

# Chemische Brandfolgeschäden

## Teil II: Sanierung von Brandfolgeschäden

### Einleitung

Die Sanierung von Brandfolgeschäden umfaßt alle Tätigkeiten, die sicherstellen, daß schadenbetroffene Bereiche ihrer ursprünglichen Nutzung wieder uneingeschränkt zugeführt werden können. Von den Sanierungsmaßnahmen und den während der Reinigung anfallenden Abfällen darf keine Gefährdung für die belebte und unbelebte Umwelt ausgehen, ebensowenig von den betroffenen Bereichen nach Abschluß der Sanierung. Die Maßnahmen müssen der individuellen Schadstoffbelastung gerecht werden und schnell, kostengünstig und umweltgerecht durchzuführen sein.

Der folgende Aufsatz behandelt die im Zuge der Brandschadensanierung erforderlichen Sofortmaßnahmen und beschreibt bewährte aber auch neue Sanierungsmethoden.

leitet, treten oft erhebliche Zusatzkosten bei der Schadenbehebung auf (siehe Abb. unten).

Neben Informationen über Art und Umfang des Schadens sind Kenntnisse über die Auswirkungen des Brandes auf verbliebene Gebäudeteile und Inventar erforderlich. Das durch den Brand entstandene Gefährdungspotential für Menschen, Tiere und Umwelt muß ebenfalls berücksichtigt werden. Mit Beginn der Sofortmaßnahmen ist dafür Sorge zu tragen, daß das Schadensmaß (z.B. durch Fotoaufnahmen) hinreichend dokumentiert wird.

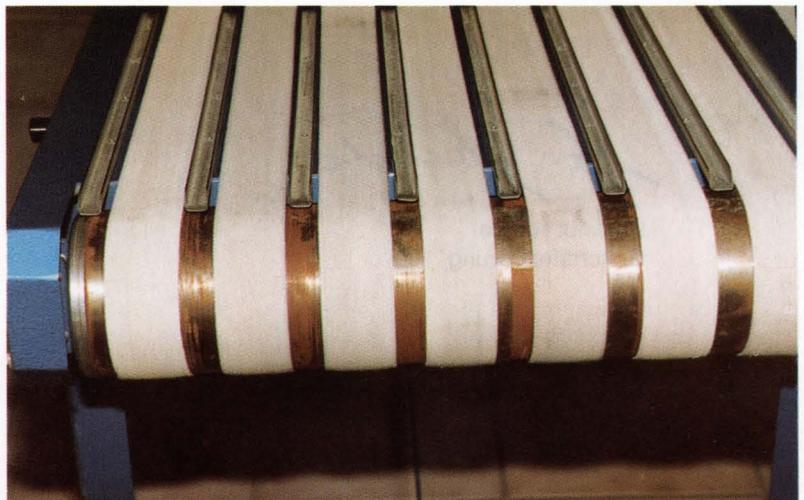
Nach einem Brand sind Gebäude im wesentlichen durch korrosiv wirkende Substanzen und durch das Eindringen oder Verbreiten von Löschwasser oder Löschmittelrückständen gefährdet. Maschinen dürfen ohne genaue Schadenanalyse – auch nicht probeweise – wieder in Betrieb genommen werden. Hier sind möglicherweise verdeckt liegende Teile, wie Lager, Wellen etc., von Korrosionen betroffen. Bei elektronischen Anlagen können Störungen und damit Folgeschäden, unter anderem durch veränderte Widerstände, hervorgerufen werden. Auch diese sollten nach Brandschäden ohne genaue Schadenanalyse nicht in Betrieb genommen werden.

Um Feuchtigkeitsschäden am Gebäude bzw. am Inventar zu begrenzen, sind schnellstmöglich Trocknungsmaßnahmen einzuleiten.

### Sanierung

#### Sofortmaßnahmen

Sofortmaßnahmen sollten direkt nach Freigabe der Brandstelle durch die Behörden eingeleitet werden. Im Idealfall werden bereits nach Abzug der Feuerwehr die ersten Tätigkeiten koordiniert. Die Sofortmaßnahmen zählen zu den wichtigsten Beiträgen zur Schadenbegrenzung. Werden sie zu spät einge-



Aufgrund fehlender Sofortmaßnahmen nach einem Brandschaden entstanden Korrosionen an dieser Förderbandanlage.

## Sofortmaßnahmen

Nach einem Brandschaden sollten folgende Maßnahmen sofort eingeleitet werden:

- ▶ Einsturzgefährdete Bereiche absichern;
- ▶ Komplette Stromversorgung sowie Gas- und Druckluftversorgung außer Betrieb nehmen;
- ▶ Keine Funktionstests von Maschinen oder elektronischen Anlagen vornehmen;
- ▶ Die Sicherungen an den Unterverteilungen entfernen, um unbeabsichtigtes Wiedereinschalten zu verhindern;
- ▶ Brandbetroffene Bereiche abschotten und nicht betroffene Bereiche gegen die Verschleppung von Ruß absichern;
- ▶ Verbliebene Rauchgase ins Freie ableiten;
- ▶ Löschwasserrückstände entfernen und gegebenenfalls in Behältern zwischenlagern;
- ▶ Falls nötig, Abfluß- oder Kanalöffnungen zum Schutz vor schadstoffhaltigen Löschmittlrückständen verschließen;
- ▶ Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltgefährdungen treffen;

Nachdem ein sicheres Betreten der Brandstelle gewährleistet ist, sollten folgende Maßnahmen eingeleitet werden:

