

Mazeration historischer Dachkonstruktionen

Erhebung und Klassifizierung des Schadensumfangs in Sachsen-Anhalt

Entwicklung und Erprobung eines Schnelltestverfahrens (MATE)

Kurzfassung des Berichts

I.C.Hennen¹, B. Hofestädt², U. Kalisch³, H.N. Marx⁴, H. Niewisch⁵, U. Tostmann⁶

1. Ziele des Projekts, Untersuchungsprogramm

Seit Mitte der 1990er Jahre wurden in Sachsen-Anhalt wie auch in Brandenburg und Thüringen wiederholt Fälle von Holzkorrosion oder Mazeration an historischen Dachstühlen beobachtet. Betroffen sind zahlreiche Kirchen, aber auch Rathäuser, Schlösser und andere Bauten. Diese Schäden sind wegen ihres Ausmaßes und der Möglichkeit des weiteren Fortschreitens der zerstörerischen Prozesse, die bis zum Verlust der kompletten Konstruktion führen können, sowohl wirtschaftlich als auch kulturhistorisch und im Blick auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz relevant.

Als Mazeration oder Holzkorrosion werden Auffaserungserscheinungen im oberflächennahen Bereich der Hölzer bezeichnet. Dieses Schadensbild ist vor allem an Konstruktionen zu beobachten, die intensiv oder auch mehrfach mit Feuerschutzmitteln behandelt wurden.



Foto1 (links) Starke Mazeration

Foto2 (rechts) Leichte Mazeration

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (bbr), vom Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt und der Evangelischen Kirche Mitteldeutschlands (EKM) finanzierten Forschungsprojekts wurden im Zeitraum von 2008 bis 2010 in Sachsen-Anhalt 43 Verdachtsfälle hinsichtlich der durch Mazeration hervorgerufenen Schäden, des Einflusses des Klimas in der Umgebung der Hölzer, der eingebrachten chemischen Substanzen und ihrer Flammschutz- und Holzschutzgeschichte untersucht. Es zeigte sich, dass bis auf sieben Fälle alle Objekte mit Flammschutz- und/oder Holzschutzmitteln behandelt worden waren, wodurch es bei etwa einem Drittel der untersuchten Fälle zu akuten und bei einem weiteren Drittel zu latenten Schäden gekommen ist. Nur gut ein Drittel der in das Projekt einbezogenen Dachwerke wies keine Schäden durch Mazeration auf. Bestandteil des Projekts war auch eine toxikologische Bewertung der analytisch nachgewiesenen Flammschutzmittel- und Holzschutzmittelbestandteile und die Dar-

¹ Dr. Insa Christiane Hennen, Bauforschung – Denkmalpflege, Wittenberg

² Dipl.-Math. Bernd Hofestädt, Institut für Diagnostik und Konservierung an Baudenkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK), Halle a.d.S.

³ Dipl. Ing. Uwe Kalisch, IDK (wie Anm. 2)

⁴ Dipl. Ing. Hans-Norbert Marx, SVB Marx, Bühl-Vimbuch

⁵ Dipl. Ing. Holger Niewisch, Ing. Büro Niewisch, Berlin

⁶ Udo Tostmann M.A., Tostmann Arbeitsschutz, Berlin

stellung der Konsequenzen für den Arbeitsschutz und die Nutzung betroffener Bauten.

2. Schadensentstehung

Als Feuerschutzmittel wurden Salze wie Ammoniumphosphat, Fluoridverbindungen oder andere anorganische Salze mit mineralisierenden Eigenschaften eingesetzt. Die Schädigung beruht einerseits darauf, dass Salze hygroskopisch sind. Bei steigender Feuchtigkeit in der Umgebungsluft und auf der Holzoberfläche gehen die Salze in Lösung, bei sinkender Feuchtigkeit kristallisieren sie aus. Der Kristallisationsdruck schädigt und lockert die Holzstruktur.

Andererseits führt bei Salzverbindungen aus schwachen Basen und starken Säuren die Anlagerung eines Wassermoleküls zur Spaltung der chemischen Verbindung. Im Verlauf dieser Reaktion, der Hydrolyse, bildet sich beispielsweise aus Ammoniumsulfat (und Wasser aus der umgebenden Luft) Schwefelsäure, aus Ammoniumphosphat Phosphorsäure. Diese Säuren greifen das Holz langfristig an. Von Ammoniumfluorid gehen akute oder chronische Gesundheitsgefahren aus.

Der Substanzverlust an den Oberflächen von mazeriertem Holz ist im Bereich der dadurch geschwächten Holzverbindungen konstruktiv relevant.

