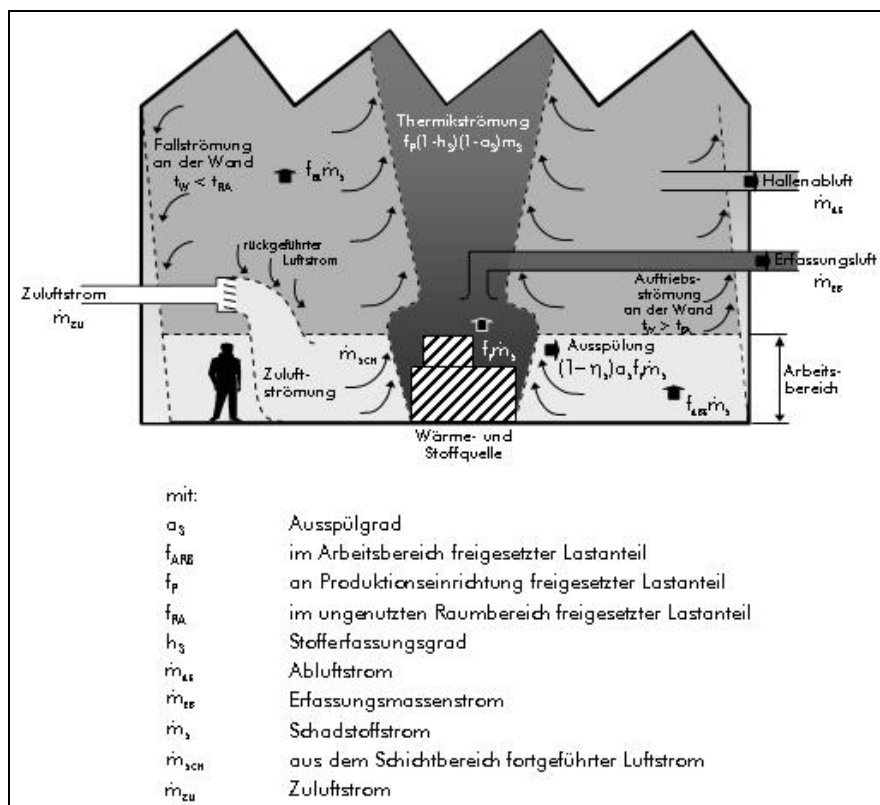
Abbildung 6:
Thermikstrahl oberhalb einer Wärmequelle





Wird nun die durch direkte Konvektion nach oben transportierte Luft und die Induktionsluft bis zu einer entsprechenden Höhe im unteren Raumbereich nachgespeist, so bilden sich zwei deutlich unterschiedliche Luftschichten aus. Während die Luft im unteren Raumbereich nahezu Zuluftqualität besitzt, ergeben sich in der oberen Schicht deutlich höhere Kontaminationen an luftfremden Stoffen, die gas- oder partikelförmig sein können (siehe Abbildung 7).

Abbildung 7:
Einflussgrößen auf die Schichtenbildung



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. Dabei ist wesentlich, dass die an den Wärmequellen entstehenden Thermikströme durch die nachgeführte Zuluft nicht gestört werden, damit es nicht zu Ausspüleffekten kommen kann.
- ❑ Die Zuluft sollte vorzugsweise unterhalb der Schichtgrenze zugeführt werden; die Zuluft einbringung oberhalb der Schichtgrenze bewirkt einen Rücktransport luftfremder Stoffe aus dem oberen Raumbereich in den Aufenthaltsbereich.

Thermikströmungen, insbesondere an kalten Wandflächen, sind zu vermeiden, da Kaltluftströmungen an kalten Flächen Einmischprozesse höher kontaminierter Luft in den unteren Raumbereich bewirken.

In Zusammenhang mit Abbildung 7 gilt für den Stofferfassungsgrad

$$\eta_s = \frac{\text{direkt erfasster Stoffstrom}}{\text{freigesetzter Stoffstrom}} \quad (5)$$

Für

$$\eta_s = 1$$

folgt, dass ein durch eine Produktionseinrichtung freigesetzter Schadstoffstrom vollständig durch eine Erfassungseinrichtung abgeführt wird. Eine weiterführende Belastung des Raumes durch diesen Stoff wird damit durch eine richtig dimensionierte Absaugung unterbunden. Im Gegensatz dazu bedeutet

$$\eta_s = 0,$$

dass eine Erfassungseinrichtung nicht vorhanden oder vollkommen unwirksam ist und der gesamte an der Produktionseinrichtung freigesetzte Schadstoffstrom im Raum wirksam wird.

Als Ausspülgrad wird die Größe

$$\alpha_s = \frac{\text{in den Arbeitsbereich ausgespülter Stoffstrom}}{\text{in den Raum freigesetzter Stoffstrom}} \quad (6)$$



definiert. Sie gibt an, welcher Anteil des Schadstoffstroms einer Produktionseinrichtung unmittelbar nach dessen Freisetzung in den Arbeitsbereich (z. B. durch Querströmungen) ausgespült wird.

Eine maßgebliche Bewertungsgröße für die Qualität der Luftführung stellt in diesem Zusammenhang der Belastungsgrad

$$\mu_s = \frac{\text{im Arbeitsbereich wirksamer Stoffstrom}}{\text{in den Raum freigesetzter Stoffstrom}} \quad (7)$$

dar. Er beschreibt den Anteil der insgesamt in den Raum emittierten Stoffgrößen, der im Arbeitsbereich fühlbar wird. Die Auswirkung von unterschiedlichen Luftführungssystemen auf den Belastungsgrad zeigt Abbildung 8. Diese Ergebnisse resultieren aus Untersuchungen in einem Bereich einer Aluminiumgießerei, in der Motorteile für die Automobilindustrie gegossen werden. Durch Einsatz einer Schichtenströmung verbessert sich der Belastungsgrad im Aufenthaltsbereich gegenüber einer Mischströmung bei gleichem Luftstrom nahezu um den Faktor 10.

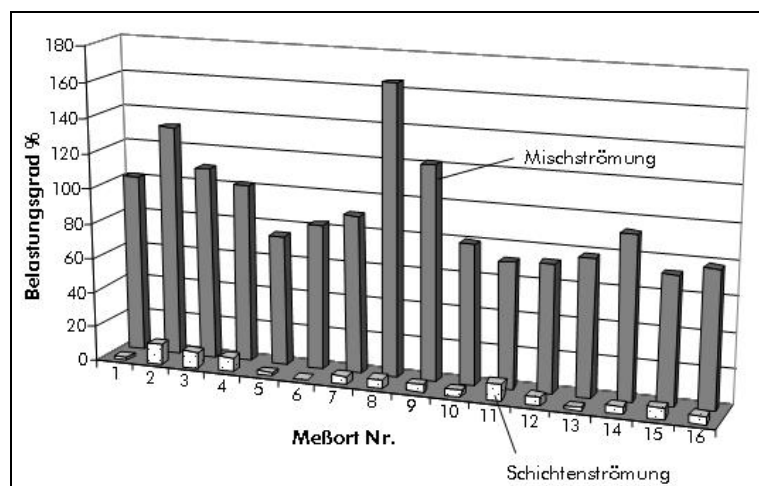


Abbildung 8:
Örtliche Gefahrstoffbelastung an Arbeitsplätzen bei unterschiedlicher Luftführung

8.2.5 Dimensionierung von Schichtenströmungen

Zur Dimensionierung der Luftströme für Schichtenströmungen sind die an den Thermikquellen entstehenden Thermikströme zu ermitteln. Betrachtet werden die thermisch wirksamen Oberflächen der Prozesseinrichtungen, die im Allgemeinen horizontal oder vertikal im Raum angeordnet sind. Der sich ausbildende Konvektionsstrom



transportiert einen bestimmten Volumenstrom $\dot{V}_H(z)$ (siehe Abbildung 9). Dieser ist für horizontal angeordnete Oberflächen abhängig von dem über die Oberfläche der Thermikquelle an die Umgebung abgegebenen konvektiven Wärmestrom \dot{Q}_K sowie der Strahllänge z und berechnet sich nach

$$\dot{V}_H(z) = k_1 \cdot \dot{Q}_K^{1/3} \cdot (z + 1,7 \cdot d_{\text{hyd}})^{5/3} \quad (8)$$

mit

$$k_1 = 0,006 \text{ m}^{4/3} \cdot \text{W}^{-1/3} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\dot{Q}_K = \alpha_K \cdot A \cdot (T - T_\infty)$$

