

Gefördert durch MEIKO Maschinenbau GmbH & Co. KG



Gefahren für die Atemschutzwerkstatt durch äußere und innere Kontamination der Atemschutzausrüstung und Möglichkeiten für deren Kompensation in der Atemschutzwerkstatt

Teil 1: Gefahren für die Atemschutzwerkstatt durch äußere Kontamination der Atemschutzausrüstung mittels Brandprodukte

Teil 2: Gefahren für die Atemschutzwerkstatt durch äußere Kontamination der Atemschutzausrüstung mittels ABC-Gefahrstoffen

Teil 3: Gefahren für die Atemschutzwerkstatt durch innere Kontamination der Atemschutzausrüstung mittels Schweiß, Sekret, Speichel, Ausatemfeuchte und Hautabrieb der Atemschutzgeräteträger

Teil 4: Kompensation der Gefahren durch äußere und innere Kontamination der Atemschutzausrüstung in der Atemschutzwerkstatt

Teil 1: Gefahren für die Atemschutzwerkstatt durch äußere Kontamination der Atemschutzausrüstung mittels Brandprodukte

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	S. 3
2 Atemgifte.....	S. 5
3 Brandrauch	S. 10
4 Brandruß	S. 16

1 Grundlagen

In Deutschland entstehen derzeit etwa 200.000 Brände jährlich. Diese Zahl veränderte sich über viele Jahre hinweg kaum. Erhöht hat sich dagegen die Zahl der tödlichen Rauchvergiftungen. So werden jährlich etwa

- 500 Menschen getötet,
- 4.000 Menschen schwer verletzt und
- 60.000 Menschen leicht verletzt.

Von den etwa 500 Brandtoten pro Jahr

- verlieren etwa 85 % durch eine Rauchvergiftung ihr Leben.
- sterben über 80% in ihren Wohnungen,
- werden 70 % nachts im Schlaf überrascht, wobei sogar über 90% durch Brandrauch vergiftet werden.

Hauptursache ist der immer rauchintensivere Verbrennungsvorgang. Das liegt vor allem an der gestiegenen Verwendung von Kunststoffen. Heute bestehen aus Polypropylen (PP), Polyethylen (PE) und Polyvinylchlorid (PVC) eine große Menge an Haushaltsartikeln, Verpackungen, Wohnraumausstattungen und Möbel. Sie erzeugen beim Verbrennen hoch giftige Gase, zum Teil sogar Ultragifte.

So kann z. B. ein brennendes Mixergerät in der Küche das Volumen eines Einfamilienhaus innerhalb von 10 Minuten komplett mit Rauchgas füllen. Eine 10 kg schwere Schaumgummimatratze, z.B. aus einem Kinderbett, erzeugt etwa 25.000 m³ hochgiftigen Rauch.

Die Isolation eines Kühlschranks aus Polystyrol setzt beim Verbrennen große Mengen von unvollständig verbranntem Polystyrol und das Gas Styrol frei. Styrol schädigt erheblich das zentrale Nervensystem des Menschen.

Viele Kunststoffe und Farben im Haushalt werden auf Chlorbasis hergestellt. Bei Bränden wird daraus Chlorwasserstoff HCl freigesetzt und kann neue Verbindungen eingehen, z.B. Senfgas, Chlorzyan, CN und CS (auch: Tränengase) und Salzsäure aus der Verbindung Chlorwasserstoff mit Löschwasser – alles hochgiftige Stoffe. Wegen diesen und vielen weiteren Brandprodukten müssen wir immer wieder Brandopfer beklagen.

Die meisten Opfer bei einem Brand sterben nicht an den Flammen. Es ist der Rauch, der sie umbringt. Brandrauch ist heute so gefährlich wie Kampfgas für den Kriegseinsatz. Bereits das Einatmen einer Lungenfüllung mit Brandrauch kann tödlich sein.

Beispiele:

drei aktuelle Beispiele aus Juni 2016

Beispiel 1

Bei einem Wohnungsbrand am 13.06. in Langen Jarchow bei Sternberg (Landkreis Ludwigslust-Parchim) ist der 33 Jahre alte Mieter durch Rauchgasvergiftung ums Leben gekommen.

Beispiel 2

Am 09.06. kam bei einem Wohnhausbrand in Lampertheim (Kreis Bergstraße) ein 79 Jahre alter Mann durch Rauchgase ums Leben.

Beispiel 3

Bei einem Scheunenbrand in Jerichow (Landkreis Jerichower Land) kam am 07.06. ein Mann durch eine Rauchgasvergiftung ums Leben.

Beim größten Brand in der deutschen Nachkriegsgeschichte, brannte vor 20 Jahren der Flughafen Düsseldorf. 17 Menschen verloren damals durch Rauchgasvergiftung ihr Leben, 72 wurden schwer, mehrere hundert leicht verletzt.

Brandprodukte werden auf Grund ihrer Eigenschaften und Wirkungen als „für Menschen gefährlich“, zum Teil sogar schon als „gefährlich bereits in geringen Mengen“ eingeschätzt. Von diesen Stoffen und Stoffverbindungen gehen unmittelbar für den Menschen nur Gefahren aus, wenn sie ihn oberflächlich verschmutzen (kontaminieren) oder durch Atmung, Hautresorption, Wunddurchdringung oder Verschlucken in den Menschen eindringen (inkorporieren). Wenn sich Menschen bei der Brandbekämpfung in brennenden Bereichen oder anschließend auf abgelöschten Brandstellen bewegen, sind sie diesen Gefahren ausgesetzt. Dabei ergeben sich Gefahren von Kontamination und Inkorporation durch Brandprodukte sich vor allem durch:

- die Eigenschaften der Stoffe und Stoffverbindungen unter Normalbedingungen, z. B. durch austretende Dämpfe,
- die Eigenschaften der Stoffe und Stoffverbindungen bei thermischer Zersetzung, z. B. durch Pyrolyseprodukte wie Kohlenmonoxid (CO) und Schwelgas,
- die gasförmige Verbrennungsprodukte und Gemische gasförmiger Verbrennungsprodukte, z. B. Brandrauch, Ruß, Dioxine und Furane sowie
- den Einsatz bestimmter Löschmittel, z. B. Kohlendioxid (CO₂).

