



Chemische Brandfolgeschäden

Teil I: Untersuchung und Bewertung



Abb. 1: Großbrand in einer Müllsortierungsanlage

gen gründliche Untersuchungen und aufwendige Sanierungsmaßnahmen gefordert, wie sie bislang nur bei Störfällen im industriellen Bereich üblich waren. So werden Fragen nach der Entstehung und Freisetzung brandbedingter Schadstoffe und deren Auswirkungen auf die unmittelbar Betroffenen bzw. auf die an der Schadenstelle tätigen Personen gestellt und eine vollständige Entfernung und sachgerechte Entsorgung dieser Schadstoffe verlangt.

Das IFS beschäftigt sich seit über 20 Jahren mit dieser Thematik und stellt sich dabei den gewachsenen Anforderungen. Aufgabenschwerpunkte sind hier:

- ▶ die Untersuchung und Bewertung von Brandfolgeschäden im Hinblick auf gesundheitsgefährdende und korrosive Schadstoffe,
- ▶ die Erarbeitung geeigneter Sanierungskonzepte auf der Basis der Meßergebnisse und der individuellen Bedingungen vor Ort,
- ▶ das Erstellen von Arbeitsschutzmaßnahmen für das auf der Brandstelle tätige Sanierungspersonal und
- ▶ das Aufzeigen geeigneter Entsorgungsmöglichkeiten für die zerstörten bzw. unbrauchbar gewordenen Gegenstände und Materialien unter Berücksichtigung der jeweiligen regionalen Anforderungen und Vorschriften.

Der folgende Artikel widmet sich diesen Brandfolgeschäden, wobei damit ausschließlich chemische Brandfolgeschäden gemeint sind. Thermische Schäden an der Bausubstanz bleiben unberücksichtigt. In Teil I geht es um die Untersuchung und Bewertung solcher Brandfolgeschäden. Hier werden die wichtigsten Schadstoffgruppen und ihre Eigenschaften vorgestellt, die Vorgehensweise bei der Untersuchung der Schadenstelle beschrieben und die Bewertungskriterien zusammengefaßt. Der zweite Teil gibt einen Überblick sowohl über die derzeit gängigen als auch über die neu auf den Markt gekommenen Sanierungsverfahren. Es werden die Möglichkeiten und Grenzen, aber auch die Kosten der einzelnen Verfahren aufgezeigt.

Einleitung

Jährlich ereignen sich in Deutschland mehr als eine halbe Million Brandschäden aller Art. Dazu zählen Brände in Zimmern, Wohnungen und Häusern bis hin zu Großbränden im gewerblichen oder industriellen Bereich (**Abb. 1**) mit einem Gesamtschadenvolumen in Milliardenhöhe. Neben den reinen Sachschäden kommt es oftmals auch zu Personenschäden, meist in Form von Rauchgasvergiftungen. In Einzelfällen sind sogar Menschenleben zu beklagen, wie vor etwa einem Jahr bei dem spektakulären Brand auf dem Düsseldorfer Flughafen, bei dem 17 Menschen in den toxischen Rauchgasen erstickten.

Bei der überwiegenden Zahl aller Schäden handelt es sich jedoch um kleinere Brände mit ausschließlichem Sachschaden. Früher beschränkte sich hier das Hauptaugenmerk auf die Wiederherstellung des Zustandes vor Schadeneintritt und auf die Beseitigung der Brandrückstände. Heute hingegen werden aufgrund eines gewachsenen Umweltbewußtseins in der Bevölkerung und der verschärften gesetzlichen Bestimmun-

Chemische Brandfolgeprodukte

Entstehung, Ausbreitung und Verteilung

Bei Bränden handelt es sich um Störfälle, die unkontrolliert ablaufen und oft weitreichende Auswirkungen mit sich bringen: Menschen und Tiere kommen zu Schaden, Gebäude, Anlagen und Inventar werden zerstört, Luft, Boden und Gewässer werden mit giftigen Substanzen verschmutzt usw. Im Verlauf eines Brandes wird aus oft unbedenklichen Stoffen eine unüberschaubare Zahl von z.T. toxischen, umweltgefährdenden und korrosivwirkenden Verbindungen gebildet, deren Gefahren vielfach nur schwer zu erkennen und zu bewerten sind. Zusätzlich können belastetes Löschwasser oder Chemikalien und Flüssigkeiten aus defekten Rohrleitungen und Behältern im Boden versickern und das Grundwasser gefährden.

Insbesondere zwei Brandschäden aus den vergangenen Jahren sind hier zu erwähnen. Es ist dies zum einen die Brandkatastrophe von Sandoz im Jahr 1986, bei der ein Lager mit hochgiftigen Agrarchemikalien brannte; toxische Stoffe gelangten mit dem Löschwasser in den Rhein und führten zu einem Fischsterben großen Ausmaßes. Ein weiterer Großschaden ereignete sich im Oktober 1992 in Lengerich. Hier verbrannten etwa 800 t Kunststoffe, darunter auch PVC. Das Schlagwort „Dioxine“ sorgte tagelang für Verunsicherung und Besorgnis.

Ein Verbrennungsvorgang ist ein komplexer, chemisch-physikalischer Prozeß, der folgendermaßen definiert ist (nach DIN 14011, Teil 1):

„Brennen ist eine mit Flamme und/oder Glut selbständig ablaufende exotherme Reaktion zwischen einem brennbaren Stoff und Luft oder Sauerstoff.“

Zunächst muß der „brennbare Stoff“ auf seine Zündtemperatur erhitzt werden, um einen Brand auszulösen. Ferner müssen „brennbarer Stoff“ und Sauerstoff im richtigen Mengenverhältnis vorliegen, um ein selbständiges Weiterbrennen zu ermöglichen. Die Verbrennung kann durch folgendes Schema charakterisiert werden:

Brennbarer Stoff + Luftsauerstoff → Verbrennungsprodukte + Energie

Die bei der Verbrennung freiwerdende Energie kann für zusätzliche Pyrolyse- und Crackvorgänge verbraucht werden, bei denen die brennbare Substanz zu niedermolekularen Bruchstücken abgebaut wird. Aus diesen sogenannten Crackprodukten können in der Flamme neue Verbindungen gebildet werden. Auf diese Weise entsteht aus einer Vielzahl brennbarer Ausgangsstoffe durch den unkontrolliert ablaufenden Verbrennungsvorgang eine unüberschaubare Anzahl von Verbindungen, die sogenannten Brandfolgeprodukte, mit ihren bereits erwähnten z.T. toxischen, umweltgefährdenden oder korrosiv wirkenden Eigenschaften. Ein Großteil dieser Verbindungen ist stofflich noch nicht vollständig identifiziert und charakterisiert.

Die Bildung der verschiedenen Brandfolgeprodukte vollzieht sich in unterschiedlichen Temperaturbereichen bzw. Brandzonen (**siehe Tabelle 1**).

Im Bereich von 100 - 300 °C werden unter thermischer Einwirkung aus dem Gemisch der brennbaren Stoffe zunächst Wasser, Halogenwasserstoffe, Cyanwasserstoff bzw. Blausäure, Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid sowie Monomere aus den Kunststoffpolymeren abgespalten. Dabei werden die brennbaren Stoffe – auch Brandlast genannt – teilweise abgebaut. Diesen Vorgang bezeichnet man als Pyrolyse oder trockene Destillation. So entsteht beispielsweise Chlorwasserstoff aus PVC-haltigen Materialien wie Kabelisolierungen, Kunststoff-Fußbodenbelägen und Kunststoff-Fenstern. Blausäure bildet sich bei der Zersetzung von stickstoffhaltigen Kunststoffen wie Polyurethan oder Naturprodukten wie Wolle; Schwefelwasserstoff und Schwefeldioxid entstehen u.a. aus gummihaltigen Werkstoffen.