- ▶ Ortsfeste Anlagen wie Produktionseinrichtungen und Maschinen zur Vermeidung von Folgeschäden vor Korrosion schützen und abdecken;
- ▶ Bis auf ganz wenige Ausnahmen sollten an elektronischen Anlagenteilen jedoch keine Korrosionsschutzmittel verwendet werden;
- ▶ Transportable Geräte, Maschinen und elektronische Anlagenteile in trockene, nicht brandbetroffene Bereiche verlagern;
- ▶ Nasse Gegenstände, wie z. B. Vorhänge, Tapeten, Bodenbeläge oder Möbel, sowie Brandschutt und lose Teile von der Brandstelle entfernen und sortiert in Containern zwischenlagern;
- ▶ Zerstörte Dachbereiche durch Notabdeckungen schützen, zerstörte Fenster durch Notverglasung oder Folienabdeckungen ersetzen;
- ▶ Relative Luftfeuchtigkeit so schnell wie möglich unter 40 % senken, dabei Luftfeuchte unter Plastikabdeckungen kontrollieren, da hier Wasser kondensieren kann;
- ▶ Dafür sorgen, daß umweltbelastende Stoffe nicht ins Erdreich oder in die Kanalisation ausgeschwemmt werden können;
- ▶ Externe Stromversorgung und Beleuchtung installieren;
- ▶ Die Schadenstelle so absichern, daß sich Unbefugte keinen Zutritt verschaffen können;
- ▶ Bei Frostgefahr: Entleerung des Heizungssystems und Absperrern der Wasserversorgung.



Der Umfang der Sofortmaßnahmen ist vom Ausmaß des Schadens bzw. von den Auswirkungen auf Gebäude und Inventar abhängig.

Da der Verlauf von Korrosionsprozessen von der Luftfeuchtigkeit abhängt, kann man durch den Entzug von Wasser bis auf eine relative Luftfeuchtigkeit von 40 % die Fortsetzung der Korrosion weitgehend unterbinden. Der Erfolg von Trocknungsmaßnahmen hängt ganz wesentlich von der bereits verstrichenen Zeit ab.

**Hier gilt: Je schneller, desto besser.**

Aus diesem Grund sind viele Sanierungsfirmen auch rund um die Uhr erreichbar und damit in der Lage, kurzfristig Trocknungsgeräte zu installieren.

Bei größeren Produktionsbereichen sollten einzelne Maschinen in einem Trockenzelt untergebracht werden, um eine rasche Lufttrocknung zu gewährleisten. Diese Methode wird aber häufig wegen der erheblichen Zusatzkosten nicht angewendet.

Parallel zu Lufttrocknungsmaßnahmen werden die Maschinen mit Korrosionsschutzmitteln behandelt. Besonders wenn aufgrund individueller Gegebenheiten auf der Brandstelle ein Lufttrocknen schwierig oder nicht möglich ist, müssen speziell entwickelte Korrosionsschutzmittel eingesetzt werden. Diese unterwandern die oberflächlich anhaftende Feuchtigkeit und verhindern den Metallangriff durch Inhibitoren. Solche Mittel sind sogar bei extremer Säurebelastung noch aktiv. Für einen vollständigen Korrosionsschutz müssen bei einigen Maschinen Teildemontagen durchgeführt werden, um auch verdeckt liegende Gerätekomponenten, wie Lager, Wellen, Spindeln etc., konservieren zu können. Weiterhin sind alle ungeschützten metallischen Oberflächen an Werkzeugen, Halbfertigwaren und sonstigen Einrichtungen oder Lagergütern schnellstmöglichst einer Konservierung zu unterziehen. Die Konservierungsmittel müssen gezielt nach Schadenart und den betroffenen Oberflächen eingesetzt werden.

Sofort eingeleitete Trocknungsmaßnahmen dienen auch dazu, feuchtigkeitsempfindliche Bauteile, z. B. Holzfußböden oder hölzerne Zwischendecken, zu retten. Mit speziellen Geräten wird dabei die Feuchtigkeit aus der Dämmschicht

entfernt, ohne die Oberfläche zu zerstören. Hierbei werden Düsen durch den Estrich in den Dämmschichtbereich über kleine Bohrungen eingebracht, durch die Warmluft eingeblasen werden kann. Durch den so erzeugten Überdruck wird eine Luftzirkulation erzwungen, wobei die feuchte Luft über Randbereiche austritt und dort von Trocknungsgeräten getrocknet werden kann.

Beim „Vakuumverfahren“ wird in umgekehrter Weise vorgegangen. Hier wird in der Dämmschicht ein Unterdruck erzeugt und die Feuchtigkeit dabei „abgesaugt“. Ein Vorzug dieser Technik ist die verminderte Geruchsbelästigung durch austretende Luft (Moder).

## Gebäudesanierung

### Bauteile und Baustoffe

Die durch Brandschäden sanierungsbedürftig gewordenen Bauteile und Baustoffe von Gebäuden lassen sich folgendermaßen einteilen:

- ▶ Kalk- und zementgebundene Bauteile (Stahlbeton, schlaff bewehrt, gespannt; Leicht- und Porenbeton);
- ▶ Putz, Mauerwerk, Boden- und Wandfliesen;
- ▶ Metallische Bauteile (Stahlträger und -stützen, verzinkt und unbehandelt);
- ▶ Sandwich-Bauteile, Leichtbauwände, abgehängte Decken, Dämmstoffe;
- ▶ Holz und Holzwerkstoffe;
- ▶ Kunststoffe (Bodenbeläge etc.).

### Sanierungsverfahren

Die im Zuge der Brandschadensanierung angewendeten Verfahren müssen folgenden Anforderungen gerecht werden:

- ▶ Unterschreitung von Grenz- und Richtwerten toxischer und korrosiver Schadstoffe;
- ▶ möglichst schonende Behandlung der Oberflächen;
- ▶ Erzeugung geringer Abfallmengen, z. B. durch geeignete Kreisläufe von Sanierungswasser oder Strahlgut.

