

Ursachen und Behandlungsmethoden von Feuchteschäden an historischen Bauwerken

Einführung

Etwa 80% der Bauschäden, die an Kulturdenkmalen auftreten, werden durch Feuchtigkeit hervorgerufen. Feuchtigkeit löst die Bindemittel aus den Baumaterialien (Mörteln, Natursteinen, Putzen etc.), so dass die Gefüge ihren Zusammenhalt verlieren. Feuchtigkeit kann durch Frost-Tau-Wechsel zur Zerstörung der Materialgefüge von Natursteinen und Putzen führen. Feuchtigkeit transportiert Salze in Baumaterialien hinein, die wiederum durch die Volumenvergrößerung bei ihrer Kristallisation oder Hydratation zu beträchtlichen Schäden im historischen Mauerwerk, in Putz und Malereien führen (Abb. 2). Es kommt zu Schalenbildung, zum Absanden (Abb. 1) und zur Ausbildung hygroskopischer Feuchtigkeitsflecken. Feuchtigkeit unterstützt das Wachstum von Pilzen wie z. B. Schwämmen oder Schimmelpilzen. Sporen von Schimmelpilzen können darüber hinaus zu Gesundheitsschäden führen. Das Wachstum von Moosen wird gefördert, die die Baumaterialien nachhaltig feucht halten (Abb. 3). Feuchtigkeit setzt schließlich die Wärmedämmfähigkeit der Baumaterialien wesentlich herab. Dies führt letztendlich zu beträchtlichen und unnötigen Energieverlusten.

Laut dem letzten großen Bauschadensbericht der Bundesregierung (1993) von 1996 entstanden pro Jahr *vermeidbare Bauschäden* in Höhe von über 3,5 Milliarden Euro.

Bis zum Jahr 2002 war, laut Berliner Bauministerium, das Schadensvolumen eher noch gestiegen. Ein aktueller Bauschadensbericht der Regierung wird mit Interesse erwartet.

Problematik und Schäden

Bei vielen dieser durch Feuchtigkeit verursachten Bauschäden handelt es sich um *vermeidbare Bauschäden*, deren Ursachen häufig im *mangelhaften Bauunterhalt* zu finden sind.

Die Folgen eines mangelhaften Bauunterhalts

Es gibt unzählige Fälle, in denen Dachanschlüsse defekt oder Dächer undicht sind und nicht umgehend repariert werden. Regenwasser dringt von oben ins Mauerwerk oder ins Gebäudeinnere ein und zerstört die historische Substanz nachhaltig (Abb. 4, 6, 7).

Regenrinnen und Fallrohre sind undicht oder werden durch herabfallendes Laub und Moos verstopft, so dass sie bei Regen das Bauwerk eher bewässern als entwässern (Abb. 9).

Fallrohre ohne Anschluss an die Kanalisation sind keine Seltenheit. Das Regenwasser wird direkt ins Erdreich geleitet, wo es den Baugrund unter Wasser setzt und zu Nachfolgeschäden führt (Abb. 10). Zu ähnlichen Problemen führen Fallrohre, deren falsche Anordnung zur Folge hat, dass sie das Regenwasser nicht auf dem dafür vorgesehenen Weg ableiten können (Abb. 14).

Dränagen sind nicht funktionsfähig, weil sie zugeschlammte oder zugewachsene sind, weil das Dränrohr kein Wasser aufnehmen kann (Abb. 11), nicht ordnungsgemäß verlegt wurde oder weil nicht für eine ausreichend dimensionierte Ableitung des Wassers aus der Dränage gesorgt wurde.

Alle diese Fälle führen nachweislich zu Problemen und dennoch duldet man diese Zustände zum Teil jahrelang. In der Folge kommt es zu Zuständen, bei denen die Gebäude regelrecht bewässert werden:

- von unten: Dies führt zu einer verstärkten Belastung durch aufsteigende Feuchtigkeit. Salze werden ins Mauerwerk transportiert, kristallisieren aus, historische Malereien und Putze werden durchnässt und durch Feuchtigkeit, Salze und organische Besiedelung zerstört;
- von oben: Hölzerne Bauteile, wie Dachkonstruktionen, Traufen, Fachwerk etc. verfaulen, Pilze nisten sich ein und zerstören das hölzerne Tragwerk, Schimmel tritt auf.

Die Behebung dieser unnötigen Schäden ist aufwendig und mit erheblichen Kosten verbunden und muss fallweise auch noch mit Hilfe von Zuschüssen des Landes finanziert werden. Eine regelmäßige Wartung oder Reinigung scheidet meist daran, dass „man sich das finanziell nicht erlauben kann“. Man scheut die vergleichsweise geringen regelmäßigen Kosten, die das Denkmal erhalten würden, gibt im Schadensfall jedoch große Geldsummen aus, um außerdem die dann zerstörte Substanz letztendlich zu erneuern.

Neben den oben genannten Situationen gibt es Fälle, bei denen im Zuge früherer Sanierungen Fehler gemacht wurden, die mehr oder weniger folgenschwere Auswirkungen haben:

- Fälle, in denen *Regenrinnen unterdimensioniert* sind, so dass sie das von den großen Dachflächen anfallende Wasser bei stärkeren Regenfällen nicht fassen können (Abb. 12).
- Fälle, in denen aufgrund äußerer Umstände das Außeniveau angehoben wurde (z. B. Verlegung einer Straße). Dadurch und durch eine zusätzliche, zeitweilige Hochwasserbelastung wurde das Gebäude einer extremen Feuchte- und Salzbelastung ausgesetzt. Salze und Feuchtigkeit waren letztendlich bis in etwa 4 m Höhe gewandert (Abb. 5, 16).

Zur Verbesserung dieser Situation wurde das Fundamentmauerwerk freigelegt. Dabei zeigte sich, dass das ursprüngliche Außeniveau 2 m unter dem heutigen Laufniveau lag und das „Fundamentmauerwerk“ ursprünglich der Sockel des Gebäudes war. Dieser aus Schilfsandstein gemauerte Sockel, der eine hohe kapillare Wasseraufnahme besitzt, war in direktem Kontakt mit dem feuchten Bodenmaterial gewesen. Das Mauerwerk wurde zum Trocknen über längere Zeit offen stehen gelassen; dann wurde eine Dränage in Verbindung mit einer reversiblen Vertikalabdichtung eingebaut und der Boden wieder angeschüttet. Das stark versalzene Mauerwerk wurde parallel dazu im Innen- und Außenbereich mit Kompressen (Buchenzellulose-



Abb. 1. Calw, evangelische Stadtkirche, Quadermauerwerk, Detail: Schalenbildung und Absanden der Oberflächen durch Kristallisation bauschädlicher Salze.

Kompressen) zur Salzreduktion behandelt. Bereits nach zwei Jahren war der Erfolg der Maßnahme deutlich zu erkennen.

