

Bauschädliche Salze

Beurteilung von Schäden an Naturstein und Gegenmaßnahmen

Naturstein zählt zu den porösen mineralischen Baustoffen. Daher sind Natursteine häufig Opfer salzinduzierter Verwitterung und Zerstörung. Wasserlösliche bauschädliche Salze wandern in den Baustoff und führen dort durch Hydratations- und Kristallisationsprozesse zur Entfestigung des Gefüges. Durch rechtzeitiges Analysieren und solides Interpretieren der Daten lassen sich die Risiken einschätzen und die entsprechenden Gegenmaßnahmen einleiten.

■ Von Christoph Franzen

Sehr viele Bauwerksschäden gehen auf einen salzinduzierten Zerstörungsprozess zurück. Davon betroffen sind alle porösen, vorwiegend mineralischen Baustoffe. Dazu gehören in erster Linie Natursteine, insbesondere, wenn sie offenporig und/oder quellfähig sind. Aber auch dichte Sand- und Kalksteine sowie Vulkanite können durch bauschädliche Salze stark geschädigt werden. Der starken Schädigung gehen meist sehr viele einzelne Schädigungszyklen voraus, wobei das Ausblühen von Salzen auf der Oberfläche eine Vorstufe ist (Bilder 1 bis 4).

Grundsätzlich gilt, dass Salzschäden immer mit einer Feuchtemigration verbunden sind: alle Salze haben einen Migrationshintergrund. Am augenfälligsten ist der Wassertransport bei der aufsteigenden Feuchte, die durch Oberflächenwasser bei mangelnder oder mangelhafter Horizontalsperrung häufig auftritt. Gleiches gilt für un-

geregelte Wasserführung und übermäßige Schlagregenbelastung. Auch der Prozess der Oberflächenkondensation kommt infrage und muss immer dann betrachtet werden, wenn ungewöhnliche Mauerwerkspartien betroffen sind.

Aber nicht nur regelmäßige und andauernde Feuchtebelastung ist zu hinterfragen. Auch einmalige bzw. temporäre Ereignisse können noch lange Zeit später zu zunächst unerklärlichen Salzschäden führen. Zu diesen Havarien gehören gebrochene Wasserleitungen, Leckagen von Dachrinnen oder defekte Dächer.

Wenn durch eine oder mehrere Feuchtemigrationen gelöste Salze mittransportiert werden, sind Salzschäden vorprogrammiert. Die bauschädlichen Salze sind leicht (wasser)lösliche, ionische, meist anorganische Verbindungen, die in gelöster oder kristalliner Form in den porösen Baustoffen

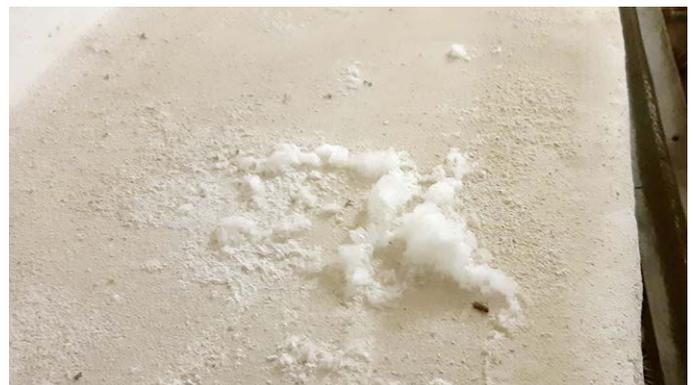
vorliegen (Bild 5). Klimaabhängige Wechsel im Aggregatzustand oder Volumenveränderung durch Einlagerung/Abgabe von Hydratwasser führen zu mechanischen Belastungen im Materialgefüge und damit häufig zu Schäden (Bild 6). Als typische Schadensformen sind dabei Ausblühungen und Krustenbildungen, das Absanden, die Schalenbildung und Alveolarbildungen zu nennen. Dabei können Salze an der Oberfläche eigentlich nur in den selteneren Fällen gefunden werden.

Ein Schadpotenzial der bauschädlichen Salze liegt insbesondere in der Kristallisation der gelösten Salze begründet, die am Trocknungshorizont abläuft. Wenn dabei auf der Oberfläche kristallisierte Ausblühungen (Effloreszenzen) zu beobachten sind, ist das Schadpotenzial sicher geringer, als wenn die Kristallisation unter der Oberfläche stattfindet (Subfloreszenz) und von dort dieselbe abdrückt. Aber auch bei reinen Ausblühungen wird eine schädigende Wechselwirkung durch Beeinflussung der in der Salzlösung verbleibenden Salzkonzentration diskutiert.