Es ist bekannt, dass bei Bränden gefährliche Brandprodukte schnell, in großen Mengen und mit großer Gefährlichkeit entstehen können. Meist lassen sich mehrere, gleichzeitig wirkende Brandprodukte nachweisen. So entstehen bei Bränden z.B. ganze Komplexe in Wirkung und Aggregatzustand unterschiedliche Stoffe. Sie können u.a. ersticken, giftig, ätzend, betäubend, sensibilisierend, brennbar, explosiv, krebserregend und erstickend sein. Viele von ihnen sind nicht sinneswirksam, also vom Menschen nicht erkennbar. Besonders gefährliche wirken meist bereits in kleinsten Mengen. Oft verstärken sich noch ihre gefährlichen Einzelwirkungen auf den menschlichen Organismus (Bild 1) durch Querreaktionen.

Beispiele:

drei Beispiele für die verstärkende Wirkungen von Brandgiften durch Querreaktionen

Beispiel 1

Das Einatmen von Kohlendioxid CO₂ innerhalb bestimmter Grenzen beschleunigt die Atemtätigkeit. Daraus entwickelt sich ein höherer Luftumsatz bzw. größeres Atemvolumen der betroffenen Person. Befindet sich diese ungeschützt in einer mit schädigenden Stoffen belasteten Umgebung, können diese Gifte schneller und in größeren Mengen in den Körper eindringen.

Beispiel 2

Auf Grund der entstehenden Brandwärme vergrößert sich das Volumen des Brandgases. Es wird leichter als die Umgebungsluft und steigt nach oben. Diese Bewegung, die Thermik des Brandgases, reißt bei genügender Stärke Schwebstoffe mit, auch solche mit schädigender Wirkung. Das Gemisch aus Brandgas und flüssigen bzw. festen Schwebstoffen bezeichnet man als Brandrauch. Der Kontakt des Menschen mit dem Brandrauch wird durch das Aufsteigen des Brandrauches vom Brandgut erleichtert und kann ungeschützt zu schwersten Vergiftungen führen.

Beispiel 3

Das Einatmen von Chlor Cl lässt beim Zusammentreffen mit Wasser, z. B. die Feuchtigkeit auf den Schleimhäuten im Rachenraum oder den Bronchien, Salzsäure HCl entstehen. Salzsäure ist in der Lage, das betroffene Gewebe durch Ätzwirkung zu zerstören.

Die Schwere der zu erwartenden Schädigungen durch Brandprodukte ist besonders abhängig von den stofflichen Gegebenheiten:

- Eigenschaften
- Konzentration
- Einwirkdauer
- Reaktionen mit anderen Stoffen
- Größe und Dauer des Feuers
- Partikel und Gasen, die freigesetzt werden
- Konzentration der Partikel und Gase
- toxikokinetische und toxikodynamischen Eigenschaften der Brandprodukte

sowie vom Geschädigten selbst, vor allem durch:

- Verträglichkeit
- körperlicher Zustand
- Luftbedarf
- Art und Umfang seiner Schutzausrüstung.

Die häufigsten und oft auch gefährlichsten Brandprodukte sind die Atemgifte, vor allem, wenn sie sich im Brandrauch befinden.

2 Atemgifte

2.1 Begriffsbestimmungen

Begriff

Atemgifte sind schädigende Stoffe, die sich als Gase, Dämpfe oder Schwebstoffe in der Luft befinden und die mit der Atmung in den menschlichen Körper gelangen und dort schädlich auf den Organismus einwirken können.

Die Gefährlichkeit eines Atemgiftes ergibt sich aus seiner Konzentration und Einwirkungsdauer. Ihre Dosis und ihre Wirkungen können vorübergehende oder bleibende gesundheitsschädigende Wirkungen verursachen oder sogar zum Tod führen. Besonders typische Beispiele enthält Tabelle 2. Die Beurteilung der Gefährlichkeit eines Atemgiftes ist sehr schwierig, da es Atemgifte gibt, die schon in geringer Konzentration bei nur kurzzeitiger Einatmung den Tod herbeiführen, während andere Atemgifte, auch bei hoher Konzentration und langer Einwirkungsdauer, nur Gesundheitsschäden geringeren Ausmaßes verursachen. Besonders typische Beispiele enthalten die Tabellen 1 und 2.

Tabelle 1: Atemgifte (Auswahl)

Brennbarer Stoff	Verbrennungsprodukte Vollbrand	Verbrennungsprodukte Schwelbrand (Nachlöschphase)
Holz, Papier, Zellstoff	CO, CO ₂ , Aldehyde, Aromate, Essigsäure, KW	Aldehyde, Aromate, KW, PAK
Kunststoffe (Polymere mit C und H)	CO, CO ₂ , NO, Aldehyde, Aromaten, Carbonsäuren, gesättigte und ungesättigte KW	Aldehyde, Aromate, PAK

Brennbarer Stoff	Verbrennungsprodukte Vollbrand	Verbrennungsprodukte Schwelbrand (Nachlöschphase)
Kunststoffe (Polymere mit Halogenen)	CO, CO ₂ , HCl, COCl ₂ , CKW, Aldehyde, Aromaten, Chloraromaten, Carbonsäuren, PCD, PCDF	CKW, Aldehyde, Aromate, Chloraromaten, Carbonsäuren, gesättigte und ungesättigte KW, PCD, PCDF

COCl₂ = Phosgen, KW = Kohlenwasserstoffe, CKW = Chlorkohlenwasserstoffe, PAK = Polycyclische Kohlenwasserstoffe, PCD = Furane, PCDF = Dioxine

Davon werden als krebserregend eingestuft:

Arsen, Asbest, Quarz, Schwefelsäure, Ruß, Furan, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Phosgen, Chlorkohlenwasserstoffe, Furane und Dioxine

Tabelle 2: Vorkommen häufiger Atemgifte

Atemgift	Vorkommen	gefährliche Konzentration
Kohlenmonoxid (CO)	bei allen unvollständigen Verbrennungen	25 - 70 g brennbarer Stoff m ³ Raum (0,2 Vol.% CO)
Blausäure (HCN)	Brände in der Chemie- oder Textilindustrie, bei Bränden von Federn	200 - 300 g Polyurethan - Weichschaum je m ³ Raum (0,01 Vol.% HCN)
Chlorwasserstoff (HCl)	Brände von PVC, z.B. Kabellager und Fußbodenbelag	4 - 8 g PVC je m ³ Raum (0,004 Vol.% HCl)

PVC: Penevenylchlorid, Polyurethan : PU-Gruppe

2.2 Eigenschaften von Atemgiften

Atemgifte können zu dauernden oder kurzzeitigen Gesundheitsschäden des betroffenen Menschen oder seiner Nachkommen führen oder direkt zum Tod führen (Bild 3). Atemgifte können fest, flüssig oder gasförmig sein, als reiner Stoff oder Stoffgemisch auftreten und durch direkten Kontakt mit Haut, Augen und Schleimhäuten in den Körper gelangen, aber auch durch Verschlucken und Einatmen.

