

# Erfassung und Abfuhr luftfremder Stoffe

Schadstofffassung und Abluftreinigung verursachen in Produktionsbetrieben hohe Kosten.

Effiziente Erfassungssysteme können im Zusammenspiel mit der richtigen Raumluftechnik den Luftbedarf und Energieverbrauch erheblich senken.



Dr.-Ing. Eckehard Fiedler,  
Leiter thermische Gebäude-  
und Strömungssimulation,  
YIT Germany GmbH.

„Nach der Gefahrstoffverordnung und nach der Unfallverhütungsvorschrift VBG 1 besteht für den Arbeitgeber die Verpflichtung, den Menschen vor arbeitsbedingten und sonstigen Gefahren und die Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen zu schützen. (...) Ist das Auftreten luftfremder Stoffe am Arbeitsplatz nicht sicher auszuschließen, so ist das Ausmaß der Gefährdung zu ermitteln und ggfs. Schutzmaßnahmen durchzuführen.“ (Quelle VDI 2262).

Beim Erwärmen, Schweißen, Kleben, Reinigen usw. treten die unterschiedlichsten Luftschadstoffe auf, die Mitarbeiter und Umwelt gefährden können. Werden die zulässigen Konzentrationen dieser Stoffe am Arbeitsplatz überschritten, dann sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Welche Art des Schutzes notwendig ist, hängt von der Art des Gefahrstoffes, der auftretenden Menge und dem zulässigen Grenzwert ab.

Für die meisten Stoffe finden sich Vorgaben in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900). Die dort festgelegten Arbeitsplatz-Grenzwerte (AGW<sup>1</sup>) sind im Aufenthaltsbereich einzuhalten und bilden den Maßstab für die Auslegung von Schutz-einrichtungen. Je kleiner das Verhältnis der zulässigen Konzentration am Arbeitsplatz zur auftretenden Schadstoffmenge an der Quelle ist, desto höher sind die Anforderungen an das Schutz-system.

## Physikalische Grundlagen der Schadstofffassung

Luftfremde Stoffe sind Gase, Dämpfe, Stäube oder Aerosole, die üblicherweise nicht oder in wesentlich geringeren Konzentrationen in der Luft enthalten sind. Sie entstehen durch Abrieb, Verbrennung, Verdunstung oder Austritte

aus Produktionseinrichtungen. Die meisten dieser Stoffe haben eine natürliche Tendenz, sich mit der Zeit gleichmäßig im Raum zu verteilen und Konzentrationsunterschiede auszugleichen. Ausnahmen bilden lediglich größere Staub- und Aerosolpartikel mit einem Durchmesser von mehr als 10 µm, die mit der Zeit absinken (Siehe Abbildung 1). Alle anderen luftfremden Stoffe müssen unter hohem Energieeinsatz aus der Luft entfernt werden durch Filter, Wäscher oder thermische Abluftreinigungsanlagen. Schadstoffbelastete Abluft verursacht hohe Kosten, es stellt sich daher die Aufgabe, die notwendigen Luftmengen möglichst zu minimieren.

Betrachtet man den Weg der Verteilung von Schadstoffen, dann stellt man fest, dass Ihre

Konzentration an der Entstehungsstelle oft hoch ist. Durch Diffusion und Luftbewegung im Raum werden die Stoffe verdünnt, wobei die Konzentration ab und der kontaminierte Volumenstrom stark zunimmt. Für die Erfassung ergibt sich hierdurch folgende Rangordnung:

- Gelingt eine Erfassung direkt an der Entstehungsstelle, dann können die Schadstoffe mit geringsten Luftvolumenströmen abgeführt werden.
- Verlassen luftgetragene Stoffe den Entstehungsbereich, dann erhöhen sich die belasteten Luftmengen durch Verdünnung schnell, sodass mit steigender Entfernung von der Quelle erheblich steigende Absaugleistungen benötigt werden.
- Gelingt die Erfassung nicht in einem relativ eng begrenzten Bereich um die Quelle, dann verteilen sich luftgetragene Stoffe durch Turbulenzen und Diffusion im gesamten Raum. Die Raumkonzentrationen können dann nur noch durch Belüftung des gesamten Raumes reduziert werden. Die hierbei entstehende Menge belasteter Abluft ist sehr hoch und kann zu exorbitanten Kosten für die Abluftreinigung führen.

