

03.21

Betriebliche Prävention

133. Jahrgang
März 2021
Seiten 97–148
A 8833

www.BEPRdigital.de

Arbeit | Gesundheit | Unfallversicherung



Schwerpunkt

Körperlicher Schutz



Foto: Pete Wright on Unsplash

Heiner Wahl

Gefährdungen durch Rauche am Arbeitsplatz

Eine praktische Herausforderung im Arbeitsschutz

Hauptquellen gesundheitsschädlicher Rauche

Neben dem Thema „Stäube“ spielt das Thema „Rauche“ im Arbeitsschutz eine erhebliche Rolle.

Folgende Hauptquellen für gesundheitsschädliche Rauche können beispielhaft genannt werden:

- ▶ Schweißtechnische Arbeiten
- ▶ Dieselmotor-Emissionen
- ▶ Rauche aus unvollständigen Verbrennungsprozessen und Hochtemperatur-Anwendungen organischen Materials
- ▶ (Unfall)Brände

Bei den ersten drei Entstehungsarten geht es hauptsächlich um den Arbeitsschutz an „konventionellen“ Arbeitsplätzen, beim der letzten Quelle überwiegend um den Arbeitsschutz von Einsatz- und Rettungskräften, insbesondere der Feuerwehren.

Was ist Rauch und welche Maßstäbe müssen Sie im Arbeitsschutz beachten?

Rauch ist chemisch gesehen stets ein mehr oder weniger komplexes Stoffgemisch. Er besteht aus gasförmigen Stoffen, festen, teilchenförmigen Stoffen und oft auch aus flüssigen Stoffen, die durch Kondensation als Nebel beim Abkühlen des Rauchs entstehen. Viele dieser Stoffe sind Gefahrstoffe.

Stets entstehen Rauche bei hohen Temperaturen bzw. bei Verbrennungsprozessen.

Rauche gefährden Arbeitnehmer primär bei Inhalation. Zum wirksamen Schutz vor Rauchen reichen oft Partikel filternde Halbmasken (FFP-Masken), wie sie häufig bei Staub-Exposition zum Einsatz gebracht werden, nicht aus. Diese Masken bieten keinen Schutz vor gesundheitsschädlichen Gasen. Der Einsatz von umgebungsluftunabhängigem Atemschutz, auch schwerem Atemschutz, kann beim Auftreten von Rauchen angezeigt sein.

Die Festsetzung von „allgemeinen“ Arbeitsplatzgrenzwerten für Rauche ist schwierig – wegen ihrer uneinheitlichen Zusammensetzung. In einigen Fällen aber hilft die

Festlegung von Grenzwerten für Leitsubstanzen in Rauchen weiter.

Eine Leitsubstanz ist ein einzelner Gefahrstoff, der geeignet ist, (z. B.) Rauch aus einer bestimmten Quelle zu charakterisieren. Die Höhe der Luftkonzentration dieses Gefahrstoffs gilt dann gleichzeitig als ein Maß für die Höhe der Gefährdung durch den Rauch.

Die stoffspezifischen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 und die stoffspezifischen Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 910 müssen auch bei Gefährdung durch Rauche stets eingehalten werden.

In Rauchen allgemein häufig auftretende gasförmige Gefahrstoffe sind z. B. Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid. Die beiden Letzteren zählen zu den sogenannten Stickoxiden, binären Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen. Stickoxide entstehen bei hohen Temperaturen durch Oxidation des (an sich) reaktionsträgen Luftstickstoffs.

Für Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid sieht die TRGS 900 folgende Arbeitsplatzgrenzwerte vor:

- ▶ AGW Kohlenstoffmonoxid
30 ml pro m³ (ppm) entsprechend 35 mg pro m³
- ▶ AGW Stickstoffmonoxid
2 ml pro m³ (ppm) entsprechend 2,5 mg pro m³
- ▶ AGW Stickstoffdioxid
0,5 ml pro m³ (ppm) entsprechend 0,95 mg pro m³

Auch Dimethylnitrosamin, das stark krebserzeugend und relativ flüchtig ist, kann in Rauchen auftreten. Für diesen Stoff gibt es eine Akzeptanz- und eine Toleranzkonzentration in der TRGS 910.

