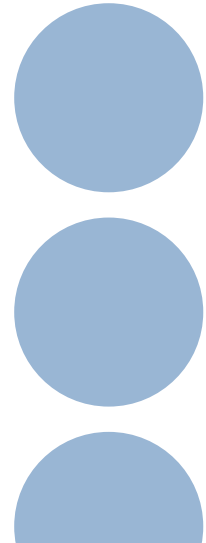


Schadstoffe beim Schweißen, Beurteilung der Exposition, Lüftungsmaßnahmen und Wirksamkeitskontrolle

ID 041835



1

Technische Regel zur Gefahrstoffverordnung TRGS 528

TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“

- Stand der Technik, der nach GefStoffV gefordert wird
- gilt u. a. für Tätigkeiten der schweiß-technischen Praxis an metallischen Werkstoffen, bei denen gas- und partikelförmige Gefahrstoffe entstehen



ID 040157

2

Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung

- **Gefährdungsbeurteilung** mit Beachtung
 - werkstoffspezifischer,
 - verfahrensspezifischer und
 - arbeitsplatzspezifischer Faktoren.
- **Schritt 1 der Gefährdungsbeurteilung:**
 - Gefährdungsermittlung
→ Entstehung der Gefahrstoffe



ID 040159

3

Informationsermittlung Gefahrstoffentstehung

Durch das Aufschmelzen von Grund- und Zusatzwerkstoff entstehen Schweißrauche.

- Schweißrauche entstehen zu 90 - 95% aus den Schweißzusätzen
- Informationen über den Schweißzusatz (Zusatzwerkstoff):
Datenblätter (SDB oder Schweißrauchdatenblatt vom Hersteller)
- Informationen über den Grundwerkstoff: Werkszeugnis oder Werkstofftabellen
- Schweißrauche sind überwiegend „partikelförmig“.
- Schweißrauche enthalten auch gasförmige Stoffe
- Partikel und Gase können zu Gesundheitsschäden führen (→ Gefahrstoffe)

ID 034949

4

Beispiele für „partikelförmige Schadstoffe“

lungenbelastend

Feinstaub
Kaliumdioxid
Natriumdioxid
Titandioxid
Aluminiumoxid
Eisenoxid
Chrom III-oxid
Siliziumoxide
Magnesiumoxid

toxisch

Manganoxid
Zinkoxid
Bleioxid
Kupferoxid

krebserzeugend

Chrom VI-oxid
Nickeloxid
Cadmiumoxid
Cobaltoxid
Berylliumoxid
(Titandioxid (A),
Verdacht)

ID 016509

5

Partikelgrößen aus schweißtechnischen Prozessen

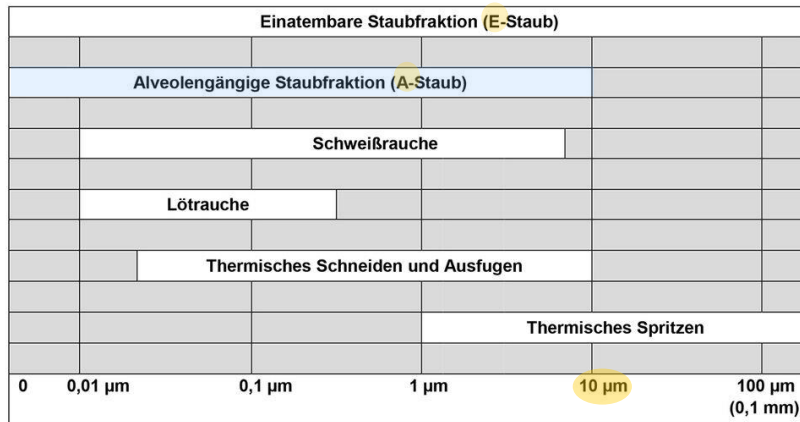
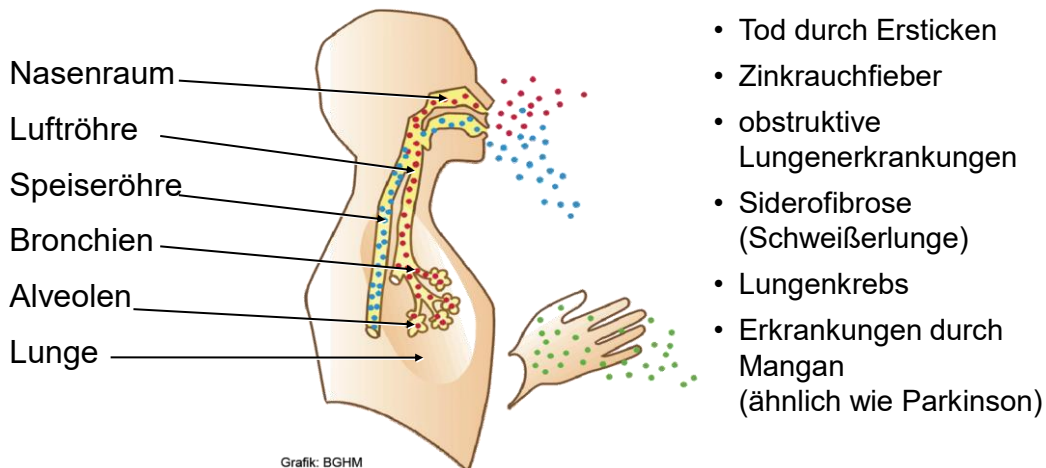


