Umfang, Sanierung und Vorbeugung von PVC-Folgeschäden an Gebäuden

Caspar Reiter

Unter den verschiedenen Möglichkeiten, den Kunststoffen flammwidrige Eigenschaften zu verleihen, steht die Verwendung von Halogenen sicherlich im Vordergrund. Von ihnen dürfte bis jetzt noch das Chlor bei weitem die wichtigste Rolle spielen, insbesondere als Bestandteil von Polyvinylchlorid (PVC).

Über Erfahrungen des Gebäudebrandversicherers mit den Folgen von Bränden, an denen PVC beteiligt war, wurde schon vor mehreren Jahren wiederholt berichtet (Schrifttum 1).

Die Gefährdung der Standfestigkeit von Stahlbetonbauten durch PVC-Brandgase ist inzwischen weiter diskutiert und von verschiedenen Seiten beleuchtet worden. Die damit zusammenhängenden Fragen sind noch nicht endgültig geklärt.

Indessen hat man nach anfänglicher Ratlosigkeit nach fast siebenjähriger Erfahrung mit Brandfolgeschäden durch Halogene immerhin erkannt, welche vorbeugende Maßnahmen getroffen werden können und wie im Brandfalle zu verfahren ist, um die Gefährdung der Standfestigkeit möglichst zu verhindern.

Seit 1967 haben wir¹) regelmäßig in allen Schadenfällen mit PVC-Beteiligung chemische Institute zur Untersuchung des Schadenumfangs beigezogen (außer bei Bagatellschäden). Über das Ergebnis dieser Untersuchungen und unsere Erfahrungen bei der Sanierung wird nunmehr berichtet. Anschließend wird auf Vorbeugungsmaßnahmen eingegangen, die wir nach den bisher gewonnenen Erfahrungen empfehlen.

I. Die Einwirkung von PVC-Brandgasen auf Bauteile

A. Schadenumfang

Der Grad einer Schädigung von Gebäuden durch PVC-Brandgase wird bestimmt

Dipl.-Ing. Caspar Reiter, Oberbaudirektor bei der Bayerischen Versicherungskammer.

- von der Stärke des Chlorwasserstoffaufschlags,
- 2. von den Eigenschaften des beaufschlagten Werkstoffes.

Zu 1

Die Stärke des HCl-Aufschlags ist bedingt durch:

- a) die Menge und Zusammensetzung des beschädigten PVC,
- b) den Abzug der Brandgase ins Freie,
- c) die Fläche, welche für einen Aufschlag zur Verfügung steht,
- d) die Entfernung vom Brandherd; Rauchgase schlagen sich vorwiegend an kühleren Flächen nieder.

Eine rechnerische Beziehung zwischen diesen Faktoren aufzustellen, um danach im Einzelfall den Grad der Beaufschlagung zu beurteilen, dürfte nur in seltenen Ausnahmefällen möglich sein. Man ist deshalb zunächst auf eine chemische Untersuchung zur Beurteilung eines Schadenfalles angewiesen.

Zu 2.

Die beaufschlagten Werkstoffe bestimmen die Schadenhöhe je nachdem sie mit Chlorwasserstoff chemisch reagieren oder nicht.

 a) Zu den reaktionsfähigen Stoffen zählen Metalle und vorwiegend alle Bau- und Werkstoffe mit Zement und Kalkanteilen²) wie

Beton,

Mörtel, Putz,

sowie Kalk- und Mineralfarb-

b) Zu den nicht reaktionsfähigen Bauund Werkstoffen gehören

Holz,

Keramik aller Art, Fliesen, Ziegel (soweit sie nicht aus kalkreichem Ton gebrannt wurden),

Glas,

Öl- und Kunststoff-Farbanstrich.

Zu 2. a)

Die Reaktionsfähigkeit der ungeschützten Metalle ist je nach Form und Masse und besonders nach ihrem Verwendungszweck von verschiedener Bedeutung. Massigen Stahlträgern, groben Maschinenteilen und dergleichen macht eine Rostnarbe wenig aus, wenn das Chlorid³) auch erst später beseitigt wird. Anders verhält es sich mit blanken Metallteilen der Feinmechanik, Elektrotechnik und Elektronik.

Bei blanken, z.B. geläppten Metallflächen in der Feinmechanik führen bereits minimale Korrosionsnarben in der Größenordnung von 1 μ und weniger zur Funktionsuntüchtigkeit. Bei elektronischen Einrichtungen beeinflußt schon eine ganz geringfügige Beaufschlagung ohne sichtbare Korrosion erheblich den Übergangswiderstand und die Kapazitäten.

Für die Schädigung von Stahlbeton ist seine Dichte (Schrifttum 3,4) maßgebend, die von der entsprechenden Saugfähigkeit und Diffusionsmöglichkeit abhängt, ob, wieweit und wie schnell Chlorid in das Innere des Werkstoffes eindringen kann — Bild 1.

Der Grad der Diffusionsmöglichkeit eines bewehrten Betons ist ja mitbestimmend für die Gefährdung der Stahleinlagen, vornehmlich des Spannbetons im Sofortverbund⁴), denn damit wird die Standfestigkeit des Gebäudes berührt.

Bayer. Versicherungskammer München, Abt. Brandversicherung.

Über die Reaktionsvorgänge von Chlorwasserstoff mit Zement und Kalk siehe Schrifttum 3.