- ▶ Akzeptanzkonzentration Dimethylnitrosamin:
0,075 Mikrogramm pro m³
- ▶ Toleranzkonzentration Dimethylnitrosamin:
0,75 Mikrogramm pro m³

Der „Allgemeine Staubgrenzwert“ der TRGS 900 gilt auch für feste (Staub)Teilchen in Rauchen. Bei Rauchen ist insbesondere die alveolengängige Staubfraktion von Bedeutung.

- ▶ Grenzwert für die A-Staub-Fraktion:
1,25 mg pro m³ bei einer mittleren physikalischen Staumdichte von 2,5 g/cm³.

Die festen (Staub)Teilchen in Rauchen sind häufig klein oder auch sehr klein – damit überwiegend alveolengängig oder sogar im Bereich des sogenannten Ultrafeinstaubes anzusiedeln. Dies erhöht grundsätzlich ihr Gefährdungspotenzial, denn diese kleinen Teilchen können sehr tief in den Atemtrakt eindringen.

Schweißtechnische Arbeiten

Die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 528 „Schweißtechnische Arbeiten“, die im Jahr 2020 in überarbeiteter Form veröffentlicht worden ist, führt u.a. folgende Techniken als schweißtechnische Arbeiten auf:

- ▶ Schweißen
- ▶ Löten

Schweißen und Löten: Zu welchen Zwecken und wo liegen die Unterschiede?

Schweißen und Löten dienen meist der Verbindung von Werkstücken aus Metall.

Der Hauptunterschied zwischen Schweißen und Löten liegt in den Anwendungstemperaturen, die beim Schweißen sehr hoch sind (bis > 3000 °C) und oberhalb der Liquidustemperatur der Grundwerkstoffe liegen. Die Grundwerkstoffe werden also beim Schweißen (lokal) verflüssigt.

Die hohen Anwendungstemperaturen führen dazu, dass beim Schweißen in erheblichem Ausmaß Gefahrstoffe entstehen können und dann im Rauch vorhanden sind.

Der praktische Vorteil beim Schweißen: Es entsteht eine besonders „innige“, feste Verbindung der Werkstücke.

Beim Löten liegen die Anwendungstemperaturen deutlich niedriger – unterhalb der Solidustemperatur der Grundwerkstoffe. Mit Löten kann man Werkstücke aus Metallen verbinden, die mit Schweißen nicht ohne weiteres verbunden werden können.

- ▶ Thermisches Schneiden und Ausfugen
- ▶ Thermisches Spritzen (zur Oberflächenbeschichtung)...

Bei entsprechenden Arbeiten können eine Reihe von Gefährdungen für die Beschäftigten auftreten – grelles Licht, hohe Temperaturen, heiße Spritzer, Funkenflug. Daneben treten bei diesen Arbeiten regelmäßig gesundheitsschädliche Rauche auf, um die es hier gehen soll.

Beim Schweißen und beim Löten gibt es jeweils unterschiedliche Verfahren, die mit unterschiedlich hohen Gefährdungen für die Arbeitnehmer verbunden sind.

Beim „klassischen“ Autogenschweißen arbeitet man meist mit dem Brenngas Acetylen zusammen mit reinem Sauer-

Verfahren beim Schweißen und beim Löten

Es gibt eine Reihe von unterschiedlichen Schweiß-Techniken.

Beim Gasschweißen (Autogenschweißen) werden die erforderlichen hohen Temperaturen durch die Verbrennung eines geeigneten Brenngases, meist Acetylen, erzeugt.

Daneben gibt es elektrische Schweiß-Techniken, die auf der Anwendung eines Lichtbogens zwischen der Elektrode des Schweißgeräts und dem Werkstück basieren. Dazu zählen:

- ▶ Lichtbogen-Handschweißen (LBH; ein älteres, aber flexibel anwendbares Verfahren)
- ▶ Metall-Aktivgasschweißen (MAG; abschmelzende Elektroden aus Massiv- oder Fülldraht) und das Metall-Inertgasschweißen (MIG, dem MAG eng verwandt)
- ▶ Wolfram-Inertgasschweißen (WIG; Wolframelektrode – Schmelzpunkt Wolfram: 3422 °C).