Atemgifte können eine der folgenden schädigenden Eigenschaften besitzen:

- brennbar und explosionsgefährlich,
- giftig,
- ätzend oder reizend,
- allergieauslösend,
- krebserzeugend,
- fruchtschädigend oder erbgutverändernd,
- umweltgefährlich.

Die Atemgifte bedrohen alle Lebewesen in ihrem Wirkungsbereich. Die Art und Stärke der gefährlichen Wirkungen dieser Stoffe auf den Menschen bestimmen vor allem deren Eigenschaften, die Höhe von Konzentration und Einwirkdauer, sowie die Reaktionsfähigkeit mit anderen Stoffen, z. B. Luftsauerstoff und Löschmittel.

Auf Grund des unterschiedlichen physikalischen Verhaltens der Atemgifte und ihrer verschiedenen chemischen Reaktionsfähigkeiten besitzen diese gefährlichen Stoffe unterschiedliche Eigenschaften. Viele Atemgifte besitzen mehrere Eigenschaften. Einige Atemgifte erhalten bei besonders hohen Konzentrationen die Fähigkeit, die Haut zu schädigen oder durch die Haut in den Körper einzudringen. Zu den hautschädigenden Atemgiften gehören solche mit Reiz- und Ätzwirkung, z. B. Ammoniak. Zu den hautresorptiven gehört eine Reihe von Atemgifte mit Wirkung auf Blut, Nerven und andere Zellen, z. B. Benzol.

Merke:

Die für den Schutz des Lebens wichtigste Haupteigenschaft ist die Wirkung der Atemgifte auf den Menschen. Atemgifte teilt man nach Wirkung auf den Menschen in drei Gruppen ein:

- Atemgifte mit erstickender Wirkung,
- Atemgifte mit Reiz- und Ätzwirkung und-
- Atemgifte mit Wirkung auf Blut, Nerven und andere Zellen.

2.3 Atemgifte mit erstickender Wirkung:

Diese Stoffe oder Stoffgemenge sind keine Gifte im eigentlichen Sinne. Sie besitzen keine giftigen oder aggressiven Eigenschaften. Sie wirken nur in relativ hohen Konzentrationen. Die erstickende Wirkung entsteht durch Sauerstoffverdrängung aus der Einatemluft oder Sperrung der Sauerstoffzufuhr zu den Lungen. Dadurch kommt es zu Sauerstoffmangel in der Einatemluft und Sauerstoffmangelerscheinungen im Körper.

Nur durch einen speziellen Nachweis mit entsprechenden Nachweis - oder Messgeräten kann festgestellt werden, ob der Sauerstoffanteil zu hoch oder zu niedrig ist.

Praxistipp:

Der real vorhandene Sauerstoffgehalt lässt sich auch ohne Messgerät am Erscheinungsbild des Brandes erkennen. Die Flamme erlischt und der Brand geht zum Glutbrand über beim Absinken des Sauerstoffgehaltes auf unter 15 Vol.-%

Es entsteht nicht nur eine Flamme, sondern es ist - je nach Sauerstoffangebot - eine mehr oder weniger intensive Rauchentwicklung festzustellen. In diesen Rauchgasen befinden sich neben Brandrauch aerosolen (Ruß) und diversen Verbrennungsprodukten auch teilweise verbrannte Substanzen (Pyrolyseprodukte) und unverbrannte Brennstoff-Moleküle. Dies ist grundsätzlich bei allen brennbaren Stoffen so.

2.4 Atemgifte mit Reiz- und Ätzwirkung:

Sie greifen menschliches Gewebe an der Oberfläche an und verursachen schwere Entzündungen und Zerstörungen des betroffenen Gewebes, z.B. Schleimhäute der Atemwege und das Lungengewebe. Ihre Wirkung verstärkt sich bei fehlender oder unzureichender Entgiftung. Durch die vorhandene Feuchtigkeit in den Atemorganen können diese Stoffe und Stoffverbindungen mit aggressiven Wirkungen sogar Lungenödem verursachen. Je nach Konzentration dieser Stoffe können bis zu akuten Symptomen sogar 1-2 Tage vergehen.

Atemgifte mit Reiz- und Ätzwirkung lassen sich in zwei Gruppen einteilen (siehe Tabelle 3): wasserlöslich (Soforttyp - deutlich sinneswahrnehmbar) und wasserunlöslich (Latenztyp - nicht sinneswahrnehmbar). Vor allem die Latenztypen wirken gefahrerhöhend. Auf Grund ihrer fehlenden Erkennbarkeit können

- geringe Konzentrationen längere Zeit Gewebeoberflächen ätzen bis eine Schmerzreaktion auf deren Wirkung hinweist. Da kann aber das Gewebe schon aufgebrochen und gewuchert (Krebs) sein.
- größere Konzentrationen Zellwände zerstören bis eine Funktionsstörung der Zellen eintritt und eine Heilung aussichtslos ist.

Tabelle 3: Eigenschaften und Vertreter der Atemgifte mit Reiz- und Ätzwirkung

Charakteristik	Wasserlöslich (Soforttyp)	Wasserunlöslich (Latenttyp)
Kontaktstellen mit dem Organismus	feuchte Gewebestellen, z.B. Schleimhäute der Atemwege	gesamte Oberfläche der Atemorgane
Auslösung Atemschutzreflex	sofort nach dem ersten Einatmen infolge extremer Reizung der oberen Atemwege (stark sinneswirksam)	keine selbstständige Auslösung (sinnesunwirksam), oft erst nach längerer Zeit bemerkbar
typische Vertreter	Ammoniak (NH ₃) Chlor (Cl ₂) Schwefeldioxid (SO ₂) Säuredämpfe	Phosgen (COCl ₂) Nitrose Gase

Wasserlösliche Atemgifte mit reizender Wirkung können an feuchten Stellen der Feuerwehrschutzkleidung anhaftend in Lösung übergehen und die Stoffoberfläche schädigen. Fehlende oder mangelnde Reinigung verstetigen diesen Prozess.