Voruntersuchungen

Leider ist es immer noch gängige Praxis, *ohne Voruntersuchungen* und allein auf der Grundlage einer puren Inaugenscheinnahme, aufwendige und teure Maßnahmen (Mauersäge, Horizontalabdichtung durch Injektion etc.) vorzuschlagen und durchzuführen. Solche Maßnahmen sind häufig unnötig. Ein typisches Vorgehen ist, historische Putze radikal abzuschlagen und durch unpassendes Material zu ersetzen. Zu einer Substanzschonenden und erfolgreichen Instandsetzung gehört indessen eine logisch durchdachte Planung. Nachdem sichergestellt ist, dass die Ursachen für ein durchfeuchtetes Mauerwerk nicht im fehlenden Bauunterhalt liegen, muss die Notwendigkeit von Maßnahmen, aber auch ihre Verträglichkeit mit den Altsubstanzen unbedingt vor der Maßnahme durch entsprechende *Voruntersuchungen* nachgewiesen werden.

Eine wesentliche Rolle spielen dabei Voruntersuchungen durch Fachleute, wie Stein-, Wand-, Gemälde- und Holzrestauratoren, Bauphysiker, Bauchemiker, Statiker etc. In vielen Fällen ist festzustellen, dass aufwendige Maßnahmen nicht notwendig sind.

Sinn oder Unsinn einer Maßnahme, Erfolg einer Maßnahme, Verträglichkeit neuer Materialien mit den Altsubstanzen, Materialverbrauch etc. kann man besser einschätzen, wenn man die



Abb. 4. Gagggstadt, evangelische Kirche, Chorwand und bemalte Holzdecke, Detail: nachhaltige Durchfeuchtung durch eindringendes Regenwasser aufgrund offener, undichter Glockenstube.

entsprechenden *Fachleute vor der Maßnahme* einschaltet und sich durch sinnvolle *Voruntersuchungen* Informationen über die folgenden Punkte beschafft:

- Überprüfung des baulichen Zustands des Gebäudes (Regenrinnen, Fallrohre, Dränagen etc.),
- Nachweis oder Vermutung historischer Befunde: z.B. Wandmalereien, historische Putze oder Epitaphien (durch Wand- und Steinrestauratoren); bei Boden- und Erdarbeiten im Innen- und Außenbereich ist prinzipiell mit archäologischen Befunden zu rechnen (Einschaltung von Archäologen), etc.
- Information über Wandstärke und Aufbau eines Mauerwerks (einschalig / mehrschalig; mit / ohne Verfüllung des Hohlraums; durchgängige Lagerfuge vorhanden oder nicht),
- Art der vorhandenen Baumaterialien (Sandstein, Kalkstein, Ziegel; Zusammensetzung von Putz- und Fugenmörteln etc.),
- Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit der Baumaterialien; wichtig z. B. für die Beurteilung der Wirksamkeit von Injektions-, Hydrophobierungs- oder Festigungsagenzien,
- Durchfeuchtungsgrad (DFG_{ges} in %) des Mauerwerks (nicht nur Feuchtigkeitsgehalt!),
- hygroskopischer Durchfeuchtungsgrad (DFG_{hyg} in %) des Mauerwerks,
- röntgenographische Bestimmung und quantitative Analyse der im Mauerwerk vorhandenen Salze.

◁ Abb. 2. Stuttgart, Marmorsaal im Weißenburgpark, Detail: Schäden an der Malschicht durch die Kristallisation bauschädlicher Salze.

◁ Abb. 3. Heselach, Friedhof, Benckendorffkapelle, Detail: stark durchfeuchteter Sockel mit Moos- und Algenbewuchs.

▷ Abb. 5. Schwäbisch Gmünd, Katholische Kirche St. Leonhard, Chor: ausgeprägte Putzschäden und starke Verfärbungen durch hygroskopische Salzbelastung.

▷▷ Abb. 7. Iptingen, Huber'sches Mausoleum, Detail: Kalksinter-Fahnen an der Fassade infolge Dachundichtigkeit, da eindringendes Regenwasser das Calciumcarbonat aus dem Decken- und Wandputz gelöst und entlang der Putzrisse wieder ausgefällt hat.

▷▷ Abb. 8. Ellwangen, Basilika, Sandsteinrelief: irreversible Verunreinigungen durch Epoxidharz, das aus gekitteten Rissen ausgetreten ist.



In einigen Fällen können eventuell die Hersteller- oder Vertreiberfirmen von Bauprodukten für die Untersuchungen des Salz- und des Feuchtegehalts herangezogen werden, um die Untersuchung für den Auftraggeber preisgünstiger zu gestalten. Werden für die Maßnahme die Produkte der Vertreiberfirmen verwendet, ist diese Leistung meist völlig kostenfrei. Im Gegensatz zur Auftragsvergabe an einen neutralen Gutachter birgt dieser Service aber die Gefahr, geschäftliche Interessen vor den Schutz der Substanz zu stellen.

Mechanische Verfahren zur Horizontalabdichtung von Mauerwerk

Treten Feuchteschäden bzw. Salzschäden an Gebäuden auf, werden in vielen Fällen sofort Abdichtungsmaßnahmen in Erwägung gezogen, die neben ihren positiven Auswirkungen häufig auch erhebliche negative Nebenwirkungen haben.

Problematik der Verfahren

Der Einsatz der mechanischen Horizontalabdichtungsverfahren, zu denen z.B. die verschiedenen Mauersägeverfahren und das Chromstahlblechverfahren gehören, stellt einen intensiven Eingriff in die historische Substanz dar. Ein Einsatz dieser Verfahren verbietet sich von vorneherein, wenn im Wandbereich der geplanten Sägemeasures historische Befunde vorliegen oder keine durchgängige Lagerfuge vorhanden ist. Die in der Praxis üblicherweise angewandte Methode, das Mauerwerk im Bereich des zukünftigen Sägeschnitts mit Zement zu verputzen, um zu verhindern, dass Mauerwerk beim Sägen ohne Lagerfuge herausgerissen wird, entspricht nicht der angemessenen Behandlung eines historischen Bauwerks!

Während des Einsatzes treten folgende Probleme auf:

- Beim Mauersägeverfahren wird der Sägeschnitt mit Wasser gekühlt (nur in speziellen Ausnahmefällen kann trocken gesägt werden). Dadurch kommt es zur zusätzlichen Durchfeuchtung des Mauerwerks und zur Mobilisierung von vorhandenen Salzen. Zudem können durch Ausspülungen hohe Substanzverluste im Mauerwerk auftreten.
- Vor allem beim Sägen ohne Wasserkühlung kann die Säge stecken bleiben, so dass Mauerstücke herausgerissen werden (Abb. 13).
- Vorsicht beim Seilsägeverfahren: Umlenkrollen nicht im Bereich der historischen Befunde befestigen!



Abb. 6. Köngen, Wasserschloss, Südfassade, Ausschnitt: ausgeprägte Schäden an Außenputz und hölzerner Traufe aufgrund Undichtigkeit im Dach.