Während die im Brandverlauf entstandenen toxischen Schadstoffe in den meisten Fällen durch Verfahren wie Abblasen, Saugen, Wischen, Waschen oder herkömmliche Strahlverfahren beseitigt werden können, müssen zur Entfernung der in die Gebäudesubstanz eingedrungenen korrosiven Schadstoffe häufig aufwendigere Verfahren angewendet werden. Die Auswahl eines Verfahrens zur Sanierung armerter Bauteile richtet sich nach der Konzentration und der Eindringtiefe korrosiv wirkender Substanzen. Für diese Verfahren steht nicht mehr eine schonende Behandlung von Oberflächen, sondern der Erhalt der Tragfähigkeit im Vordergrund.

Die zu den einzelnen Verfahren vorliegenden Angaben über Kosten und Wirtschaftlichkeit (siehe Tabellen) geben bestenfalls Anhaltspunkte für den tatsächlich erforderlichen Aufwand, da die individuellen Gegebenheiten auf der Schadstelle nicht vereinheitlicht werden können. Besonders solche Aspekte wie z. B. das Ausmaß der Beschädigungen, Art und Umfang der Beaufschlagungen oder die Zugänglichkeit von Sanierungsflächen können erhebliche Veränderungen der angegebenen Preise bewirken. Hinzu kommt noch der Faktor Zeitaufwand.

Vergleicht man unterschiedliche Sanierungsverfahren miteinander, so gehen die Vorzüge einiger Verfahren meist zunächst mit höheren Kosten einher. Diese werden aber oft durch den Erhalt der Oberflächen und Einsparungen bei der Entsorgung ausgeglichen.

Aus diesem Grund ist es immer sinnvoll, vergleichende Angebote für die Gesamtleistung einzuholen. Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dominieren Kriterien wie etwa Reinigungserfolg, Preis oder Geschwindigkeit des Verfahrens.

Verfahren	Absaugen; Abblasen
Prinzip	Hier werden Beaufschlagungen durch Industriestaubsauger oder den Einsatz von Preßluft entfernt.
Einsatzmöglichkeiten	Locker aufliegender Ruß oder Staub kann durch einfaches Absaugen, Abbürsten und Abblasen entfernt werden. Je nach Bedarf werden diese Verfahren ein- bis dreimal angewendet. Am Anfang steht der Absaugvorgang, unterstützt durch Abbürsten, Abpinseln etc. Erst dann werden Reststäube in unzugänglichen Bereichen noch mit Druckluft aufgewirbelt.
Preis	Der Endpreis hängt insbesondere von der Gesamtfläche, ihrer Zugänglichkeit, den Kosten für die Bereitstellung der einzelnen Geräte und der Entsorgung anfallender Stäube ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 2 und 4 DM pro m <sup>2</sup> allein für Personalaufwand und gestellte Geräte.
Bewertung	Beim Abblasen ist es erforderlich, gleichzeitig und sehr effektiv abzusaugen, um eine Rückkontamination oder Neuverteilung der Verunreinigung zu verhindern. Das Verfahren muß üblicherweise zweimal wiederholt werden.



Verfahren	Handwischverfahren
Prinzip	Beaufschlagungen werden durch Abwischen unter Einsatz von Reinigungsmittelzusätzen entfernt.
Einsatzmöglichkeiten	Zur neutralisierenden Reinigung nach Säureschäden werden leicht alkalische Zusätze verwendet. Korrosionen auf zugänglichen Oberflächen lassen sich mit Hand-Entrostern beseitigen.
Preis	Der Endpreis hängt maßgeblich von der Gesamtfläche, ihrer Zugänglichkeit und den Kosten für die Entsorgung anfallender Abfälle ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 3 und 7 DM pro m <sup>2</sup> .
Bewertung	Dieses Verfahren gehört zu den kostengünstigen Sanierungsverfahren. Das Handwischverfahren ist auf glatten, nicht aber auf porösen, stark strukturierten oder rauen Oberflächen einsetzbar.

Verfahren	Sprühextraktion; Vakuum-Extraktion
Prinzip	Beim Sprüh-Extraktionsverfahren werden Reinigungs- und Absaugvorgang gekoppelt. Das hierbei verwendete Gerät spült die zu bearbeitenden Flächen und saugt mit einer Vakuumdüse das Washwasser sofort wieder ab. Das Washwasser wird über einen Filter gereinigt und kann dadurch im Kreislauf verwendet werden. Die Vakuum-Extraktion beruht darauf, daß das Reinigungsmedium durch einen leicht pulsierenden Strahl in die oberflächennahen, porösen Schichten eindringt und beim anschließenden Absaugen Verunreinigungen mitreißen kann.
Einsatzmöglichkeiten	Mit diesen Verfahren können Wände, Decken und Böden gereinigt werden. Diese müssen jedoch weitgehend eben sein. Die Verfahren haben sich bei der Sanierung von Wohnungsbränden bewährt, insbesondere wenn Washwasseranfall und somit die Feuchtigkeit gering gehalten werden müssen.
Preis	Der Endpreis hängt insbesondere von der Gesamtfläche, ihrer Zugänglichkeit, den Kosten für die Bereitstellung der einzelnen Geräte und für die Entsorgung anfallender Washwässer ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 4 und 30 DM pro m <sup>2</sup> .

### Bewertung

Beide Verfahren sind relativ arbeitsintensiv und für große Flächen in der Regel wegen geringer Flächenleistung unwirtschaftlich. Ein weiterer Nachteil der Vakuum-Extraktion ist der erhöhte Zeitbedarf. Außerdem ist diese nur für ebene Oberflächen verwendbar. Der Vorteil liegt im geringen Anfall an Reinigungsmitteln. Hierin besteht eine wesentliche Verbesserung gegenüber der Sprühextraktion.