Durchmesser [µm]	100	50	10	1	0.1
Sedimentation [cm/s]	25	7	0,3	0,004	0,00009
Falldauer aus 1 m Höhe [min]	0,07	0,2	5,6	417	18.520

Abbildung 1: Schwebeverhalten von Grob- und Feinstäuben (Quelle [1]).

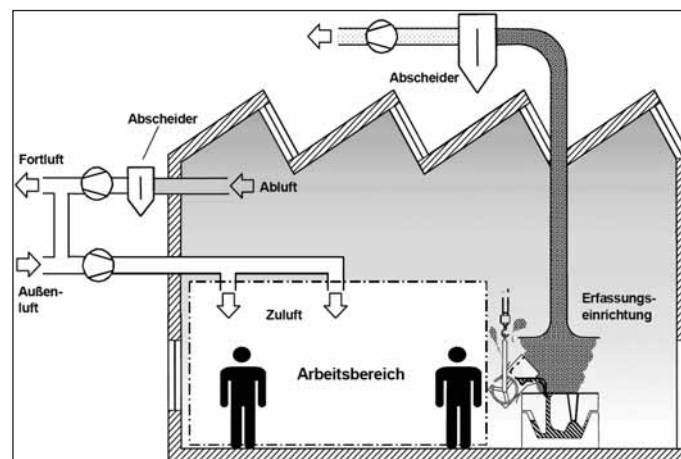


Abbildung 2: Abluftfassung und Luftführung im Raum (Quelle [2]).

<sup>1</sup> früher MAK-Werte

Erfassungssystem hängt daher nicht allein vom System ab, sie wird stark auch von der Umgebungssituation beeinflusst.

Zur Bewertung von Schadstofffassungssystemen wird der **Erfassungsgrad**  $\eta$  verwendet. Dieser bezeichnet den Anteil der Stoffmenge, die vom System erfasst wird, im Verhältnis zur gesamt freigesetzten Schadstoffmenge. Bei einem mechanisch belüfteten Produktionsraum (Abbildung 2) lässt sich der Erfassungsgrad näherungsweise aus den Schadstoffkonzentrationen im Absaugsystem zur mittleren Abluftkonzentration berechnen:

$$\dot{m}_s = C_s \cdot \dot{V}$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_{s, \text{Absaug}}}{\dot{m}_{s, \text{Gesamt}}} = \frac{\dot{m}_{s, \text{Absaug}}}{\dot{m}_{s, \text{Absaug}} + \dot{m}_{s, \text{Abluft}}} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{m}_{s, \text{Abluft}}}{\dot{m}_{s, \text{Absaug}}}}$$

$\dot{m}$  ist hier der Schadstoff-Massenstrom in der jeweiligen Gasfraktion, C die Stoffkonzentration und  $\dot{V}$  der Volumenstrom. Die obige Gleichung gilt für unbelastete Zuluft.

**VDI 2262: Erfassen luftfremder Stoffe**

In der Technik sind eine Reihe von Methoden bekannt, mit denen unter Produktionsbedingungen ein effektiver Schutz vor luftgetragenen Schadstoffen realisiert werden kann. Von der vollständigen Einhausung über halboffene Systeme bis zu offenen Absaugungen gibt es eine große Spannbreite von Systemen (Abbildung 3 und 4), die für den individuellen Einsatzfall jeweils Vor- und Nachteile haben können. Hier gilt es in der Praxis, das richtige System auszuwählen.

Die VDI 2262 – Erfassen luftfremder Stoffe – liefert eine systematische Übersicht über die gebräuchlichen Systeme und beschreibt detailliert sowohl die physikalischen Hin-

tergründe wie auch die gängigen Auslegungsmethoden. Für Details zu einzelnen Systemen sei hier auf diese Quelle verwiesen. Im Folgenden soll nur an einem Beispiel die besondere Problematik von Erfassungssystemen erläutert werden.

**Beispiel**

Eine typische Absaugproblematik findet sich bei Beizbädern, die durch Verdunstung und Thermik großflächig gesundheitsschädliche Stoffe austragen können. Optimalen und kostengünstigen Schutz bieten hier mechanische Abdeckungen, die das Bad dicht verschließen. In der

Praxis behindern diese aber den Arbeitsablauf so stark, dass darauf verzichtet werden muss. Eine punktuelle oder linienhafte Absaugung am Beckenrand ist realisierbar und kompatibel mit dem Arbeitsablauf, erweist sich in der Praxis aber als sehr störungsanfällig. Schon kleinste Luftbewegungen reichen aus, um große Dampfmengen an der Absaugung vorbei in den Raum auszutragen.