Chloride sind Verbindungen der Salzsäure (wäßrige Lösung des Chlorwasserstoffs, chemisches Zeichen: HCI).

Spannbeton im Sofortverbund = Spannbeton, dessen Spannstähle nicht in Hüllrohren liegen, sondern unmittelbar einbetoniert wurden.

Neben der Diffusionsmöglichkeit ist die Alkalität des Betons von Bedeutung, da im alkalischen Milieu die durch Chlorid bedingte fortschreitende oder progressive Korrosion am Stahl im baupraktischen Sinne nicht erfolgt.

Beim Eintritt einer Chloridkorrosion am Stahl entsteht primär Eisenchlorid (hygroskopisch). Bei Vorhandensein von Feuchtigkeit verwandelt sich Eisenchlorid in Eisenhydroxyd bzw. Eisenoxyd, so daß das Chlorid-Ion nicht gebunden bleibt, sondern an der metallischen Oberfläche einer Korrosionsgrube zu erneuter Umwandlung des Eisens in Eisenchlorid zur Verfügung steht — Bild 2 — (Schrifttum 3).

Der Vorgang findet fortlaufend solange statt, bis das betreffende Metall verbraucht ist. Diese selektive elektrochemische Korrosion kann u. a. auch mit Rasterelektronen-Mikroskop und anschließender Elektronenstrahl-Mikroanalyse (Resonanzstrahlung) nachgewiesen werden (Schrifttum 5).

Ein gut ausgeführter Schwerbeton mit hervorragender Dichte und ausreichender Alkalität bietet auf lange Zeit einen guten Schutz für die Stahleinlagen, wenn ihre Betonüberdeckung die vorschriftsmäßige Stärke hat und der betreffende Bauteil keiner außergewöhnlichen Feuchtigkeit ausgesetzt ist (Schrifttum 4). Die Beseitigung des HCl-Aufschlags bzw. bereits entstandener Chloride braucht dann nicht überhastet zu werden. Leider kommt es immer wieder vor, daß sowohl beim Ortbeton als auch sogar bei vorgefertigten Betonbauteilen die Betonüberdeckung des Stahls ungenügend ist.

Ein Beton minderer Qualität sowie bestimmte Leichtbetonarten mit höherer Porosität erleichtern das Eindringen der Chloride. In diesen Fällen ist auch der nicht vorgespannte Stahl leichter gefährdet.

Die Reaktionsfähigkeit von Mörtelputz sowie von Kalk- und Mineralanstrichen ist in bezug auf die Gefährdung von Armierungsstählen des Betons eine wirksame Bremse, da sie das Chlorwasserstoffangebot durch Neutralisation abfangen und das entstehende Chlorid zunächst aufnehmen. Die Diffusion des Chlorids in den darunterliegenden Betonbauteil wird dadurch zugleich erheblich verzögert.

Kalk- oder zementhaltige Werkstoffe können aber auch an der Oberfläche zersetzt werden, indem das Bindemittel Calciumcarbonat unter Freisetzung von Kohlendioxid



Fabrikationshalle nach PVC-Abbrand, durchgerostete Bügelarmierung an den Stahlbeton-

(CO₂) reagiert. Dadurch wird das Gefüge der Putz- oder Betonoberfläche gestört. Es sandet oder mehlt ab. Der Calciumchloridgehalt dieses herabfallenden Materialstaubes kann anfällige feinmechanische oder elektronische Anlagen empfindlich stören — Bild 3.

Damit ist die Verwendbarkeit eines Raumes oder Gebäudes für spezielle Anwendungszwecke schon beim Verbrennen geringer Mengen PVC eingeschränkt, selbst wenn kein Korrosionsangriff auf statisch wirksame Metallteile der tragenden Bauglieder in Betracht kommt.

Gerade diese Schadenfolge beschäftigt uns heute viel mehr als die Frage nach der Standfestigkeit, die bislang im Vordergrund stand.

Zu 2. b)

Bau- und Werkstoffe, die nicht mit Chlorwasserstoff reagieren, also Holz, Keramik, Glas und undurch-lässige Anstriche, schirmen die darunter befindlichen reaktionsfähigen Werkstoffe gegen den HCl-Aufschlag ab und schützen sie zuverlässig.

Deshalb kann aber der Aufschlag auf solchen Werkstoffen nicht einfach belassen werden, denn da er nicht neutralisiert wird, gast er zurück und schlägt sich auf womöglich schon sanierte Anlagen nieder, welche dadurch in ähnlicher Weise gefährdet werden wie während des Brandes.

Bei den nicht reaktionsfähigen Anstrichen ist zwischen durchlässigen und undurchlässigen zu unterscheiden. Undurchlässige Anstriche sind Ölfarbe und Epoxidharz. Dispersionsfarben sind dagegen mehr oder weniger durchlässig.

Untersuchungen von Fischer und Maier über das Verhalten von Dispersionsanstrichen auf anorganischen Baustoffen bei Chlorwasserstoffbegasung (Schrifttum 6) ergaben hier eine geringere Eindringtiefe der Chloride als bei ungeschützten Baustoffen. Daraus geht hervor, daß solche Anstriche den Durchgang von Chlorid verringern, aber nicht völlig aufhalten. Infolgedessen darf ein vollständiger Schutz reaktionsfähiger Werkstoffe von einem Dispersionsanstrich wohl nicht erwartet werden.