2.5 Atemgifte mit Wirkung auf Blut, Nerven und andere Zellen

Zu dieser Gruppe gehört eine große Anzahl von verschiedenen wirkenden Atemgiften. Eine Einteilung in Gruppen ist nicht mehr möglich. Die meisten Vertreter wirken bereits in geringsten Konzentrationen giftig und können in diesen Bereichen durch die menschlichen Sinnesorgane noch nicht wahrgenommen werden. Sie werden über die Atmungsorgane in das Blut aufgenommen, von wo aus sie den Sauerstofftransport im Blut beeinträchtigen, in anderen Körperorganen schädigend wirken oder eine direkte Nervenschädigung bewirken.

- **Blutgifte:**

bewirken u.a. Störungen der Sauerstoffaufnahme von der Lunge (Alveolen) aus in das Blut und beeinträchtigen den Sauerstofftransport, z.B. Kohlenmonoxid CO.

Es ist das wohl häufigste Atemgift dieser Gruppe.

CO ist

- ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas
- nahezu gleichschwer wie Luft
- bereits in geringen Mengen giftig
- brennbar, im Bereich zwischen 12 und 75 Vol.-% sogar explosiv
- mit bis zu 300 mal größeres Bindungsbestreben an die roten Blutkörperchen als Sauerstoff ausgestattet, wodurch Aufnahme und Transport von Sauerstoff im Körper blockiert werden und zu den in Tabelle 4 dargestellten Symptomen, letztendlich zur so genannten "inneren Erstickung", führt.

Hinzu kommt, dass sich der Abbau des aufgenommenen CO aus den Organismus sehr langsam vollzieht.

In 4 Stunden kann durchschnittlich nur 50 - 60 % des aufgenommenen CO abgebaut werden. Eine weitere Gefahr durch das CO besteht durch seine Brennbarkeit. Durch sein großen Zündbereich (12 - 75 Vol.-%) kann es jederzeit zu einer, je nach Konzentration mehr oder weniger heftigen Entzündung kommen.

Tabelle 4: Symptome bei ausgewählten CO-Konzentrationen

CO - Konzentration [Vol %]	Symptome
0,005	keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten
0,01	nach mehreren Stunden leichte Kopfschmerzen
0,05	nach mehreren Stunden starke Kopfschmerzen, Schwindel und Neigung zu Ohnmacht
0,15	Tod nach 30 min
0,4	Tod nach wenigen Minuten durch Atemlähmung und Herzversagen

- **Nervengifte:**

beeinflussen oder lähmen Nerven oder ganze Nervensysteme, in dem sie Steuer- oder Regelfunktionen im Körper stören. Typische Vertreter sind Kohlenwasserstoffe, wie Benzine und Benzole. Diese Flüssigkeiten können als Dampf eingeatmet u.a. zu Kopfschmerzen, Rauschzuständen, Halluzinationen, Gesichtsröte, Erregung, Krämpfen, Herzrhythmusstörungen und Atemlähmung führen. Viele Vertreter verbleiben mit jahrelangen Halbwertzeiten im Körper. So kann deren Gefahrenpotential lange vergiftend wirken. Forschungen ergaben, dass diese Stoffe auch eine erhebliche Beschleunigung für ungehindertes Zellwachstum (Krebs) z. B. in der Leber bewirken. Darüber hinaus verfügen viele dieser Stoffe noch durch ihre großen Explosionsbereiche und niedrigen Siedepunkte ein erhebliches Gefahrenpotential. Eine Sonderstellung nimmt das Kohlendioxid ein. In Anteilen unter 8 Vol.-% wirkt es erstickend, darüber führt es zur Lähmung des Atemzentrums und so zu Bewusstlosigkeit und Tod.

- **Zellgifte:**

verhindern Sauerstoffabgabe in das oder aus dem Blut. Vertreter dieser Gruppe wirken hautresorptiv, z. B. Cyanwasserstoff HCN. Cyanwasserstoff ist normalerweise eine farblose Flüssigkeit, von der ein typischer Bittermandelgeruch ausgeht. Doch auf Grund ihres niedrigen Siedepunktes (ca. 26 °C) entwickelt die Flüssigkeit schon bei niedrigen Temperaturen Dämpfe. Der Flammpunkt von Cyanwasserstoff liegt unter - 20 °C. Der Zündbereich liegt von 4 - 45 Vol %. Es wirkt bereits bei 10 ml/m³ gesundheitsschädigend. Die Lösung von Cyanwasserstoffdämpfen in Wasser bezeichnet man als Blausäure. HCN ist ein sehr starkes Atemgift. Es kann neben den Atem- und Verdauungsorganen auch über die Haut aufgenommen werden kann. Es wirkt unmittelbar in den einzelnen Körperzellen, in dem es die Sauerstoffaufnahme für den Stoffwechsel verhindert. Ähnlich wie bei CO kommt es zum inneren Erstickten. Cyanwasserstoff tritt vorwiegend bei der Verbrennung stickstoffhaltigen Kunststoffen auf, die in fast allen Wohn- und Industriebereichen verwendet

Tabelle 5: Zusammenfassung der Eigenschaften von Blausäure HCN

Eigenschaft	Merkmale
Sinneswirksamkeit und Entstehungsursachen	riecht je nach Konzentration deutlich nach bitteren Mandeln, entsteht bei Verbrennung von Kunststoffen
toxische Wirkung	Hochschädliches Zellgift, blockiert den Stoffwechsel und die Sauerstoffaufnahme der Zellen
physikalische Wirkung	Verätzt Oberflächen aller Art

Die hautresorptive Eigenschaft bewirkt auch das nahezu schwammartige Aufsaugen dieser Atemgifte in die Oberflächen der Feuerwehrsutzkleidung. Diffundieren sie dann durch die Schutzkleidung kann es zu Kontakt mit der Haut der Einsatzkraft und so zum Eindringen in deren Körper führen. Dadurch ist eine direkte Schädigung der Feuerwehrleute bei hohen Konzentrationen dieser Atemgifte an der Einsatzstelle oder mangelnder Reinigung der Feuerwehrsutzkleidung die Folge.

Zur Einsatznachbereitung von Einsätzen zur Brandbekämpfung zählt auch die gründliche Reinigung der Feuerwehrsutzkleidung und der übrigen benutzten Persönlichen Schutzausrüstung.

Praxistipps:

- Feuerwehrsutzkleidung muss nach Vorgeben der Hersteller dieser PSA gereinigt werden. Dazu benötigt man spezielle Waschmaschinen und Trockner.
- Die Reinigung der Feuerwehrsutzkleidung in Haushaltwaschmaschinen gefährdet die Personen im Haushalt und die Gebrauchseigenschaften der Kleidung.