Die Zusammensetzung einer oberflächlichen Ausblüfung – es kann sich um ein reines Salz, ein Salzgemisch oder Doppelsalz handeln – sagt zunächst nichts über die Zusammensetzung des Salzgemisches unter der Ober-



(1) Salzausblüfung im Umfeld neuer Verfügungen



(2) Weiße Ausblühungserscheinungen bauschädlicher Salze



(3) Krustige Salzauflagen auf Naturstein



(4) Verschwärzte, wahrscheinlich gipshaltige, krustige Auflagen auf Sandstein

fläche aus. Unter Umständen können dort andere Salze auskristallisieren als auf der Oberfläche. Ein weiterer großer Faktor bei der Betrachtung des Schadpotenzials sind De-/Hydratationsprozesse von Hydratsalzen bei Feuchteschwankungen. Einige Schadenssalze erfahren eine große Volumenänderung bei Übergängen in verschiedene Hydratstufen (z. B. Magnesiumsulfat, Natriumsulfat u. a.). Bei hygroskopischen Salzen erfolgt Schadensdynamik durch Veränderung der Umgebungsluftfeuchte, wenn sich dadurch Lösungs- und Kristallisationsprozesse zyklisch abwechseln.

Vorgehen

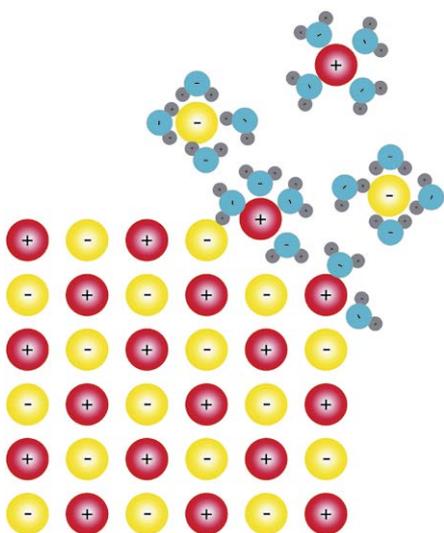
Bei Verdacht auf salzschädigende Prozesse an Natursteinen und zur Vorbereitung von

Gegenmaßnahmen empfiehlt sich zunächst die Berücksichtigung des vor Kurzem überarbeiteten *WTA-Merkblatts E 3-13-19/D Salzreduzierung an porösen mineralischen Baustoffen mittels Kompressen* [1].

Ein hinzugezogener Experte wird zunächst eine Probennahme durchführen. Bei der Probennahme zur Untersuchung der Salzbelastung ist eine sorgfältige Planung vonnöten. Die einfachste Methode, die Entnahme von Salzausblühungen, liefert zwar einen ersten Hinweis auf das Schadensalz, aber es darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass diese Ausblühungen nicht der Regelzustand der Mauerwerksoberfläche sind, sondern bei den gegenwärtigen Beprobungsbedingungen auftreten – beispielsweise bei sehr trockenen

Wetterbedingungen. Bereits einige Tage später können gänzlich veränderte Umfeldbedingungen die Ausblühungen wieder völlig verschwinden lassen. Auch das Aussehen der Ausblühungen ist abhängig von diesen Bedingungen und nicht von der Chemie der Salze, die zwingend zu bestimmen ist. Ausblühungen geben jedoch wichtige Hinweise auf mögliche Salzquellen, z. B. mit aufsteigender Feuchte aus nitratbelastetem Erdreich oder angrenzende zementhaltige Ausbesserungen einer früheren Sanierungsmaßnahme.

Etwas aufwendiger, aber auch informativer ist die Bestimmung der konkreten Salzbelastung der Materialien. Dabei ist es zumeist sinnvoll, Salzprofile in unterschiedlichen Höhen und Tiefen eines Naturstein-



(5) Auflösung und Transport von Ionenbestandteilen eines Salzkristalls



(6) Salzinduzierter Verwitterungsschaden, der die Sedimentationsschichten des Sandsteins nachzeichnet

mauerwerks zu entnehmen. Bei den Bestimmungen der Salze aus den Eluaten des entnommenen Bohrmehls werden Kationen und Anionen ermittelt. Eine Ionenbilanz lässt dann gesicherte Aussagen über die Salzmenngen der Belastung zu.

