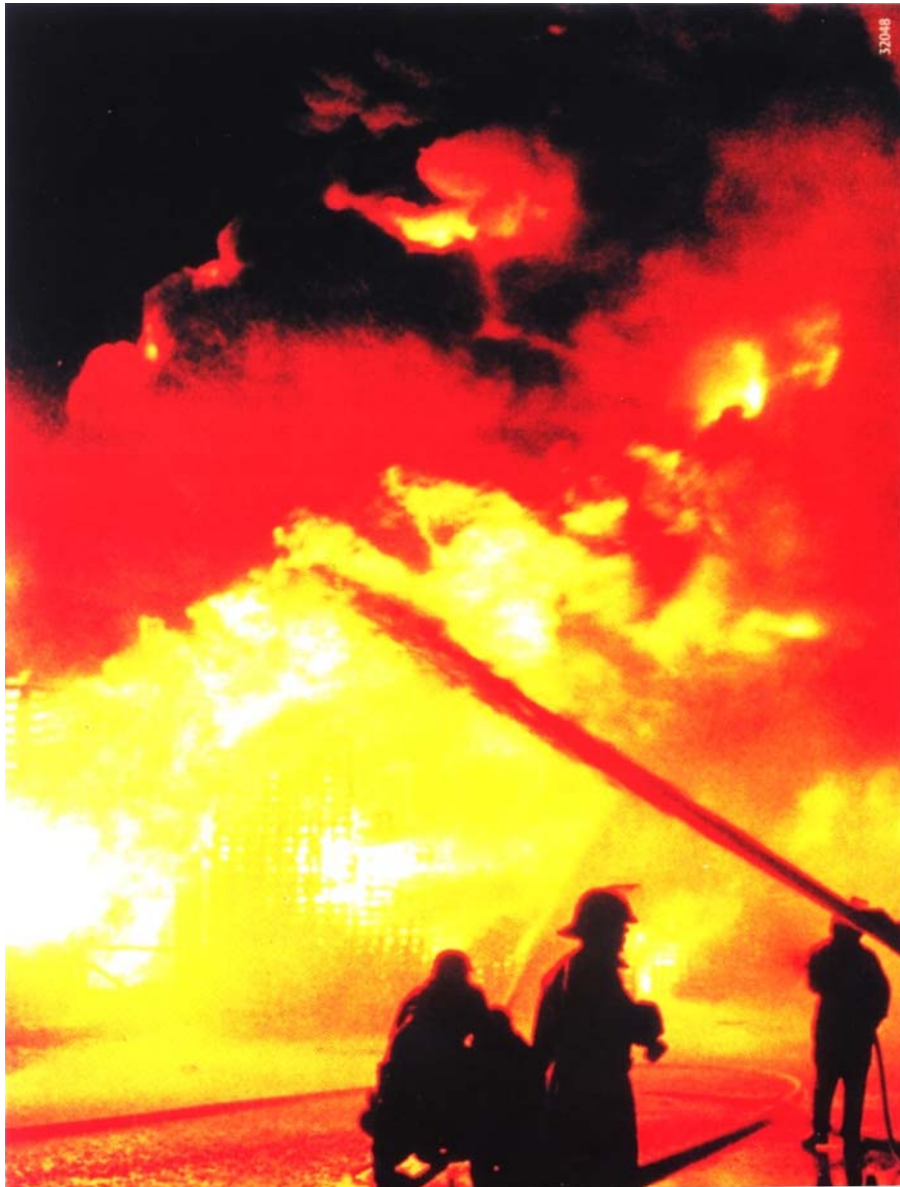


Technische Beurteilung von Brandfolgeschäden

Während mehr als zwanzig Jahren gesammelte Schadenerfahrungen erlauben die Aussage, daß der Sanierung von Anlagen - sofern sie analytisch begleitet und kontrolliert sowie die Funktionsfähigkeit überprüft wird - aus technischer Sicht nahezu keine Grenzen gesetzt sind. Sanierte Anlagen, die dem Verfasser zugänglich waren, zeigten sämtlich die schon vor dem jeweiligen Brandschaden beobachtete Verfügbarkeit. Dieser Beitrag bestätigt einmal mehr die vielfältigen Erfahrungen, wonach man mit entsprechend sanierten Brandfolgeschäden »durchaus leben« kann.



Auf den ersten Blick ein hoffnungsloser Fall, aber es muß durchaus nicht so sein (Bildnachweis: Minimax GmbH, Bad Oldesloe)

1. Verbrennungsvorgänge

Wird einem brennbaren Stoff in Form einer Flamme bzw. durch Wärmestrahlung oder Konvektion soviel Energie zugeführt, daß dieser ganz oder teilweise gasförmig wird oder sich aus demselben gasförmige Zersetzungsprodukte bilden, die sich mit einer Mindestmenge an Luft oder Sauerstoff entzünden

können (sog. Selbstentzündungspunkt) oder durch eine vorhandene Flamme entzündet werden (sog. Flamm- bzw. Brennpunkt), entsteht ein *Brand*. Theoretisch erwachsen daraus die entsprechenden Oxide der jeweils zugrunde liegenden chemischen Elemente - allgemein im höchsten Oxidationszustand - als Reaktionsendprodukte, so daß Kohlen-

dioxid (CO₂), Wasser (H₂O), Stickoxide (NO_x), Schwefeloxide (SO_x) u.a.m. zu erwarten sind. Tatsächlich handelt es sich bei Verbrennungsvorgängen um eine »Chaosreaktion« [2], bei der brennbarer Stoff in eine unüberschaubare Anzahl stofflich nur bedingt definierter Umwandlungsprodukte übergeführt wird, d.h. neben Oxiden der höchsten Wertigkeitsstufe werden Zwischenstufen gebildet, wie Kohlenmonoxid, undefinierte Stickoxide, Blausäure und Ruß. Letzterer ist *monokristalliner Graphit*, der bei der Verbrennung gasförmiger Kohlenstoffverbindungen im Sauerstoffunterschluß entsteht. Demgegenüber deuten nicht verrußte Flächen auf *hohe Temperaturen* hin.

In einer Flamme verläuft die Reaktion nach einem *Radikalmehanismus*; aus einer Vielzahl von Radikalen können sich wieder komplizierter aufgebaute Moleküle bilden. In diesem Zusammenhang sind vor allem polyzyklische aliphatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie bromierte bzw. chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane zu nennen. Daher ist grundsätzlich bei Bränden neben der eigentlichen thermischen Schädigung oder Zerstörung von Gebäuden und Anlagen mit *Folgeschäden* zu rechnen, die durch derartige Umsetzungsprodukte hervorgerufen werden. Brandfolgeschäden reichen von der Rußbeaufschlagung im einfachsten Fall bis zur Dioxinkontamination und korrosiven Gasen bzw. Niederschlägen. In [2] sind die Zusammenhänge der Entstehung dieser Produkte und die Verteilung der verschiedenen Folgeprodukte in groben Zügen umrissen (*Bild 1*). Im folgenden wird auf die Beurteilung von Schadstoffen im Brandfall und nach der Reinigung erzielbare Grenzwerte sowie auf Erfahrungen aus der Sanierung und die Grenzen der Sanierung nach Bränden eingegangen.