3. Feuerschutzsalze im Holz

Schäden weisen Konstruktionen auf, die mit Phosphaten, Sulfaten oder/und Fluoriden behandelt wurden. Die Phosphat- oder Sulfatkonzentration kann als Leitstoff für das Mazerationsrisiko angesehen werden. Eventuell ist auch der Gesamtsalzgehalt entscheidend, was bedeutet, dass der Fluoridwert zum Phosphat-/Sulfatwert addiert werden müsste. Andererseits ist die Phosphorsäure für das Holz gefährlicher als die Flusssäure.

Holzproben, die aus der Oberfläche der 43 untersuchten Dachkonstruktionen gewonnen wurden, zeigten höchst unterschiedliche Werte für den Gehalt an Sulfaten und Phosphaten. Spitzenwerte lagen bei 29.400 mg Phosphat/kg Holz bzw. 29.000 mg Sulfat/kg Holz. In beiden Fällen sind erhebliche Mazerationsschäden zu verzeichnen. Gleichzeitig zeigen bei diesen beiden Objekten tiefere Holzschichten (unter 5mm) einen nur noch geringen Salzgehalt. Dies trifft in abgeschwächter Form auch auf andere Untersuchungsobjekte zu. In anderen Fällen, sind sowohl an der Oberfläche als auch in der Tiefe starke Versalzungen über 3.000 mg vorhanden, die wiederum nicht zur Mazeration geführt haben. D. h., dass der Eintrag großer Mengen von Flammschutzmitteln nicht allein für die Holzkorrosionsschäden verantwortlich sein kann.

Aus den vorliegenden Messergebnissen sollte folgende Kategorisierung abgeleitet werden:

Phosphat bzw. Sulfat

< 800 mg/kg Holz	keine Mazerationsgefahr
< 2000 mg/kg Holz	mittlere Gefahr: Beobachtung der Hölzer alle 5 Jahre erforderlich
> 2000 mg/kg Holz	höhere Gefahr der Mazeration: jährlich oder alle 2 Jahre Hölzer beobachten, Nutzungs- und Klimaänderungen beachten!

4. Klima im Dachraum

Ergebnisse von Klimamessungen, die im Rahmen von MATE in 14 Objekten über wenigstens ein Jahr vorgenommen wurden, belegen einen Einfluss des Umgebungsklimas auf den Schadensprozess. Stark mazerierte Dachkonstruktionen weisen deutlich stärkere Klimaschwankungen auf als weniger stark geschädigte Dachwerke und sind von häufigen Kondensationseignissen betroffen. Die Untersuchung der Sorptionseigenschaften der Feuerschutzsalze ergab, dass die Gleichgewichtsfeuchte der Salzmischung nicht an einem Punkt liegt, sondern sich in einem Bereich zwischen 63 und 76 % rel. Feuchte bewegt. Unterhalb dieses Bereiches liegt das Salz kristallin vor, oberhalb dieses

Bereiches löst es sich vollständig. Für die Praxis bedeutet dies, dass in Dachräumen mit häufigen und starken Luftfeuchteschwankungen über 76% bis 100% rel. F. die Feuerschutzsalze mit zunehmender Intensität und Geschwindigkeit Feuchtigkeit aufnehmen. Die schnellere Lösung der Salze ermöglicht deren schnellere Umlagerung und Anreicherung. Bei trockeneren Umgebungsbedingungen unter 63 % rel. Feuchte geben die Salze die Feuchtigkeit ab und kristallisieren aus. Die dabei entstehenden Kristallisationsdrücke tragen von der Oberfläche ausgehend zur Schädigung der Holzstruktur bei.

Eigentümern und Verwaltern von betroffenen Objekten wird deshalb geraten, langfristige Messungen der Temperaturen und der relativen Luftfeuchte im Dachraum des Objekts vorzunehmen, um die u.U. gegebene Mazerationsgefahr bzw. den weiteren Schadensverlauf abschätzen zu können und um Ausgangswerte für die Entwicklung individueller Sanierungsansätze zu gewinnen.

5. Mischprobe als „Schnelltest“

Im Rahmen von MATE sollte ein einfach an Ort und Stelle anzuwendender Schnelltest entwickelt werden. Unterschiedliche Ansätze (Kombinationsmessung aus Leitfähigkeits- und Mikrowellenuntersuchung, Infrarotspektrografie, Röntgenfluoreszenzanalyse) erbrachten nur unbefriedigende und teilweise u.U. irreführende Ergebnisse. Es wird deshalb die Entnahme einer Holzmischprobe und deren Analyse auf DDT, Lindan, PCP, Fluorid, Phosphat und Sulfat gemäß der innerhalb des Projekts formulierten Arbeitsanleitung empfohlen. Die Laboranalyse gibt zuverlässig Auskunft über frühere chemische Behandlungen der jeweiligen Konstruktion.

