

# BIA-Report 2/2004

## **Thermisches Spritzen**

**Gefahrstoffe, Messungen  
und Schutzmaßnahmen**



**HVBG**

Hauptverband der  
gewerblichen  
Berufsgenossenschaften

Verfasser: Edgar Rudolf, Wolfgang Pfeiffer  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA  
Sankt Augustin

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA  
Alte Heerstr. 111, D-53754 Sankt Augustin  
Telefon: +49 / 02241 / 231 – 01  
Telefax: +49 / 02241 / 231 – 1333  
Internet: [www.hvbg.de](http://www.hvbg.de)  
– März 2004 –

ISBN: 3-88383-658-3

ISSN: 0173-0387

# **Thermisches Spritzen – Gefahrstoffe, Messungen und Schutzmaßnahmen**

## **Kurzfassung**

Thermische Spritzverfahren haben sich in der Vergangenheit weiterentwickelt und die Anwendungsmöglichkeiten haben sich vermehrt. In den 80er-Jahren führte das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BIA umfangreiche Untersuchungen bei der Anwendung dieser Verfahren durch. Besonderes Augenmerk wurde auf Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Gefahrstoffexpositionen (Schutzmaßnahmen) gerichtet. Neuere Untersuchungen zeigten teilweise deutlich verbesserte Expositionsverhältnisse, wobei zwar viele Verfahrensabläufe gleich geblieben sind, aber optimierte Schutzmaßnahmen verbunden mit geringeren Expositionskonzentrationen anzutreffen waren. Die früheren Untersuchungsergebnisse wurden um die neueren ergänzt und im vorliegenden Report zusammengefasst. Aktuelle Erkenntnisse zu lufttechnischen Maßnahmen (Erfassung, Abscheidung, Raumlüftung) wurden dabei berücksichtigt und moderne Maßnahmen, die bisher noch nicht in praktischen Anwendungsfällen berücksichtigt wurden, werden ebenfalls beispielhaft beschrieben.

## **Thermal spraying – Dangerous substances, measurements, and protective measures**

### **Abstract**

Thermal spraying processes have undergone development and their scope of applications has widened. In the 1980s, the BG Institute for occupational safety (BIA) conducted comprehensive studies into the application of this process. Particular attention was paid to protective measures against increased exposure to hazardous substances. More recent studies have shown that in some cases, exposure conditions have improved substantially; although many processes have remained the same, improved protective measures and reduced exposure concentrations were observed. The results of the earlier studies were updated with the more recent results and summarized in the present report. The latest findings regarding air-handling measures (collection, filtration, room ventilation) were taken into account, and examples of leading-edge measures which have not yet found their way into practical application were also described.

# **La projection thermique – Substances dangereuses, mesurage et mesures de protection**

## **Résumé**

Au cours des années, les techniques de projection thermique n'ont cessé de se perfectionner, tandis que leurs domaines d'application se multipliaient. Durant les années 80, l'Institut pour la sécurité et la santé au travail des organismes d'assurance et de prévention des risques professionnels (BIA) a effectué des études de grande ampleur sur l'application de ces techniques, en se concentrant particulièrement sur les mesures de protection contre les risques accrus d'exposition aux substances dangereuses (mesures de protection). Des études récentes ont mis en évidence une nette amélioration de la situation en matière d'exposition, évolution qui s'explique par le fait que, bien que de nombreuses techniques soient restées les mêmes, on a observé à la fois une optimisation des mesures de protection, et une diminution des concentrations d'exposition. Les conclusions d'études anciennes ont été complétées par de plus récentes, et regroupées dans le présent rapport. On y trouve de récents progrès de recherches concernant les techniques d'aération (collecte, évacuation, aération des locaux), ainsi que la description, à titre d'exemple, de techniques modernes qui n'ont pas encore été utilisées dans des applications pratiques.

# **Proyección térmica de barnices – Substancias peligrosas, medición y medidas de protección**

## **Resumen**

Los procedimientos de pulverización térmica de barnices por pistola han sido perfeccionados y las posibilidades de aplicación se han multiplicado. En los años ochenta, el Instituto para la Seguridad en el Trabajo de los Organismos de Seguros y Prevención de Riesgos Profesionales (BIA, en sus siglas alemanas), llevó a cabo extensos estudios relativos a la aplicación de dichos procedimientos. Las medidas de protección contra la elevada exposición a sustancias peligrosas estuvieron en el centro de la atención. Investigaciones más recientes, en parte, indican exposiciones significativamente mejoradas. Mientras muchas de las secuencias procesales no sufrieron modificaciones, las medidas protectoras fueron optimizadas y las concentraciones encontradas de contaminantes resultaron inferiores. Con el presente Report se publica un resumen de los resultados de las nuevas investigaciones, que complementan los conocimientos derivados de los estudios anteriores. Además se presentan conocimientos actuales relativos a las medidas técnicas de ventilación (captación, separación, ventilación de locales), y también se ilustran, a manera de ejemplos, medidas modernas que hasta la fecha no han sido consideradas en el marco de aplicaciones prácticas.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Thermische Spritzverfahren</b> .....	<b>11</b>
2.1	Allgemeines.....	11
2.2	Einteilung .....	12
2.3	Verfahrensbeschreibung.....	13
2.4	Gefahrstoffgrenzwerte.....	17
2.5	Statistische Auswertung der Messergebnisse .....	19
<b>3</b>	<b>Messtechnische Untersuchungen</b> .....	<b>23</b>
3.1	Reparaturarbeiten an Straßenbahnachsen.....	24
3.2	Thermisches Spritzen als Lichtbogen an unterschiedlichen Werkstücken oder Flammstanzverfahren mit drahtförmigen Zusatzwerkstoffen .....	28
3.3	Thermisches Spritzen an unterschiedlichen Reparatur- und Neuteilen.....	32
<b>4</b>	<b>Technische Schutzmaßnahmen</b> .....	<b>37</b>
4.1	Allgemeines.....	37
4.2	Erfassung .....	38
4.2.1	Beispiele halboffener Erfassungssysteme .....	41
4.2.2	Beispiele offener Erfassungseinrichtungen .....	43
4.3	Abscheideverfahren, Abscheidung und Abscheider .....	46
4.4	Reinluftrückführung.....	51
4.4.1	Wärmerückgewinnung und Wärmenutzung.....	51
4.4.2	Anforderungen an Anlagen mit Reinluftrückführung.....	53
4.4.3	Betrieb von Anlagen mit Reinluftrückführung .....	55
4.4.4	Einschränkungen beim Umgang mit gas- und dampfförmigen Arbeitsstoffen.....	57
4.4.5	Nachweis der Abscheideleistung .....	57
4.5	Auslegung von Luftleitungen.....	58
4.6	Beseitigung abgelagerter Stäube.....	59
4.7	Persönliche Schutzmaßnahmen.....	59
4.8	Atemschutzeinrichtungen.....	60
4.9	Technische Gewährleistung .....	61
4.10	Wartung und Instandhaltung .....	62

4.11	Raumlüftung.....	63
<b>5</b>	<b>Gefahren von Staubbränden und -explosionen .....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen.....</b>	<b>69</b>
6.1	Beurteilung der Gefahrstoffkonzentrationen.....	69
6.2	Beurteilung der Erfassungseinrichtungen .....	69
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>77</b>





## 1 Einleitung

Das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BIA führte Anfang der 80er-Jahre umfangreiche Untersuchungen beim thermischen Spritzen durch. Dabei wurden die wesentlichen thermischen Spritzverfahren (Lichtbogenspritzen, Flamm-spritzen und Plasmaspritzen) berücksichtigt.

Ziel der Untersuchungen war u. a., gezielte Anforderungen an die Erfassungseinrichtungen hinsichtlich der Absauggeschwindigkeit und des Absaugvolumenstroms zu stellen, die Konstruktion (Größe, Form usw.) auf die spezifischen Verhältnisse abzustimmen und die Wirksamkeit der Maßnahmen zu überprüfen. Die Ergebnisse und die daraus resultierenden Empfehlungen wurden im BIA-Report 6/86 „Thermisches Spritzen – Technische Maßnahmen zur Staubminderung“ veröffentlicht [1]. Weitere Untersuchungen wurden von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) durchgeführt [2].

Moderne lufttechnische Maßnahmen, die sich bereits in anderen Industriebereichen bewährt haben und ebenfalls beim thermischen Spritzen eingesetzt werden können, sind nur selten anzutreffen. Daher wurde der vorliegende Report um solche Maßnahmen ergänzt.

Rund 15 Jahre nach Veröffentlichung des BIA-Reports 6/86 können für den Zeitraum von 1990 bis 2001 Messdaten aus einer statistischen Auswertung der BIA-Dokumentation MEGA [3] vorgelegt werden, die den heutigen technischen Stand der Schutzmaßnahmen beschreiben.

Dieser Datenbestand enthält Messdaten der klassischen Spritzverfahren, wie Lichtbogenspritzen, Flamm-spritzen und Plasmaspritzen, aus 134 Messserien in 100 Betrieben.





## 2 Thermische Spritzverfahren

### 2.1 Allgemeines

Das thermische Spritzen hat sich in vielen Bereichen der industriellen Fertigung etabliert. Steigerung von Produktivität und Leistungen technischer Anlagen und Maschinen erhöhen die Beanspruchung von Bauteilen und damit auch den Verschleiß. Durch das thermische Spritzen können hoch beanspruchte gefährdete Oberflächen bereits bei der Neuteilfertigung geschützt werden.

Daneben hat das thermische Spritzen auch im Reparaturbereich eine immer größere Bedeutung gewonnen. Mit dem thermischen Spritzen besitzt die Oberflächenbeschichtungstechnik ein Verfahren, das eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten von Grundwerkstoffen mit Beschichtungswerkstoffen bietet. Die Palette der Beschichtungswerkstoffe reicht von Metallen und Legierungen über Hartmetalle bis hin zu oxidischen und nicht oxidischen Keramiken sowie Polymeren.

Vorwiegend werden Beschichtungswerkstoffe aus Metall verwendet, z. B.:

- Ni/Cr-Pulver (70 bis 90 % Nickel, 0 bis 20 % Chrom, 0 bis 5 % Molybdän mit Zusätzen von Bor),
- Hartmetallpulver (50 bis 80 % Wolframcarbid, Rest: Nickel oder Cobalt),
- Zinkpulver (90 % Zink),
- Spritzdrähte (Cr/Ni-Basis, Kupfer, Molybdän, Zink),
- Aluminium.

Typische Anwendungsgebiete sind der Verschleiß- und Korrosionsschutz, die thermische oder elektrische Isolation, die Medizintechnik sowie Gebiete, in denen spezielle elektrische und magnetische Eigenschaften gefordert werden. Durch Optimierung bewährter sowie Erarbeitung neuer Verfahrensvarianten erschließen sich immer mehr Anwendungsgebiete.



Beim thermischen Spritzen wird der pulver- oder drahtförmige Beschichtungswerkstoff in einer Wärmequelle aufgeschmolzen und in Richtung des zu beschichtenden Basismaterials beschleunigt. Die geschmolzenen Partikel treffen mit hoher Geschwindigkeit auf der Oberfläche auf, werden beim Aufprall deformiert und kühlen rasch ab. Die einzelnen Teilchen verbinden sich durch Verklammerung und chemische Reaktionen und bilden so eine kompakte Schicht. Die Schichtdicken betragen etwa 0,1 bis 0,5 mm. Als Energieträger dienen Brenngas-Sauerstoff-Flamme, elektrischer Lichtbogen sowie Plasma- und Laserstrahl. Die Beschleunigung der Teilchen erfolgt durch das unter hohem Druck ausströmende Gas oder Gasgemisch.

Während des thermischen Spritzvorgangs gelangt ein Teil der verspritzten Stoffe als feinste Staubteilchen in die Umgebungsluft. Zum Schutz vor Expositionen müssen diese Stäube erfasst werden. In vielen Fällen werden die Spritzarbeiten in geschlossenen Kabinen durchgeführt. Bei Serienteilen können die Spritzarbeiten in den Kabinen u. U. durch automatische Anlagen ausgeführt werden. Diese Kabinen müssen in jedem Fall zwangsbelüftet werden. In erster Linie dienen die Kabinen allerdings dem Lärmschutz. Die Absaugung der Stäube erfolgt meist nur aus Gründen des Maschinenschutzes.

Bei unsachgemäßer Ausführung treten Stäube aus der Kabine aus und gefährden das Bedienpersonal. Hohe Spitzenbelastungen treten auf, wenn Kabinen in Spritzpausen zu früh und ohne Atemschutz betreten werden.

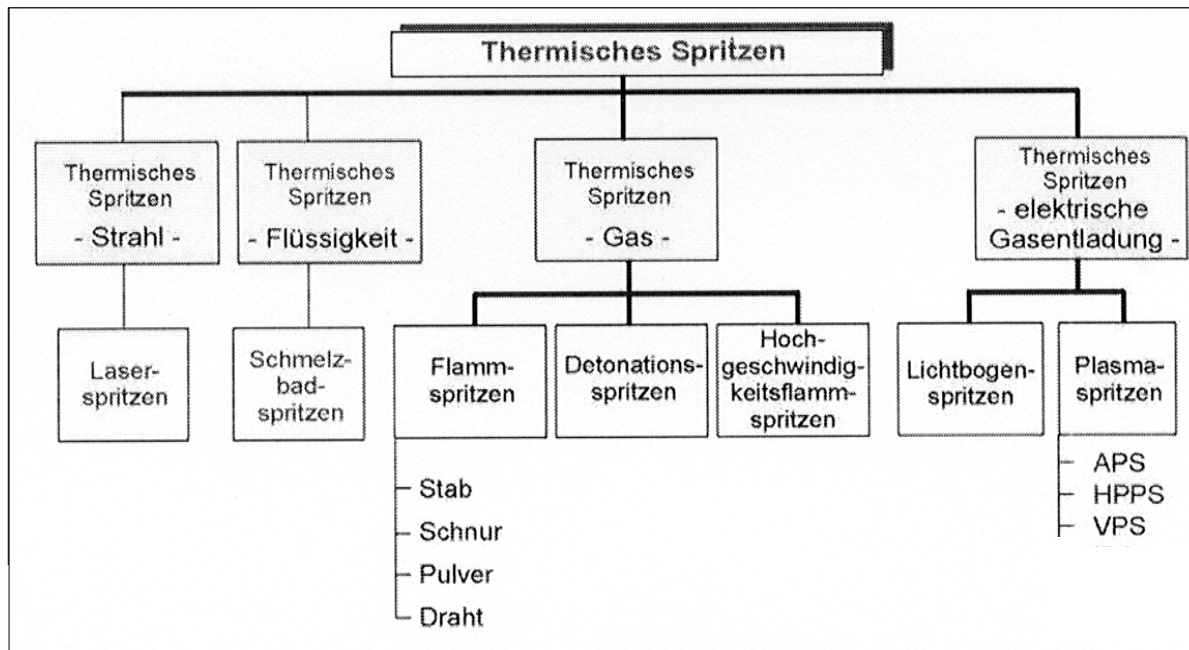
Bei Reparaturarbeiten und bei der Behandlung von sehr großen Werkstücken werden die Spritzarbeiten im Arbeitsraum durchgeführt. Geschieht dies ohne Absaugung (Erfassung) bzw. mit unzureichender Absaugung der Gefahrstoffe, können am Arbeitsplatz hohe Gefahrstoffkonzentrationen auftreten.

## 2.2 Einteilung

Unter dem Begriff „Thermisches Spritzen“ sind unterschiedliche Spritzverfahren zusammengefasst. Sie werden entsprechend DIN EN 657 [4] unterteilt nach Art des Spritzzusatzwerkstoffes, der Fertigung oder des Energieträgers (Abbildung 1, siehe Seite 13).



Abbildung 1:  
Einteilung der Spritzverfahren



APS: atmosphärisches Plasmaspritzen

HPPS: Hochleistungsplasmaspritzen

VPS: Vakuumplasmaspritzen

### 2.3 Verfahrensbeschreibung

Die in der betrieblichen Anwendung wichtigsten Verfahren sind die beiden Niedrigenergie-Verfahren Lichtbogen- und Flammspritzen (Abbildungen 2 und 3, siehe Seite 14). Bei den Hochenergie-Verfahren rangiert das Plasmaspritzen an erster Stelle vor dem Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen.

Nachfolgende Verfahrensbeschreibungen zeigen die Funktionsweise der wichtigsten thermischen Spritzverfahren.

Beim Lichtbogenspritzen wird ein Draht- oder Fülldraht-Spritzzusatz in einem Lichtbogen geschmolzen und mittels Zerstäubergas (Luft) auf die Werkstückoberfläche geschleudert (Abbildung 2). Mit diesem Verfahren können nur elektrisch leitende Materialien verspritzt werden.



Abbildung 2:  
Lichtbogenspritzen

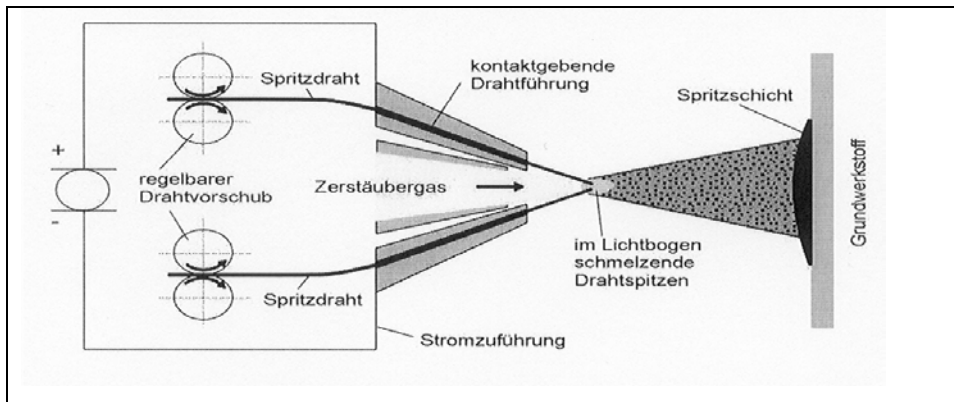
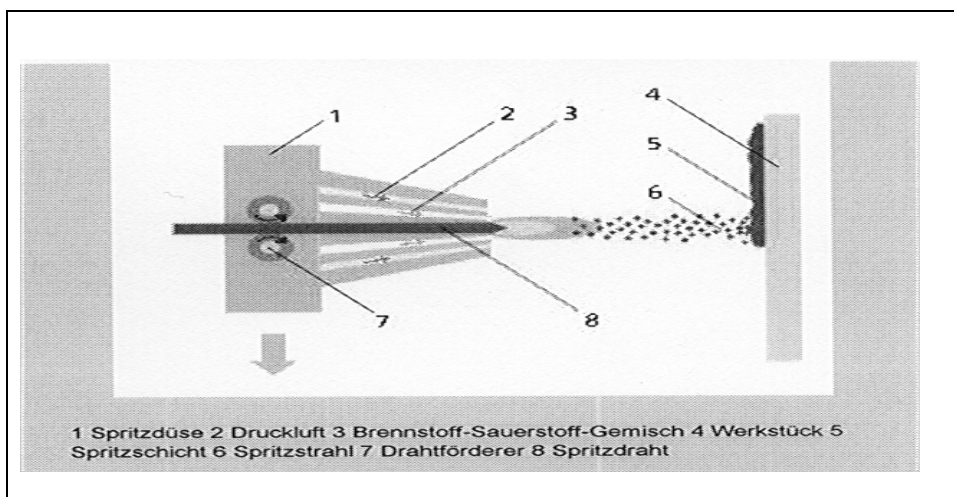


Abbildung 3:  
Flammspritzen

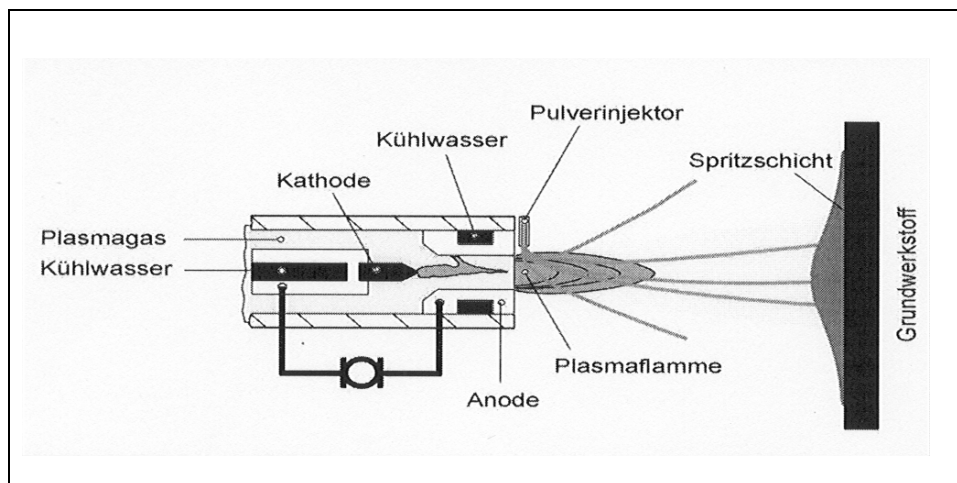


Beim Flammsspritzen wird das Aufschmelzen von draht-, stab- oder pulverförmigen Zusatzwerkstoffen in einer Brenngas-Sauerstoff-Flamme erreicht. Der Transport der tröpfchenförmigen Spritzpartikeln zum Werkstück erfolgt durch ein Trägergas (meist Druckluft).