2. Abgrenzung zwischen thermischen Schäden und Brandfolgeschäden

Bei der ersten Besichtigung einer Schadenstelle ist zunächst zu klären, inwieweit es sich um *Schäden durch Brandhitze* handelt, die - abhängig von Werkstoff und Einwirkungsdauer - zum Totalschaden führen können, und inwieweit *Folgeschäden* vorliegen, die durch geeignete Sanierungsmaßnahmen beherrschbar sind. Um thermische Schädigungen zu bewerten bzw. Temperaturverteilungen zu beurteilen, sind entsprechende Gruppierungen vorzunehmen. Den niedrigsten Schmelzpunkt bzw. -bereich der für diese Betrachtungen relevanten Stoffe haben die *Kunststoffe*; hier sind vor allem Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) zu nennen, die bereits im Temperaturbereich 80...100 °C erste thermische Beeinflussungen in

Form von Fließen und Verformungen - insbesondere Schrumpfen von Folien - aufweisen. Sind andererseits derartige Kunststoffe noch intakt, haben die aufgetretenen Temperaturen keinesfalls 80...100 °C überschritten, weshalb Folgeschäden - beispielsweise in elektrischen und elektronischen Anlagen - kaum zu erwarten sind. Andere Kunststoffe, wie beispielsweise Polyurethane (PUR) oder Polyamide (PA), zeigen Erweichungspunkte um 150 °C bzw. um 200 °C, so daß Verformungen und Anschmelzspuren an daraus bestehenden Bauteilen auf eine Temperaturverteilung von 80...250 °C schließen lassen.

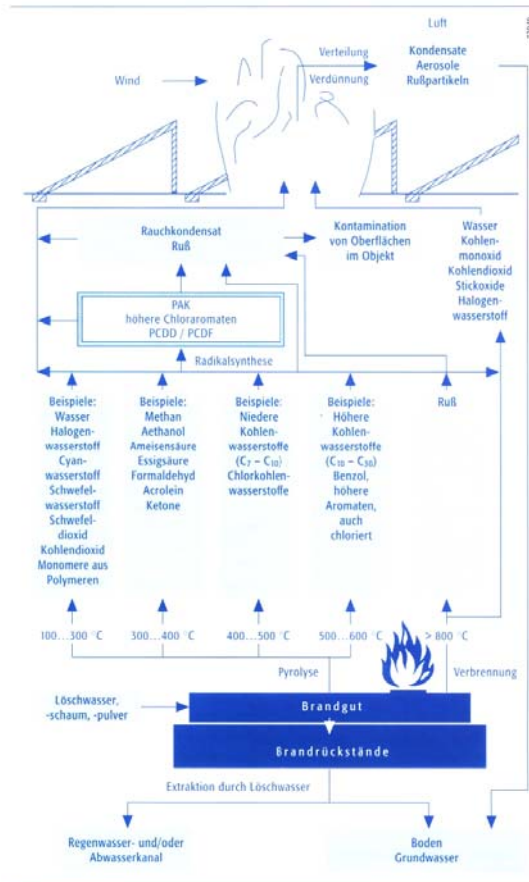


Bild 1 Schema der Verbrennungsvorgänge und Verteilungswegen der verschiedenen Folgeprodukte [2]

Als aktuelles Beispiel möge ein Brand dienen, der im Erdgeschoß eines Gebäudes ausbrach; im ersten Stock waren neue elektrische und elektronische Bauteile gelagert. Aus der Unversehrtheit des PVC-Fußbodenbelags wie auch der PE-Verpackungsfolien läßt sich ableiten, daß die Temperaturen im Fußbodenbereich des ersten Stockwerks keinesfalls größer als 80...100 °C waren, weshalb anhand der spezifizierten Temperaturbelastbarkeit elektronischer Bauteile gefolgert werden kann, daß daran keine thermische Schädigung eingetreten ist.

Ort der Probenentnahme	32052
Probe	
pH-Wert	
Elektrische Leitfähigkeit	mS/m
CSB homog.	mg/L
TOC	mg/L
CSB/TOC	
AOX	mg/L
(adsorptiv gebundene Halogene)	
Chlorid	mg/L
Sulfat	mg/L
Nitrat-N	mg/L
Nitrit-N	mg/L
Ammonium-N	mg/L
Gesamt-Stickstoff	mg/L
Organischer Stickstoff	mg/L
Org. N/Ges.-N	%
Gesamt-Phosphat	mg/L
Cyanide gesamt	mg/L
Cyanide lfl.	mg/L
MBAS	mg/L
Phenole wdf.	mg/L
Phenole gesamt	mg/L
PAK	µg/L
Eisen	mg/L
Mangan	mg/L
Blei	mg/L
Zink	mg/L
Chromium	mg/L
Nickel	mg/L
Kupfer	mg/L
Cadmium	µg/L
Quecksilber	µg/L
GD	
Brandgeruch	
Farbe	
Trübung	
Bemerkungen	

Tafel 1 Untersuchungsumfang für Löschwasser [3], der jeweils abzuarbeiten ist

Lacke und Anstrichstoffe sind ebenfalls ein Indiz für aufgetretene Temperaturen. Erst oberhalb 120 °C mit einer Einwirkungsdauer von einigen 10 min beginnen - wie entsprechende Laborversuche zeigten - erste Verfärbungen in Lackierungen von Schaltschränken, Anlagenteilen und Rohrleitungen. Andererseits bedeutet dies, daß bei intakten Farbanstrichen unter einer Rußschicht auf Anlagenteilen nicht mit thermischer Beaufschlagung zu rechnen ist, die beispielsweise zum Verzug von Teilen, zur Beeinflussung der Festigkeit von Bauteilen aus

Stahl oder anderen Metallen geführt haben könnte. Mithin ist bei metallenen Bauteilen dann im allgemeinen nicht von thermischer Beeinflussung und Schädigung auszugehen. *Zinn- und Bleilote* sind in der Temperaturskala die nächsten Werkstoffe, die Hinweise auf Temperatureinwirkungen liefern; so liegt der Schmelzpunkt handelsüblicher Lote bei etwa 200...250 °C. Diese Temperaturen können durchaus zum Auslöten von Bauteilen und Verbindungen in elektrischen und elektronischen Anlagen führen, was brandsächlich (Überhitzung von Widerständen) oder Brandfolge sein kann. Stahl verfärbt sich an der Oberfläche durch unterschiedlich dicke Oxidschichten in der Wellenlänge des sichtbaren Lichts (sog. Anlaßfarben), und zwar temperaturabhängig von

- gelb (200...300 °C) über
- purpurrot (200 °C),
- violett (280 °C),
- kornblumenblau (300 °C) und
- blaugrau (350 °C) bis
- grau (400 °C).

Hartlote schmelzen im Temperaturbereich um 600 °C. Einen weiteren Hinweis auf möglicherweise stattgefundenen Temperatureinwirkungen liefern Bauteile aus *Aluminium* - sein Schmelzpunkt liegt bei 660 °C - und dessen Legierungen. Im Bereich aufgeschmolzener Aluminiumbauteile können bei längerer Temperatureinwirkung bereits Stahlbauteile geschädigt werden.

Insgesamt lassen sich anhand dieser »Temperaturskala« recht gut Temperaturverteilungen zwischen 100 °C und 660 °C durch entsprechende Spuren feststellen. Darüber hinaus genügen übliche Flammentemperaturen im Bereich 800...1000 °C vollauf, um Stahlkonstruktionen binnen weniger Minuten zu verformen und beispielsweise Hallen aus Stahlkonstruktionen zum Einsturz zu bringen.

Abplatzungen an Betonoberflächen weisen auf Temperaturen oberhalb 400...450 °C hin. In diesem Temperaturbereich ist eingelagertes Kristallwasser der Aluminiumsilikate des Zementsteins allemal verdampft; zugleich findet eine Phasenumwandlung im Beton statt, die zu vergrößertem Volumen und mithin zu besagten Abplatzungen führt. Allerdings sind Betonabplatzungen lediglich ein Indiz dafür, daß zumindest 400...450 °C aufgetreten sind, weshalb es nicht nur sinnvoll, sondern auch notwendig ist, *freigelegte Armierungseisen* anschließend auf ihre Festigkeitseigenschaften zu untersuchen. *Abplatzungen auf Betonfußböden* deuten auf einen Brand von unmittelbarer darauf gelagertem Gut. Sobald nach einem Brand der thermische Einfluß anhand der beschriebenen Wechselwirkungen zwischen Kunststoffen, Farban-

strichen, Nichteisenmetallen und Stählen abgeklärt worden ist, sind die betroffenen Bereiche - sie sind im allgemeinen mit Ruß und/oder Brandgaskondensaten beaufschlagt - hinsichtlich *chemischer Folgeschäden* zu untersuchen. Derartige Beaufschlagungen können von ganz locker haftendem Ruß - typisches Anzeichen für verbrannte Kunststoffe auf Styrenbasis - bis zu fest haftenden teerartigen Brandgaskondensaten reichen, die nur sehr schwer entfernt werden können.