- Bei zweischaligen Wänden kann es zum Nachrutschen des Füllmaterials im Mauerwerkszwischenraum kommen, so dass neben statischen Problemen auch Schwierigkeiten beim Einbau der eigentlichen Abdichtungsschicht auftreten können.
- Beim Mauersäge- und beim Chromstahlblech-Verfahren kommt es zu Erschütterungen, die zu Standsicherheitsproblemen führen können, da es sich meist um Bruchsteinmauerwerk bzw. mehrschaliges Mauerwerk handelt.
- Beim Eintreiben der Edelstahlbleche in die Mauerwerksfuge kommt es beim Chromstahlblechverfahren zwangsläufig zur Beschädigung der Metalloberfläche. Die Bleche rosten im Laufe der Zeit, es kommt zu ihrer Zerstörung und zur Zerstörung der schützenden Fugenverpressung, zu Putzabsprengungen, zu Rostfahnen am Mauerwerk und zum erneuten Aufstieg von Feuchtigkeit (Abb. 15).
- Beim Chromstahlblechverfahren kommt es bei chloridbelastetem Mauerwerk zur Korrosion der Stahlabdichtung und schließlich zum erneuten Feuchtigkeitsaufstieg.
- Beim Chromstahlblechverfahren treten in den Eckbereichen der Mauerwerke Probleme (Überlappung) beim Einsetzen der Bleche auf.
- Beim Verpressen der Schnittfuge kann es
 - bei Verwendung von nicht sulfatbeständigem Verpressmaterial zur Bildung von Treibmineralen wie Ettringit, $\text{Ca}_6 [\text{Al}(\text{OH})_6]_2 (\text{SO}_4)_3 \times 26 \text{H}_2\text{O}$ und Thaumasit, $[\text{Ca}_3 \text{Si}(\text{OH})_6 \times 12 \text{H}_2\text{O}] (\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$ kommen, wenn im Mauerwerk Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) vorhanden ist,





Abb. 9. Lorch, ehem. Klosterkirche, nördliches Seitenschiff: fortwährende Durchfeuchtung der West-Wand durch Regenwasser aufgrund einer verstopften Regenrinne.

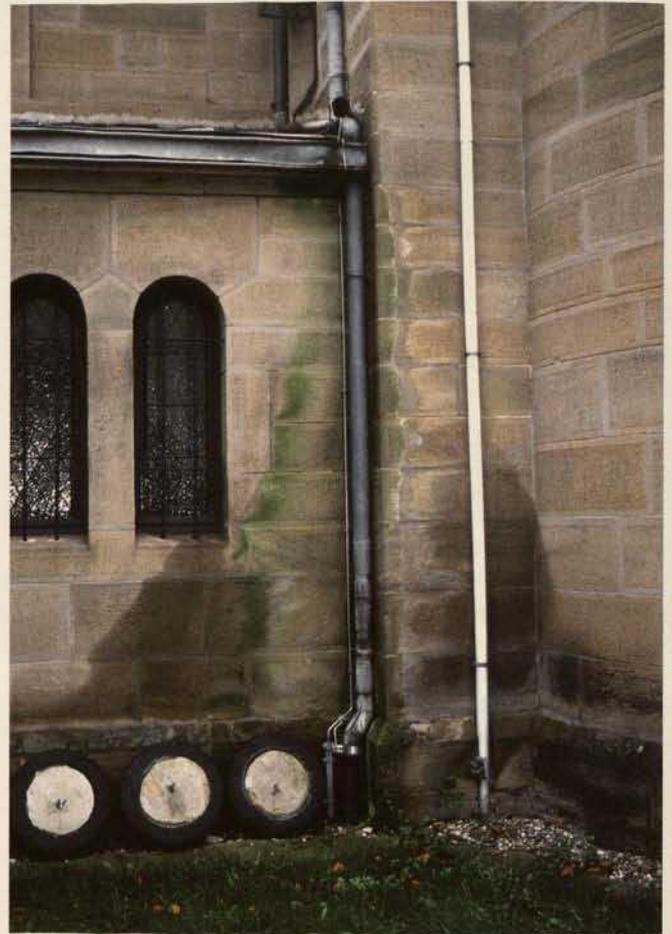


Abb. 10. Kupferzell, evangelische Kirche, Anschluss Sakristeidach: starke Durchfeuchtung des Natursteinmauerwerks infolge eines falsch angeordneten Fallrohrs.

- bei Verwendung von Verpressmaterial mit zu hohem Alkaligehalten zur Neubildung von Alkalisalzen kommen.

Folgen der mechanischen Abdichtung und wichtige Begleitmaßnahmen

Als gewünschter Effekt kommt es nach dem Einbau der horizontalen Abdichtung zu einer vollständigen Austrocknung der Wände. Da historische Mauerwerke und Objekte häufig mehr oder weniger salzbelastet sind, führt die Trocknung der Wände zur Kristallisation der Salze an den historischen Oberflächen (Malereien, Putzen, Wandoberflächen aus Naturstein, Epitaphien etc.) und in Fällen unterlassener Begleitmaßnahmen zu deren Zerstörung. Deshalb ist als Begleitmaßnahme in den Fällen, in denen eines dieser Verfahren trotz der genannten Risiken eingesetzt wird, die Entsalzung durch Kompressen (Buchenholz-Zellulose) oder eventuell auch durch Kompressenputze (keine Sanierputze) unbedingt zu empfehlen.

Bohrlochinjektionsverfahren zur nachträglichen Horizontalabdichtung von Mauerwerk

Horizontalabdichtungen werden auch über so genannte Bohrlochinjektionsverfahren durchgeführt. Zur Abdichtung werden

Flüssigsubstanzen drucklos¹ (Gießkannenverfahren) oder unter Druck ins Mauerwerk injiziert. Das Spektrum der verwendeten chemischen Substanzen ist sehr breit und basiert auf dementsprechend unterschiedlichen physikalisch-chemischen Wirkungsmechanismen, wie auf einer Verstopfung der Kapillaren, auf einer Verminderung des kapillaren Durchmessers oder einer Erhöhung der Oberflächenspannung in den Kapillaren zur Erzielung eines hydrophobierenden Effekts.

- ¹ Wacker-Chemie GmbH: Silicon-Microemulsionen für die Mauertrockenlegung, Technisches Merkblatt 4912.7, 1991; Dieter HETTMANN, Zur Beeinflussung des Feuchte- und Salzgehaltes in Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 16, 1993, S. 72–75.
- ² Detlef J. HONSINGER, Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 2, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 75–78; Detlef J. HONSINGER – Hans Rainer SASSE, Materialauswahl für feuchtereduzierende Maßnahmen am Mauerwerk: Stoffe und ihre Eignung, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung Teil 2, 1993, S. 1336–1354.
- ³ z.B. Claus AHRENDT, Neue Erkenntnisse in der Mauertrockenlegung?, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1994, S. 69–74.
- ⁴ z.B. Andreas PROTZ und Peter FRIESE, Zur Verteilung von Silikonmikroemulsionen in porösen Baustoffen, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1995, S. 42–46.
- ⁵ Wilhelm WITTMANN – Otto DRÖGLER, Mauerfeuchtigkeit, Ursachen – Auswirkungen – Trockenlegung, Heidelberg 1967; Heinz-Josef HORSTSCHÄFER, Verkieselung, Erfahrungen mit Wasserglas – insbesondere im Baubereich, in: Das Baugewerbe 12, 1975, S. 14–15.