Beim Plasmaverfahren wird der pulverförmige Spritzzusatz in oder außerhalb der Spritzpistole durch einen Plasmastrahl geschmolzen und auf die Werkstücksoberfläche geschleudert (Abbildung 4, siehe Seite 15). Das Plasma wird durch einen Lichtbogen erzeugt, der gebündelt in Argon, Helium, Stickstoff, Wasserstoff oder in deren Gemischen brennt. Die Gase werden dabei dissoziiert und ionisiert, sie erreichen hohe

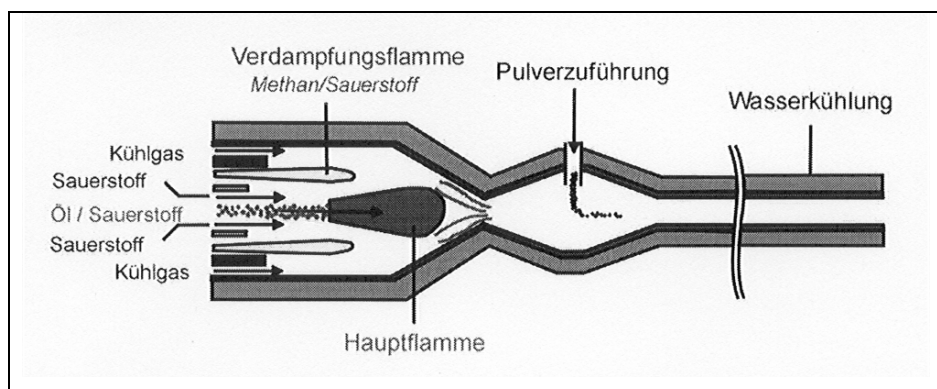
Ausströmgeschwindigkeiten und geben bei der Rekombination ihre Wärmeenergie an die Spritzpartikeln ab.

Abbildung 4:  
Plasmaspritzen



Beim Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen erfolgt eine kontinuierliche Gasverbrennung mit hohen Drücken innerhalb einer Brennkammer, in die das pulverförmige Spritzgut zugeführt wird (Abbildung 5). Der in der Brennkammer erzeugte hohe Druck des Brenngas-Sauerstoff-Gemisches und die Beschleunigung des Gemisches in der nachgeordneten Expansionsdüse erzeugen die gewünschte hohe Strömungsgeschwindigkeit im Gasstrahl.

Abbildung 5:  
Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen





Die einzelnen thermischen Spritzverfahren (physikalische Daten, siehe Tabelle 1) konkurrieren in ihrer Anwendung nicht miteinander, sondern ergänzen sich durch ihre spezifischen Verfahrenseigenschaften. Unterschiede bestehen in der Art des Spritzzusatzwerkstoffes, der Verfahrensanwendung oder des Energieträgers. Die klassischen Verfahren werden hinsichtlich Beschichtungsleistung und Qualität der Beschichtung ständig weiterentwickelt. Ein weiteres Ziel intensiver Entwicklungen ist zum Beispiel die fortschreitende Tendenz zu höheren Partikelgeschwindigkeiten bei gleichzeitig sinkenden Partikeltemperaturen unter die Schmelzpunkte der Spritzzusatzwerkstoffe.

Die schichtspezifischen Eigenschaften der Oberflächen, wie Porosität, Haftfestigkeit und Mikrostruktur, sowie die äußeren Eigenschaften, wie Härte und Verschleißfestigkeit, werden durch die Geschwindigkeiten der Werkstoffpartikeln beeinflusst.

Zu den aufgezeigten herkömmlichen thermischen Spritzverfahren sind in den letzten Jahren, insbesondere auf dem Gebiet des Plasmaspritzens, verschiedene Verfahrensvarianten entwickelt worden. Sie alle basieren auf den Grundlagen des beschriebenen Verfahrens und unterscheiden sich vor allem durch die Umgebungsbedingungen (Atmosphäre APS, Vakuum VPS). Sie wurden zum Teil für spezielle Anwendungen (u. a. Medizintechnik) oder Spritzwerkstoffe (z. B. Oxidkeramiken) weiterentwickelt.

Neben Metalllegierungen werden heute Kunststoffe, Kunststoff- und Metallschäume sowie Keramiken beschichtet.

Tabelle 1:  
Physikalische Daten zu thermischen Spritzverfahren

<b>Spritzverfahren</b>	<b>Temperatur in °C</b>	<b>Partikelgeschwindigkeit in m/s</b>
Lichtbogenspritzen	4 000	bis 150
Flammspritzen	max. 3 160	50 bis 200
Plasmaspritzen	bis 20 000	> 450
Hochgeschwindigkeits-Flammspritzen	ca. 3 160	> 550





## 2.4 Gefahrstoffgrenzwerte

Bei allen Verfahren zum thermischen Spritzen werden Spritzzusätze geschmolzen und mithilfe eines Trägergases auf das Werkstück aufgespritzt. Dabei verfehlt ein Teil des Spritzzusatzes das Werkstück, ein weiterer Teil prallt von ihm zurück und gelangt u. U. in den Atembereich der Beschäftigten. Die Wirkung dieser luftverunreinigenden Stoffe ist sehr unterschiedlich. Als Maßstab für die Bewertung dienen die Luftgrenzwerte nach TRGS 900 [5] und TRGS 102 [6].

Die Gefährdung im Arbeitsbereich durch Schadstoffbelastungen ist abhängig von Art und Menge der aus dem Spritzwerkstoff freigesetzten Stoffe. Bei allen thermischen Spritzverfahren stehen überwiegend metallische Bestandteile, wie z. B. Nickel, Molybdän, Cobalt und Kupfer, sowie Chromate im Vordergrund.

Die Konzentrationen der entstehenden gesundheitsgefährdenden Stäube werden durch die Messung der einatembaren Fraktion bestimmt [5 bis 8]. Bei der Beurteilung der Arbeitsplätze muss neben der Einhaltung der Grenzwerte für die Metalle und deren Verbindungen auch überprüft werden, ob die Allgemeinen Staubgrenzwerte [5] unterschritten werden.

Mit der Veröffentlichung im Bundesarbeitsblatt 9/2001 wurde ein neuer Allgemeiner Staubgrenzwert festgelegt, der sich aus zwei Grenzwerten für die alveolengängige Fraktion (A-Fraktion) von  $3 \text{ mg/m}^3$  und  $6 \text{ mg/m}^3$  (bestimmte Ausnahmereiche) sowie einem Grenzwert für die einatembare Fraktion (E-Fraktion) von  $10 \text{ mg/m}^3$  zusammensetzt [9; 10] (Tabelle 2, siehe Seite 18).

Bei der Beurteilung der Konzentrationen am Arbeitsplatz brauchen vielfach nicht alle Gefahrstoffkomponenten berücksichtigt zu werden [11]. Es empfiehlt sich, Leitkomponenten festzulegen, um den analytischen Aufwand auf das notwendige Maß zu beschränken. Diese Leitkomponenten richten sich nach den kritischsten Inhaltsstoffen, d. h. kritisch in Bezug auf die Gesundheitsgefährdung und die Konzentration in der Luft. Tabelle 3 (siehe Seite 18) zeigt eine Übersicht der Grenzwerte für einige Metalle und Gase.



Tabelle 2:  
Der Allgemeine Staubgrenzwert

Stoff	Luftgrenzwert in mg/m <sup>3</sup>	Spitzen- begrenzung	Bemerkungen
Allgemeiner Staubgrenzwert (siehe auch Nr. 2.4 (Überprüfung zum 1.9.2006))			TRGS 901-96 [9]
Alveolengängige Fraktion			
<input type="checkbox"/> für Tätigkeiten/Arbeitsbereiche gemäß Nummer 2.4 Abs. 8 und 9 in Verbindung mit Abs. 10 der TRGS 900 [5]	6	4	
<input type="checkbox"/> im Übrigen	3	4	
Einatembare Fraktion			
<input type="checkbox"/> für Stoffe gemäß 2.4 Abs. 7 der TRGS 900 [5]	10		
<input type="checkbox"/> im Übrigen ab 01.04.2004 (in Verbindung mit Nummern 2.4 Abs.11 der TRGS 900) [5]	10		

Tabelle 3:  
Übersicht der Luftgrenzwerte

Schadstoff	Luftgrenzwert	Art	Spitzenbegrenzung
Metallstäube			
Chrom(VI)-Verbindungen	0,05 mg/m <sup>3</sup> E-Fraktion	TRK	4
Molybdänverbindungen, lösliche	5 mg/m <sup>3</sup> E-Fraktion	MAK	4
Nickel (Metall)	0,5 mg/m <sup>3</sup> E-Fraktion	MAK	4
Cobalt und seine Verbindungen	0,1 mg/m <sup>3</sup> E-Fraktion	MAK	4
Kupfer und seine Verbindungen	1 mg/m <sup>3</sup> E-Fraktion	MAK	4
Zinkoxidrauch	5 mg/m <sup>3</sup> A-Fraktion	MAK	4
Gase			
Kohlenmonoxid	30 ppm	MAK	2
Kohlendioxid	5 000 ppm	MAK	4
Ozon	0,1 ppm	MAK	=1=
Stickstoffdioxid	5 ppm	MAK	=1=



## 2.5 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Die für den Zeitraum von 1990 bis 2001 vorliegende statistische Auswertung der BIA-Dokumentation MEGA zeigt Tabelle 4 (siehe Seite 20). Der selektierte Datenbestand umfasst 134 Messserien aus 100 Betrieben mit einer Expositionsdauer der Beschäftigten von  $\geq 6$  Stunden und einer Probenahmedauer von  $\geq 1$  Stunde.

Eine weitere Differenzierung der Auswertung erfolgte nach:

### Arbeitsbereichen

Ausreichende Messdaten liegen für Arbeitsbereiche der klassischen Spritzverfahren (Lichtbogenspritzen, Flamm-spritzen und Plasmaspritzen) vor. Weitere Arbeitsbereiche sind entweder nicht im Datenbestand enthalten oder eine statistische Auswertung wurde aufgrund einer geringen Anzahl untersuchter Betriebe (weniger als fünf Betriebe) nicht durchgeführt.

### Gefahrstoffen

In der statistischen Auswertung wurde unterschieden nach alveolengängiger und einatembarer Staubfraktion, Chrom(VI)-Verbindungen, Cobalt, Kupfer sowie Nickel und Verbindungen.

### Erfassung der Gefahrstoffe

In der statistischen Auswertung sind Messdaten enthalten, die sowohl mit als auch ohne Gefahrstofferrfassung ermittelt wurden; eine Unterscheidung nach der Art der Erfassung wurde nicht getroffen.

Die in Tabelle 4 dargestellten Ergebnisse der Konzentrationen für die untersuchten Spritzverfahren wurden aus der Verteilung der Messergebnisse des Gesamtkollektivs aller Messungen im Zeitraum von 1990 bis 2001 ermittelt. Dabei wurden jeweils der 50-%-Wert und der 90-%-Wert aus der Verteilung der Einzelmessergebnisse und der prozentuale Anteil der Messergebnisse, die unterhalb des jeweiligen Grenzwertes liegen, dargestellt.



Tabelle 4:  
Statistische Auswertung der Messdaten (Zeitraum von 1990 bis 2001)

Verfahren	Gefahrstoff	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	< GW in % *)	Luftgrenzwert in mg/m <sup>3</sup>
Lichtbogenspritzen	A-Fraktion	26	8	0,45	7,95	85	3
	mit Erfassung	19	7	0,43	14,86	79	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	Chrom(VI)-Verbindungen	nicht auswertbar					0,05
Flammspritzen	A-Fraktion	49	30	0,30	0,96	100	3
	mit Erfassung	47	28	0,29	0,97	100	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	E-Fraktion	77	31	0,88	4,11	96	10
	mit Erfassung	75	31	0,88	4,19	96	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	Kupfer und seine Verbindungen	9	6	nicht auswertbar		89	1
	Zinkoxidrauch	5	4	nicht auswertbar		100	5
	Chrom(VI)-Verbindungen	65	27	0,001	0,009	97	0,05
	mit Erfassung	64	27	0,001	0,009	97	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	Cobalt und seine Verbindungen	31	16	0,002	0,03	97	0,1
	mit Erfassung	30	16	0,002	0,03	97	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	Nickel und seine Verbindungen	108	43	0,03	0,26	94	0,5
	mit Erfassung	105	42	0,03	0,27	93	
ohne Erfassung	nicht auswertbar						



Fortsetzung Tabelle 4

Verfahren	Gefahrstoff	Anzahl Messdaten	Anzahl Betriebe	50%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	90%-Wert in mg/m <sup>3</sup>	< GW in %	Luftgrenzwert in mg/m <sup>3</sup>
Plasma-spritzen	A-Fraktion	12	8	0,12	0,29	100	3
	mit Erfassung	11	7	0,11	0,27	100	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	E-Fraktion	18	8	0,36	3,28	94	10
	mit Erfassung	17	7	0,36	3,72	94	
	ohne Erfassung	nicht auswertbar					
	Chrom(VI)-Verbindungen	19	9	0,002	0,003	100	0,05
	mit Erfassung	16	7	0,002	0,003	100	
	ohne Erfassung	3	2	nicht auswertbar		100	
	Cobalt und seine Verbindungen	18	6	0,006	0,104	89	0,1
	mit Erfassung	15	4	nicht auswertbar		87	
	ohne Erfassung	3	2	nicht auswertbar			
	Nickel und seine Verbindungen	33	10	0,01	0,15	97	0,5
	mit Erfassung	32	9	0,01	0,15	97	
	ohne Erfassung	1	1	nicht auswertbar			

\*) GW = Grenzwert

Die statistische Auswertung lässt erkennen, dass die überwiegende Anzahl der Messungen beim thermischen Spritzen unter Verwendung von Erfassungseinrichtungen durchgeführt wurden. Diese Messungen erfolgten im Rahmen von Betriebsmessungen zur Beurteilung der Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen. Betrachtet man die 90-%-Werte in Spalte 6 der Tabelle 4, so lässt sich feststellen, dass bei einwandfreier Funktion der Erfassungseinrichtungen die derzeit geltenden Grenzwerte eingehalten werden können.



Beim Lichtbogenspritzen mit Erfassung wurde jedoch ein relativ hoher 90-%-Wert (14,86 mg/m<sup>3</sup>) festgestellt. Eine genaue Analyse der vorliegenden Daten zeigte, dass der 90-%-Wert durch drei Messwerte mit hohen Konzentrationen aus einem Betrieb beeinflusst wird. Hier wurden Messungen innerhalb einer geschlossenen Spritzkabine mit Absaugung durchgeführt. Die dort beschäftigte Person war mit einem Frischlufthelm als Atemschutzgerät ausgestattet, sodass die ermittelten Konzentrationswerte keine Expositionswerte darstellen.



### 3 Messtechnische Untersuchungen

Zur Ermittlung der Schadstoffkonzentrationen an Arbeitsplätzen sowie der Wirksamkeit der unterschiedlichen Erfassungseinrichtungen bei verschiedenen thermischen Spritzverfahren führte das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz – BIA in den 80er-Jahren messtechnische Untersuchungen durch.

Die messtechnischen Untersuchungen umfassten die

- Bestimmung der Schadstoffkonzentrationen in Anlehnung an die TRGS 402 [7] mit dem stationären Staubsammelgerät VC 25 G und der personengetragenen Probenahmeeinrichtung PAS (Personal-Air-Sampler Du Pont P 4000),
- Ermittlung der Luftvolumenströme für die Absaugluftmengen mit einem Prandtl-Staurohr und Mikromanometer,
- Ermittlung der klimatechnischen Daten (Temperaturen und Luftfeuchten) mittels eines elektronischen Hygrometers, Bauart „Ultrakust“.

Die Messungen erfolgten in drei verschiedenen Betrieben mit unterschiedlichen Arbeitsverfahren sowie Erfassungseinrichtungen und zwar:

- Messreihe 1 – Reparaturarbeiten an Straßenbahnachsen  
Spritzverfahren: Flammspritzen mit pulverförmigen Spritzwerkstoffen, Pulver nickelhaltig (90 % Ni),  
Erfassungseinrichtung: BIA-Entwicklung,  
Aufgabenstellung: Optimierung der Konstruktionsform sowie Auslegung des Absaugluftvolumenstromes
- Messreihe 2 – Thermisches Spritzen an unterschiedlichen Werkstücken  
Spritzverfahren: Lichtbogen- und Flammspritzen mit drahtförmigen Spritzwerkstoffen,  
Erfassungseinrichtung: bewegliche Absaughaube, Firmenentwicklung,



Aufgabenstellung: Feststellen der Wirksamkeit der Erfassungsleistung von luftfremden Stoffen

□ Messreihe 3 – Thermisches Spritzen an Reparatur- bzw. Neuteilen

Spritzverfahren: Plasmaspritzen und Flamm-spritzen mit pulver- und drahtförmigen Spritzwerkstoffen,

Erfassungseinrichtung: Einhausung einzelner Werkzeugmaschinen und Spritzstände mit integrierten Erfassungselementen

Aufgabenstellung: Feststellen der Wirksamkeit der Erfassungsleistung von luftfremden Stoffen.

### 3.1 Reparaturarbeiten an Straßenbahnachsen

Die Einrichtungen zur Erfassung von Gefahrstoffen wurden als Versuchsaufbau an einer Drehmaschine angeordnet und mittels verschiedener Abscheideeinrichtungen – Industriestaubsauger oder Kleinentstauber – mit unterschiedlichen Luftleistungen abgesaugt. Als Spritzwerkstoff wurde Metallpulver mit Nickelanteilen von 90 % eingesetzt.

Als Erfassungseinrichtung beim Flamm-spritzen werden häufig einfache Absaugdüsen eingesetzt (Abbildung 6, siehe Seite 25). Die Wirksamkeit derartiger Erfassungseinrichtungen ist unbefriedigend.