d_{hyd} = hydraulischer Durchmesser

α_K = Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion

A = Fläche

T = Absoluttemperatur

T_∞ = Umgebungstemperatur

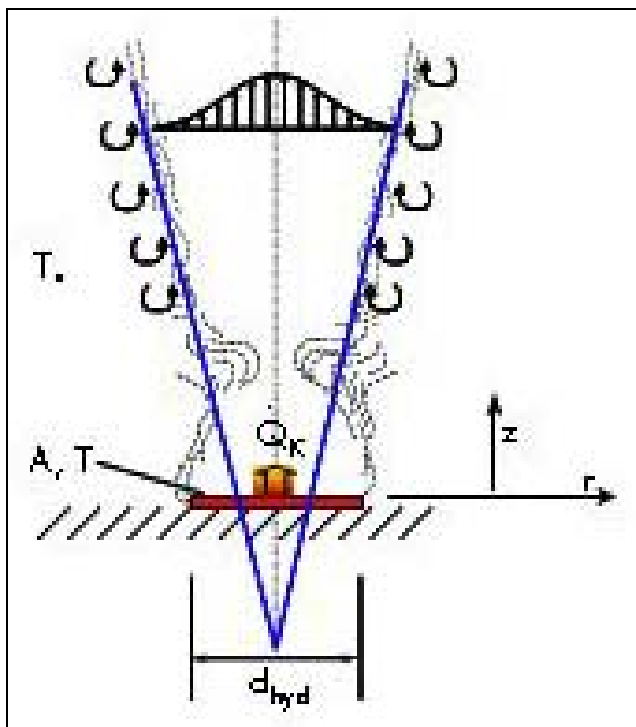
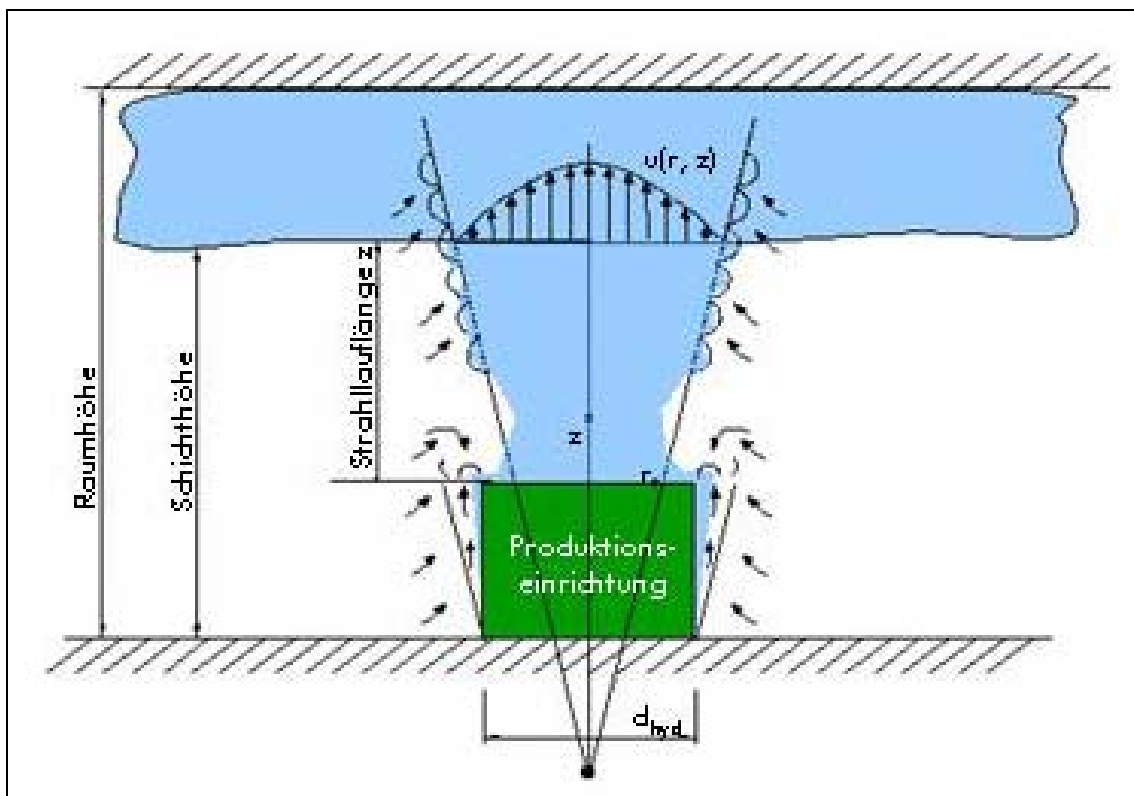


Abbildung 9:
Auftriebsstrahl über horizontalen
Flächen

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.

Für die Ermittlung des maschinenspezifischen Zuluftstroms, der durch die Zuluftanlage in den Arbeitsbereich eingebracht werden muss, ist der Konvektionsvolumenstrom \dot{V}_H nach Gleichung (8) zu bestimmen. Hierbei ist für die Strahllauflänge z der Abstand zwischen der Wärme abgebenden Fläche der Produktionseinrichtung und der zu projektierenden Schichthöhe einzusetzen (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10:
Schematische Darstellung zur Dimensionierung von Schichtenströmungen





8.3 Erfassungstechnik

8.3.1 Allgemeines

Im Zusammenhang mit den eingangs erwähnten Reduzierungsbemühungen des Energieeinsatzes lufttechnischer Anlagen kommt neben der Wahl des Luftführungssystems auch der in einem Produktionsbereich installierten Erfassungstechnik eine maßgebliche Bedeutung zu.

Für den in den Raum eingetragenen Schadstoffstrom gilt (vgl. Abbildung 7, Seite 95)

$$\dot{m}_{s,RA} \sim (1 - \eta_s) \dot{m}_s \quad (9)$$

Wie bereits erläutert, stellt η_s den (Stoff-)Erfassungsgrad der Erfassungseinrichtung dar, der Werte zwischen $0 \leq \eta_s \leq 1$ annehmen kann. Je weiter sich der Stofferfassungsgrad dem Wert 1 annähert, um so kleiner wird der durch die lufttechnische Anlage abzuführender Massenstrom luftfremder Stoffe $\dot{m}_{s,RA}$. Unter der Voraussetzung, dass ein Mischlüftungssystem im Raum installiert ist, folgt damit aus Gleichung (4), dass der notwendige Zuluftstrom für den Raum verringert werden kann.

Dessen ungeachtet ist Gleichung (9) unabhängig vom Luftführungssystem gültig. Im Hinblick auf die lufttechnische Ausrüstung einer Produktionsstätte liefert sie die Aussage, dass die Installation von Erfassungseinrichtungen ein sinnvolles Mittel zur Minimierung der Schadstoffexposition von Personen im Raum ist. Die auf eine Produktionseinrichtung abgestimmte Erfassungseinrichtung (Absaughaube) sowie deren Dimensionierung sollte dabei das Ziel verfolgen, bei möglichst geringem Absaugvolumenstrom einen hohen Erfassungsgrad η_s zu erreichen.

Die richtige Dimensionierung von Einrichtungen zur Schadstoffeffassung in Produktionsstätten setzt die Kenntnis der Ausbreitungsmechanismen dieser Schadstoffe voraus. Die Ausbreitungsmechanismen sind in der Regel eng mit dem jeweiligen Fertigungsprozess verknüpft. Sie lassen sich gemäß Tabelle 1 (siehe Seite 101) in vier Hauptgruppen untergliedern.



Tabelle 1:
Gliederung der Stoffausbreitungsmechanismen

Stoffausbreitungsmechanismus	Ausbreitungsmerkmal
Dichteunterschiede	Strömungen, die durch Auftriebskräfte verursacht werden, z. B. an warmen Maschinenoberflächen oder durch exotherme Prozesse
Druckunterschiede	Ausströmen des luftfremden Stoffes aus einem Leitungssystem oder Behälter, das/der unter Überdruck steht
äußere Kräfte	auf den luftfremden Stoff wird ein Bewegungsimpuls von außen übertragen, z. B. durch sich bewegende Maschinenteile oder äußere Strömungen (Raumströmung, Druckluft, Kühlgebläse ...)
Diffusion	selbstständig verlaufende Vermischung von miteinander in Berührung stehenden Stoffen verschiedener Konzentration infolge ihrer Molekularbewegung

Bei vielen Fertigungsprozessen treten Schadstoff- und Wärmefreisetzung gekoppelt auf, sodass dem auf Dichteunterschieden basierenden Ausbreitungsmechanismus oftmals eine zentrale Bedeutung zukommt. Über der (warmen) Emissionsquelle formiert sich dabei eine Konvektionsströmung (Auftriebsströmung), die auch Transportmedium für die freiwerdenden luftfremden Stoffe ist. Die Dimensionierung von Erfassungseinrichtungen derartiger Freisetzungsvorgänge basiert auf der Ermittlung des in der Konvektionsströmung geförderten Volumenstroms.

Bei verschiedenen Produktionsverfahren können jedoch auch Stoffausbreitungen durch äußere Kräfte mit gerichteter Eigenbewegung emittierter Teilchen auftreten (z. B. beim Spritzen).

8.3.2 Klassifizierung und Bewertung von Erfassungseinrichtungen

Erfassungseinrichtungen werden klassifiziert nach ihrer baulichen Gestaltung an der Freisetzungsstelle der luftfremden Stoffe. Man unterscheidet in

- geschlossene Bauart (Einhausung, Kapselung),
- halboffene Bauart und
- offene Bauart.



Am wirkungsvollsten ist eine vollständige Einhausung der Emissionsquelle (geschlossene Bauart), da bei dieser Bauform die kleinsten Erfassungsluftströme erforderlich werden. Sie sind im Wesentlichen abhängig von den Undichtigkeiten des Gehäuses.

Bei der halboffenen Bauart befindet sich die Quelle luftfremder Stoffe innerhalb der Erfassungseinrichtung. Im Gegensatz zur geschlossenen Bauart ist die halboffene Erfassungseinrichtung an mindestens einer Seite offen. Typische Ausführungsbeispiele sind Arbeitstische oder Arbeitskabinen.

Die offene Bauart stellt mit einem räumlichen Abstand zwischen Emissions- und Erfassungsstelle die energetisch aufwändigste Ausführungsform dar. Dennoch wird oft wegen produktionstechnischer Gegebenheiten gerade diese Art der Absaugung angewendet. Im Bereich der offenen Bauart kommen Erfassungseinrichtungen für punkt- und linienförmige Quellen zum Einsatz (siehe Abbildungen 11 und 12, Seite 103).