### Verfahren

#### JOS-Verfahren

### Prinzip

Das nach dem Erfinder der hier verwendeten Spezialdüse (H. JOS) benannte Verfahren wurde vor einigen Jahren vor allem für den Einsatz in der Denkmalpflege entwickelt. Erste Sanierungsfälle waren die Entfernung von Graffiti auf unterschiedlichen Untergründen. Erst später wurde das JOS-Verfahren auch bei der Brandschadensanierung eingesetzt. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, mußten vor allem geeignete Strahlmittel (je nach Untergrund mit verschiedener Härte) gefunden werden. Es kommen entweder Glas-, Steinpuder oder Schlacke, jeweils in verschiedenen Verhältnissen gemischt mit Wasser zum Einsatz. In der Spezialdüse wird ein Luft-Wasser-Strahlmittel-Wirbel erzeugt, der mit niedrigem Druck spiralförmig und damit fast parallel auf die Sanierungsfläche geschleudert wird. Auf diese Weise wird ein leicht schleifender, scheuernder Reinigungseffekt erzeugt, der bei der richtigen Wahl der Zusatzstoffe die Oberfläche des zu reinigenden Materials nur wenig belastet.

### Einsatzmöglichkeiten

Das Verfahren wird zur schonenden Reinigung empfindlicher Oberflächen von Naturstein, Glas, Fliesen, Aluminiumfassaden oder Maschinen eingesetzt. Häufig kann der Anstrich sogar noch erhalten werden.

### Preis

Der Endpreis hängt unter anderem von der Gesamtfläche, ihrer Zugänglichkeit, den Kosten für die Bereitstellung der einzelnen Geräte, der Menge der verbrauchten Strahlmittel und der Entsorgung des anfallenden Strahlgutes ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 20 und 70 DM pro m<sup>2</sup>.

### Bewertung

Wirtschaftlich ist diese Methode dann, wenn andere Verfahren nicht möglich oder wenn kritische Kontaminationen vorhanden sind, da verhältnismäßig geringe Abfallmengen anfallen. Das Verfahren erfordert jedoch einen hohen Zeitbedarf.



## Verfahren

## Hochdruck-Wasch-Verfahren (HDW-Verfahren)

### Prinzip

Beim HDW-Verfahren wird erhitztes Wasser (bis ca. 80 °C) mit einem Druck von 80 - 150 bar zur Reinigung der Oberfläche eingesetzt (siehe Abb.). Je nach Art der Verschmutzung kann ein Netzmittel zugesetzt werden (siehe Abb. rechts); der Vorgang sollte mehrmals wiederholt werden (meistens 2 - 3 Durchgänge). Neben der Oberflächenreinigung ist auch eine Chloridsanierung durch Ausspülen möglich.



Sanierung von Stahltrapezdecken im Hochdruckwaschverfahren.

### Einsatzmöglichkeiten

Das HDW-Verfahren wird zur Sanierung von Bauteiloberflächen bei üblicher Schadstoffkontamination (z. B. Tiefgaragenbrand) angewendet. Bei hoher Chloridbeaufschlagung, die bereits eingedrungen ist, kann dieses Verfahren jedoch die Chloride in den Beton hineinwaschen (bis zur Bewehrung) und ist daher in solchen Fällen problematisch.

### Preis

Der Endpreis hängt u. a. von der Gesamtfläche, ihrer Zugänglichkeit, den Kosten für die Bereitstellung der einzelnen Geräte und der Entsorgung anfallender Waschwasser ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 7 und 10 DM pro m<sup>2</sup> (exklusive der Entsorgung von Waschwässern).

### Bewertung

Beim Einsatz des HDW-Verfahrens entsteht im Innenbereich sehr hohe Luftfeuchtigkeit. Dies ist problematisch, wenn z.B. Maschinen im Raum sind. Es müssen relativ große Mengen Reinigungswasser entsorgt werden. Mit steigender Dichte des zu bearbeitenden Materials verringert sich der Auswascheffekt. Das Verfahren ist relativ kostengünstig.

### Variante Sand-Wasch-Verfahren

Das Sand-Waschverfahren arbeitet ähnlich wie das Hochdruck-Waschverfahren, jedoch wird durch die Zugabe von feinkörnigem Sand in das Wasser der Reinigungseffekt verbessert. Auch dieses Verfahren ist relativ kostengünstig. Der Preis entspricht etwa dem Aufwand für das HDW-Verfahren.



Die Verwendung ungeeigneter Sanierungschemikalien führte an diesem verzinkten Stahlträger zu Korrosionen.

## Verfahren

### Sandstrahl-Verfahren

#### Prinzip

Das Verfahren beruht auf der mechanischen Wirkung des Strahlmittels, womit sich eine Schicht der zu behandelnden Oberfläche (z. B. Beton) bei Drücken von 5 - 10 bar abtragen läßt. Es wird zunehmend als Feuchtstrahl-Verfahren eingesetzt (Zugabe von Wasser), um eine zu große Staubbelastung zu vermeiden. Eine neuere Variante ist das sogenannte Vaku-Blast-Verfahren, bei dem das Strahlgut (ähnlich wie beim Vakuum-Extraktionsverfahren) im gleichen Arbeitsgang wieder abgesaugt wird. Dadurch kann das Strahlmittel mehrfach verwendet werden. Dem Recycling sind jedoch Grenzen gesetzt, da die Abtragungswirkung bei jedem Durchgang geringer wird.

#### Einsatzmöglichkeiten

Das Verfahren ist besonders geeignet bei extrem geschädigter Oberfläche oder schwer lösbaren Farbschichten. Sandstrahlen ist immer dann sinnvoll, wenn ein Materialabtrag erwünscht bzw. notwendig ist. Hohe Drücke können bei der Anwendung auf Porenbeton zur Beschädigung der Bauteile führen. Die Abtragungsdicke ist auf einen Maximalwert von ca. 4 mm begrenzt.

#### Preis

Die Kosten liegen im Bereich zwischen 20 und 60 DM pro m<sup>2</sup>. Erhebliche Zusatzkosten entstehen durch die erforderlichen Maßnahmen zum Abdecken oder Abplanen ortsfester Gegenstände, Geräte oder Anlagen, die nicht gestrahlt werden dürfen oder durch das Strahlmittel beschädigt werden könnten.