Bei MAG, MIG und WIG kommen (zumeist) Schutzgase zum Einsatz – z. B. die chemisch inerten Edelgase Argon und Helium oder auch Kohlenstoffdioxid bzw. Gemische dieser Gase. Die Schutzgase sollen den Luftsauerstoff am Ort des Geschehens verdrängen – auch um ein technisch ordentliches Arbeitsergebnis zu ermöglichen.

Neben den genannten Schweiß-Techniken gibt es noch weitere, z. B. Laserstrahlschweißen und Hybridverfahren.

Beim Löten spielen in erster Linie das Weichlöten (bis 450 °C) und das Hartlöten (450-900 °C) eine Rolle. Daneben gibt es auch noch das Hochtemperaturlöten (oberhalb 900 °C).

Schwerpunkt

stoff. Es wird gerade so viel Sauerstoff zudosiert, wie für die Verbrennung des Acetylens erforderlich ist. In der Flamme des Schweißbrenners wird der Stahl, meist ist es ein Stahl, verflüssigt und die Werkstücke schließlich verbunden. Dabei kommen bisweilen auch abschmelzende, handgeführte Schweißstäbe als Hilfswerkstoffe zum Einsatz. Die Gefährdung durch Gefahrstoffe im auftretenden Rauch ist beim Autogenschweißen vergleichsweise gering.

Schneidbrenner zum thermischen Trennen von Stählen werden ebenfalls mit Acetylen oder auch mit Flüssiggas (Propan/Butan) und Sauerstoff betrieben (autogenes Brennschneiden).

Beim autogenen Brennschneiden oxidiert der Sauerstoff wegen gezielter Sauerstoffzufuhr bei sehr hoher Temperatur dann den Grundwerkstoff und treibt ihn aus der Brennfuge aus. Dadurch wird das Werkstück getrennt. Das Verfahren gefährdet die betreffenden Arbeitnehmer durch sehr hohe Gefahrstoffkonzentrationen im Rauch.

Die Gefährdungen durch die beim Schweißen und beim Löten auftretenden Rauche gehen nicht selten stärker auf eingesetzte Hilfswerkstoffe und -materialien zurück als auf die Grundwerkstoffe.

Hilfswerkstoffe beim Schweißen sind z. B.:

- ▶ handgeführte Massivdrähte oder Fülldrähte (z. B. beim Autogen- und WIG-Schweißen)
- ▶ abschmelzende Massivdraht- oder Fülldraht-Elektroden (MAG und MIG); abschmelzende Stabelektroden (LBH)

Diese Hilfswerkstoffe bestehen aus Metall bzw. Legierungen und liefern Material zur Füllung der Schweißnaht. Es entstehen oft Metalloxide, die in den Rauch entlassen werden.

Hilfswerkstoffe beim Löten sind die Lote. Es gibt eine Vielzahl von Weich- und Hartloten für unterschiedliche Anwendungen – alle sind Legierungen.

Auch beim Löten können aus den Loten Metalloxide entstehen, die sich im Löt-Rauch wiederfinden.

Beim Löten kommt es auch auf eine gute Benetzung der Lötstellen an, um eine feste, dauerhafte Verbindung zu erzielen. Daher werden Flussmittel (in pastöser oder pulverförmiger Form) als Hilfsmaterialien eingesetzt.

Es gibt eine große Zahl unterschiedlicher Flussmittel, z. B. mit folgenden Stoffen:

- ▶ Salzsäure
- ▶ Adipinsäure
- ▶ Zinkchlorid
- ▶ Kolophonium (ein Naturharz)

Im Endeffekt führt der Einsatz dieser Flussmittel auch zu Gefahrstoffen im Löt-Rauch.

