

Lüftung von Schweißwerkstätten

Überblick über den derzeitigen Stand der Zuluftbemessung –
Berechnungsgrundlagen bezüglich Schadstoffbilanzierung

Dr.-Ing. Tibor Rakoczy zum 60. Geburtstag gewidmet

In den 60er Jahren und Anfang der 70er sind viele Gebäude mit einem derart unzulänglichen thermischen Schutz durch die Hülle ausgeführt worden, daß in diesen nur durch eine herstellung- und betriebskostenaufwendige Klimaanlage erträgliche Aufenthaltsbedingungen eingehalten werden konnten.

Durch die Energiepreiskrisen 1973 und 1979 ist jedoch eine Umorientierung im Bereich der Raumluftbehandlung unter dem Schlagwort „hygienische statt thermische Klimatechnik“ bewirkt worden. Die durch eine Raumluftbehandlung zu gewährleistende Erzielung und Einhaltung hygienisch einwandfreier Aufenthaltsbedingungen mit einem wirtschaftlichen Energieeinsatz steht somit derzeit im Blickpunkt des Interesses. Hierbei ist die Schadstoffbegrenzung in sowie die Schadstoffabfuhr aus den Aufenthalts- und Arbeitsbereichen der Räume von grundlegender Bedeutung.

In dem folgenden Beitrag wird ein Überblick über den derzeitigen Stand der Zuluftstrombemessung in Schweißwerkstätten gegeben und gleichzeitig exemplarisch die Grundlage des auf eine Schadstoffbilanzierung im Raum abgestellten Berechnungsganges aufgezeigt.

Dipl.-Ing. K. G. Müller, Düsseldorf

Tabelle 1: Grundlagen der Außenluftstrombemessung bei der Schweißraumlüftung nach [2]

^{a)} Offenes Lichtbogenschweißen nach DIN 1910.

^{b)} Bei Verwendung kalkbasischer Elektroden (Kb-Typ) ist die zulässige Rauchkonzentration geringer anzusetzen. Es wird empfohlen, hierbei den Außenluftstrom zu verdoppeln, d.h. die zulässige Rauchkonzentration auf 10 mg/m³ zu verringern.

^{c)} Aus den Versuchsergebnissen in [5] wurde hierfür abgeleitet, daß durch die Flammenabkühlung nur 40% des in den Schweißgasen enthaltenen Stickstoffes (als Gasverunreinigung) stöchiometrisch in Stickstoffdioxid übergeht.

^{d)} Einsatzdauer ED = $Z_A / (Z_A + Z_p) \cdot 100$ mit Z_A = betriebsbedingte Schmelzzeit, Z_p = Betriebspause (Neben- und Verlustzeit).

^{e)} Bei mehreren Schweißstellen mit angesetzter Einsatzdauer. Bei Räumen mit nur einer Schweißstelle wird durch die Aufeinanderfolge von Schmelzzeit und Betriebspause ein sägezahnförmiger Anstieg der Schadstoffkonzentration im Raum bewirkt. Der hierfür geltende Berechnungsansatz für den erforderlichen Außenluftstrom wurde in [6] abgeleitet.

Bereits in den 50er Jahren ist in einigen Einzelveröffentlichungen die Problematik der Volumenstromberechnung, abgestellt auf einen bestimmten Schadstoffanfall und dessen Konzentrationsbegrenzung im Raum, behandelt worden [1]. Anfang der 60er Jahre wurden vom Autor dieses Berichtes in einer grundlegenden Veröffentlichung [2] die Untersuchungsergebnisse über die Zusammenhänge für die Erfassung eines zeitlich konstanten oder diskontinuierlich anfallenden Schadstoffstromes und dessen Konzentrationsbegrenzung im Raum (Unterschreitung des MAK-Wertes oder der unteren Explosionsgrenze) durch Außenluftzufuhr bekanntgegeben und anhand ausgewählter Anwendungsbeispiele erläutert. Diese Arbeiten haben jedoch aufgrund der damals erstrangig auf die thermische Luftbehandlung ausgerichteten Interessenlage der Klimabranche nicht die notwendige Beachtung gefunden¹⁾. Daher sind nach der nunmehr vollzogenen Neuorientierung des Einsatzschwerpunktes in der Raumlufttechnik noch für viele Anwendungsbereiche die Auslegungsdaten für die Luftstrombemessung (Schadstoffstrom, Zeitverhalten) und Luftstromführung (Schadstoffaufnahme) – in Zusammenarbeit mit Medizinern und Hygienikern – zu ermitteln und den Projektanten zur Verfügung zu stellen.

In der vorgenannten Arbeit [2] ist unter den Anwendungsbeispielen die Lüftung von Schweißwerkstätten besonders ausführlich behandelt worden. Je nach dem verwendeten Schweißverfahren werden hierbei Schadstoffe in Form von Rauch (Rauche mit Partikelgrößen < 1 µm und Stäube mit Partikelgrößen > 1 µm) beim Lichtbogenschweißen oder Gasen beim Gasschweißen freigesetzt. Weiterhin wird durch die anfallende Prozeßwärme meist eine zusätzliche Raumbelastung verursacht. Basierend auf veröffentlichten Untersuchungsergebnissen von Hummitsch [3; 4] für den Rauchanfall beim Lichtbogenschweißen sowie von Rimarski und Konschak [5] für das Auftreten von Stickstoffoxiden beim Gasschweißen, wurde versucht, die Bemessung der Lüftungsanlage auf eine sichere Basis zu stellen. Die hiernach abgeleiteten Grundlagen zur Außenluftstrombemessung werden in Tabelle 1 angegeben. Diese Grundlagen sind dann unverändert in der VDI-Richtlinie 2084 „Lüftung von Schweißräumen und Schweißplät-

Schweißverfahren	Lichtbogenschweißen ^{a)}	Gasschweißen
fertigungsspezifische Ausgangsgröße (Bezugseinheit)	Elektroden-durchmesser (DIN 1913) 4 bis 6 mm (mit verschiedenen Umhüllungen)	Brennereinsatz (DIN 8343) 0,5 bis 30 für Blechstärken 1 bis 20 mm
Schadstoff-Leitkomponente	Schweißrauche	Stickstoffoxide
zulässige Schadstoffkonzentration	20 mg/m ³ ^{b)}	9 mg/m ³ (5 ppm)
Schadstoffstrom je Bezugseinheit (Dauerbetrieb)	24 bis 48 g/h	0,65 bis 45 l/h ^{c)}
angesetzte Einsatzdauer ED ^{d)}	50%	40%
Außenluftstrom je Bezugseinheit ^{e)}	600 bis 1 200 m ³ /h	50 bis 3 600 m ³ /h
anfallende Prozeßwärme	3 bis 5,8 kW	0,2 bis 16,8 kW

zen“ aufgenommen worden, die als Entwurf im Oktober 1963 und – nach Abschluß des öffentlichen Einspruchsverfahrens – als Weißdruck im Dezember 1965 herausgegeben wurde. In dieser Richtlinie wurden die Bemessungsergebnisse für den Normalfall (mehrere Schweißstellen) in zwei Nomogrammen zusammengefaßt, aus denen die erforderliche stündliche Lufterneuerung in Abhängigkeit von dem je Schweißstelle zur Verfügung stehenden Luftraum²⁾ direkt entnommen werden konnte (Bild 1). Eine Erläuterung zur Richtlinie mit Bekanntgabe

- der Bemessungsgrundlage,
- von Berechnungsbeispielen
- sowie neuerer Erkenntnisse zum zeitlichen Konzentrationsverlauf bei unterschiedlichem Zusammenwirken mehrerer Schadstoffquellen (Schweißstellen)

ist Anfang 1968 erschienen [7].