Für eine ausreichende Erfassung bei rotationssymmetrischen Teilen sollte die Erfassungseinrichtung die Emissionsquelle so weit wie möglich umschließen. Dabei ist der Abstand zwischen Werkstück und Erfassungseinrichtung so zu wählen, dass die Fluggeschwindigkeit der Staubpartikeln weitgehend abgebaut ist, um Rückpralleffekte zu vermeiden.

Konstruktionshinweise für eine Erfassungseinrichtung in Abhängigkeit vom Durchmesser des Werkstückteils zeigt die Schemaskizze in Abbildung 7 (siehe Seite 25).

Die in die Schlitze einströmende Luft sollte eine Geschwindigkeit  $> 10$  m/s erhalten. Der insgesamt erforderliche Absaugstrom richtet sich nach der Länge  $L$  der Saugwand und dem Durchmesser  $d$  des Werkstücks.





Abbildung 6:  
Handelsübliche Absaugsonde zur Gefahrstofferrfassung beim Flammsspritzen

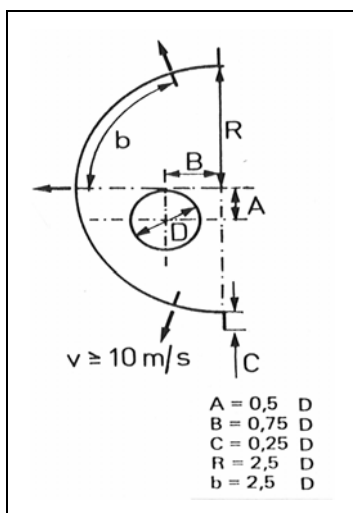
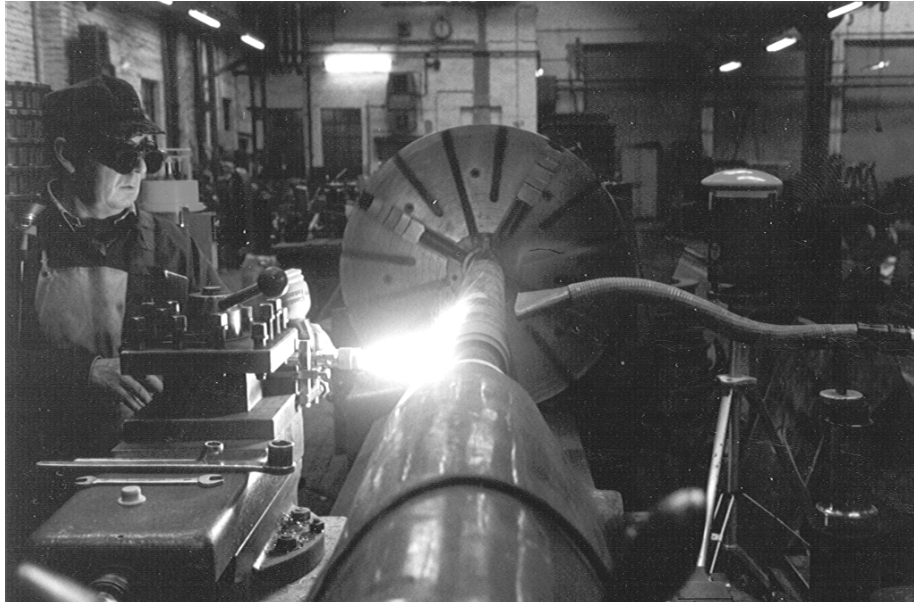


Abbildung 7:  
Absaugschema Drehmaschine

Die Anordnung der Erfassungseinrichtung, die im Versuchsaufbau eingesetzt wurde, zeigt die Schemaskizze in Abbildung 8 bzw. Abbildung 9 (siehe Seite 26).

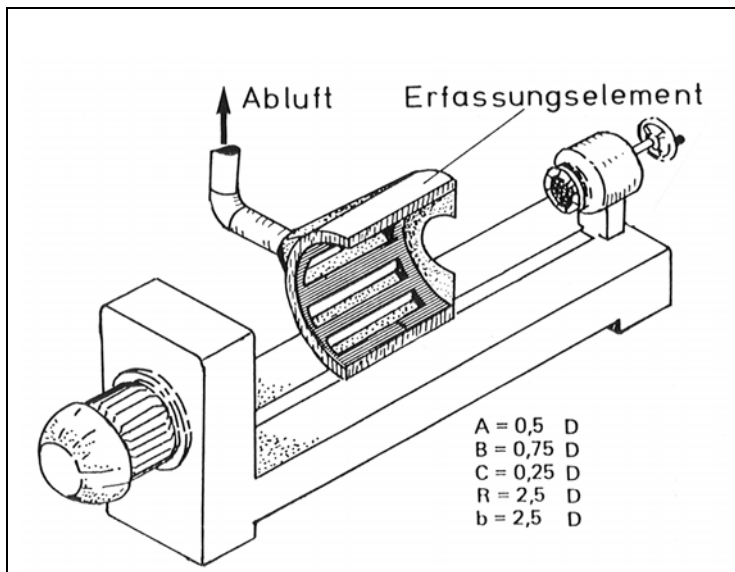


Abbildung 8:  
Erfassung offener Bauart



Abbildung 9:  
Versuchsaufbau zur Beurteilung des Erfassungsgrades

Die messtechnischen Untersuchungen erfolgten bei unterschiedlichen Absaugmengen und verschiedenen Abscheidern:

- Industriestaubsauger mit einer Absaugmenge von 560 m<sup>3</sup>/h  
Luftgeschwindigkeit  $v = 5,9$  m/s an den Saugschlitzten  
Luftgeschwindigkeit  $v = 0,9$  m/s in der Erfassungsebene  
Maximaltemperatur hinter der Erfassungseinrichtung = 128 °C



- Industriestaubsauger mit einer Absaugmenge von 650 m<sup>3</sup>/h  
 Luftgeschwindigkeit  $v = 6,0$  m/s an den Saugschlitzten  
 Luftgeschwindigkeit  $v = 1,2$  m/s in der Erfassungsebene  
 Maximaltemperatur hinter der Erfassungseinrichtung = 108 °C
- Kleinentstauber mit einer Absaugmenge von 1 100 m<sup>3</sup>/h  
 Luftgeschwindigkeit  $v = 10,0$  m/s an den Saugschlitzten  
 Luftgeschwindigkeit  $v = 1,6$  m/s in der Erfassungsebene  
 Maximaltemperatur hinter der Erfassungseinrichtung = 88 °C

Die Untersuchungen umfassten alle verfahrenstechnischen Vorgänge wie z. B. Wärmern, Schleifen und Pulverspritzen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5:  
Messergebnisse aus den Untersuchungen der Messreihe 1

Messplatz	Gefahr- stoff	$\dot{V}_{\text{Abl}} = 560$		$\dot{V}_{\text{Abl}} = 650$		$\dot{V}_{\text{Abl}} = 1\ 100$	
		$C_G$	$C_S$	$C_G$	$C_S$	$C_G$	$C_S$
Links vor der Drehmaschine	Ni	1,39	0,44	0,85	0,08	< 0,69	0,02
Rechts vor der Drehmaschine	Ni	0,70	0,15	0,93	0,07	< 0,64	0,02
Links hinter der Drehmaschine	Ni	0,65	0,03	0,61	0,03	< 0,64	0,01
Rechts hinter der Drehmaschine	Ni	0,65	0,05	0,65	0,04	< 0,64	< 0,05
Direkt am Erfassungselement *)	Ni	---	5,6	---	0,05	---	< 0,05

\*) Diese Messungen erfolgten mit dem Personal-Air-Sampler Du Pont P 4000 (PAS).

$\dot{V}_{\text{Abl}}$  = Abluftvolumenstrom in m<sup>3</sup>/h  
 $C_G$  = E-Staub-Konzentration in mg/m<sup>3</sup>  
 $C_S$  = Schadstoffkonzentration in mg/m<sup>3</sup>



### 3.2 Thermisches Spritzen als Lichtbogen an unterschiedlichen Werkstücken oder Flammgespritzverfahren mit drahtförmigen Zusatzwerkstoffen

Die Einrichtung zur Gefahrstofferrfassung wurde ebenfalls als Versuchsaufbau an einer Drehmaschine angeordnet. Die Absaugung erfolgte über einen Ventilator ohne Abscheideeinrichtung mit unterschiedlichen Absaugvolumenströmen. Die Verfahren Lichtbogenspritzen und Flammgespritzen mit den Spritzwerkstoffen wurden entsprechend Tabelle 6 eingesetzt.

Tabelle 6:  
Art der verwendeten Spritzwerkstoffe

Versuchsanordnung	Verfahren	Spritzwerkstoff
I	Lichtbogenspritzen	MCr 18-8-6
II	Lichtbogenspritzen	MCr 18-8-6
IIIa	Flammgespritzen	Mo-Draht 99,5 %
IIIb	Lichtbogenspritzen	Vorspritzen 80/20 Ni/Cr
IV	Lichtbogenspritzen	Fertigspritzen MCr 13

Die messtechnischen Untersuchungen wurden in vier Teilabsschnitten mit unterschiedlichen Anordnungen der Erfassungseinrichtungen und verschiedenen Absaugluftvolumenströmen durchgeführt. Die Anordnungen der Erfassungskonstruktionen sind in den Schemaskizzen in den Abbildungen 10 bis 13 (siehe Seite 29 und 30) dargestellt.

An einer vorgefertigten Erfassungseinrichtung (Versuchsanordnung I und II) wurden entsprechend bei den Versuchsanordnungen III und IV Leitflächen installiert.

Die Luftvolumenströme betragen für die Versuchsanordnungen I und II 1 000 m<sup>3</sup>/h. Für die Versuchsanordnungen III und IV wurden Volumenströme von 1 600 m<sup>3</sup>/h bzw. 2 100 m<sup>3</sup>/h ermittelt. Die mittleren Erfassungsgeschwindigkeiten im Bereich des Werkstücks lagen bei den Versuchsanordnungen I und II bei ca. 0,4 m/s und bei den Versuchsanordnungen III und IV bei ca. 0,6 m/s.

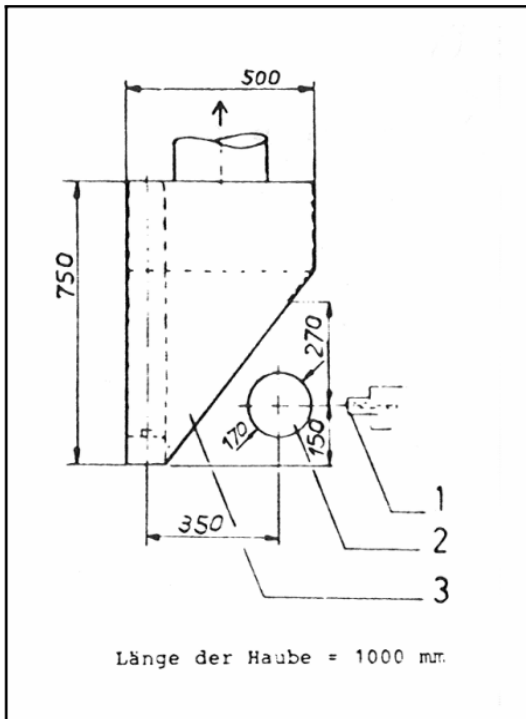


Abbildung 10:  
Versuchsanordnung I

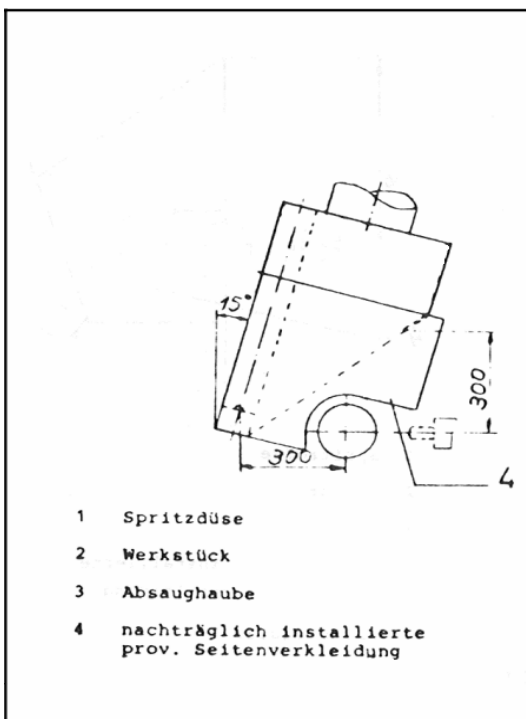


Abbildung 11:  
Versuchsanordnung II

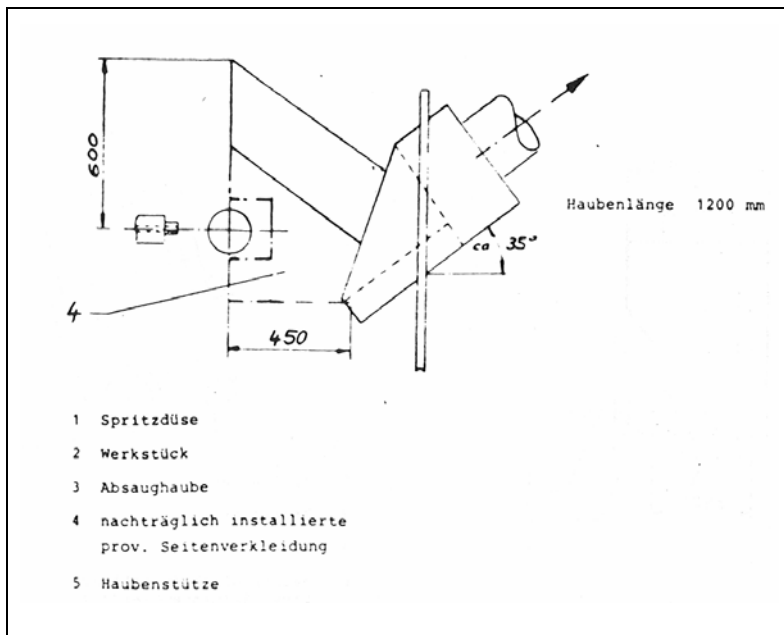


Abbildung 12:  
Versuchsanordnung III

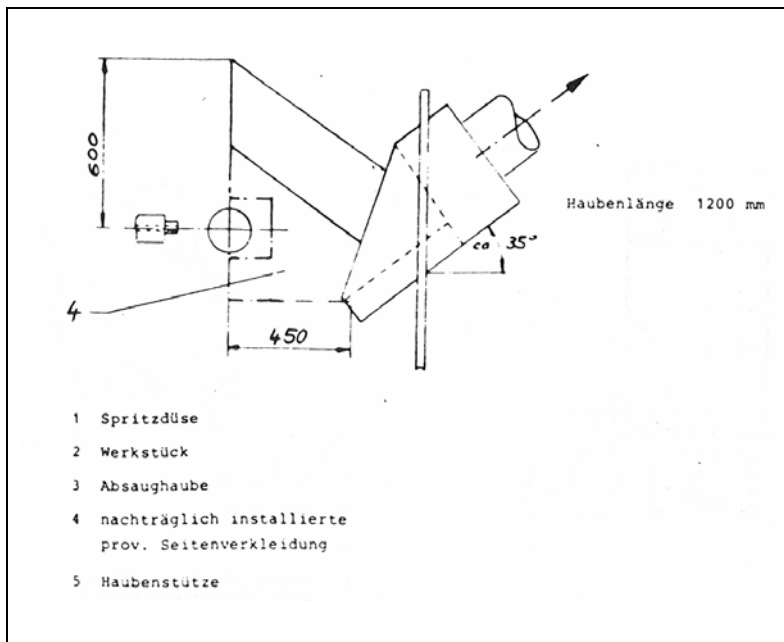


Abbildung 13:  
Versuchsanordnung IV

Die Ergebnisse aus den messtechnischen Untersuchungen sind in Tabelle 7 (siehe Seite 31) aufgeführt.



Tabelle 7:  
Messergebnisse aus den Untersuchungen der Messreihe 2

Messplatz	Gefahrstoff	Versuchsanordnung									
		I		II		IIIa		IIIb		IV	
		C <sub>G</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>G</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>G</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>G</sub>	C <sub>S</sub>	C <sub>G</sub>	C <sub>S</sub>
links vor der Dreh- maschine	E-Staub	17,14	–	34,07	–	6,08	–	21,33	–	17,04	–
	Chromate	–	0,26	–	0,44	–	–	–	0,19	–	0,18
	Mangan	–	1,9	–	4,4	–	–	–	–	–	–
	Nickel	–	0,66	–	1,1	–	–	–	0,04	–	0,13
	Molybdän	–	–	–	–	–	1,2	–	–	–	–
rechts vor der Dreh- maschine	E-Staub	5,56	–	8,89	–	12,03	–	26,67	–	24,44	–
	Chromate	–	0,07	–	0,14	–	–	–	0,23	–	0,25
	Mangan	–	0,53	–	1,1	–	–	–	–	–	–
	Nickel	–	0,18	–	0,36	–	–	–	0,12	–	0,2
	Molybdän	–	–	–	–	–	4,1	–	–	–	–
rechts hinter der Dreh- maschine	E-Staub	18,52	–	17,78	–	7,86	–	120	–	73,33	–
	Chromate	–	0,24	–	0,30	–	–	–	1,3	–	0,69
	Mangan	–	2,2	–	2,5	–	–	–	–	–	–
	Nickel	–	0,77	–	0,62	–	–	–	0,32	–	0,06
	Molybdän	–	–	–	–	–	2,0	–	–	–	–
Personen- getragene Messung	E-Staub	16,67	–	–	–	–	–	16,67	–	9,09	–
	Chromate	–	0,67	–	–	–	–	–	<0,001	–	<0,001
	Mangan	–	2,7	–	–	–	–	–	–	–	–
	Nickel	–	0,63	–	–	–	–	–	< 0,5	–	< 0,05
	Molybdän	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

C<sub>G</sub> = E-Fraktion-Konzentration in mg/m<sup>3</sup>

C<sub>S</sub> = Schadstoffkonzentration in mg/m<sup>3</sup>

Die Schadstoffkonzentrationen ändern sich je nach den Legierungsbestandteilen in den Spritzwerkstoffen.



### 3.3 Thermisches Spritzen an unterschiedlichen Reparatur- und Neuteilen

Der Fertigungsablauf wurde je nach Art der zu behandelnden Teile und deren Größe in unterschiedliche Gruppen aufgliedert.

Im halbautomatischen Verfahren wurden Plasmaspritzen und Flamspritzen mit pulver- oder drahtförmigen Spritzwerkstoffen durchgeführt. Überwiegend wurde Ni/Cr-Pulver 80/20-Amperit eingesetzt. Die Messungen erfolgten an den Werkzeugmaschinen bzw. Spritzständen. Die Erfassung der Gefahrstoffe erfolgte durch Einhausung einzelner Werkzeugmaschinen und Spritzstände mit Erfassungseinrichtungen innerhalb der Einhausung (Abbildung 14). Die Höhe des Absaugvolumenstroms richtet sich nach der Größe der Werkstücke und nach der Form der Erfassungseinrichtung.