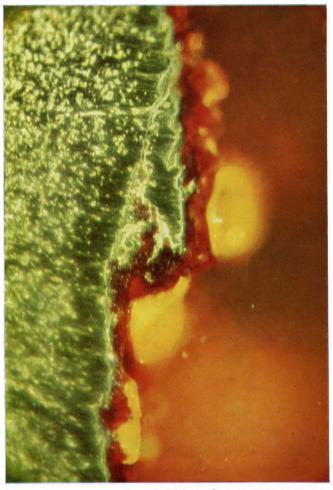


Bild 2.

Schnitt durch eine korrodierte Stahlfläche. Über dem Eisen die progressiv korrodierende Eisensulfat- und Eisenchloridschicht, untermischt mit daraus entstandenem oxydischem Rost. Die ablaufende Korrosion bedingt den Lochfraß auf der ursprünglich blankgeschliffenen Stahloberfläche (Mikroaufnahme, Maßstab 260:1).

Ein halbes Jahr später blätterte der Anstrich in der ganzen Halle ab. Dabei lag die Trennfuge zwischen dem unteren, also dem älteren Anstrich und dem Putz oder Beton, das heißt, die beiden übereinanderliegenden Anstriche blätterten gemeinsam von dem Untergrund ab.

Getrennte Untersuchungen von drei verschiedenen Instituten kamen zu dem Ergebnis, daß die Oberfläche des Anstrichgrundes (Beton und Putz) eine Erhöhung des natürlichen Chloridanteils durch den Chlorwasserstoff der Brandgase erfahren hatte. Die Oberfläche des Anstrichgrundes war mechanisch verändert und neigte zum Abmehlen. Außerdem wurde festgestellt, daß der obere Dispersionsanstrich ein größeres Schrumpfvermögen besaß und dadurch Scherspannungen in dem unteren Anstrich bewirkte, was bei dessen mangelnder Haftfestigkeit wegen des mehlenden Untergrundes zum Abplatzen führte.

Wie gesagt, das Abplatzen erfolgte ein halbes Jahr nach der Sanierung und dem Neuanstrich.

Wir geben deshalb nach wie vor den Kalk- und Mineralfarbanstrichen den Vorzug, wenn es sich um einen möglichst guten Schutz eines Bauteiles vor Chloriden handelt. Sie müssen natürlich nach dem HCI-Befall entfernt und erneuert werden, was aber keine Schwierigkeiten bereitet. Im übrigen haben diese beiden Anstricharten den Vorteil großer Hitzebeständigkeit.

Wir selbst haben in unserem Tätigkeitsbereich⁵) bisher keine Erfahrungen über die Haftfestigkeit von HCIbegasten Dispersionsanstrichen sammeln können, weil wir stets mit der beaufschlagten Schicht zugleich den Anstrich entfernen ließen. Ein aufschlußreicher Fall, den uns die Württembergische Gebäudebrandversicherungsanstalt berichtete, dürfte in diesem Zusammenhang erwähnenswert sein:

Ein sechs Jahre alter Dispersionsanstrich im Inneren einer Fabrikhalle wurde durch die Abgase verschmorter PVC-Kabel leicht verrußt. Nach einer Trockenreinigung wurden die Oberflächen noch einmal naß gereinigt, wobei dem Wasser ein Reinigungsmittel zugesetzt wurde. Danach erfolgte ein Neuanstrich mit Dispersionsfarbe.

⁵⁾ Tätigkeitsbereich der Bayer. Landesbrandversicherungsanstalt: Bayern und das Gebiet des früheren Regierungsbezirks Pfalz.

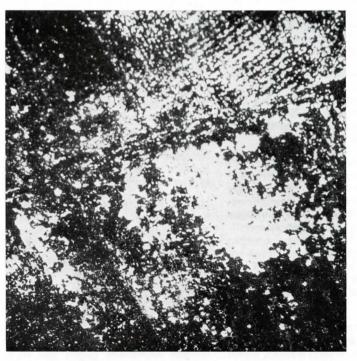


Bild 3.

Die Decke erhielt an den Stellen, an denen sich Salzsäurekondensat niedergeschlagen hatte, eine fein mehlende Oberfläche (helle Flecken).

B. Stärke und Eindringtiefe des HCI-Aufschlags

Bevor wir auf die Stärke und Eindringtiefe der von uns vorgefundenen Chloridbeaufschlagungen eingehen, darf ich darauf verweisen, daß ein Chloridanteil von mehr als 0,4 % (Z)6) für schlaff bewehrten Beton und für Spannbeton im Spätverbund7) als kritisch gilt und von mehr als 0,2 % für Spannbeton im Sofortverbund.

Aus dem bekannten Diagramm von Briesemann und Greger (Schrifttum 2) — Bild 4 — geht hervor, daß im Laufe von etwa drei Jahren Chlorid aus dem oberflächennahen Betonbereich weiter in das Betoninnere eingedrungen ist, wobei sich der Chloridgehalt der äußersten Betonschicht entsprechend vermindert hat. Die Eindringtiefe reicht noch über die Zone hinaus, in der die Stahlbewehrung normalerweise liegt. Der Chloridgehalt hat sich in Höhe der Spannstähle um 65 % vergrößert und damit ein solches Ausmaß erreicht, daß der Stahl gefährdet ist.