Neue Schadstoffuntersuchungen

Durch die Richtlinienherausgabe wurden in den 70er Jahren zahlreiche Untersuchungen der anfallenden Schadstoffströme bei den unterschiedlichen schweißtechnischen Verfahren initiiert. Für folgende Verfahren sind – abgestimmt auf die Schadstoffleitkomponenten „Schweißrauche oder nitrose Gase“ – diese Untersuchungen durchgeführt worden:

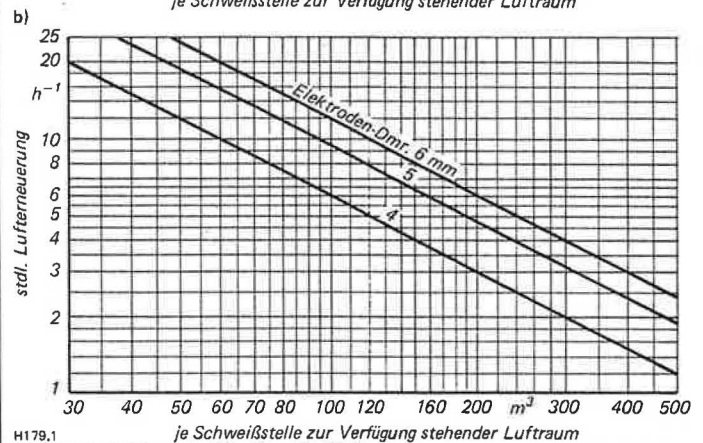
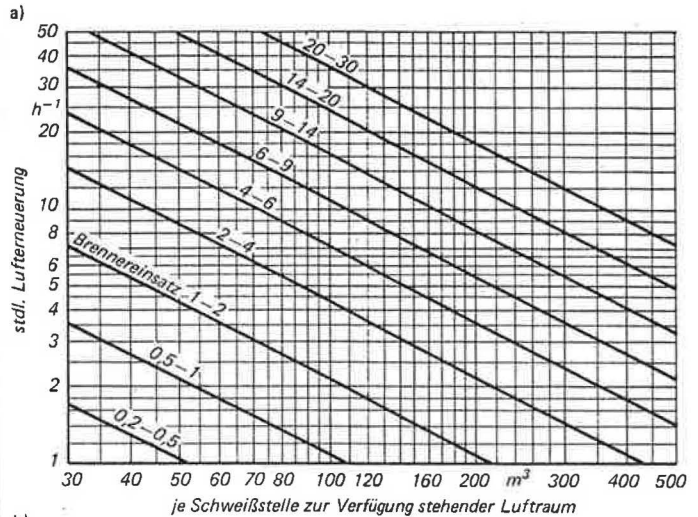
- offenes Lichtbogenschweißen [8; 9],
- Gasschweißen mit Acetylen – Sauerstoff [10],
- Wärmen mit der Acetylen-, Propan- oder Erdgasflamme [10],
- Schutzgasschweißen MAG (Metall-Aktivgasschweißen) [11; 12],
- Schutzgasschweißen MIG (Metall-Inertgasschweißen) von Al-, Zn- und Mg-Legierungen [11; 12].

In den Tabellen 2 bis 6 werden die in diesen Untersuchungen festgestellten Schadstoffströme und die erforderlichen Außenluftströme je Bezugseinheit ausgewiesen. Der Vergleich der erforderlichen Lufterneuerung in Abhängigkeit von dem je Schweißstelle zur Verfügung stehenden Luftraum (bei gleichmäßiger Schadstoffverteilung in der Raumluft) zeigt (Bild 2), daß

- beim offenen Lichtbogenschweißen (mit rutilumhüllten Stabelektroden) die Lufterneuerung nach VDI 2084 (12.65) unterhalb der neuen Werte,
- beim Gasschweißen mit Acetylen dagegen über den neuen Werten liegen.

Beim Lichtbogenschweißen ist jedoch zu beachten, daß der in VDI 2084 (12.65) für die zulässige Staubkonzentration angesetzte Grenzwert von 20 mg/m³ inzwischen auf 6 mg/m³ verringert wurde (allgemeiner Staubgrenzwert³⁾ nach [13]). Bei Umrechnung auf diese niedrigere Zulässigkeitsgrenze würde – wie strichpunktiert in Bild 2a angedeutet – die Lufterneuerung nach VDI 2084 (12.65) weit oberhalb der auf den neueren Untersuchungen basierenden Werten liegen. Bereits bei den 1940 veröffentlichten Untersuchungen [5] war festgestellt worden, daß durch die geringere Abkühlung der frei brennenden Flamme – im Vergleich zum Schweißvorgang – eine größere Wärmemenge für die Stickstoffoxidbildung zur Verfügung steht. Bei den neuen Untersuchungen wurde deshalb für beide Vorgänge der NO_x-Anfall gemessen (Tabelle 2). Bei der Berechnung des anzusetzenden Schadstoffstromes (NO_x) wurde dann berücksichtigt, daß sich der Schweißvorgang (mit ED = 40%) zu 25% aus Zeiten für das Einstellen des Brenners, Vorbereiten des Schweißdrahtes, Einrichten des Werkstückes (frei brennende Flamme) und zu 75% aus der eigentlichen Schweißzeit (einschließlich Werkstückvorwärmung) zusammensetzt.

Das im Flammenbereich entstehende Stickstoffoxid NO verbindet sich nach Abkühlung in der Umgebung mit dem Luftsauerstoff zu Stickstoffdioxid NO₂. Bei den in Werkstätten geltenden Bedingungen (keine engen, geschlossenen Räume oder Behälter) kann angesetzt werden, daß maximal 40% der anfallenden Stickstoffoxide NO_x in NO₂ umgesetzt werden.



H 179.1
Bild 1: Anhaltswerte für die stündliche Lufterneuerung in Abhängigkeit von dem je Schweißplatz zur Verfügung stehenden Luftrauminhalt nach VDI 2084 Ausgabe 12.65
a) für Gas-Schweißbräume (Acetylen)
b) für Lichtbogen-Schweißbräume

Tabelle 2: Beim Lichtbogenschweißen*) auftretender Rauchanfall und notwendige Außenluftströme

Massen- bzw. Volumenstrom	Stabelektroden-type**)	Elektroden Durchmesser in mm (Kerndrahtdurchmesser)				
		2,5	3,25	4	5	6
Rauchanfall je Schweißstelle, ED = 100% in g/h	RR 6	12,6	14,4	14,4	16,2	18,0
	B 10	16,6	28,8	32,4	39,6	45,0
	B 12		34,2		99,0	
erforderlicher Außenluftstrom je Schweißstelle bei ED = 50% und einem MAK-Wert von 6 mg/m ³ in m ³ /h	RR 6	1 050	1 200	1 200	1 350	1 500
	B 10	1 380	2 400	2 700	3 300	3 750
	B 12		2 850		8 250	
	C 4			6 000	6 900	

*) Offenes Lichtbogenschweißen nach DIN 1910

***) Stabelektroden-type nach DIN 1913 Teil 1, rutilumhüllt RR 6, dickbasisch umhüllt B 10, basisch umhüllt B 12, zelluloseumhüllt C 4

1) In der Ausgabe des „Taschenbuches für Heizung + Klimatechnik 88/89, R. Oldenbourg Verlag (Recknagel-Sprenger-Hömann)“ wird im Abschnitt 351-14 „Bestimmung der Luftverschlechterung“ (S. 1196) zur Luftstrombestimmung bekanntgegeben: „Sind die Quellen der Luftverschlechterung bekannt, so läßt sich die zur Erreichung einer bestimmten Luftreinheit erforderliche Luftmenge berechnen. Eine solche Rechnung läßt sich z.B. durchführen, wenn die in einem Raum aus Apparaten stündlich entweichende Menge an schädlichen Gasen oder Dämpfen bekannt ist und der zulässige Gehalt der Luft an diesen Gasen angenommen wird. Oft ist dieses Verfahren zur Bestimmung der Luftmenge das richtige, jedoch sind meist die zahlenmäßigen Unterlagen nicht genügend bekannt, so daß die Anwendung des Verfahrens auf bestimmte Sonderfälle beschränkt bleibt.“

2) Hierbei wird eine gleichmäßige Schadstoffverteilung in der Raumluft angenommen.