Abbildung 11:
Erfassungseinrichtungen für punktförmige Quellen

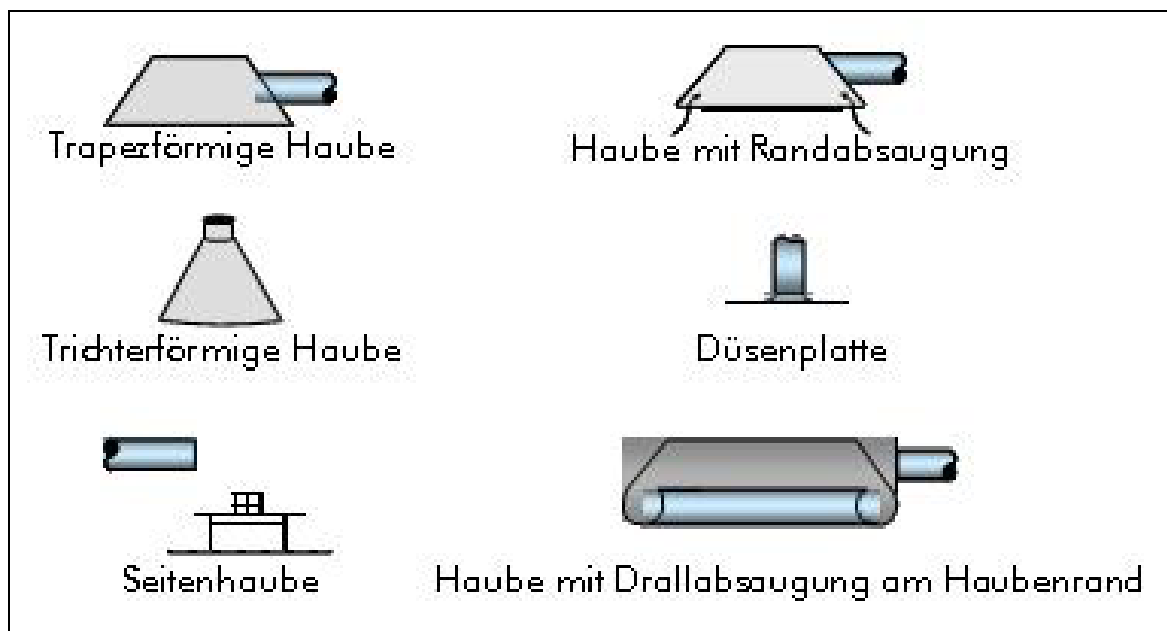
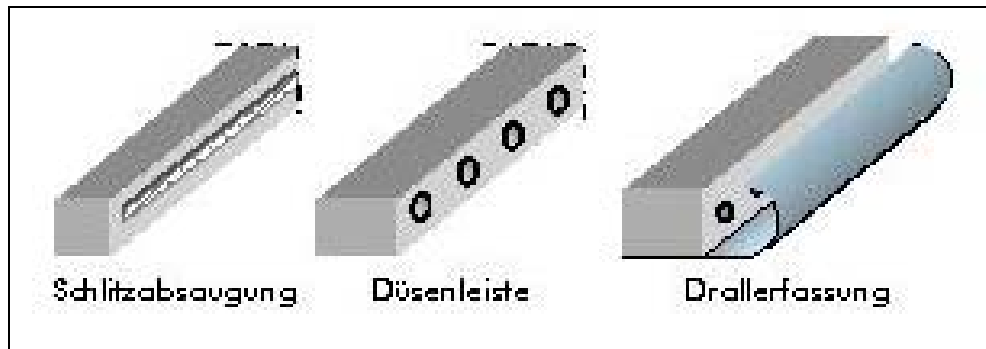




Abbildung 12:
Erfassungseinrichtungen für linienförmige Quellen



Häufig eingesetzte Elemente sind trichterförmige Hauben, Saugrohre und -schlitze, aber auch Düsenplatten und Drallerfassungssysteme. Düsenplatten bestehen aus einem Saugrohr, an das orthogonal zur Rohrachse eine Flanschplatte angebracht ist. Der Übergang zwischen Rohr und Flanschplatte wird durch eine Einlaufdüsenkontur gebildet.

In Drallhauben wird ein Drallströmungsfeld angeregt, das mit einem aus der Natur bekannten Wirbelsturm vergleichbar ist. Seine Erzeugung basiert auf der Überlagerung von Unterdruckfeldern, was technisch durch die zyklische Anordnung von Saugkanälen am Grundkörper der Absaugereinrichtung realisiert wird. Der Grundkörper selbst hat eine zylinderförmige Geometrie (siehe Abbildung 13).

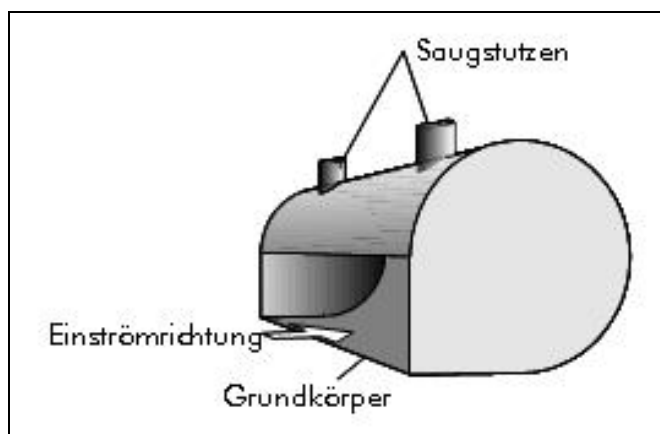


Abbildung 13:
Schematische Darstellung
einer Drallhaube

Er ist so gestaltet, dass die abzusaugenden Schadstoffe exzentrisch zur Achse des rotierenden Feldes innerhalb dieses Elementes einströmen. Dadurch wird die zu erzeugende Drallströmung (siehe Abbildung 14, Seite 104) angeregt und stabilisiert.



Innerhalb dieser Erfassungseinrichtung nimmt die Strömungsgeschwindigkeit in Kernnähe – je nach geometrischer Auslegung und in Abhängigkeit vom abgesaugten Volumenstrom – Werte von ungefähr 70 m/s an. Hiermit verbunden ist eine erhebliche Absenkung des statischen Drucks in diesem Bereich, was eine gleichmäßige Absaugleistung über den gesamten Eintrittsquerschnitt der Erfassungseinrichtung gewährleistet.

Abbildung 14:
Strömungsfeld in einer Drallhaube



In direktem Zusammenhang mit der Geometrie der Erfassungseinrichtung steht das sich vor ihr ausbildende Geschwindigkeitsfeld. Für ein Saugrohr ist dieses Feld in Abbildung 15 (Seite 105) in Form von so genannten Geschwindigkeitspotenzialen dargestellt. Unter Geschwindigkeitspotenzialen – sie werden auch als Isotachen bezeichnet – versteht man Linien bzw. Flächen gleicher Geschwindigkeit. Es ist zu erkennen, dass die Strömungsgeschwindigkeit in einem dem Saugrohrdurchmesser entsprechenden Abstand ($x/d = 1$ bzw. $y/d = 1$) nur noch etwa 6 % der Geschwindigkeit im Rohr selbst beträgt. Für einen beispielhaft angenommenen Saugrohrdurchmesser von $d = 200$ mm und eine Strömungsgeschwindigkeit in diesem Rohr von



$w_0 = 10$ m/s resultiert eine Geschwindigkeit in einem Abstand von $d = 200$ mm vor der Rohröffnung von lediglich $w = 0,6$ m/s! Die Erfassungstiefe dieses Absaug-elementes ist demnach äußerst gering.

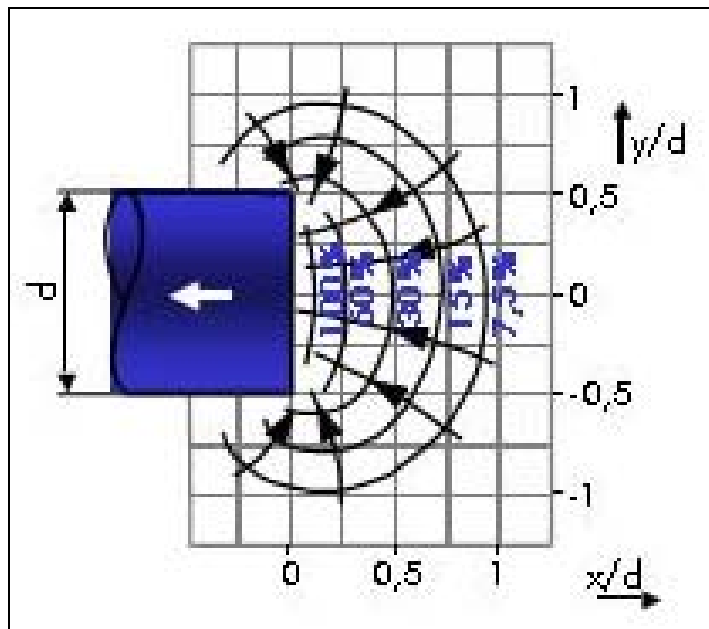
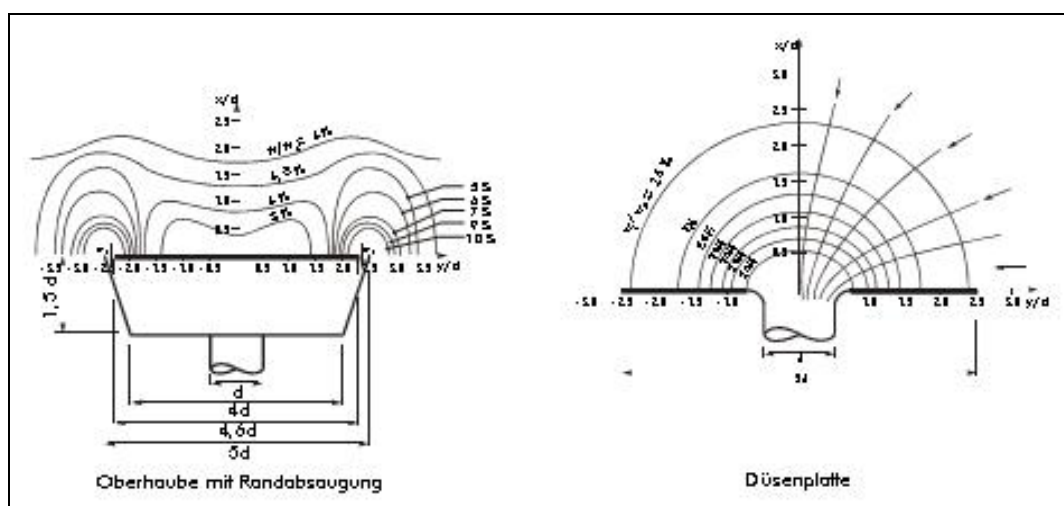


Abbildung 15:
Geschwindigkeitsfeld
vor einem Saugrohr

Ein Vergleich mit den Geschwindigkeitspotenzialen in Abbildung 16 zeigt, dass die Tiefenwirkung des Strömungsfeldes einer Düsenplatte mit $w/w_0 \approx 12$ % bei $x/d = 1$ weitaus bessere Werte liefert, während an derselben Stelle für die Oberhaube mit Randabsaugung lediglich ca. 4 bis 5 % abzulesen sind.