Bei ansteigender Temperatur im Bereich von 300 - 400 °C werden aus den organischen Verbindungen Bruchstücke abgespalten. Hier kommt es zur Bildung von Methan, Ethanol, Formaldehyd, um nur einige zu nennen.

Im Temperaturbereich zwischen 500 - 600 °C findet ein weiterer Abbau organischer Substanzen statt. Hier entstehen durch Crackung vor allem Kohlenwasserstoffe mittlerer Kettenlänge (C₇ – C₁₀),



Benzol, Aromaten, halogenhaltige Aromaten und Phenole.

In Konkurrenz zu diesen Abbauprozessen, bei denen die Brandlast thermisch zersetzt wird, finden im Temperaturbereich von 400 - 700 °C zahlreiche Synthesereaktionen statt, bei denen neue Produkte gebildet werden. So entstehen hier u.a. Verbindungen wie die Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und die polyhalogenierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PHDD/PHDF).

Bei einem idealen Brandverlauf mit genügend Sauerstoffzufuhr verbrennt ein Großteil dieser Verbindungen bei Temperaturen >800 °C zu Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasser, Stickoxiden usw. Unter Sauerstoffmangelbedingungen, wie sie bei einem Schwelbrand vorliegen, verlassen diese z.T. hochtoxischen Verbindungen gemeinsam mit den Rauchgasen den unmittelbaren Brandbereich, gelangen ins Freie oder kondensieren beim Abkühlen auf den Gebäude- und Inventaroberflächen. Die thermisch mehr oder weniger zerstörten Ausgangsstoffe bleiben als sogenannte Brandrückstände im unmittelbaren Schadenbereich zurück.

Umgebung verteilt und durch das Vermischen mit Luft verdünnt werden. Beim Abkühlen der Rauchgase kommt es zur Ausscheidung von Rußpartikeln und Rauchkondensat auf den Gebäude- und Inventaroberflächen im Bereich der Schadenstelle und ihrer Umgebung. Diese Rauchgasniederschläge enthalten ebenso wie die Rauchgase eine Vielzahl toxischer Verbindungen, wie Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polyhalogenierte Biphenyle und polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PHDD/PHDF). Darüber hinaus werden auch hohe Anteile an flüchtigen Aromaten wie Benzol, Halogenbenzole und Phenole vorgefunden. Da diese Verbindungen in der Regel an Rußpartikel adsorbiert bzw. kondensiert sind, ist ihre Mobilität erheblich eingeschränkt. Im Gegensatz zu den Brandgasen, deren Ausbreitung hauptsächlich über den Luftpfad erfolgt, können die auf der Brandstelle verbliebenen Brandrückstände über den Wasserpfad in die Umgebung transportiert werden. Insbesondere eingesetztes Löschwasser kann zu ihrer Auslaugung führen. Schadstoffe können so in die Abwasserkanalisation gelangen oder auf einem nicht befestigten Untergrund im Boden versickern und möglicherweise das Grundwasser belasten. Die Brandrückstände bestehen im wesentlichen aus Zersetzungsprodukten und Resten der brennbaren Ausgangsstoffe und enthalten neben Schlacke und Asche eine große Zahl giftiger Stoffe und Zwischenprodukte. Hier finden sich auch zahlreiche Metall- und Schwermetalloxide.

Die Entstehung und Verteilung von Brandfolgeprodukten basiert auf äußerst komplexen und vielfach nicht vollständig geklärten Vorgängen, die von folgenden Faktoren abhängen:

- ▶ Art und Menge der brennbaren Ausgangsverbindungen.
- ▶ Brandbedingungen, wie Sauerstoffmangel oder ausreichende Sauerstoffzufuhr.
- ▶ Möglichkeit der Abführung des Brandrauches, z.B. durch zerstörte und geöffnete Dächer und Wände.

Diese Faktoren bestimmen den Brandverlauf und letztlich auch das Ausmaß der Schadstoff-Kontamination.

Temperaturbereich / [°C]	Bildung von
100 – 300	H ₂ O, HX (X=Halogen), HCN, H ₂ S, Monomere aus Kunststoffpolymeren
300 – 400	Methan, Ethan, Formaldehyd, Essigsäure, etc.
500 – 600	KW mittlerer Kettenlänge, Aromaten (Benzol, Phenole, halogenhaltige Aromaten)
400 – 700	PAK, Dioxine, etc
> 800	Gasförmige Oxide (CO ₂ , CO, NO _x , SO ₂)

Tabelle 1: Bildungsprozesse in den verschiedenen Temperaturzonen

Hauptverteilungswege für Verbrennungsprodukte und Brandrückstände sind der Luft- und der Wasserpfad. Die gasförmigen, flüssigen und festen Verbrennungsprodukte verlassen die heiße Flammenzone größtenteils als Bestandteile der abströmenden Rauchgase. Durch den Wind können sie dann in ihrer

Die wichtigsten Brandfolgeprodukte

Im Zuge der Brandbekämpfung spielt die Toxizität insbesondere der Rauchgase bzw. ihrer akut toxischen Bestandteile Kohlenmonoxid und Blausäure für den Personenschutz der Einsatzkräfte von Feuerwehren, Rettungsdiensten usw. eine bedeutende Rolle. Auf der erkalteten Brandstelle hingegen ist die langsame aber permanente Aufnahme hochgiftiger Stoffe in sehr geringen Mengen und über längere Zeiträume besonders für das Sanierungspersonal von großer Bedeutung. Neben dem beim Brandgeschehen entstandenen Ruß, der für sich genommen bereits ein Gesundheitsrisiko birgt, sind besonders die krebserregenden Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie die Polychlorierten Biphenyle (PCB) und Dioxine (PCDD/PCDF) zu beachten. Aber nicht nur gesundheitsgefährdende Stoffe müssen hier erwähnt werden, sondern auch Substanzen mit einer schädigenden Wirkung für Bauteile, Betriebseinrichtungen und Vorräte. Hier sind in erster Linie die korrosionsfördernden Chloride, die sich beim Kondensieren von Chlorwasserstoff auf den Gebäude- und Inventaroberflächen bilden, von Interesse.

Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Bei den toxischen Schadstoffen werden die Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe als Leitsubstanzen angesehen, da sie bei der Verbrennung aus nahezu allen organischen Verbindungen durch Kondensation von Kohlenstoffketten in der Flamme im Temperaturbereich zwischen 400 und 700 °C entstehen. Vor allem eine sauerstoffarme und brennstoffreiche Flamme begünstigt die Bildung dieser stabilen aromatischen Verbindungen. Aufgrund ihrer besonderen Stabilität besitzen sie eine hohe Lebensdauer und schlagen sich beim Abkühlen der Rauchgase an Ruß und Brandrückständen nieder.