3) Durch Einhaltung des 1984 eingeführten allgemeinen Staubgrenzwertes soll eine Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane verhindert werden.

Massen- bzw. Volumenstrom	Brennergröße							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Sauerstoffverbrauch bei ED = 100%, in l/h	80	160	315	500	800	1 250	1 800	2 500
NO _x -Anfall (NO u. NO ₂) bei ED = 100% in mg/min Schweißen frei brennende Flamme	10 100	25 200	55 350	100 600	200 1 000	400 1 800	650 3 000	900 4 000
NO _x -Anfall* (NO u. NO ₂) bei ED = 40% in mg/min	13,0	27,5	51,5	90	160	300	495	670
NO ₂ -Anfall bei einem Anteil 40% von NO _x in mg/min**)	5,2	11,0	20,6	36	64	120	198	268
erforderlicher Außenluftstrom je Schweißstelle bei ED = 40% und einem MAK-Wert von 9 mg/m ³ in m ³ /h	35	75	140	240	430	800	1 350	1 800

*) Angesetzt wird, daß während $\frac{3}{4}$ der Schweißzeit geschweißt wird und während $\frac{1}{4}$ der Zeit die Flamme frei brennt. Für z.B. die Brennergröße 4 beträgt dann: NO_x = 0,40 (3 × $\frac{100}{4}$ + $\frac{600}{4}$) = 90 mg/min.
 **) Leitgröße des Schadstoffanfalles ist Stickstoffdioxid, dessen Anteil an den Stickstoffoxiden ca. 40% beträgt.

Massen- bzw. Volumenstrom	Schweißstromstärke in A					
	50	100	150	200	250	300
Rauchanfall je Schweißstelle, ED = 100% in mg/min	170	180	210	310	600	620
Rauchanfall je Schweißstelle in mg/min Handschweißen ED = 50% Maschinenschweißen ED = 90%	85 153	90 162	105 189	155 279	300 540	310 558
erforderlicher Außenluftstrom je Schweißstelle in m ³ /h für Handschweißen ED = 50% Maschinenschweißen ED = 90% bei einem MAK-Wert von 6 mg/m ³	850 1 530	900 1 620	1 050 1 890	1 550 2 793	3 000 5 400	3 100 5 600

Tabelle 5: Beim MAG-Schweißen auftretender Rauchanfall und notwendige Außenluftströme

Tabelle 3: Beim Gasschweißen (Acetylen-Sauerstoff) anfallende Ströme an nitrosen Gasen und notwendige Außenluftströme

Tabelle 4: Beim Wärmen mit Acetylen (A), Propan (P) oder Erdgas (E) anfallende Ströme an nitrosen Gasen und notwendige Außenluftströme

Massen- bzw. Volumenstrom in l/h	Brenn- gas*)	Brennergröße								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sauerstoffverbrauch bei ED = 100% in l/h	A P E	75	150	300 315 315	520 500 500	750 800 800	1 150 1 250 1 250	1 700	2 500 2 500 2 500	3 550 3 550
NO _x -Anfall (NO u. NO ₂) bei ED = 100% in mg/min Wärmen Freibrennen Wärmen Freibrennen Wärmen Freibrennen	A P E	40 120	50 200	120 350 21 250 80 250	130 700 25 300 110 400	190 1 000 35 400 130 500	230 1 600 70 750 150 600	520 2 100	720 4 000 160 1 600 300 800	350 3 000 500 1 600
NO _x -Anfall (NO u. NO ₂) bei ED = 40% in mg/min (Wärmen und Freibrennen**)	A P E	24	35	71 31,3 49	109 37,5 73	157 50,5 89	229 96 105	360	610 208 170	405 310
NO ₂ -Anfall*** bei einem Anteil 40% von NO _x in mg/min	A P E	9,6	14	28,4 12,5 19,6	43,6 15 29,2	62,8 20,2 35,6	91,6 38,4 42	144	244 83,2 68	162 124
erforderlicher Außenluftstrom je Brenn- stelle bei ED = 40% und einem MAK-Wert von 9 mg/m ³ in m ³ /h	A P E	160	235	475 85 130	725 100 200	1 050 135 240	1 525 260 280	2 400	4 070 555 460	1 100 850

*) A = Acetylen, P = Propan, E = Erdgas

**) Angesetzt wird, daß während $\frac{3}{4}$ der Bearbeitungszeit mit der Flamme das Werkstück erwärmt wird und während $\frac{1}{4}$ der Zeit die Flamme frei brennt. Für z.B. die Brennergröße 4 beträgt dann für Acetylen: NO_x = 0,40 (3 × $\frac{130}{4}$ + $\frac{700}{4}$) = 109 mg/min.

***) Leitgröße des Schadstoffanfalles ist Stickstoffdioxid, dessen Anteil an den Stickstoffoxiden ca. 40% beträgt.

Richtlinienneubearbeitung

Im Oktober 1984 wurde mit der Neubearbeitung der Richtlinie „Lüftung von Schweißwerkstätten“⁴⁾ als Gemeinschaftswerk des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e.V., Düsseldorf (DSV) und der VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (VDI-TGA) begonnen.

Kernpunkt dieser Neubearbeitung wird die Luftstrombemessung sein, die auf die neuen Schadstoffwerte sowie auf alle drei Verfahren der Schadstoffabführung durch

- Raumlüftung (Schadstoffverdünnung und -abführung),
- örtliche Absaugung (unmittelbare Schadstoffabführung),
- Abluftfilterung (Schadstoffausscheidung)

abgestellt werden wird.

Bei Durchführung dieser Maßnahmen gemäß Bild 3 erhält man folgende Schadstoffbilanz:

<p>Schadstoffzuführung =</p> $\dot{K} \cdot (1 - \eta_E)$ <p>Schadstoffstrom in die Raumluft</p> $\dot{K} \cdot \eta_E \cdot (1 - \eta_{FE}) = \dot{K} \cdot \eta_E \cdot D_{FE}$ <p>mit dem Umluftstrom der örtlichen Absaugung nach Filterung zurückgeführt</p> $u \cdot \dot{V}_Z \cdot k_i \cdot (1 - \eta_{FR}) = u \cdot \dot{V}_Z \cdot k_i \cdot D_{FR}$ <p>mit dem Umluftstrom der Raumlüftung nach Filterung zurückgeführt</p> $(1 - u) \cdot \dot{V}_Z \cdot k_a$ <p>mit dem Außenluftstrom der Raumlüftung zugeführt</p>	<p>Schadstoffabführung =</p> $\dot{V}_{Ab-R} \cdot k_i = \dot{V}_Z \cdot k_i$ <p>mit dem Abluftstrom (bei Gleichdrucklüftung = Zuluftstrom) abgeführt</p>
--	---