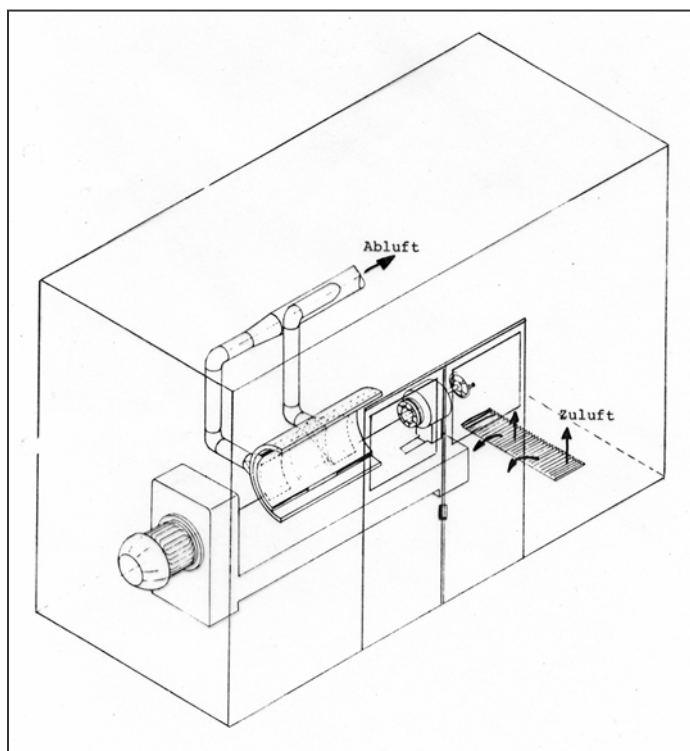


Abbildung 14:  
Gefahrstofferrfassung als  
Einhausung mit integrierter  
Erfassungseinrichtung (Schema)

Abbildung 15 (siehe Seite 33) zeigt den Innenraum einer allseitig umschlossenen Absaugkabine mit direkter Absaugung über eine zusätzlich angeordnete Erfassungseinrichtung entsprechend Abbildung 14. Die Messgeräte zur gravimetrischen Probenahme wurden während der Spritzbearbeitung bei geschlossener Kabinentür





eingeschaltet. Die Abbildungen 16 und 17 (siehe Seite 34) zeigen einen Spritzplatz ohne Kabinenabsaugung.

Die installierten Absaugluftmengen für die Kabinen lagen zwischen 1 500 und 4 000 m<sup>3</sup>/h. Die Nachführung der Erfassungsluft erfolgte durch eine Unterflur-Kanalführung innerhalb der Kabine. Die Abluft wurde über einen Nasswäscher nach außen abgeführt.

Die Messungen zur Bestimmung der Erfassungswirkung im Arbeitsbereich der Spritzanlagen bei voller Einhausung der Werkzeugmaschinen und Spritzstände erfolgten innerhalb einiger Kabinen und vor den Kabinen bei geschlossenen Beschickungstüren. Weiterhin wurde die Raumluftkonzentration im Bereich der Werkhalle bestimmt. Zusätzlich wurden an einem Spritzstand ohne Erfassung sowie im angrenzenden Hallenbereich Schadstoffmessungen durchgeführt.

Abbildung 15:  
Kabinenabsaugung mit integrierter Erfassung

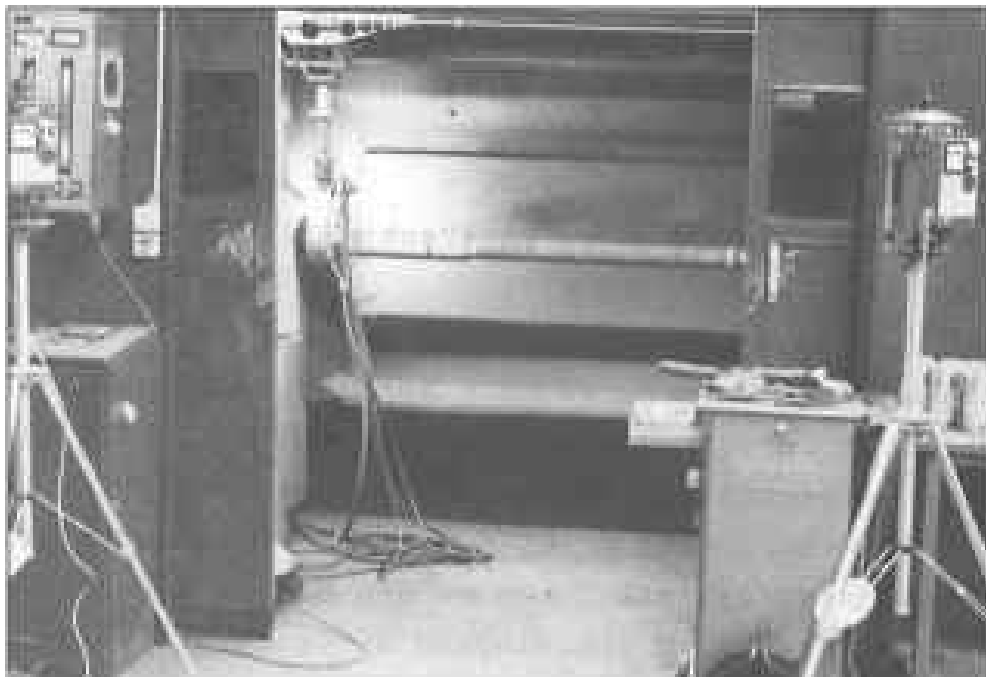




Abbildung 16:  
Spritzplatz ohne Erfassung

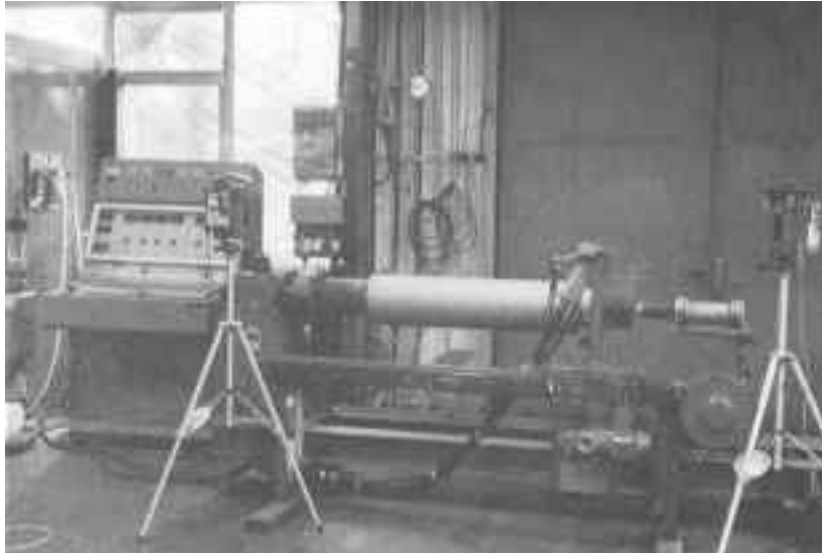


Abbildung 17:  
Spritzplatz ohne Erfassung während des Betriebes

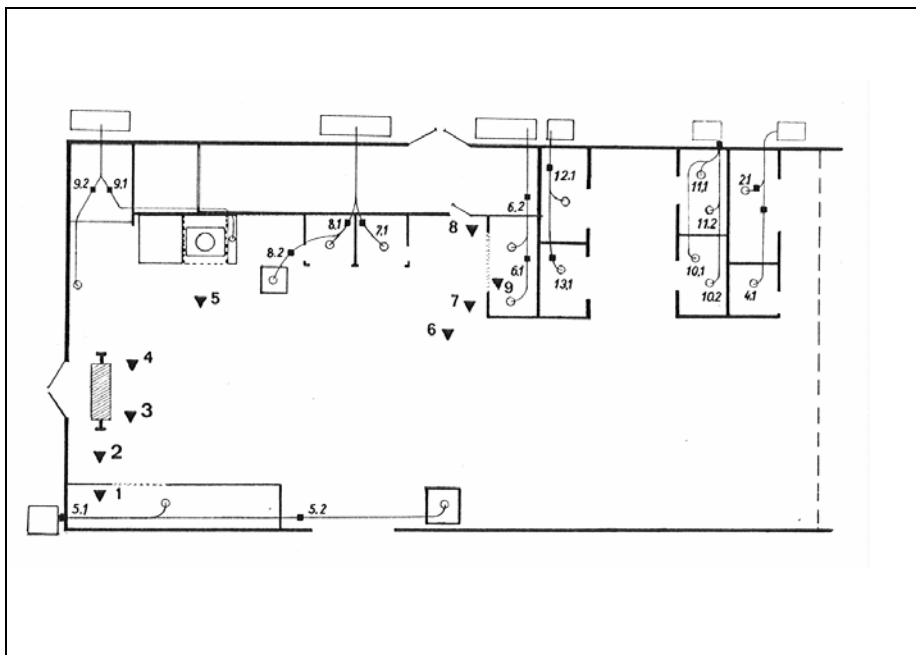


Die Anordnung der Kabinen im Hallenbereich sowie die Messplätze sind in dem Plan nach Abbildung 18 (siehe Seite 35) eingezeichnet. Die Dreiecke markieren die Messplätze. Messpunkt 3 und 4 sind Messplätze am Spritzstand ohne Stauberfassung (Abbildung 17).



Die Messwerte der Volumenstrommessungen sind in Tabelle 8, die Ergebnisse aus den messtechnischen Untersuchungen der Gefahrstoffkonzentrationen in Tabelle 9 (siehe Seite 36) zusammengestellt.

Abbildung 18:  
Lageplan der Absaugkabinen und Messplätze



- ▼ Messpunkte für Messungen der Schadstoffkonzentration
- Messpunkte für Messungen der Absaugluftvolumenströme

Tabelle 8:  
Abluftvolumenströme

Messpunkte	5.1	5.2	4.1	2.1	13.1	12.1	11.1+ 11.2	10.1+ 10.2
Luftvolumenstrom in m <sup>3</sup> /h	4 500	1 510	3 030	460	1 150	3 080	8 380	4 170
Messpunkte	6.1	6.2	7.1	8.1	8.2	9.1	9.3	
Luftvolumenstrom in m <sup>3</sup> /h	3 130	5 750	3 090	2 250	490	4 250	1 970	



Tabelle 9:  
Messergebnisse aus den Untersuchungen der Messreihe 3

Messpunkt	Gefahrstoffkonzentration in mg/m <sup>3</sup>					Bemerkung
	E-Staub	Nickel	Chrom	Chromate	Molybdän <sup>2)</sup>	
1 <sup>1)</sup>	2,27	0,11	0,06	0,01	0,29	Messungen mit Gefahrstoff- erfassung durch Einhausung der Spritzvorlagen mit integrierten Erfassungselementen
2	0,41	0,02	0,02	0,005	0,35	
5	1,47	0,008	0,03	0,016	0,20	
6	1,48	0,008	0,028	0,016	0,13	
7	2,64	0,055	0,025	---	---	
8	1,5	0,035	0,02	---	---	
9 <sup>1)</sup>	8,89	0,11	0,02	---	---	
3	14,20	1,79	0,44	0,10	0,27	Messungen ohne Gefahrstofffassung
4	20,0	1,80	0,62	0,13	0,34	
5	19,31	1,75	0,58	0,14	0,35	
6	9,47	0,90	0,36	0,09	0,14	
PAS vor Kabine 5	1,12	0,02	0,04	0,001	0,25	PAS personenbezogene Messungen ohne Gefahrstofffassung
PAS vor Kabine 6	1,30	0,05	0,02	---	---	
PAS vor Spritzstand	0,17	1,00	0,42	0,10	0,50	

1) Messstelle innerhalb der Einhausung direkt neben der Erfassungskonstruktion

2) Die Molybdän-Konzentrationen stammen aus angrenzenden Fertigungsbereichen mit Molybdänverarbeitung und nicht ausreichend wirksamer Gefahrstofffassung



## 4 Technische Schutzmaßnahmen

### 4.1 Allgemeines

Die Rangfolge der zu treffenden Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Gefahrstoffen ist in drei Grundforderungen festgelegt:

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

Die Konkretisierung dieser Grundanforderungen erfolgt in staatlichen und berufsgenossenschaftlichen Regelwerken [12 bis 16]. In verschiedenen Normen und Richtlinien des DIN oder des VDI [17 bis 38] sind Leitlinien für die Gestaltung und Dimensionierung von Schutzmaßnahmen enthalten.

Überlegungen, wie die Entstehung von Gefahrstoffen zu vermeiden ist, haben immer Vorrang. Durch Stoffsubstitution, Veränderungen an Verfahren und Betriebsabläufen, konstruktive Veränderungen am Produkt usw. kann die Entstehung von Gefahrstoffen minimiert werden. In der Regel lässt sich durch diese Maßnahmen der weitere technische Aufwand an Schutzmaßnahmen schon erheblich reduzieren und Investitions- und besonders auch Betriebskosten können eingespart werden. Nicht vermeidbare Emissionen sind an der Entstehungs- oder Austrittsstelle zu erfassen und gefahrlos zu beseitigen. Gelingt dies nicht vollständig, ist der Raum zu belüften.



In industriellen Fertigungsbereichen oder Werkstätten sind raumluftechnische Maßnahmen oft auch aus anderen Gründen erforderlich, z. B. um das durch die Erfassung (Absaugung) erzeugte Luftdefizit auszugleichen, weitere Raumlasten, z. B. Feuchte, Gerüche usw., abzuführen und ein auf die Arbeitsschwere bezogenes angemessenes Raumklima durch Heizen, Kühlen, Lüften, Be- und Entfeuchten aufrechtzuerhalten.

## 4.2 Erfassung

Für die Erfassung von Gefahrstoffen stehen in ihrer Wirksamkeit recht unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Abbildung 19 zeigt eine Übersicht über die drei Grundarten von Erfassungseinrichtungen, die je nach den technischen Voraussetzungen in der Praxis anzuwenden sind (siehe VDI 3929 [38]).

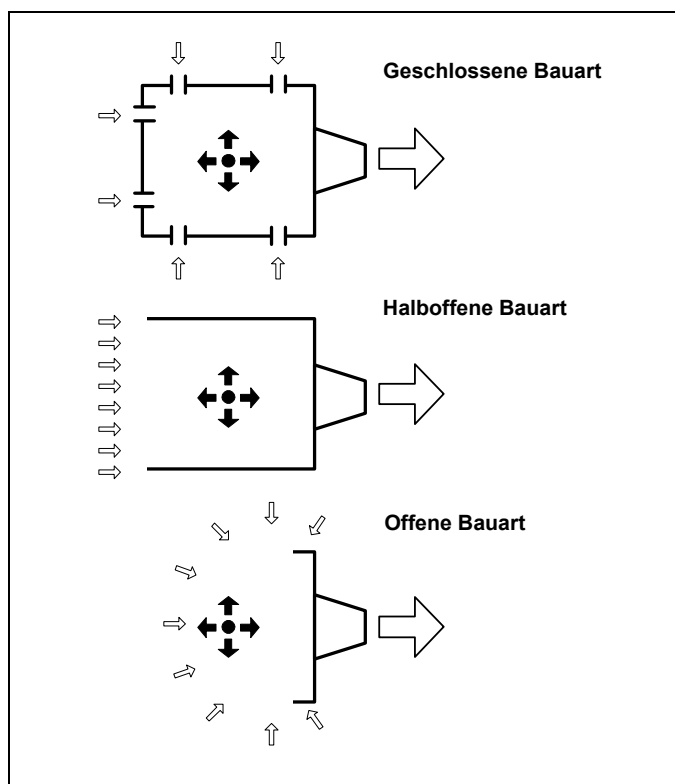


Abbildung 19:  
Grundtypen von Erfassungseinrichtungen [38]

Vorzugsweise sind Erfassungseinrichtungen geschlossener Bauart einzusetzen; nur sie ermöglichen eine vollständige Erfassung der Gefahrstoffe. Gegenüber halboffenen und vor allem gegenüber offenen Erfassungseinrichtungen erfordern geschlossene



Einrichtungen deutlich niedrigere Absaugluftströme. Dies hat nicht nur positive wirtschaftliche Auswirkungen, sondern bietet auch technische Vorteile bei der Raumlüftung.

Bei halboffenen Erfassungseinrichtungen (z. B. Arbeitskabinen) muss der Arbeitsplatz im Frischluftstrom eingerichtet sein, d. h., der Beschäftigte muss sich im Einströmquerschnitt der Kabine aufhalten (siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 130 245 in [39]).

Offene Erfassungssysteme haben nur einen begrenzten Erfassungsbereich und eignen sich in der Regel nur für eng begrenzte Emissionsbereiche (siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 130 246 in [39]).

Die erfassten Gefahrstoffe werden mit der Trägerluft in den Rohrleitungssystemen einem Abscheider zugeführt. Diese Rohrleitungssysteme müssen so ausgelegt sein, dass sich Stoffe nicht ablagern können. Ansonsten könnte der Querschnitt verringert werden, die Folge wäre eine Volumenstromabsenkung und damit verbunden eine Verschlechterung der Erfassungswirkung. Ablagerungen sind auch aus Gründen des Brand- und Explosionsschutzes zu vermeiden.

In der Praxis werden Kabinen (geschlossene Einrichtungen) häufig bei der Beschichtung von Serienteilen mit geringen Abmessungen angetroffen. Der thermische Spritzvorgang wird automatisiert oder auch teilautomatisiert durchgeführt. Betreten Beschäftigte bei Anlagenstörungen, Kontrollen, Beschickungsvorgängen oder nach Ende des Spritzvorgangs kurzzeitig ohne Atemschutz die Kabine, können sie hohen Belastungen ausgesetzt werden.

Halboffene und insbesondere offene Erfassungseinrichtungen sind konstruktiv auf den speziellen Anwendungsfall auszurichten, um eine möglichst hohe Effektivität der Stauberfassung zu erreichen. Ein besonderes Problem besteht darin, Partikeln mit hoher Eigengeschwindigkeit zu erfassen. Halboffene und offene Erfassungseinrichtungen sind störanfälliger als geschlossene und benötigen deshalb einen deutlich



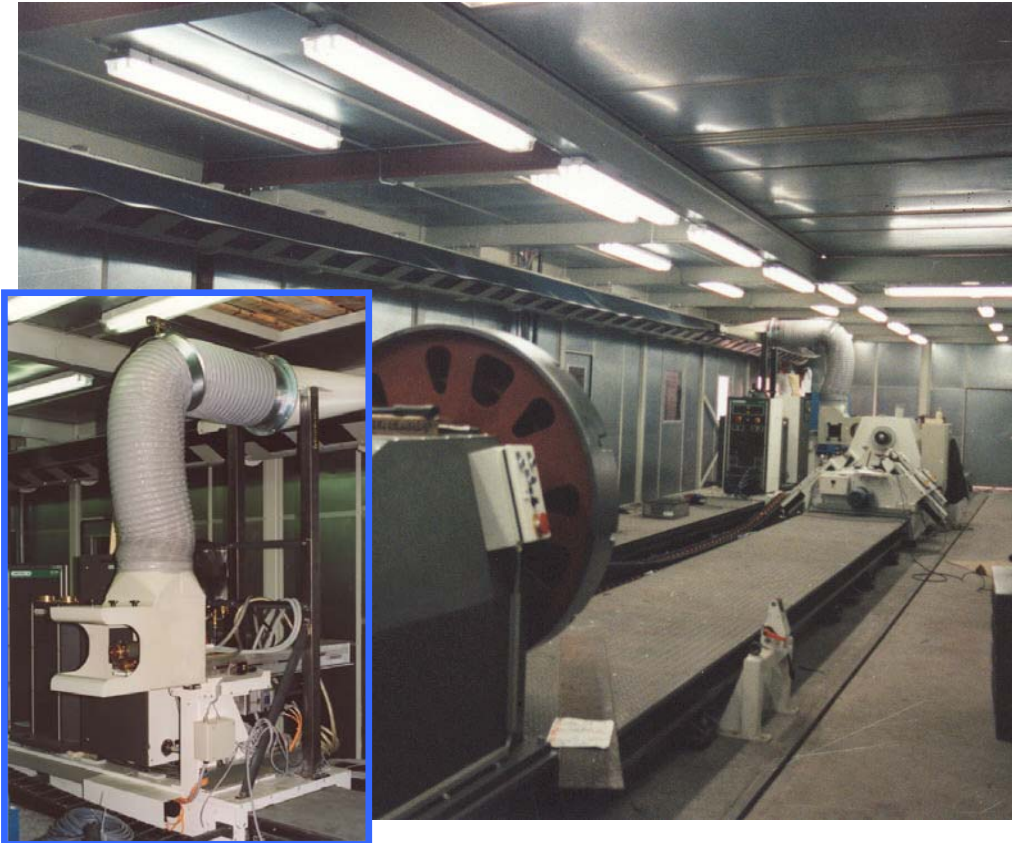
höheren Erfassungsluftstrom. Bei ihrer Gestaltung müssen daher folgende Voraussetzungen berücksichtigt werden:

- Die wirksame Absaugöffnung muss den gesamten Emissionsbereich überdecken.
- Der Erfassungsbereich muss weitgehend eingekleidet sein.
- Die hohe kinetische Energie der Staubpartikeln muss zunächst durch das Erfassungselement abgebaut werden, um Rückpralleffekte zu vermeiden.
- Die Absauggeschwindigkeit in der Erfassungsöffnung muss ausreichend hoch sein, anzustreben sind mindestens 10 m/s.
- Die Absaugluftmenge muss mindestens der Brenn- und Treibgasmenge plus der dem Spritzstrahl induktiv beigemischten Sekundärluftmenge entsprechen.
- Verschmutzungen, die den Erfassungsquerschnitt verringern, sind zu vermeiden.