3 Brandrauch

3.1 Grundlagen

Ein Brand lässt sich auch als „Chaosreaktion“ beschreiben, bei welcher die vorhandenen brennbaren Stoffe in eine nicht unmittelbar überschaubare Zahl von Umwandlungsprodukten überführt werden. Das dabei entstehende Gemisch kann in allen Einzelheiten nicht nachvollzogen werden. Der Verbrennungsvorgang läuft im Grunde nach folgender Darstellung ab:

Merke:

Kurzform des Verbrennungsvorganges ist

brennbarer Stoff + Luftsauerstoff + Zündenergie = Verbrennungsprodukte + Energie

Ein Teil der Verbrennungsenergie wird für Pyrolyse- und Crackvorgänge verbraucht, bei denen die brennbare Substanz zu niedermolekularen Bruchstücken abgebaut wird. Letztere können wiederum in der Flammenhitze über Radikalmechanismen zu neuen Verbindungen weiterreagieren. Gas- und dampfförmige Verbrennungsprodukte ergeben das Brandgas.

Begriff

Die Brandgase sind gasförmige Gemische aus bei Bränden entstehenden Oxiden, inerten Anteilen und Pyrolyseprodukten. Brandgas kann Vertreter aller Gruppen an Atemgiften enthalten.

Bestandteile von Brandgasen können z. B. Acrolein, Ammoniak, Benzol, Blausäure, Bromwasserstoff, Fluorwasserstoff, Formaldehyd, Isocyanate, Kohlenmonoxid, Nitrose Gase, Phosgen, Salzsäure, Schwefelsäure und Stickstoffdioxid sein.

Begriff

Brandrauch entsteht als Brandfolge und besteht aus Brandgasen und Schwebstoffen. Schwebstoffe können unverbrannte oder teilverbrannte Stoffteilchen, Flüssigkeitströpfchen Asche, Ruße und Dämpfen sein. Sie alle verteilen sich im heißen Brandgas und schweben darin infolge ihres thermischen Auftriebes. Brandrauch lässt sich vereinfacht folgendermaßen darstellen: Brandgas + Schwebstoffe + Thermik = Brandrauch.

Bei Bränden kann der Brandrauch heute über 5.000 verschiedene giftige und ätzende Stoffe enthalten. Deshalb bezeichnet man den Brandrauch auch als „Giftcocktail“. Schon einige Atemzüge davon können genügen, um den Menschen zu töten. Je nach Brennstoff kann neben dem besonders gefährlichen Blut- und Nervengift Kohlenmonoxid auch Blausäuregas, Ammoniak, Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid entstehen. Feste Teilchen im Rauch können z.B. Ruß, Holzkohle oder Flugasche sein. Wenngleich sich der Brandrauch im Zeitalter der Kunststoffe aus einer Vielzahl von Komponenten zusammensetzt, so ist dennoch das Kohlenmonoxid der bei weitem gefährlichste Bestandteil. Die Menge des gebildeten Rauches hängt ebenso wie seine Zusammensetzung von dem brennenden Stoff ab.

Durch die heute verwendeten Materialien, vorwiegend unterschiedliche Kunststoffe, hat der Brandrauch eine hohe toxische Wirkung. In bestimmten Situationen kann man die Wirkung des Brandrauches mit der Wirkung eines chemischen Kampfstoffes vergleichen. Meist sterben die Brandopfer nicht durch die Flammen, sondern an den Folgen einer Rauchgasvergiftung.

Brandrauch besteht neben Rußpartikeln, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Ultragiften wie Dioxine und Furane. Heute sind über 5.000 giftige Substanzen, die der Brandrauch enthalten kann. Dazu zählen u.a.

- Aceton, Acetaldehyd und Äther wirken betäubend und verursachen Übelkeit und Erbrechen. - Formaldehyd reizt die Augen und erschwert die Atmung.
- Crotonaldehyd führt zum Glottisödem, bei dem der Kehlkopf blitzartig anschwillt. In den meisten Fällen hilft hier nur noch ein sofortiger Kehlkopfschnitt um den Erstickungstod zu verhindern.
- Bei Bränden von PVC, z. B. in Fußböden und elektrischen Kabeln, kann Phosgen entstehen, einer der schlimmsten Kampfstoffe, den die Menschheit je entwickelt hat. Dieser zerstört die Schleimhaut der Lunge, wodurch sich die Lunge mit Lympfflüssigkeit füllt. Das Opfer ertrinkt an seiner eigenen Körperflüssigkeit.
- Findet der Brand unter Sauerstoffmangel statt, enthält der Brandrauch unvollständig verbrannte gasförmige Verbrennungsprodukte, vor allem Kohlenmonoxid CO, das häufigste und ein sehr gefährliches Atemgift.

Merke

Vollständige Verbrennungen können nur unter Laborbedingungen ablaufen, nur so lässt sich das stöchiometrische Gleichgewicht der Verbrennungsreaktion erreichen.

Wenn man alle Stoffe aufzählen wollte, die sich in 1 m³ Brandrauch eines Zimmerbrandes mit ungehinderter Brandausbreitung nach etwa 10 Minuten befinden, würden mehrere Seiten nicht ausreichen. Es gibt derzeit auch kein tragbares Messgerät, welches so eine Stoffpalette nachweisen könnte. Aus diesem Grund beschränkt man sich bei der Einschätzung von Brandrauch auf Leitsubstanzen.

Begriff

Leitsubstanzen sind die Stoffe, die qualitativ und quantitativ die Toxizität des Brandrauches maßgeblich beeinflussen. Dazu zählen vor allem Kohlenmonoxid, Zyanwasserstoff, Chlorwasserstoff und Formaldehyd.

Leitsubstanzen sind in der vfdB Richtlinie 10/03 „Schadstoffe bei Bränden“ aufgezählt.

3.2 Gefährlichkeit des Brandrauches

Einzelne Bestandteile des Brandrauches können bereits in geringer Konzentration tödlich wirken. In erster Linie hängt die Gefährlichkeit des Brandrauches vom Brennstoff sowie von der Brandphase ab. Jeder Brand bildet einen unterschiedlichen Brandrauch bezüglich Rauchmenge und Rauchzusammensetzung und den sich daraus ergebenden Wirkungen hinsichtlich Toxizität, Chemischer Wirkung, sichtbehindernder Wirkung, Wärmetransport und Durchzündungsfähigkeit.