Schadstoffbilanz (bezogen auf die Zeit dz) = Schadstoffzuführung - Schadstoffabführung = Schadstoffkonzentrationsänderung im Raum (mit dem Rauminhalt J)

$$[\dot{K} \cdot (1 - \eta_E) + \dot{K} \cdot \eta_E \cdot (1 - \eta_{FE}) + u \cdot \dot{V}_Z \cdot k_i \cdot (1 - \eta_{FR}) + (1 - u) \cdot \dot{V}_Z \cdot k_a - \dot{V}_Z \cdot k_i] \cdot dz = J \cdot dk_i \quad (1)$$

Durch Auflösung der Differenzgleichung (1) erhält man dann für den Beharrungszustand ($Z \rightarrow \infty$) mit der zulässigen Schadstoffkonzentration im Raum ($k_i = k_{i,zul}$) und unter Berücksichtigung der ungleichen Schadstoffkonzentrationsverteilung im Raum (Berücksichtigung durch den Kontaminationsgrad η_K) für den erforderlichen Zuluftstrom \dot{V}_Z folgende Gleichung

$$\dot{V}_Z = \frac{\dot{K} \cdot \eta_K \cdot [1 - \eta_E \cdot \eta_{FE}]}{[1 - u \cdot (1 - \eta_{FR})] \cdot k_{i,zul} - (1 - u) \cdot k_a} \quad (2)$$

- mit
- \dot{V}_Z Zuluftstrom (bei Gleichdruck = Abluftstrom \dot{V}_{Ab}) der Raumlüftung in m^3/h
 - u Umluftanteil der Raumlüftung ($u = \dot{V}_u / \dot{V}_Z$)
 - \dot{K} Schadstoffstrom (unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit des Schadstoffanfalls) in m^3/h
 - $k_{i,zul}$ Zulässige Schadstoffkonzentration in der Raumluft (Arbeitsbereich) in m^3/m^3
 - k_a Schadstoffkonzentration in der Außenluft in m^3/m^3
 - η_K Kontaminationsgrad (Verhältnis der mittleren Schadstoffkon-

Tabelle 6: Beim MIG-Schweißen von Al-, Zn- und Mg-Legierungen*) auftretender Rauchanfall und notwendige Außenluftströme

Massen- bzw. Volumenstrom	Schweißstromstärke in A			
	150	200	250	280
Rauchanfall je Schweißstelle ED = 100% in mg/min	100	1 000	1 600	1 200
Rauchanfall je Schweißstelle ED = 50% in mg/min	50	500	800	600
erforderlicher Außenluftstrom je Schweißstelle in m^3/h bei ED = 50% und einem MAK-Wert von 6 mg/m^3	500	5 000	8 000	6 000

*) Versuchsergebnisse für Al-, Zn-, Mg-Blech
Anmerkung: Beim Schweißen von Cr-Ni-Stahl muß wegen der anfallenden Cr- und Ni-Rauche örtliche Absaugung vorgesehen werden.

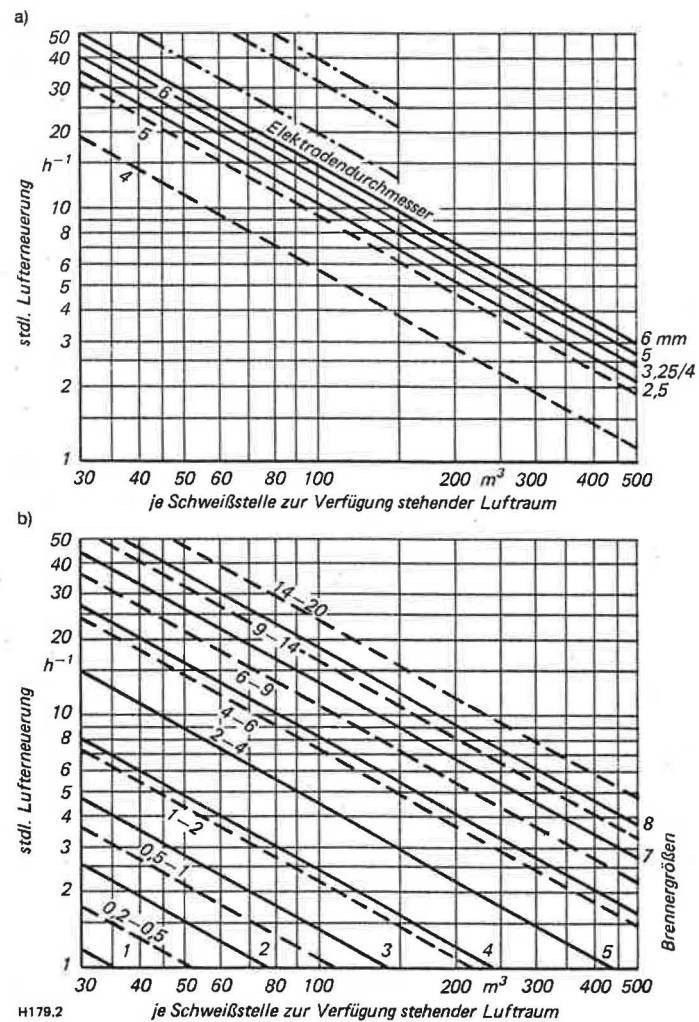


Bild 2: Vergleich der notwendigen stündlichen Lüfterneuerungen nach den neuen Schadstoffanfalluntersuchungen mit den Anhaltswerten der VDI 2084 Ausgabe 12.65

a) für Lichtbogen-Schweißräume; durchgezogen eingetragen sind die Werte für rutilumhüllte Stabelektroden (RRG) nach Tabelle 2, gestrichelt die Vergleichswerte nach VDI 2084 (12.65)
b) für Gas-Schweißräume; durchgezogen eingetragen sind die Werte für Acetylen-Sauerstoff-Schweißen nach Tabelle 3, gestrichelt die Vergleichswerte nach VDI 2084 (12.65)

4) Die VDI-Richtlinie 2084, Ausgabe 12.65, ist wegen technischer Überholung 1978 aufgehoben worden.

5) Vereinbart wurde, daß die neue gemeinsame Richtlinie als DVS-Merkblatt (Herausgeber: DVS) und als VDI-Richtlinie 2084, zunächst als Entwurf (Herausgeber: VDI-TGA) herausgegeben wird.

zentration im Arbeitsbereich – Schutzbereich – zu der im gesamten Raum)

η_E Erfassungsgrad der örtlichen Absaugung (Verhältnis des direkt erfaßten Schadstoffstromes \dot{K}_D zum gesamten Schadstoffstrom \dot{K})

η_F Abscheidegrad des Umluftfilters:

$$\eta_F = 1 - D_F = \dot{K}/\dot{K}'$$

D_F Durchlaßgrad des Umluftfilters

\dot{K} Schadstoffstrom am Filtereintritt in m^3/m^3

\dot{K}' Schadstoffstrom am Filteraustritt in m^3/m^3

und den Indizes

FE Filter „örtliche Absaugung“

FR Filter „Raumlüftung“.

In der Tabelle 7 wird eine Übersicht über die Berechnungsgleichungen für verschiedene Kombinationsmöglichkeiten der Anlagenausführungen gegeben.

Kontaminationsgrad

Bisher wurde bei der Schadstoffbilanz zur Zuluftstrombestimmung eine gleichmäßige Verteilung der Schadstoffkonzentration über das gesamte Raumvolumen angesetzt. Tatsächlich wird jedoch die Schadstoffverteilung im Raum durch die sich ausbildende Raumlüftung und damit durch die Ausführung und Anordnung der Luftauslässe sowie die Zuluftparameter (Geschwindigkeit, Temperatur) stark beeinflusst. Eine gleichmäßige Konzentrationsverteilung wird nur mit einer Mischungsströmung erreicht, bei der die Zuluft mit relativ hohem Impuls im Deckenbe-

reich eingeführt wird⁶⁾. Bei anderen Strömungsformen werden durch die Zuluftstrahlen Sekundärströmungen in Form von Luftwalzen – verbunden mit einem entsprechenden Temperatur- und Konzentrationsgefälle im Raum – ausgelöst. Die theoretischen Grundlagen hierzu sind von Nouri abgeleitet worden [14; 15].