Wesentlich größere Stabilität lässt sich durch Leitstrahlen erreichen, die Luft mittels einer Sperrdüse über das Becken zur Absaugstelle führen (Abbildung 5). Die Untersuchung der Erfassungsgrade bei Badabsaugungen [3] zeigt allerdings, dass die Auslegung der Sperrstrahlen äußerst sorgfältig erfolgen muss. Abbildung 6 zeigt Ergebnisse einer Messung aus dem oben genannten Forschungsprojekt. Dort wurden die Erfassungsgrade eines Leitstrahlensystems aufgezeichnet, im linken Diagramm als Absolut-

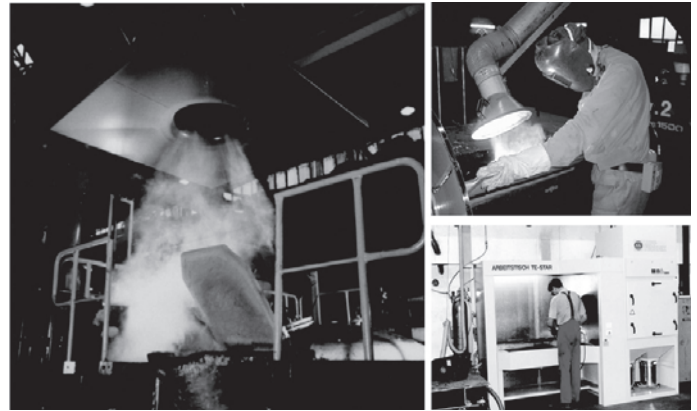


Abbildung 3: Absaugsysteme aus der VDI 2262.

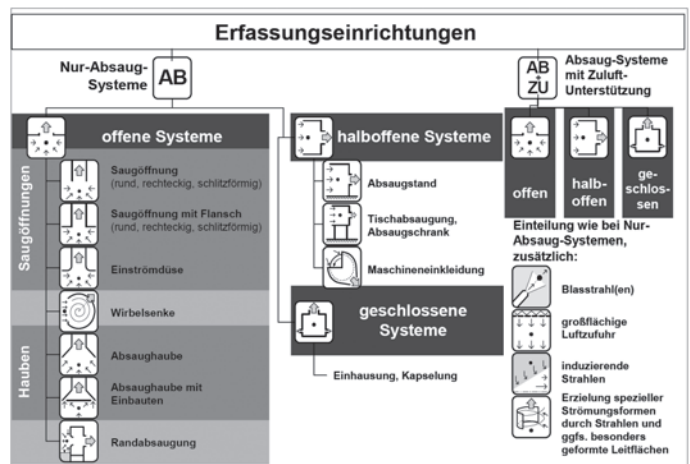


Abbildung 4: Einteilung von Ablufteffassungssystemen nach VDI 2262 (Quelle [1]).

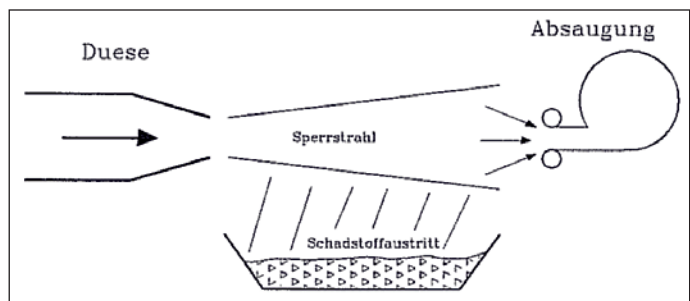


Abbildung 5: Badabsaugung mit Sperrstrahl.

werte, im rechten Diagramm als Verhältnis der Raumkonzentration zur Abluft. Dieses Verhältnis entspricht im Wesentlichen dem Erfassungsgrad. Man erkennt ein ausgeprägtes Minimum bei einem Volumenstromverhältnis von 0,15. Überschreitet man diesen Wert, dann sinken die Erfassungsgrade wieder, sodass bei zu hoher Auslegung der Sperrstrahlen die Erfassung nahezu wirkungslos wird.