Die aus diesem Grund zu behandelnden Bereiche sind ohne weiteres erkennbar und entsprechend einzugrenzen. Darüber hinaus ist vielfach noch damit zu rechnen, daß korrosive Anteile der Brandgase über verrostete Bereiche hinausgelangt sind; sie können beispielsweise über eine Klimaanlage oder durch Öffnungen in Wänden in abgelegene Bereiche gelangt sein und dort ohne Rußablagerungen dennoch zu *Korrosionsfolgeschäden* führen. Deshalb empfiehlt sich die umfangreiche Entnahme von

- Wischproben von Waren, Vorräten und Einrichtungsgegenständen sowie von
 - Bohrproben von der Gebäudesubstanz aus Beton bzw. Gasbeton,
- und zwar insbesondere über den eigentlichen Brandbereich hinaus.

Element	Rahmenabwasser- verordnung	Baden- verordnng Württemberg	Berlin	Hessen	2003
Ag	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,2 mg/L	0,05 mg/L	
Al	-	*	*	*	
As	0,1 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,1 mg/L	
Ba	-	*	*	0,5 mg/L	
Cd	0,2 mg/L	0,02 mg/L	0,02 mg/L	0,01 mg/L	
Co	1,0 mg/L	*	*	0,2 mg/L	
Cr	0,1 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L	
(VI)	0,5 mg/L			0,05 mg/L	
Cu	0,5 mg/L	0,3 mg/L	0,3 mg/L	0,2 mg/L	
Fe	-	-	-	-	
Hg	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L	
Ni	0,5 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L	0,2 mg/L	
Pb	0,5 mg/L	*	0,2 mg/L	0,2 mg/L	
Sb	-	-	*	0,1 mg/L	
Se	-	*	*	0,2 mg/L	
Sn	2,0 mg/L	*	*	0,5 mg/L	
Tl	-	-	*	0,2 mg/L	
Zn	1,0 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L	

* nicht ausgeführt

Tafel 2 Beispiele von Schwellenwerten für die Abwassereinleitung

Neben der Eingrenzung der thermischen Beeinflussung sowie der chemischen Auswirkungen von Bränden sind nicht zuletzt auch *Folgeschäden durch Löschwasser bzw. Brandrückstände* zu berücksichtigen. Beide Kategorien bedürfen zumindest eingehender Untersuchung hinsichtlich der Möglichkeit ihrer Entsorgung. Den üblichen Untersuchungsumfang für Löschwasser, der hierzu abzuarbeiten ist, zeigt das in *Tafel 1* wiedergegebene Beispiel [3]. Zu beachten ist, daß die Schwellenwerte in den einzelnen deutschen Bundesländern voneinander abweichen, da *keine einheitlichen Richtlinien* für die Behandlung und die Entsorgungs-

möglichkeiten von Löschwasser bestehen. In jedem Fall sollte man sich daher mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt abstimmen.

Aus der in *Tafel 2* enthaltenen Zusammenstellung einiger Schwellenwerte im Vergleich zur Rahmenabwasserverordnung »Nichteisenmetallhersteller« geht die Problematik der Abwasserschwellenwerte hervor. In Bayern geltende Grenzwerte für die Einleitung von wassergefährdenden Stoffen in die Sammelkanalisation (BayGVOBl. 21/1985) gelten nicht allein für die Konzentration, sondern überdies zeitbezogen (*Tafel 3*). Wesentlich ist, daß Konzentrations-Grenzwerte im Augenblick der Abgabe nicht überschritten werden dürfen. Da zeitbezogene Grenzwerte zumeist nicht spezifiziert sind, ist es theoretisch möglich, Löschwasser jeder beliebigen Qualität - entsprechend verdünnt! - über lange Zeiträume in die öffentliche Kanalisation zu entsorgen ... Dies dürfte der Gesetzgeber aber wohl *schwerlich gewollt* haben.

Wasserrechtliche Anforderungen nach der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift sind in *Tafel 4* zusammengestellt [3]. Aus diesen wenigen Hinweisen wird schon deutlich, daß die Beurteilung von *Löschwasser* hinsichtlich der Entsorgung und eventueller Vorbehandlung doch besonderer Sorgfalt bedarf. In jedem Fall sollte man sich mit den örtlich zuständigen Behörden verständigen.

Gleichermaßen sind *feste Brandrückstände* vor ihrer Entsorgung zu untersuchen; entsprechend den festgestellten Gefährdungspotentialen ist in enger Abstimmung mit den zuständigen Behörden ein Entsorgungsplan aufzustellen. Neben umweltschädlichen Schwermetallen, die unter anderem Gegenstand der Untersuchung sind, ist auch die Kontamination mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und mit polychlorierten Biphenylen (PCB) für das Entsorgungskonzept bedeutsam.

Eine entscheidende Rolle spielt der *Anteil von Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen* in Brandrückständen sowie in Rußbeaufschlagungen von Gebäuden, Einrichtungen und Vorräten. So gibt es einige Brandschäden - nicht zuletzt das Ereignis vom 11. April 1996 im Flughafen Düsseldorf -, bei denen eine sehr hohe Konzentration an chlorierten Dibenzodioxinen in Brandrückständen und Brandgasniederschlägen gefunden wurde. Dies machte die Sanierung der Anlage schon allein deshalb notwendig, damit anschließend auch bei einem Totalschaden die jeweiligen Anlagen- oder Gebäudeteile als *normaler Schrott bzw. Schutt* entsorgt werden können.

Es gibt also durchaus Fälle, bei denen trotz offensichtlichen Totalschadens noch aufwendige Sanierungsarbeiten anfallen. Anderenfalls müßte nämlich der gesamte

Brandschutt einschließlich der kontaminierten Gebäude als *Sondermüll* deklariert, transportiert und entsorgt bzw. deponiert werden, was mittlerweile mit erheblichen Kosten verbunden ist.

Arsen	0,05 mg/L	1,0 g/h	32054
Blei	0,2 mg/L	8,0 g/h	
Cadmium	0,02 mg/L	0,4 g/h	
Chromium	0,2 mg/L	8,0 g/h	
Kupfer	0,3 mg/L	12,0 g/h	
Nickel	0,2 mg/L	6,0 g/h	
Quecksilber	0,01 mg/L	0,1 g/h	
AOX (adsorptiv gebundene Halogene)	0,5 mg/L	10,0 g/h	
CKW im Einzelstoff	0,2 mg/L	4,0 g/h	

Tafel 3 Grenzwerte für die Einleitung von wassergefährdenden Stoffen in die Sammelkanalisation (BayGVObI. 21/1985)

Parameter	Anhang	Anhang 47	13095
Anforderungen nach allgemein anerkannten Regeln der Technik			
CSB	< 75 mg/l	keine Anforderung	30,0 mg/L
	< 750 mg/l	Rest-CSB: 75 mg/L	
	> 750 mg/l	90% Abbaubarkeit	
	> 50 g/l	Rest-CSB: 2,5 g/L	
N (\sum NH ₃ , NO ₂ , NO ₃)			50,0 mg/L
Phosphor			2,0 mg/L
Fluorid			70,0 mg/L
Sulfat			30,0 mg/L
Sulfid			2,0 g/L
			20,0 mg/L
Anforderungen nach dem Stand der Technik			
GF			2,0 mg/l
AOX			1,0 mg/L
LHKW			10,0 mg/L
Hg			0,001 mg/L
			0,05 mg/L
Cd			0,005 mg/L
			0,05 mg/L
Cu			0,1 mg/L
			0,5 mg/L
Ni			0,05 mg/L
			0,5 mg/L
Pb			0,05 mg/L
			0,1 mg/L
Cr			0,05 mg/L
			0,5 mg/L
Cr(VI)			0,05 mg/L
Zn			0,2 mg/L
			1,0 mg/L
Sn			0,2 mg/L
			0,2 mg/L
Sulfid			0,2 mg/L

Tafel 4 Wasserrechtliche Anforderungen nach der Rahmen-Abwasser-Verwaltungsvorschrift [3]

So kann es zuweilen tatsächlich billiger sein, sogenannte Totalschäden noch zu sanieren, um wenigstens eine relativ geordnete Entsorgungsmöglichkeit zu erreichen.