Ganz allgemein muss im Rauch bei schweißtechnischen Arbeiten mit Metalloxiden in Form feiner Partikel als Gefahrstoffe gerechnet werden. Diese können krebserzeugend sein, wenn z. B. Nickel, Cobalt oder Chrom als Legierungsbestandteile im Spiel sind. Die Zahl der Legierungen, die im Zusammenhang mit schweißtechnischen Arbeiten auftreten können, ist jedoch groß. Und so können z. B. auch Metalloxide von Molybdän, Vanadium, Mangan, Cadmium usw. im Rauch vorhanden sein.

Verfahrensabhängig müssen bei schweißtechnischen Arbeiten auch unterschiedliche gasförmige Gefahrstoffe in Erwägung gezogen werden (Tabelle 1).

Gasförmiger Gefahrstoff	Verfahren (beispielhaft)	Herkunft des gasförmigen Gefahrstoffs
Stickoxide	Autogenschweißen, autogenes Brennschneiden, Plasmaverfahren	Oxidation von Luftstickstoff
Ozon	MIG-Schweißen und WIG-Schweißen von Aluminium-Werkstoffen	Ozon-Bildung aus Sauerstoff, ausgelöst durch UV-Strahlung
Kohlenstoffmonoxid	MAGC-Schweißen unlegierter und niedriglegierter Stähle	thermische Zersetzung des Schutzgases Kohlenstoffdioxid
Aldehyde	Weichlöten mit Kolophonium-haltigen Flussmitteln	Zersetzung des Kolophoniums
Chlorwasserstoff	Weichlöten	aus Flussmittel

Tab. 1: Beispiele für gasförmige Gefahrstoffe im Rauch bei schweißtechnischen Arbeiten

Verfahren	Emissionsrate in mg/s	Emissionsgruppe
Gasschweißen – Autogenverfahren	< 1	niedrig
WIG-Schweißen	< 1	niedrig
MIG/MAG – energiearmes Schutzgasschweißen	1 bis 4	mittel bis hoch
LBH	2 bis 22	hoch
MAG (Massivdraht)	2 bis 12	hoch
MAG (Fülldraht); Fülldrahtschweißen ohne Schutzgas	> 25	sehr hoch
Löten	< 1 bis 4	niedrig bis hoch
Autogenes Brennschneiden	> 25	sehr hoch

Tab. 2: Zuordnung von einigen schweißtechnischen Arbeiten zu Emissionsgruppen (niedrig, mittel, hoch und sehr hoch) mit Blick auf Gefahrstoffe im jeweiligen Rauch

Die TRGS 528 gibt in einer Tabelle einen allgemeinen Überblick über Gefahrstoffe im Rauch bei schweißtechnischen Arbeiten. In einer weiteren Tabelle ordnet sie unterschiedliche Verfahren Emissionsgruppen zu. Tabelle 2 bringt einen Auszug letzterer TRGS-Tabelle.

Die Tabelle 2 bietet eine Orientierung für die Gefährdungsbeurteilung, entbindet aber nicht von einem genaueren Hinschauen.

Was tun gegen Schweißrauche?

Manchmal kommen als technische Schutzmaßnahme bei schweißtechnischen Arbeiten Einhausungen (geschlossene Kabinen) in Frage bzw. entsprechen sogar dem Stand der Technik. Jedoch: Bei schweißtechnischen Arbeiten ist eine wirksame und quellennahe Absaugung des entstehenden Rauchs oft das technische Mittel der Wahl. An stationären Arbeitsplätzen ist Absaugung oft gut realisierbar. Bei nicht-stationären Arbeitsplätzen kann es schwieriger sein.

Bei allen schweißtechnischen Arbeiten sollte bei der Gefährdungsbeurteilung ermittelt werden, welche spezifischen Gefahrstoffe bei den Arbeiten zu erwarten sind.

Die stoffspezifischen AGW der TRGS 900, die Akzeptanz- bzw. Toleranzkonzentrationen der TRGS 910 und ebenfalls der Allgemeine Staubgrenzwert der TRGS 900, v.a. der Grenzwert für die A-Staub-Fraktion, müssen auf jeden Fall eingehalten werden.