PAK gelten als krebserregend und krebserregend. Sie besitzen aufgrund ihrer hohen Siedepunkte (ca. 300 - 500 °C) und niedrigen Dampfdrucke (10^{-7} - 10^{-12} bar bei 20 °C) allerdings eine äußerst geringe Mobilität. So kondensieren sie im Brandfall außerhalb der heißen Flammen- und Glutzonen zusammen mit anderen Stoffen an Rußpartikeln, die sich auf kühleren Oberflächen niederschlagen. Deshalb sind Polycyclische Aromatische

Kohlenwasserstoffe auf erkalteten Brandstellen fast ausschließlich in den Rauchgasniederschlägen und Brandrückständen enthalten. Eine Aufnahme durch den Körper ist durch direkten Hautkontakt, oral oder inhalativ möglich. Bei entsprechendem Schutz während der Aufräum- und Sanierungsmaßnahmen (Tragen von Schutzkleidung und Partikelschutzhalbmasks, Vermeidung von Staub- und Rußaufwirbelung) kann eine Kontamination weitgehend vermieden werden. Durch das vollständige Entfernen der Rauchgasniederschläge bzw. des Rußes werden auch die PAK entfernt. Eine Gefährdung von Menschen ist dann nicht mehr gegeben.

Gemäß VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung gilt ein Sanierungsziel von $<100 \mu\text{g}/\text{m}^2$ in der Summe von 16 Verbindungen nach einer Vorschrift der amerikanischen Umweltbehörde EPA (EPA = Environmental Protection Agency).

Polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PHDD/PHDF)

Weitaus größere Beachtung bei Brandschäden wird häufig den polyhalogenierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen, umgangssprachlich als „Dioxine und Furane“ bezeichnet, geschenkt. Es handelt sich ebenso wie bei den PAK um kondensierte aromatische Verbindungen, jedoch besitzen Dioxine und Furane bis zu 8 Chlor- oder Bromatome im Molekül. Anzahl und Stellung der Chlor- und Bromatome führen dazu, daß es 210 verschiedene chlorierte und ebenso viele bromierte polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane gibt. Berücksichtigt man außerdem noch die gemischt halogenierten Verbindungen, so erhöht sich die Zahl der möglichen Kongenere auf über 5000.

Dioxine und Furane sind nahezu unlöslich in Wasser, jedoch gut löslich in Fetten und organischen Lösemitteln. Sie stellen schwerflüchtige hochsiedende Flüssigkeiten oder Feststoffe mit sehr niedrigen Dampfdrücken dar und sind aus diesem Grund allenfalls in den heißen Rauchgasen dampfförmig vorhanden. Auf erkalteten Brandstellen kondensieren sie – in Analogie zu den PAK – an Ruß und Brandrückständen.

Unter den vielen möglichen Kongeneren gelten die mit 4 und mehr Halogenatomen und Bindung der Halogenatome an den Kohlenstoffatomen 2,3,7 und 8 als besonders toxisch. Am giftigsten ist das



2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin, das sogenannte Seveso-Dioxin, das in der Gefahrstoffverordnung ab einer Konzentration von 0,002 mg/kg als krebserzeugend nach § 35 (3) eingestuft ist. Große Mengen an PHDD/PHDF können zur Chlorakne führen; die Aufnahme kleiner Mengen über längere Zeiträume kann zur Anreicherung im Fettgewebe, zu Leber- und Stoffwechselstörungen führen sowie Krebs auslösen.

Bei Brandschäden können Dioxine und Furane aus halogenhaltigen Stoffen in Gegenwart von organischem Material in der Gasphase bei Temperaturen zwischen 400 und 700 °C gebildet werden. Die Bildungswahrscheinlichkeit hängt dabei stark von der Art und der Zusammensetzung der Ausgangsprodukte ab. Untersuchungen des Bundesgesundheitsamtes (BGA) haben ergeben, daß bei sogenannten Haus- und Wohnungsbränden, womit auch Büro- und Verwaltungsgebäude, Schulen und kleinere Gewerbebetriebe gemeint sind, Dioxinkon-

gen bei Wärmeeinwirkung in Dioxine und Furane überführt werden können. Hierzu gehören neben den erwähnten Polychlorierten Biphenylen (PCB) auch die polyhalogenierten Phenole und Diphenylether.

Da Dioxine und Furane auf der erkalteten Brandstelle überwiegend an Ruß und Brandrückständen gebunden vorliegen, ist ihre Mobilität und damit auch ihre biologische Verfügbarkeit – in Analogie zu den PAK – sehr gering. Bisher sind auf Seiten der Feuerwehr und anderer Personengruppen, die häufig mit Brandstellen zu tun haben, keine darauf zurückzuführenden berufsbedingten Krankheiten oder Krankheitssymptome bekannt.

In Deutschland gibt es derzeit keine einheitlichen Grenz- oder Richtwerte für Dioxine und Furane nach Brandschäden. Das ehemalige Bundesgesundheitsamt BGA und jetzige Umweltbundesamt UBA hat gemeinsam mit der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE Empfehlungen zur Minimierung der Exposition mit PCDD/F

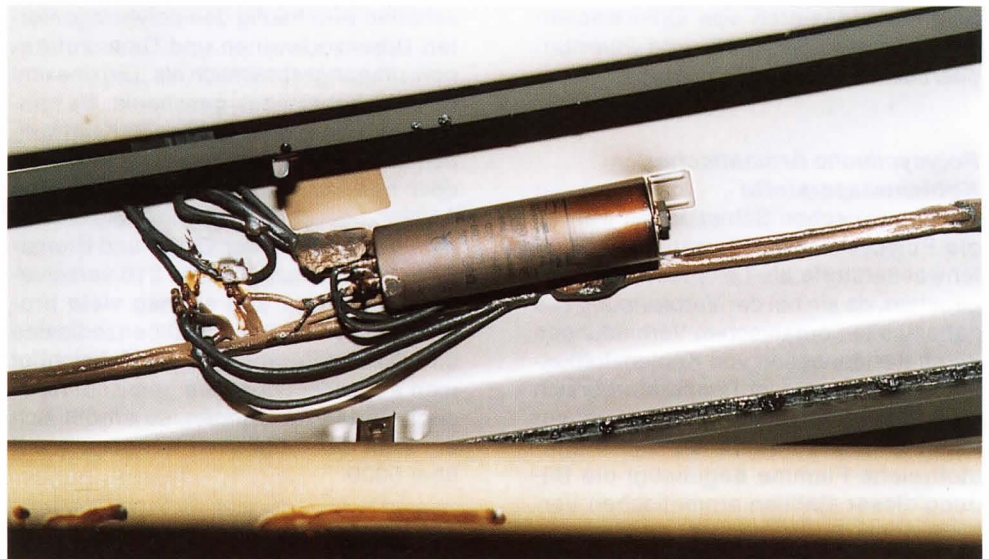


Abb. 2:
Ältere Kondensatoren,
wie in dieser Leuchte,
können „Prädiokine“ in
Form von PCB's
enthalten

zentrationen bis 200 ng TE/m² entstehen können. Erst in Gegenwart sogenannter „Prädiokine“, wie Polychlorierte Biphenyle in Transformatoren oder Kondensatoren (**Abb. 2**), Pentachlorphenol, das häufig als Holzschutzmittel verwendet wurde, oder beim Vorhandensein größerer Mengen an PVC, ist die Gefahr einer vermehrten Dioxinentstehung aufgrund der bereits in diesen Verbindungen vorliegenden verwandten Molekülstruktur größer. „Prädiokine“ sind solche Verbindungen, die durch einfache Umsetzun-

ausgesprochen. Demzufolge wird nach Brandereignissen ein sogenannter Innenraumschwellenwert von 10 ng TE/m² (Toxizitätsäquivalente nach Nato/CCMS (1)) formuliert, ab dem geeignete Sanierungsmaßnahmen zu ergreifen sind. Im Staatsanzeiger für das Land Hessen (1989 Nr. 51, S. 2549) ist für Dioxine und Furane bei Brandschäden ebenfalls dieser o.g. Richtwert festgelegt. Er wird dort als Eingriffsschwelle für Sanierungsmaßnahmen bezeichnet und gilt für Räume, die dem ständigen Aufenthalt

von Menschen dienen. In zahlreichen westeuropäischen Ländern bzw. in den Vereinigten Staaten wird nach Dioxinunfällen ebenfalls dieser Richtwert vorgegeben.