3. Beaufschlagung mit Halogenwasserstoffen und anderen Säurekondensaten

Bei der Zersetzung halogenhaltiger Kunststoffe - hauptsächlich bei Polyvinylchlorid (PVC) - wird auch bei niedrigen Temperaturen Chlorwasserstoff (HCl) freigesetzt. Im Zusammenhang mit der Brandschutz-ausrüstung von Kunststoffen - vornehmlich bei Polystyrendämmplatten - werden zum Teil beachtliche Mengen an bromierten Flamm-schutzadditiven mit der Folge eingesetzt, daß beim Brand auch mit der Entstehung von Bromwasserstoff (HBr) gerechnet werden muß. Diese aggressiven Stoffe werden zu-nächst mit heißen Brandgasen vom Brandherd

fortgetragen und kondensieren nach Unterschreitung des jeweiligen Taupunkts auf Gebäude- und sonstigen Oberflächen sowie auf Waren und Vorräten.

Insbesondere bei der Kondensation chlor-wasserstoffhaltiger Brandgase sind *Korrosionsfolgeschäden* zu erwarten, deren Art und Ausmaß gleichermaßen von der Konzentration wie auch von den Umgebungsbedingungen abhängen. Gelingt es im Verlauf von Erstmaßnahmen nach einem Brandschaden, die relative Luftfeuchte in den betroffenen Räumen möglichst rasch unter 50 % zu senken, tritt entweder keine Korrosion auf oder kommt der Korrosionsprozeß zum Stillstand. Dann bleibt genügend Zeit, um geeignete und vor allem organisierte Sanierungsmaßnahmen einzu-leiten.

Insofern kommt nach Bränden der *Organisation und Durchführung von Erstmaßnahmen* oberste Priorität zu; sie sollten unabhängig vom zu erwartenden Korrosionspotential und möglicherweise auch sogar unnötig, aber dennoch vorrangig ergriffen werden. Danach kann »in aller Ruhe« eine umfangreiche Beprobung der betroffenen Bereiche erfolgen, um das räumliche Ausmaß der Kontamination korrosionsfördernder Brandgaskomponenten zu erkennen und daraufhin auf die örtlichen Gegebenheiten und betrieblichen Umstände abgestimmte Sanierungsmaßnahmen durchzuführen.

Für die Beurteilung insbesondere von *Chloridkontaminationen auf metallenen Oberflächen* hat sich der Grenzwert von 10^{-6} ... 10^{-10} µg/cm² aus den sechziger Jahren bereits um 1970 auf 10 µg/cm² eingependelt. Dieser Grenzwert - er geht auf Untersuchungen des Allianz-Zentrums für Technik (AZT) zurück - beruht auf dem allgegenwärtigen Vorhandensein von Chloriden auf technischen Oberflächen. So lassen sich Chloridkonzentrationen von 1... 10 µg/cm² auf normalen technischen Oberflächen nachweisen, weshalb diese Werte als üblich zu betrachten sind. Aus dänischen Labors wurde ein Wert von 8 µg/cm² beigetragen, der aus der Seewasserdeposition hervorgegangen war. Insgesamt hat sich der Grenzwert von 10 µg/cm² für Chloridkonzentrationen als verlässlich herauskristallisiert und für die Bewertung von korrosiven Brandgas-niederschlägen in über zwanzig Jahren eindeutig bewährt.

In zement- und kalkgebundenen Baustoffen reagieren Halogenwasserstoffsäuren unter Neutralisation zu entsprechenden *Calciumsalzen*. Folgeschäden an Gebäuden sind nur zu erwarten, wenn die Chlorid-konzentration im Bereich der Armierung den Grenzwert von 0,4 % der Masse - bezogen auf den Zementanteil - überschreitet. Dieser

Grenzwert wurde Anfang der siebziger Jahre vom Zementforschungsinstitut in Düsseldorf aus eigenen Versuchen und insbesondere aus der Mindestkonzentration an Chlorid im Beton abgeleitet, die von Chloridanteilen in Anmachwasser, Zement und Zuschlagstoffen herrühren.

Bei Überschreitung dieses Grenzwerts können bei gleichzeitiger Anwesenheit von Feuchte und Luftsauerstoff sowie herabgesetzter Alkalität des Betons durchaus *Korrosionen an der Stahlarmierung* auftreten, wie dies vornehmlich an Brückenbauwerken und Parkhäusern in zum Teil erheblichem Ausmaß zu beobachten ist. Aus zugänglichem Schadenpotential ist allerdings kein Fall bekanntgeworden, in dem - hervorgerufen durch Kondensation chlorwasserstoffhaltiger Brandgase - derartige Korrosionen stahl-armierter Betonbauteile ausgelöst wurden, die die Standsicherheit eines Bauwerks gefährdet hätten.

Probenkennz. [NWP]	Probenbezeichnung	Beaufschlagung [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]			31996
		Chlorid	Nitrat	Sulfat	
	Rauchgasreinigung				
	Ebene - 5,5 m				
13	Klimakanal, korrodiert, Höhe etwa -2,5 m, verzinkt	1,0	<1,0	27	
14	Klimakanal, leicht korrodiert, Höhe etwa -2,5 m, verzinkt	1,0	<1,0	15	
15	Kabelpritsche, leicht korrodiert, Höhe etwa -1,0 m, verzinkt	1,0	<1,0	18	
16	Klimakanal, leicht korrodiert, Höhe etwa -1,0 m, verzinkt	3,3	<1,0	28	
17	Kabelpritsche, korrodiert, Höhe etwa -2,0 m, verzinkt	1,0	<1,0	20	
18	Kabelpritsche, korrodiert, Höhe etwa -2,0 m, verzinkt Ebene 0,0 m	1,0	<1,0	17	
19	Isolierung Schleusenbehälter, Altkoks, korrodiert, Höhe etwa 2,5 m, Al	1,5	<1,0	21	
20	Kanal-Unterseite, korrodiert, Höhe etwa 4,5 m, Al	1,0	<1,0	34	
21	Kabeltrasse, korrodiert, Höhe etwa 1,0 m, verzinkt	1,4	<1,0	28	
22	Kabelpritsche, korrodiert, Höhe etwa 4,0 m, verzinkt	1,4	<1,0	93	
23	Kabelpritsche, leicht korrodiert, Höhe etwa 2,5 m, verzinkt	1,0	<1,0	20	
24	Kabelpritsche, leicht korrodiert, Höhe etwa 3,5 m, verzinkt	2,6	<1,0	23	
25	Kabelpritsche, leicht korrodiert, Höhe etwa 3,5 m, verzinkt Ebene 5,5 m	2,1	1,0	12	
26	Austrag-Naßgips, Höhe etwa 7,0 m, verzinkt	1,3	<1,0	10	
27	Trichter, Höhe etwa 7,0 m, metallisch	2,3	1,0	10	
28	AKF, leicht korrodiert, Höhe etwa 7,0 m, Al	2,4	<1,0	30	
29	AKF, korrodiert, Höhe etwa 6,5 m, Al	1,5	<1,0	24	
30	AKF, korrodiert, Höhe etwa 6,5 m, Al	1,4	<1,0	34	
31	Gitterrost, leicht korrodiert, Höhe etwa 5,5 m, verzinkt	1,4	<1,0	15	
32	Kabelpritsche, korrodiert, Höhe etwa 6,5 m, verzinkt	1,2	<1,0	21	
33	AKF, korrodiert, Höhe etwa 6,5 m, Al	1,5	<1,0	37	
34	Kanal zu REGAVO, korrodiert, Höhe etwa 6,5 m, Al	1,5	<1,0	14	
35	REGAVO, Höhe etwa 8,0 m, Al	1,2	<1,0	8	
36	Kabeltrasse, leicht korrodiert, Höhe etwa 7,0 m, verzinkt	1,4	<1,0	13	
	Grenzwerte	10,0	*	*	