Abbildung 16:
Geschwindigkeitspotenziale von Oberhauben mit Randabsaugung und Düsenplatten





In Abhängigkeit von der Form und Anordnung der Erfassungseinrichtung muss zur vollständigen Erfassung eines Schadstoffstroms ein zusätzlicher unkontaminierter Umgebungsluftstrom \dot{V}_2 abgesaugt werden. Die Zusammenhänge verdeutlicht Abbildung 17.

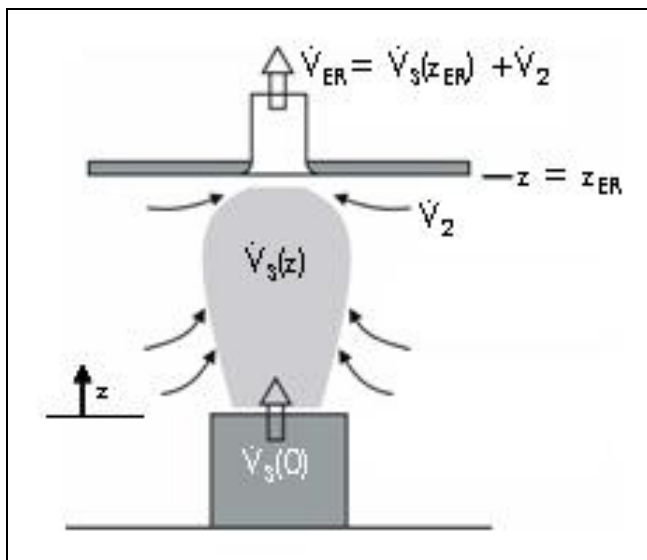


Abbildung 17:
Volumenstrombilanzierung für
Erfassungseinrichtungen

mit

$\dot{V}_s(0)$ an der Quelle freigesetzter (Schad)-Stoffstrom

$\dot{V}_s(z)$ kontaminierter Luftstrom im Abstand z zur Emissionsquelle

\dot{V}_2 unkontaminierter Umgebungsluftstrom

\dot{V}_{ER} Erfassungsvolumenstrom

Der an der Quelle freigesetzte Stoffstrom induziert auf seinem Strömungsweg durch den Raum einen Umgebungsluftstrom. Mit wachsendem Laufweg z vergrößert sich hierdurch der zu erfassende mit luftfremden Stoffen kontaminierte Luftstrom. Aus diesem Sachverhalt kann abgeleitet werden, dass der Abstand zwischen Emissionsquelle und Erfassungseinrichtung möglichst klein gehalten werden sollte, damit der notwendige Erfassungsvolumenstrom nicht zu groß wird.

Der Erfassungsvolumenstrom ergibt sich als Summe aus dem kontaminierten Luftstrom $\dot{V}_s(z_{ER})$ am Ort der Erfassungseinrichtung und einem zusätzlichen unkontaminierten



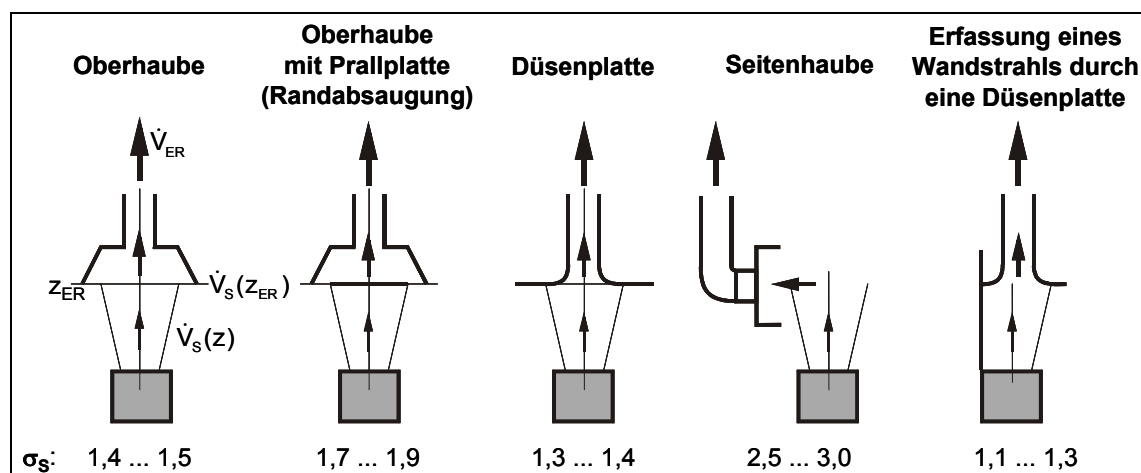
Umgebungsluftstrom \dot{V}_2 . Der Umgebungsluftstrom lässt sich in Form eines Zuschlagfaktors σ_s , der in Abhängigkeit von der Bauform und Anordnung einer Erfassungseinrichtung unterschiedliche Werte annimmt, bei der Dimensionierung von Erfassungsluftströmen berücksichtigen mit

$$\dot{V}_{ER} = \sigma_s \cdot \sigma_{quer} \cdot \dot{V}_s(z_{ER}). \quad (10)$$

Neben σ_s findet sich in Gleichung (10) die Größe σ_{quer} , mit der die Erhöhung des notwendigen Erfassungsluftstromes aufgrund von Querströmungen im Produktionsbereich, z. B. durch offen stehende Hallentore, erfasst werden kann.

Anhaltswerte für den Zuschlagfaktor σ_s für unterschiedliche Erfassungseinrichtungen sind in Abbildung 18 wiedergegeben. Hier ist zu erkennen, dass die Form der Erfassungseinrichtung einen erheblichen Einfluss auf den erforderlichen Absaugvolumenstrom nimmt.

Abbildung 18:
Anhaltswerte für den Zuschlagfaktor unterschiedlicher Erfassungseinrichtungen



Die in Abbildung 18 angegebenen Werte gelten für die dort dargestellte Positionierung der Erfassungselemente in Bezug auf die Emissionsquelle sowie die angedeutete Ausbreitungsrichtung der Emission. Bei der Dimensionierung von Erfassungsvolumenströmen ist daher neben der Bestimmung des Emissionsstromes $\dot{V}_s(z)$ auch der Ausbreitungsrichtung Beachtung zu schenken. Grundsätzlich gilt hierbei, dass die



Erfassungseinrichtung in Strömungsrichtung (der Emission) hinter der Emissionsquelle angeordnet werden sollte. Die Ausbreitungsrichtung luftfremder Stoffe an der Emissionsquelle ist im Wesentlichen geprägt durch Auftriebskräfte (Dichteunterschiede) und äußere Kräfte (vgl. Tabelle 1).

8.3.3 Erfassung thermisch geprägter Emissionsströmungen

Die Auslegung einer Erfassungseinrichtung, die oberhalb einer (horizontalen) Thermikquelle installiert werden soll, um den mit der Thermikströmung transportierten Schadstoffstrom einer Produktionseinrichtung zu erfassen, kann auf der Basis der Auftriebsstrahlgleichung (8) für horizontal angeordnete Oberflächen erfolgen. Der notwendige Erfassungsluftstrom ergibt sich unter der Voraussetzung, dass keine Querströmungen ($\sigma_s = 1$) im Bereich der Thermikströmung vorliegen für

$$z = z_{ER} \quad \text{ZU}$$

$$\dot{V}_{ER} = \sigma_s \cdot \dot{V}_s(z_{ER}) = \sigma_s \cdot k_1 \cdot \dot{Q}_K^{1/3} \cdot (z_{ER} + 1,7 \cdot d_{hyd})^{5/3}, \quad (11)$$

wobei σ_s den Zuschlagfaktor für die zu verwendende Erfassungseinrichtung darstellt (siehe Abbildung 18, Seite 107).

In Gleichung (11) lassen sich zwei Einflussgrößen identifizieren, auf die bei der Planung einer Erfassungseinrichtung Einfluss genommen werden kann, nämlich σ_s und z_{ER} . Das in der Regel angestrebte Ziel, den Erfassungsvolumenstrom möglichst klein zu halten, lässt sich zum einen dadurch erreichen, dass der Abstand z_{ER} zwischen Emissionsquelle und Erfassungseinrichtung klein gehalten wird. Eine Halbierung des Abstands sorgt für eine Verkleinerung des Erfassungsvolumenstroms um den Faktor¹ $2^{5/3} \approx 3,2$. Das bedeutet eine Reduzierung um ca. 70 %.

¹ Der angegebene Zahlenwert beruht auf der Annahme, dass $d_{hyd} \ll z_{ER}$



Darüber hinaus kann der Erfassungsvolumenstrom klein gehalten werden, wenn σ_s klein ist. Dies lässt sich erreichen, wenn z. B. statt einer Oberhaube eine Düsenplatte als Erfassungselement verwendet wird (vgl. Abbildung 18).

8.3.4 Erfassung von durch äußere Kräfte geprägten Emissionsströmungen

Emissionsströmungen von Fertigungsverfahren, bei denen eine nur geringe Wärme-freisetzung vorliegt, sind in der Regel durch äußere Kräfte geprägt. Ein typisches Bei-spiel für ein derartiges Verfahren mit stark impulsbehafteter Emissionsströmung ist das Spritzen. In diesem Zusammenhang bedeutet „impulsbehaftet“, dass die Emission üb-licherweise mit einer hohen Strömungsgeschwindigkeit an der Quelle freigesetzt wird.

Bei der Verwendung „herkömmlicher“ Erfassungssysteme ist festzustellen, dass die Emissionen oftmals aus dem Bereich der Erfassungseinrichtung „reflektiert“ werden (siehe Abbildung 19). Um dies zu verhindern, muss eine derartige Erfassungseinrich-tung so dimensioniert werden, dass die sich einstellenden Absauggeschwindigkeiten im Eintrittsquerschnitt der Haube mindestens so groß sind wie die Geschwindigkeit der Emissionsströmung in diesem Bereich. Dies führt in der Regel zu unverhältnismäßig hohen erforderlichen Erfassungsvolumenströmen.