Nach Regenscheid [4] lässt sich die Volumenzunahme eines Schlitzstrahls berechnen:

$$\frac{\dot{V}(x)}{\dot{V}_0} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot x}{s}}$$

Hierbei ist s die Schlitzweite der Sperrdüse, x die Lauflänge des Strahls und m die Mischzahl, die bei Freistrahlen um  $m = 0,17$  liegt. Je kleiner also die Schlitzweite ist, desto größer wird der an der Absaug-

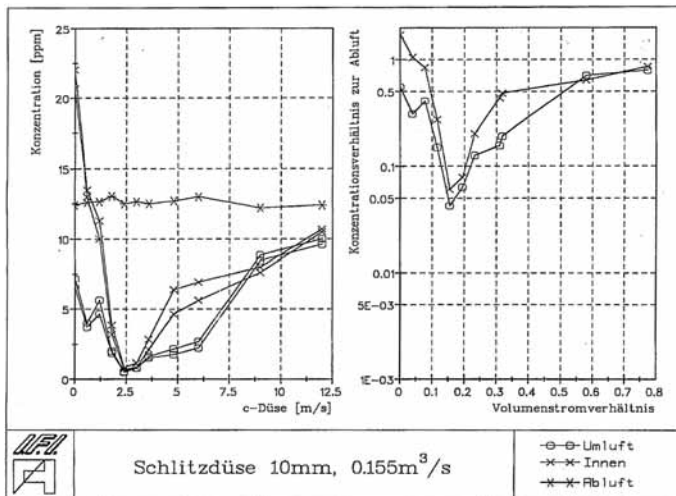


Abbildung 6: Erfassungsgrad abhängig vom Sperrstrahlvolumenstrom. Es sind Daten unterschiedlicher Messpositionen aufgetragen, rechtes Diagramm je 2 gemittelt.

stelle auftreffende Volumenstrom. Berechnet man für die obige Situation den Strahlvolumenstrom an der Absaugstelle, dann zeigt sich, dass der Erfassungsvolumenstrom um ca. 10-15% über dem Strahlvolumenstrom an der Erfassungsstelle liegen muss, um eine optimale Erfassung zu erhalten. Dieses Ergebnis konnte für unterschiedliche Düsengeometrien verifiziert werden. Im obigen Fall lag das optimale Volumenstromverhältnis zwischen Blasluft und Absaugung bei ca. 1 : 6,5. Verringert man die Schlitzweite auf 1 mm, dann liegt das Volumenstromverhältnis bei 1 : 20.

Die Erfahrung aus unterschiedlichen Projekten der industriellen Schadstofffassung zeigt, dass häufig

sehr individuell angepasste Lösungen für eine effektive Absaugung gefunden werden müssen. Bei der Suche nach geeigneten technischen Lösungen für die Schadstofffassung sollte dann folgende Prioritätenliste eingehalten werden:

1. Schadstoffaustritt vermeiden
2. Schadstoffe an der Quelle erfassen
3. Stoffströme gezielt führen
4. Effektiv belüften – Raumbelastung reduzieren

#### Einfluss der RLT-Anlage

RLT-Anlagen haben einen erheblichen Einfluss auf die Auslegung von Erfassungssystemen, unter anderem, weil sie eine Quelle erheblicher Luftbewegung darstellen können.

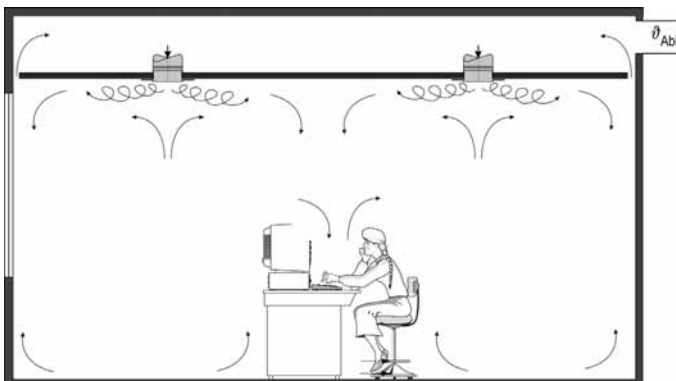


Abbildung 7: Prinzip der Mischlüftung.