Man geht davon aus, daß durch das vollständige Entfernen der Rußniederschläge und Rauchkondensate auch die Schadstoffe quantitativ entfernt werden. Hilfestellung bei der Sanierung und Entsorgung bietet die „Anleitung zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden“, die als Empfehlung vom Bundesgesundheitsamt an die örtlichen Behörden ausgegeben wurde.

Halogenwasserstoffe und ihre Salze

Die bei einem Brandschaden wichtigsten Verbindungen mit einer korrosionsfördernden Wirkung (für bewehrte Bauteile, Metalloberflächen, verzinkte Lüftungskanäle, Maschinen und elektrische oder elektronische Geräte) stellen die Halogenwasserstoffe und ihre Salze dar. Halogenwasserstoffe werden bei der thermischen Zersetzung von organischen Halogenverbindungen bereits bei Temperaturen um 120 - 150 °C freigesetzt. Hierbei handelt es sich überwiegend um Chlorwasserstoff aus chlorhaltigen Kunststoffen oder chlorierten Lösemitteln. Aber auch Bromwasserstoff spielt eine gewisse Rolle; er wird aus bromorganischen Verbindungen freigesetzt, die wegen ihrer schwerentflammbaren Wirkung vielen Materialien beigemischt werden. Hauptverantwortlich für die Bildung von Chlorwasserstoff bei Bränden ist das Polyvinylchlorid (PVC). Es ist seit vielen Jahren auf dem Bausektor allgegenwärtig und Hauptbestandteil von Kunststoff-Fensterrahmen, Kunststoff-Fußbodenbelägen, Kunststoffbehältern, Abflußrohren und Kabelisolierungen. Der Anteil an Chlor in diesen Produkten beträgt je nach Gehalt von Pigmenten, Füllstoffen und Weichmachern bis zu 57 Gew.%.

Metallische Oberflächen werden durch die Beaufschlagung mit Chlorwasserstoff oder ähnlichen Verbindungen korrosiv angegriffen (Abb. 3), wobei es zur allmählichen Auflösung unedler Metalle, insbesondere Eisen, kommt. Dieser auslösende Korrosionsangriff, die Primärkorrosion, führt zu einer fortschreitend verlaufenden Korrosion, da das gebildete Eisenchlorid in Gegenwart von Wasser und Luftsauerstoff bzw. Luftfeuchtigkeit unter Rückbildung von Salzsäure

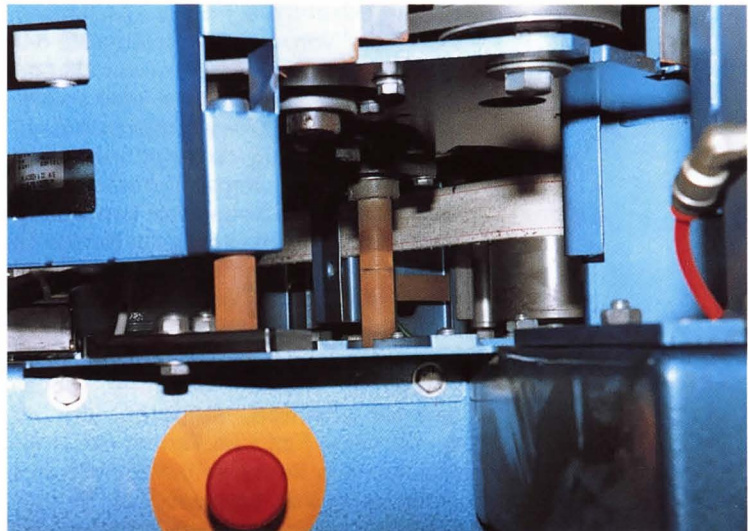


Abb. 3: Korrosionen an der Oberfläche mechanischer Stahlteile einer Wäschereimaschine nach einem Brandschaden

weiter oxidiert und hydrolysiert wird. Bei dieser fortschreitenden Korrosion wird die auslösende Salzsäure nicht verbraucht, sondern lediglich in der wachsenden Menge an Korrosionsprodukten verdünnt. Für die Bewertung von Halogenwasserstoffbeaufschlagungen auf metallischen Werkstoffoberflächen sind in der VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung Richtwerte für die Sanierung angegeben. Der korrosiv-kritische Richtwert der Chloridkonzentration beträgt 10 µg/cm² Metalloberfläche. Er orientiert sich an Chloridbelastungen, wie sie häufig auch ohne Brandschaden vorgefunden werden.

Bei der Halogenwasserstoffbeaufschlagung von zement- und kalkgebundenen Baustoffen findet zunächst auf der Oberfläche eine Neutralisationsreaktion unter

Rauchkondensat-beaufschlagte Porenbeton-Deckenplatten und Stahlbeton-Träger über dem Umkleideraum einer Sporthalle

Abb. 4: Sporthalle





Bildung des entsprechenden Calciumsalzes statt. Von möglichen Brandfolgeschäden betroffen sind hier die armierten Bauteile aus Stahl-, Spann- oder Leichtbeton (**Abb. 4**). Erst wenn das Halogenid bis zur Bewehrung vordringt und dort in entsprechenden Konzentrationen vorliegt, kann es in Gegenwart von Sauerstoff und Feuchtigkeit zu einer Korrosion führen. Hierzu kann eine erhöhte Luftfeuchtigkeit in den Porenräumen der Betonmatrix ausreichen. Wegen der Inhomogenität der Betonmatrix können lokal verstärkte Korrosionsangriffe, sogenannter Lochfraß, auftreten und im schlimmsten Fall zum Verlust der Tragfähigkeit des Bauteils führen. Auch hier nennt die VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung einen Richtwert für die Chloridkonzentration, der im Falle von schlaff bewehrtem Stahlbeton mit 0,06 Gew.%, bezogen auf den Beton, angegeben ist. Er ist als Durchschnittswert in der Betondeckung, d.h. in einer Schicht zwischen Betonoberfläche und Bewehrungslage, zu verstehen. Dieser Richtwert basiert auf dem Bindevermögen des Zements gegenüber Chlorid und stellt eine theoretische Kenngröße dar. Sanierungsziel ist das Unterschreiten dieses Grenzwertes.

gruppierung der Schadenstelle oder Bereiche einer Schadenstelle in vier mögliche Gefährdungsbereiche vorsieht.

- ▶ Bei den Gefährdungsbereichen GB 0 und GB 1 handelt es sich um kleinere Brände im Haus- und Wohnungsbereich mit Beteiligung geringer Mengen an chlor- oder bromorganischen Stoffen. Das Hinzuziehen eines Sachverständigen wird in solchen Fällen als nicht erforderlich angesehen.
- ▶ Anders wird dies bei den Gefährdungsbereichen GB 2 und GB 3 gesehen. Hier ist aufgrund des Brandbildes mit einer nennenswerten Schadstoffkontamination bzw. der Beteiligung größerer Mengen giftiger Stoffe im Sinne der Gefahrstoffverordnung zu rechnen. Ein Sachverständiger ist unbedingt einzuschalten.