Bei ausgedehnten rotationssymmetrischen Werkstücken (z. B. Plunger, Presszylinder, Haspelwellen) genügt es, die Erfassungseinrichtung dem Spritzvorgang nachzuführen, z. B. durch Montage auf dem Support der Drehbank. Hierdurch werden überdimensionierte Erfassungseinrichtungen und hohe Absaugluftmengen vermieden. Das Erfassungselement ist entweder durch ein flexibles Anschlussrohr mit dem Absaugkanal zu verbinden oder bei der Überbrückung größerer Distanzen z. B. an einen Kulissen-Saugkanal anzuschließen (Abbildung 20, siehe Seite 41).



Abbildung 20:  
Beispiel für einen Kulissensaugkanal (Werkbild Fa. Keller Lufttechnik, Kirchheim)



#### 4.2.1 Beispiele halboffener Erfassungssysteme

Besondere Probleme entstehen, wenn Stoffe mit einem recht hohen Anfangsimpuls freigesetzt werden, z. B. beim Schleifen, Spritzen und ähnlichen Arbeitsverfahren. Die Erfassungsgeschwindigkeit muss an der Erfassungsstelle so hoch sein, dass die mit hohem Strömungsimpuls freigesetzten Stoffströme von der Erfassungsluft völlig aufgenommen werden.

Abbildung 21 (siehe Seite 42) zeigt eine Strömungsform, die es erlaubt, Stoffströme mit hohem Impuls zu erfassen. Die Strömungsform ist einem in der Natur vorkommenden Wirbelsturm nachgebildet. Dabei wird ein rotierendes Unterdruckfeld mit Umfangsgeschwindigkeiten von bis zu 250 km/h erzeugt; im Zentrum entstehen Unterdrücke von mehr als 1 000 Pa. Die Stoffströme werden entlang der Stromlinien



einer Geschwindigkeitsspirale in das Drallzentrum geleitet und zu den Absaugstellen innerhalb der Erfassungseinrichtung geleitet (siehe Abbildung 22).

Als Beispiel für die Anwendung dieser Technik ist in Abbildung 23 eine Schweißkabine dargestellt, die durchaus für thermische Spritzverfahren genutzt werden kann.



Abbildung 21:  
Dralltechnik zur Erfassung von  
Stoffströmen  
(Werkbild: Thyssen Krupp Hiserve,  
ehemals Kessler + Luch, Gießen)



Abbildung 22:  
Ableitung der durch die Dralltechnik  
erfassten Stoffströme  
(Werkbild: Thyssen Krupp Hiserve,  
ehemals Kessler + Luch, Gießen)



Abbildung 23:  
Schweißkabine mit Drallerfassung  
(Werkbild: Thyssen Krupp Hiserve,  
ehemals Kessler + Luch, Gießen)



Ein wesentlicher Vorteil der Dralltechnik besteht darin, dass über große Haubenslängen hinweg absolut gleichmäßige Erfassungsleistungen erreichbar sind, was für instationäre Arbeitsverfahren wichtig ist. Die Druckverluste sind gegenüber den herkömmlichen Erfassungssystemen nur geringfügig höher.

Ein weiteres Beispiel für eine halboffene Erfassungseinrichtung beim thermischen Spritzen zeigt Abbildung 24.

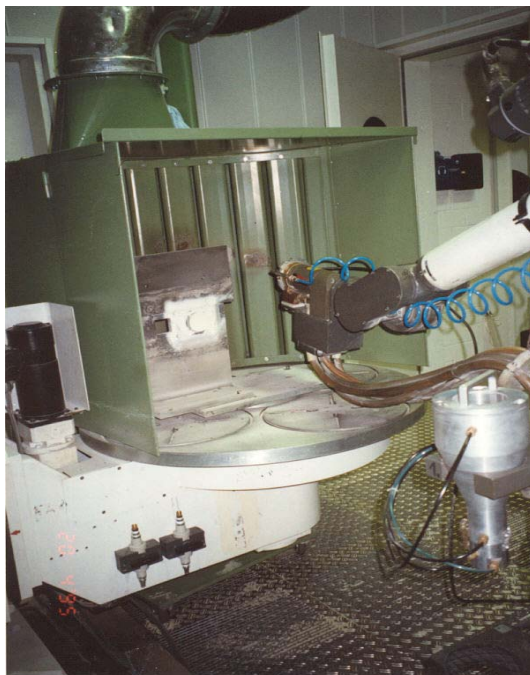


Abbildung 24:  
Halboffene Erfassungseinrichtung mit  
Schlitzabsaugung (15 m/s) (Werkbild:  
Keller Lufttechnik, Kirchheim)

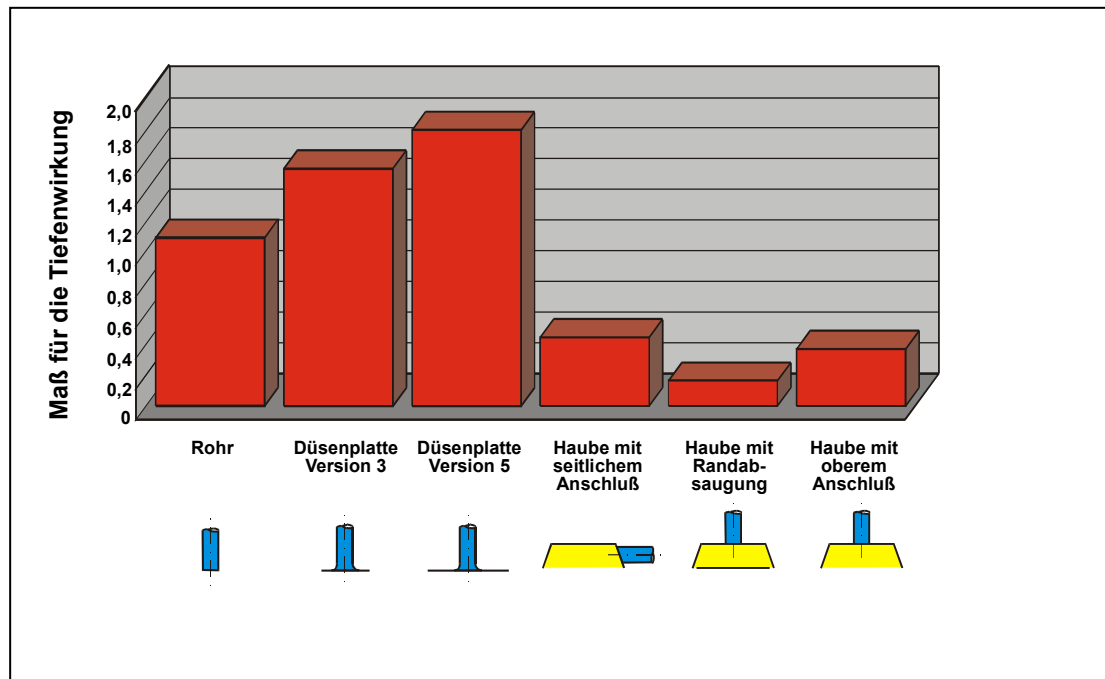
#### 4.2.2 Beispiele offener Erfassungseinrichtungen

Es ist bekannt, dass die Erfassungstiefe bei offenen Erfassungssystemen gering ist. Nur in den seltensten Fällen genügen die vielfach in Veröffentlichungen als geeignet beschriebenen Standardhauben den Ansprüchen gegenüber einer ausreichenden Erfassung bei industrieller Stofffreisetzung.

Umfangreiche Untersuchungen haben zu dem Ergebnis geführt, dass so genannte Düsenplatten gegenüber herkömmlichen Erfassungssystemen eine erheblich verbesserte Erfassungswirkung besitzen (siehe Abbildung 25, Seite 44), bei gleichzeitig bis zu 30 % geringeren Luftströmen.



Abbildung 25:  
Vergleichsdarstellung verschiedener Erfassungssysteme;  
Tiefenwirkung als Leistungsmaßstab



Diese Düsenplattensysteme (siehe Abbildung 26, Seite 45) zeichnen sich gegenüber herkömmlichen Systemen auch dadurch aus, dass sie gegenüber Querströmungen unempfindlicher sind, Platz sparender sind und geringere Betriebskosten verursachen.

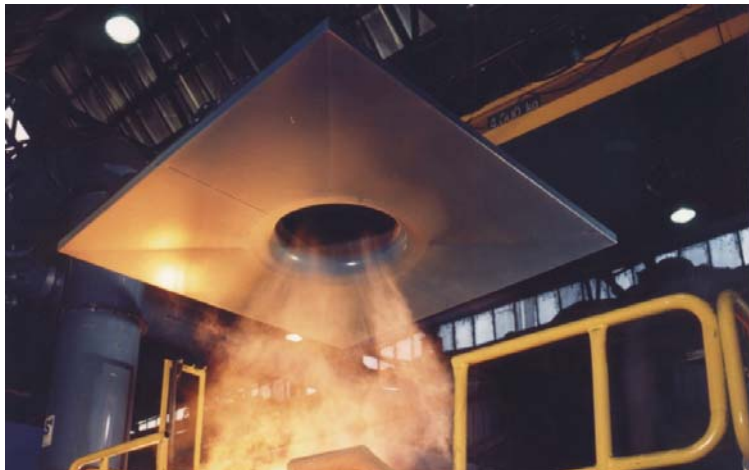
Abbildung 26 zeigt beispielhaft die Wirkungsweise und die Strömungsform unterhalb der Düsenplatte. Das Beispiel zeigt eine Oberhaube im Schmelzbetrieb, die eine relativ neue Entwicklung ist und daher im vorliegenden Anwendungsfall noch nicht so häufig eingesetzt wurde. Solche Düsenplatten können für jede Art offener Erfassungssysteme und somit auch bei thermischen Spritzverfahren eingesetzt werden. Der große Nachteil bei den herkömmlicher Absaughauben gegenüber dieser Art von Erfassungseinrichtungen ist, dass es innerhalb des Trichters zu einem Geschwindigkeitsabbau kommt, wodurch der Erfassungsgrad sinkt oder bei gleichem Erfassungsgrad deutlich höhere Absaugleistungen erforderlich sind.



Abbildung 26:

Düsenplatte zur Absaugung an Schmelztiegeln

(Werkbild: Thyssen Krupp Hiserve, ehemals Kessler + Luch, Gießen)



Weitere Anwendungsbeispiele zeigen die Abbildungen 27 und 28, die ebenfalls nur als Ausführungsbeispiel für Anwendungen beim thermischen Spritzen dienen sollen. Sie zeigen weitere Einsatzbeispiele für Düsenplatten als Randabsaugung. Es ist möglich, solche Düsenplattensysteme für ausgedehnte Spritzvorgänge zu verwenden. Ebenso ist diese Form der Erfassung auch für Beizbäder geeignet.

Abbildungen 27 und 28:

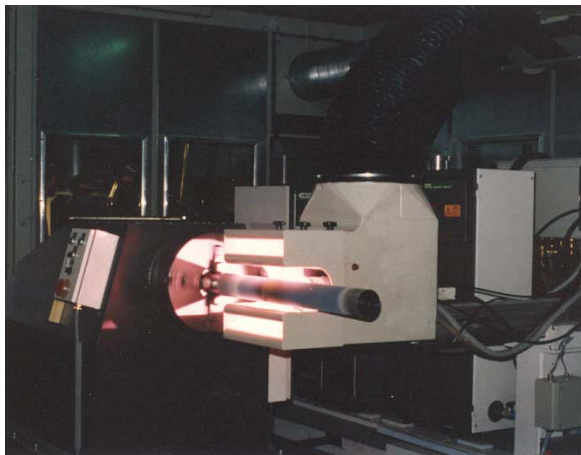
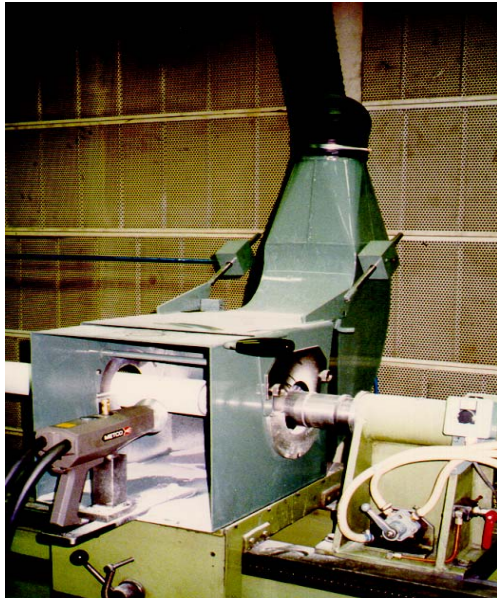
Anwendungsbeispiele für Düsenplatten

(Werkbild: Thyssen Krupp Hiserve, ehemals Kessler + Luch, Gießen)





Die Abbildungen 29 und 30 zeigen bereits eingesetzte Erfassungseinrichtungen für stationäre Arbeitsverfahren.



Abbildungen 29 und 30:  
Beispiele für ausgeführte Erfassungssysteme

### 4.3 Abscheideverfahren, Abscheidung und Abscheider

Die über die Erfassungseinrichtungen abgesaugte Luft muss einem Reinigungssystem zugeführt werden. Es handelt sich dabei um Partikelabscheider. Für die Abscheidung von gasförmigen Stoffen existieren keine universell einsetzbaren Bauarten von Abscheideanlagen, in einigen Fällen können Adsorptionsanlagen (Aktivkohle) oder Absorptionsanlagen (Wäscher) eingesetzt werden (siehe auch Kapitel 6).



Folgende Abscheider werden zum Abscheiden von Emissionen bei Spritzverfahren eingesetzt:

- Massenkraftabscheider,
- Nassabscheider,
- filternde Abscheider,
- elektrische Abscheider.

Weitere Unterscheidungsmerkmale sind:

- Bauform,
- Art des Filtermediums (bei filternden Abscheidern),
- Abreinigungsmechanismus,
- Entsorgungsart der abgeschiedenen Stäube.

Massenkraftabscheider eignen sich in der Regel nur als Vorabscheider; sie sind wegen zu niedriger Abscheidegrade als Hauptabscheider ungeeignet.

Nassabscheider werden häufig zur Vermeidung von Explosionsgefahren eingesetzt.

Gegenüber filternden Abscheidern haben sie folgende Nachteile:

- ungenügender Abscheidegrad bei Korngrößen der Partikeln  $< 4 \mu\text{m}$ ,
- hohe Energiekosten,
- Wasserverbrauch,
- Kosten für Aufbereitung der Waschflüssigkeit und Schlamm Entsorgung,
- relativ hoher Verschleiß.

Im Einzelfall sollte geprüft werden, ob Nassabscheider oder filternde Abscheider einzusetzen sind.



Für die Auswahl geeigneter Abscheider bleiben daher nur filternde und nass arbeitende Abscheider übrig. Die Eignung dieser Systeme ist im Einzelfall zu überprüfen, dabei ist u. a. die Leistungsfähigkeit der Abscheideanlage im Dauerbetrieb abzuwägen. Aber auch die Entsorgungsmöglichkeiten und die damit neben der Wartung und Pflege des Abscheidesystems verbundenen Kosten sind entscheidende Auswahlkriterien. Hier scheinen filternde Abscheider deutliche Vorteile zu besitzen, wenn man die ggf. geringere Standzeit gegenüber nass arbeitenden Abscheidern außer Acht lässt. Die Neuentwicklung eines sog. Sinterlammellenfilters scheint diese Nachteile wettzumachen. Die bisher gesammelten Erfahrungen bei deren Einsatz in Abscheidern bei thermischen Spritzanlagen bestätigen dies.

Filternde Abscheider werden in unterschiedlichsten Bauformen unter Verwendung verschiedenster Filtermedien eingesetzt. Für deren Auswahl sind folgende Faktoren von Bedeutung:

- Rohgaskonzentration,
- Partikelgrößenverteilung im Rohgas,
- Agglomerationsverhalten,
- Rohgastemperatur und -feuchte,
- mögliche Baugröße bzw. Filterflächenbelastung (Anströmgeschwindigkeit).

Bei den Filtermedien handelt es sich überwiegend um

- Starrkörperfiltermedien (Sinterlamellenfilter usw.),
- textile Schlauch- oder Taschenfilter (z. B. Polyesternadelfilze),
- Patronenfilter (Papierfilter).

Sie unterscheiden sich wesentlich durch folgende Charakteristika:





- Abscheidung in der Tiefe des Filtermediums oder in einem aufgebauten „Filterkuchen“ (Oberflächenfiltration),
- Druckverlust,
- mechanische, chemische und elektrostatische Effekte.