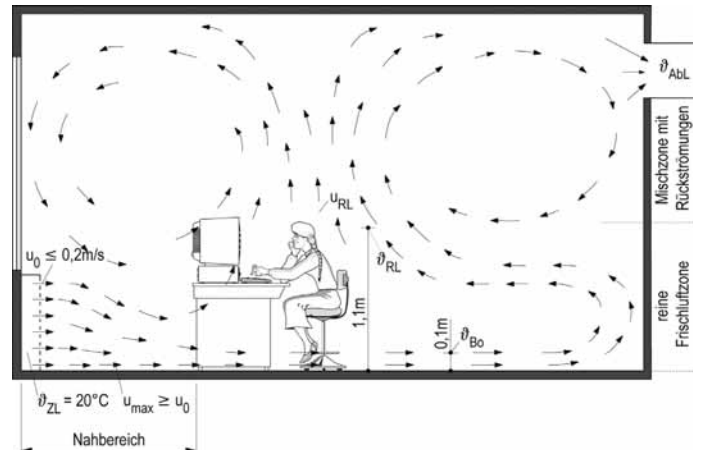


Abbildung 8: Prinzip der Quelllüftung.

nen. Hauptgrund ist aber die Tatsache, dass sie die Schadstoffe im Raum verdünnen und damit die Arbeitsplatzkonzentration senken. Je effektiver die Lüftungsanlage arbeitet, desto geringer werden die Anforderungen an das Schutzsystem.

Bei der Raumluftführung unterscheidet man zwischen Systemen mit Mischlüftung und solchen mit Quelllüftung. Bei der **Mischlüftung** (Abbildung 7) wird Zuluft über hoch induktive Systeme in den Raum eingebracht. Häufig werden hierfür Radial- oder Drallauslässe eingesetzt, die Induktionsraten von ca. 30 erreichen. Dies bedeutet, dass das 30-fache der Zuluftmenge im Raum als Sekundärluft umgewälzt wird. Bei einem 2-fachen Luftwechsel je Stunde ergibt dies eine Sekundärluftmenge, die dem 60-fachen des Raumluftvolumens entspricht, die Raumluft wird also in jeder Minute einmal komplett umgewälzt. Durch diese starke Umwälzung verteilen sich Wärme und Schadstoffe gleichmäßig im Raum. Mischlüftungssysteme eignen sich zum Heizen und Kühlen. Je nach Raumhöhe kann die Zuluft mit Untertemperatur bis -12K eingebracht werden, was eine Wärmeabfuhr mit geringen Zuluftmengen ermöglicht.

Die **Quell- oder Schichtlüftung** (Abbildung 8) nutzt den Dichteunterschied der (kühleren) Zuluft, um im Raum eine Luftschichtung zu erzeugen. Als Luftdurchlässe werden Systeme verwendet, die die Luft impulsarm in Bodennähe oder in geringer Höhe in den Raum einbringen. Von dort verteilt sich die unvermischte Zuluft über einen großen Raumbereich und füllt den Raum schließlich von unten nach oben. Als Vorteil kommen Personen im Raum im Wesentlichen mit reiner Frischluft in Kontakt, Schad- und Geruchsstoffe werden mit der Wärme nach oben abgezogen, ohne den Aufenthaltsbereich zu belasten<sup>2</sup>. Im Industriebereich werden überwiegend Schichtlüftungssysteme eingesetzt (Abbildung 9), da mit ihnen eine wesentlich effektivere Schadstoffabfuhr erreicht werden kann.

Misch- und Quelllüftung unterscheiden sich erheblich in ihren Eigenschaften. Zur Beschreibung eignen sich sogenannte Belastungsgrade, die beschreiben, wie sich

<sup>2</sup> Die Quelllüftung kann nur im Kühlfall eingesetzt werden, die Zuluft kann aus Gründen der Behaglichkeit minimal mit 20°C, im Industriebereich mit 18°C eingebracht werden. Da die Ablufttemperatur deutlich über der Temperatur im Aufenthaltsbereich liegt, werden ähnliche Temperaturdifferenzen für die Wärmeabfuhr erreicht wie bei der Mischlüftung.



Abbildung 9: Schichtlüftung im praktischen Einsatz.

Stoff- oder Wärmelasten auswirken. Belastungsgrade sind lokale Größen, d.h. sie unterscheiden sich in unterschiedlichen Raumbereichen. In der Regel ist der Belastungsgrad direkt am Luftauslass 0, in der Abluft genau 1,0. Der lokale Belastungsgrad wird dadurch berechnet, dass die Konzentration an der Stelle x durch die Abluftkonzentration geteilt wird. Der Wert beschreibt also dimensionslos, wie stark die Luft an der Stelle x bereits „belastet“ ist. Analog kann man auch einen Wärmebelastungsgrad definieren, der die Temperaturerhöhung der Luft gegenüber der Zuluft auf die Temperaturdifferenz  $T_{Abluft} - T_{Zuluft}$  bezieht:

• **Stoffbelastungsgrad**  $\mu_S = C_{\text{lokal}} / C_{\text{Abluft}}$  (VDI 2262)

• **Wärmebelastungsgrad**  $\mu_W = (T_{\text{lokal}} - T_{\text{Zuluft}}) / (T_{\text{Abluft}} - T_{\text{Zuluft}})$

Belastungsgrade liegen in der Regel zwischen 0 und 1, es ist aber auch nicht ungewöhnlich, dass in Bereichen von Wärmestau oder Tot-Zonen Belastungsgrade über 1 auftreten.