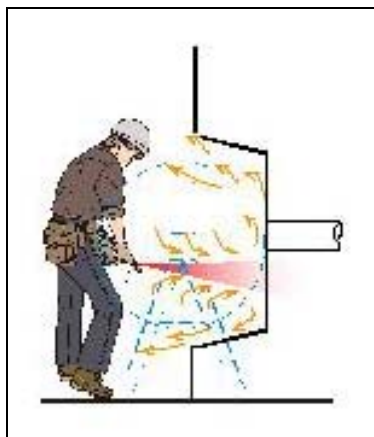


Abbildung 19:
Erfassung impulsbehafteter Emissionen
(z. B. beim Spritzen)

Eine wesentlich bessere Erfassungswirkung lässt sich hier durch den Einsatz von Drallhauben erzielen (siehe Abbildung 20, Seite 110), weil diese Einrichtung „stau-punktfrei“ arbeitet. Die Emission wird durch die Drallströmung im Inneren der Haube



aufgenommen und zu deren Zentrum hin beschleunigt. Ein Wiederaustritt wird hierdurch wirkungsvoll verhindert.

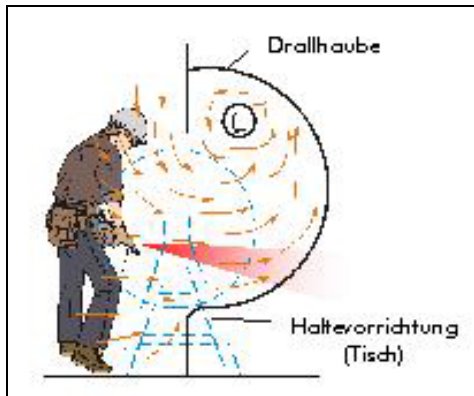


Abbildung 20:
Drallerfassung impulsbehafteter Emissionen
(z. B. beim Spritzen)

8.3.5 Zuluftunterstützte Systeme

Durch gezielte Luftnachführung kann die Effizienz von Erfassungseinrichtungen verbessert und für den Werker ein von luftfremden Stoffen nahezu freies Umfeld geschaffen werden. Bei derartigen Systemlösungen ist eine frontal auf den Werker gerichtete Zuluftführung zu vermeiden, da luftfremde Stoffe hierdurch direkt in seinen Atembereich gelangen können (siehe Abbildung 21).

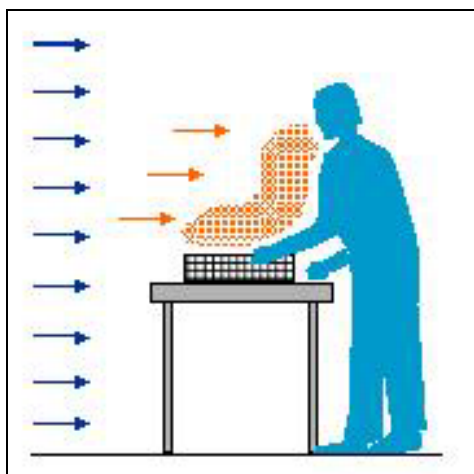


Abbildung 21:
Frontale Anströmung des Werkers
(Darstellung ohne Absaugung)

Auch eine Zuluftführung, die den Werker von hinten umströmt, ist in der Regel ungünstig. Bei der Umströmung bilden sich vor der Person Rückströmwirbel, die ebenfalls luftfremde Stoffe in den Atembereich tragen können (siehe Abbildung 22, Seite 111).

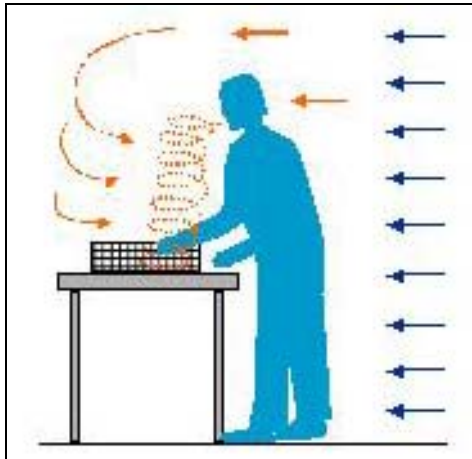


Abbildung 22:
Rückströmwirbel im Bereich des Werkers
(Darstellung ohne Absaugung)

Geeignet sind dagegen Strömungsmuster, die als Verdrängungsströmungen oberhalb des Werkstückes und/oder oberhalb des Werkers aufgebaut werden (siehe Abbildung 23).

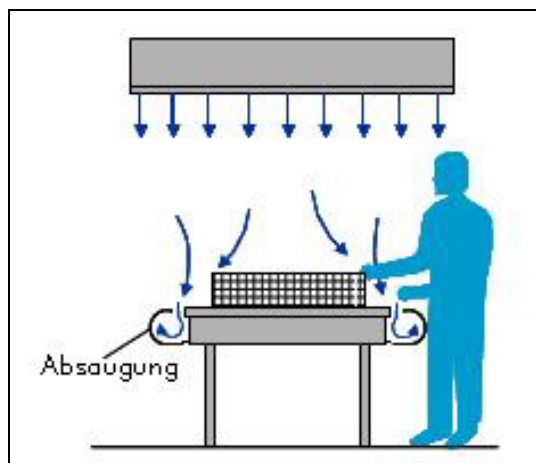


Abbildung 23:
Zuluftunterstütztes System mit beidseitiger
Drallerfassung am Werkstück

Die Luftzuführung erfolgt turbulenzarm durch großflächige Luftdurchlässe. Durch die Dimensionierung des Luftstroms ist sicherzustellen, dass der Impuls der vertikal nach unten gerichteten Strömung größer ist als der durch die Thermikströmung am Werker und ggf. am Werkstück entstehende Strömungsimpuls. Die Zuluftgeschwindigkeiten derartiger Systeme nehmen Werte in der Größenordnung von 0,1 bis 0,3 m/s an. Höhere Werte sind zu vermeiden, damit der turbulenzarme Charakter der Strömung erhalten bleibt. Die Temperatur der Zuluft muss um ca. 1 K bis 2 K unterhalb der Raumtemperatur liegen, um eine nach unten gerichtete Strömung sicherzustellen. Bei dieser Strömungsform sollte die Absaugung unmittelbar am Werkstück erfolgen, wobei



der Erfassungsvolumenstrom größer sein muss als der Zuluftstrom. Aus diesem Grund sind bei einer Kombination das Zuluftelement und die Erfassungseinrichtung sehr genau aufeinander abzustimmen.

8.4 Weiterführende Literatur

- [1] VDI 2262 Blatt 4 (E): Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Erfassen luftfremder Stoffe (03.04). Beuth, Berlin 2004
- [2] *Wittorf, F.*: Lufttechnische Konzepte zur Entsorgung „schwerer“ Lösemittel. VDI-Bericht Nr. 1854. VDI-Verlag, Düsseldorf 2004
- [3] *Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.-R.*: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2005/2006. Oldenbourg, München 2004
- [4] *Winkler, T.*: Technik zur Erfassung luftfremder Stoffe. In: DKV-Tagungsbericht Band IV (2001). Kessler Schnelldruck, Stuttgart 2001
- [5] *Winkler, T.*: Verbesserung der Luftqualität am Arbeitsplatz in der industriellen Fertigung – Vortrag. Imtech-Filialkonferenz, Hamburg, April 2004



9 Be- und Entlüftung bei der UP-Harz-Verarbeitung

Reinhold Sieberg,
Königstein

9.1 Einleitung

Der in Deutschland eingeführte Luftgrenzwert für Styrol von 20 ppm bedeutete für viele Verarbeiter von ungesättigten Polyesterharzen (UP-Harz) umfangreiche Aktivitäten, Anstrengungen und Investitionen. Allein der Einsatz so genannter „Milieuharze“ (Harze mit einem Zusatz, der die Styrolemission herabsetzt), konnte die Styrolemission um fast die Hälfte reduzieren. Weitere Verbesserungen wurden durch die Optimierung der Be- und Entlüftung bei der Verarbeitung von UP-Harzen erreicht.

Mit zahlreichen Praxisfällen sollen Lösungsbeispiele sowohl für die „Nachrüstung“ bestehender Anlagen als auch für Neuinstallationen gegeben werden. Da die in Europa vorgegebenen Grenzwerte von Staat zu Staat unterschiedlich sind, ist anhand der Berechnungsgrundlagen eine Umrechnung auf die jeweils geltenden Werte erforderlich. Darüber hinaus haben die Arbeiten gezeigt, dass auch andere Lösemittel bzw. Stäube mit den beschriebenen Be- und Entlüftungsmaßnahmen zu bewältigen sind.

9.2 Entwicklung von Milieuharzen

Die Absenkung des Luftgrenzwertes für Styrol von 100 auf 20 ppm im Jahr 1987 stellte die betroffenen Betriebe vor enorme Probleme. Daher versuchte die Industrie zunächst unter großem Aufwand, einen gleichwertigen Ersatz für Styrol zu finden. Tabelle 1 (siehe Seite 114) gibt eine Übersicht über verschiedene Monomere und ihre Eigenschaften.

Neben dem Aspekt, dass Styrol mit Abstand das kostengünstigste Monomer darstellte, wiesen die übrigen Monomere weitere Nachteile auf wie

- ☐ zu hohe Viskosität,



- ungünstige Härtungseigenschaften oder
- unangenehmer stechender Eigengeruch, der in Fertigungsbetrieben nicht akzeptabel ist.

Hinzu kam, dass beim Einsatz anderer Monomere alle Daten über die Eigenschaften von UP-Harzen, wie z. B. mechanische Werte, Chemikalienauglichkeit und Bewitterungseigenschaften, neu hätten geprüft und bewertet werden müssen.