- **Toxische Wirkung**

Bei der Verbrennung entstehen zahlreiche toxische Gase, die erst bei einer 200-fachen Verdünnung eine unmittelbare Gesundheitsgefährdung ausschließen lassen. Der Brandrauch ist ein regelrechter Giftcocktail von Vertretern aller Gruppen der Atemgifte. Er enthält je nach Brandstoff und Abbrandbedingungen

- die vor allem für die Giftigkeit des Brandrauches verantwortlichen Oxide und diverse flüchtige Verbrennungsprodukte, wie CO₂, CO, SO₂, NO_x, HCN, HCl und NH₃. So nehmen z. B. bestimmte Mischungen aus diesen Atemgiften Betroffenen die Orientierungsfähigkeit. Das kann bewirken, dass die Menschen Flucht- und Rettungswege nicht mehr finden und damit im Gefahrenraum lebensgefährlich bedroht verbleiben, die Verletzungsgefahr an gefährlichen Stellen zunimmt, und Einsatzkräfte mehr Zeit zum Erfüllen ihres Einsatzauftrages benötigen.
- Pyrolyse- bzw. Crackprodukte, also durch thermische Spaltung unter Sauerstoffmangel erzeugte Substanzen, wie CH₄, C₂H₆, C₃H₈ und C₄H₁₀. Diese und CO sind vor allem für die Brennbarkeit des Brandrauches zuständig.
- Langzeitgifte, wie Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Dioxine und Furane, die an Ruß und Brandaerosolen anhaften. Diese Stoffe erfordern wegen ihrer gefährlichen, vor allem lang anhaltenden und krebserregenden Giftwirkungen besondere Maßnahmen, z. B. Sanierungsmaßnahmen der betroffenen Brandabschnitte und exakte Reinigung der Feuerweherschutzbekleidung und der übrigen Persönlichen Schutzausrüstung der Einsatzkräfte. So ist z. B. bekannt, dass Dioxine mit Halbwertszeiten von 10 Jahren sich im Fettgewebe der Leber absetzen und die Wirtszellen zersetzt.

- **Chemische Wirkung**

Brandrauch kann über 5.000 gefährliche Stoffgruppen, Stoffe und Stoffrudimente enthalten. So bilden z. B. die im Brandrauch enthaltenen Säureanhydride, die selbst in Bauteile diffundieren können, in Verbindung mit dem Löschwasser noch lange nach dem Brand aggressive Reagenzien, die Sofort- und Langzeitschäden verursachen. Auch eine bloße Verunreinigung durch den Brandrauch kann Objekte empfindlich schädigen. Bekannt ist z. B. das Chlorwasserstoff mit Löschwasser zu Salzsäure wird.

Beispiel:

1995 stürzte in Berlin eine Halle ein, in der drei Tage zuvor der Brand eines PVC-Kabellager bekämpft werden musste. Die dabei entstandene Salzsäure hatte die tragenden Teile der Halle zermürbt.

- **Sichtbehindernde Wirkung**

Durch die im Brandrauch enthaltenen Aerosole und Rußpartikel wird Licht absorbiert und dadurch die Sicht stark eingeschränkt bis verhindert (Bild 15). Die Rußpartikel des Brandrauches reduzieren auch die Fähigkeit, Farben und Kontraste z. B. von Fluchtwegbeschilderungen unterscheiden zu können. Bei zunehmender Reizung des Auges durch Brandrauch nimmt auch die Sehschärfe ab. Besonders hoch ist die Sichtbehinderung bei Bränden von Kunststoffen. So können z. B. bei geschäumten Kunststoffen bis über 3000 m³ Rauchgas pro kg Kunststoff entstehen.

Die vorhandene Sichtweite hat einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten des Menschen.

Durch Sichtbehinderung geht die Orientierung verloren, was die Fluchtmöglichkeit für Personen und das Auffinden des Brandherdes und den Löscheinsatz durch die Feuerwehr erschwert oder verhindert. Es wurde ermittelt, dass die Sicht im Durchschnitt erst bei einer Verdünnung von 1 : 1400 wieder klar wird.



Hinweis zum Verhältnis Sichtweite - Verhalten des Menschen:

- *mehr als 20 m Sichtweite: Wohlbefinden*
- *10 bis 15 m Sichtweite: Unsicherheit*
- *weniger als 10 m Sichtweite: aufkommende Panik*
- *Läuft der Mensch in einer Rauchgasschicht, bestimmt die Sichtweite die Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung V_1 . Sie beträgt z. B. bei 15 m Sichtweite etwa 1,2 m/s, bei 5 m Sichtweite dagegen nur noch 0,5 m/s.*
- *die Umkehrwahrscheinlichkeit (Person läuft im Kreis) beträgt bei 10 m Sichtweite nur 10 %, bei 0,5 m aber bereits 70 %.*

- **Wärmetransport durch Rauchgase**

Durch diesen physikalisch als Konvektion bezeichneten Vorgang wird Energie durch den Brandrauch vom Brandherd wegtransportiert. Rauch kann sich schnell und meist ungehindert ausbreiten. Brandrauch kann so auch in großer Entfernung vom Brandherd Personen verletzen, Gebäudeteile oder Gegenstände aufheizen und damit beschädigen oder sogar in Brand setzen. Auch Personen oder Gegenstände, die nicht vom Rauch umschlossen sind, können durch die Wärmestrahlung aus einer über ihnen schwebenden heißen Rauchschicht verletzt bzw. zerstört werden.

- **Durchzündungen der Rauchgase (Flash Over)**

Die bei der Verbrennung entstehende Wärme kann Gas- oder Dampfmoleküle in Abhängigkeit von der vorhandenen Temperatur mehr oder weniger spalten. Wenn dies unter Abwesenheit von Sauerstoff bzw. Sauerstoffmangel stattfindet, spricht man von einer Pyrolyse. Dabei werden, wie beim Erdöl, langkettige Moleküle gecrackt, wobei kurzkettige Pyrolysegase wie Methan, Ethan, Propan und Butan entstehen. Dieser Vorgang ist nicht nur bei Kunststoffen feststellbar, sondern in ähnlicher Weise auch bei Kohle und Holz. Damit hat man beispielsweise früher Stadtgas bzw. Holzgas erzeugt. Pyrolysegase werden bei Anwesenheit von Sauerstoff sofort vollständig verbrannt. Wenn jedoch ein Sauerstoffmangel eintritt, sind sie im Verein mit dem dann ebenfalls in verstärktem Maße gebildeten Kohlenmonoxid die beste Voraussetzung für ein zündfähiges und sogar explosives Brandgasgemisch. Diese unvollständig verbrannten, gasförmigen Verbrennungsprodukte sind meist bereits bei Temperaturen über 400°C

zündfähig. Sobald Luftsauerstoff Zutritt findet, z.B. durch das Öffnen von Türen, können sie dann schlagartig durchzünden. Die dabei entstehende starke Drucksteigerung und der extreme Temperaturanstieg unter Bildung von Stichflammen gefährdet Einsatzkräfte lebensbedrohlich und können zu schweren Gebäudeschäden führen. Je nach Konzentration und Schadstoffgemisch wird diese Zündung/Verbrennung schlagartig als eine Explosion mit einer erheblichen Druckwelle verlaufen. Diese Durchzündung wird als „Flash Over“ bezeichnet.