* keine Angaben

Tafel 5 Beispiel für Kontaminationen mit Sulfaten aus Abgasen von Heizöl EL

Alles in allem stellt die Wechselwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase mit Gebäuden, metallenen Oberflächen sowie

elektrischen und elektronischen Einrichtungen jedoch ein *Gefährdungspotential für sicheren Betrieb* dar. Bei Überschreitung der Grenzwerte sind in jedem Fall notwendige Sanierungsmaßnahmen einzuleiten. Aus technischer Sicht bestehen - ungeachtet des Umfangs der Beaufschlagung, der beaufschlagten Oberflächen, der Materialbeschaffenheit u.a.m. - keine Hindernisse, die einer Sanierung entgegenstehen.

Charakteristisch sind nach Brandschäden unter Beteiligung von PVC Beaufschlagungen bis zu $200 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Bei Brandschäden unter Beteiligung von Kunststoffen mit bromhaltigen Brandschutzmitteln wurden auch Bromidgehalte bis etwa $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ festgestellt. Wenngleich das Korrosionsverhalten bei Bromid gegenüber Chloriden wesentlich geringer einzustufen ist, sind derartige Konzentrationen auf metallenen Oberflächen und in elektrischen Anlagen *nicht akzeptabel*; sie müssen im Verlauf von Sanierungsmaßnahmen entfernt werden. Neben der Kontamination mit Halogenwasserstoffsäuren bzw. deren Salzen ist auch mit solcher durch Sulfate bzw. Schwefelsäure aus der Verbrennung schwefelhaltiger Substanzen (Beispiel: Gummi) zu rechnen.

In diesem Zusammenhang ist ein *Schaden* erwähnenswert, bei dem Abgase aus ambulanten - mit leichtem Heizöl betriebenen - Brennern die Oberflächen einer im Bau befindlichen Rauchgasentschwefelungsanlage kontaminiert haben, wobei Sulfatkonzentrationen bis etwa $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ aufgetreten sind (Tafel 5). Korrosionserscheinungen waren anfänglich nicht feststellbar, da die Temperaturen zum Zeitpunkt der Beaufschlagung bei $-10...-20 \text{ }^\circ\text{C}$ lagen und somit auch die Luftfeuchte entsprechend gering war. Erst nach einem Witterungsumschwung zu regnerischem Wetter traten massive Korrosionserscheinungen auf, die umfangreiche Sanierungsmaßnahmen erforderten.

In diesem Schadenbeispiel trat einzig eine Beaufschlagung mit Schwefelsäure ein; die Chloride lagen trotz des Baustellenbetriebs nur bei $1...3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Bleibt noch zu erwähnen, daß die Bleche bis zum Schadeneintritt erst wenige Wochen eingebaut waren und demnach noch fabrikneue Oberflächenqualitäten aufwiesen. *Bild 2* zeigt ein Beispiel der Reinigungsaktion an Aluminiumoberflächen, wobei aber auch eine *Grenze der Sanierung* deutlich wird. So ist es nicht möglich, bereits eingetretene lochfraßartige Korrosionen an Aluminiumoberflächen zu beseitigen; auch bei erfolgreicher Sanierung bleiben optische Beeinträchtigungen zurück. Eine eher ungewöhnliche Art der Beaufschlagung fand in einer Eindampfanlage zur

Aufarbeitung von Abwässern aus einer Rauchgasentschwefelungsanlage statt. Von seiner Konzeption her ist das betreffende Gebäude be- und entlüftet und somit gewährleistet, daß Dämpfe aus den Zwischenlagertanks ständig aus dem Gebäude in die Atmosphäre befördert werden. Wegen umfangreicher Korrosionsschäden in der Lüftungsanlage fand über mehrere Wochen keine Lüftung statt, so daß nach etwa drei Wochen die *gesamte Eindampfanlage* massiv gelbbraun bis violett verfärbt war.

Eine entsprechende Analyse ergab, daß es sich um eine Beaufschlagung von *Iodwasserstoff bzw. Iod* handelte. Diese Iodanteile entstammten den Eindampfwässern; sie gingen entsprechend ihrem Dampfdruck in die Atmosphäre über und führten so zu den Kontaminationen. In dieser Anlage wurden Iodidkonzentrationen bis $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ gemessen. Auch hier war neben der optischen Beeinträchtigung der gesamten Anlage grundsätzlich von einer *Korrosionsgefahr* auszugehen, weshalb die Reinigung erforderlich wurde.



Bild 2 Beispiel der Reinigung von Aluminiumoberflächen - bereits vorhandene lochfraßartige Korrosionen werden dadurch nicht beseitigt

Bei der Entfernung der Sulfatkontamination wie auch der Iodid- bzw. Iodkontamination in den beiden erwähnten Beispielen ist ohne besonderen Aufwand eine Konzentration von $\leq 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ erreichbar. Daher wird vorgeschlagen, auch bei der Beaufschlagung mit Schwefelsäure bzw. anderen Halogenwasserstoffsäuren als Salzsäure ein Sanierungsziel von $< 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ anzustreben. Wie die Beobachtung der Anlagen in beiden Beispielen zeigt, scheint dies ein vernünftiger Grenzwert zu sein, da selbst nach rund einem Jahr keine weiteren Folgeschäden festgestellt werden konnten.

Ein *Schadenschwerpunkt* - er hat mit Brandschäden zunächst nichts zu tun - bildete sich seit zwei Jahren durch Kontamination insbesondere von Rauchgasentschwefelungsanlagen infolge des *Austritts von Rohgas*, beispielsweise in Müllverbrennungsanlagen, aber auch von stark *kochsalzhaltigem Eindampfwasser*. Hierbei wurden zum Teil sehr

hohe Chlorid- und Sulfatkontaminationen gemessen, in einigen Fällen bis $3000 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Dies ist eine weitere Bestätigung, daß der Sanierung nach Kontamination mit korrosiven Medien aus technischer Sicht keine Hindernisse entgegenstehen.

Voraussetzung jeglicher Sanierungen ist, daß diese mit dem unerläßlichen Fachwissen sowie im übrigen sorgfältig und mit der gebotenen Umsicht erfolgen. Negativbeispiele für die Ergebnisse von Sanierungen, bei denen es am Fachwissen und der begleitenden Analytik mangelte, sind in *Bild 3* wiedergegeben. Es handelt sich dabei um Teile der Elektroinstallation einer Lokomotive, die offenbar ziemlich unqualifiziert mit Natronlauge (!) gereinigt worden sind. Um so mehr unterstreicht dies die Wichtigkeit der Auswahl des Sanierungsunternehmens und der Abstimmung des Sanierungskonzepts unter allen Beteiligten.