Aus dieser Arbeit ergibt sich, daß die ursprüngliche Beaufschlagung der Oberfläche eines Betons nicht für sein späteres Verhalten ausschlaggebend ist. Es muß in jedem Falle, auch bei hoher Betongüte, darauf geachtet werden, daß die Einwanderung eines Chlorids in die Umgebung der Stahlbewehrung verhindert wird.

Solange ein oberflächlich beaufschlagter Beton völlig trocken gehalten wird, unterbleibt die Einwanderung des Chlorids. Normalerweise sind jedoch Bauteile wechselnden Luftfeuchtigkeiten ausgesetzt. Zur Beurteilung des endgültigen Verhaltens der Bewehrung in einem Stahlbeton, insbesondere einem vorgespannten Beton, ist daher stets von der Wanderungsfähigkeit des Chlorids in Richtung auf die Bewehrung auszugehen und nicht nur vom Chloridgehalt an der Bewehrung kurz nach dem Brandschaden.

Wir sahen uns daher genötigt, bei jedem Chloridbefall unverzüglich die gebotene Sanierung durchzuführen und haben seitdem solche Korrosionen an Stahlbewehrungen nicht mehr festgestellt.

Dem Diagramm ist weiter noch zu entnehmen, daß in dem untersuchten Fall ein Dreivierteljahr nach dem Brand (durchgezogene Linie) auf der OberWanderung des Chlorids im Beton

Zeitdauer: 3 Jahre

Lagerung: Im Freien unter Schleppdach

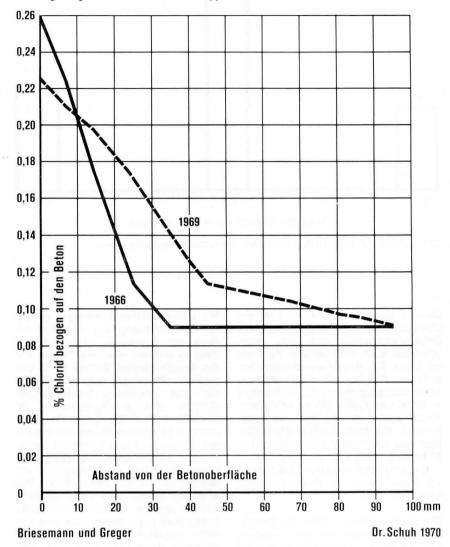


Bild 4. Einfluß der Zeit auf den Chloridgehalt im Beton.

fläche noch 0,26 % Chlorid (B)*) vorhanden waren und im Inneren eine gleichmäßige Abnahme des eingedrungenen Chlorids bis auf 0,09 % (B) in 35 mm Tiefe stattgefunden hat. Das ist pro Millimeter eine Abnahme um 0,005 % (B), umgerechnet auf den Zementgehalt = 0,025 % (Z).

Man ist versucht, nun einen Rückschluß zu machen, um zu erfahren, wie hoch die Beaufschlagung an der Oberfläche sein muß, damit nach längerer Zeit die kritischen Werte 0,2 % und 0,4 % (Z) an den Betonstählen erreicht werden. Der Rückschluß gelingt aber nicht, weil zu wenig Anhaltspunkte bekannt sind. Diese Frage ist m. W. in den Veröffentlichungen, die den PVC-Folgeschäden gewidmet sind, bisher noch nicht behandelt worden.

Bei den Schadenuntersuchungen, die wir vornehmen ließen, sind Oberflächenwerte von 0,18 % bis 29,0 % (Z) gefunden worden. Da die Untersuchungsproben aber immer erst einige Tage nach dem Brandfall genommen werden konnten, dürften diese Werte mit Sicherheit im Augenblick ihrer Entstehung erheblich höher gelegen haben. Das ergibt sich aus den oben genannten Nachuntersuchungen (Schrifttum 2) und der daraus resultierenden Diffusionsfreudigkeit des Chlorids.

Aus den Untersuchungen geht aber gleichzeitig hervor, daß einige Tage nach dem Schadenfall bei der Hälfte aller Fälle der natürliche Chloridanteil des Betons (0,005–0,01 % Z) von etwa 1 mm Tiefe ab noch nicht oder nur sehr wenig erhöht war.

⁶⁾ Bezogen auf den Zementgehalt des Betons.

Spannbeton im Spätverbund = Spannbeton, dessen Spannstähle in Hüllrohren liegen.

⁸⁾ Bezogen auf den Beton.

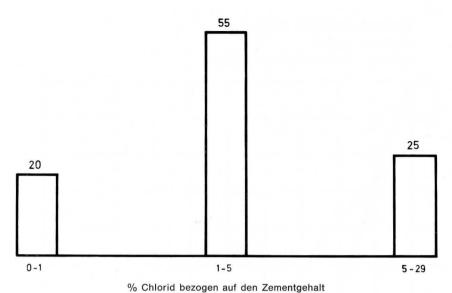


Bild 5. Anteil der festgestellten Höhen bei 100 Chlorid-Beaufschlagungen.

Obwohl also die speziellen Untersuchungen über den Mechanismus des Diffusionsvorgangs noch nicht abgeschlossen sind, zeichnet sich doch anhand der Schadenuntersuchungen bereits ab, daß bei einer Oberflächenbeaufschlagung des ersten Millimeters in Höhe von 1–5 % (Z) es völlig ausreicht, sofort zu reinigen oder den Anstrich abzustoßen, um jegliche Gefahr vom Betonstahl abzuwehren. Bei mehr als 5 % (Z) Oberflächenaufschlag reicht aber nach unseren Erfahrungen die Beseitigung des Anstrichs allein nicht mehr aus.