Wie sich jedoch in der Praxis herausgestellt hat, verteilen sich einige der eingesetzten Substanzen besser über die Fugen und Risse, als über die Gesteinsporen.

Neben den chemischen Reaktionsmechanismen spielen die physikalischen Rahmenbedingungen eine große Rolle. Bei der Druckinjektion werden gegenüber der drucklosen Injektion trotz gegenteiliger Aussagen höhere Porenfüllgrade, eine gleichmäßigere Verteilung der Injektionsstoffe an den Porenwänden und eine Steigerung der Eindringtiefe erzielt.²

Für den Erfolg spielt jedoch nicht nur der Druck, sondern auch die Dauer der Injektion in Abhängigkeit von der Wandstärke, der Grad der Versalzung des Mauerwerks und vor allem der Durchfeuchtungsgrad eines Mauerwerks eine entscheidende Rolle. Liegt der Durchfeuchtungsgrad über 50%, wird von einer Injektion abgeraten.³ Ferner spielen auch das Material und der chemische Reaktionsmechanismus eine wichtige Rolle. In der Theorie mögen die vorgesehenen chemischen Reaktionen zwar ablaufen, in der Praxis gibt es jedoch vielfältige Probleme, die immer wieder verleugnet werden.

Neben den Verfahren, die schon aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften nur bei höheren Temperaturen ins Mauerwerk eingebracht werden können, wird von verschiedenen Autoren⁴ und seit einiger Zeit auch von der Industrie zur Verbesserung des Erfolgs empfohlen, das Mauerwerk vor der Injektion mit Heizpackern, Bautrocknern oder Mikrowellengeräten bei Temperaturen von mehr als 100°C vorzutrocknen.

Dabei sind die Methoden mancher Firmen, die sich eigentlich den Denkmalschutz auf ihre Fahnen geschrieben haben, aber mit Mauertrocknungsverfahren werben, mit deren Hilfe sie den Durchfeuchtungsgrad eines 50 cm dicken Mauerwerks in nur 5 Stunden von 90 auf 50% absenken können, für Baudenkmale sicher nicht zu empfehlen.



Abb. 12. Karlsruhe, katholische Stadtpfarrkirche: Feuchte- und Salzbelastung des Sockelmauerwerks durch falsche Dimensionierung der Regenrinnen.

Art der Injektionssubstanzen

Zu den wasserverdünnbaren Systemen gehören (1):

- reine Alkalisilikate (Wassergläser)
- Alkalimethyl- und Propylsilikonate
- Gemische aus Alkaliwasserglas und Methylsilikonat.

Inzwischen sind auch siliziumorganische Verbindungen in Wasser emulgiert erhältlich (2) wie

- Silane, Siloxane oder Siloxan/Silikon-Gemische.



Abb. 11. Neudenu, Wallfahrtskirche: nicht sachgemäß angeschlossenes Fallrohr, das zur Durchfeuchtung der nördlichen Außenwand geführt hat.

Als Systeme auf Lösungsmittelbasis werden angeboten:

- Harzlösungen auf der Basis von Epoxid-, Polyurethan-, Acryl- und Polyesterharzen (3)
- Bitumenlösungen (4);

Paraffin wird in heißem Zustand als Abdichtungsmaterial eingesetzt (5).

Hinter allen diesen Materialien steht die grundlegende Vorstellung, dass sich die Abdichtungssubstanz gleichmäßig im Mauerwerk verteilt und eine durchgängige horizontale Sperrschicht bildet.

Wirkung und Nebenwirkung der verschiedenen Substanzen

Alkalisilikate, Alkalimethylsilikonate (1)

- Bei Verwendung von Alkalisilikaten kommt es nach Entwässerung des ausgeschiedenen Kieselgels zur Bildung von Sekundärkapillaren⁵ und dadurch erneut zu erhöhter Kapillaraktivität. Zur Verbesserung dieser Problematik wurden deshalb Gemische von Alkalisilikaten und Alkalimethylsilikonaten eingesetzt.
- Beide Verbindungen brauchen Kohlendioxid (CO₂) aus der Luft zur Umsetzung und zur Ausbildung ihrer abdichtenden Wirkung. Dabei kommt es einerseits zur Bildung von Alkalicarbonaten (wie z.B. Kaliumcarbonat, K₂CO₃), die das Mauerwerk belasten. Zum anderen zeigen sich die Grenzen des Materials darin, dass die Eindringgeschwindigkeit des rein passiv eindiffundierenden Kohlendioxids extrem gering



Abb. 13. Bad Wimpfen, Kreuzigungsgruppe von Hans Backoffen, Sockel: Substanzverlust beim Sägen.



Abb. 15. Sulzgries, evangelische Kirche, Sockelmauerwerk: Rostfahnen infolge korrodierter Edelstahlplatten, die in Kontakt mit feuchtigkeits- und chloridbelastetem Mauerwerk waren.

ist. Bei großen Wandstärken kann man davon ausgehen, dass sich die Abdichtungssubstanz auch nach Jahren noch nicht vollständig umgesetzt hat und folglich die Abdichtung nicht so gut funktionieren kann wie angegeben. In der Realität zeigen sich diese Probleme dann auch noch viel krasser als theoretisch angenommen.

- Da die Eindringgeschwindigkeit des zur Umsetzung benötigten Kohlendioxids (CO_2) aus der Luft in den Mauerwerksquerschnitt sehr gering ist, werden beim Abdichtungsverfahren von einigen Firmen als Grenzwerte für die Mauerstärke ehrlicherweise 50 cm angenommen. Versuche haben jedoch gezeigt, dass das Kohlendioxid aus der Luft im Verlauf mehrerer Jahre nur wenige Zentimeter ins Mauerwerk eingedrungen ist.
- In vielen Fällen wird das Mauerwerk nach der Injektion verputzt, so dass der Kohlendioxid-Zutritt weiter erschwert

wird und das Kohlendioxid praktisch nicht mehr ins Mauerwerk eindringen kann.

Es erfordert allerdings besondere Untersuchungsbedingungen, um diesen Sachverhalt in der Praxis nachweisen zu können, da das nicht umgesetzte Abdichtungsmaterial im Mauerwerk mit dem Kohlendioxid aus der Luft reagiert, sobald man eine Materialprobe aus dem Mauerwerk entnimmt und diese mit der Luft in Kontakt kommt.

Silane, Siloxane oder Siloxan/Silikon-Gemische (2)

- Seit mehreren Jahren wird auf dem deutschen Markt als Mehrstufeninjektion die so genannte *Silikonmikroemulsion (SMK)* angeboten, die ein mit Silikontensiden modifiziertes Silan/Siloxan-Gemisch als Hauptinjektionsmittel enthält. Nach dem Bohren der Bohrlöcher erfolgt eine Vorinjektion mit einer mikroporösen Zementsuspension



⁶ Helmut WEBER, Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk, in: *Werkstoffwissenschaften und Bausanierung*, Teil 2, 1993, hg. von F. H. WITTMANN (Kontakt und Studium, Bd. 420), S. 1296–1324.