Die Tiefenfiltration findet überwiegend in Nadelfilzmedien statt, die keine besondere Oberflächenstruktur durch Nachbehandlungen (z. B. Folienbeschichtung) besitzen. Vorteilhaft ist der günstige Preis, jedoch besitzen sie einige Nachteile:

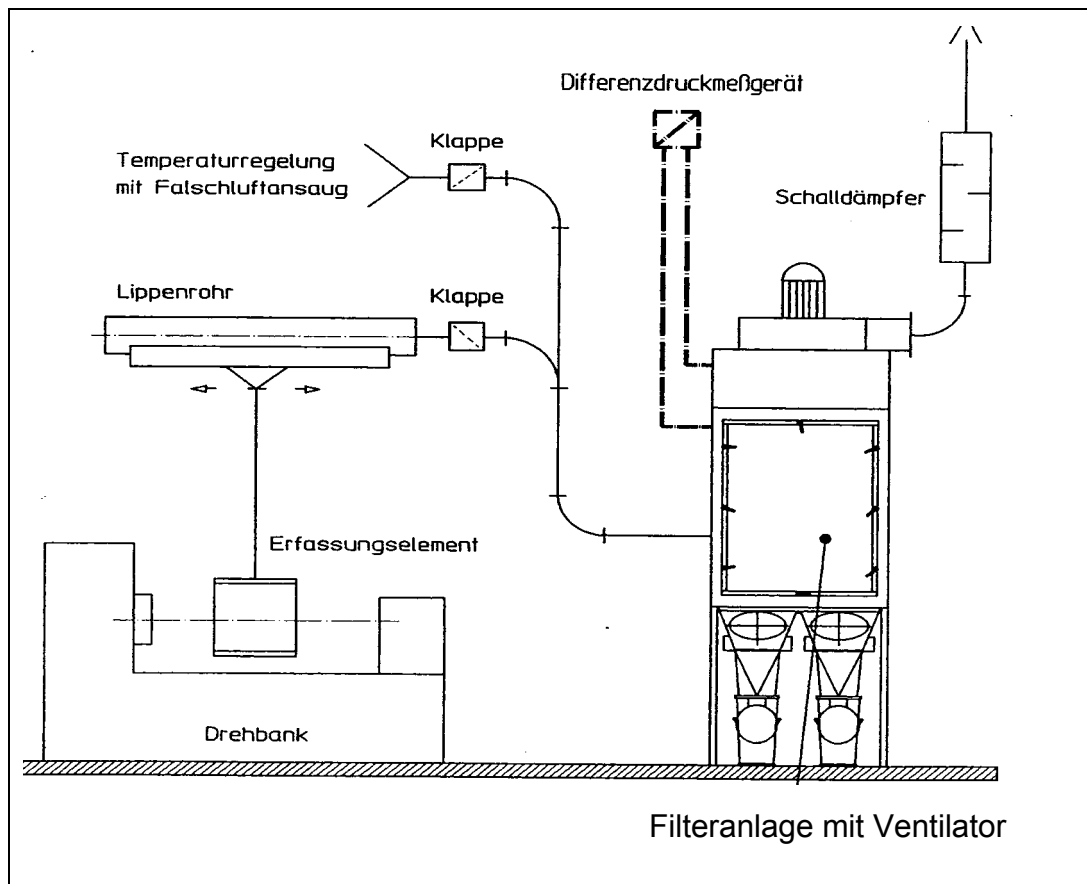
- Durch Einlagerungen von feinsten Stäuben erhöht sich der Druckverlust (Filterwiderstand).
- Die Abreinigung während des Betriebs ist erschwert.
- Im Laufe der Betriebszeit erhöht sich der Filterwiderstand und eine externe Reinigung (waschen) ist erforderlich.
- Oft ist keine externe Reinigung möglich; die Filtermedien müssen dann entsorgt werden.

Bei der Oberflächenfiltration wird nach jedem Abreinigungsvorgang ein so genannter Filterkuchen (feinporige Filtrationsschicht) aufgebaut. Die Partikeln werden auf der Oberfläche dieses Staubkuchens abgeschieden und dringen dadurch nicht in das Filtermedium ein. So wird eine gute und effektive Abreinigung während des Filtrationsbetriebes ermöglicht. Der Filterwiderstand bleibt über einen längeren Zeitraum konstant. Abbildung 31 (siehe Seite 50) zeigt beispielhaft eine filternde Abscheideanlage zum Abscheiden von Emissionen beim thermischen Spritzen.

Sehr wesentlich kann die Wirksamkeit der Abscheideanlage durch das Abreinigen und durch die Flächenbelastung der Filtermedien beeinflusst werden. Erfahrungsgemäß wird eine wirksame Abreinigung bei sehr feinen Partikeln durch eine pneumatische Druckstoßabreinigung (Jet-Abreinigung) erzielt.



Abbildung 31:  
Beispiel für eine filternde Abscheideanlage



Die spezifische Filterflächenbelastung sollte für die Abscheidung von Stäuben bzw. Rauchen mit sehr kleinen Partikelspektren unterhalb von  $100 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ , besser noch um  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  liegen.

Elektrische Abscheider erfüllen die Aufgabe unzureichend, da die erforderlichen Abscheideleistungen wegen des hohen Metallanteils im Staub nicht erreicht werden können. Der innere elektrische Widerstand der Metallstaubpartikeln ist zu niedrig, um eine für den Abscheidungsmechanismus ausreichende elektrostatische Aufladung zu erzielen. Über den Einsatz elektrischer Abscheider im vorliegenden Einsatzfall liegen keine Erfahrungen vor.



## 4.4 Reinlufrückführung

Bei der Erfassung von Gefahrstoffen an Arbeitsplätzen oder bei Verfahrensprozessen werden mit der Erfassungsluft häufig auch ein hoher Anteil an Prozesswärme sowie erwärmte Raumlufte abgeführt. Durch die Raumlüftung muss dem Raum je nach Jahreszeit erwärmte Außenluft zugeführt werden, um das durch die Absaugung entstehende Luftdefizit auszugleichen, Gefahrstoffe und andere Lasten abzuführen und den Frischluftbedarf im Raum zu decken (siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt Nr. 130 215 in [39]). Der zur Erwärmung der kalten Außenluft notwendige Energiebedarf kann u. U. sehr hoch sein, wenn in einem Raum sehr viele Absaugstellen vorhanden sind.

Beim Betrieb von Anlagen ist es erwünscht bzw. erforderlich, Wärmeverluste gering zu halten und entstehende Wärme zu nutzen (vgl. § 5 Nr. 4 Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG [40] und TA Luft [41]). Die Energieeinsparung durch Wärmenutzung führt zu deutlichen Einsparungen bei den Betriebskosten. Eine Möglichkeit der Wärmenutzung ist die Rückführung gereinigter Absaugluft (Reinlufrückführung) in den Arbeitsraum. Eine nahezu 100%ige Wärmenutzung ist mit einem verhältnismäßig geringen zusätzlichen technischen Aufwand möglich. Der Nachteil der Reinlufrückführung ist, dass je nach Reinigungsgrad der Abluft Gefahrstoffe in den Arbeitsraum zurückgeführt werden.

### 4.4.1 Wärmerückgewinnung und Wärmenutzung

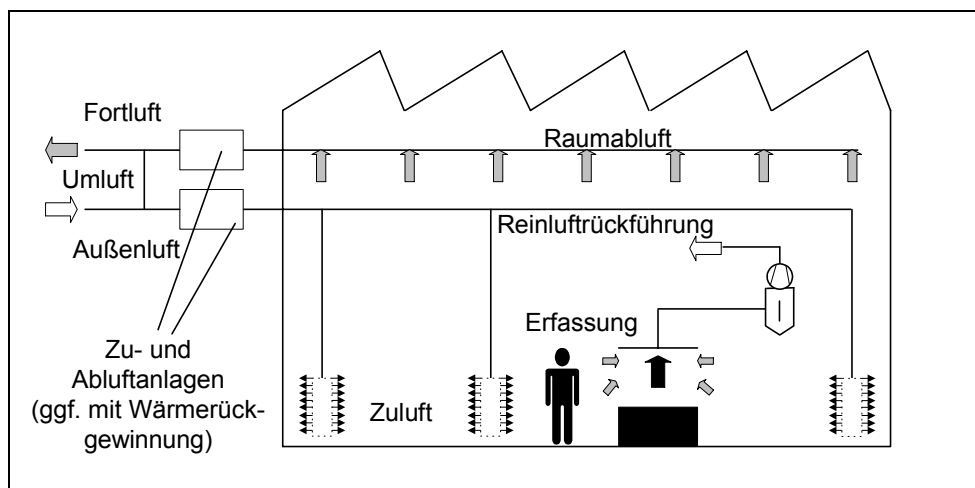
Heute stehen in der Praxis erprobte Verfahren zur Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung und Wiedernutzung von Wärme aus der Abluft zur Verfügung (siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt Nr. 130 220 in [39]):

- Rückgewinnung der Wärme (Wärmerückgewinnung) aus der Abluft und Übertragung an die Zuluft durch Wärmetauscher („Wärmerückgewinner“),
- Rückführung der Erfassungsluft in den Arbeitsraum (Reinlufrückführung),



In Abbildung 32 ist schematisch dargestellt, wie z. B. in Produktionshallen eine Luftführung mit Reinlufrückführung üblich ist. Die Erfassungsluft (Absaugluft) wird nach der Reinigung im Abscheider wieder in den Arbeitsbereich zurückgeführt. Wo es zumutbar ist (siehe unten), sollte die gereinigte Luft (Reinluft) an die Außenluft abgeführt werden. Alternativ dazu kann die gereinigte Erfassungsluft über Wärmetauscher geführt werden, sodass dem Raum ein Großteil der in der Erfassungsluft enthaltenen Wärme über die Außenluft (Frischlufte) wieder zugeführt wird.

Abbildung 32:  
Schema der Luftführung mit Reinlufrückführung



Wird bei Reinlufrückführung die Erfassungsluft im Abscheider nicht ausreichend gereinigt, werden zu hohe Anteile an Gefahrstoffen in den Arbeitsbereich geführt und es kann zu Grenzwertüberschreitungen kommen. Problematisch ist die Reinlufrückführung auch dann, wenn Geruchsstoffe in der Erfassungsluft enthalten sind. Ferner muss sichergestellt sein, dass durch die Reinlufrückführung der erforderliche Sauerstoffgehalt in der Atemluft nicht unterschritten wird, weil z. B. während des Verfahrens Sauerstoff verbraucht wird und dadurch der Sauerstoffgehalt in der Rückluft entsprechend niedriger ist. Daher sind die Möglichkeiten der Reinlufrückführung begrenzt bzw. es muss sichergestellt sein, dass dem Raum durch Außenluft (Frischlufte) ausreichend Sauerstoff zugeführt wird.



#### 4.4.2 Anforderungen an Anlagen mit Reinlufrückführung

Bei der Wärmerückgewinnung durch Wärmetauscher wird nur ein Teil der in der Absaugluft enthaltenen Wärme zurückgewonnen. Durch die Reinlufrückführung wird dagegen die Wärme in der Regel nahezu vollständig wieder nutzbar gemacht, jedoch gelangt ein gewisser Teil nicht abgeschiedener Stoffe in den Arbeitsraum zurück. Diese Rückführung von Stoffen darf nicht dazu führen, dass die Gefahrstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz unzulässig ansteigen. Generell gilt, dass

- die rückgeführten Gefahrstoffkonzentrationen auf ein technisch mögliches und zugleich wirtschaftlich vertretbares Maß begrenzt bleiben müssen,
- in der Zuluft ein bestimmter Anteil (siehe Tabelle 10, Seite 54) an Außenluft (Frischlufte) enthalten sein muss und
- die lufttechnischen Anlagen regelmäßig überprüft und sorgfältig instandgehalten werden müssen.

Diese Forderungen setzen voraus, dass die bei Reinlufrückführung einzusetzenden Abscheider jederzeit höchste Abscheidegrade gewährleisten. Zu prüfen ist immer, ob alternativ zur Reinlufrückführung Wärmerückgewinnungssysteme eingesetzt werden können (siehe auch Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt Nr. 130 230 in [39]).

Beim Vorliegen von krebserzeugenden Stoffen bestehen nach der Gefahrstoffverordnung weitgehende Einschränkungen und Verbote für die Reinlufrückführung. Ausnahmen gegenüber diesen Einschränkungen und Verboten sowie die daran geknüpften Anforderungen sind in der TRGS 560 zusammengestellt. Bei diesen Stoffen, für die in der Regel eine „Technische Richtkonzentration“ (TRK) vorgegeben ist, ist die Konzentration am Arbeitsplatz auf das technisch erreichbare Maß zu begrenzen (Minimierungsgebot). Eine Reinlufrückführung beim Umgang mit diesen Stoffen ist daher nur in bestimmten Ausnahmefällen erlaubt. Eine Ausnahmegenehmigung muss vorab bei der zuständigen Behörde (z. B. Amt für Arbeitsschutz) beantragt werden und wird nur dann erteilt, wenn eine Abführung der gereinigten Erfassungsluft an die Außenluft aus



technischen Gründen nicht möglich ist (z. B. bei ortsveränderlichen Abscheidern) oder wenn organisatorische, räumliche bzw. klimatische Bedingungen eine Reinlufrückführung erforderlich machen. Vorab muss geprüft werden, ob eine Wärmenutzung durch Wärmeaustausch zwischen Abluft und Zuluft mit einem Wärmerückgewinnungssystem möglich ist.

Die Beschränkungen für die Anwendung der Reinlufrückführung und der damit verbundenen Anforderungen an Anlagen zur Reinlufrückführung sind je nach Art der Gefahrstoffe unterschiedlich. Die größten Beschränkungen und die höchsten Anforderungen gelten für krebserzeugende Stoffe gemäß der TRGS 560 [42] Abschnitt 1 (siehe auch Hinweise in Tabelle 10).

Tabelle 10:  
Anforderungen bei Reinlufrückführung

Stoffgruppe	Max. Konzentration in der Rückluft	Hinweise
Krebserzeugende Stoffe; im Allgemeinen Stoffe mit TRK-Werten	1/10 der jeweiligen TRK; der Anteil der Rückluft in der Zuluft für den Raum darf 50 % nicht überschreiten.	Gilt für partikelförmige Gefahrstoffe, die mit den Hinweisen auf besondere Gefahren R 45 und R 49 gekennzeichnet sind oder in der Bekanntmachung nach § 4a Abs. 1 der GefStoffV mit R 45 und R 49 bezeichnet oder aufgrund sonstiger Erkenntnisse als krebserzeugend in die Kategorie 1 oder 2 nach Anhang I der GefStoffV einzustufen sind. Die TRGS 905 ist zu beachten. Krebs-erzeugend sind auch Gefahrstoffe nach § 35 Abs. 4 und 5 GefStoffV.  Zubereitungen sind krebserzeugend im Sinne des § 35 Abs. 3 der GefStoffV.
Sonstige Stoffe	1/5 des jeweiligen Grenzwertes; der Anteil der Rückluft in der Zuluft für den Raum darf 70 % nicht überschreiten.	Gilt für alle Gefahrstoffe (außer Stoffe nach den o. g. Hinweisen); vergleiche VDI 2262 [26].

Der Gesamtanteil an Stoffen in der Reinluft darf  $1 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreiten.



Gegenüber den in Tabelle 10 aufgeführten Begrenzungen sind folgende Sonderregelungen zu berücksichtigen:

- Beim Umgang mit Buchen- und Eichenholz ist eine Reinlufrückführung auch zulässig, wenn ein Reststaubgehalt von  $0,1 \text{ mg/m}^3$  in der Reinluft nachweislich nicht überschritten wird. Dieses entspricht gegenüber den Anforderungen in Tabelle 10 einem Staubanteil von  $1/20$  der TRK. Die restlichen Forderungen bleiben von dieser Sonderregelung unberührt, mit der Ausnahme, dass der Rückluftanteil größer als 50 % sein kann.
- Nach VDI 2262 Blatt 3 [28] ist beim Vorliegen von Stoffen mit MAK auch dann eine Reinlufrückführung möglich, wenn der Restgehalt an Gefahrstoffen höher als  $1/5$  des jeweiligen Grenzwertes ist und der Rückluftanteil in der Zuluft entsprechend geringer als 70 % ist.

Das danach zu wählende Verhältnis von Außenluft zu Rückluft kann gemäß VDI 2262 Blatt 3 ermittelt werden. In Anlehnung an die TRGS 560 enthält die VDI-Richtlinie 2262 Blatt 3 [28] Anforderungen für die Reinlufrückführung für nicht krebserzeugende Stoffe.

#### 4.4.3 Betrieb von Anlagen mit Reinlufrückführung

Anlagen mit Reinlufrückführung sind regelmäßig auf Funktionsfähigkeit zu überwachen. Dabei ist auch die Einhaltung der in Tabelle 10 aufgeführten Konzentrationen in der Rückluft durch Messungen gemäß VDI 2066 [23]

- unter Bedingungen einer maximalen Gefahrstoffbelastung,
- in regelmäßigen Zeitabständen, jedoch mindestens einmal jährlich,

nachzuweisen. Entsprechende Messöffnungen in der Rückluftleitung müssen vorhanden und ohne Gefahr zugänglich sein.

Wird dem eigentlichen Abscheidesystem (Filter) ein Sicherheitsabscheider nachgeschaltet, der im Normalbetrieb keine Abscheidfunktion besitzt, sondern ausschließlich



verhindern soll, dass im Falle sinkender Abscheideleistung oder bei Beschädigung des Hauptabscheiders erhöhte Gefahrstoffanteile in den Arbeitsraum zurückgeführt werden, entfällt die regelmäßige Überwachung, allerdings unter der Voraussetzung, dass die gesamte Absauganlage regelmäßig instandgehalten wird. Bei der in regelmäßigen Zeitabständen vorzunehmenden Überwachung gilt der Nachweis der Einhaltung der Grenzkonzentrationen in der Rückluft auch als erbracht, wenn durch Kontrollmessungen im Sinne der TRGS 402 [7] der Grenzwert am Arbeitsplatz dauerhaft sicher eingehalten wird.

Bei stationären Anlagen ist der Betrieb mit Reinlufrückführung nur während der Heizperiode zulässig. Daher muss die Möglichkeit bestehen, die Anlage auf reinen Abluftbetrieb umzustellen.

Je nach Größe der Anlagen werden Unterschiede im Genehmigungsverfahren nach TRGS 560 gemacht. Es wird unterschieden nach

- stationären Anlagen und
- ortsveränderlichen Absauggeräten (siehe Sicherheitstechnische Informations- und Arbeitsblätter Nrn. 510 210, 510 215, 510 220, 515 210, 515 225 und 515 230 in [39]).

Beim Umgang mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtschädigenden Gefahrstoffen sollen in der Regel nur stationäre Anlagen ohne Reinlufrückführung betrieben werden. Eine Reinlufrückführung ist nur in einzelnen begründeten Ausnahmefällen möglich. Sollen ortsveränderliche Absauggeräte eingesetzt werden, ist der Genehmigungsbehörde darzulegen, dass eine stationäre Einrichtung nicht betrieben werden kann. Bei ortsveränderlichen Absauggeräten mit integrierten Abscheidern

- beim Einsatz zur Oberflächenreinigung (z. B. Industriestaubsauger),
- zur Absaugung von handgeführten Arbeitsgeräten,
- beim Einsatz an ständig wechselnden Emissionsquellen bzw. ständig wechselnden Einsatzstellen,





- beim Einsatz an Maschinen oder Arbeitsgeräten, die nur gelegentlich eingesetzt werden,

entfällt eine Ausnahmegenehmigung, wenn sie nach einem allgemein anerkannten Verfahren von einer akkreditierten Stelle einer Bauartprüfung unterzogen wurden und die Eignung zum sicheren Einsatz festgestellt wurde. Der Arbeitgeber hat diese Geräte entsprechend den bestimmungsgemäßen Einsatzzwecken bereitzustellen und sie sind von den Beschäftigten entsprechend zu benutzen. Hinweise zur Verwendung von Geräten zum bestimmungsgemäßen Einsatz enthalten u. a. die Empfehlungen im Sicherheitstechnischen Informations- und Arbeitsblatt Nr. 510 000 in [39].

#### **4.4.4 Einschränkungen beim Umgang mit gas- und dampfförmigen Arbeitsstoffen**

Da für gas- und dampfförmige Stoffe in der Regel keine Abscheider zur Verfügung stehen, die eine ausreichende und dauerhaft sichere Abscheidung gewährleisten, müssen Einschränkungen gemacht werden, wenn diese Stoffe in der Absaugluft vorhanden sind. Es kommt dann zu einer Anreicherung der Dampfkonzentrationen im Arbeitsbereich. In diesen Fällen wird empfohlen, Wärmerückgewinnungssysteme einzusetzen (siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt Nr. 130 220 in [39]). Geeignet sind hierfür rekuperative Wärmerückgewinnungssysteme (z. B. Plattenwärmetauscher), bei denen im Fall der Kondensation der Dämpfe eine Übertragung der Stoffe an die Zuluft ausgeschlossen ist. Die Abdichtungen innerhalb des Wärmetauschers müssen gegenüber Flüssigkeiten (Kondensat) dicht sein und dürfen von kondensierten Stoffen nicht zerstört werden können.