Behördliche oder sonstige Auflagen

Bei größeren Brandschäden gibt es häufig seitens der Behörden oder anderer Institutionen (z.B. Umweltbehörde, Gewerbeaufsichtsamt, Bauamt, Berufsgenossenschaften) Auflagen oder Vorgaben, die von allen mit der Schadenabwicklung betrauten Personen und Firmen einzuhalten sind. Für den mit der Untersuchung der Brandfolgeschäden beauftragten chemischen Sachverständigen ist es angezeigt, von Anfang an Kontakt zu diesen Stellen aufzunehmen. So kann er beispielsweise bei Entsorgungsfragen mit der zuständigen Behörde klären, ob und in welchem Umfang zeitaufwendige Brandschutt-Analysen durchzuführen sind. Die Regelungen für die Entsorgung von Brandschutt können von Kommune zu Kommune sehr unterschiedlich sein. Bestehen grundsätzliche Auflagen seitens dieser Stellen, so können diese von Beginn an berücksichtigt werden. Die für den jeweiligen Schadenort relevanten Entsorgungswege sind in der Regel den beauftragten Entsorgungsfirmen bekannt.

Versicherungsrelevante Aspekte

Ferner ist für den chemischen Sachverständigen eine Kenntnis der bestehenden Versicherungsverhältnisse unerläß-

Untersuchung und Bewertung der Kontaminationen durch Brandfolgeprodukte

Begehen der Brandstelle

Hinzuziehen eines chemischen Sachverständigen

Um sich nach einem Brandschaden einen Überblick über die Gesamtzahl der am Brand beteiligten Stoffe (Brandlast) und die möglicherweise daraus gebildeten Schadstoffe zu verschaffen, sollte möglichst bald nach Abschluß der Löscharbeiten eine Begehung der Schadenstelle durchgeführt werden. Voraussetzung hierfür ist, daß die Ermittlungsbehörden – sprich die zuständige Polizeidienststelle – die Brandstelle nach Abschluß der Ermittlungen zur Brandursache freigegeben haben. Wenn bei einem Brand Personen zu Schaden gekommen sind oder ein besonderes öffentliches Interesse an der Brandstelle besteht, kann eine Freigabe verzögert werden. Der erste Überblick soll eine Entscheidung darüber vorbereiten, ob ein chemischer Sachverständiger hinzuzuziehen ist, um eine analytische Untersuchung der Schadstoffe durchzuführen. Hilfestellung kann hier die VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung geben, die eine Ein-

lich. Hierdurch läßt sich klären, welche Versicherungsverhältnisse durch den eingetretenen Schaden tangiert werden. Liegt beispielsweise lediglich eine Gebäudeversicherung vor, bleiben Schäden am Inventar oder an der Betriebseinrichtung oft unberücksichtigt. Im Fall einer Betriebs-Unterbrechungs-Versicherung (BU-Versicherung) sollten die einzuleitenden Sofortmaßnahmen mit dem Versicherer abgestimmt und ihre Durchführung vom Sachverständigen begleitet werden.

Aufnahme des Schadenzustandes

Als erstes muß sich der Sachverständige einen Gesamtüberblick über die Schadenstelle verschaffen. Während dieser Begehung ist es deshalb erforderlich, den Schadenzustand und Umfang zu dokumentieren, wobei das Erstellen von Fotos sinnvoll ist, da sie häufig mehr aussagen als 1000 Worte. Unter bestimmten Voraussetzungen kann in Einzelfällen sogar eine Videoaufzeichnung zur Dokumentation des Schadenzustandes als optisch-akustische Gedächtnisstütze vor allem für die spätere Erstellung des Gutachtens nützlich sein. Es sollte dabei auch nicht vergessen werden, Schadenübergangsbereiche, in denen optisch keine Schäden durch direkte Brandeinwirkung oder Verrußung mehr feststellbar sind, zu dokumentieren (**Abb. 5**). Bei der Begehung komplexer Schadenstellen können Baupläne sehr hilfreich sein. Dabei geht man vom Brandherd aus, um von hier Art und Umfang der Schäden so-



Abb. 5: Hinter der Tür brannte ein Tonstudio aus. Der Bereich außerhalb wurde optisch nur gering in Mitleidenschaft gezogen

wie die Rauchgasbeaufschlagung in die unterschiedlichen Richtungen zu verfolgen. Wenn während des Brandes keine Lüftungsanlagen in Betrieb waren oder eventuell andere Umstände den Rauch in bestimmte Richtungen zwangen, steigt er aufgrund der Thermik nach oben (**Abb. 6**). Aus diesem Grunde bildet diejenige Etage eines Gebäudes, in der sich der Brandherd befindet, oft den tiefsten Punkt der Beaufschlagung durch Rauch-



Abb. 6: Rauchgase kondensieren aufgrund der Thermik vornehmlich im Deckenbereich, wie es auch hier im Fall eines Kellerbrandes in einer Klinik deutlich zu sehen ist



gase. Darunterliegende Etagen werden meist „nur“ von Löschwasserschäden betroffen. Weiterhin ist zu klären, ob gegebenenfalls Altschäden, wie beispielsweise ein früherer Brandschaden, vorhanden sind oder ob es Hinweise auf betriebs- oder produktionsbedingte Kontaminationen gibt, wie zum Beispiel ein Magnesiumchlorid-gebundener Estrichbelag, ob es sich um einen Betrieb handelt, der PVC verarbeitet oder Galvanikbäder betreibt, und vieles andere mehr. Abschließend sollte durch einen Gang um das Gebäude auch der Schadenzustand von außen festgestellt werden. Bei der Begehung der Schadenstelle sollte eine Verschmutzung nicht schadenbetroffener Bereiche nach Möglichkeit vermieden werden.

Vorhandene Brandlasten

Sowohl für die Beurteilung der Brandfolgeschäden als auch für die Auswahl der zu untersuchenden Schadstoff-Parameter zwecks Brandschutt-Analyse ist es erforderlich, Art und Menge der Brandlasten festzustellen. Hier geht es auch darum, besondere Gefahrenbereiche auffindig zu machen und einzugrenzen. Waren eventuell PCB-gefüllte Transformatoren oder Chemikalienlager am Brandgeschehen beteiligt? Wurden durch das Feuer Rohrleitungen oder Behälter beschädigt, aus denen gefährliche bzw. toxische Substanzen unkontrolliert austreten und womöglich im Erdreich versickern konnten? Verbrannten in größte-

rem Umfang chlorierte Stoffe (z.B. ein Lager mit PVC-haltigen Kunststoffen oder größere Kabelmengen mit PVC-Ummantelung (**Abb. 7**)) oder bestand die Brandlast vorwiegend aus Polyethylen-haltigen Kunststoffen? Von diesen und vielen anderen Fragen können Untersuchungsverlauf und -aufwand sowie das weitere Vorgehen abhängen. Es ist für den chemischen Sachverständigen möglich, durch einfache Vorproben an den Materialüberresten festzustellen, ob es sich dabei z.B. um Polystyrol oder PVC handelt.