Bei solchen Werten haben die Schichtenuntersuchungen meistens ergeben, daß der Beton je nach Umständen bis zu etwa 2 mm Tiefe und mehr mechanisch abgetragen werden muß.

Nach unseren Ermittlungen hatten von 100 Brandfällen mit PVC-Beeinflussung (Bild 5) etwa 20 eine Oberflächenbeaufschlagung von 0-1 % (Z), die als unkritisch betrachtet wird. Etwa 55 Fälle hatten eine Beaufschlagung von 1-5 %, in denen eine Reinigung der Oberfläche und Beseitigung des Anstrichs ausreichte. 25 Fälle hatten mehr als 5 bis 29 %, so daß eine teilweise Abtragung des Betons nicht mehr vermeidbar war.

Sogenannte Haarrisse im Beton von weniger als 0,02-0,03 mm Breite gelten nunmehr als nicht begasbar (Spalteffekt) (Schrifttum 3). Liegen aber breitere Risse vor, die so tief sind, daß eine Stahlbewehrung direkt begast wurde, so kann unter Umständen eine recht weitgehende Entfernung des Betons und anschließende Torkretierung notwendig werden.

Mit einem tieferen Eindringen größerer Chloridmengen und einer Gefährdung der Bewehrung ist besonders dann zu rechnen, wenn die Temperatur des beaufschlagten Betons 50 °C wesentlich übersteigt oder der Beton nach der Einwirkung der Salzsäuredämpfe ständig durchfeuchtet ist (Schrifttum 4). Unter diesen Gesichtspunkten ist die Umgebung von stärkeren Rissen und von thermisch verursachten Abplatzungen in geeigneter Weise sorgfältig zu untersuchen, um den Schadenbereich einzugrenzen. Bei größeren schlaff bewehrten Deckenfeldern und bei Spannbetonkonstruktionen muß unter Umständen auch mit einer Auswechslung einzelner oder mehrerer Bauglieder gerechnet wer-

Sieht man von solchen besonders schwierigen Fällen ab, so kann man eine Gefährdung der Standsicherheit eines Gebäudes mit Sicherheit ausschließen, wenn der HCl-Niederschlag rechtzeitig beseitigt wird.

In den Fällen geringer oder fehlender thermischer Schädigung brauchte man diesen Fragen nicht im einzelnen nachzugehen, da wir so gut wie immer eine Sanierung durchführen, um eine Verschleppung des HCI-Aufschlags auf Einrichtungen und Inventar durch Rückgasung oder Abmehlung zu verhindern.

II. Die Sanierung

Den regelmäßigen Untersuchungen und Sanierungsvorschlägen konnten wir soviel entnehmen, daß in Gebäuden ohne empfindliche Anlagen auf eine chemische Untersuchung verzichtet werden kann, wenn entweder

eine sehr geringe Menge Chlorwasserstoff freigesetzt wurde und sich auf eine große Fläche verteilt hat, so daß die Beaufschlagung unbeachtet bleiben kann

oder die vorhandenen Bau- und Werkstoffe undurchlässig und nicht reaktionsfähig sind. In diesem Falle brauchen die beaufschlagten Teile in der Regel nur mit einem feuchten Textil abgewischt zu werden, welches häufig zu wechseln ist (jedoch nicht abwaschen).

Befallenes Holz muß allerdings entfernt und ersetzt werden, weil es die beaufschlagte Salzsäure teilweise ansaugen und später wieder abgasen kann.

Ist eine chemische Untersuchung notwendig, so können bereits vor der Beiziehung eines Sachverständigen bestimmte Sofortmaßnahmen getroffen werden, um das Übel möglichst klein zu halten:

- a) Rasches Abführen der Rauchgase (Klimaanlagen ausschalten),
- Schmutz und Rußbelag trocken entfernen, nicht feucht beseitigen,
- c) Vorhandene Feuchtigkeit entfernen: Löschwasser absaugen,

Außenluftzufuhr abschließen (Folie), kalte künstliche Bauaustrocknung durchführen

(Calciumchlorid-Absorber, aber nicht in Räumen mit hochempfindlichen Einrichtungen!).

Manche Sachverständige ziehen eine warme Bauaustrocknung vor. Ohne in diese Diskussion eingreifen zu wollen, darf festgestellt werden, daß wir mit der kalten Trocknung sehr gute Erfolge erzielt haben.

Die eigentliche Sanierung ist von den Vorschlägen des Sachverständigen abhängig.

Je nach den Umständen kommen verschiedene Sanierungsmaßnahmen in Betracht:

- HCl-haltiger Ruß wird bevorzugt trocken entfernt.
- Reaktionsfähige und durchlässige Anstriche werden gleichfalls trokken entfernt.

Der dabei entstehende Staub muß vollständig abgesaugt werden, damit er nicht in andere Räume gelangt. Lackierte Flächen werden unter häufigem Wechseln des Textils feucht abgewischt, jedoch nicht abgewaschen.