Abbildung 1: Größe der partikelförmigen Gefahrstoffe aus schweißtechnischen Prozessen in Relation zu den Staubfraktionen nach DIN EN 481

ID 040154a

6

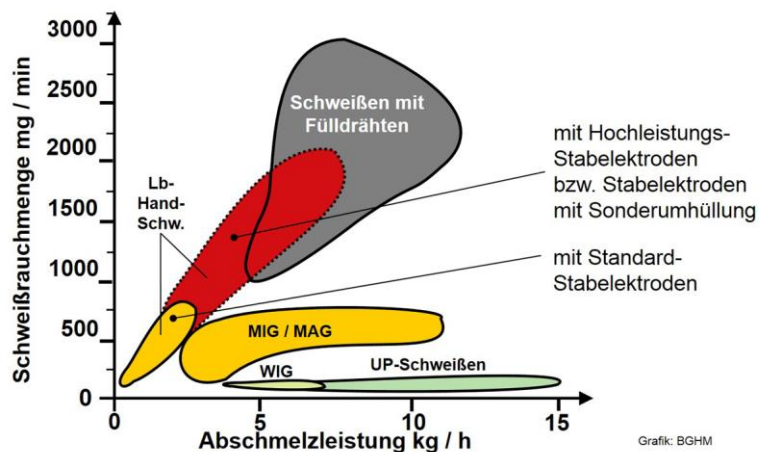
Einatmen von Schweißrauch und mögliche Gesundheitsschäden



ID 011128d

7

Schweißrauchmengen bei unterschiedlichen Schweißverfahren



ID 040156

8

Emissionen (verfahrensspezifisch)

Verfahren (beispielhafte Aufzählung)	Emissionsrate ¹⁾ (mg/s)	Emissionsgruppe
UP-Schweißen	< 1	niedrig
Gasschweißen (Autogenverfahren)	< 1	niedrig
WIG	< 1	niedrig
Laserstrahlschweißen ohne Zusatzwerkstoff	1 bis 2	mittel
MIG/MAG (energiearmes Schutzgasschweißen)	1 bis 4	mittel bis hoch
Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff	2 bis 5	hoch
MIG (Massivdraht, Nickel, Nickelbasislegierungen)	2 bis 6	hoch
MIG (Aluminiumwerkstoffe)	0,8 bis 29	niedrig bis sehr hoch
MAG (Massivdraht)	2 bis 12	hoch
LBH	2 bis 22	hoch
MAG (Fülldraht-Schweißen mit Schutzgas)	6 bis > 25	hoch bis sehr hoch
MAG (Fülldraht-Schweißen ohne Schutzgas)	> 25	sehr hoch
Weichlöten	< 1	niedrig
Hartlöten	1 bis 4	mittel bis hoch
MIG-Löten	1 bis 9	mittel bis hoch
Laserstrahlschneiden	9 bis 25	hoch bis sehr hoch
Autogenes Brennschneiden	> 25	sehr hoch
Plasmaschneiden	> 25	sehr hoch
Lichtbogenspritzen	> 25	sehr hoch

Quelle: TRGS 528/Tab. 2

ID 040155

9

Rechenbeispiel - MAG Schweißen

MAG-Schweißen, mittlere Emissionsrate 10 mg/s, **unlegierter Stahl**

Hallenvolumen 1200 m³ (z. B. 10 m x 15 m x 8 m, B x L x H) .

Frage:

Wie lange müsste ein MAG-Schweißer schweißen, um die **erforderliche Partikelmasse** für das Erreichen der Konzentration von 1,25 mg/m³ (allgemeiner Staubgrenzwert für A-Staub) im gesamten Hallenvolumen freizusetzen?