In *Tafel 6* ist eine Zusammenstellung charakteristischer *Kontaminationen mit korrosiven Medien* enthalten, die nach Bränden und anderen Ereignissen vornehmlich in Rauchgasentschwefelungsanlagen festgestellt wurden. Entsprechend zeigt *Tafel 7* eine Reihe von Grenzwerten bzw. Sanierungszielen, die bei erfolgreicher Sanierung erreichbar sind. An dieser Stelle erscheint ein Hinweis auf den *Summenwert* von Chloriden und Sulfaten beim Betrieb von Rauchgasentschwefelungsanlagen angebracht. Wie Untersuchungen *nicht kontaminierter Oberflächen* in diesen Anlagen ergaben, liegen Chlorid- und Sulfatgehalte normalerweise bei $30 \dots 50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, weshalb es übertrieben sein dürfte, Sanierungen bis unter jene Werte zu treiben. Eine solche Vorgehensweise ist auch deshalb zulässig, da in diesem Bereich ständig hohe Temperaturen und infolgedessen niedrige relative Luftfeuchten herrschen.

4. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und polychlorierte Biphenyle

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) treten durch pyrolytische Vorgänge und ablaufende Synthesereaktionen als typisches *Brandfolgeprodukt* in Rauchgasen auf und sind häufig nach Brandschäden nachweisbar. Im allgemeinen adsorptiv an Ruß und andere Brandrückstände gebunden und nicht flüchtig, zählen sie zu krebserzeugenden bzw. -fördernden Substanzen, wobei Gesundheitsgefährdungen allerdings nur bei Langzeiteinwirkung und Grenzwertüberschreitung zu befürchten sind.

In [2] sind die in *Tafel 8* wiedergegebenen Richtwerte für die Beurteilung und Bewertung

polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) zusammengefaßt. Unter TRK ist eine *technische Richtkonzentration* zu verstehen, die für krebserzeugende oder erbgutverändernde Arbeitsstoffe ermittelt wurde, für die kein MAK-Wert existiert. Diese TRK repräsentiert einen Wert, dem Personen dauerhaft ausgesetzt werden können, ohne eine Gesundheitsgefährdung einzugehen. Als *Sanierungsziel* gelten derzeit $<100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PAK-Konzentration, während der regional unterschiedliche *Abfallgrenzwert* im Bereich 25...200 mg/kg Brandschutt liegt. Unterhalb des jeweiligen Abfallgrenzwerts kann Brandschutt auf dem üblichen Weg entsorgt werden, oberhalb dieser Konzentration handelt es sich hingegen um Sondermüll, der entsprechend zu behandeln ist.

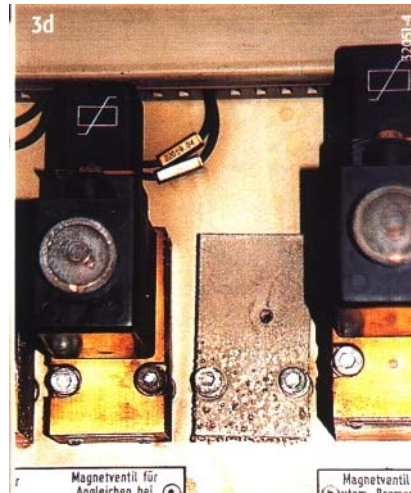
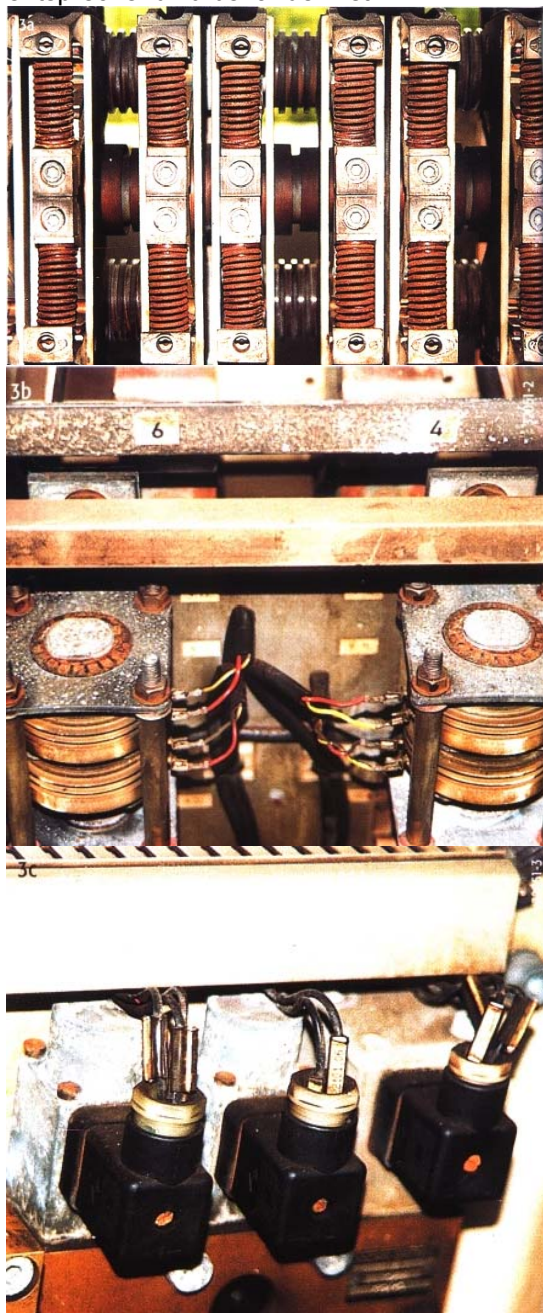


Bild 3 Teile der Elektroinstallation einer Lokomotive, die unqualifiziert mit Natronlauge gereinigt worden sind - Aluminium und Zink werden angegriffen, Kupferoberflächen mit grünem Korrosionsprodukt überzogen

Chlorid nach Bränden	100... 200 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	32057
Bromid nach Bränden	$<50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	
Rohgaskontamination	1000... 2000 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
Soleaustritt in REA	300 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
Sulfat bei Heizöl	100... 150 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
Iod/Iodwasserstoff	... 100 g/cm^2	

6

Tafel 6 Zusammenstellung charakteristischer Kontaminationen mit korrosiven Medien

Chlorid	$<10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	32058
Sulfat	$<10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	
Σ Chlorid + Sulfat (REA)	30... 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	
Iodid	$<10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$	

7

Tafel 7 Grenzwerte bzw. Sanierungsziele, die bei erfolgreicher Sanierung erreichbar sind

Ähnliche Aussagen treffen für *polychlorierte Biphenyle* (PCB) zu, die vornehmlich bei der Freisetzung oder dem Verdampfen von Isolierflüssigkeiten aus Kondensatoren und Transformatoren sowie von Weichmachern aus Dichtungsmassen und Beschichtungen, aber auch von sehr alten Hydraulikflüssigkeiten in die Brandrückstände bzw. Brandgasniederschläge gelangen können. Derzeit hierfür geltende *Richtwerte* zur Beurteilung und Bewertung polychlorierter Biphenyle sind in *Tafel 9* wiedergegeben [2]. Von PCB geht zwar nur eine geringe toxische Gefahr aus, jedoch ist jedwede chronische Belastung als *kritisch* zu bezeichnen. Wegen guter Fettlöslichkeit reichern sich PCB im Fettgewebe der Leber an; aufgrund ihrer chemischen Struktur sind sie nur in sehr geringem Umfang biologisch abbaubar.

5. Halogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane

Nach dem folgenschweren Unfall vom 10. Juli 1976 in einer chemischen Fabrik im nord-

italienischen Seveso sind *chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane* in die öffentliche Diskussion gekommen und seitdem auch als Schadstoffe* bei der Beurteilung von Brandgasniederschlägen zu berücksichtigen. Durch Pyrolyse organischer und/oder anorganischer Halogenverbindungen im Zusammenhang mit organischen Substanzen vornehmlich aromatischer Natur entstehend, sind sie auch in Konzentrationsbereichen allgegenwärtig, die mit Hilfe der modernen Analytik erschlossen werden. Auf die Komplexität der Struktur, die Toxizität der einzelnen Substanzen und die Verteilung der einzelnen Kongenere wird nicht näher eingegangen, da dann sämtliche halogenierten Substanzen berücksichtigt und mehr als 5000 Einzelsubstanzen betrachtet werden müssten, die bei weitem noch nicht alle hinsichtlich ihrer Toxizität und Langzeitwirkung auf Menschen untersucht worden sind.