#### Bewertung

Da die gestrahlte Fläche aufgeraut wird, ist in der Regel eine Nachbehandlung erforderlich. Sandstrahlen kommt nur in wenigen Fällen zum Einsatz, weil oft große Mengen Strahlmittel umgesetzt werden und umfangreiche Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig sind. Eine Alternative, falls Materialabtrag erwünscht ist, stellt Abnadeln oder Abspitzen (mechanisches Abtragen) dar. Letztere Varianten sind insbesondere für kleine Flächen geeignet. In jedem Fall muß nach der Anwendung die Oberfläche wiederhergestellt werden (Spritzbeton, Reparaturmörtel, Glattstrich, Farbschicht). Nachteilig sind die relativ hohen Kosten zur Entsorgung kontaminierten Strahlguts.



Verfahren	Höchstdruckwasserstrahlverfahren
Prinzip	Bei diesem Verfahren wird mit extremen Drücken (bis ca. 1200 bar) gearbeitet. Damit kann z. B. Beton in Schichten von mehreren Zentimetern abgetragen werden. Neuerdings kommen auch Arbeitsmaschinen zum Einsatz, die die Strahlkanne selbständig führen können. Die bei der Behandlung von Beton freigelegte und gereinigte Armierung muß schnellstens mit einem Korrosionsschutzsystem behandelt werden, um Flugrostbildung zu verhindern. Zementgebundene Anstriche können nach dem Wasserstrahlen auf die noch feuchten Stähle aufgebracht werden.
Einsatzmöglichkeiten	Sanierung von Beton, extrem belastete Oberflächen
Preis	Die Kosten bewegen sich im Bereich des HDW-Verfahrens, sind aber wegen der aufwendigeren Ausrüstung etwa 10 % höher.
Bewertung	Dieses Verfahren wurde für die Brandschadensanierung bisher nur selten eingesetzt. Der Hauptvorteil liegt jedoch darin, daß der Materialabtrag (z. B. Sanierung der Unterseite einer Betondecke) praktisch ohne Erschütterung stattfindet.

## Spezielle Verfahren zur Entfernung von Chlorid in Beton

Wenn größere Mengen PVC verbrannt sind oder andere Umstände auf eine hohe Chlorid-Konzentration schließen lassen, muß die Eindringtiefe und der Umfang der Chloridbelastung durch Analysen bestimmt werden.

Die bei der Probenahme gesammelten Bohrproben werden im 5-Millimeter-Schichtbereich ausgewertet und liefern so Erkenntnisse über Menge und Eindringtiefe der Chloride. Solche Untersuchungen sind ohne großen Laboraufwand mit standardisierten Verfahren möglich und deshalb rasch und kostengünstig durchzuführen.

Zur Sanierung von Stahlbetonbauteilen kommen, je nach Chloridkonzentration und Eindringtiefe, verschiedene Methoden in Betracht. Bei geringer Eindring-

tiefe eignet sich die Hochdruck-Wasser-Reinigung.

Durch die Hochdruck-Wasser-Reinigung werden oberflächige Beaufschlagungen entfernt und Chloride in geringer Tiefe (0 - 5 mm) herausgespült. Durch diesen Vorgang können jedoch nur maximal 50 % der Chloride im äußeren Bereich entfernt werden.

Beide Methoden sind daher ungeeignet, wenn hohe Chlorid-Konzentrationen vorhanden sind. Der Restgehalt nach der Sanierung wäre zu hoch, außerdem wird das Eindringen der Chloride in tiefere Schichten gefördert.

Für höhere Chloridkonzentrationen bei größeren Eindringtiefen eignen sich Verfahren wie die Kalk- bzw. Lehmbeisanierung, die Elektrosanierung oder das Abspritzen des Betons und anschließende Aufbringen von Spritzbeton.

## Verfahren

## Kalkbreisanierung; Lehmbreisanierung.

### Prinzip

Auf die zu sanierende Betonoberfläche wird eine Schicht Kalkbrei bzw. Lehmbrei aufgespritzt. Der Kalkbrei stellt eine alkalische, chloridarme Schicht dar, in die Chlorid aus dem Beton zurückdiffundieren kann. Dies gilt allerdings nur solange, wie der Kalk- bzw. Lehmbrei noch feucht ist. Im eingetrockneten Zustand fehlt das Transportmedium Wasser für die Diffusion. Deshalb muß die getrocknete Schicht nach einer Trocknungsdauer von etwa 6 Stunden entfernt und erneuert werden. Ebenso ist insbesondere bei der Kalkbreisanierung darauf zu achten, daß die aufgebrauchte Schicht sich während des Prozesses nicht abhebt, da sonst keine Wanderung mehr stattfindet.

### Einsatzmöglichkeiten

Anwendungsgebiete sind die Betonsanierung, speziell die Sanierung von Spannbeton.

### Preis

Der Endpreis hängt maßgeblich von der Gesamtfläche und ihrer Zugänglichkeit sowie der Anzahl der zum Erreichen des vorgegebenen Sanierungserfolgs erforderlichen Durchgänge ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 60 und 90 DM pro m<sup>2</sup> und Durchgang.

### Bewertung

Das Verfahren muß so oft wiederholt werden, bis die Chloridkonzentration das Sanierungsziel erreicht. Dabei nimmt die Wirksamkeit der Methode mit zunehmender Anzahl von Sanierungsgängen ab. Besonders wichtig für ein Gelingen ist, daß die aufgebrauchte Schicht möglichst homogen aufgebaut ist. Häufig genug schon hat dieses Verfahren den Schaden verschlimmert, indem das Chlorid in tiefere Schichten eingespült wurde. Sollte sich nicht der gewünschte Effekt einstellen, ist von Wiederholungen ohne genaue Ursachenanalyse abzuraten. Bei der Verwendung von Kalkbrei ist unbedingt auf mögliche Verletzungsgefahren, z.B. Verätzungen, zu achten. Erfolgreicher als die Kalkbreisanierung ist die Lehmbreisanierung. Sie bietet den Vorteil, daß weniger Risse auftreten und die Wanderung der Chloridionen dadurch kontinuierlicher verläuft.