Randbedingungen Black Box - worst case:

- keine Absaugung
- kein Luftwechsel
- gleichmäßige Schweißrauchpartikelverteilung (100 % A-Staub) in der Halle

ID 040158a

10

Rechenbeispiel - MAG Schweißen

Antwort:

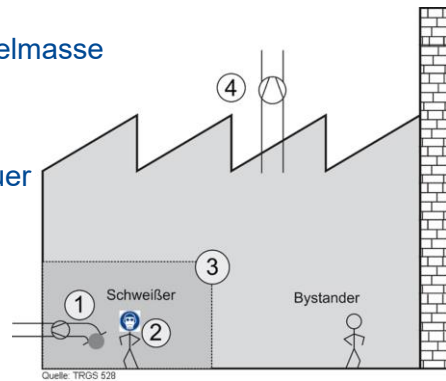
Hallenvolumen x Grenzwert = erforderliche Partikelmasse

$$1200 \text{ m}^3 \times 1,25 \text{ mg/m}^3 = 1500 \text{ mg} = 1,5 \text{ g}$$

Partikelmasse / Emissionsrate = erforderliche Dauer

$$1500 \text{ mg} / 10 \text{ mg/s} = 150 \text{ s} = 2,5 \text{ min}$$

Für welche Person haben wir jetzt eigentlich diese Beispielberechnung durchgeführt?

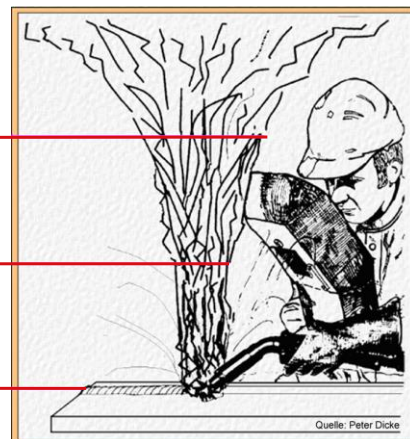
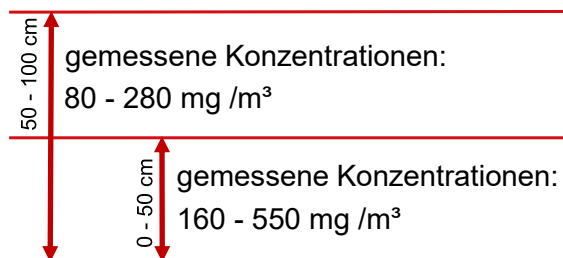


ID 043574

11

Schadstoffbelastung im Arbeitsbereich des Schweißers

Allgemeiner Staubgrenzwert A-Fraktion
1,25 mg/m³ (gilt nicht für KMR_F-Stoffe)



ID 034948

12

Grenzwerte: Abkürzungen und Quellen

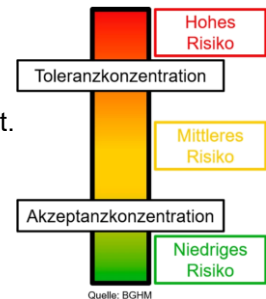
AGW = Arbeitsplatzgrenzwert TRGS 900

ML-DFG = Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft,
→ gibt Empfehlungen (MAK-Liste)

TK = Toleranzkonzentration TRGS 910
→ eine Konzentration oberhalb des Wertes wird nicht toleriert.
Grenzwertüberschreitung Toleranzrisiko 4 : 1.000

AK = Akzeptanzkonzentration TRGS 910
→ eine Konzentration unterhalb des Wertes wird akzeptiert.
Grenzwerteinhaltung Akzeptanzrisiko 4 : 100.000
(4 : 10.000)

BM = Beurteilungsmaßstab TRGS 561 (Cr VI), TRGS 559 (Quarz)



ID 043575

13

Grenzwertbeispiele

Stoff	Grenzwerte	
Allgemeiner Staubgrenzwert	AGW 10 mg/m ³ (E)	AGW 1,25 mg/m ³ (A)
Krebserzeugende Arsenverbindungen	TK 8,3 µg/m ³ (E)	AK 0,8 µg/m ³ (E)
Cadmium u. krebserzeugende Cadmiumverbindungen	TK 2,0 µg/m ³ (E)	AK 0,9 µg/m ³ (A)
Chrom(VI)-Verbindungen	BM 1,0 µg/m ³ (E)	
Cobalt und anorganische Cobaltverbindungen	TK 2 µg/m ³ (A)	AK 2 µg/m ³ (A)
Nickel (-Metall, Pulver, Staub)	AGW 30 µg/m ³ (E)	AGW 6,0 µg/m ³ (A)
Krebserzeugende Nickelverbindungen	TK 6,0 µg/m ³ (A)	AK 6,0 µg/m ³ (A)
Mangan und seine anorganischen Verbindungen	AGW 0,2 mg/m ³ (E)	AGW 0,02 mg/m ³ (A)
Fluoride	AGW 1 mg/m ³ (E)	
Stickstoffmonoxid (gasförmig)	AGW 2,5 mg/m ³	(= 2 ppm)
Stickstoffdioxid (gasförmig)	AGW 0,95 mg/m ³	(= 0,5 ppm)
Kohlenmonoxid (gasförmig)	AGW 23 mg/m ³	(= 20 ppm)