Für die Schweißverfahren ist ein deutlich über normalen Raumlüftungsgeschwindigkeiten liegender thermischer Auftrieb – beim Gas-schweißen bis ca. 1,5 m/s, beim Lichtbogen- und Schutzgas-schweißen bis ca. 0,6 m/s – kennzeichnend. Es ist deshalb hierbei anzustreben, durch eine gleichgerichtete Luftführung die schadstoffbeladenen Auftriebskegel aus dem Atembereich der Schweißer abzuführen. Zu empfehlen ist die Anwendung des Quell-lüftungsprinzips (Verdrängungslüftung), d.h. die Einblasung der Zuluft (Außenluft) mit geringem Impuls (Zuluftgeschwindigkeit 0,2 bis 0,3 m/s) und kleiner Temperaturdifferenz (bis 3 K) in Boden-nähe über großflächige Gitterauslässe. Die Abluftabführung sollte teilweise örtlich in unmittelbarer Schweißplatznähe sowie im Deckenbereich erfolgen. Infolge des sich hierbei ausbildenden Schadstoff-Konzentrationsanstieges im oberen Raumbereich außerhalb der Arbeitsschutzzone (gekennzeichnet durch den Kontamina-tionsgrad η_K) kann der Zuluftstrom – unter Bezugnahme zur schadstoffvergleichmäßigen Mischungsströmung (Kontamina-tionsgrad $\eta_K = 1$) – erheblich vermindert werden. Nach bekannt-gegebenen neuen Untersuchungsergebnissen wurden hierbei Kontaminationsgrade von 0,20 bis 0,25 erreicht [16].

Örtliche Absaugung

Durch die örtliche Absaugung soll ein möglichst großer Schadstoffanteil bereits in Arbeitsnähe erfaßt und unmittelbar – ohne in den Raum zu gelangen – abgeführt werden. Hierzu ist im Bereich der Schweißstelle eine Mindestströmungsgeschwindigkeit, die sogenannte Erfassungsgeschwindigkeit, zu erzeugen, durch welche die Schadstoffe zur Ansaugstelle hin abgelenkt werden. Die Wirksamkeit der Schadstoffeffassung ist hierbei abhängig von

- der Anordnung und Bauart der Erfassungselemente (z.B. Haube seitlich oder über Kopf angeordnet),
- dem Abstand zur Schweißstelle,
- der Ansauggeschwindigkeit und damit dem Abluftvolumenstrom im Ansaugquerschnitt.

Da die Erfassungsgeschwindigkeit ungefähr mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt, muß zu deren Einhaltung im Schweißbereich der Abluftstrom mit zunehmender Entfernung entsprechend stark erhöht werden. Es ist daher anzustreben, die örtliche Absaugstelle so nahe als möglich an der Schadstoffquelle zu plazieren⁹⁾.

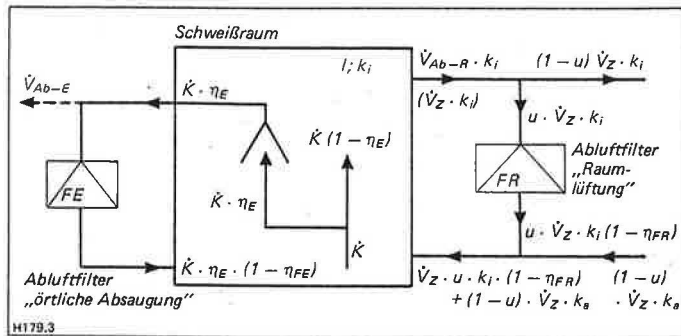


Bild 3: Schematische Darstellung der Schadstoffabführung im Schweißraum durch

- Raumlüftung (Schadstoffverdünnung und -abführung)
- örtliche Absaugung (unmittelbare Schadstoffabführung)
- Abluftfilterung (Schadstoffausscheidung)

nur Raumlüftung		Raumlüftung und örtliche Absaugung	
ohne Umluftfilterung	mit Umluftfilterung	mit Umluftfilterung der örtlichen Absaugung	mit Umluftfilterung der Raumlüftung
Luftführungsschema			
Bedingungen		Bedingungen	
$\eta_E = 0$ $\eta_{FE} = 0$ $u = 0$ $\eta_{FR} = 0$		$u = 0$ $\eta_{FR} = 0$	
erforderlicher Zuluftstrom		erforderlicher Zuluftstrom	
$\dot{V}_Z = \frac{\dot{K} \cdot \eta_K}{k_{zul} - k_a}$		$\dot{V}_Z = \frac{\dot{K} \cdot \eta_K \cdot [1 - \eta_E \cdot \eta_{FE}]}{k_{zul} - k_a}$	
$\dot{V}_Z = \frac{\dot{K} \cdot \eta_K}{[1 - u \cdot (1 - \eta_{FR})] k_{zul} - (1 - u) \cdot k_a}$		$\dot{V}_Z = \frac{\dot{K} \cdot \eta_K \cdot (1 - \eta_E)}{[1 - u \cdot (1 - \eta_{FR})] k_{zul} - (1 - u) \cdot k_a}$	

616 Tabelle 7: Bemessung des Zuluftstromes bei verschiedenen Anlagenausführungen

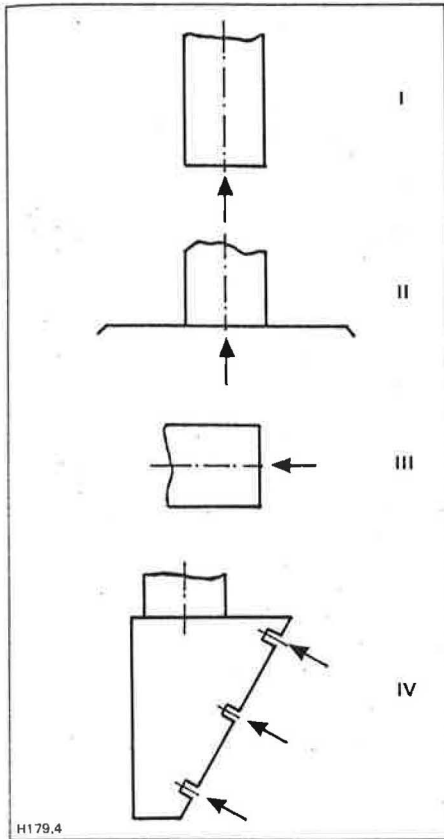


Bild 4: Bauformen der örtlichen Absaugung

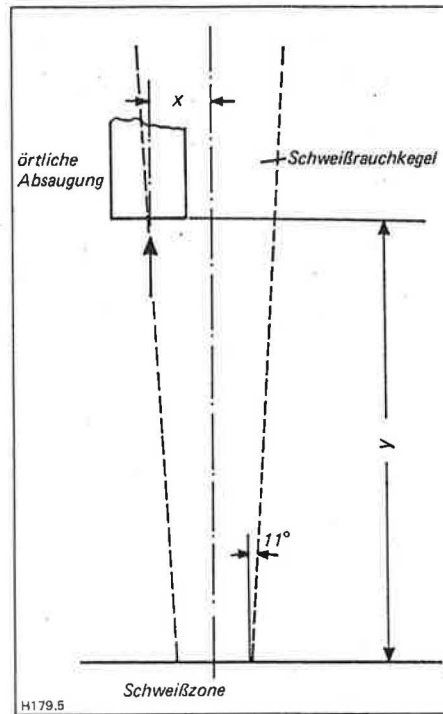


Bild 5: Schematische Darstellung zur örtlichen Schweißrauchfassung

Bild 6: Abluftfilterung der durch örtliche Absaugung erfaßten Schweißrauche
a) reiner Umluftbetrieb bei separater Raumlüftung
b) Umluftbeimischung zur Raumlüftung (Teilumluftbetrieb)