Zur Beurteilung chlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane gelten derzeit - nach der Gefahrstoffverordnung und den Technischen Regeln Gefahrstoffe »Dioxine« (TRGS 557) - die in *Tafel 10* aufgeführten *Richtwerte*. Unter TE (= Toxizitätsäquivalente) wird ein Wert verstanden, der sich durch Multiplikation des analytisch festgestellten Werts mit einem Toxizitätsfaktor ergibt; diese Werte werden dann summiert und die Summe als Toxizitätsäquivalente (TE) bezeichnet.

* Es geht hierbei - chemisch etwas exakter - um die 75 Kongenere der chlorierten Dibenzodioxine. In dieser Gruppe gibt es 22 mit jeweils vier Chloratomen bestückte Moleküle. Davon ist das in den Positionen 2, 3, 7 und 8 chlorierte Tetrachlordibenzo-dioxin (2,3,7,8-TCDD) die Verbindung mit der größten toxischen Potenz. Dieser Verbindung entspricht bei der Stoffgruppe der 135 Substanzen der statt mit zwei Sauerstoffatomen mit nur einem verbundenen Doppelring - den Furanen - das 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-furan (2,3,7,8-TCDF). Durch den Produktionsprozeß bedingt, entstand in Seveso - einmalig - nur das 2,3,7,8-TCDD! In der wissenschaftlichen Literatur wird TCDD auch unter den systematischen Namen 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo[b,e]q-dioxin bzw. 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-5,10-dioxin geführt (sog. IUPAC-Nomenklatur).

- Kongenere sind Substanzen mit gleichem chemischen Grundgerüst und verschiedenen Substituenten.
- Isomere sind Substanzen mit gleicher Summenformel, aber unterschiedlichem Molekülaufbau.
- 1 pg/kg (Pikogramm durch Kilogramm) wird häufig auch als 1 ppq [amer.: part(s) per quadrillion - deutsch: Teil(e) von einer Billiarde Teile] bezeichnet, d.h. 1 pg/kg entspricht 1 Teil von 10^{15} Teilen oder 0,000000000000001.

TRK	2 µg/m ³
Sanierungsziel	< 100 µg/m ³
Abfallgrenzwert (regional unterschiedlich)	25...200 mg/kg

8

Tafel 8 Richtwerte für die Beurteilung und Bewertung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) [2]

MAK-Wert	0,05 mL/m ³ bzw. 0,5 mg/m ³
Sanierungsziel	≤ 100 µg/m ³
Abfallgrenzwert (regional unterschiedlich)	25...100 mg/kg

9

Tafel 9 Richtwerte für die Beurteilung und Bewertung polychlorierter Biphenyle (PCB) [2]

Grenzwert Umgebungsluft	5 pg TE m ⁻³
Pflicht für Personenschutz	TCDD >0,002 mg kg ⁻¹
Gefahrstoff	TCDD 0,01 mg kg ⁻¹
Sanierungsziel für Räume	
in Kindergärten und Schulen	≤ 10 ng TE m ⁻²
für Produktionszwecke	≤ 50 ng TE m ⁻²
zum gelegentlichen Aufenthalt	≤ 100 ng TE m ⁻²
Abfallgrenzwert	>0,001 mg TE kg ⁻¹
TDI-Wert	1...10 pg TE kg ⁻¹ Körpergewicht

10

Tafel 10 Richtwerte zur Beurteilung chlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane

E = Toxizitätsäquivalente

TCDD = 2,3,7,8-Tetrachloridbenzodioxin

TDI = Tolerable Daily Intake (TDI-Wert)

Bewohnte Innenräume	10 ng TE m ⁻²
Produktionsräume	50 ng TE m ⁻²
Räume zum gelegentlichen	
Aufenthalt	100 ng TE m ⁻²
TDI-Wert	1...10 pg TE kg ⁻¹ △ 70...700 ng TE
Tägliche Deposition	12 pg TE m ⁻²
Jährliche Deposition	4,37 ng TE m ⁻²

11

Tafel 11 Sanierungsgrenzwerte für chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane im Vergleich zu natürlicher Belastung

So gilt für die *Umgebungsluft* ein Grenzwert der Toxizitätsäquivalente (TE) von 5 µg/m³. Bei einem Gehalt an Tetrachlordibenzodioxin (TCDD) von >0,002 mg/kg Brandschutt ist eine *persönliche Schutzausrüstung* für Personal erforderlich, das sich ständig in solchermaßen kontaminierten Bereichen aufhält bzw. mit derartigem Brandschutt umgeht. Ab einem TCDD-Gehalt von 0,01 mg/kg gilt dieser Stoff zudem als *Gefahrstoff* und darf dann nicht mehr ohne weiteres gehandhabt werden.

Als *Sanierungsziele* werden - abhängig von der Art der jeweiligen Räumlichkeiten - in einer Leitlinie des Bundesgesundheitsamts TE-Werte von 10, 50 bzw. 100 ng/m² Oberfläche genannt. Mithin besteht hier je nach Definition der betroffenen Räume relativ großer Spielraum für die Bewertung. Für die *Entsorgung* gilt wiederum ein regional unterschiedlicher TE-Abfallgrenzwert von >0,001 mg/kg, während seitens der Weltgesundheitsorganisation wie auch des Bundesgesundheitsamts ein TDI-Wert von 1...10 pg/kg Körpergewicht an Toxizitätsäquivalenten (TE) genannt wird. Unter dem TDI-Wert (TDI = Tolerable Daily Intake) ist eine *Grenze für Abwehrmaßnahmen* zu verstehen.

Wie man unschwer erkennt, ist die Beurteilung dieser Substanzgruppen in Brandrückständen *beliebig schwierig* und bedingt allemal sorgfältige analytische Arbeit. Wegen der nach

wie vor relativ teuren Analytik - die Kosten für eine Probe belaufen sich gegenwärtig auf etwa 3000 DM - ist man zwar bestrebt, die Anzahl der Proben niedrig zu halten, doch läuft man mit dieser Handlungsweise nur zu leicht Gefahr, am falschen Ende zu sparen.

Dessenungeachtet sind Sanierungsarbeiten nach Bränden, bei denen eine Dioxinkontamination eingetreten ist, im allgemeinen ausgesprochen personal- und kostenintensiv und bedürfen analytischer Kontrollen. Selbst bei Totalschäden kommt man nicht umhin, dioxinkontaminierte Objektteile zu sanieren, um den Brandschutt in üblicher Weise entsorgen zu können und nicht etwa vor Massen an Sondermüll zu stehen. Für bromierte Verbindungen wird derzeit übrigens die gleiche Toxizität wie bei chlorierten Verbindungen unterstellt. Dies trifft beispielsweise auf bromierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane als Folgeprodukte der Verwendung bromhaltiger Brandschutzadditive zu.

In *Tafel 11* sind die *Sanierungsgrenzwerte* für chlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane im Vergleich zu natürlicher Belastung dargestellt. Wie bereits erwähnt, beläuft sich das Sanierungsziel - abhängig von der Nutzungsart der jeweiligen Räume - auf TE-Werte von 10...100 ng/m². Demgegenüber wird ein TDI-Wert von 1 ... 10 pg/kg Körpergewicht angenommen, d.h. für den normalgewichtigen Durchschnittsmenschen 70...700 pg/d. Zudem sind Dioxine allgegenwärtig; es ist eine *tägliche* Deposition von etwa 12 pg/m² anzunehmen, woraus sich rechnerisch eine *jährliche* Deposition von etwa 4,4 ng/m² ergibt. In diesem Zusammenhang erscheint ein Schriftwechsel aus dem Jahr 1987 zwischen dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und dem Verband der Sachversicherer (heute: Verband der Schadenversicherer) bemerkenswert. Darin wird bezüglich des TDI-Werts argumentiert, daß die Ergebnisse der chronischen Toxizitäts- und Fertilitätsuntersuchungen im Tierexperiment einen Grenzwert von TCDD von 1 ng/kg Körpergewicht ergaben; unterhalb dieses Grenzwerts wurden mithin keine Auswirkungen auf den tierischen Organismus festgestellt. Dann wurde ein Sicherheitsfaktor 10³ eingeführt, woraus sich für den Menschen eine tägliche tolerierbare Aufnahme (TDI-Wert) von 1 pg/kg Körpergewicht errechnet.