ID 043576

14

Auszug aus einem Messbericht an Schweißarbeitsplatz

Proben-nummer	Bezeichnung	Probenahme -datum -dauer -zeit	Expositions -dauer -zeit	p/s	Grenzwert/ Beurteilungs- maßstab Art	Messwert	F	Index	Hinweis
13	Alveolengängige Fraktion	29.01.2025 2 h 09:00-11:00	Schichtlänge	p	1,25 mg/m³ AGW	A 1,01 mg/m³ (n = 1)		0,81	
14	Einatembare Fraktion	29.01.2025 2 h 09:00-11:00	Schichtlänge	p	10 mg/m³ AGW	E 1,42 mg/m³ (n = 1)		0,14	
15	Chrom(VI)-Verbindungen (bez. auf den Cr(VI)-Gehalt) (in der einatembaren Fraktion)	29.01.2025 2 h 09:00-11:00	Schichtlänge	p	0,001 mg/m³ BM	E 0,0019 mg/m³ (n = 1)		1,90	
13	Mangan und seine Verbindungen (in der alveolengängigen Fraktion)	29.01.2025 2 h 09:00-11:00	Schichtlänge	p	0,02 mg/m³ AGW	A 0,092 mg/m³ (n = 1)		4,60	
Bewertungsindex (siehe Anhang 1) Alveolengängige Fraktion Einatembare Fraktion								7,08 0,81 0,14	

Quelle: BGHMAuszug aus Messbericht

ID 043577

Fazit aus Berechnungen und Messungen

- Ohne wirksame Schutzmaßnahmen → Grenzwerte werden überschritten (Ausnahme: geringe Gefährdung nach TRGS 528, Kapitel 3.2.4 (4) ⓘ).
- Die Beurteilung einer Exposition gegenüber Schweißrauchen kann nur durch Messungen erfolgen (personen- und ortsbezogen).
- Die Messungen sollten nicht nur die „Quantitativen Werte“ (E- und A-Staub (Stoffgemische) sondern auch die „Qualitativen Werte“ (Einzelstoffe wie z. B. Arsen, Mangan und Kupfer) wiedergeben.
- Messungen sind Wirksamkeitsprüfungen für die getroffenen Schutzmaßnahmen.

ID 043578

Hierarchie der Schutzmaßnahmen

- **S**ubstitution: Auswahl gefahrstoffarmer Verfahren und Zusatzwerkstoffe
- **T**echnik: Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen
- **O**rganisatorische und hygienische Maßnahmen
- **P**ersönliche Schutzmaßnahmen



In vielen Fällen ist eine Kombination der Maßnahmen erforderlich um das Schutzziel für den Schweißer und andere Beschäftigte (Bystander) im Gefahrenbereich zu erreichen.

ID 040160

17

Substitution - Substitutionsbeispiele

Alternativverfahren: Nieten, Schrauben, Clinchen, Kleben



Schweißverfahren: WIG, WIG Orbitalschweißen, ColdArc, UP



Zusatzwerkstoffe: Ersatz von „Thoriumhaltigen“ (WT-Elektroden) Elektroden durch „Thoriumfreie“ Schweißelektroden

Grafiken: BGHM

ID 043579

18

Technische Maßnahmen

Lüftungstechnische und bauliche Maßnahmen

- a) Schutz des Schweißers sicherstellen
→ an der Entstehungsstelle absaugen
- b) Ausbreitung über den Arbeitsbereich hinaus verhindern
→ geschlossene Schweißerkabine, bauliche Trennung
- c) nicht schweißende Kollegen schützen
(= andere Beschäftigte im Gefahrenbereich)
→ Absaugung an der Entstehungsstelle und / oder geschlossene Schweißerkabine, bauliche Trennung

ID 043580

19

Technische Maßnahmen

Anlagendefinitionen nach DGUV Regel 109-002 Arbeitsplatzlüftung:

- **PLT-Anlagen** (Prozesslufttechnische Anlagen) beseitigen die durch den Prozess freigesetzten Gefahrstoffe (z. B. Absauganlagen für Schweißrauch).
- **RLT-Anlagen** (Raumluftechnische Anlagen) beseitigen die durch die menschliche Nutzung freigesetzten Stoffe (z. B. ausgeatmetes CO₂, Ausgasungen aus dem Mobiliar und Sonneneinstrahlung).

ID 043581

20

Technische Maßnahmen

Erfassung der Schadstoffe wenn möglich nah an der Entstehungsstelle

Beispiele:

- Brennerintegrierte Absaugungen mittels Hochvakuumanlagen (HV),
- Punktabsaugung mit div. Erfassungselementen (Düsen) (HV) und Mittelvakuumanlagen (MV),
- Punkterfassung (Haubenerfassung) Mittel- (MV) und Niedrigvakuumanlagen (NV).