6. Ergebnisse der Archivforschung

Die der Mazeration primär zugrundeliegenden Flammenschutzmittelbehandlungen erfolgten ab 1942 aufgrund eines Erlasses des Reichsluftfahrtministers Göring unter dem Eindruck der ersten Brandbombenangriffe auf deutsche Städte. Die im Projekt MATE für drei Objekte in Sachsen-Anhalt vertiefend vorgenommenen Archivrecherchen belegen darüber hinaus umfangreiche Holzschutzmittelanwendungen nach 1945, wobei teilweise Kombinationsmittel zum Einsatz kamen, die gegen Schäden durch Feuer, Pilze und Insekten wirken sollten. Betroffen waren neben den Dachkonstruktionen auch hölzerne Bestandteile der Ausstattung von Kirchen und andere Einbauteile. Archivalische Hinweise auf chemische Analysen vor der Applikation chemischer Substanzen wurden nicht gefunden, so dass von unbewussten oder bewussten Mehrfachbehandlungen auszugehen ist, wofür auch die teilweise sehr hohen Konzentrationen sprechen, die nachgewiesen wurden.

7. Biozidgehalt des Holzes und der Raumluft

Im Rahmen des Projekts MATE wurden die gewonnenen Holzproben auch auf den Gehalt an DDT, Lindan und PCP untersucht. An einigen Dachwerken wurden dabei erhebliche Konzentrationen von Pentachlorphenol (PCP), Lindan (γ -HCH) und DDT nachgewiesen, wobei für Holzschutzbehandlungen im Gebiet der ehemaligen DDR das DDT die entscheidende Rolle spielt. Die ermittelten Spitzenwerte von bis zu 6.000 mg DDT/kg Holz können nur durch Mehrfachbehandlungen eingebracht worden sein. Auch hier gibt es einen Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen. In Bauwerken mit starker Mazeration wurden die Biozide besonders stark an der Oberfläche konzentriert. Insektizidbehandlungen im Sinne des vorbeugenden Holzschutzes fanden im übrigen nach 1945 auch in der Bundesrepublik statt⁷, wobei hier eher Lindan als Biozid eingesetzt wurde.

⁷ Produkte auf Basis der Wirkstoffe DDT und Lindan kamen erst nach 1945 resp. in den 1950er Jahren auf den Markt.

Die Analyse einer Luftprobe in genutzten Räumen unter der Dachebene sollte klären, wie sich der Biozidgehalt des Holzes auf die Raumluft der untersuchten Gebäude auswirkt. Die im Projekt MATE gemessenen Biozidwerte betragen an DDT maximal 803 ng DDT/m³ Luft, maximal 460 ng Lindan/m³ Luft und maximal 310 ng PCP/m³ Luft.

8. Toxikologische Bewertung der Ergebnisse der Holz- und Luftuntersuchungen

Innerhalb des Projekts wurden die national und international anerkannten Richtwerte für DDT, Lindan, PCP und Fluor dokumentiert und praxisorientiert Empfehlungen und Maßnahmen für den Umgang mit betroffenen Konstruktionen abgeleitet.

Die toxikologische Bewertung der nachgewiesenen Holzschutzmittelkontaminationen signalisiert, dass in den untersuchten Fällen keine nicht tolerierbaren Risiken vorliegen.

Besondere Maßnahmen wie Beschränkungen der Aufenthaltsdauer für Besucher von Gottesdiensten oder Teilnehmer an touristischen Besichtigungen in Kirchen oder Schlössern sind nicht erforderlich.

9. Schlussfolgerungen: Arbeits- und Gesundheitsschutz

Eine mögliche Gefährdung der Gesundheit stellt sich in unterschiedlichen Szenarien dar, die wesentlich durch die jeweiligen Nutzungsanforderungen im Gebäude definiert werden. Einerseits sind Dachräume betroffen, die selten genutzt und nur zu Wartungszwecken betreten werden. In anderen Fällen sollen Sanierungsarbeiten durchgeführt werden. In einer weiteren Gefährdungssituation ist die Kontamination auch in der Luft der Räume unter der Dachebene, also z.B. im Kirchenraum nachweisbar. Diesen Fallbeispielen ist gemeinsam, dass sie die Eigentümer und Verantwortlichen mit der Frage nach Handlungsoptionen konfrontieren.

Hier werden wiederum zwei unterschiedliche Aspekte deutlich. Zum einen ist den Verantwortlichen die Auskunft über die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben wichtig. Dies schließt die Frage ein, ob schon ein Nichthandeln gegen gesetzliche Regelungen und Vorschriften verstößt. Der zweite Aspekt beschreibt den Anspruch auf einen sinnvollen und vernünftigen Umgang mit der Kontamination. Welche Maßnahmen sollen durchgeführt werden, selbst unter der Voraussetzung, dass keine eindeutige, gesetzlich vorgeschriebene Sanierungsnotwendigkeit besteht?