Tabelle 8: Profil der Schweißrauchkonzentration und erforderlicher Abluftstrom zu deren örtlicher Erfassung

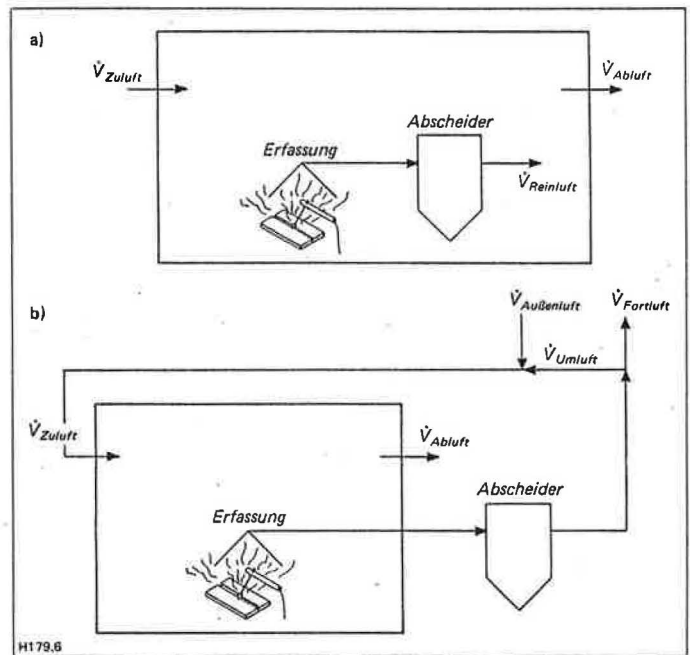
vertikaler Abstand zur Schweißstelle y (mm)	Profil der Schweißrauchkonzentration			Abluftstrom $V_{Ab-soll}$ (m ³ /s*) bei Anordnung der örtlichen Absaugung in der Mittelachse des Rauchkonzentrationskegels			
	Profildurchmesser D_R (m)	Schweißrauchgeschwindigkeit W_R (m/s)	Schweißrauchvolumenstrom V_{R_3} (m ³ /s)	Bauform der örtlichen Absaugung			
				I	II	III	IV
200	0,20	0,645	0,020	0,063	0,032	0,251	0,042
400	0,28	0,452	0,028	0,123	0,062	0,492	0,082
600	0,36	0,353	0,036	0,203	0,102	0,814	0,136
800	0,44	0,289	0,044	0,304	0,152	1,216	0,203
1 000	0,52	0,245	0,052	0,425	0,213	1,698	0,283
1 200	0,60	0,212	0,060	0,565	0,293	2,261	0,377
1 400	0,68	0,167	0,068	0,726	0,363	2,904	0,484
1 600	0,78	0,188	0,076	0,910	0,460	3,547	0,605

*) bei einer Erfassungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s

Tabelle 9: Horizontaler Erfassungsgrad η_H

Verhältnis x/D_R^*	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
η_H	1	0,86	0,74	0,61	0,5	0,38	0,27	0,18	0,1	0,04	0

*) x = horizontaler Abstand der örtlichen Absaugung zur Mittelachse des Rauchkonzentrationskegels (Bild 5)



H179.6

- 6) Die Absaugung sollte am zweckmäßigsten im Bereich 200 bis 600 mm über der Schweißstelle stattfinden, um die Schweißflamme nicht zu stören und die Atemzone freizuhalten.
- 7) Diese Art der Luftführung (turbulente Mischlüftung) wird vor allem bei Reinraumanlagen (Reinklassen 5 und 6 nach VDI 2083) angewendet, bei denen eine intensive Vermischung mit der hochreinen Zuluft erwünscht ist.
- 8) Anwendung insbesondere bei mobilen örtlichen Absauganlagen.
- 9) Eventuell auch zur kombinierten Erfassung von Schweißrauchen (feste Partikel) und Ölnebel (Aerosole).

Die bestimmende Kenngröße für die Wirksamkeit der Schadstoff- erfassung ist der Erfassungsgrad η_E , das Verhältnis des erfaßten zum gesamten Schadstoffstrom. In der Richtlinie werden hierfür – abgestellt auf den Schweißrauchanfall beim Lichtbogen- und Schutzgasschweißen (Erfassungsgeschwindigkeit 0,5 m/s) – Werte für die Absaugbauformen (gemäß Bild 4)

- punktuelle Absaugung über der Schweißstelle (I),
- haubenförmige Absaugung über der Schweißstelle (II),
- punktuelle Absaugung neben der Schweißstelle (III),
- Seitenhaube über/neben der Schweißstelle (IV)

angegeben.

Die Grundlagen für die Bestimmung der erforderlichen Abluft- ströme zur völligen Erfassung der Schweißrauche – abgestellt auf deren Anfall und Ausbreitung im Raum (Rauchkonzentrationske- gel gemäß Bild 5) – wurden bereits von Franz auf einer VDI- Fachtagung bekanntgegeben [17]. Die hiernach berechneten Ab- luftströme $\dot{V}_{Ab-Soll}$ sind für die vier Absaugbauformen in Tabelle 8 zusammengestellt. Wird im Anwendungsfall ein niedrigerer Abluft- strom am \dot{V}_{Ab-vor} abgeführt, dann gilt für den Erfassungsgrad im Abstand y :

$$\eta_E = \dot{V}_{Ab-vor} / \dot{V}_{Ab-Soll} \quad (3)$$

Voraussetzung hierfür ist, daß das Erfassungselement in der Mit- telachse des Schweißrauchkegels angeordnet wird ($x = 0$). Ist dies nicht der Fall, so verringert sich der Erfassungsanteil in Abhän- gigkeit vom Verhältnis x/D_R (D_R ist der Profildurchmesser des Rauchkonzentrationskegels im Abstand y) um den horizontalen Erfassungsgrad η_H (Tabelle 9).

Für den gesamten Erfassungsgrad gilt dann:

$$\eta_E = (\dot{V}_{Ab-vor} / \dot{V}_{Ab-Soll}) \cdot \eta_H \quad (4)$$

Abluftfilterung

Eine Schweißwerkstätte ist keine genehmigungspflichtige An- lage nach dem Bundesemissionsschutzgesetz, so daß aus Grün- den des Umweltschutzes keine Begrenzung der Schadstoffkonzent- ration in der Fortluft vorgeschrieben wird. Aus Gründen der Energieeinsparung kann es jedoch sinnvoll sein, einen Teil der Abluft nach erfolgter Reinigung in einer Filtereinrichtung (Abschei- der) als Umluft in den Schweißraum zurückzuführen (Bild 6a). Bei einzelnen örtlichen Absauganlagen wird oft die gesamte Abluft nach erfolgter Reinigung als Umluft in den Raum zurückgeführt (Bild 6b). Da durch die hierfür einsetzbaren Abscheidersysteme

- Elektrofilter,
- filternder Abscheider mit Abreinigung (Abreinigungsfilter)
- Schwebstofffilter (filternder Abscheider ohne Abreinigung)

keine Gase ausgefiltert werden können, ist die Abluftfilterung nur zur Schweißraucherfassung bei den Lichtbogenschweißverfah- ren⁹⁾ anwendbar. Voraussetzung ist hierzu ein hoher Abscheide- grad des Filtersystems. Weiterhin ist beim Teilumlufbetrieb (Bild 6a) die Schadstoffkonzentration im Umluftstrom auf die sogean- nante Auslöseschwelle, zur Zeit auf $1/4$ des TRK-Wertes¹⁰⁾, be- grenzt. Die vollständige Umluftückführung ist bei einer örtlichen Absauganlage (Bild 6b) nur dann möglich, wenn dieser Umluft- strom maximal 10% des durch die zusätzliche Raumlüftungsanlage geförderten Außenluftstromes beträgt¹¹⁾.