## Verfahren

## Elektrosanierung

### Prinzip

Die Grundlage des im IFS entwickelten Verfahrens ist die Wanderung von geladenen Teilchen (wie Chlorid) im elektrischen Feld. Hierzu wird mit Hilfe von Schweißgleichrichtern zwischen der Armierung als Kathode und einer auf einer Bentonitschicht (quellfähiges Tonmaterial) oberhalb der zu sanierenden Fläche aufgetragenen Aluminiumfolie als Anode ein elektrisches Feld erzeugt. Der Fortschritt der Sanierung kann durch das sukzessive Aufzehren der Aluminiumfolie durch anodische Oxidation verfolgt werden (Abb. unten + rechts).

### Einsatzmöglichkeiten

Die Elektrosanierung wird zur Betonsanierung, speziell bei Vorliegen großer Chloridkonzentrationen, bei hohen Eindringtiefen eingesetzt.

### Preis

Der Endpreis hängt insbesondere von der Gesamtfläche, ihrer Zugänglichkeit und den Kosten für die Bereitstellung der einzelnen Geräte ab. Die meisten Angebote liegen im Preisniveau zwischen 80 und 250 DM pro m<sup>2</sup>.

### Bewertung

Dieses zerstörungsfreie Verfahren bietet einen hohen Sanierungserfolg bei geringem Zeitaufwand. Das ist z. B. bei Betriebsunterbrechungen wichtig. Es wird für Spannbeton nicht angewendet, weil für die Spannstähle die Gefahr einer Wasserstoffversprödung nicht ausgeschlossen werden kann.



Laborversuch: Elektrosanierung an Porenbeton-Deckenplatten in unterschiedlichen Sanierungsstadien. Rechts fortgeschrittenes Stadium, hier zeichnen sich bereits die Positionen der Armierungsstäbe durch Lochfraß an der aufgetragenen Aluminiumfolie ab.



Aufbringen der Aluminiumfolie für die Elektrosanierung zum Entfernen brandbedingter Chloride nach einem Großschaden

Verfahren	Abspritzen und Betonspritzen
Prinzip	Die chloridhaltige Betonschicht wird mechanisch abgetragen und Spritzbeton aufgebracht.
Einsatzmöglichkeiten	Das Verfahren wird zur Betonsanierung, speziell für schwere Betonschäden bzw. beim Vorliegen großer Chloridkonzentrationen, bei hohen Eindringtiefen angewendet.
Preis	Pauschalangebote sind kaum zu erhalten, die Schwankungsbreite ist aufgrund der unterschiedlichen Materialien individuell. Vom Preisniveau her ist dieses Verfahren jedoch deutlich oberhalb des Flächenpreises einer Elektrosanierung anzusiedeln.
Bewertung	Erfahrungsgemäß wird diese kostenintensive Methode nur in Ausnahmefällen angewendet, wenn thermische Schäden und/oder große Chloridkonzentrationen bei hohen Eindringtiefen vorliegen.



## Sanierung der Betriebseinrichtung

Bei der Sanierung der Betriebseinrichtung steht die Sanierung von Maschinen und Anlagen im Vordergrund (siehe Abb. unten + rechts). Zu unterscheiden sind hier elektrische oder elektronische Anlagen bzw. Anlagenteile, daneben mechanische Anlagen, Maschinen sowie Hausrat (Möbel u. ä.).

Die größten Gefahren für elektronische Bauteile resultieren aus Korrosionen und der Leitfähigkeit der Niederschläge bzw. der Änderung der Leitfähigkeit auf Platinen, an Isolatoren usw. infolge Feuchtigkeitseinwirkung durch Löschwasser oder Löschpulver. Durch so induzierte Kriechströme können erhebliche Folgeschäden eintreten. An Maschinen und Maschinenteilen kann es durch Korrosionen zu Beschädigungen der Oberflächen kommen. Besonders betroffen sind bewegliche Stahlteile, wie Spindeln oder Wellen. Vor allem bei Präzisionsmaschinen ziehen derartige Schäden schnell entweder erhebliche Reparaturkosten oder den Totalverlust nach sich. Holzoberflächen können durch Temperaturwechsel, den Löschangriff oder durch die größere Luftfeuchtigkeit quellen und damit unbrauchbar werden.

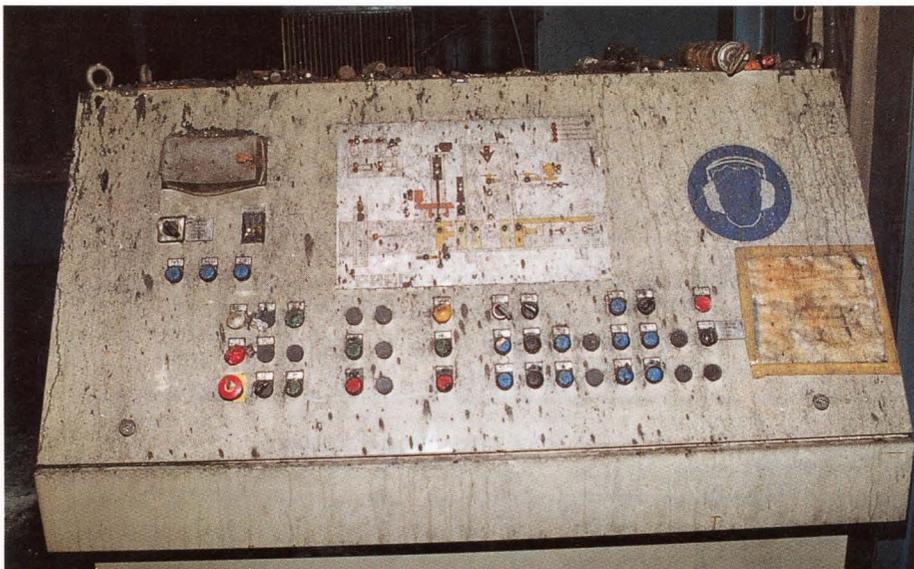
Schon nach dem Beginn der Sofortmaßnahmen ist zu prüfen, welche Sanierungsmaßnahmen für die Betriebseinrichtung anwendbar sind. Die Auswahl