3. In den Fällen geringer Eindringtiefe kann bei dichtem Materialgefüge der Dampfstrahl vorteilhaft eingesetzt werden. Dann ist es erforderlich, kräftig nachzuspülen, um oberflächliche Chloridanreicherungen, die durch den Dampfstrahl eintreten können, mit Sicherheit zu beseitigen. Der Vorteil dieses Verfahrens ist in manchen Fällen in der größeren Wirtschaftlichkeit zu sehen. Die Anwendung des Verfahrens ist nur beim Vorliegen von dichter porenarmer Bausubstanz möglich. Bei weniger dichten Baustoffen kann die Chloridschädigung damit sogar beschleunigt und erhöht werden.

Das Abwaschen einer vermuteten Salzsäurebeaufschlagung von Decken und Wänden durch die Feuerwehren mag gut gemeint sein, sollte aber lieber unterbleiben, weil es bei der allgemeinen Verrußung nach dem Brand unvermeidbar ist, daß auch die saugfähigen Bauteile vom Wasserstrahl erfaßt werden und dadurch erst eine tiefer gehende Chloridschädigung verursacht wird

4. Wenn die sofortige Baustoffuntersuchung ergab, daß entstandene Chloridverbindungen bereits tiefer in die Bausubstanz eingedrungen sind, so haben wir mit Vorteil den Rat der beigezogenen Institute und Wissenschaftler befolgt und einen sämigen Kalkbrei auftragen lassen.

Es bestätigte sich das Untersuchungsergebnis der Institute, daß bei Abtrocknung des aufgebrachten Kalkbreies das diffusionsfreudige Chlorid aus der betroffenen Bausubstanz in den Kalkfilm zurückwandert. Beim Abblättern und Abstoßen des fetten Kalkfilmes wird das Chlorid mit entfernt. Bei stärkerer Beaufschlagung wird ein wiederholter Auftrag des Kalkbreies empfohlen.

Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber allen anderen Feuchtverfahren liegt darin, daß der Bausubstanz ihre natürliche Alkalität auf der Basis von Kalk-Hydrat erhalten bleibt bzw. wieder verliehen wird. Die Wiederherstellung der Alkalität ohne Verminderung des noch vorhandenen freien Kalkanteils ist von großer Bedeutung hinsichtlich der Korrosionssicherung auch von Stahlbewehrungen mit geringer Betonüberdeckung⁹).

Dagegen würde durch eine Sodabehandlung eine Karbonatisierung des freien Kalkanteils des Betons eintreten und damit die Korrosionssicherung im gleichen Maße vermindert werden.

5. Bei noch größerer Tiefeneindringung einer chlorwasserstoffsauren Beaufschlagung und hoher Dichtigkeit des Betons wird die Kalkbreiund die Dampfstrahlmethode unwirtschaftlich. Die geringe Porosität verhindert einen raschen Sanierungsablauf. In solchen Fällen ist es vorteilhafter, die Oberfläche im Beaufschlagungsbereich mechanisch abzutragen, z.B. durch Niederdruck-Sandstrahl-gebläse.

Es versteht sich, daß bei der Sandstrahlmethode der verwendete Sand immer nur einmal benützt werden darf, daß Maschinen dabei abgedeckt werden müssen und Nachbarräume gegen Staubverschleppung und Luftaustausch zu schützen sind.

Für die Überlegungen, die bei der Wahl einer Sanierungsart notwendig sein können, möge dieses Beispiel dienen: Bei einem Schadenfall in Hochhäusern wurden Stahlbetonfertigteile schwer betroffen. Wollte man diese Teile auswechseln, hätte man viele Stockwerke abbauen müssen. Eine Behandlung mit Sandstrahl war nicht möglich, weil es sich um Sichtbeton handelte. Der Dampfstrahl

konnte nicht angewandt werden, weil die Stahleinlagen der Fertigbetondecken stellenweise nur eine Überdeckung von 0–3 mm hatten. So war man auf die Anwendung des Kalkbreies angewiesen. Die Prozedur mußte wegen der hohen Beaufschlagung und der Dichte des Betons mehrmals wiederholt werden. Es dauerte deshalb über 1½ Monate, bis endgültig eine vollständige Wiederherstellung des Normalzustandes des Betons erreicht wurde.

Während in trockenen Räumen die Sanierungsmaßnahmen abgewartet werden können, muß in Feuchtbetrieben unverzüglich mit den Sanierungsmaßnahmen begonnen werden.

Nach der Sanierung kann ein sauberer, staubfreier Untergrund wieder angestrichen werden.

 Sind Maschinen und andere metallische Einrichtungen vorhanden, so ist das Gebäude unbedingt sofort zu entfeuchten. Offene Metallflächen am Gebäude werden ähnlich wie Maschinen behandelt.

Als vorbereitende Maßnahme zur Sanierung von Maschinen wird empfohlen, die Oberflächen mit Isopropyl-Alkohol oder Spiritus zu reinigen und zu entölen (bei häufigem Wechsel des Textils) und dann ein Korrosions-



Bild 6.

Durch solche unverwahrten Deckenöffnungen tropften brennende Kunststoffe; dadurch entstand auf den Kabelpritschen unter der Decke ein Kabelbrand, der auch die Stahlbetondecke von unten angriff.

Diese Feststellungen sind durch ein Münchner Institut getroffen worden.