⁷ Hans-Axel KABREDE, Abdichtung der Krypta Markuskirche – eine gelungene Sache oder ein Flop?, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 8, 1995, S. 14–15.

⁸ Thomas HOECK, Abdichten einer Unterführung durch Vergelungsinjektion, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 3, 1997, S. 32–37; Bert WITTEMANN, Acrylatgel – eine neue Möglichkeit für nachträgliche Bauwerksabdichtungen, in: *FAS-Schriftenreihe* 8, *Bautenschutzmittel*, 1997, S. 110–115.

⁹ FMFA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt B.-W.), Abteilung 3, Referat 32: Oedheim, St. Mauritius – Untersuchung einer nachträglich eingebauten Horizontalsperre mit Bitumeninjektage, Untersuchungsbericht vom 22.07.1996, 1996 a.

◁ Abb. 14. Nusplingen, Friedhofskirche, nicht funktionsfähige Drainage: allseitig geschlossenes Betonrohr mit nachträglich hineingepickten Löchern.

▷ Abb. 16. Schwäbisch Gmünd, katholische Kirche St. Leonhard, Außenansicht mit abgegrabener Aufschüttung (ca. 2m) und freigelegtem ehemaligem Sockel: grobkörniger Schilfsandstein mit hoher kapillarer Wasseraufnahme, die dunklen Zonen salz- und feuchtigkeitsbelastet.

▷▷ Abb. 18. Haslach, evangelische Kirche: Anlage einer Drainage mit reversibler Vertikalabdichtung.

sion. Dadurch werden Klüfte und Risse im Mauerwerk geschlossen. Kurze Zeit danach werden die Bohrlöcher mit einer speziellen Lanze erneut aufgestoßen, um die SMK zu injizieren. Durch die hochalkalische Zementsuspension findet eine sofortige Aktivierung der SMK statt. Dies führt zu einer schnellen Ausbildung der Hydrophobie im Bohrlochbereich, verhindert aber wahrscheinlich gleichzeitig ein gutes Penetrationsvermögen des Injektionsmaterials.



Abb. 17. Calw, evangelische Stadtkirche, Sockel: durch Bitumeninjektion verunreinigte Wandoberfläche.

Harzlösungen auf Basis von Epoxiden, Polyurethanen, Acrylaten und Polyesterern (3)

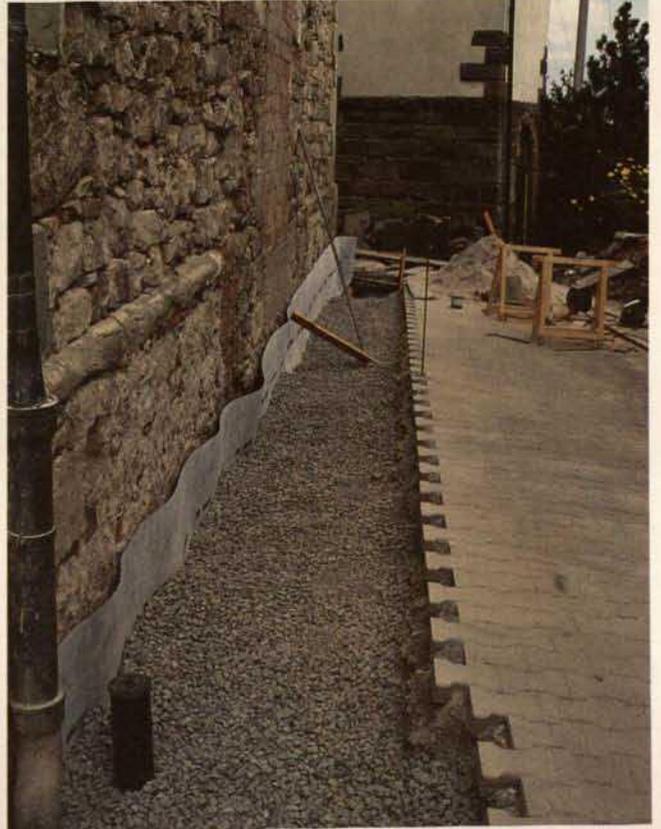
- Harzlösungen auf der Basis von *Epoxid-, Polyurethan-, Acryl- und Polyesterharzen* sind eine weitere Stoffgruppe, die zur Abdichtung verwendet wird. Ihr Wirkungsmechanismus beruht auf der Verstopfung von Kapillaren und Hohlräumen. Probleme entstehen bei der gleichmäßigen Verteilung der Harze im Mauerwerk.⁶ Epoxidharze können bei Sichtmauerwerk erfahrungsgemäß zu starken Verunreinigungen führen (Abb. 8), die nicht reversibel sind⁷.
- Polyurethane werden zum Verfüllen größerer Hohlräume in Mauerwerken verwendet. Da sie unter Volumenvergrößerung reagieren und durch den sich dabei aufbauenden Druck Risse im Mauerwerk entstehen können, ist Vorsicht geboten.
- Polyacrylatgele schrumpfen bei Trocknung, quellen jedoch bei Wasserzutritt wieder, so dass sie ihre Abdichtungseigenschaft behalten. Sie werden vor allem im Brücken- und Tunnelbau⁸ und in Form von Schleierinjektionen zur Baugrundinjektion eingesetzt.

werk zusätzlich über längere Zeit auf über 100°C erhitzt werden, da in kaltem Mauerwerk mit einer schnellen Porenverstopfung entlang des Bohrlochkanals zu rechnen ist.

- In Lösungsmitteln gelöstes *Bitumen* wird auf ca. 30°C erhitzt und dann im Hochdruckverfahren ins Mauerwerk injiziert. Hier hat sich gezeigt, dass es kaum in den Porenraum eines Gesteins eindringt.⁹ Aus diesem Grund ist man dazu übergegangen, die Bohrlöcher über mehrere Lagerfugen zu verteilen, so dass sich das Material über die Fugen verteilen kann. Das unter Druck injizierte Bitumen tritt an vielen Stellen aus der Wand aus und verunreinigt die Oberflächen irreversibel (Abb. 17). Es lässt sich nur durch mechanisches Abarbeiten entfernen, was eine vollständige Zerstörung der historischen Oberflächen bedeutet.