geeigneter Sanierungsverfahren schließt die Beurteilung ihrer Wirtschaftlichkeit ein. Zusammen mit allen Beteiligten werden die Sanierungs- und Reparaturkosten den Aufwendungen für eine Wiederbeschaffung gegenübergestellt. Hierbei ist abzuwägen, ob nicht eventuell auch teurere Verfahren aus Zeitersparnisgründen sinnvoll sind. Insbesondere bei längeren Betriebsunterbrechungen können derartige Sanierungsverfahren dennoch letztlich die kostengünstigere Alternative sein.

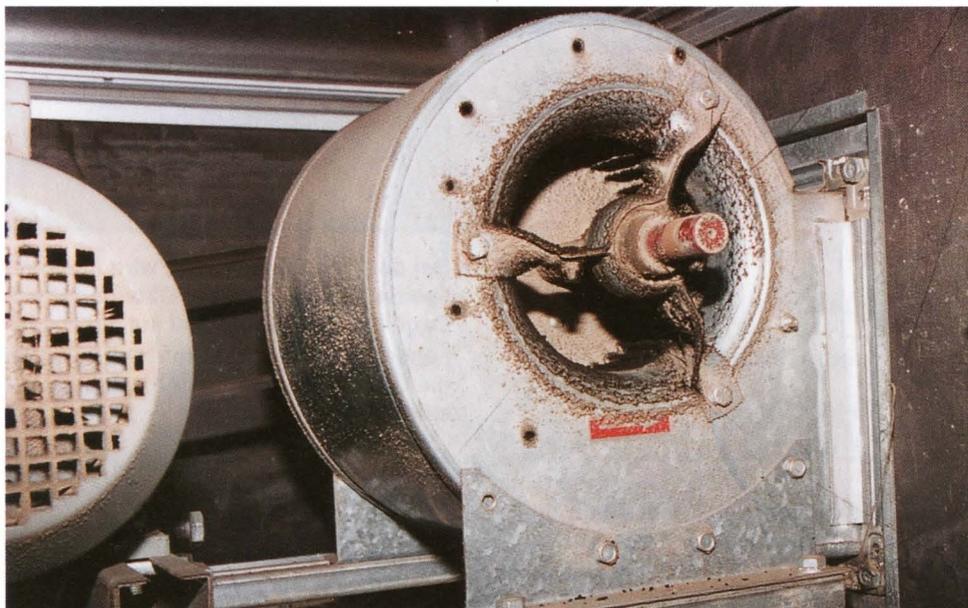
Die möglichen Sanierungsmaßnahmen lassen sich grob in trockene und nasse Verfahren einteilen. Trockene Verfahren zur Sanierung von Maschinen und technischen Betriebseinrichtungen sind die nachstehenden Alternativen:

- ▶ Absaugen;
- ▶ Abpinseln;
- ▶ Abbürsten;
- ▶ CO<sub>2</sub>-Strahlverfahren;
- ▶ Sandstrahlen.

Diese Verfahren wurden mit Ausnahme des CO<sub>2</sub>-Strahlverfahrens bereits diskutiert. Daher wird hier lediglich diese Maßnahmen beschrieben.



Dieses Schaltplatt einer Abfallsortieranlage kann als sanierbar angesehen werden.



Beaufschlagung durch Staub und Ruß am Lüftermotor einer Klimaanlage nach einem Brandschaden.

Verfahren	CO <sub>2</sub> -Strahlverfahren
Prinzip	<p>Wie bei anderen Strahlverfahren wird auch hier einem Druckluftstrom ein Strahlmittel dosiert zugesetzt. In diesem Fall kommt als Strahlmittel ein Trockeneis-Granulat zum Einsatz (ca. 3 mm, Temperatur -78 °C, Härte ca. 2 mohs, vergleichbar mit Gips). Das Granulat trifft mit hoher Geschwindigkeit auf die abstrahlende Oberfläche und kühlt diese schockartig ab. Die kinetische Energie beim Aufprall führt zu einem fast explosionsartigen, rückstandsfreien Übergang des festen Trockeneis-Granulats in die Gasphase (Sublimation). Hierdurch wird der Belag, dessen Verbund mit dem Untergrund bereits durch thermische Spannungen gelockert ist, abgetragen und kann ohne Strahlmittelreste aufgefangen werden.</p>
Einsatzmöglichkeiten	<p>Anwendungsgebiete liegen in der Rußentfernung an Werkzeugen, Maschinenteilen, aber auch an Leiterplatten elektronischer Bauteile sowie in der Sanierung von Gebäudeoberflächen.</p>
Preis	<p>Da das Verfahren bislang noch keine weite Verbreitung gefunden hat, liegen die Preise noch relativ hoch. Angegeben werden Kosten im Bereich von 300 DM pro Stunde.</p>
Bewertung	<p>Bei diesem Verfahren fallen keine Strahlmittelreste, Lösungsmittelreste o. ä. an, so daß nur der abgetragene Schmutz entsorgt werden muß. Wie bei den meisten Strahlverfahren ist Schutzkleidung erforderlich, ebenso muß in kleinen geschlossenen Räumen mit Atemgeräten gearbeitet werden. Nachteilig ist die mögliche Verteilung von Schadstoffen durch die beim Abstrahlen freiwerdenden Stäube.</p>



Als nasse Verfahren kommen für Maschinen und technische Betriebseinrichtungen folgende Verfahren in die engere Wahl:

- ▶ Wischverfahren;
- ▶ Tauchbadverfahren;
- ▶ Sprühextraktionsverfahren;
- ▶ Hochdruckreinigung;
- ▶ JOS-Verfahren.