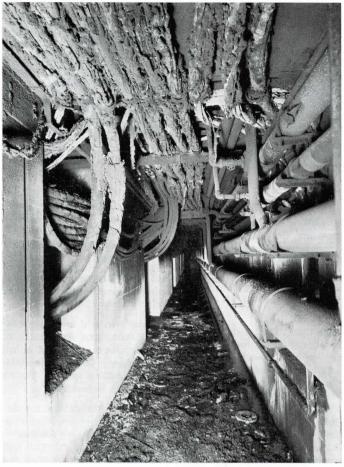


Bild 7.

Ölbrand in einem stahlverarbeitenden Betrieb; zerstörte Kabelbündel, die dem Ölbrand nicht unmittelbar ausgesetzt waren.

stoppöl in der Mischung von 75 (Stoppöl) zu 25 (Alkohol bzw. Spiritus) aufzustreichen oder aufzusprühen.

Für diese Arbeit kann im allgemeinen das Bedienungs- und Wartungspersonal der Maschinen eingesetzt werden.

Zur endgültigen Sanierung im Maschinenbereich ist man erst recht auf die Mitwirkung eines Sachverständigen angewiesen. Es ist uns nicht bekannt, daß ein Versicherungsunternehmen es gewagt hätte, bestimmte Sanierungen von maschinellen Anlagen ohne Deckung durch einen Fachmann zu empfehlen.

III. Vorbeugende Planung

Für den Bauherrn und den planenden Ingenieur stellen sich die Fragen:

Wie kann man die thermische Zersetzung von PVC und damit die Entwicklung von Chlorwasserstoff einschränken?

Wie kann man Gebäude und Maschinen gegen den Befall von HCI schützen? Von vornherein gilt, daß alle feuersicherheitlichen Maßnahmen, die durch Gesetz und Verordnungen gefordert werden, natürlich auch der Eindämmung von PVC-Folgeschäden dienen. Bei jedem Dispens von solchen Forderungen, den man sich selbst nimmt oder geben läßt, z. B. der Verzicht auf eine Brandwand, ist daher zu bedenken, ob und wie weit das PVC-Risiko davon berührt wird.

Über diese feuersicherheitlichen und betrieblichen Forderungen hinaus können aber noch gezielte Maßnahmen zur Vorbeugung von Folgeschäden getroffen werden:

1. Bei der Bauplanung

ist ein besonderes Augenmerk auf die Begrenzung der Rauchgase auf Raumabschnitte und ihre Ableitung ins Freie zu legen.

Rauchdicht sollen deshalb nicht nur die feuerbeständigen Türen und Tore in Brandwänden sein. Decken- und Wanddurchbrüche sind ebenfalls rauchdicht zu verschließen — Bild 6. Gleichzeitig müssen Vorkehrungen getroffen werden, welche den gefahrlosen Abzug der Brandgase ins Freie gewährleisten. Zu diesem Zweck wird für eingeschossige Hallen die Anordnung von Rauchschürzen mit den dazu gehörigen Rauchklappen empfohlen, was auch der leichteren Brandbekämpfung dient¹⁰).

Als bedeutendster Urheber von PVC-Folgeschäden hat sich die PVC-Isolierung von elektrischen Kabeln erwiesen, besonders wenn sie bündelweise an der Wand, unter der Decke, in Kanälen und Schächten geführt werden oder gar auf Kabelpritschen aus Kunststoff liegen — Bild 7 u. 8.

Die Sachversicherer und die interessierte Industrie sahen sich deshalb bewogen, geeignete Vorsichtsmaßnahmen zu empfehlen in Form von Brandschutzrichtlinien für Kabelkanäle und -schächte¹¹).

Der Einsatz von PVC-haltigen Werkstoffen sollte unter dem Gesichtspunkt möglicher Brandfolgeschäden geprüft werden, besonders wenn empfindliche und wertvolle Maschinen oder Steuerungsanlagen vorhanden sind. Es gibt bereits elektronische Einheiten, bei denen die Isolierung der Drähte in geschlossenen Systemkästen ausschließlich aus γ-bestrahltem Polyäthylen besteht. Die Verwendung dieses Isoliermaterials wurde von einem französischen Diskussionsredner beim 4. Internationalen Brandschutzseminar in Zürich, Oktober 1973, besonders für Gebäude mit hochempfindlichen Anlagen empfohlen, da es den guten Qualitäten des PVC nicht nachstehe, dagegen aber keine Korrosionsgefahr bilde und der Kostenfaktor nicht mehr beachtlich sei.

Auch bei der Wahl des Baumaterials und der Konstruktion ist einiges zu bedenken:

Um einen möglichst guten Beton mit hoher Porendichtigkeit zu erhalten, der die Einwanderungsgeschwindigkeit von Chlorid-Ionen stark vermindert, wird ein Zementgehalt von mindestens 300 kg/cbm empfohlen (Schrifttum 4).

¹⁰⁾ Richtlinien für Planung und Einbau von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen (RWA) für den Brandfall in gewerblichen und industriellen Hallenbauten, herausgegeben vom Verband der Sachversicherer.

Richtlinien für den Brandschutz bei freiliegenden Kabelbündeln innerhalb von Gebäuden sowie in Kanälen und Schächten, aufgestellt vom VdS und BDI.

Eine straffe Bauüberwachung muß darauf achten, daß der Beton gut verdichtet wird und vor allem, daß die vorgeschriebene Beton-überdeckung der Stahlbewehrungen unbedingt eingehalten wird.