Die Mindest-Abscheidegrade η_F können für Schweißrauche mit Partikelgrößen $> 1 \mu\text{m}$ beim

- Elektro- und Abreinigungsfilter $> 0,90$,
- Schwebstofffilter $> 0,9997$

618 angesetzt werden.

Beispiel

Vorgabe:	Berechnung:
40 Schweißplätze Elektroendurchmesser: 4 mm Stabelektrodentyp: B 10 Rauminhalt der Schweißwerk- stätte $I = 6\,000 \text{ m}^3$	Schadstoffstrom je Elektrode: 72 g/h bei einer Einschaltdauer ED = 100% (Tabelle 2) gesamt: $\dot{K} = 72 \cdot 40 \cdot 0,5 =$ 1 440 g/h bei einer Einschalt- dauer ED = 50%
örtliche Absaugung an 8 Schweißplätzen Ausführung der Erfassungsele- mente: Bauform I (Bild 4) Abstände: $y = 600 \text{ mm}$; $x =$ 100 mm (gemäß Bild 5) vorgesehener Abluftstrom je Schweißplatz: $\dot{V}_{Ab-vor} =$ 600 m^3/h Rückführung des gesamten Ab- luftstromes $\dot{V}_{Ab-E} = 4\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ nach erfolgter Filterung (reiner Umluftbetrieb) Abscheidegrad des Abluftfil- ters: $\eta_{FE} = 0,90$ (Abreinigungsfilter)	erforderlicher Abluftstrom zur vollständigen Schweißraucher- fassung: $\dot{V}_{Ab-Soll} = 0,203 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 8) Schweißrauch-Profildurchmes- ser in der Entfernung $y =$ 600 mm: DR = 0,36 m (Tabelle 8) Verhältnis $x/D_R = 0,28$ horizontaler Erfassungsgrad: $\eta_H = 0,64$ ((Tabelle 9) Erfassungsgrad bezogen auf den anteiligen Schadstoffstrom der örtlichen Absaugstellen: $K_E = 72 \cdot 8 \cdot 0,5 = 288 \text{ m}^3/\text{h}$ $\eta'_E = 0,64 \cdot (600/0,203) \cdot 3\,600$ $\eta'_E = 0,525$ Erfassungsgrad bezogen auf den gesamten Schadstoffstrom im Raum: $\eta_E = (288/1\,440) \cdot 0,525$ $\eta_E = 0,105$
Umluftanteil „Raumlufte“: $u =$ 0,60 Abscheidegrad des Abluftfil- ters: $\eta_{FR} = 0,90$ (Abreinigungs- filter) angesetzter Kontaminations- grad: $\eta_K = 0,50$ zulässige Schadstoffkonzentra- tion: $k_{iZul} = 0,006 \text{ g/m}^3$ (allg. Staubgrenzwert) Schadstoffkonzentration in der Außenluft: $k_a = 0$	erforderlicher Zuluftstrom: $\dot{V}_Z = \frac{1\,400 \cdot 0,50 \cdot [1 - 0,105 \cdot 0,90]}{[1 - 0,60 \cdot (1 - 0,90)]} \cdot 0,06$ $\dot{V}_Z = 115\,600 \text{ m}^3/\text{h}$ Außenluftstrom $(1 - u) \cdot \dot{V}_Z = 0,4 \cdot \dot{V}_Z =$ 46 200 m^3/h stündlicher Luftwechsel: $n = \dot{V}_Z / I = 115\,600 / 6\,000$ $n = 19,3 \text{ h}^{-1}$ Die Bedingung für „reinen Um- luftbetrieb“ der örtlichen Ab- saugung $\dot{V}_{Ab-E} > (1 - u) \cdot \dot{V}_Z \cdot 0,10$ $4\,800 > 46\,200 \cdot 0,10$ wird erfüllt.

Bei örtlicher Absaugung ohne Umluftbetrieb und Raumlüftung mit Umluftfilterung ist:

$$\dot{V}_Z = \frac{1\,440 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,105)}{[1 - 0,60 \cdot (1 - 0,90)]} = 114\,200 \text{ m}^3/\text{h}$$

Weiterhin muß hierbei der Abluftstrom der örtlichen Absaugun- gen $\dot{V}_{Ab-vor} = 4\,800 \text{ m}^3/\text{h}$ durch den Außenluftanteil des Zuluft- stroms gedeckt werden.

¹⁰⁾ Technische Richtkonzentration für gefährliche Stoffe.

¹¹⁾ In Anlehnung an die Richtlinie des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften ZH 1/487 „Einrichtungen zum Abscheiden gesundheitsgefährlicher Staube mit Rückführung der Reiniuft in die Arbeitsräume (Kleinentstauber – Industriestaubsauger-Kehrsaugmaschinen); Anforderungen an die Wirksamkeit“.

¹²⁾ VDI-Richtlinien-Entwurf 3802 Raumluftechnische Anlage für Fertigungs- stätten.

Bei Raumlüftung ohne Umluftbetrieb und Umluftfilterung bei der örtlichen Absaugung ist:

$$\dot{V}_Z = \frac{1\,440 \cdot 0,5 \cdot [1 - 0,105 \cdot 0,90]}{0,006} = 108\,700 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Zu beachten ist hierbei, daß dann die Raumlüftung ausschließlich mit Außenluft durchzuführen ist.

Schlußbemerkung

Infolge des gestiegenen Energiebewußtseins ist die eigentliche Aufgabenstellung der Raumlüftungstechnik, die Einhaltung hygienisch zuträglicher Aufenthalts- und Arbeitsbedingungen, wieder in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Für die Bemessung und Planung der Raumlüftungstechnischen Anlage sowie Sicherstellung einer wirtschaftlichen Betriebsweise (Folgekostenminimierung) werden jedoch verbindliche Angaben über den Anfall von Schadstoffen (Volumenstrom, Zeitverhalten), deren Verteilung (Luftführung, Erfassung) sowie die zulässige Schadstoffkonzentration benötigt. Zur Zeit stehen solche Auslegungsdaten nur für einige Betriebsfälle zur Verfügung. In Schweißwerkstätten sind jedoch bereits vor ca. 40 Jahren gezielt Schadstoffuntersuchungen durchgeführt und aus deren Ergebnissen allgemein gültige Berechnungsgrundlagen für die Zuluftstrombemessung abgeleitet worden. Durch weiterführende Untersuchungen wurden diese Bemessungsgrundlagen dem technischen Fortschritt in den Anwendungsbereichen angepaßt sowie auf weitere Schweißverfahren ausgedehnt. Durch diese umfangreichen Vorarbeiten ist somit in diesem Anwendungsbereich eine gesicherte Grundlage für die Zuluftstrombemessung aufgebaut worden.