Mit Ausnahme des Tauchbadverfahrens sind sämtliche Verfahren oben bereits erwähnt worden, weshalb an dieser Stelle lediglich das Tauchbadverfahren diskutiert wird.

Das Tauchbadverfahren umfaßt die folgenden Arbeitsschritte in hintereinander geschalteten Bädern:

Vorreinigung (hier werden grobe Verunreinigungen entfernt und schwerlösliche Niederschläge angelöst), Spülen, Entfernung von Korrosionsspuren, Spülen und Wasserverdrängung mit anschließender Trocknung. Vorteilhaft ist die Möglichkeit des Einsatzes mobiler Anlagen.

## Geruchsmindernde Verfahren

Häufig ist es notwendig, über die genannten Maßnahmen hinaus auch noch geruchsmindernde Verfahren anzuwenden.

Geruchsmindernde Verfahren sind für die Brandschadensanierung Maßnahmen zur Deodorierung, wie

- ▶ Ozonbehandlung
- ▶ Enzymbehandlung
- ▶ Oberflächenversiegelung

Bei der Ozonbehandlung wird in einem speziell entwickelten Ozongenerator Ozon ( $O_3$ ) hergestellt und auf die ausgasenden Flächen geblasen. Dort werden die Geruchsbelästigungen oxidativ zerstört.

Dieses Verfahren ist allerdings nur dann effektiv, wenn die ausgasenden Flächen genau eingegrenzt werden können und somit der Gasstrom auf diese Flächen ausgerichtet werden kann.

Bei Ozon handelt es sich um eine extrem toxische Verbindung. Die Arbeitsschutzvorschriften sind unbedingt einzuhalten. Nachteilig ist die unerwünschte Zersetzung von Farbstoffen bei der Anwendung dieses Verfahrens.

Bei der Enzymbehandlung wird durch eine Versprühanlage mit feiner Düse ein Nebel erzeugt, der möglichst raumdeckend in den betroffenen Bereichen versprüht wird. Schäden an Möbeln, Tapeten oder Wandfliesen wurden bisher nicht beobachtet. Allerdings ist der Erfolg einer Enzymbehandlung je nach eingesetztem Produkt sehr unterschiedlich. Daher wird versucht, durch Einsatz unterschiedlicher Enzymmischungen eine Verbesserung der Wirksamkeit zu erzielen. Oft ist aber festzustellen, daß sich zwar kurzfristig sehr gute Ergebnisse erzielen lassen, nach einigen Tagen jedoch wieder Brandgerüche wahrnehmbar werden. Diese Methode kann nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn die Primärquelle für Brandgerüche lokalisiert und entfernt worden ist.

Bei der Oberflächenversiegelung werden Chemikalien, wie z. B. Wasserglas oder Sperrgründe auf Epoxidharzbasis, auf poröse Flächen aufgetragen und ein Ausgasen damit verhindert.

## Zusammenfassung und Ausblick

Während im ersten Teil dieses Aufsatzes (schadenprisma 2/97) chemische Brandfolgeprodukte, ihre Untersuchung und Bewertung vorgestellt und diskutiert wurden, behandelt dieser zweite Teil die Sanierung von Brandschäden. Es konnten dabei bewährte aber auch neue Sanierungsmaßnahmen aufgezeigt werden.

Die Brandschadensanierung hat sich im Laufe der letzten Jahre zu einer hochqualifizierten und technisierten Dienstleistungsbranche entwickelt. Fundiertes handwerkliches Können, organisatorische Fähigkeiten, Kenntnisse in den Bereichen Chemie und modernen Technologien sowie nicht zuletzt die erfolgreiche Umsetzung der ständig wachsenden Anforderungen durch verschärfte gesetzliche Bestimmungen setzen Maßstäbe für die Qualität und den Erfolg einer Brandschadensanierung.

Wachsende Kosten für Betriebsunterbrechung und die Entsorgung anfallender Abfälle geben einer Sanierung mehr und mehr den Vorrang vor dem Abriß.

Nach der Einführung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes im Oktober letzten Jahres stehen der Brandschadensanierung mit dem Jahreswechsel weitere Änderungen bevor.

Die Leitlinie zur Brandschadensanierung (VdS 2357), die bereits in ihrer gegenwärtigen Fassung einen wertvollen Beitrag für die Zusammenarbeit von Behörden, Entsorgern, Versicherern und Brandschadensanierern leistet, wird Anfang 1998 in aktualisierter Form vorliegen. Sie wird nach wie vor eines der wichtigsten Arbeitspapiere für die Brandschadensanierung verkörpern.

Ergänzend zu der ZH 1/183 „Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen“ wird zu dieser Zeit die TRGS 524 „Arbeiten in kontaminierten Bereichen“ in Kraft treten. Auf die in der Leitlinie zur Brandschadensanierung festgehaltenen Gefährdungsbereiche wird dort hingewiesen.

## Literaturverzeichnis

W. Raab, Sanierung von Brandschäden, in: Brandschutzatlas, FeuerTRUTZ GmbH Verlag für Brandschutzpublikationen, Wolfratshausen.

Relectronic-Remech-Seminar, Herbst 1996, Kurzfassung der Referate der Relectronic-Remech-Seminare, Ismaning 1996.

Sanierung von Brandschäden, Tagungsband der VdS-Fachtagung am 23. und 24.09.1996 in Köln.

24. Brandschutz-Seminar, Tagungsband der VdS-Fachtagung am 18. und 19.03.1997 in Köln.

Verband der Schadenversicherer e. V. „Leitlinie zur Brandschadensanierung“, VdS 2357, 01.94 (01).

Fachverband Sanierung und Umwelt „Richtlinie für Sanierungsarbeiten nach Brand- und Wasserschäden, 1995.

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