Die Porosität von Leichtbaustoffen kann an der Oberfläche durch Anstrich, Schlämme, Mörtelputz oder Glattstrich vermindert werden.

Als Gebäudeanstrich empfehlen wir außen einen Mineralfarbenanstrich wegen seiner längeren Lebensdauer gegenüber dem Kalkanstrich.

innen an den Decken und Wänden ebenfalls Mineral- oder Kalkfarbenanstrich.

Stahlkonstruktionen werden durch Olfarben-, Kunstharzanstriche und Chlorkautschukfarben geschützt.

Unverputzte Stahlbeton- und Spannbetonkonstruktionen können ebenfalls mit Mineral- und Kalkfarben gestrichen werden. Für Spannbeton ist auch eine porenfreie Beschichtung mit Epoxidharz geeignet, doch ist zu bedenken, daß seine Schutzwirkung bei Temperaturen über 120°C erlischt

2. Im Maschinenbereich

können die Richtlinien über den "Brandschutz in Räumen für elektronische Datenverarbeitungsanlagen (EDVA)", aufgestellt vom VdS und BDI (Merkblatt), beachtet werden, soweit es bei anderen und weniger empfindlichen Anlagen sinnvoll ist.

3. Im betriebstechnischen Bereich

ist die Lagerung der verschiedenen Güter zu beachten. In einem Merkblatt von Industrie und Sachversicherern ist zusammengestellt, was bei der Lagerung von PVC-Rohstoffen, -Halbzeug und -Fertigwaren zu beachten ist. Dabei werden die verschiedenen Betriebsarten und Lager-Kapazitäten behandelt und Empfehlungen gegeben zur Anordnung der Lager,

Feuerwiderstandsfähigkeit der Behälter,

Größe der Lagerräume,

Menge des Lagergutes und dergleichen.

Ausdrücklich wird gefordert, die gemeinsame Lagerung von PVC mit anderem brennbaren Gut zu vermeiden.

4. Brandverhütung und -bekämpfung

Nicht zuletzt dienen auch alle Vorkehrungen zur frühzeitigen Brandentdeckung wie automatische Rauch- und Feuermeldeanlagen sowie die Einrichtung selbsttätiger Löschanlagen der Bekämpfung von PVC-Folgeschäden.

Im Brandfalle kann die Feuerwehr mit einem Wasservorhang, der an geeigneter Stelle vor das Brandobjekt gelegt wird, die Begasung benachbarter Gebäude beschränken oder gar verhindern, denn durch den Wasserstrahl kann der größte Teil der gasförmigen Salzsäure bereits aus den Brandgasen herausgewaschen und fortgeschwemmt werden.

Das Ergebnis siebenjähriger Regulierungspraxis von PVC-Folgeschäden an Gebäuden ist die Erfahrung, daß man dem gefahrdrohenden Chloridbefall keineswegs hilflos ausgeliefert ist, wie man seinerzeit befürchten mußte. Die Chloridbeaufschlagung kann durch gezielte Sanierung beseitigt und durch geeignete Maßnahmen von vornherein, wenn nicht verhindert, so doch in leichter zu beherrschenden Grenzen gehalten werden. Soweit dies gelingt, kann man sich des Werkstoffes PVC ohne allzu großes Risiko für die Gebäudesubstanz bedienen.

Schrifttum

(1) Reiter, C .:

Das Schadenrisiko neuzeitlicher Kunststoffe — Möglichkeiten einer Verminderung des Risikos, Versicherungswirtschaft 24 (1969) H. 6, S. 380/384 und H. 7, S. 443/450; s. a. Brandschutztagung der Bayerischen Versicherungskammer, München, 1968, S. 74/87.

(2) Briesemann und Greger:

Zur Frage der Chloridwanderung in PVC-Schwelgasen ausgesetztem Beton, Betonsteinzeitung 36 (1970), H. 5, S. 314/321.

(3) Schuh, R.:

Folgeschäden von Bränden mit Beteiligung des Werkstoffes PVC, Brandschutztagung der Bayerischen Versicherungskammer, München, 1968, S. 88/107.

(4) Locher und Sprung:

Einwirkung von säurehaltigen PVC-Brandgasen auf Beton, Beton 20 (1970) H. 2, S. 63/65 und H. 3, S. 99/104.

(5) Christian und Woitschek:

Die Anwendung von Ionen-, Elektronen- und Röntgenstrahlen in der modernen Werkstoffuntersuchung, Maschinenschaden 45 (1972) H. 4, S. 151/159.

(6) Fischer und Maier:

Das Verhalten von Dispersionsfarbenanstrichen auf Mörtel und Beton gegenüber PVC-Brandgasen, Farbe + Lack 77 (1971) H. 5, S. 437/443.

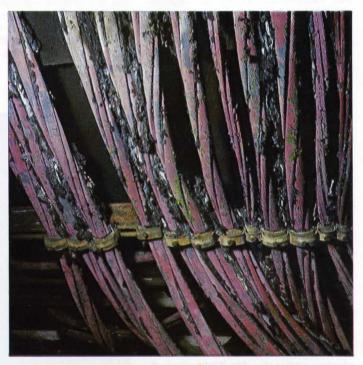


Bild 8.

Nach Entweichen des Chlorwasserstoffgehalts brannte das Restmaterial wie jeder andere Kunststoff vollständig ab, so daß die Kupferadern schließlich von jeglicher Isolierung entblößt waren.