Hallenlüftungssysteme (z. B. RLT-Anlagen und Lüftungstürme) sind als alleinige lufttechnische Maßnahme nicht zielführend, nur als zusätzliche Maßnahmen zu Absaugungen an der Entstehungsstelle.

ID 043582

21

Beispiele für Absaugbrenner (Brennerintegrierte Absaugung)



ID 043583

22

Beispiele für Punktförmige Erfassungselemente



Runddüse



Ovaldüse



Schlitzdüse /
Mehrfachlochdüse

max. Abstand von Erfassungselementen in Form von Schlitz-, Oval- oder Runddüsen 20-30 mm zur Schweißstelle



ID 043584

23

Beispiele für mobile Hochvakuumanlagen (HV)



Foto: BGHM



Foto: BGHM



Foto: BGHM



Foto: BGHM

ID 043585

24

Bildbeispiele: Brennerintegriert und Punktabsaugung (HV)



„Brennerintegrierte Absaugung“
mit mobiler HV-Absaugung



„Punktabsaugung“
mit HV- Absaugung

ID 043586

25

Beispiele für Stationäre Hochvakuumanlagen (HV)



Foto: BGHM



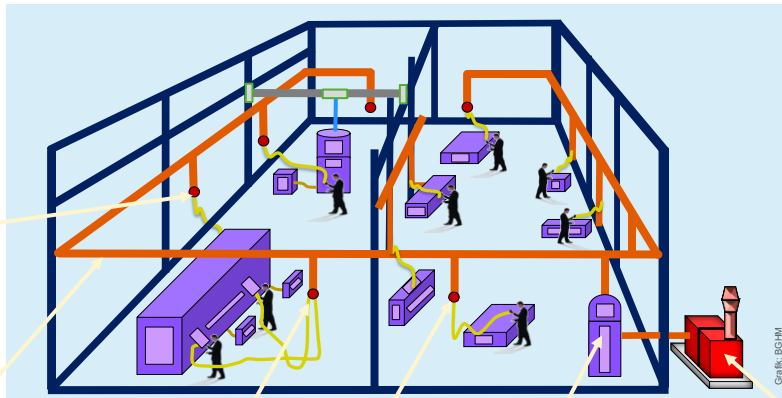
Foto: BGHM

ID 043587

26

Zentrale Hochvakuum - Absaugungsanlage

manueller bzw.
elektronischer
Schieber



Hauptrohr-
leitung

Verschließbare Anschlussöffnungen
für verschiedene Erfassungselemente

Filterturm mit automatischer
Filterabreinigung

Turbine
(schallgeschützt)

ID 034955

27

Bildbeispiel: Mobile Absauganlagen (NV) und (MV)



ID 040170

28

Beispiele für „Stationäre Absaugungen“ (Mitteldruckvakuum)



Stationäre Filteranlage Mitteldruckvakuum für mehrere Arbeitsplätze (Darstellung ohne Verrohrungen und Schlauchleitungen)



Stationäre Mitteldruckvakuumanlage Filteranlage incl. Absaugelement und Schlauchleitungen Wandmontage für einen Arbeitsplatz



Stationäre Mitteldruckvakuumanlage incl. wandbefestigtem Galgen (bis zu 8 m Reichweite), Schlauchleitungen und Absaugelement für einen Arbeitsplatz, ohne Filterung wird abgesaugte Luft nach außen ins Freie geblasen

ID 043588

Systemvergleich

Niedrigvakuum		Mittelvakuum		Hochvakuum	
ca. 1000 – 3000 Pa		ca. 3000 – 10.000 Pa		ca. 10.000 – 25.000 Pa	
Mobile Geräte		Zentrale Systeme		Mobile Systeme	
Ortsfeste Einrichtungen		Absaugarme/Absaugessen		Zentrale Systeme	
Absaugarme		Untertischabsaugung		Absaugbrenner	
Absaugessen				Düsen	
Ein Arbeitsplatz:	d = ca. 180 – 250 mm	Ein Arbeitsplatz:	d = ca. 80 mm	Ein Arbeitsplatz:	d = ca. 40 mm
ca. 1000 – 1500 m³/h		ca. 400 m³/h		ca. 150 m³/h	
Zehn Arbeitsplätze:	d = ca. 600 - 800 mm	Zehn Arbeitsplätze:	d = ca. 450 mm	Zehn Arbeitsplätze:	d = ca. 160 mm
ca. 10.000 - 15.000 m³/h		ca. 4000 m³/h		ca. 1500 m³/h	
				Ringleitung bis ca. 500 m möglich	