Gefährdungssituation: Arbeiten im kontaminierten Bereich

Für den Fall, dass in einem kontaminierten Bereich gearbeitet wird, haben in der Bundesrepublik Deutschland der Gesetzgeber und die gesetzliche Unfallversicherung (Berufsgenossenschaften) detaillierte Auflagen verfügt.

Für den Eigentümer von Gebäuden bedeutet das, dass er vor Aufnahme der Arbeiten⁸ einerseits seiner Erkundungs- und seiner Informationspflicht nachkommen muss, d.h. dass die Bereiche, in denen gearbeitet werden soll, auf Schadstoffe untersucht werden und dass im Falle eines positiven Befundes diese Information weitergegeben wird. Die Ergebnisse seiner Ermittlungen sind zu dokumentieren und ein Arbeits- und Sicherheitsplan (A+S-Plan) ist zu erstellen.

Die Freisetzung der Gefahrstoffe (Staubungsverhalten) - und damit die Gefährdung - ist bei den einzelnen Arbeiten auf der Baustelle sehr unterschiedlich. Deshalb sind die Arbeitsschutzmaßnahmen jeweils durch eine tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung festzulegen.

Obwohl auch die Belastungen mit Holz- und Flammschutzmitteln in den Dachräumen sehr unterschiedlich sind und die Aufgabe besteht, den Arbeitsschutz auf die jeweiligen Baustellenbedingungen abzustimmen, werden in der

⁸ Nach der Berufsgenossenschaftlichen Regel für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, Kontaminierte Bereiche, BGR 128, umfasst der Begriff Arbeiten das Herstellen, Instandhalten, Ändern und Beseitigen von baulichen Anlagen. Vgl. auch die neue TRGS 524 (Neufassung 2010).

Praxis für die Festlegung von kontaminierten Bereichen bisher keine Richtwerte diskutiert.

Unabhängig von Sanierungsarbeiten, die in der Regel durch Firmen ausgeführt werden und deren Anleitung und Überwachung in das Aufgabengebiet der Berufsgenossenschaften gehört, rücken die eigenen Mitarbeiter oder die ehrenamtlichen und freiwilligen Helfer in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit und Fürsorgepflicht der Eigentümer und Verantwortlichen. Trotz der Unterschiede in den Arbeitsverhältnissen hat ihr Schutz immer oberste Priorität.

Deshalb muss die Kenntnis des Eigentümers über eine mögliche Kontamination verbessert werden, d.h. Gebäude bzw. Dachräume sollten auch unabhängig von anstehenden Sanierungsarbeiten untersucht werden. Bei einer festgestellten Kontamination müssen die Mitarbeiter über eine Belastung informiert werden und der Schutz ihrer Gesundheit muss gewährleistet werden, was oftmals schon durch einfache und kostengünstige Maßnahmen (Körper- und Atemschutz) erreicht werden kann.

Damit erfüllt der Eigentümer im Grundsatz seine gesetzlichen Verpflichtungen; die Einhaltung der Arbeitsschutzgesetze im Allgemeinen und seine Erkundungs- und Informationspflicht im konkreten Bezug auf ein Gebäude, in welchem eine Kontamination nicht ausgeschlossen werden kann.

Detaillierte Kenntnisse, die die Auswahl und die Auflagen für ausführende Firmen beschreiben, sollten durch Information (Handlungsanleitung) der für diese Maßnahmen zuständigen Mitarbeiter (Baupfleger etc.) vermittelt werden.

10. Empfehlung für die Sanierung von betroffenen Dachkonstruktionen

Aktuell gibt es noch keine Erfahrungen zu Langzeitwirkungen von chemischen Sanierungsmethoden (Maskierung, Neutralisation) für von Mazeration betroffene Holzkonstruktionen. Die Nachuntersuchung und vergleichende Bewertung von ab den 1990er Jahren „sanierten“ Objekten steht noch aus. Aus diesem Grund empfiehlt die MATE-Forschergruppe Betroffenen einerseits, zunächst die Grundlagen für weitere Schritte zu ermitteln (Laboruntersuchung von Holz- und Staubproben auf Flammschutz- und Holzschutzmittelbestandteile, Klimamessungen im Dachraum über wenigstens ein Jahr, Recherchen zur Flammschutz- und Holzschutzmittelgeschichte des Objekts), andererseits sich auf die Entfernung von Staub aus den Dachräumen und bei akuten Schadensfällen auf die Reinigung der Holzoberflächen von losen Fasern zu beschränken.