Bitumen (4) und Paraffin (5)

- *Bitumen und Paraffin* müssen erhitzt werden, um sie zu verflüssigen und können dann in das Mauerwerk injiziert werden. Bei Verwendung von Paraffin muss das Mauer-



- Vor Einsatz der *Paraffin*-Injektion soll das Mauerwerk über Heizpacker über viele Stunden auf 200 bis 250°C aufgeheizt¹⁰ und das erhitzte flüssige Paraffin ohne Druck (Gießkanne) in die Bohrlöcher eingefüllt werden. In der Praxis werden eher 150 bis 180°C erreicht. Jedoch liegen hierzu keine einheitlichen Aussagen vor. Dabei soll sich eine 20 cm starke durchgängige Paraffinschicht ausbilden.
- Allerdings haben Versuche an durchfeuchtetem Schilfsandstein (häufiges Baumaterial in Baden-Württemberg) gezeigt, dass die Vorheiztemperaturen im Mauerwerk nicht so hoch sein dürfen, wie von der Industrie angegeben, da es zu Rissen und je nach Zusammensetzung des Natursteins zu Zerstörungen des Mineralgefüges und zum nachfolgendem Zusammenbruch des Korngefüges kommen kann. Sehr enttäuschend war vor allem, dass es bei den Versuchen außerdem trotz längerer Aufheizzeiten (24 h) und längerer Paraffin-Tränkungszeiten als in der Praxis üblich, zudem nicht zur Bildung einer durchgehenden Sperre kam!
- Dies bestätigen auch Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung, bei denen die Injektion zu keinem Trocknungseffekt führte.¹¹
- Prinzipiell stellt sich die Frage, ob bei einem stark durchfeuchteten Mauerwerk großer Wanddicke innerhalb der praxisüblichen Aufheizzeiten genügend Feuchtigkeit verdampfen kann, so dass die Poren das Paraffin tatsächlich aufnehmen können. In diesem Zusammenhang darf nicht vergessen werden, dass Feuchtigkeit nachgesaugt wird, sobald die Heizstäbe entfernt werden und das Mauerwerk abkühlt. Auch dürften unterschiedliche Porengeometrien und Porengrößenverteilungen in den verschiedenen Baustoffen Auswirkungen auf Aufnahme und Verteilung des Paraffins haben.

Vertikalabdichtung

Feuchtigkeit, die aus dem angrenzenden Bodenmaterial ins Fundamentmauerwerk eindringt, hat einen großen Einfluss auf die Menge der kapillar im Mauerwerk aufsteigenden Feuchtigkeit. Wenn es gelingt, das Fundamentmauerwerk gegen seitlich eindringende Feuchtigkeit zu schützen, ist in vielen Fällen eine erhebliche Reduzierung des Durchfeuchtungsgrads des Mauerwerks zu erreichen. Eine häufig angewendete Methode zur Reduzierung der Feuchtigkeitsaufnahme ins Fundamentmauerwerk ist deshalb die nachträglich eingebaute außen liegende Vertikalabdichtung.

Um Fundamentmauerwerke vertikal abzudichten, werden im Denkmalsbereich bisher Zementmörtel, Trassmörtel, bitumenkautschukmodifizierte Dichtanstriche, kunststoffmodifizierte Dickbeschichtungen auf den Untergrund aufgetragen. Es werden verschiedene Arten von Dichtungsbahnen eingesetzt, die miteinander verschweißt oder kalt mit dem Untergrund verklebt werden. In praktisch allen Fällen muss vorher eine lockermaterialfreie, ebene Fläche als Auflagefläche geschaffen werden, da es sonst trotz rissüberbrückender Eigenschaften der Beschichtungen und Anstriche zu Rissen und einem erneuten Eindringen von Feuchtigkeit kommen kann.

Im Falle der Verwendung von portlandzementhaltigen Produkten ist eine chemische Kontrolle der Zementklinkerzusammensetzung erforderlich. Handelsüblicher Portlandzementklinker enthält vielfach erhebliche Gehalte an wasserlöslichen Na⁺ und K⁺-Ionen. Die Bildung von Kalium- und

Natriumsulfatsalzen findet häufig durch Lösungsprozesse und chemische Reaktionen mit bereits vorhandenen Sulfatsalzen (wie z.B. Gips, CaSO₄ x 2H₂O) im Mauerwerk statt und kann zur verstärkten Salzkristallisation im und zu Salzausblühungen auf den Mauerwerksoberflächen führen.

Gleiches gilt für die Verwendung trasshaltiger Produkte. Da Trass je nach Herkunft sehr unterschiedliche Alkalikonzentrationen aufweisen kann, sind auch hier Informationen über die Höhe der Alkaligehalte zur Beurteilung der Verwendbarkeit notwendig.

Neben den irreversiblen Möglichkeiten Fundamente vertikal abzudichten, gibt es eine große Auswahl an reversiblen Dichtungsbahnen, die nicht auf den Untergrund aufgeklebt oder aufgetragen werden müssen. Die *Verwendung* dieser *reversiblen Dichtungsbahnen*, die einfach vor ein unebenes Mauerwerk vorgestellt werden können, *sind einer irreversiblen Abdichtung vorzuziehen*, da es sich bei den betroffenen Mauerwerken praktisch immer um historische Fundamentmauerwerke, teils unter Verwendung von Spolien, handelt. Die Dichtungsbahnen dürfen jedoch weder zu dick noch zu steif sein, da sie sich sonst nicht gut an den Untergrund anpassen lassen. Ein Beispiel für eine gut funktionierende reversible Lösung ist in Abb. 18 zu sehen.

Vertikale Fundamentabdichtungen sind oft nur in Verbindung mit einer Drainage sinnvoll, da je nach Lastfall die am Fundament anstehende Feuchtigkeit nicht abgeleitet werden kann. Drainagen sind eine gute Möglichkeit Hang- und Sickerwasser vom Fundament fernzuhalten. Sie sind rückstaufrei zu entwässern und sollten möglichst auf Höhe der Fundamentunterkante liegen. Letzteres ist bei historischen Mauerwerken nicht immer ohne weiteres möglich. Bei der Herstellung sollten die einschlägigen DIN-Vorschriften 4095, 4123, 4124 und 18195, soweit bei historischen Gebäuden möglich, beachtet werden. Vor der Ausführung ist in jedem Fall die Archäologie einzuschalten.

Ferner ist als historisches Verfahren die Verwendung von *Lehm-packungen* („Lehmschlag“) zur Vertikalabdichtung im Fundamentbereich bekannt. Dieses Verfahren wurde u.a. in einigen Fällen in Bayern und Baden-Württemberg angewendet. Wünschenswert wäre, diesen Ansatz weiter zu verfolgen und vor allem die Rahmenbedingungen genau zu dokumentieren. Durch die Kombination mit flankierenden Maßnahmen, die in der Regel gleichzeitig am Objekt durchgeführt werden, sind auch hier die Ergebnisse zu ungenau, um endgültige Aussagen treffen zu können. Als Fazit ließe sich festhalten, dass, wenn reversible mineralische Vertikalabdichtungen – auch in Kombination mit konservativen Maßnahmen (Wasserableitsysteme, Drä-

¹⁰ Jürgen DREYER, Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 6, 1991, S. 22–28.; Jürgen DREYER, Clemens HECHT, Instandsetzung und Erhaltung von Baustoffen und Bauteilen durch thermisch induzierte Porenfüllung mit Paraffin (GdCh-Monografie Bd. 11, Bauche-mie von der Forschung bis zur Praxis, Beiträge der 1. Tagung Bau-chemie, München 21./22. Nov. 1997), München 1998, S. 166–170.

¹¹ Dirk HOFFMANN – Helmut ROOSS: Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk, in: *Bautenschutz und Bausanierung* 15, 1992, S. 81–83.