An dieser Stelle sei die Bemerkung gestattet, daß es sich bei besagtem TDI-Wert mehr um eine *politische Bewertung* als um einen sachlich zutreffenden Grenzwert handelt. Ebenso gut könnte nämlich anstelle des Sicherheitsfaktors 10³ ein solcher von 10¹ oder auch 10⁴ eingesetzt werden, was die Beurteilung von Brandschäden und folglich die

Sanierungskosten erheblich beeinflusst! Hiermit soll das Problem chlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane keineswegs heruntergespielt, sondern vielmehr propagiert werden, diese Werte mit der gebührenden Sorgfalt, aber auch mit notwendiger Distanz und konstruktiver Kritik zu betrachten.

6. Sanierung von Brandschäden

Zur Sanierung von Brandschäden bzw. von kontaminierten Anlagen, Gebäuden und Bauteilen existiert mittlerweile ein beachtliches Regelwerk (*Tafel 12*). Bereits anhand dieser Übersicht wird die Problematik deutlich, bei der aktuellen Bearbeitung von Brandschäden und insbesondere unter dem Druck einer Betriebsunterbrechung alle einschlägigen Vorschriften einhalten zu sollen. Deshalb sind zur rascheren Übersicht die *Grenzwerte und Sanierungsziele* nach [2] (*Tafel 13*) und die *Abfallgrenzwerte* für verschiedene Gefahrstoffe (*Tafel 14*) wiedergegeben, die für den Praktiker entscheidend sind.

Für die Beurteilung von Brandfolgeschäden, die Entsorgung von Löschwasser und die Beurteilung von Brandrückständen existiert inzwischen eine gesicherte Basis, so daß Brandschäden und deren Folgen - auch bei Beteiligung von PVC und anderen Kunststoffen - aus technischer Sicht allemal beherrschbar sind. Sofern es dennoch Grenzen gibt, die der technischen Wiederaufarbeitung und Instandsetzung betroffener Objekte entgegenstehen, sind sie im wesentlichen wirtschaftlicher bzw. geschäftspolitischer Natur.

Selbstverständlich müssen jegliche Sanierungen unter Gesichtspunkten der *Wirtschaftlichkeit* erfolgen. So ist es beispielsweise wenig sinnvoll, billige Kleinteile mit großer Akribie und entsprechendem Kostenaufwand zu säubern. Hingegen können derartige Aktionen in Fällen der Betriebsunterbrechung oder erheblicher Lieferengpässe sehr wohl akzeptabel sein. Erfahrene Sanierer sprechen von Sanierungskosten in Höhe von 10...40 des Wiederbeschaffungs- bzw. Neupreises von Anlagen; oberhalb von 50 % ist die Wirtschaftlichkeit ernstlich in Frage gestellt.

Empfehlungen zur Reinigung von Gebäuden nach Bränden [Hrsg.: Bundesgesundheitsamt (BGA) - Status: Bekanntmachung 01/90]

Handlungsanleitung für den Arbeitsschutz bei Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Brandentsorgung [Hrsg.: Staatliche Gewerbeaufsicht Nordrhein-Westfalen - Status: Entwurf 03/93]

Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) »Sanierung von Brandplätzen und Altlasten mit Dioxinverdacht« [Hrsg.: Arbeitskreis des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) beim BMA - Status: Arbeiten am Entwurf wurden 04/92 eingestellt]

Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen (ZH 1/83) [Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Fachausschuß Tiefbau - Status: Stand 04/92, derzeit in Überarbeitung]

Leitlinie zur Brandschadensanierung (VdS 2357) [Hrsg.: Verband der Schadenversicherer (VdS), Köln - Status: 1. Auflage 01/94]

Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) »Vorbereitung und Durchführung von Arbeiten in kontaminierten Bereichen« [Hrsg.: Projektgruppe Sanierungsarbeiten des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) beim BMA - Status: Entwurf 10/96]

Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 557) »Dioxine« [Hrsg.: Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS) beim BMA - Status: Bekanntmachung 03/96]

Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 519) »Asbest: Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten« [Hrsg.: Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS) beim BMA - Status: Bekanntmachung 03/95]

Tafel 12 Auswahl von Leitlinien und Technischen Regeln zur Brandschadensanierung [3]

Bei Wiederinstandsetzungen nach Brandschäden spielen jedoch *geschäftspolitische Überlegungen* wohl die größte Rolle. So ist durchaus vorstellbar, daß ein Brand in ähnlichem Ausmaß wie jener vom 11. April 1996 im Flughafen Düsseldorf in einem privatwirtschaftlich geführten Unternehmen zu einer Betriebsunterbrechung von sechs bis zwölf Monaten geführt hätte, wonach die Gesamtanlage dann aber wieder mit voller Produktivität verfügbar gewesen sein dürfte. Sehr schwierig gestaltet sich der Entscheidungsprozeß auch, wenn es um die *Sanierung von Neuteilen oder Neuanlagen* geht. So wurden bei einem schon länger zurückliegenden Brand neue elektrische und elektronische Ausrüstungsteile für U-Bahn-Wagen beaufschlagt. Da jedoch der Hersteller unter Termindruck stand, wurden die betroffenen Teile ohne besondere Sanierung verarbeitet und benachbarte Teile als Totalschaden deklariert ...

Ein weiterer Gesichtspunkt sind nach erfolgter Sanierung zu übernehmende *Garantien*. Doch weder der Sanierer noch der jeweilige Sachverständige kann für die Funktionsfähigkeit sanierter Objekte garantieren. Letztlich vermag jede beteiligte Partei allein für ihren Part dessen sorgfältige und gewissenhafte Durchführung zu gewährleisten; keinesfalls kann eine einzelne Partei für die Gesamtfunktionsfähigkeit eintreten.

Nichtsdestoweniger gehört zu erfolgreichen Sanierungen nicht ausschließlich die optische Wiederherstellung, sondern darüber hinaus die *Überprüfung der Funktionskontrolle* bzw. eine Abnahme durch den Hersteller oder seinen Beauftragten. Letztere wissen nur zu gut, worauf es jeweils ankommt, und so ist ihnen auch zuzumuten, nach erfolgter Sanierung die ursprüngliche Garantie für Funktionstüchtigkeit wieder zu übernehmen. Inwieweit Versicherer für nachträglich auftretende Schäden einzustehen haben, die mit dem Brandschaden zusammenhängen, ist eine andere Frage.

HCl / HBr	100 mg/m ²	= 10,0 µg/cm ²
PAK	<100 µg/m ²	= 0,01 µg/cm ²
PCB	≤100 µg/m ²	= 0,01 µg/cm ²
Chlorierte Dibenzodioxine/-furane	<50 ng TE m ⁻²	△ 0,005 pg/cm ²

13

Tafel 13 Grenzwerte und Sanierungsziele [2]

PAK	25...200 mg/kg*
PCB	25...100 mg/kg*
Dioxine	<0,001 mg TE kg ⁻¹

14

Tafel 14 Abfallgrenzwerte für verschiedene Gefahrstoffe *regional unterschiedlich, deponieabhängig

Dipl.-Ing. Hartmut Grupp
Allianz-Zentrum für Technik GmbH
D-85729 Ismaning