Tabelle 1:
Übersicht über verschiedene Monomere und ihre Eignung zur Polymerisation

Monomer	Eigenschaften
Styrol	relativ preiswert, gut kopolymerisierbar, hoch reaktiv; Formteile sind mechanisch und thermisch hochwertig
α -Methylstyrol	geringe Reaktivität, dadurch niedrigere Spitzentemperaturen bei der Polymerisation und spannungsfreiere Vernetzung (Härtung) bei Verschlechterung der mechanischen Daten
meta-/para-Methylstyrol	Reaktivität und mechanisches Verhalten der Formteile wie bei Styrol; niedrigere Flüchtigkeit als Styrol; verminderte Schrumpfung bei der Härtung der Harze
Methylmethacrylat (MMA)	geeignet zur Verbesserung der Licht- und Wetterfestigkeit bei hoher Transparenz der Formteile; meist in Kombination mit Styrol zur Erzielung einer leichteren Kopolymerisation; starker unangenehmer Geruch
Diallylphthalat (DAP)	sehr geringe Flüchtigkeit, daher sehr gut geeignet für die Herstellung rieselfähiger Pressmassen; Formteile haben gute elektrische, thermische und mechanische Eigenschaften; UP-Harze mit DAP nur für die Heißhärtung geeignet

In der folgenden Zeit konzentrierten sich weitere Arbeiten auf die Entwicklung von Additiven, die in der Lage sein sollten, die Styrolemissionen zu reduzieren. Erste gute Ergebnisse wurden mit Paraffinwachsen erreicht. Diese werden zunächst in Monostyrol aufgeschmolzen und anschließend als 5%ige Lösung bis zu einem Anteil von 1 bis 2 % des Harzes zudosiert. Das Paraffinwachs bildet nach dem Harzauftrag an der



Harzoberfläche einen geschlossenen Film, der die Styrolverdunstung bei Standardharzen um bis zu 50 % reduziert (siehe Abbildung 1).

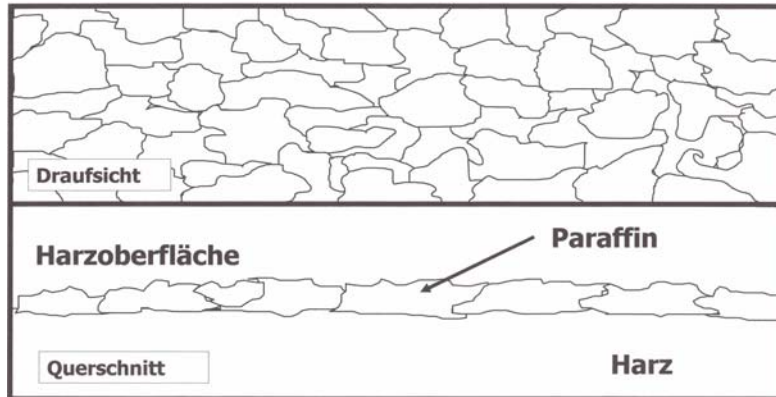


Abbildung 1:
Harzoberfläche
mit Paraffinwachs

Zu beachten ist, dass das Harz mit der oben beschriebenen Rezeptur nass in nass verarbeitet werden muss, da es sonst zu Problemen bei der Zwischenlagenhaftung kommen kann. Für den Einsatz in Dicyclopentadien-(DCPD), Vinylester- und Isophthalsäureharzen ist die Zugabe von Paraffinwachs nicht geeignet.

Bei der Zugabe einer Kombination von Paraffinwachs mit einem speziell entwickelten Haftvermittler (BYK[®]-S 740) zum Harz wird verhindert, dass sich ein geschlossener Wachsfilm bildet (siehe Abbildung 2). Beim Einsatz in Standardharzen wird dennoch eine ausgezeichnete emissionsreduzierende Wirkung unter Beibehaltung der interlaminaren Haftung – selbst bei einer Arbeitsunterbrechung von ein bis zwei Tagen – erreicht. Für den Einsatz in Spezialharzen ist das Verfahren jedoch nicht geeignet.

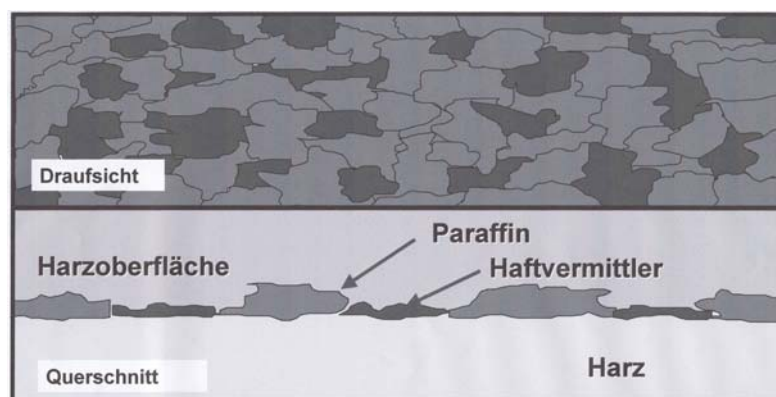


Abbildung 2:
Harzoberfläche
mit BYK[®]-S 740



Für den Einsatz in DCPD-, Vinylester- und Isophthalsäureharzen wurde ein spezielles Wachs mit polaren Komponenten (BYK®-S 750) entwickelt. Dieses Additiv bildet feine Kristalle an der Harzoberfläche (siehe Abbildung 3). Zwischen den Kristallen ist eine polare Komponente eingelagert, die dem Monomer der zweiten Laminatschicht ermöglicht, eine gute Verbindung mit der ersten Laminatschicht einzugehen.

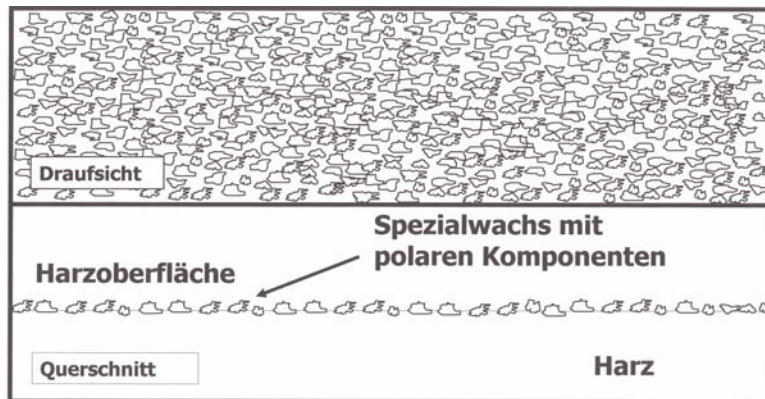


Abbildung 3:
Harzoberfläche
mit BYK®-S 750

9.3 Berechnungen von Styrolkonzentrationen am Arbeitsplatz

Für eine überschlägige Berechnung der Styrolverdunstungsmengen können die in Tabelle 2 dargestellten Werte zugrunde gelegt werden.

Tabelle 2:
Styrolverdunstung bei 20 °C

Verarbeitungsmethode	Standardharz		Milieuharz	
	A in g/m ²	B in %	A in g/m ²	B in %
Feinschicht, streichen/0,6 mm	70 bis 80	10 bis 12	30 bis 40	4 bis 6
Feinschicht, spritzen/0,6 mm	80 bis 90	12 bis 14	40 bis 50	6 bis 8
Harz-Faser-Spritzverfahren/ Laminatlage	70 bis 90	7 bis 9	30 bis 40	4 bis 6
Handverfahren/Laminatlage	60 bis 80	6 bis 8	20 bis 30	3 bis 5

A: Styrolverdunstung pro m² Feinschicht bzw. Laminatlage

B: Styrolverdunstung bezogen auf die verarbeitete Harzmenge



Wie die Zahlen in Tabelle 2 belegen, kann die Styrolverdunstung allein durch den Einsatz von Milieuharzen deutlich reduziert werden. Bei der Berechnung ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die Styrolverdunstung in starkem Maße von der Temperatur beeinflusst wird. Durch eine Temperaturänderung von 1 °C verändert sich die Styrolverdunstung um ca. 5 g/m².

Für die Auslegung der Be- und Entlüftungsanlage sind lediglich die frei werdende Styrolmenge und der daraus resultierende Luftvolumenstrom entscheidend. So kann bei bekannter Styrolverdunstung über den Luftstrom der Be- und Entlüftungsanlage berechnet werden, ob die vom Gesetzgeber vorgegebenen Grenzwerte für Styrol von

- 20 ppm am Arbeitsplatz,
- 100 mg/m³ in der Abluft im Industriegebiet bzw.
- 100 mg/m³ oder weniger in der Abluft im Gewerbegebiet

eingehalten werden können.

Rein rechnerisch ergibt sich für eine optimal ausgelegte Be- und Entlüftung bei einem Luftgrenzwert von 20 ppm in der Abluft eine Konzentration von 86 mg/m³. Dies wiederum bedeutet, dass für den Abtransport von 1 kg Styroldampf/Stunde ohne Sicherheitszuschlag mindestens 12 000 m³ Zuluft und eine um 10 bis 20 % höhere Abluftmenge erforderlich sind.

9.4 Be- und Entlüftung – Lösungsbeispiele aus der Praxis

An der Fachhochschule Münster wurde 1992 im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Verstärkter Kunststoffe (AVK) ein Modellversuch durchgeführt, um zu klären, welche Luftführungssysteme für die Be- und Entlüftung von GFK-Betrieben (GFK, Glasfaser-verstärkte Kunststoffe) geeignet sind. Die Untersuchungen zeigten damals, dass eine Belüftung über Quellluftschläuche mit turbulenzarmer Ausströmung und Luftsinkgeschwindigkeiten um 0,1 m/s am besten für die Verdrängung styrolbelasteter Luft



geeignet ist. Die im Folgenden aufgeführten Praxisbeispiele arbeiten alle nach diesem Prinzip.

9.4.1 Sheet-Moulding-Compound(SMC)-Pressen

In einer Produktionshalle mit 20 SMC-Pressen sollten die Pressenarbeitsplätze mit einer Be- und Entlüftung ausgestattet werden. Bei der Aufnahme des Ist-Zustands wurden beim Zuschneiden und Abziehen der Folien von den Prepregs auf dem Zuschneidetisch Belastungsspitzen von bis zu 80 ppm gemessen. Direkt an der Presse entstanden beim Öffnen kurzfristige Belastungen von bis zu 70 ppm.

In der Umsetzung wurde zunächst der Zuschneidetisch an drei Seiten geschlossen. Unterhalb des Tisches lagert der Materialvorrat. Die Materialentnahmeseite ist mit einem Streifenvorhang versehen. Um das beim Zuschneiden und Portionieren der Prepregs frei werdende Styrol zu erfassen, wurde an der Längsseite des Tisches eine Schlitzabsaugung installiert. Der Schlitz ist so dimensioniert, dass eine Luftabsauggeschwindigkeit von 2,5 bis 3 m/s erreicht wird (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4:
SMC-Presse und Zuschneidetisch

Darüber hinaus wurden parallel zu den Pressen in einer Höhe von ungefähr 2,5 m Quellluftschläuche und am Pressentisch ebenfalls eine Schlitzabsaugung installiert. Hierdurch konnte eine stabile Luftführung erreicht werden. Die erforderliche Luft-



menge pro Presse wurde auf 500 m³/h festgelegt. Arbeitsplatzmessungen nach der Installation der Quellluftschläuche ergaben am Zuschneidetisch und an der Presse Werte um 10 ppm (siehe Abbildung 5 und 6).