¹² Siehe auch Harald GARRECHT, Porenstrukturmodelle für den Feuchtehaushalt von Baustoffen mit und ohne Salzbe-frachtung und rechnerische Anwendung auf Mauerwerk (Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Heft 15), Karlsruhe 1992, S. 193–205.

nagen etc.) – zu einer Verbesserung der Bauphysik führen, sie allemal irreversiblen und massiven Eingriffen mit teils unabwägbaren Folgen vorzuziehen sind.

Begleitmaßnahmen

Als Begleitmaßnahme bei Abdichtungen oder als alleinige Maßnahme bei salzbelastetem Mauerwerk wird oft die Verwendung von *Sanierputzen* empfohlen. In der Praxis hat sich folgende Problematik gezeigt:

Ist ein Mauerwerk sehr stark durchfeuchtet oder ist damit zu rechnen, dass weiterhin kapillar aufsteigende Feuchtigkeit auftritt, genügt auch die hohe Diffusionsfähigkeit von Sanierputzen nicht, das Mauerwerk austrocknen zu lassen. Es kommt zum weiteren kapillaren Aufstieg der Feuchtigkeit im Mauerwerk hinter dem Sanierputz bis in größere Wandhöhen.¹²

In fast allen Fällen, in denen dieses Schadensphänomen bei Verwendung von Sanierputzen auftrat, wurde der historische Kalkputz, der meist nur im unteren Wandbereich durch aufsteigende Feuchtigkeit und Salze geschädigt war, bis in größere Höhen abgeschlagen, z. T. bis in 2 m Höhe, und statt dessen ein Sanierputz aufgetragen. Darüber blieb der alte Kalkputz erhalten. Nach einigen Jahren – Fälle zwischen 2 und 5 Jahren sind bekannt – zeigten sich Schäden in Form von feuchten Flecken und Salzausblühungen direkt über dem Sanierputz im historischen Kalkputz. Der Sanierputz blieb dabei optisch schadensfrei, aber die Schadenszone war noch weiter nach oben gewandert.

Problematisch ist dieser Sachverhalt vor allem deshalb, weil die kapillare Feuchtigkeit durch den Sanierputzauftrag nicht im unteren Bereich der Wand nach außen diffundieren kann, wie es bei einem Kalkputz möglich ist, sondern bis in größere Höhen aufsteigt. Oft sind dort noch historische Malereien vorhanden, die aufgrund der Wandhöhe in der sie sich befinden, bislang gut vor Beschädigungen jeder Art geschützt waren. Dadurch, dass man der Feuchtigkeit nun behilflich ist, größere Höhen zu erreichen, sind auch diese originalen Zeugnisse unserer Geschichte von der Zerstörung bedroht.

Ein solches Schadensbild kannte man bisher eher von Wänden, die mit dampfdiffusionsdichteren Putzen, wie Zementputzen versehen sind. Sie lassen aufgrund ihrer Eigenschaften die Feuchtigkeit nicht nach außen abtrocknen, sondern sperren sie im Mauerwerk ein. Dies führt dann dazu, dass die Feuchtigkeit im Mauerwerk hinter dem Putz so weit nach oben steigt, bis sie die Möglichkeit hat, nach außen durchzudringen. Die dabei kristallisierenden Salze schädigen die diffusionsoffeneren historischen Putze, die an den Wänden über den Neuputzen noch vorhanden sind.

Es gibt sicher Wandsituationen, in denen *Sanierputze* angezeigt sind. Im Fall eines Mauerwerks mit hohem Durchfeuchtungsgrad, das vor dem Putzauftrag nicht vollständig austrocknen kann bzw. in dem Fall, in dem damit zu rechnen ist oder nachgewiesen wurde, dass weiterhin erhebliche Mengen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit vorhanden sind, ist von der Verwendung von Sanierputzen abzuraten.

In jedem Fall sollte ein Mauerwerk mit hohem Durchfeuchtungsgrad, dessen Putz ohnehin entfernt wurde, über längere Zeit unverputzt stehen bleiben. Dadurch kann der Durchfeuchtungsgrad erheblich reduziert werden. Ferner wird dringend

geraten, zwischen Sanierputz und historischen Befunden eine so genannte *Schutzzone* in Form eines mindestens 50 cm breiten Kalkputzstreifens aufzutragen. In dieser Zone werden im Problemfall die Schäden auftreten. Sobald dies geschieht, muss der Putz abgenommen und erneuert werden (ggf. sind parallel Kompressenbehandlungen zur Salzreduktion angezeigt), denn nur dadurch kann die Gefahr eines weiteren Kapillaraufstiegs und des Auftretens weiterer Schäden über diese Zone hinaus verhindert werden.

Erfolgskontrolle

Bisher wurden selten Erfahrungswerte dokumentiert, die die Denkmalpflege in die Lage versetzen, Erfolg oder Misserfolg von Maßnahmen einschätzen zu können. Deshalb sollte eine Erfolgskontrolle eingeführt werden. Sie sollte sich dadurch auszeichnen, dass an denkmalgeschützten Objekten in regelmäßigen Zeitintervallen Überprüfungen durchgeführt werden. Dabei ließe sich einschätzen, wie erfolgreich eine Maßnahme ist. Es ließe sich beurteilen, ob sie auch in anderen Fällen angewendet werden kann. Im Idealfall könnte sie so Zeit und Geld sparend in anderen Fällen eingesetzt werden.

Dadurch würden sich zukünftige Fälle fachlich besser planen lassen, sämtliche Eingriffe würden sich minimieren lassen und die Kosten könnten begrenzt werden. Voraussetzung für eine Überprüfung von Maßnahmen ist aber auch eine Dokumentation, die es ermöglicht, sowohl den angetroffenen Zustand als auch die angewendeten Methoden und Verfahren nachvollziehen zu können.

Schlussfolgerung

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche und nachhaltige Denkmalpflege ist die regelmäßige Bauunterhaltung am Objekt. Dabei können Probleme frühzeitig erkannt und Schäden behoben werden, bevor große Maßnahmen notwendig werden, die finanziell ausufernd und nicht zur Erhaltung des Denkmals, sondern de facto zu seiner Erneuerung führen.

Sofern doch umfangreichere Instandsetzungsmaßnahmen ausgeführt werden müssen, ist eine durchdachte Planung, die eine sinnvolle Vorgehensweise beinhaltet, ganz wesentlich für die Instandsetzung. Dabei wird folgende Reihenfolge dringend angeraten:

1. Schadensaufnahme und Dokumentation
2. Schadensanalyse
3. Ermitteln der möglichen Ursachen
4. Zunächst konservative Maßnahmen ausführen, d.h. den Unterhaltungsstau aufarbeiten (Dachrinnen, Fallrohre, Dränung, Dachhaut, Putze, Heizung, Lüftung etc. überprüfen und instandsetzen)
5. Angemessene Wartezeit über einen längeren Zeitraum einhalten. Prüfen, ob und in welchem Maß eine Besserung eintritt.
6. Weitere aufwendigere Sanierungsmaßnahmen durchführen.