Gefährdungseinschätzung für den Personen- und Sachschutz

Zu Beginn einer Untersuchung ist im Sinne des Personenschutzes zunächst von einer für die ermittelte Gefährdungskategorie maximalen Gefährdung auszugehen. Zwar ist bekannt, daß die toxischen Schadstoffe wie PAK und Dioxine auf der erkalteten Brandstelle fast ausschließlich an Rußteilchen gebunden vorkommen und damit die Hauptgefährdung von der Rußbeaufschlagung ausgeht. Doch sollten die für die jeweilige Gefährdungskategorie definierten Personenschutzmaßnahmen, wie sie in der VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung zusammengestellt sind, mindestens solange eingehalten werden, bis gegebenenfalls durch abgesicherte Analysenergebnisse Entwarnung gegeben werden kann. Der Grad einer möglichen Gefährdung läßt sich in vielen Fällen vom chemischen Sachver-



Abb. 7:
Gebündelt verlegte
Kabelstränge mit PVC-
Ummantelung setzen im
Brandfall große Mengen
an korrosiven und toxi-
schen Schadstoffen frei



Abb. 8:
Als schadenmindernde
Maßnahme nach einem
Wohnhausbrand wurde ein
provisorisches Notdach
errichtet

ständigen abschätzen, wenn Art und Menge der Brandlast bekannt sind.

Entscheidungen über Sofortmaßnahmen

In Schadenfällen, bei denen vorwiegend Gebäudeteile vom direkten Schadenfeuer betroffen wurden, andere Bereiche hingegen nur abgestuft beschädigt oder rauchgasbeaufschlagt wurden, ist vor allem schnelles Handeln erforderlich. Hier sollten möglichst rasch die nach dem Brand noch unbeschädigten Bereiche wirkungsvoll von den zu sanierenden Bereichen abgetrennt werden, um Schmutz-Verschleppungen und Schadstoff-Kontaminationen zu vermeiden. Wurden Dächer und Fenster beschädigt, in deren Bereichen sich noch Räume oder Inventar befinden, die nicht bzw. nur unwesentlich vom Schaden betroffen wurden, so sind hier sofort Notdächer aufzustellen, um ein Eindringen von Regenwasser usw. zu verhindern (**Abb. 8**). Maschinen, von denen angenommen werden kann, daß sie sanierbar sind, lassen sich mit sog. Korrosionsstopölen behandeln oder unter Folie und Verwendung von Trocknern einhausen, falls ihr Transport in trockene Räume nicht möglich ist. Löschwasser führt in Räumen zu einer erhöhten relativen Luftfeuchtigkeit und kann damit auch ohne Chlorwasserstoffbeaufschlagung an unbehandelten Metalloberflächen Korrosionen hervorrufen. Bevor z.B. Kondensationstrockner aufgestellt werden, sollten Löschwasser-

lachen z.B. unter Verwendung von Wassersaugern aufgenommen und die Räume – wie bereits erwähnt – möglichst dicht durch Notdächer und/oder Notfenster von der Außenatmosphäre abgetrennt werden. Heizungen und Wasserleitungen sind im Winter so vor Frost zu schützen, daß zusätzliche Schäden durch Rohrbrüche weitgehend ausgeschlossen werden können. Sofortmaßnahmen an Betonbauteilen sind nicht zwingend erforderlich. Beton, der beispielsweise mit Chlorwasserstoff beaufschlagt wurde, ist im Gegensatz zu Werkzeugmaschinen o.ä. auch später noch sanierbar, da mögliche Korrosionsfolgeschäden hier erst nach Jahren auftreten.

Festlegen des Untersuchungsumfanges

Auftraggeber und Sachverständiger stimmen in aller Regel den Untersuchungsumfang ab. Hierbei ist auch festzulegen, ob die Untersuchung Aussagen zur Korrosionsproblematik, zur toxischen Beaufschlagung, zur Sanierung und zur Entsorgung beinhalten soll. Bei der Beurteilung der toxischen Beaufschlagung sind die Anzahl und Art der Proben u.a. auch für die Kosten der Untersuchung ausschlaggebend. Um den Rauchgas-einzugsbereich einzugrenzen, ist in den meisten Fällen eine Untersuchung auf PAK oder auf Chloride ausreichend. Ist aber davon auszugehen, daß die Brandlast wesentliche Mengen an chlorierten organischen Verbindungen enthielt



Abb. 9:
Während nach dem Brand dieser Sporthalle aufgrund der thermischen Schäden die Träger entfernt werden mußten, konnten nach bauphysikalischer und chemischer Prüfung die Stützen erhalten werden

und/oder ein sehr sensibler Bereich, wie z.B. ein Krankenhaus, eine Schule, ein Kindergarten usw., von dem Schaden betroffen ist, sind PCDD/F-Analysen unumgänglich. Auch ist dann in solch sensiblen Bereichen eine Untersuchung nach Abschluß der Sanierungsarbeiten zu empfehlen, um den Reinigungserfolg zu überprüfen und auszuschließen, daß immer noch brandbedingte Kontaminationen vorliegen.

Hinzuziehen weiterer Sachverständiger

Erkennt z. B. der chemische Sachverständige Probleme, die besser von Sachverständigen anderer Fachbereiche beurteilt werden können, etwa thermische Schäden an der Bausubstanz, so wird er dem Auftraggeber empfehlen, einen Statiker zu Rate zu ziehen (**Abb. 9 und 9a**). Bei Vorhandensein von Asbest und in anderen Spezialfällen können weitere Sachverständige aus anderen Fachbereichen erforderlich werden.

Probenahme und Analytik

Probenahme

Die Proben zur Untersuchung auf gesundheits- und umweltgefährdende bzw. auf korrosionswirksame Substanzen nach Brandschäden werden in der Regel immer an Orten genommen, an denen sich die meisten Rußniederschläge und Rauchgaskondensate befinden, um das

größtmögliche Gefahrenrisiko beurteilen zu können. Von Bereichen höchster Beaufschlagung wird dann den Rauchdurchzugsstrecken gefolgt, um den räumlichen Umfang der Beaufschlagung und damit den gesamten Sanierungsumfang festlegen zu können. Zur Abgrenzung z.B. betriebsbedingter Kontaminationen von brandbedingten ist es häufig angezeigt, in nicht vom Brand betroffenen Bereichen Vergleichsproben zu entnehmen.

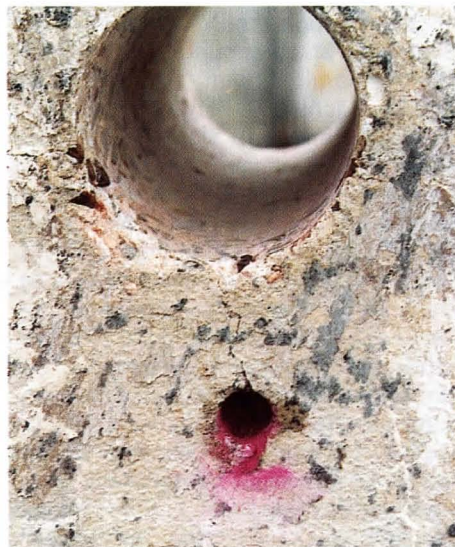


Abb. 9a: Bohrkern- und Bohrmehlentnahme an einer Stütze. Mit Phenolphthalein-Lösung wurde gleichzeitig die Betonalkalität überprüft

Wischproben/Kratzproben:

Wisch- und Kratzproben dienen zur Untersuchung sowohl auf toxische Stoffe (wie Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe und Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane) als auch auf korrosiv wirkende Substanzen wie Halogenwasserstoffe und ihre Salze. Sie werden von einer definierten Fläche genommen (**Abb. 10**). Wisch- und Kratzproben unterscheiden sich dadurch, daß bei der Wischprobe unter Zuhilfenahme eines geeigneten Lösungsmittels die Beaufschlagung vollständig aufgenommen