Es sollte übrigens nicht aus dem Fehlen eines stoffspezifischen Grenzwerts in den TRGS 900 und 910 der Schluss gezogen werden, dass ein vorhandener Stoff gesundheitlich unbedenklich ist. Gerade für bestimmte (potenziell) krebserzeugende Metallverbindungen liegen heute (noch) keine Grenzwerte in besagten TRGS vor.

Dieselmotor-Emissionen

Dieselmotor-Emissionen (DME) sind die Produkte des Verbrennungsprozesses von Dieseldieselkraftstoff in Dieselmotoren. Die Verbrennung ist in der Praxis nicht vollständig.

DME bestehen daher aus variierenden Anteilen unterschiedlicher gasförmiger Gefahrstoffe (Kohlenstoffmonoxid, Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid) und teilchenförmiger Gefahrstoffe (Rußpartikel). An die Rußpartikel adsorbiert sind krebserzeugende Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und nitrierte Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (Nitro-PAK). Emissionen von Dieselmotoren sind krebserzeugend.

Die Gefährdung von Beschäftigten durch DME ist abhängig von der Güte der Dieselmotoren, von der Art ihres Betriebs in der Praxis und von ihrer ergänzenden Ausstattung zur Abgas-Nachbehandlung (Stichworte: Dieseldieselruß-Partikelfilter - DPF; Katalysatoren für Dieselmotoren...).

So ist AdBlue eine Marke für Produkte und Dienstleistungen in Bezug auf die Abgasnachbehandlung bei Dieselmotoren mittels selektiver katalytischer Reduktion (SCR). Die Abgasnachbehandlung in dieser Form ermöglicht eine Verminderung der ausgestoßenen Stickoxide um bis zu 90 Prozent. Hierfür ist u.a. eine wässrige Harnstofflösung nötig, die ab und an separat getankt werden muss.

Andere Verbrennungsmotoren erzeugen auch Emissionen

Herkömmliche Viertakt-Otto-Motoren, die mit Benzin betrieben werden, sind grundsätzlich auch keine „Waisenknaben“. Sie dienen bekanntlich zum Antrieb von PKW. Ihr Abgas wird beim Einsatz von geregelten Drei-Wege-Katalysatoren jedoch recht weitgehend „entgiftet“ (inklusive der Entfernung von Stickoxiden).

Viertakt-Otto-Motoren kommen eher selten zum Antrieb von Maschinen im wirtschaftlichen Bereich zum Einsatz. Manchmal aber doch: So gibt es z. B. Benzin betriebene Flügelglätter zur Verdichtung und Glättung von Estrich und Beton. Diese Maschinen sind mit und ohne Kat erhältlich. Ein Kat senkt auch den Kohlenstoffmonoxid-Ausstoß. Flügelglätter gibt es jedoch auch mit Elektroantrieb.

Manche ortswechselnd im Freien eingesetzte Kleinmaschine (z. B. Kettensägen, Rasenmäher, Laubbläser und -sauger) wird immer noch von einem (leicht-gewichtigen) Zweitakt-Otto-Motor angetrieben. Auch da wird die Zukunft ganz gewiss den Elektromotoren gehören. Der Elektroantrieb hat im Übrigen auch den Vorteil, dass er weit weniger Lärm verursacht.

Die Gefährdung von Mitarbeitern durch DME ist nicht zuletzt auch von der jeweiligen Lüftungssituation abhängig. Der Betrieb von Dieselmotoren im Freien ist grundsätzlich weit weniger gefährdend als ihr Betrieb in Hallen, beim Tunnelbau, in Bergwerken usw.

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sollte zunächst geprüft werden, ob an Stelle von dieselmotorbetriebenen Fahrzeugen bzw. Maschinen solche mit Elektroantrieb zum Einsatz gebracht werden können.

Mit Elektromotoren betriebene Gabelstapler (bzw. Flurförderzeuge) sind z. B. heute schon die Regel. Ihr schwerer Akkumulator spielt bisweilen nebenbei eine förderliche Rolle als „Gegengewicht“ bei der Lastaufnahme, was man auch als Arbeitsschutzpunkt betrachten kann.