Abbildung 10 zeigt gemessene Stoffbelastungsgrade unterschiedlicher Lüftungssysteme. Während bei der Quelllüftung vom Boden ein minimaler (Stoff-)Belastungsgrad von 0,25 erreicht wird liegt dieser mit steigender Ausblashöhe höher, bis er beim Mischlüftungssystem im gesamten Raum annähernd bei 1,0 liegt.

Niedrige Stoffbelastungsgrade bedeuten, dass eine an-

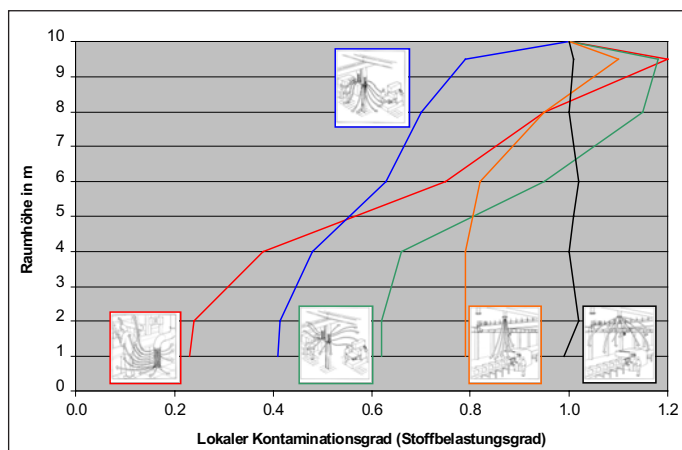


Abbildung 10: Stoffbelastungsgrade bei unterschiedlichen Luftführungssystemen.

gestrebte Arbeitsplatzkonzentration mit erheblich kleinerer Luftmenge erreicht werden kann. Da in der Industrie die Luftmengen zur Stoffabfuhr häufig erheblich höher sind als die zur Wärmeabfuhr, lassen sich also durch die Wahl des richtigen Lüftungssystems erhebliche Luftmengen einsparen.

**Abluftreinigung**

In der Regel gilt, dass belastete Luft, die einmal erfasst wurde, auch behandelt (sprich: gereinigt) werden muss. Für Raumabluft muss dies im Einzelfall geprüft werden. Abluft aus einem Erfassungssystem ist aber meist so hoch belastet, dass eine direkte Ableitung im Sinne der Luftreinheit nicht möglich ist. Im Zusammenhang mit der Schadstofffassung muss in der Regel auch die Frage der Abluftreinigung geklärt werden.

Für die Abluftreinigung stehen vielfältige Verfahren zur Verfügung, deren Beschreibung den hier verfügbaren Platz sprengen würde. Es sei aber darauf hingewiesen, dass hohe Stoffkonzentrationen bei der Erfassung interessante Perspektiven insbesondere bei der regenerativen Nachverbrennung eröffnen. Denn bei Konzentrationen ab ca. 2 g/m<sup>3</sup> Abluft können bei brennbaren Schadstoffen wie Lösemitteln solche Anlagen autotherm arbeiten, d.h. es wird keine Energie für die Abluftreinigung benötigt. Bei höheren Konzentrationen können darüber hinaus nicht unerhebliche Wärmemengen aus den Anlagen ausgekoppelt werden, sodass sich hier eine kostengünstige Quelle für Heiz- oder Prozesswärme ergibt. ◀

**Literatur**

- [1] Mineralischer Staub, Steinbruchs-Berufsgenossenschaft, link: <http://www.stbg.de/html/medien/brosch/30staub.pdf>
- [2] Energieeffiziente Lüftungsanlagen in Betrieben, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg – Informationszentrum Energie –, Mai 2002
- [3] Ahmed Boulafkih: Absaugung von großflächig austretenden Schadstoffen, FLT-Forschungsprojekt 1994
- [4] Bruno Regenscheid: Isotherme Luftstrahlen, Klima- und Kälteingenieur Extra 12, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1981