Bohrproben, die man mit Hilfe einer Schlagbohrmaschine gewinnt. Ein spezieller Bohrvorsatz ermöglicht hier, Bohrproben aus definierten Schichttiefen zu entnehmen (**Abb. 11/S. 20**). Auf diese Weise erhält man sogenannte Konzentrationsprofile, die den Verlauf der Chloridbelastung ins Bauteilinnere bis zur Lage der Armierung und gegebenenfalls darüber hinaus wiedergeben. Man erhält Aussagen über die Höhe der Chloridbeaufschlagung, über das Eindringverhalten und die Eindringtiefen. Darüber hinaus lassen sich am Verlauf des Profils



Abb. 10:
Wischprobennahme
von einer definierten
Metalloberfläche

wird, während bei der Kratzprobe häufig nicht nur die Oberflächenschicht mit den darin enthaltenen Rußniederschlägen und Rauchkondensaten abgetragen wird, sondern teilweise Wandanstriche oder Putzschichten mit abgehoben werden. Diese können die Analysenergebnisse oft wegen eigener Grundbelastungen an den zu untersuchenden Schadstoffen erheblich verfälschen. Deshalb ist es in solchen Fällen notwendig, eine Blindprobe von einem unbelasteten Wandbereich zu nehmen.

Bohrproben:

Eine Untersuchung der brandbedingten Chloridbeaufschlagung von Stahl- und Leichtbetonbauteilen erfolgt anhand von

auch herstellungsbedingte Chloride von brand- oder betriebsbedingten unterscheiden.

Materialproben:

Zur Klärung verschiedener Fragen ist es oft hilfreich, Materialproben von der Brandlast oder speziellen Baustoffen zu asservieren, um sie im Labor zu untersuchen. Hier läßt sich feststellen, ob es sich bei dem asservierten Material beispielsweise um PVC oder um einen anderen Kunststoff handelt, um herkömmlichen Estrich oder um Magnesiumchlorid-gebundenen Industrieestrich oder ob die Ablagerungen auf einer Materialprobe rußhaltig sind oder lediglich Staubablagerungen darstellen.



Abb. 11:
Probenahme mit einer
Schlagbohrmaschine
mit spezieller Vor-
richtung zur Entnahme
von geschichteten
Bohrmehlproben aus
Stahlbeton



Brandschutt- und Abwasserproben:
Für die Entsorgung des anfallenden Brandschuttes und/oder die Direkteinleitung von aufgefangenen Lösch- und Reinigungswässern können seitens der Behörden Brandschutt- und Abwasseranalysen gefordert werden. Hierzu ist eine repräsentative Brandschutt- bzw. Abwasserprobenahme erforderlich. Im Falle von Brandschutt wird von dem Material, das sich den definierten Abfallarten, wie z.B. Bauschutt, Metallschrott, Kunststoffen usw. nicht zuordnen läßt, mit Hilfe einer Schaufel rastermäßig über die gesamte Brandstelle verteilt Einzelproben entnommen und zu einer Sammelprobe vereinigt.

Analytik

Die Analytik der auf der Brandstelle entnommenen Wisch-, Bohr- und Materialproben erfolgt in aller Regel im Labor. So handelt es sich etwa bei der Untersuchung auf toxische Schadstoffe oder bei der Brandschutt- und Abwasseranalyse um aufwendige Analysenverfahren mit z.T. umfangreichen Probenaufbereitungen. Vor Ort sind deshalb häufig nur qualitative oder halbquantitative Vorproben möglich.

Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Bei der Bewertung der erhaltenen Analysergebnisse stehen dem chemischen Sachverständigen u.a. folgende Unterlagen zu Verfügung:

- ▶ VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung
- ▶ BGA-Empfehlung zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden
- ▶ Gefahrstoffverordnung
- ▶ Technische Regeln für Gefahrstoffe
- ▶ PCB-Richtlinie
- ▶ TA Abfall und TA Siedlungsabfall
- ▶ Regionale Abfall- und Einleitgrenzwerte

Für eine Beurteilung lassen sich die durchgeführten chemischen Untersuchungen in drei Gruppen unterteilen, nämlich in die Untersuchungen

- ▶ auf toxische Stoffe
- ▶ auf korrosive Stoffe
- ▶ und in die Untersuchung von festen und flüssigen Brandrückständen

Toxische Stoffe:

Gemessen werden hier in erster Linie die Konzentrationen an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F). Hierbei werden die Meßergebnisse den Sanierungszielen gegenübergestellt. Je nach Nutzung der Räume werden unterschiedliche Sanierungsziele hinsichtlich der Konzentrationen von Polychlorierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/F) formuliert. Während für Räume, die dem ständigen Aufenthalt von Menschen dienen, ein Innenraum-schwellenwert von 10 ng TE/m^2 festgelegt wurde (s.o.), nennt die VdS-Leitlinie zur Brandschadensanierung in Arbeits- und Produktionsräumen eine Konzentration $< 50 \text{ ng TE/m}^2$ sowie für Räume, die dem gelegentlichen Aufenthalt von Personen dienen, einen Wert $< 100 \text{ ng TE/m}^2$. Erfahrungsgemäß lassen sich durch Reinigen der Gebäudeoberflächen die Dioxinbelastungen weit unter die o.g. Grenz- und Richtwerte senken. Vergleichbares gilt für die Beaufschlagung von Oberflächen durch PAK, wobei das Sanierungsziel nach VdS-Leitlinie bei Werten unter $100 \text{ } \mu\text{g PAK/m}^2$ liegt.

Korrosive Stoffe:

Als Leitsubstanz für Beaufschlagungen korrosionsempfindlicher Oberflächen ist Chlorwasserstoff bzw. Chlorid anzusehen. Liegen die flächenbezogenen Chloridkonzentrationen über $10 \text{ } \mu\text{g Cl/cm}^2$ (korrosiv kritischer Richtwert auf metallischen Oberflächen nach VdS-Leitlinie), so ist bei einer relativen Luftfeuchte oberhalb 50 % eine erhöhte Korrosionsgefahr für unbehandelte Metalloberflächen gegeben. Hier werden sofort schadenmindernde Maßnahmen erforderlich. Bei erhöhten Chloridkonzentrationen im Stahlbeton sind in der Regel größere und zeit-

aufwendige Sanierungs- bzw. Baumaßnahmen nötig, die aber, anders als bei den beaufschlagten Oberflächen von Werkzeugmaschinen, nicht gar so schnell begonnen werden müssen. Bei der Beurteilung von möglichen Folgeschäden an Stahlbeton sind neben der Höhe der Chloridkonzentration, die nach der VdS-Leitlinie einen Wert von 0,06 Gew.% als Durchschnittskonzentration in der Betondeckung nicht überschreiten darf, weitere Faktoren, wie Betonüberdeckung, Carbonatisierungstiefe, umgebendes Klima usw., hinzuzuziehen.

Feste und flüssige Brandrückstände:

Für größere Mengen an Brandschutt ist häufig eine Analyse nach den von den zuständigen Behörden vorgegebenen Untersuchungsparametern erforderlich. Erst danach läßt sich der Brandschutt einem bestimmten Entsorgungsweg bzw. einer bestimmten Deponieklasse zuordnen. Neben TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall kommen für eine Beurteilung oftmals regional sehr unterschiedliche Parameter- und Grenzwertlisten zur Anwendung. Für geringe Mengen von Brandschutt aus normalen Büro- und Wohnungsbränden übersteigen die Analysekosten oft erheblich die Entsorgungskosten. In solchen Fällen können mancherorts auch mit den Behörden vereinbarte Sonderregelungen angewendet werden.