ID 040178

In stationäre / mobile Absauganlagen eingebaute Abscheider

- einfacher Speicherfilter, Warnleuchte oder Warnton müssen anzeigen, wann der Filterwiderstand zu groß wird und ein neuer Filter eingebaut werden muss, keine Abreinigung möglich / erlaubt, Einwegfilter müssen entsorgt werden
- Schlauchfilter / Taschenfilter / Filterpatronen mit automatischer Abreinigung (Rüttler oder mit Druckluftimpuls), Abreinigung erhöht Standzeit der Filter, Staubauffangbehälter (am besten mit Auffangtüte ausstatten für staubarme Entsorgung)
- elektrostatische Abscheider, immer in Kombination mit mechanischen Vorfiltern und mechanischer Nachfilterung

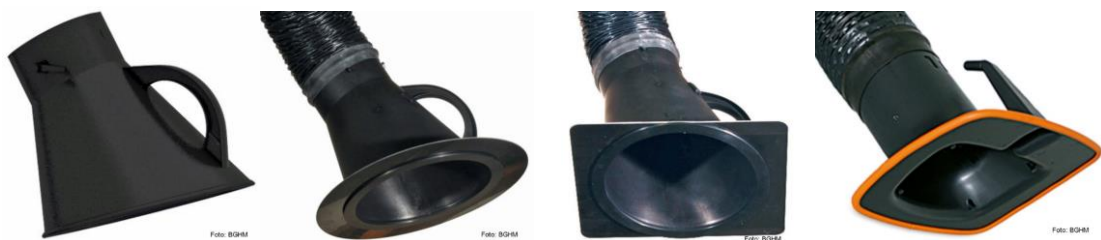
Alle Abscheider / Filter reinigen die abgesaugte Luft nur von Partikeln, fast alle Gase gehen durch diese Geräte ungehindert durch (außer Ozon, ist instabil und zerfällt meist schon vollständig in einem Filtergerät)

HINWEIS: Auch Schweißrauchpartikel und deren Absauganlagen können brennen!

ID 062808

31

Beispiele für Haubenerfassungen



max. Abstand ca. 300 mm (Erfassungsgeschwindigkeit 0,3m/s bis 0,4m/s) oberhalb der Schweißstelle

ID 043589

32

Volumenstrombedarf verschiedener „Haubenerfassungen“

Berechneter Volumenstrombedarf für Erfassungsgeschwindigkeit
 $w_x = 0,4 \text{ m/s}$ Abstand $x = 300 \text{ mm}$



Quelle: BGI 593 Seite 76 (Auszug aus GS 9/2002 „Absaugtechnik - Teil 2“)

Gegenüber den verbreiteten Trichterhauben kann eine Volumenstromreduzierung von rund 20 % erreicht werden.

ID 040177

33

Luftrückführung (Umluftbetrieb)

- Umluftbetrieb bei KMR-Stoffen generell verboten.
- Wenn Umluftbetrieb sein muss, z. B. bei mobilen Arbeitsplätzen, nur anerkannte Geräte der Schweißrauchabscheideklasse W3 nach DIN EN ISO 21904-1 (Abscheidegrad > 99 % bei Schweißrauchpartikeln) verwenden. (Gilt auch bei radioaktiven Stoffen im Schweißrauch, z. B. Thoriumdioxid)
- Filtertürme sind zur Erfassung dieser Gefahrstoffe generell ungeeignet.
- Außenluftanteil >200 m³/h pro Schweißer (gasförmige Gefahrstoffe beim E-Schweißen).
- Bei Autogenverfahren muss aufgrund der NO_x-Emissionen eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung bezgl. der Außenluft durchgeführt werden.

ID 062807

34

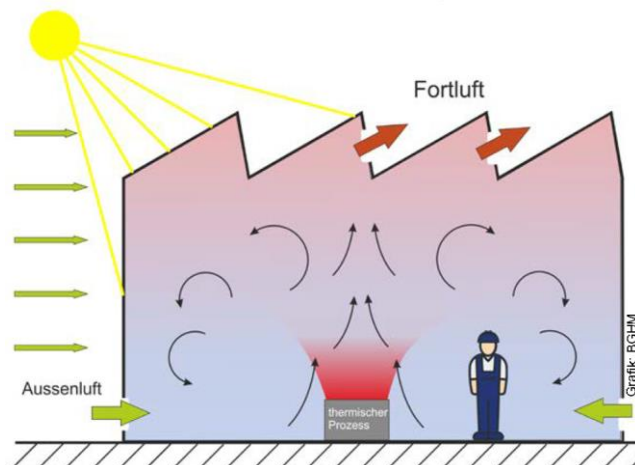
Hallenlüftungsarten

- Freie Lüftung
- Mischlüftung
- Schichtlüftung
- Kombinationen von Lüftungsanlagen