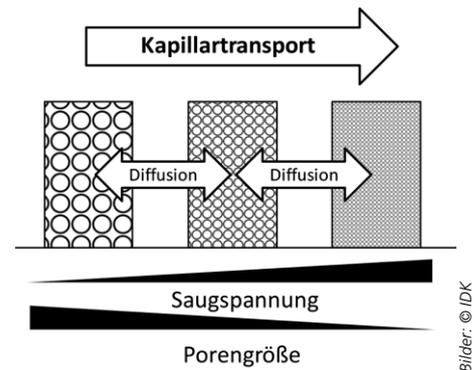
Die Art und Anzahl der Proben bzw. Probenstellen richtet sich nach der Fragestellung und dem daraus resultierenden Untersuchungskonzept. Die Probenmenge ist abhängig vom angewandten Messverfahren. Es ist sehr zu empfehlen, eine gründliche Begehung des Objekts in seinem Umfeld vorzunehmen, um sich mit den feuchtetechnischen Gegebenheiten vertraut zu machen. Auch das Hinterfragen von Havarien und vergangenen Restaurierungsmaßnahmen zählt dazu. Häufig kann durch solche Zusatzinformationen der Untersuchungsaufwand vermindert werden. Grundsätzlich gilt wie so häufig die Regel: So viel wie nötig und so wenig wie möglich! Auf keinen Fall darf aber eine gründliche Dokumentation der Probenahme fehlen, die neben der Beschreibung der Probenstellen auch die Fragestellungen, die Zielsetzung der analytischen Untersuchung und Nahfeldbeobachtungen enthalten muss.

Messung und Interpretation

Zur Bestimmung der Salze stehen verschiedene chemische Nachweisverfahren

zur Verfügung, die eine Kationen-Anionen-Bilanz ermöglichen. Eine reine Anionenbestimmung reicht für eine gesicherte Schadensanalyse nicht aus. Wie auch immer die Messdaten ermittelt wurden, sie gehören fachgerecht interpretiert. Umgekehrt werden für eine stichhaltige Interpretation gute Messdaten benötigt. Eine reine Aufstellung von Messdaten in Tabellenform, ohne die Umfeldbedingungen zu benennen und in die Interpretation einzubeziehen, ist ebenso wertlos wie eine ausschweifende Interpretation, die nur auf Mutmaßungen beruht.

Für die Abschätzung des Beitrags der Salze an einer beobachteten Schädigung werden verschiedene Informationen benötigt. Zum einen ist das die Art der vorhandenen Salze, und zwar, ob es sich um leicht lösliche, hygroskopische und/oder Hydratsalze handelt. Das ist nur durch eine fundierte Ionenbilanz oder Mikroanalyse möglich. Des Weiteren sind die Konzentrationen der gefundenen Salze wichtig, wobei allerdings auch hier das Wissen um die Salzart einfließen muss. Beispielsweise sind 0,5 M.-% Nitrat als hohe Belastung zu interpretieren, hingegen dieselbe Konzentration von 0,5 M.-% Gips in bestimmten Umfeldern als wenig eingestuft werden kann. Insbesondere bei Nitratsalzen spielt häufig der Gradient der Salzbelastung eine wichtige Rolle. Ein als sehr gering ermittelter Nitratgehalt an einem mehrere Zentimeter umfassenden Bohrsegment



(7) Die Richtung des kapillaren Wassertransports geht ausschließlich von größeren in kleinere Poren, ein wichtiger Effekt zum Verständnis der Konzeption von Kompressen zur Salzreduzierung.

kann darüber hinwegtäuschen, dass fast das gesamte Nitratsalz in den wenigen oberen Millimetern sitzt und dort ein beträchtliches Schadpotenzial entwickelt. Wie bereits erwähnt, spielt dabei die Ionenbilanz eine wichtige Rolle. Nur damit können Salzmischungen ermittelt werden, die im Zusammenspiel bei Kristallisations- und Hydratationsprozessen teilweise überraschende Effekte zeigen.

Nicht zuletzt gehört zur Interpretation der Untersuchungsergebnisse auch die Identifikation der Salzquellen (Salztransport aus dem Boden bzw. aus der Umwelt, Materialunverträglichkeiten u. a.). Dabei helfen häufig auch Informationen zur Art und Nutzung des Objekts. Wie ist das Ob-



(8) Kompressenauflage auf Natursteinmauer



(9) Kompressenauflage auf Gesimsstück mit Probenahmestelle für Kompressenuntersuchung

jekt konstruiert? Wie wird es genutzt? Sakralbauten z. B. zeichnen sich häufig durch eine fehlende oder geringe Heizung aus. Hier können Kondensationsereignisse insbesondere in Jahres-Übergangszeiten in Betracht gezogen werden. Bei Nutzbauten haben möglicherweise Um- oder Neunutzungen (z. B. als Wohngebäude) stattgefunden. Hier ist mit der Störung von Gleichgewichtszuständen zu rechnen, die meist zu starken Mobilisierungen und in der Folge zu Kristallisationen von Salzen führen können. Historische Wandmalereien sind anders zu betrachten als Wandoberflächen von Zweckbauten. Hier spielt weniger der Behaglichkeitsgedanke z. B. bei einer Klimatisierung eine Rolle, sondern eher die Gefahr des Verlusts wertvollen Kunstguts. Ähnliches gilt für Skulpturen oder Zierelemente. Daher gehört die Bewertung der Ergebnisse der nachgewiesenen Salzkonzentrationen zu den schwierigsten Aufgaben des Untersuchenden.