#### **4.4.5 Nachweis der Abscheideleistung**

Bei nicht baumustergeprüften Anlagen (nach Kundenauftrag erstellte Anlagen, baumustergeprüfte Einrichtungen, siehe Sicherheitstechnische Informations- und Arbeitsblätter Nrn. 510 210, 510 215, 510 220, 515 210, 515 225 und 515 230 in [39]) gilt der Nachweis der Abscheideleistung in der Regel nur dann als erbracht, wenn durch Messungen in der Reinluft nach VDI 2066 Blatt 1 [23] festgestellt wurde,



dass die entsprechenden Grenzkonzentrationen (siehe Tabelle 10, Seite 54) eingehalten sind. Die Vorlage einer Prüfbescheinigung für das eingesetzte Filtermaterial reicht in keinem Fall aus, um den geforderten Nachweis der Abscheideleistung zu belegen.

#### 4.5 Auslegung von Luftleitungen

Luftleitungen, die an Erfassungseinrichtungen angeschlossen sind, sind so auszulegen, dass keine Staubablagerungen im Leitungssystem auftreten.

Staubablagerungen werden begünstigt durch

- zu geringe Strömungsgeschwindigkeiten,
- Durchmessersprünge und strömungsungünstige Leitungsübergänge,
- Drosseleinrichtungen,
- Krümmer mit zu geringen Radien,
- scharfkantige Übergänge.

In geraden Leitungsabschnitten treten bei Strömungsgeschwindigkeiten um 20 m/s keine staubförmigen Ablagerungen auf. Bei hoher Staubbichte im Strömungsquerschnitt oder bei agglomerierenden Stäuben sind z. T. höhere Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 30 m/s erforderlich.

Krümmer sollten stets große Radien und Querschnittserweiterungen sollten schlanke Übergänge besitzen. Leitungen, die in Sammelleitungen einmünden, müssen in Richtung des Luftstromes unter spitzem Winkel angeschlossen sein.

Oft lassen sich jedoch geringe Ablagerungen nicht vermeiden, daher sollten zum Reinigen der Leitungen leicht zugängliche Klappen o. ä. vorhanden sein. Die Luftleitungen müssen den mechanischen Einwirkungen (Abrasion) standhalten. Besonders gefährdet sind hier Leitungsübergänge und -krümmer.



In Luftleitungen, die z. T. durchs Freie geführt werden, können Taupunktunterschreitungen auftreten; ggf. sind diese Leitungen zu isolieren.

#### **4.6 Beseitigung abgelagerter Stäube**

Trotz einwandfreier Funktion der Erfassungseinrichtung ist das Auftreten von Staubablagerungen im Arbeitsraum häufig unvermeidbar. Das Aufwirbeln von Staubablagerungen kann die Staubbelastung in hohem Maße beeinflussen, deshalb sind Staubablagerungen regelmäßig zu beseitigen.

Das Reinigen der Betriebsräume durch Kehren sollte möglichst vermieden werden. Eine wirksame Beseitigung von abgelagertem Staub ist mit Geräten zum Aufsaugen möglich. Als transportable Einrichtungen werden Industriestaubsauger und Kehrsaugmaschinen eingesetzt.

Industriestaubsauger und Kehrsaugmaschinen müssen über die allgemeinen Sicherheitsanforderungen hinaus wegen der Reinlufrückführung besondere staubtechnische Zusatzanforderungen zu erfüllen. Die entsprechenden Unfallverhütungsvorschriften erlauben den Betrieb derartiger Einrichtungen, wenn sie einer Prüfung nach DIN EN 60335-2-69 [22] Anhang AA (früher ZH 1/487) unterzogen und positiv beurteilt worden sind. Listen geprüfter Einrichtungen werden in gewissen Zeitabständen veröffentlicht (siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt Nr. 510 210 in [39]).

Zum Aufsaugen brennbarer Stäube sind Industriestaubsauger der Bauart 1 (zündquellenfreie Bauart, siehe Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt Nr. 510 220 in [39]) einzusetzen.

#### **4.7 Persönliche Schutzmaßnahmen**

Persönliche Schutzmaßnahmen sind in erster Linie als Begleitmaßnahmen zu den technischen Schutzmaßnahmen anzusehen. Hierzu gehören:

- Persönliche Schutzausrüstungen (z. B. Atemschutz),



- ❑ sorgfältiger Umgang mit gefährlichen Arbeitsstoffen am Arbeitsplatz sowie
- ❑ Hygiene und Hautpflege vor, während und nach der Beschäftigung.

Führen technische Schutzmaßnahmen während bestimmter Arbeitsphasen nicht zu einer ausreichenden Expositionsminderung am Arbeitsplatz, so kann der Einsatz von Atemschutzeinrichtungen als Begleitmaßnahme erforderlich werden, wenn nur kurzzeitig und in Ausnahmefällen mit höheren Schadstoffkonzentrationen zu rechnen ist (z. B. Reinigungsarbeiten, Kontrollgänge). Hierbei sind die Regeln für den Einsatz von Atemschutzgeräten BGR 190 [16] zu berücksichtigen. Persönlicher Atemschutz stellt keinen Ersatz für technische Schutzmaßnahmen dar.

Technische Schutzmaßnahmen sind oft durch begleitende Maßnahmen zu ergänzen. Hierzu gehört z. B. die Reinigung des Arbeitsplatzes. Darüber hinaus müssen die Beschäftigten zum sorgfältigen Umgang mit gefährlichen Arbeitstoffen angehalten werden. So kann es z. B. kurzzeitig zu sehr hohen Staubkonzentrationen kommen, wenn leere Rohstoffsäcke frei im Raum zusammengefaltet werden. Durch die Luftverdrängung werden Staubpartikeln mitgerissen, die sich, je nach den Raumverhältnissen, nur sehr langsam aus der Atemluft entfernen lassen.

Bei Reinigungsarbeiten mit Druckluftstrahl können ebenfalls kurzzeitig sehr hohe Staubkonzentrationen verursacht werden, die durch Lüftungstechnische Maßnahmen nur langsam abgebaut werden. Müssen Arbeitsplätze ständig gereinigt werden, sollten entsprechende Absaugeinrichtungen zur Verfügung stehen.

Oft lässt sich der Hautkontakt mit gefährlichen Stoffen auch durch persönliche Schutzmaßnahmen nicht vermeiden. Hier kann durch intensive Hautpflege eine Hautreaktion gemindert werden.

#### **4.8 Atemschutzeinrichtungen**

Ausführliche Hinweise zu Vorschriften und Anforderungen zur Verwendung und Eignung von Atemschutzeinrichtungen enthält die BGR 190 „Einsatz von Atemschutzgeräten“ [16].



Atemschutzeinrichtungen sind zu unterteilen in Filtergeräte und Isoliergeräte. Bei der Verwendung von Filtergeräten muss sichergestellt sein, dass in der Atemluft ständig ein ausreichender Sauerstoffgehalt vorhanden ist. Isoliergeräte arbeiten unabhängig von der Umgebungsatmosphäre und können daher auch in Arbeitsräumen mit Sauerstoffmangel eingesetzt werden.

Filtergeräte werden unterteilt in Partikelfilter, Gasfilter und Kombinationsfilter (Gas-/Partikelfilter). Im Allgemeinen treten beim thermischen Spritzen neben Partikeln auch Gase (z. B. Stickoxide) auf. In der Regel sind daher Kombinationsfilter zu verwenden, die der Partikelfilterklasse P3 und dem Spezial-Gasfiltertyp „NO“ entsprechen müssen.

Isoliergeräte werden unterteilt in ortsunabhängige (Behältergeräte, Regenerationsgeräte) und ortsabhängige (Schlauchgeräte).

Persönlicher Atemschutz muss insbesondere dann getragen werden, wenn

- Lüftungstechnische Maßnahmen nicht ausreichend sind,
- thermisches Spritzen in engen Räumen durchgeführt wird,
- thermisches Spritzen an großen Flächen ausgeführt wird.

In den meisten Fällen muss damit gerechnet werden, dass bei diesen Arbeiten Sauerstoffmangel auftritt; daher sollten in jedem Fall Isoliergeräte zum Einsatz kommen.

#### **4.9 Technische Gewährleistung**

Um sicherzustellen, dass die Auslegungsdaten technischer Schutzeinrichtungen bei der Inbetriebnahme erreicht werden, sind im Liefervertrag technische Gewährleistungen aufzunehmen.

Als technische Gewährleistungen sollten u. a. festgelegt werden:

- Erfüllung allgemeiner Sicherheitsanforderungen,
- Erreichen der vorgesehenen Leistung/Wirksamkeit,



- Leistungsbedarf und Betriebsmittelverbrauch,
- Nachweis der Gewährleistung.

Während vom Lieferer die Gewährleistung technischer Einrichtungen nur für eine bestimmte Dauer übernommen wird, ist der Betreiber verpflichtet, aufgrund der gesetzlichen und berufsgenossenschaftlichen Bestimmungen für den Arbeits- und Nachbarschaftsschutz die Wirksamkeit im Dauerbetrieb zu erhalten.

#### **4.10 Wartung und Instandhaltung**

Die Wirksamkeit technischer Schutzeinrichtungen kann nur dann erhalten werden, wenn diese regelmäßig gewartet und instandgesetzt werden. Durch Wartungsmaßnahmen wird die Leistungsfähigkeit der Anlagen oder Anlagenteile erhalten, die Instandsetzung ist eine Maßnahme zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit.

Der Umfang der erforderlichen Wartungsarbeiten ist unterschiedlich und hängt in der Regel von der Nutzungsintensität ab. Bei Anlagen im Dauerbetrieb hat sich eine Dreiteilung der Betriebsüberwachung bewährt:

- tägliche Betriebskontrolle,
- monatliche Wartung,
- jährliche Hauptuntersuchung.

Die tägliche Betriebskontrolle muss in erster Linie darauf ausgerichtet sein, dass alle Leistungsdaten erreicht werden, die zum einwandfreien Betrieb notwendig sind.

Die monatliche Wartung umfasst die wichtigsten Funktionseinrichtungen zur Aufrechterhaltung der Schutzwirkung (z. B. Rohrleitungssysteme, Erfassungseinrichtungen, Verkleidungen).

Die jährliche Hauptuntersuchung schließt die gesamte Funktionseinheit ein. Nach Möglichkeit sollte die Hauptuntersuchung mit einer Leistungsmessung abgeschlossen



werden, die Aufschluss darüber gibt, ob der Betriebszustand noch den Auslegungsdaten entspricht.

Während tägliche Betriebskontrollen und monatliche Wartungen meist vom Betreiber selbst wahrgenommen werden können, steht in vielen Fällen für die jährliche Hauptuntersuchung kein geeignetes Personal zu Verfügung. Es dürfte dann zweckmäßig sein, mit den Herstellern der Anlage oder anderen sachkundigen Stellen einen Inspektions- oder Wartungsvertrag abzuschließen.

#### **4.11 Raumlüftung**

Werden in Produktionshallen und Werkstätten Maschinen betrieben, deren Oberflächen im Vergleich zur umgebenden Luft eine erhöhte Temperatur aufweisen, führt dies zu aufwärts gerichteten Luftströmungen (Thermikströme). Ohne Raumlüftung bildet sich durch die Thermikströme eine Zirkulationsströmung aus, die dazu führt, dass ein großer Teil der in Thermikströmen aufwärts strömenden Lasten wieder nach unten in den Arbeitsbereich geführt werden (Abbildung 33, Seite 64). Eine Abführung der Thermikströme im Deckenbereich verhindert diese Zirkulationsströmung in der Regel nicht, da im bodennahen Bereich ein Luftdefizit durch den Thermikstrom entsteht und sich dadurch eine Zirkulationsströmung im unteren Raumbereich einstellt. Eine ungeeignete Luftführung kann sogar die Rückströmung von Lasten begünstigen, wenn z. B. die Zuluft von der Decke oder von der Seite her (Abbildungen 34 und 35, Seite 64) in den Raum eingebracht wird.

Um Rückströmungen zu vermeiden, muss die im Thermikstrom aufsteigende Luft im bodennahen Bereich ersetzt werden (Druckausgleich). Diese Art der Luftführung wird allgemein als Schichtlüftung bezeichnet. Das Kennzeichen dieser Schichtlüftung ist, dass die Zuluft so zugeführt wird, dass Thermikströmungen ungestört bleiben und ein Luftausgleich im Arbeitsbereich erfolgt.

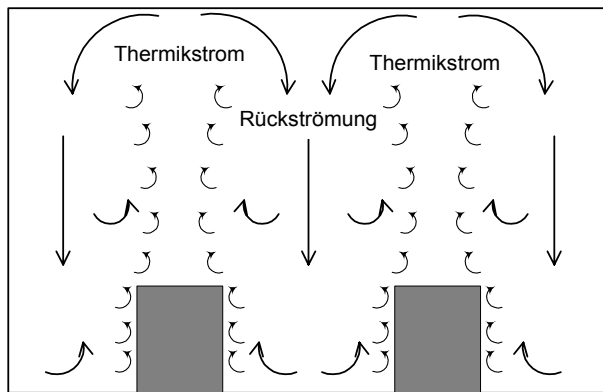


Abbildung 33:  
Thermikströme an warmen  
Oberflächen

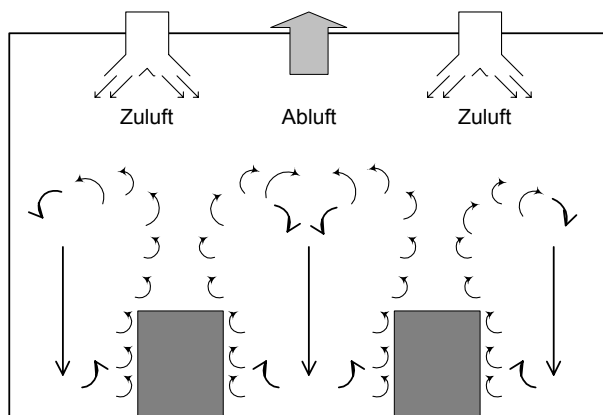


Abbildung 34:  
Störung des Thermikstroms bei  
Zuluft von der Decke

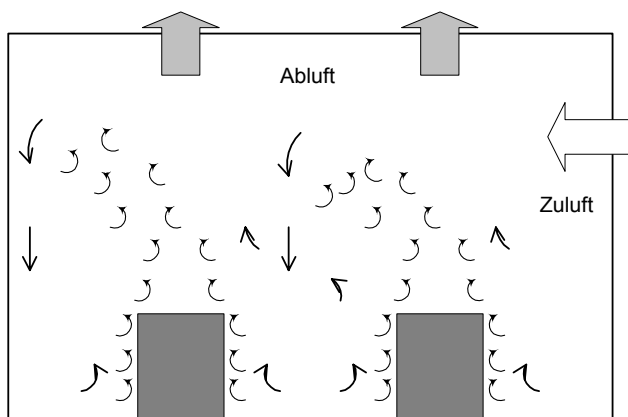


Abbildung 35:  
Störung des Thermikstroms bei  
Zuluft von der Seite

Man benötigt hierzu eine impulsarme Zuluftströmung, die je nach Anordnung der Luftdurchlässe auf verschiedene Weise erreicht werden kann, z. B. durch Luftdurchlässe im Arbeitsbereich (Abbildung 36, Seite 65) oder Luftdurchlässe oberhalb des Arbeitsbereiches (Abbildung 37, Seite 65).



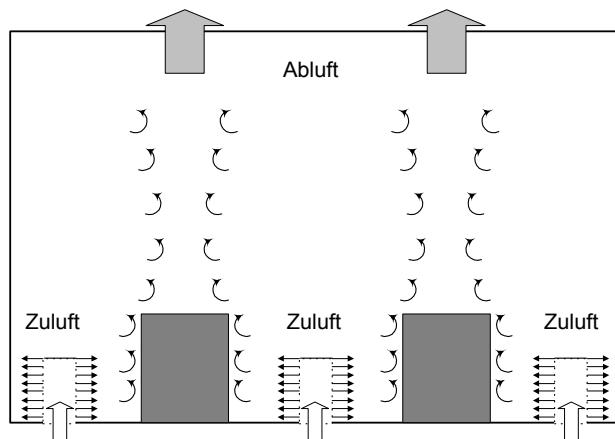


Abbildung 36:  
Zuluft im Bodenbereich – Schichtströmung

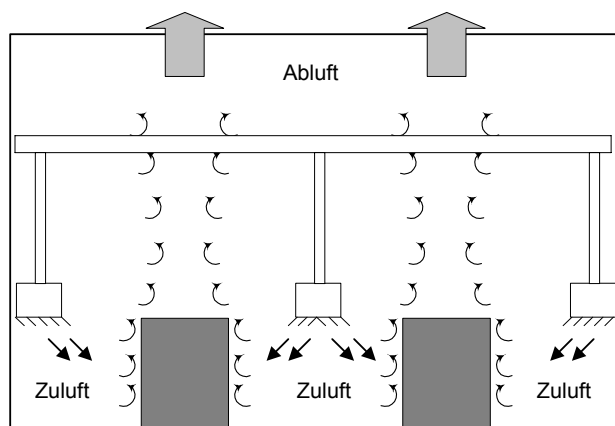


Abbildung 37:  
Zuluft oberhalb des Arbeitsbereiches  
(falls keine Anordnung im Bodenbereich möglich)

In der Industrie lassen sich in der Regel Luftdurchlässe im Boden nicht einrichten. Verbreitet sind Anordnungen von Luftdurchlässen im Arbeitsbereich in Bodennähe. Diese Anordnung wird allgemein als Quelllüftung bezeichnet (Abbildung 36). Innerhalb freitragender Hallen oder bei sehr dichter Maschinenbelegung können Quellluftdurchlässe nicht oder nur teilweise im Arbeitsbereich angeordnet werden. Alternativ hierzu werden die Luftdurchlässe unmittelbar oberhalb der Arbeitsbereiche angeordnet (in der Regel nicht über drei Meter hinausgehend, Abbildung 37). Die Luftdurchlässe sollten so angeordnet sein, dass Thermikströme nicht gestört werden. Vorzugsweise ist jedoch die Quelllüftung nach Abbildung 36 anzuwenden.





## 5 Gefahren von Staubbränden und -explosionen

Zur Ermittlung von Explosionskenngößen einschließlich der Glimm- und Zündtemperaturen von Stäuben, die beim thermischen Spritzen entstehen, wurden unterschiedliche Staubarten unter praxisnahen Bedingungen bezüglich ihrer explosionstechnischen Kennwerte untersucht. Angaben dazu finden sich in der Datenbank GESTIS-STAU-EX ([www.hvbg.de/bia/gestis-staub-ex](http://www.hvbg.de/bia/gestis-staub-ex)). Stäube, die beim konventionellen Lichtbogen- und Flammsspritzen stets als Nebenprodukt entstehen, sind infolge der prozessbedingten Oxidation der Teilchen weniger gefährlich als Stäube, die durch andere technologische Prozesse erzeugt wurden. Dennoch sind, wie die festgestellten Kennwerte zeigen, Staubbrände und -explosionen nicht grundsätzlich auszuschließen. Schutzmaßnahmen sind besonders bei Spritzwerkstoffen mit überwiegenden Legierungsanteilen von Aluminium, Zink und Titan erforderlich (siehe auch Maschinenrichtlinie [43]).