Je nach stofflichen Eigenschaften des Brandgutes und der Abbrandbedingungen können die entstehenden Gase, Dämpfe und Schwebstoffe aus mehr oder weniger stark konzentrierte Atemgiften und andere schädigende Stoffen bestehen. Bei der überwiegenden Anzahl der Brände befinden sich im Brandrauch Mischungen aus Vertretern aller schädigenden Stoffe mit unterschiedlichster Gefährlichkeit. Oft verstärken sich dadurch noch ihre Wirkungen. So ist z. B. bekannt, dass Kohlendioxid in gewissen Konzentrationsgrenzen die Atmung anregt. Wenn ungeschützte, im Brandrauch stehende Personen also Kohlendioxid einatmen, erhöht sich ihre Atemfrequenz. Dadurch gelangen in der gleichen Zeit mehr gefährliche Stoffe in ihre Atemorgane. Die vergiftende Wirkung erhöht sich.

Merke

Brandrauch kann den menschlichen Organismus erheblich schädigen. Bei vielen Bränden entstehen aus geringen Mengen brennbarer Stoffe große Mengen Atemgifte und andere schädigende Stoffe mit teilweise extremen Vergiftungspotentialen.

Welche Vielfalt an schädigenden Stoffen bei Bränden entstehen kann, enthalten die Tabellen 6 und 7.

Tabelle 6: Beispiele für die komplette Darstellung von Pyrolyse- und Verbrennungsprodukten im Brandrauch

Stoffe	Pyrolyse- bzw. Verbrennungsprodukte
Holz	Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO ₂), Wasser (H ₂ O), niedrige Alkohole und Aldehyde, Essigsäure, verschiedene Kohlenwasserstoffe
Wolle	CO, CO ₂ , H ₂ O, Ammoniak (NH ₃), verschiedene Kohlenwasserstoffe, Blausäure (HCN), Schwefelwasserstoffe
Polystyrol	CO, CO ₂ , H ₂ O, monomeres Styren, oligomere Styrole, Ethylbenzol, Alkene, Aldehyde, höhere Aromaten
Polyurethane	CO, CO ₂ , H ₂ O, NH ₃ , HCN, verschiedene Kohlenwasserstoffe, Amine, Nitrile, Aldehyde, Carbonsäure, Isocyanate
PVC	CO, CO ₂ , H ₂ O, Chlorwasserstoff, gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Chlorkohlenwasserstoffe wie z.B. Vinylchlorid
Phenolharz	CO, CO ₂ , H ₂ O, Formaldehyde, Ameisensäure, Phenol, Aldehyde

Tabelle 7: Wichtigste Zersetzungsprodukte verschiedener Stoffe

Chemische Bezeichnung	Kurzzeichen	Handelsname (Auszug)	wichtigste Zersetzungsprodukte
1. Thermoplaste			
Polyvinylchlorid	PVC	Hostalit, Vestolit, Mipolam, Astrolon, Trovidur, Supralen, Kautex u.a.	Salzsäure, Benzol und Folgegase
Polyethylen	PE	Hostalen, Lupolen, Trollen, Vestolen u.a.	CO, CO ₂ , sonstige
Polymethacrylsäureester	PMA	Plexiglas, Resartglas, Persprex, Plexigum u.a.	CO in großen Mengen, Spuren evtl. von C und Phosgen
Polyacrylnitrit	PAN	Orlon, Dralon u.a.	Blausäure, Ammoniak, Ammoniumcyanid
Polystyrol	PS	Stroop, Vestyron, Luren, Trolitul u.a.	Benzol und Folgegase
Polyamide	PA	Nylon, Perlon, Ultramid, Durethan, Supramid, Trogamid	Ammoniak, Aminverbindungen, Ameisensäure
Phenolharze (Phenolplaste)	PF	Bakelite, Eshalite, Resiform u.a.	Phenol, Formaldehyd
Harnstoffharze	UF	Ultras, Formica, Resopal, Iporka, Kauritleim	Harnstoffe - Ammoniak, Amine, Blausäure
Polyester	UP	Trevira, Diolen, Leguval, Palatal u.a.	CO, CO ₂ , C wenn zugesetzt
Kautschuk	---	---	Isopren u. Folgeprodukte, evtl. Schwefel, Chlorverbindungen
synthetischer Kautschuk	---	Buna S, Buna N, Butylkautschuk	Butadien, Benzol u. Folgeprodukte, Blausäure, Ammoniak, Schwefel u. Chlorverbindungen
Polyurethane	PUR	Moltopren, Desophen, Desmodur, Vollcollan	Ammoniak, Zyanate, Spuren von Blausäure
2. abgewandelte Naturstoffe			
Nitro-Zellulose		Zelluloid, Zellhorn	CO, Nitrose, Gase, Stickstoffe
Zelluloseacetat		Acetat-Seide, Rhodiafil u.a.	CO, Essigsäure
Kunsthorn		Galalith, Berolith, Esbriolith	Amine, Ammoniak, Formaldehyd

4 Brandruß

Brandruß kommt bei allen Bränden je nach vorhandenen Abbrandbedingungen mehr oder weniger stark vor.

Begriff

Brandruß ist Bestandteil des Brandrauches. Er entsteht bei allen unvollständigen Verbrennungen und besteht aus mikroskopisch kleinen, kugelförmigen Teilchen (Primärpartikel) in der Größe von bis zu 300 nm. Diese Primärpartikel können zu kettenförmiger Struktur heranwachsen, die sich bei Eignung zu Agglomeraten verbinden können.

Die Wirkung des Brandrußes entsteht durch seine chemische Zusammensetzung, die Größe und Form der Primärpartikel und die Einflüsse seiner übrigen Bestandteile. Brandruße kommen staubförmig und flockig vor und können so leicht von ungeschützt arbeitenden Einsatzkräften eingeatmet werden. Einen Teil dieser Brandruße sondern die Flimmerhäärchen oder Schleimhäute der betroffenen Personen aus, der Rest verbleibt in der Lunge. Der abgesonderte Teil kann mit Speichel zusammen verschluckt, abgehustet oder als Sekret aus dem Mund-Nasenbereich ausgestoßen werden.