In Anlehnung hieran wird bei der im vergangenen Jahr aufgenommenen Bearbeitung eines weiteren Richtlinienentwurfs¹²⁾ angestrebt, für weitere Fertigungsbereiche (Gießereien, spanende und spanlose Formung) die Grundlagen für eine derartige, auf eine Schadstoffbilanz abgestellte Zuluftstrombemessung zu erschließen.

[H 179]

Literaturangaben

- [1] *Baturin, W. W.*: Lüftungsanlagen für Industriebauten. Berlin: VEB-Verlag Technik, 1953.
- [2] *Müller, K. G.*: Bestimmung der erforderlichen Zuluftmenge bei lufttechnischen Anlagen. HLH 12 (1961), Nr. 7, S. 216/22, Nr. 8, S. 257/60, Nr. 9, S. 287/91.
- [3] *Hummitsch, W.*: Gas und Rauch beim Schweißen von Eisenwerkstoffen. Schweißtechnik (Wien) 4 (1950) Nr. 11, S. 121/30.
- [4] *Hummitsch, W.*: Gase und Rauch beim Schweißen von Eisenwerkstoffen. Werkstatt u. Betr. 88 (1955) H. 6, S. 313/16.
- [5] *Rimarski, W.* u. *M. Korschak*: Auftreten von Stickoxiden und von Kohlenoxid beim Schweißen, Schneiden und Richten in engen Räumen. Autogene Metallbearb. 33 (1940) Nr. 3, S. 29/37, Nr. 4, S. 43/46.
- [6] *Müller, K. G.*: Notwendige Lüftererneuerung bei intermittierender Verunreinigung. HLH 15 (1964) Nr. 7, S. 253/56.
- [7] *Müller, K. G.*: Lüftung von Schweißräumen und Schweißplätzen; Erläuterungen zur neuen VDI-Richtlinie 2084. Werkstatt u. Betr. 101 (1968) H. 1, S. 7/14, H. 2, S. 101/04.
- [8] *Tröskén, F.*: Beitrag zur Schweißrauchentstehung bei Lichtbogen-schweißverfahren. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen, Fakultät für Maschinenwesen, 1979.
- [9] *Preß, H.*: Folgerungen für die Praxis aus Messungen der Schadstoffkonzentrationen beim Schweißen mit umhüllten Stabelektroden in engen Räumen: DVS-Bericht 45. Düsseldorf: Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH, 1977.
- [10] *Preß, H.*: Stickoxidbildung bei Autogenverfahren, Forschungsbericht Nr. 234 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund. Als Kurzfassung veröffentlicht in:
- [11] *Preß, H.* u. *B. Steigleder*: Stickoxidbildung bei Autogenverfahren – Maßnahmen zur Vermeidung von Gesundheitsschaden, DVS-Bericht 50, S. 125/33. Düsseldorf: Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH, 1978.
- [12] *Preß, H.* u. *W. Florian*: Messungen der entstehenden Schadstoffmengen beim Schutzgasschweißen. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, Nr. 332 (1983).
- [13] *Eichhorn, Tröskén, Oldenburg*: Untersuchung der Entstehung gesundheitsgefährdender Schweißrauche beim Lichtbogenhand- und Schutzgasschweißen. Schriftenreihe Humanisierung des Arbeitslebens, Band 2. Düsseldorf: DVS Deutscher Verlag für Schweißtechnik GmbH, 1983.
- [14] *TRGS 900* Technische Regeln für Gefahrstoffe; Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und biologische Arbeitsstofftoleranzwerte (DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft). Köln: Carl Heymanns Verlag.
- [15] *Nouri, Z.*: Anwendung statistischer Verfahren bei experimentellen Untersuchungen von Raumlüftströmungen. HLH 29 (1978) Nr. 4, S. 137/41, Nr. 5, S. 187/97, Nr. 6, S. 235/41.
- [16] *Nouri, Z.*: Energetische und luftqualitative Bewertung der Luftführung Raumlüftungstechnischer Anlagen unter Berücksichtigung örtlicher Raumlastverteilung. HLH (1980) Nr. 8, S. 275/84, Nr. 9, S. 317/23.
- [17] *Hölzel, G.*: Wirkungsvolle Lüftungsmaßnahmen in Schweißwerkstätten und deren meßtechnische Kontrolle. Kongreßband XXII. Internationaler Kongreß Technische Gebäudeausrüstung. Bonn: BHK-Bundesverband Heizung Klima Sanitär e.V. (1988) S. 53/55.
- [18] *Franz, K.*: Schweißrauchabsaugung in Theorie und Praxis. VDI-Berichte 655 Heiz- und Raumlüftungstechnik in industriellen Fertigungsstätten. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH (1987), S. 199/216.

Schadensersatz wegen mangelhafter Isolierung einer Wasserleitung

Wenn es infolge fehlender Isolierung durch Frosteinwirkung zum Leitungsbruch kommt und dadurch ein Wasserschaden am Gebäude und an Einrichtungsgegenständen hervorgerufen wird, liegt ein Installationsmangel vor. Er beruht auf einem Verstoß gegen die anerkannten Regeln der Technik, so daß der Installateur jeden durch den Wasserrohrbruch entstandenen Schaden zu ersetzen hat, auch einen Mangelgeschaden, wenn er nur hinreichend ursächlich auf die fehlerhafte Leistung zurückzuführen ist.

In dem fraglichen Falle war der Installateur vertraglich verpflichtet, die Kaltwasserleitung gegen Frosteinwirkung zu schützen. Dies ergab sich aus der DIN 1988, die im Rahmen des Werkvertrages, dessen Bestandteil die VOB, Teil A, B und C war, zu beachten war. Darin heißt es: „Wenn durch Anordnung der Leitung kein ausreichender Frostschutz erreicht werden kann, sind besondere Schutzmaßnahmen, z.B. Umhül-

len der Leitungen mit schlechten Wärmeleitern, zu treffen“. Die Voraussetzung, daß durch Anordnung der Leitung kein ausreichender Frostschutz erreicht werden konnte, lag in dem fraglichen Falle vor. Der Installateur wußte, daß die Zuleitung zum Bad im Dachgeschoß außerhalb beheizbarer Räume verlaufen würde.

Der Wasserrohrbruch war eindeutig Folge der Frosteinwirkung. Das Einfrieren war auch allein darauf zurückzuführen, daß der Installateur die erforderliche Isolierung nicht angebracht hatte. Das Gebäude lag in der Wärmedämmzone I, in der von einer Außentemperatur von maximal -15°C ausgegangen werden muß, so daß der Installateur nicht gegen darunter liegende Minusgrade isolieren mußte. Erforderlich war jedoch eine Isolierung gegen Kälte bis -15°C .

Aufgrund der Tatsache, daß der Installateur die zur Verhinderung e-

getroffen hatte und gerade der Schaden eingetreten war, der damit verhindert werden sollte, nämlich das Einfrieren der Leitung, sprach bereits der Beweis des ersten Anscheins dafür, daß der Schaden bei Einhaltung der Vertragsverpflichtung, die Leitung gegen Temperaturen bis -15°C zu isolieren, nicht eingetreten wäre.

Bei dieser Sachlage oblag es dem Installateur, Tatsachen darzutun und zu beweisen, aus denen sich die Möglichkeit eines atypischen Geschehensablaufs ergab. Da der Installateur diesen Beweis nicht führen konnte, war er zum Schadensersatz verpflichtet. Er hatte eine mangelhafte Werkleistung erbracht, da er die Kaltwasserleitung nicht gegen Frosteinwirkung isoliert hatte (Urteil des Oberlandesgerichts Koblenz vom 22. 1. 1988 – 2 U 1681/86 –).

[H 2444]

Dr. – tt –