Einsatz von Dieselmotor-betriebenen Fahrzeugen, Maschinen und Aggregaten

In Deutschland spielt die Gewinnung von Salz (Streusalz, Speisesalz) und Kali (Dünger) im untertätigen Bergbau eine Rolle. Es kommen unter Tage z. B. große mit Dieselmotoren angetriebene Radlader zum Abtransport der abgebauten „Rohsalze“ zum Einsatz.

Der Einsatz von Dieselmotoren bzw. von Dieselmotor-betriebenen Fahrzeugen findet jedoch in ganz unterschiedlichen Branchen statt – nicht zuletzt im Tiefbau (Bagger, Walzen, Kompressoren usw.). Ferner werden Gabelstapler (bzw. Flurförderzeuge) im Logistik-Bereich heute noch in manchen Fällen mit Dieselmotoren angetrieben.

Auch Aggregate zur Stromerzeugung sind häufig mit Dieselmotoren ausgestattet.

Schwerpunkt

Der Dieselmotor ist grundsätzlich ein Antrieb für größere und große Fahrzeuge bzw. Maschinen (bis hin zum Schiffsdiesel), der Elektromotor bis heute noch eher für kleinere.

Wenn also ein Elektroantrieb im praktischen Zusammenhang nicht in Frage kommt, sollte bei Neuanschaffungen darauf geachtet werden, dass die Dieselmotoren, inklusive ihrer Abgas-Nachbehandlungssysteme, dem neuesten Stand der Technik entsprechen.

Immer muss für regelmäßige Wartung der Dieselmotoren gesorgt werden. Dies trägt auch zur Reduktion von Gefahrstoffen und zum Schutz der Mitarbeiter bei.

In Hallen, beim Tunnelbau, in Bergwerken usw. sollte eine gute technische Lüftung realisiert bzw. eine möglichst quellennahe Absaugung installiert sein, wenn dort Dieselmotoren zum Einsatz kommen. Eine Option kann die Verwendung fest angeschlossener Abgasableitungen zur direkten Ableitung der DME ins Freie sein.

Eine nahe liegende organisatorische Maßnahme zur Verringerung von DME ist es, die Laufzeiten der Dieselmotoren so gering, wie praktisch erforderlich zu halten. Manchmal kann man den Dieselmotor auch einmal ausschalten...

In der TRGS 900 gibt es seit einiger Zeit einen Arbeitsplatzgrenzwert für Dieselmotoremissionen. Dieser beträgt 0,05 mg pro m³ bezogen auf die alveolengängige Staubfraktion - A-Staub-Fraktion - und bezogen auf elementaren Kohlenstoff (EC; Dieselrußpartikel), der als Leitsubstanz in der Atemluft dient. Wird dieser Grenzwert überschritten, ist den Beschäftigten in entsprechenden Arbeitsbereichen Atemschutz zur Verfügung zu stellen.

Weitere Informationen zum Arbeitsschutz bei Exposition gegenüber DME finden sich in der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 554 „Abgase von Dieselmotoren“, die zuletzt im Jahr 2019 geändert wurde.

Was ist Pyrolyse?

Pyrolyse tritt auf beim Erhitzen von organischem Material auf hohe Temperaturen ohne Zufuhr von Luftsauerstoff. Es kommt zu einer „internen chemischen Umordnung“ hin zu chemisch stabileren Stoffen. Meist treten im Pyrolysegas bzw. -rauch gasförmige, flüssige und feste Gefahrstoffe nebeneinander auf.

Ein Beispiel für Pyrolyse ist das technische Verfahren der Verkokung von Kohle in Kokereien. An sich typisch für die „alte Schwerindustrie“, gibt es auch heute noch aktive Kokereien in Deutschland. Bei der Verkokung werden Koks („gereinigte“ Kohle für den Hochofen), Teer und Teer-Produkte sowie Kokereigas (ein Brennstoff) gewonnen.

Bei der Verkokung von Kohle gewonnener Teer wurde früher als Bindemittel für Straßendecken, zur Herstellung von Dachpappe usw. genutzt. Teer enthält zu großen Anteilen PAK (bis zu 30 %).