ID 062784

35

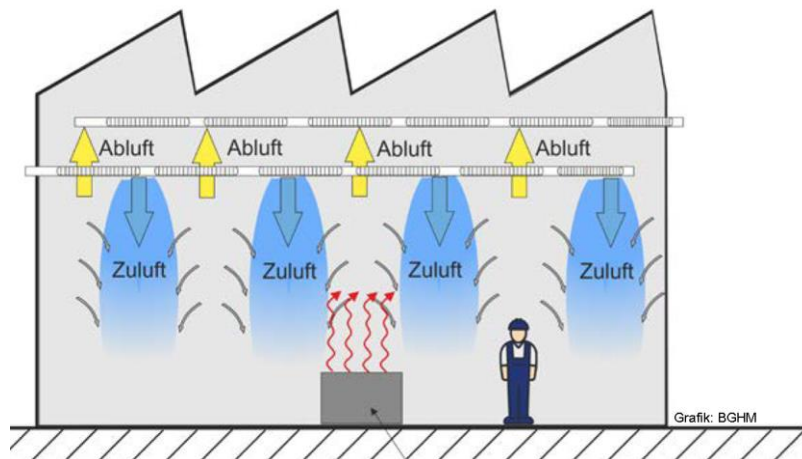
Prinzip Freie Lüftung



ID 062774b

36

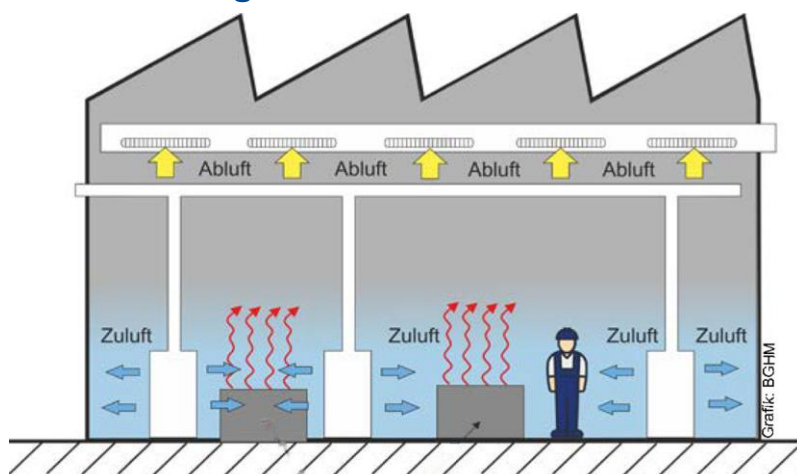
Prinzip Mischlüftung



ID 063398

37

Prinzip Schichtlüftung



ID 063397

38

Luftrückführung RLT-Anlagen (Raumlufthtechnische Anlagen)

- RLT-Anlage **als Ergänzung** zur Absaugung an der Entstehungsstelle.

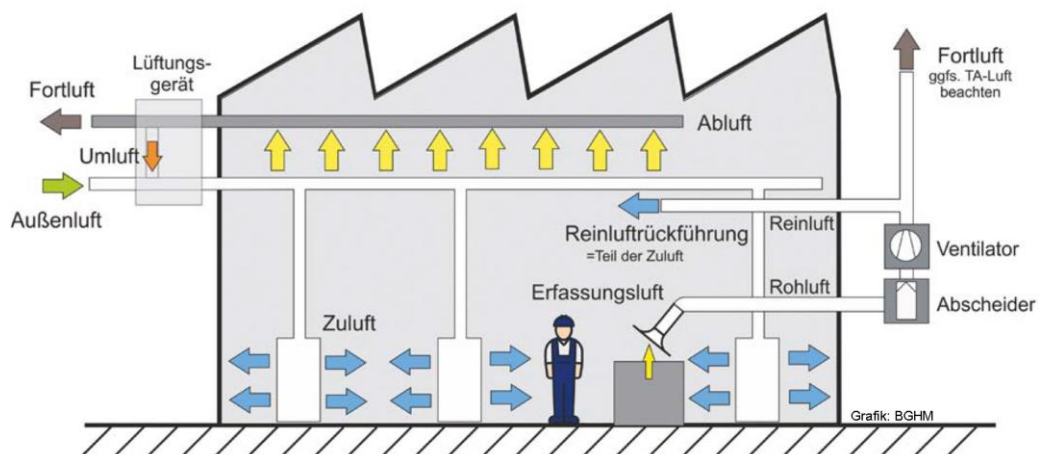
→ Luftrückführung erlaubt, aber bei KMR-Stoffen:

Konzentration Rückluft < 1/10 der AK (Akzeptanzkonzentration) oder BM (Beurteilungsmaßstab, z. B. Chrom-VI-Verbindungen $1\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ID 062806