Die wichtigste Aufgabe der Interpretation der Ergebnisse ist die Diskussion zu möglichen Konsequenzen bezüglich erforderlicher Maßnahmen. An erster Stelle steht die Beseitigung der Schadquellen, wobei hier Salz- und Feuchtequellen zu betrachten sind. Danach müssen die Möglichkeiten der Salzreduzierung ausgelotet werden. Für transportable Objekte wie Skulpturen aus Naturstein kann als eine der effektivsten Möglichkeiten eine Salzreduzierung im Wasserbad durchgeführt werden. An Mauerwerk und eingebauten Architekturteilen bleiben nur die Vor-Ort-Maßnahmen der Anwendung von Salzreduzierungskompressen. Dabei werden Gemenge aus Komponenten mit unterschiedlichen Funktionen mit entmineralisiertem Wasser angeteigt und auf die Oberfläche aufgetragen. Das Wasser dringt in den porösen Baustoff ein, löst dort die Salze und transportiert diese im Zuge der Abtrocknung mit in die aufliegende Komresse. Diese wird nach der vollständigen Abtrocknung zusammen mit den Salzen entfernt.

So simpel das klingt, der Teufel steckt mal wieder im Detail: Beispielsweise muss die Komresse kleinere Porengrößen als das Substrat aufweisen, um einen kontinuierlichen kapillaren Feuchtetransport aus dem

Substrat in die Kompressen zu ermöglichen (Bild 7). Durch den gerichteten Feuchtetransport in die Komresse nimmt als Erstes der Wassergehalt im Substrat ab, da zuerst die größeren Poren geleert werden. Es verbleiben Salze in den Porenräumen im Substrat, die kleinere Porenradien aufweisen als die Poren in der aufgelegten Komresse. Die Komresse muss insgesamt einen größeren Bereich in der Porenradienverteilung aufweisen, um sowohl die ausreichende Befeuchtung des Substrats zur Lösung der Salze als auch die Advektion, das heißt den Kapillarstrom zurück in die Komresse zu gewährleisten. Daher muss die Komresse in der Zusammensetzung des Gemenges entsprechend für das Steinmaterial angepasst werden.

Die feuchten Kompressen werden manuell oder maschinell flächig aufgetragen (Bild 8). Gezielte Probeentnahmen und Untersuchungen der Kompressen (Bild 9) und der darin aufgenommenen Salzgehalte zeigen die Effektivität der Salzreduzierung und ermöglichen, die Anzahl der notwendig durchzuführenden Maßnahmenzyklen klar zu bestimmen. ■

Info

Das IDK feiert 2021 sein 25-jähriges Bestehen. Das Aufgabenspektrum umfasst die Koordinierung von Forschungsarbeiten und die Durchführung eigener Untersuchungen zu naturwissenschaftlichen, ingenieurtechnischen und restauratorischen Fragestellungen im Zusammenhang mit der Instandsetzung geschädigter Denkmale.

Literatur

[1] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V.: WTA-Merkblatt E 3-13-19/D Salzreduzierung an porösen mineralischen Baustoffen mittels Kompressen

DIN EN 16455:2014-12 Erhaltung des kulturellen Erbes – Auflösung und Bestimmung von löslichen Salzen in Naturstein und artverwandten Materialien des kulturellen Erbes

Zur Person

Dr. Dipl.-Geol. Christoph Franzen

studierte in Heidelberg und promovierte an der Leopold-Franzens Universität Innsbruck bei Prof. Dr. P.-W. Mirwald. Seit 2004 am IDK, ist er zuständig für die Untersuchung und Bewertung mineralischer Baustoffe (v. a. Naturstein und Mörtel). Er arbeitete mit in mehreren EU-Forschungsprojekten zum Kulturguterhalt, ist Mitglied in internationalen Ausschüssen der Conservation Sciences und aktiv bei der WTA; zudem koordiniert/e und erarbeitet/e er eine Vielzahl von Forschungsprojekten zusammen mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Christoph Franzen ist Autor zahlreicher Fachbeiträge und Gutachter für mehrere Journals.

Kontakt

Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e. V., Schloßplatz 1, 01067 Dresden

Internet: www.idk-denkmal.de
E-Mail: franzen@idk-denkmal.de