Im Straßenbau usw. wird heute kein Teer mehr verwendet – stattdessen Bitumen. Bitumen ist der Destillationsrückstand der Erdölraffination und enthält PAK in Anteilen, die um Größenordnungen geringer sind.

Rauche aus unvollständigen Verbrennungsprozessen und Hochtemperatur-Anwendungen organischen Materials

In Rauchen aus unvollständigen Verbrennungsprozessen und Hochtemperatur-Anwendungen organischen Materials finden sich allgemein häufig krebserzeugende Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), aber auch andere Gefahrstoffe wie Kohlenstoffmonoxid, krebserzeugende Nitrosamine usw., manchmal sogar polychlorierte Dibenzodioxine (Stichwort: TCDD/Dioxin) und Dibenzofurane bei Gegenwart von Chlor in gebundener Form im Ausgangsmaterial.

Rauche aus organischem Material begegnen uns allen auch im Alltag – zum Beispiel:

- ▶ Zigarettenrauch (Aktiv- und Passivrauchen)
- ▶ bei der Nutzung von Holzkohलगrills
- ▶ am Holz befeuerten Kamin
- ▶ bei Verwendung von (altem) Frittierfett
- ▶ beim angebrannten Schnitzel am heimischen Herd

Lebenspraktisch erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass Holzkohलगrills wegen der unvollständigen Verbrennung der Holzkohle erhebliche Mengen an Kohlenstoffmonoxid produzieren. Diese Grills dürfen daher nur im Freien verwendet werden. Bei Holz befeuerten Kaminen ist ein ordentlich funktionierender Kaminabzug aus dem gleichen Grund ein Muss.

Noch zum Frittieren: Da kommen eher temperaturstabile Fette oder Öle zum Einsatz, denn der Frittiervorgang findet bei ca. 140–180 °C statt. Zu beachten ist, dass das heiße Frittierfett wiederkehrend mit zu frittierenden Lebensmitteln beschickt wird, wodurch unterschiedliche organische Stoffe in das heiße Fett gelangen und sich dort chemisch umsetzen. Die unterschiedlichen Reaktionsprodukte sammeln sich im Frittierfett an.

Es gibt aber auch industrielle Prozesse, bei denen Rauche in Folge von Hochtemperaturanwendungen organischen Materials in mehr oder weniger großem Umfang auftreten und Arbeitnehmer gefährden können – nur zum Beispiel:

- ▶ Prozessrauch im Bereich der Gummi-Herstellung und -Verarbeitung; da auch krebserzeugende Nitrosamine beachten
- ▶ Betriebsrauch aus Schmierölen

Vielfach verlassen entstandene Gefahrstoffe ein Grundmaterial eben nur teilweise über den Rauch. Daher sind oft die Grundmaterialien selbst, z. B. altes Schmier- oder Motoröl oder altes Frittierfett, mit Gefahrstoffen kontaminiert. Solche Materialien sind ordnungsgemäß als Abfall zu entsorgen.

Im wirtschaftlich-industriellen Bereich treten ferner Pyrolyse-Prozesse hinzu. Hier gibt die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 551 „Teer und andere Pyrolyseprodukte aus organischem Material“, die zuletzt im Jahr 2016 geändert wurde, weitere Aufschlüsse.

Rauche aus organischem Material, inklusive des Rauchs aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, kann man nach dem