39

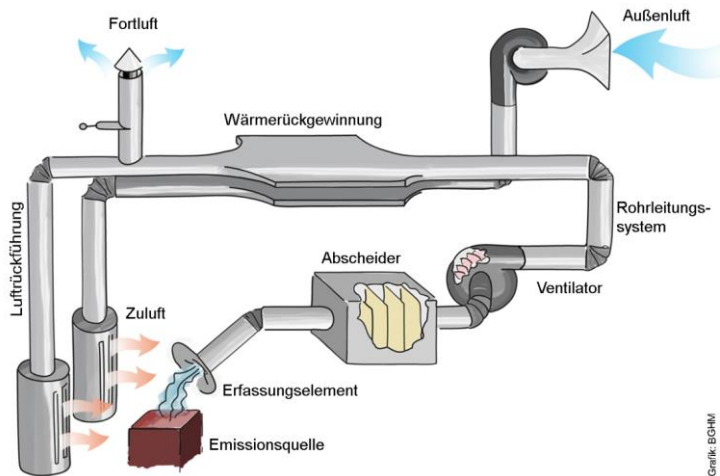
Prinzip Kombination Lüftungsanlagen (PLT und RLT Anlagen)



ID 062809

40

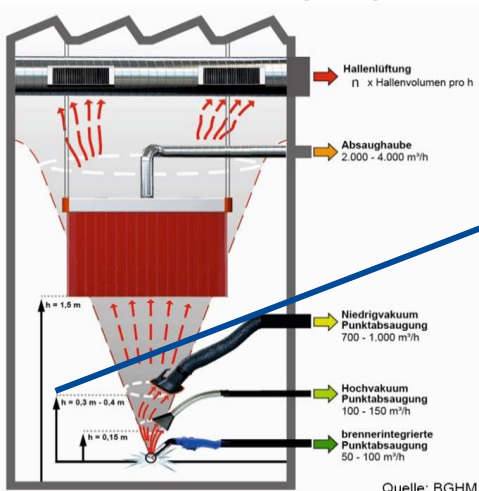
Prinzip RLT- und PLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung



ID 062810

41

Übersicht Absaugung und Hallenlüftung



Quelle: BGHM

oberhalb der blauen Linie:
keine Absaugung an der Entstehungsstelle
unterhalb der blauen Linie:
Absaugung an der Entstehungsstelle



ID 041330

42

Persönliche Schutzausrüstung - Beispiel

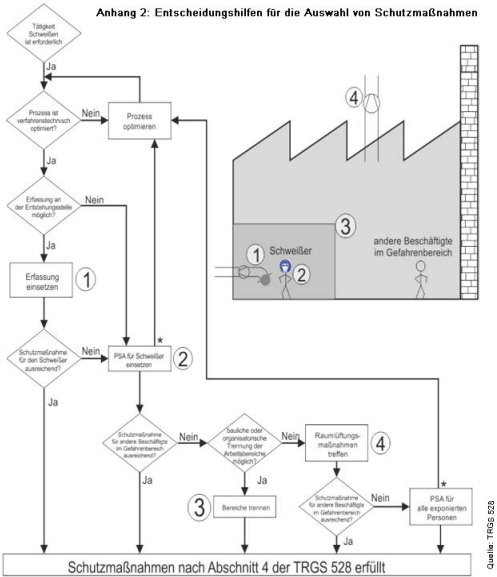
Automatischer Schweißerschutzhelm mit gebläseunterstütztem Atemschutz (Akku-Filter-Geräte)



ID 043590

Auswahl von Schutzmaßnahmen

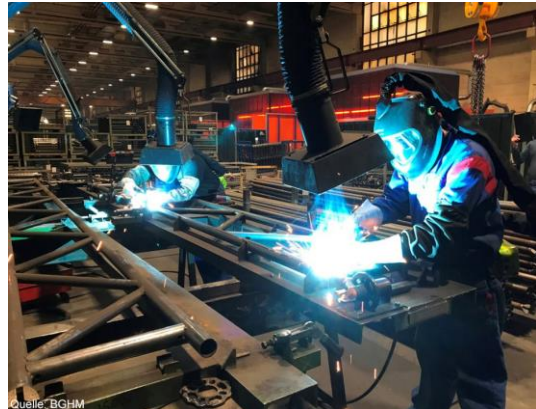
Wegen des Einsatzes von PSA ist weitere Prozessoptimierung erforderlich.



ID 043591

Kombination von Schutzmaßnahmen

- Automatikschweißerschutzhelme mit gebläseunterstütztem Atemschutz in Kombination mit Absaugung (Erfassung) zum Schutz des Schweißers und anderer Personen in der Halle



ID 043592