Eine Übersicht über die wichtigsten Grenz- und Richtwerte bei der Beurteilung von Brandfolgeschäden gibt **Tabelle 2/S. 22** wieder.

Festlegen von Sanierungszielen

Oberstes Ziel nach einer Beaufschlagung durch Rauchgase ist neben der Beseitigung sichtbarer Ruß- und Rauchgasverschmutzungen auf sämtlichen betroffenen Oberflächen die Einhaltung bzw. Unterschreitung vorgegebener Grenz- und Richtwerte. Werden die Sanierungs- und Reinigungsarbeiten so gründlich ausgeführt, daß keine sichtbaren Rußverschmutzungen zurückbleiben, dürfte dieses Ziel in aller Regel auch erreicht werden. Im Falle höherer Schadstoffbelastungen wird der Erfolg von Sanierungsarbeiten nach deren Abschluß kontrolliert. Dies kann häufig auch in besonders sensiblen Bereichen, wie Schulen, Kindergärten, Krankenhäusern und Altenheimen, der Fall sein. Bei erhöhter Chloridbeaufschlagung von zement- und



Schadstoff	Konzentration	Anmerkung	Quelle
HCl (Chlorwasserstoff)	1 – 9 µg Cl/cm ²	Nicht schadenbedingte Chloridbelastung an EDV-Geräten deutscher Großstädte, nach 1 - 3 Jahren Betriebszeit	Reletronic-Remech F-410-C3017-1
	> 10 µg Cl/cm ²	Korrosiv kritischer Richtwert auf Metalloberflächen	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung herausgegeben vom Verband der Schadenversicherer (VdS) 1994
	≥ 0,06 % Cl bezogen auf den Beton	Korrosiv kritischer Richtwert für schlaff bewehrten Stahlbeton	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung
	≥ 0,03 % Cl bezogen auf den Beton	Korrosiv kritischer Richtwert für Spannbeton	
PCDD/F	200 ng TEQ/m ²	bisher gefundene Maximalwerte bei Wohnungs-, Schul-, Büro-, Laden-, und Werkstattbränden	BGA Empfehlung zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden 1990
	1000 ng TEQ/m ²	beim Verschwellen von chlororganischen Verbindungen bisher aufgetretene Maximalwerte	BGA Empfehlung
	10 ng TE/m ²	Eingriffsschwelle für Sanierungsmaßnahmen in Räumen, die dem ständigen Aufenthalt von Menschen dienen	Staatsanzeiger für das Land Hessen Nr. 51 Seite 2549 1989
	≤ 50 ng TE/m ²	Sanierungsziel in Arbeits- und Produktionsräumen	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung
	≤ 100 ng TE/m ²	Sanierungsziel in Räumen für gelegentlichen Aufenthalt	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung
	≤ 0,001 mg/kg TE	Abfallgrenzwert (regional unterschiedlich)	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung
PAK Gesamtsumme der 16 PAK nach EPA 610	< 100 µg/m ²	Sanierungsziel	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung
	25 – 200 mg/kg	Abfallgrenzwert, für Hausmülldeponie (regional unterschiedlich)	VdS Leitlinie zur Brandschadensanierung

Tabelle 2: Die wichtigsten Grenz- und Richtwerte bei der Beurteilung von Brandfolgeschäden

kalkgebundenen Bauteilen und -stoffen sind ebenfalls durch spezielle Verfahren zur Chloridextraktion die Grenzwerte zu unterschreiten.

Erarbeitung von Sanierungs- und Arbeitsschutzkonzepten

Die Erarbeitung von Sanierungs- und Arbeitsschutzkonzepten orientiert sich grundsätzlich an der Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Neben der Höhe der festgestellten Kontamination spielen bei der Auswahl von geeigneten Sanierungsmaßnahmen selbstverständlich auch die Art und Zusammensetzung des Bauteils (Beton, Metall, Holz, Kunststoff,...), seine Oberflächenbeschaffenheit (glatt, rau oder porös), seine Oberflächenstruktur (vorstehende Teile, verwinkelte und schwer zugängliche Stellen) usw. eine Rolle. Der Sachverständige sollte soweit wie möglich die durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen begleiten. Bei Schwierigkeiten in der Durchführung werden durch Absprache zwischen Sachverständigem und ausführender Firma Problemlösungen erzielt, indem beispielsweise ohne Zeitverzögerung auf Alternativ-Methoden zurückgegriffen bzw. umgestiegen wird.

Zusammenfassung

Im Zuge der Beseitigung von Brandfolgeschäden entstehen den Versicherern jährlich Kosten in Milliardenhöhe. Aufgrund der vermehrten Kenntnis über die bei einem Brand gebildeten und freigesetzten Schadstoffe und angesichts des gewachsenen Umweltbewußtseins werden zunehmend teure und aufwendige Sanierungen nach einem Brandschaden gefordert. Die Aufgabe des chemischen Sachverständigen bei der Untersuchung und Bewertung von Brandfolgeschäden ist es, sich einen Gesamtüberblick von dem Schadenausmaß und der beteiligten Brandlast zu machen, chemische Untersuchungen über das Ausmaß toxischer und korrosiv wirkender Kontaminationen durchzuführen und anhand der Ergebnisse geeignete Sanierungs-, Entsorgungs- und Arbeitsschutzkonzepte zu erarbeiten. Auf diese Weise kann sowohl den gewachsenen Anforderungen an eine umweltgerechte Sanierung als auch einer Reduzierung der dafür notwendigen Kosten gleichermaßen Rechnung getragen werden.

Literaturverzeichnis (Teil I)

- [1] Günther Roßmann, Sanierung von Brandschäden Teil I: Gefahrstoffe nach Bränden, vfdb Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz, 4/96, S. 148 - 153.
- [2] Wolfgang Rotard, Gefahrstoffe nach Bränden - Sanierungsleitwerte, vfdb Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz, 4/96, S. 153 - 160.
- [3] K. Ballschmiter, R. Bacher, Dioxine: Chemie, Analytik, Vorkommen, Umweltverhalten und Toxikologie, VCH-Verlag Weinheim, 1996.
- [4] Sanierung von Brandschäden, Tagungsband der VdS-Fachtagung am 23. und 24.09.1996 in Köln.
- [5] Römpp Chemielexikon, 9. Aufl., Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- [6] Bundesgesundheitsamt, „Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden“, Bundesgesundheitsblatt 1/90, S. 32-34.
- [7] Verband der Schadenversicherer e.V. „Leitlinie zur Brandschadensanierung“, VdS 2357, 01.94 (01).
- [8] vfdb(2) -Richtlinie 10/03 Schadstoffe bei Bränden, Entwurf Mai 1996, vfdb Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz, 3/96, S. 134-142.
- [9] Fachverband Sanierung und Umwelt „Richtlinie für Sanierungsarbeiten nach Brand- und Wasserschäden, 1995.
- [10] PCB-Richtlinie, Fassung September 1994, Mitteilungsblatt der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., 2/95, Nr. 196.
- [11] Staatsanzeiger für das Land Hessen Nr. 51 1989, S. 2549 (Richtwerte für Dioxinkonzentrationen als Eingriffsschwelle für Sanierungsmaßnahmen).

U. Dorn, Dr. J.J. Duvigneau, S. Stief
Institut für Schadenverhütung und
Schadenforschung, Kiel

(1) Nato/CCMS
= North Atlantic Treaty
Organization of
Challenges of Modern
Society

(2) vfdb
= Vereinigung zur
Förderung des
Deutschen Brand-
schutzes e.V.