## 6 Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen

### 6.1 Beurteilung der Gefahrstoffkonzentrationen

Bei den Messungen wurden die E-Staub-Konzentration (früher Gesamtstaub) gemessen und die darin enthaltenen unterschiedlichen Metallstäube bestimmt. Die beim thermischen Spritzen entstehenden Stäube sind sehr fein, die Partikeldurchmesser liegen überwiegend unterhalb von  $3 \mu\text{m}$ . Derart feine Stäube können in die unteren Atemwege und somit in die Alveolen der Lunge gelangen. In diesem Fall nähert sich also die Teilchengrößenverteilung der untersuchten E-Staub-Proben der in der TRGS 900 [5] beschriebenen Definition für die A-Staub-Fraktion (früher Feinstaub) an. Unter solchen Bedingungen kann die als E-Staub gemessene Konzentration mit dem Allgemeinen Staubgrenzwert von derzeit  $3 \text{ mg/m}^3$  für den A-Staub verglichen werden.

Da eine Beurteilung der Konzentrationswerte mit dem niedrigeren Grenzwert erfolgt, liegt man im Hinblick auf die Grenzwerteinhaltung auf der sicheren Seite. Aufgrund der Höhe der gemessenen Staubkonzentration kann unterstellt werden, dass der Allgemeine Staubgrenzwert ohne entsprechende Schutzmaßnahmen nicht eingehalten werden kann. Dies gilt auch für Metallstäube. Werden Chrom-Nickel-haltige Spritzzusätze verwendet, so wird der TRK-Wert für Nickel z. T. erheblich überschritten. Darüber hinaus treten Konzentrationen an Chrom(VI)-Verbindungen auf, die z. T. deutlich über dem TRK-Wert liegen.

Der Grenzwert für Chrom(VI)-Verbindungen beim thermischen Spritzen liegt bei  $0,05 \text{ mg/m}^3$ , berechnet als Chromtrioxid ( $\text{CrO}_3$ ) in der E-Staub-Fraktion.

### 6.2 Beurteilung der Erfassungseinrichtungen

Es wurden drei unterschiedliche Erfassungseinrichtungen auf ihre Wirksamkeit untersucht:

- Einzelerfassung beim Flammsspritzen mit pulverförmigen Zusatzstoffen,



- ❑ Einzelerfassung beim Flamm- und Lichtbogenspritzen mit drahtförmigen Spritzwerkstoffen,
- ❑ Kabinen in integrierten Erfassungseinrichtungen beim Plasmaspritzen.

Bei allen Spritzverfahren wurden rotationssymmetrische Werkstücke bearbeitet.

Für Flamm- und Lichtbogenspritzarbeiten mit pulverförmigen Zusatzstoffen ist die Wirksamkeit der Stauberfassung in der halbkreisförmigen Konstruktionsform nach den Abbildungen 7 und 8 (Seite 25 und 26) ausreichend. Die Breite der Erfassungseinrichtung sollte mindestens das 2fache des Durchmessers  $d$  betragen. Bei sehr großen Bearbeitungslängen ist die Erfassungseinrichtung mit der Spritzpistole mitzuführen (siehe Abschnitt 4).

Die Länge der untersuchten Saughaube betrug 500 mm und der Nennluftvolumenstrom 1 000 m<sup>3</sup>/h. Die Seiten sind so weit wie möglich zu verkleiden. Die Ausführung der Saugöffnungen sollte so gestaltet werden, dass über der gesamten Erfassungszone am Werkstück eine Erfassungsgeschwindigkeit von mindestens 1 m/s vorliegt.

Beim Flamm- und Lichtbogenspritzen mit drahtförmigen Spritzzusätzen (Messreihe 2) ist die vorgestellte Erfassungseinrichtung in ihrer Wirksamkeit nicht ausreichend. Die Entfernung der Emissionsquelle zum Absaugzentrum (Strömungsprofil in der Saughaube) ist zu groß, sodass abprallende Staubpartikeln nicht erfasst werden. Im Vergleich zu der Erfassungseinrichtung beim Pulverspritzen (hier wird die Emissionsquelle vom Strömungsprofil halbkreisförmig umschlossen) ist die Erfassungsgeschwindigkeit an der Emissionsquelle mit einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 0,4 m/s zu gering. Nachträgliche Änderungen der Leitflächen vor der Saughaube sowie Erhöhung des Absaugvolumenstromes zeigten ebenfalls keine deutliche Verbesserung der Erfassungswirkung; die Schadstoffkonzentration am Arbeitsplatz konnte nicht ausreichend gesenkt werden.

Bei Serienfertigungen oder bei Werkstücken, die sich in Produktionsgruppen zusammenfassen lassen, ist eine gut wirksame Gefahrstofferrfassung durch Einhausung der Werkzeugmaschinen und Spritzstände erreichbar. Nach dem Ergebnis der messtechnischen Untersuchungen in den Kabinen im Arbeitsbereich der Beschäftigten kann



eine Schadstoffbelastung bei geschlossenen Kabinentüren sowie bei einem halbautomatischen Spritzverfahren ausgeschlossen werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Gefahrstofffassung bei unterschiedlichen Reparatur- und Neuteilen (siehe Abschnitt 3.3) sehr effektiv ist. Dagegen zeigt sich bei Spritzarbeiten ohne Erfassungseinrichtungen eine hohe Staubbelastung im Arbeitsbereich und in der Hallenluft (siehe Tabelle 9 auf Seite 36: Messergebnisse aus den Untersuchungen der Messreihe 3).

In Werkhallen mit mehreren Emissionsquellen sowie Absaugstellen wird die Wirksamkeit der entstaubungstechnischen Maßnahmen in Frage gestellt, wenn nicht durch geeignete Einrichtungen für eine ausreichende Lüfterneuerung gesorgt wird. Vorteilhaft ist die Lüfterneuerung durch die Unterflur-Kanalführung direkt in die Kabine, sodass das abgesaugte Luftvolumen durch Außenluft ersetzt werden kann. Bei der untersuchten Anlage wird die Außenluft in einem technischen Versorgungsraum rekuperativ erwärmt und über ein Unterflur-Kanalsystem – angesaugt durch die Absauganlagen – in die einzelnen Kabinen verteilt. Weitere Vorteile ergeben sich durch die direkte Lüfterneuerung in den Kabinen für die Be- und Entlüftung von Werkhallen mit vielen Absaugstellen und großen Absaugvolumenströmen. Hier brauchen die Abluftanteile nicht aus der Hallenluft ersetzt zu werden, sondern für die Hallenbe- und -entlüftung wird nur der erforderliche Luftvolumenstrom für einen Mindestluftwechsel in der Halle benötigt.

Zusammenfassend kann hinsichtlich der Gefahrstofffassung Folgendes festgehalten bzw. empfohlen werden:

1. Nach Möglichkeit sollten die Spritzarbeiten in geschlossenen Kabinen durchgeführt werden. Innerhalb der Kabinen sollten die Emissionen unmittelbar an der Entstehungsquelle erfasst und abgeführt werden. Dadurch wird eine Verteilung der Stäube innerhalb der Kabine vermieden, was aufgrund der engen Raumverhältnisse zu einer zu hohen Konzentration und zur Verschmutzung der Kabine und der in ihr enthaltenen Einrichtungen führen könnte. Darüber hinaus ist durch diese Maßnahme sichergestellt, dass aus der Kabine keine Gefahrstoffe in den Arbeits-



bereich austreten können. Zur wirksamen Erfassung der Stäube sind aufgrund der hohen Partikelgeschwindigkeiten entsprechend hohe Erfassungsgeschwindigkeiten erforderlich, die bezogen auf die Baugröße der Erfassungseinrichtung relativ hohe Abluftvolumenströme erfordern (hohe Luftwechselrate). Sofern diese Erfassungsluft nicht innerhalb der Kabine ersetzt wird, können in ihr hohe Unterdrücke entstehen. Daher ist es notwendig, die Erfassungsluft weitgehend über eine Zuluftanlage zu ersetzen, sodass nur ein geringer Teil der Abluft aus dem Arbeitsraum über unvermeidbare Öffnungen in die Kabine einströmt und somit ein Austreten der Gefahrstoffe vermieden wird. Durch die Verwendung einer Kabine lassen sich gleichzeitig auch Lärmprobleme lösen.

2. Können thermische Spritzarbeiten nicht in geschlossenen, sondern nur in halb-offenen Kabinen durchgeführt werden, ist sicherzustellen, dass sich der Arbeitsplatz ständig im Einströmbereich der Umgebungsluft befindet. Auch bei den halb-offenen Einrichtungen können Lärminderungsmaßnahmen durch innere schall-technische Auskleidung der berücksichtigt werden.
3. Bei ausgedehnten Werkstücken (lange Wellen usw.) lassen sich thermische Spritzarbeiten häufig nur im freien Raum, meistens an einer Drehmaschine, durchführen. Hierbei sind Erfassungseinrichtungen offener Bauart zu verwenden. Bei der Gestaltung dieser Einrichtungen ist darauf zu achten, dass die Ansaugöffnung der Erfassungseinrichtung den gesamten Emissionsbereich umschließt. Bei rotations-symmetrischen Teilen sind die Erfassungseinrichtungen z. T. halbkreisförmig auszuführen.

Die Absauggeschwindigkeiten im Emissionsbereich sollten ca. 1 m/s und im Ansaugquerschnitt der Erfassungseinrichtung ca. 10 m/s betragen. Beim Lichtbogen- und Detonationsspritzen sind die Luftgeschwindigkeiten ggf. zu erhöhen.

Zwischen Werkstück und Ansaugquerschnitt sollte ein genügender Abstand vorgesehen werden, damit die Fluggeschwindigkeit der Staubpartikeln vor Eintritt in die Erfassungseinrichtung weitgehend reduziert ist, um Rückpralleffekte zu vermeiden. Abstände von ca. 0,5 m sind im Allgemeinen ausreichend.





Der Absaugvolumenstrom richtet sich im Wesentlichen nach der Absauggeschwindigkeit und der Breite der Erfassungseinrichtung. Bei ausgedehnten Werkstücken kann die Breite der Einrichtung auf den Erfassungsbereich reduziert werden, wenn sie der Emissionsquelle nachgeführt wird, z. B. an Drehbänken durch Anbringen der Erfassungseinrichtung an den Support. Der Anschluss der Erfassungseinrichtung an die Absaugleitung erfolgt entweder durch flexible Schläuche oder über einen Kanal mit Gummilippen bzw. einen Kulissenkanal.





## 7 Zusammenfassung

Beim thermischen Spritzen gelangt ein Teil der Zusatzstoffe in die Atemluft der Beschäftigten. Je nach Spritzverfahren können Schadstoffkonzentrationen entstehen, die zu einer Gesundheitsgefährdung führen. Darüber hinaus sind Brand- und Explosionsgefahren möglich, die je nach Zusatzstoff zu beurteilen sind. Zur Vermeidung dieser Gefahren sind die Gefahrstoffe an der Entstehungsquelle abzusaugen und abzuscheiden.

Optimalen Schutz bietet die räumliche Trennung des Arbeitsplatzes vom Spritzbereich z. B. durch Verwendung von geschlossenen Spritzkabinen. Hiermit lassen sich gleichzeitig auch Lärmprobleme lösen. Werden Spritzkabinen eingesetzt, ist darauf zu achten, dass beim Betreten der Kabinen zur manuellen Beschickung oder zur Durchführung von Kontrollen Atemschutz getragen wird, da der Mitarbeiter sonst trotz Absaugung hohen Belastungsspitzen ausgesetzt werden kann.

Können thermische Spritzarbeiten nicht in geschlossenen Kabinen durchgeführt werden, so sollten möglichst halboffene Kabinen eingesetzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass sich der Arbeitsplatz ständig im Einströmbereich der Umgebungsluft befindet.

Wegen der sehr hohen Gas- und Teilchengeschwindigkeiten während des Spritzvorgangs werden an die Einrichtungen zum Absaugen der Gefahrstoffe (Erfassungseinrichtungen) besondere Anforderungen gestellt. Absauggeschwindigkeit und Absaugvolumenstrom sowie die Konstruktion (Größe, Form usw.) der Erfassungseinrichtungen sind auf die spezifischen Verhältnisse abzustimmen. Neben den Anforderungen an die Luftleitungen sind besondere Anforderungen an die Abscheider zu stellen. Wegen der Feinheit der abgesaugten Stäube ist eine ausreichende Abscheidung nur mit besonderen Abscheidemedien und begrenzter Filterflächenbelastung (Luftvolumenstrom pro Filterfläche) möglich.

Die Anlagen zum Absaugen und Erfassen von Gefahrstoffen beim thermischen Spritzen sind hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt und müssen daher



regelmäßig gewartet werden. Die aus dem Abscheider austretende Abluft sollte auf jeden Fall an die Außenluft abgegeben werden. Zur Energieeinsparung können spezielle Wärmerückgewinnungssysteme eingesetzt werden.

Das BIA hat umfangreiche Untersuchungen zu Schadstoffkonzentrationen und möglichen technischen Schutzmaßnahmen in der Praxis durchgeführt.



## 8 Literaturverzeichnis

- [1] *Pfeiffer, W.; Willert, G.*: Thermisches Spritzen – Technische Maßnahmen zur Staubminderung. BIA-Report 6/86. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA, Sankt Augustin 1986
- [2] *Auffarth, J.; Bredendiek-Kämper, S.; Fröhlich, N.; Lampe, C.*: Stoffbelastungen beim thermischen Spritzen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Gefährliche Arbeitsstoffe GA 51. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 1997
- [3] GESTIS-Expositionsdatenbank – DOK-MEGA; BIA-Datenbank „Dokumentation von Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“
- [4] DIN EN 657: Thermisches Spritzen; Begriffe, Einteilung (06/94). Beuth, Berlin 1994 (in Überarbeitung)
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte (TRGS 900). Ausgabe: Oktober 2000. BArbBl. (2000) Nr. 10, S. 34-62; zul. geänd. BArbBl. (2003) Nr. 9, S. 48
- [6] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Technische Richtkonzentrationen (TRK) für gefährliche Stoffe (TRGS 102). Ausgabe: September 1993. BArbBl. (1993) Nr. 9, S. 65-70, zul. geänd. BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 57
- [7] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermittlung und Beurteilung der Konzentrationen gefährlicher Stoffe in Luft in Arbeitsbereichen (TRGS 402). Ausgabe: November 1997. BArbBl. (1997) Nr. 11, S. 27-33, Anhang 1 und 2, BArbBl. (1998) Nr. 10, S. 40-41, Anhang 3, BArbBl. (1993) Nr. 9, S. 77-78, zul. geänd. BArbBl. (1997) Nr. 3, S. 76-78
- [8] BIA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen (Kennzahl 0412 ff). Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld 1989 – Losebl.-Ausg.



- [9] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Begründung und Erläuterungen zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 901). Ausgabe: April 1997. BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 42-53, zul. geänd. BArbBl. (2003) Nr. 6, S. 90
- [10] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz: Anforderungen (TRGS 400). Ausgabe: März 1998. BArbBl. (1998) Nr. 3, S. 53-56, mit Änderungen und Ergänzungen: BArbBl. (1999) Nr. 3, S 62
- [11] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Bewertung von Stoffgemischen in der Luft am Arbeitsplatz (TRGS 403). Ausgabe: Oktober 1989. BArbBl. (1989) Nr. 10, S. 71-72
- [12] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Allgemeine Vorschriften (BGV A 1, bisher VBG 1). Carl Heymanns, Köln 2004
- [13] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Lärm (BGV B 3, bisher VBG 121). Carl Heymanns, Köln 1997
- [14] Berufsgenossenschaftliche Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren (BGV D 1, bisher VBG 15). Carl Heymanns, Köln 2001
- [15] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL). Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung (BGR 104, bisher ZH 1/10). Carl Heymanns, Köln 2002
- [16] Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit: Einsatz von Atemschutzeinrichtungen (BGR 190, bisher ZH 1/701). Carl Heymanns, Köln 1996
- [17] DIN 1946-1: Raumluftechnik; Terminologie und grafische Symbole (VDI-Lüftungsregeln) (10/88). Beuth, Berlin 1988



- [18] DIN 1946-2: Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln) (01/94). Beuth, Berlin 1994
- [19] DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung (06/2003). Beuth, Berlin 2003
- [20] DIN 31052: Instandhaltung; Inhalt und Aufbau von Instandhaltungsanleitungen (06/81). Beuth, Berlin 1986
- [21] DIN 33403: Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung. Teil 2: Einfluss des Klimas auf den Wärmehaushalt des Menschen (08/00). Beuth, Berlin 2000
- [22] DIN EN 60335-2-69: Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 2-69: Besondere Anforderungen für Staub- und Wasserversauger, einschließlich kraftbetriebener Bürsten für industrielle und gewerbliche Zwecke (1998) und Anhang A1 (2000). Beuth, Berlin 1998 und 2000
- [23] VDI 2066 Blatt 1 und 2: Messen von Partikeln; Manuelle Staubmessung in strömenden Gasen; Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung; Filterkopfgeräte (4 m<sup>3</sup>/h, 12 m<sup>3</sup>/h) (08/93). Beuth, Berlin 1993
- [24] VDI 2071: Wärmerückgewinnung in Raumluftechnischen Anlagen (12/97). Beuth, Berlin 1997
- [25] VDI 2260: Technische Gewährleistungen für Gasreinigungsanlagen – Partikel- und gasförmige Stoffe (10/03). Beuth, Berlin 2003
- [26] VDI 2262 Blatt 1: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe; Allgemeine Anforderungen (04/93). Beuth, Berlin 1993
- [27] VDI 2262 Blatt 2: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe; Verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen (12/98). Beuth, Berlin 1998
- [28] VDI 2262 Blatt 3: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz – Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe; Lufttechnische Maßnahmen (05/94). Beuth, Berlin 1994



- [29] VDI 2264: Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung von Abscheideanlagen zur Abtrennung gasförmiger und partikelförmiger Stoffe aus Gasströmen (07/01). Beuth, Berlin 2001
- [30] VDI 2263: Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren, Beurteilung, Schutzmaßnahmen (05/92). Beuth, Berlin 1992
- [31] VDI 3673 Blatt 1: Druckentlastung von Staubexplosionen (11/02). Beuth, Berlin 2002
- [32] VDI 3676: Massenkraftabscheider (10/99). Beuth, Berlin 1999
- [33] VDI 3677 Blatt 1: Filternde Abscheider – Oberflächenfilter (07/97). Beuth, Berlin 1997
- [34] VDI 3678: Elektrofilter. Blatt 1: Prozessgas- und Abgasreinigung (09/98). Blatt 2: Prozessluft- und Raumlufthereinigung (08/01). Beuth, Berlin 1998 und 2001
- [35] VDI 3801: Betreiben von Raumluftechnischen Anlagen (06/00). Beuth, Berlin 2000
- [36] VDI 3802: Raumluftechnische Anlagen für Fertigungsstätten (12/98). Beuth, Berlin 1998
- [37] VDI 3803: Raumluftechnische Anlagen – Bauliche und technische Anforderungen (10/02). Beuth, Berlin 2002
- [38] VDI 3929: Erfassen luftfremder Stoffe (08/92). Beuth, Berlin 1992
- [39] BIA-Handbuch Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA, Sankt Augustin. Erich Schmidt, Bielefeld 1985 – Losebl.-Ausg.
- [40] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG). BGBl. I (2002) Nr. 71, S. 3830





[41] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz  
TA Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 24. Juli 2002.  
GMBI. (2002) Nr. 25-29, S. 511-605

[42] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Reinluftrückführung beim Umgang mit krebs-  
erzeugenden Stoffen (TRGS 560). Ausgabe: Mai 1996. BArbBl. (1996) Nr. 5, S. 54-55

[43] Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni  
1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für  
Maschinen. ABl. EG Nr. L 207 (1998), S. 1-46; geänd. durch Richtlinie 98/79/EG,  
ABl. EG Nr. L 331 (1998), S. 1-37