Abbildung 5:
Messprotokoll Zuschneidetisch

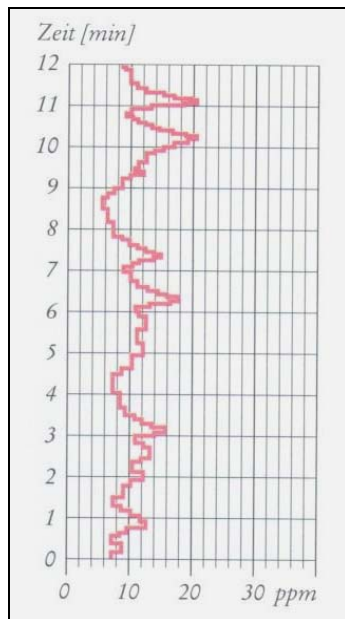
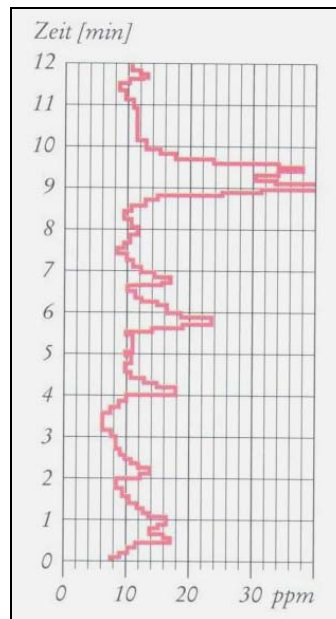


Abbildung 6:
Messprotokoll SMC-Presse



Die Zuluft für die Belüftung der Pressen konnte aus einer angrenzenden Lager- und Montagehalle gezogen werden, sodass die Kosten für diese Anlage mit ungefähr 5 000 € pro Arbeitsplatz ausgesprochen niedrig waren.

9.4.2 Pressmassenfertigung

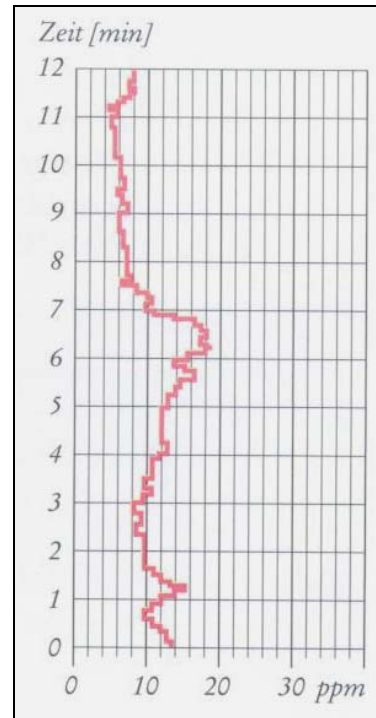
Das Hauptproblem an diesem Arbeitsplatz stellte das Abfüllen und Verpacken einer Pressmasse dar. Der Arbeitsplatz wurde mit einer Lüftungsdecke überbaut, über die Luft mit einem Volumenstrom von 1 000 m³/h zugeführt wurde. Die Absaugung (1 100 m³/h) erfolgte sowohl in Arbeitshöhe als auch am Fußboden, sodass eine gleichmäßige turbulenzarme Luftströmung entstand (siehe Abbildungen 7 und 8, Seite 120).



Abbildung 7:
Verpackung der Pressmasse



Abbildung 8:
Messprotokoll Verpackung Pressmasse



9.4.3 Laminierstraße

In dieser Fertigungsanlage werden Lamine zunächst in einer Spritzkabine vorge-spritzt, um dann anschließend in einer ca. 100 m² großen Laminierstraße verdichtet zu werden. Die Aufnahme des Ist-Zustandes ergab für die zugeführte Luftmenge eine ausreichende Dimensionierung. Das Hauptproblem bestand in der Luftführung: Wie in der Vergangenheit üblich wurde die Luft über Kanäle mit relativ kleinen Luftaustrittsöffnungen zugeführt (siehe Abbildung 9, Seite 121). Durch die dadurch entstehende hohe Luftaustrittsgeschwindigkeit vermischte sich das frei werdende Styrol gleichmäßig mit der Raumluft. Messungen in verschiedenen Luftschichten ergaben Werte zwischen 60 und 80 ppm.

Um eine bessere Luftführung zu erreichen, wurden die Luftauslässe in den Kanälen geschlossen und zwischen den Kanälen Quellluftschläuche mit einem Durchmesser von 50 cm montiert. Für die Aufnahme der Abluft wurden seitlich mehrere Ventilatoren installiert. Um eine Querbelüftung und dadurch einen besseren Abtransport der



belasteten Luft zu erreichen, wurden die in der gegenüberliegenden Wand vorhandenen Abluftöffnungen aktiviert (siehe Abbildung 10).

Abbildung 9:
Luftführung in der Laminierstraße vor den Umbaumaßnahmen

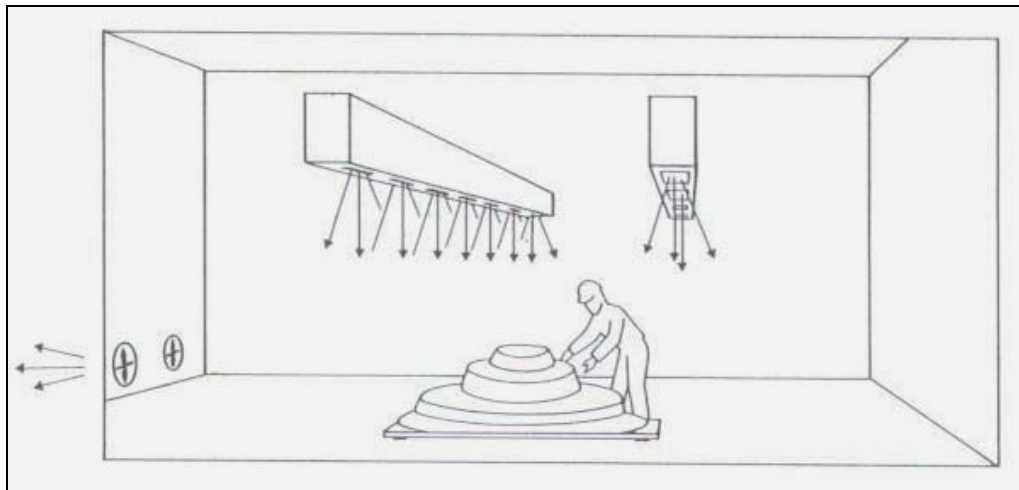


Abbildung 10:
Luftführung in der Laminierstraße nach den Umbaumaßnahmen

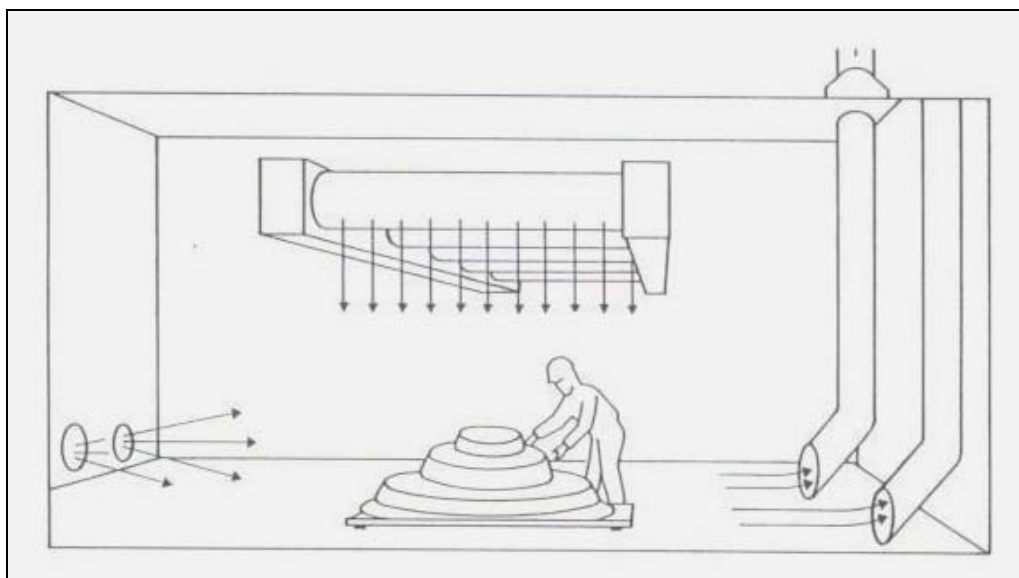


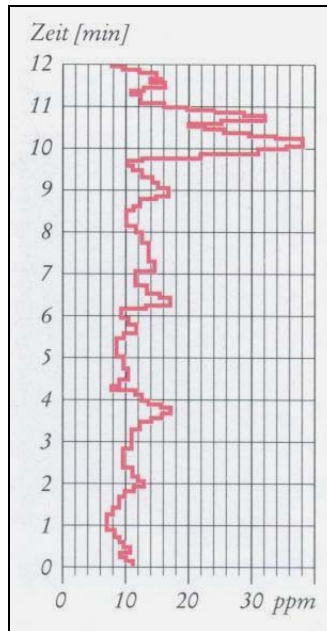
Abbildung 11 (siehe Seite 122) zeigt eine Laminierstraße im Betrieb. Eine Überprüfung der Styrolbelastung ergab bei Vollbetrieb Werte um 15 ppm (siehe Abbildung 12, Seite 122).