In der Praxis wird alternativ zu der oben genannten Vorgehensweise leider häufig auf einen Teil der Schritte verzichtet und die Vorgehensweise folgendermaßen abgekürzt:

Man führt nur die Schritte 1, 4 und 6 durch. Dies führt dazu, dass die Sanierungsmassnahme enorme Kosten verursacht.

Natürlich bessert sich der Zustand des Objekts, jedoch lässt sich nicht nachweisen, ob die Besserung Punkt 6 „Weiteren Maßnahmen“ zu verdanken ist oder bereits nach Durchführung von Punkt 4 „Konservative Maßnahmen“ eingetreten wäre, denn eine Erfolgskontrolle ist für die Einzelgewerke bzw. Maßnahmen nun nicht mehr möglich.

Erst wenn sich nach allen Prüfungen ergibt, dass ein besserer Bauunterhalt bzw. konservative Maßnahmen nicht zum Erfolg führen werden, sollte man sich deshalb Gedanken über aufwendige Sanierungsmaßnahmen machen.

Insgesamt liegt nach vielen Jahren Erfahrung mit den im vorliegenden Artikel zitierten Verfahren in der praktischen Denkmalpflege der Schluss nahe, dass die meisten dieser Verfahren bereits im Erprobungsstadium in der Praxis eingesetzt wurden und heute z. T. immer noch eingesetzt werden. Selten wurden und werden neue Verfahren vor ihrem Einsatz unter praxisnahen Bedingungen getestet. Man hat meist keine Erfahrung damit, welche Auswirkungen sie kurz- und auch langfristig auf die verschiedenen Baumaterialien haben oder ob sie überhaupt funktionieren. Negative Nachweise werden häufig nicht weitergegeben, um kommerziellen Interessen nicht zu schaden. Sobald am Objekt offensichtlich wird, dass ein Verfahren nicht funktioniert, wird nachgebessert. Meist liegt dieser Zeitpunkt dann bereits außerhalb der Gewährleistungszeit. Eine Vereinheitlichung der Prüfverfahren ist dringend geboten. Die Wirksamkeit und Auswirkungen der an Denkmälern angewendeten Produkte und Verfahren, sollte unter standardisierten und reali-

tätsnahen Bedingungen nachgewiesen werden. Wirkung und Auswirkung eines Produkts müssen untersucht werden, bevor das Material an historischen Bauwerken eingesetzt wird und nicht danach.

Summary

Moisture Damage on Historic Buildings. Causes and Methods of Treatment

A number of cultural monuments which display acute moisture and salt damage are presented and the causes of the damages are discussed. The functional efficiency and the success of the methods employed to remedy these damages and keep the buildings sustainably damage-free are assessed.

Using practical examples the application and results of procedures to waterproof buildings horizontally and vertically against capillary rising damp are discussed and parallel measures such as water-repellent finishes and compress and renovation plasters are considered.

Urgent reference is made not only to the importance of searching for the causes of moisture by examining the existing condition of a building and conducting scientific preliminary investigations but also to the necessity of long-term maintenance in order to achieve a lasting remedy which is compatible with the monument and its historic materials.

Literaturverzeichnis

- Wilhelm WITTMANN – Otto DRÖGSLER, Mauerfeuchtigkeit, Ursachen – Auswirkungen – Trockenlegung, Heidelberg 1967, 113 S.
Heinz-Josef HORTSCHÄFER, Verkieselung, Erfahrungen mit Wasserglas – insbesondere im Baubereich, in: Das Baugewerbe 12, 1975, S. 14–15.
Jürgen DREYER, Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin, in: Bautenschutz und Bausanierung 6, 1991, S. 22–28.
Wacker-Chemie GmbH: Silicon-Microemulsionen für die Mauertrockenlegung, Technisches Merkblatt 4912.7, 1991.
Harald GARRECHT, Porenstrukturmodelle für den Feuchtehaushalt von Baustoffen mit und ohne Salzbehaftung und rechnerische Anwendung auf Mauerwerk (Schriftenreihe des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie, Heft 15), Karlsruhe 1992, S. 193–205.
Dirk HOFFMANN – Helmut ROOSS: Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 81–83.
Detlef J. HONSINGER, Feuchtereduzierung von kapillar durchfeuchtem Mauerwerk durch Bohrlochinjektion, Teil 2, in: Bautenschutz und Bausanierung 15, 1992, S. 75–78.
Dieter HETTMANN, Zur Beeinflussung des Feuchte- und Salzgehaltes in Mauerwerk, in: Bautenschutz und Bausanierung 16, 1993, S. 72–75.
Detlef J. HONSINGER – Hans Rainer SASSE, Materialauswahl für feuchtereduzierende Maßnahmen am Mauerwerk: Stoffe und ihre Eignung, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung Teil 2, 1993, S. 1336–1354.
Helmut WEBER, Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk, in: Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Teil 2, 1993, hg. von F. H. WITTMANN (Kontakt und Studium, Bd. 420), S. 1296–1324.
Claus AHRENDT, Neue Erkenntnisse in der Mauertrockenlegung?, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1994, S. 69–74.

- Hans-Axel KABREDE, Abdichtung der Krypta Markuskirche – eine gelungene Sache oder ein Flop?, in: Bautenschutz und Bausanierung 8, 1995, S. 14–15.
Andreas PROTZ und Peter FRIESE, Zur Verteilung von Silikonmikroemulsionen in porösen Baustoffen, in: Bautenschutz und Bausanierung 2, 1995, S. 42–46.
FMPA (Forschungs- und Materialprüfungsanstalt B.-W.), Abteilung 3, Referat 32: Oedheim, St. Mauritius – Untersuchung einer nachträglich eingebauten Horizontalsperre mit Bitumeninjektage, Untersuchungsbericht vom 22.07.1996, 1996 a.
Thomas HOECK, Abdichten einer Unterführung durch Vergelungsinjektion, in: Bautenschutz und Bausanierung 3, 1997, S. 32–37.
Bert WITTEMAN, Acrylatgel – eine neue Möglichkeit für nachträgliche Bauwerksabdichtungen, in: FAS-Schriftenreihe 8, Bautenschutzmittel, 1997, S. 110–115.
Jürgen DREYER, Clemens HECHT, Instandsetzung und Erhaltung von Baustoffen und Bauteilen durch thermisch induzierte Porenfüllung mit Paraffin (GdCh-Monografie Bd. 11, Bauchemie von der Forschung bis zur Praxis, Beiträge der 1. Tagung Bauchemie, München 21./22. Nov. 1997), München 1998, S. 166–170.
Ulrike HENES-KLAIBER, Feuchteschäden und Methoden zu ihrer Beseitigung, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg, Nachrichtenblatt des Landesdenkmalamtes 1, 1998, S. 5–22.
Claus ARENDT, Jörg SEELE, Feuchte und Salze in Gebäuden – Ursachen, Sanierung, Vorbeugung, Leinfelden-Echterdingen 2001².

Abbildungsnachweis

- Abb. 1–18: Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart, Esslingen, Archiv Restaurierung (Ulrike Henes-Klaiber).