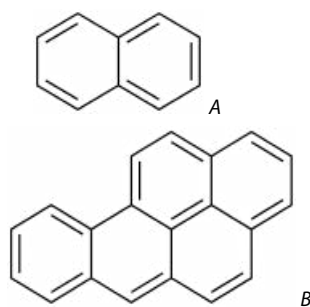
Prozess	Luftzufuhr/ Temperatur	Wo hierzulande stattfindend?	(Gefahr)Stoffe im Rauch
Vollständige, technisch gesteuerte Verbrennungsprozesse	Luftzufuhr optimiert Hohe Temperaturen	Kraftwerke (Stein-, Braunkohle und Gas) Moderne Heizbrenner (Heizöl und Gas) Anlagen für die Verbrennung von Müll und Sondermüll	Primär Kohlenstoffdioxid und Wasser Abhängig vom Ausgangsmaterial: Schwefeloxide, Stickoxide, Chlor- wasserstoff ...
Unvollständige, nicht gesteuerte Verbrennungsprozesse	Luftzutritt uneinheitlich, bis- weilen reduziert Temperaturen uneinheitlich, bisweilen vergleichsweise niedrig – z.B. „nur“ ein paar Hundert °C	Wald- und andere Brände, auch Schwelbrände Hochtemperatur-Anwendungen organischen Materials mit Luft- zutritt	Kohlenstoffdioxid, Wasser plus Gefahrstoff-Vielfalt (Kohlenstoff- monoxid, PAK ...) Mix abhängig vom Ausgangsma- terial, dem Umfang des Luftzu- tritts und der Temperatur
Pyrolyse	Kein Luftzutritt Bei gezielten technischen Prozessen Temperatur extern gesteuert; in anderen Fällen variabel	Kokereien Herstellung von Holzkohle aus Holz Hochtemperatur-Anwendungen organischen Materials ohne Luftzutritt	Gefahrstoff-Vielfalt (PAK ...) Mix abhängig vom Ausgangsma- terial und der Temperatur

Tab. 3: Verbrennung bzw. Pyrolyse von organischem Material

Ausmaß bzw. der Vollständigkeit der Oxidation im Verbrennungsprozess unterscheiden (Tabelle 3).

Krebserzeugende PAK spielen im Zusammenhang mit Rauchen eine erhebliche Rolle. Es handelt sich in der Summe um einige Hundert einzelne Stoffe.

Strukturen von Naphtalin (A), dem einfachsten PAK, und von krebserzeugendem Benzo(a)pyren (B):



PAK wurden und werden oft durch menschliches Wirken erzeugt, wenn auch keineswegs nur. Ein Waldbrand z.B., wie er vielerorts natürlich entsteht, erzeugt große Mengen PAK und andere Gefahrstoffe, auch im Rauch.

Benzo(a)pyren wird als Leitsubstanz für PAK (im Arbeitsschutz) angesehen. Dieser Stoff ist krebserzeugend. Für Benzo(a)pyren gelten heute in Deutschland die Akzeptanz- und die Toleranzkonzentration der TRGS 910 als Grenzwerte für die Luft am Arbeitsplatz (70 Nanogramm pro m³; 700 Nanogramm pro m³ jeweils bezogen auf die einatembare Staubfraktion – E-Staub-Fraktion).

Die hochsiedenden PAK liegen in Rauchen zumeist adsorbiert an feste (Staub)Teilchen vor. Daher beziehen sich die Akzeptanz- und die Toleranzkonzentration des Benzo[a]pyren auf die E-Staubfraktion.

(Unfall)Brände

Bei den bisherigen Ausführungen ging es hauptsächlich um den Arbeitsschutz an „konventionellen“ Arbeitsplätzen. Rauche spielen aber auch bei (Unfall)Bränden (vom Waldbrand, über einen Wohnungsbrand bis hin zum Brand in einer Industrieanlage) eine ganz erhebliche Rolle. Hier sind nicht zuletzt auch Einsatz- und Rettungskräfte, z. B. von Feuerwehren, betroffen. Auch für diese Kräfte gelten die Vorschriften des Arbeitsschutzes. Hier kommt erschwerend hinzu, dass situativ im Einsatz die bestehende Gefährdung nicht sicher abgeschätzt werden kann. Daher kommt gerade bei (Unfall)Bränden oft und auch vorbeugend schwerer Atemschutz zum Einsatz.

Kontakt

Dr. Heiner Wahl
Telefon: 0228-4331362
E-Mail: he_wahl@gmx.de

Der Autor



Dr. Heiner Wahl ist Diplom-Chemiker und Unternehmensberater. Bis 2013 war er als Referent im Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) an der Entwicklung des Arbeitsschutzrechts bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen sowie des Chemikalienrechts aktiv beteiligt.