Hinweis

Brandruße können verschiedenste Atemgifte und andere Schadstoffe adsorbieren. Beim Einatmen von Brandruß werden also auch immer verschieden Gifte inkorporiert.

Von Brandrußen häufig adsorbierte Atemgifte und Schadstoffe sind z. B. anorganische Substanzen wie Salze und Metalle, organische Substanzen wie Kohlenwasserstoffe, Halogen-, Stickstoff- und anderen Verbindungen, vor allem aber polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK), chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe (PCB), halogenierte Dioxine und aromatische Amine. Untersuchungen ergaben, dass diese lang wirkenden Ultragifte an Brandrußen in großen Mengen vorkommen. Bis zu mehreren Prozentanteilen haften sie am Ruß an, z. B. Benzo(a)pyren (BaP), der mit am stärksten krebserregende PAK, mit etwa 5 % aus. Dioxine kommen immerhin noch bis zu 0.0001 % vor.

Brandruße können in der Brandphase und der anschließenden Zeit der so genannten kalten Brandstelle

- von ungeschützten Personen eingeatmet werden und dann den Körper vergiftend wirken
- an der Persönlichen Schutzausrüstung anhaften und die intensiv kontaminieren.

Gegenüber anderen Stoffen haben die an Brandrußen hafteten gefährlichen Stoffe ein höheres Gefahrenpotential. So wurde z. B erforscht, dass der an Brandruß von Kunststoffbränden anhaftende Stoffe BaP (Benzo(a)pyren, eines der gefährlichsten PAK) in vergleichbaren Mengen (1 Mikrogramm Schadstoff je m³ Atemluft) doppelt so schnell zu Krebs führt wie Cadmium, 1000 mal giftiger als Arsen ist und knapp 10.000 mal sicherer zu Lungenkrebs führt wie Asbeststaub. Die Werte zeigen weiter, dass z. B., dass das gefährlichste Dioxin (das 2, 3, 7, 8-TCDD) etwa 20mal stärker kanzerogen eingeschätzt wird als BaP.

Außer der Eigenschaft, im Menschen Krebs zu erzeugen, verursachen die am Brandruß anhaftenden Stoffe weiterer chronischer Belastungen, z. B. solche, die zu Immunschwächen führen und zu Hauterkrankungen.

Beispiele

Nach dem Brand eines Kunststofflagers in Lengerich (4./5.10.1992), dem Flughafenbrand in Düsseldorf am 11.4.1996, dem Vinylchlorid (VC)-Transportunfall Schönebeck mit Abbrand mehrerer Waggons (1.6.1996), dem Brand in der U-Bahn in Bonn (3.8.1996) u.a. Großbränden durchgeführte Untersuchungen belegen, dass Brandruß ein gewaltiges Gefahrenpotential darstellt und sehr stark zu Kontaminationsverschleppung führt.

Achtung

Untersuchungen von Dr. Spindler und die Meta-Analyse von Le Masterset (2006) ergaben z. B., dass Personen mit Brandrauchvergiftungen erheblich höhere Dioxinwerte aufwiesen wie andere Personen. Darauf aufbauende Forschungen lieferten 2016 neue Erkenntnisse

- zu teilweise sehr langen Halbwertszeiten von Blutgiften und Langzeitgiften, der für Menschen gefährlichen Zusammensetzungen von Brandgasen und Leitsubstanzen
- zu toxischen Wirkungen von Brandrauch und gefährlichen Eigenschaften der Brandruße
- über eine exorbitante Steigerung der Krebserkrankungen von Prostata und Blase bei schwedischen Feuerwehrleuten, die im Bereich Atemschutzwerkstatt arbeiten.
- zu wahrscheinlichem Krebsrisiko für multiple Myelome, Non-Hogkin Lymphom und Prostata
- zu möglichem Krebsrisiko für Hoden, Haut, Gehirn, Enddarm, Lippe, Mundhöhle und Rachen, Magen, Kolon, Leukämie

Die DGUV plant deshalb für 2017 und 2018 ein großes Forschungsprogramm zur toxischen Belastung von Feuerwehrleuten durchzuführen und die vfdb Ref. 8 beginnt eine Richtlinie zu „Reinigung und Desinfektion von PSA“ zu entwickeln.

Tabelle 8: Belastung verschiedener Brandruße mit Dioxine und PAK *)

Brandort, Probe	Dioxin TEQ [ng TEQ/m ²]	EPA-PAK [mg/m ²], [mg/kg]	BaP [mg/m ²]	PAK TEF [TEF/m ²], [mg TEF/kg]
Lengerich	2,0	0,0222	0,0009	0,0017
Flughafen Düsseldorf	51.800	4986	264	489
Bahnunfall Schönebeck	31.900	580	47	56
U-Bahn Bonn	1,5	0,266	0,0104	0,016

Während nahe am Brandzentrum die höchsten Konzentrationen und Faktoren gefunden werden, fallen Konzentrationen und Faktoren in größerer Entfernung ab. Bei allen untersuchten Bränden dominieren die PAK das kanzerogene Potential der Brandruße. Ihr Potential ist bis zu 500mal größer als das der Dioxine. Dazu zählen Brände von Kunststoffartikeln genauso wie solche von Holz. Verschiedene Toxikologen haben diese Betrachtungen überprüft und kommen zu den gleichen Ergebnissen: „Resümierend muss das kanzerogene Risiko durch PAK in Brandrückständen und Brandgasen weitaus höher als das durch Dioxine eingeschätzt werden. Es sind also die PAK am gefährlichsten. Sie entstehen bei allen Bränden.“

Tabelle 9: Zusammenfassung der Wirkungen von Ruß

Wirkung	Gefahren des entstehenden Rußes
allgemeine Wirkungen	verursacht hohe Sachschäden, legt sich bei einem Brand auf Oberflächen in der Umgebung ab und haftet dort an, gute Haftungsmöglichkeiten auf Oberflächen, führt leicht zu Kontaminationsverschleppung.
toxische Wirkungen	keine giftige Wirkung, funktioniert aber als Transporter für giftige Brandprodukte einschließlich Ultragifte.
physikalische Wirkungen	verklebt und verschleimt ungeschützte Atemwege und Lungen und kann so zu Atemnot oder dem Erstickungstod führen, kann Ausatemventile an Atemanschlüssen verkleben, Adhäsionskräfte lassen giftige Stoffe am Ruß haften.