Abbildung 11:
Laminierstraße



Abbildung 12:
Messprotokoll Laminierstraße



9.4.4 Laminierkabine

Die betrachtete Anlage besteht aus zwei Laminierkabinen, die für eine wechselweise Nutzung ausgelegt wurden. Die Zu- und Abluft wird durch Umschaltklappen so gesteuert, dass nach den betrieblichen Erfordernissen wechselweise eine Be- und Entlüftung von Kabine 1 und Kabine 2 erfolgen kann. Die jeweils abgeschaltete Kabine wird dann auf deutlich verringertem Niveau weiter be- und entlüftet, sodass auch während der Aushärtungsphase der Formteile keine erhöhten Konzentrationen auftreten.

Die Belüftung erfolgt über vier laminare Luftauslässe, die längs des Raumes angebracht wurden. Rechts und links davon befinden sich in Bodennähe die Abluftkanäle (siehe Abbildungen 13 und 14, Seite 123). Für die Berechnung der erforderlichen Luftmengen wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Styrolverdunstungsraten pro m² Laminat zugrunde gelegt. Für die Zuluft ergab sich ein Volumenstrom von 8 000 m³/h und für die Abluft ein Volumenstrom von 9 000 m³/h. Arbeitsplatzmessungen ergaben Werte von 10 bis 15 ppm (siehe Abbildung 15, Seite 123).



Abbildung 13:
Gebäudequerschnitt Laminierkabine

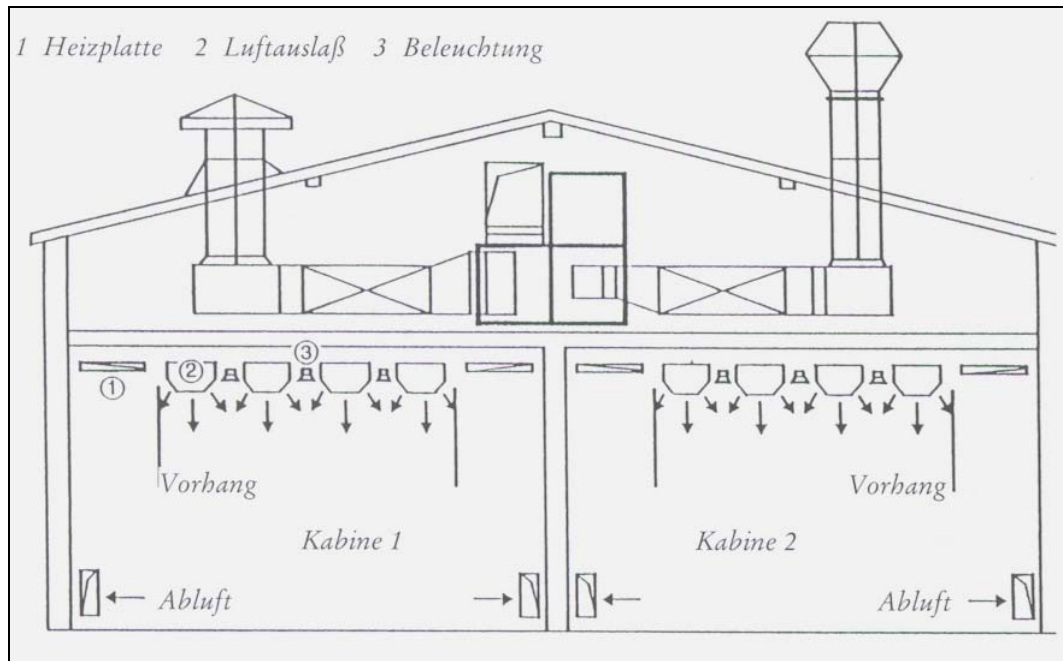
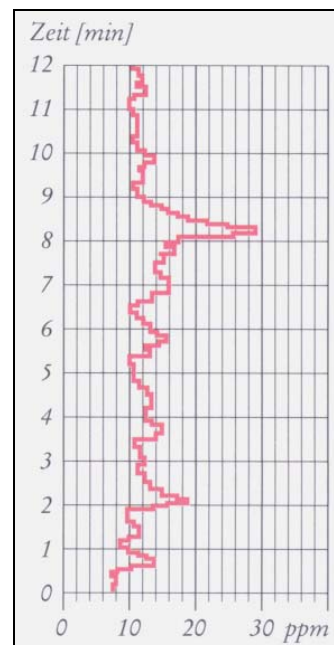


Abbildung 14:
Laminierkabine



Abbildung 15:
Messprotokoll Laminierkabine





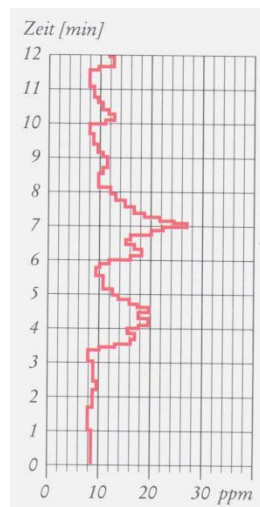
9.4.5 Frei stehende Spritz- und Laminierplätze

In diesem Fall wurde eine bestehende Anlage mit einem schienengeführten Arbeitsablauf umgerüstet. Die vorhandenen Luftvolumenströme sind mit 32 000 m³/h Zuluft und 40 000 m³/h Abluft ausreichend dimensioniert. Die installierte Luftmenge verteilt sich auf zwei Fertigungslinien. Die Anlage wird isotherm, also bei Raumtemperatur, gefahren. Im Bereich der Spritzplätze wird die belastete Luft an den Seitenwänden in ca. 60 cm Höhe und rechts und links davon in ca. 20 cm Höhe abgesaugt (siehe Abbildung 16). Durch diese Anordnung der Be- und Entlüftungselemente wird eine gleichmäßige Luftströmung erreicht, die styrolbelastete Luft verdrängt und abgesaugt. Die durchschnittliche Belastung liegt bei ungefähr 15 ppm (siehe Abbildung 17).

Abbildung 16:
Spritz- und Laminierplatz



Abbildung 17:
Messprotokoll Spritz- und Laminierplatz



9.4.6 Formen mit integrierter Schlitzabsaugung

Dem Gedanken folgend, dass Schadstoffe am besten direkt an der Quelle abzusaugen sind, wird die styrolbelastete Luft über den Formrand mit einer seitlichen Schlitzabsaugung abgezogen. Bei Formteilen mit einer Breite von 1,5 bis 2 m ist eine reine Schlitzabsaugung ausreichend, wenn die Luftabsauggeschwindigkeit auf 2 bis 3 m/s ausgelegt ist (siehe Abbildung 18, Seite 125). Bei größeren Formbreiten muss zusätzlich eine gezielte Belüftung über einen Quellauslass erfolgen, da die



Luftabsauggeschwindigkeit in der Mitte des Formteils nicht mehr ausreicht, um die dort frei werdenden Styrolmengen aufzunehmen und abzusaugen (siehe Abbildung 19).

Abbildung 18:
Form mit Schlitzabsaugung

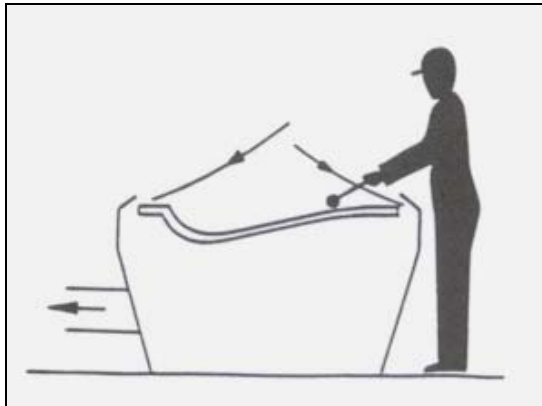
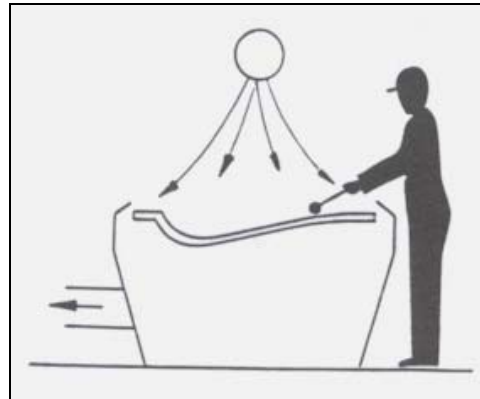


Abbildung 19:
Schlitzabsaugung mit Quellauslass



9.5 Schlussbetrachtung

Für die Be- und Entlüftung von Arbeitsplätzen in UP-Harz verarbeitenden Betrieben haben sich Lüftungsdecken, Quellluftschläuche und Kanäle bewährt. Bei einer sauber geführten und ausreichend bemessenen „Belüftung“ stehen die Mitarbeiter in einer nur gering belasteten Raumluft. So wird beim Heißpressen, bei dem die Mitarbeiter neben der Styrolbelastung erheblichen Temperaturen ausgesetzt sind, durch die Luft der Quelllüftung ein angenehmes Raumklima erreicht. Das Gleiche gilt für die handwerklichen Verfahren, bei denen aus Gründen der stabilen Luftführung die zugeführte Luft in den meisten Fällen eine um 3 bis 4 °C geringere Temperatur als die Raumluft aufweist.



Anschriften der Autoren

Dr. Dieter Bryniok	Fa. BioSolutions Ingenieurgesellschaft Achalmstraße 5 72144 Dußlingen
Dipl.-Ing. Peter Gross	Fa. Menzolit-Fibron Hermann-Beuttenmueller-Straße 11-13 75015 Bretten
Dipl.-Ing. Jürgen Markert	Fa. Keller Lufttechnik Neue Weilheimer Straße 30 73230 Kirchheim unter Teck
Dr. Steffen Mohr	Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie Südwestpark 2 und 4 90449 Nürnberg
Dipl.-Ing. Wolfgang Pfeiffer	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA Alte Heerstraße 111 53754 Sankt Augustin
Dr. Richard Schlachta	Bayerisches Landesamt für Umwelt Bürgermeister-Ulrich-Straße 160 86179 Augsburg
Reinhold Sieberg	Am Wickenstück 13 61462 Königstein
Dipl.-Ing. Elfi Teich	Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Hungener Straße 6 60389 Frankfurt am Main



Dipl.-Ing. Thomas Winkler

Fa. Imtech Deutschland

Tilsiter Straße 162

22047 Hamburg