Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 101 (1983)

Heft: 36

Artikel: Verwitterungsschäden durch Ameisensäure: eine Fallstudie am Erlacherhof in Bern

Autor: Arnold, Andreas / Zehnder, Konrad

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75188

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Verwitterungsschäden durch Ameisensäure

Eine Fallstudie am Erlacherhof in Bern

Von Andreas Arnold und Konrad Zehnder, Zürich

Am Laubentrakt des Erlacherhofs (18. Jh.) in Bern ereigneten sich ungewöhnliche, an Salzausblühungen gebundene, rasch fortschreitende Schäden am Berner Sandstein. Der Laubentrakt, ein beidseitig durchbrochener Laubengang, trägt eine offene Estrade mit Dockenbalustrade. Er verbindet zwei Seitenflügel des Erlacherhofs und trennt den Hof von der Strasse. Der ganze Laubentrakt wurde 1976/77 abgerissen und vollständig rekonstruiert. In die aus Bernersandstein von Krauchtal errichtete Konstruktion wurde eine Deckenplatte aus Beton eingezogen.

Bald nach der Fertigstellung begannen sich die Schäden an den Sandsteinen zu entwickeln, die rasche Fortschritte machten. Ein darauf erstelltes Gutachten kam zum Schluss, dass der verwendete Sandstein nur sehr schwach verkittet sei, viel «Bikarbonat» enthalte und so der Belastung durch den sauren Regen nicht mehr gewachsen sei. Das Bindemittel des Sandsteins sei bis 12,5 mm tief abgebaut worden, wobei Gips angereichert und etwas Natrium- und Kalziumkarbonat sowie Chlorid und Nitrat in Spuren gebildet worden seien. Die Ursache der Schäden läge also in der schlechten Steinqualität und in der aussergewöhnlichen Luftverschmutzung.

Diese etwas gemeinplätzigen und praktisch nicht sehr überzeugenden Erklärungen veranlassten die Besitzerin, ein zusätzliches, neutrales Gutachten erstellen zu lassen. Diese Fallstudie, die am Technologischen Labor des Instituts für Denkmalpflege der ETH in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern durchgeführt wurde, förderte erstaunliche Zusammenhänge zutage. Sie werden hier vorgestellt und in ihren Konsequenzen für die Praxis der Fassaden-, Stein- und Verputzrestaurierung und Konservierung diskutiert.

Bild 1. Teilansicht des Laubentraktes Erlacherhof: Eingangstor mit Blick gegen Hof. An den Bogenansätzen und darüber sind Salzausblühungen und -krusten als weisse Schleier erkennbar

Schadenanalyse am Objekt

Eine angemessen detaillierte Schadenaufnahme am Objekt (Bild 1) ist unabdingbare Voraussetzung jeder Ermittlung von Schadenursachen. Sie ergab hier folgenden Sachverhalt:

Mit *Algen* und *Moos* bewachsen sind die beregneten Teile der die Laube bekrönenden Balustrade und die vorspringenden Gesimse. Die Unterseite der Abdeckplatte der Brüstung zeigt weisse, aus Organismen bestehende Flecken (Bild 2). Ausser einer unbedeutenden kleinen Schale sind hier keine nennenswerten Schäden vorhanden. Der recht intensive Bewuchs aber deutet auf das ausgesprochen *feuchte Mikroklima* am Laubentrakt hin. In der Laube sind kleine Flecken aus Algen nur an Stellen zu beobachten, wo durchgesickertes Wasser wieder austritt. Weisse *Krusten* und *Ausblühungen* bedecken grössere Flächen an den Aussen- und Innenseiten der Arkaden, besonders an den Unterschichten der Bögen (Bilder 3 und 4). Hier sandet der Sandstein mässig bis stark ab, was die wichtigste Zerfallsform am Laubentrakt ist. Die Ausblühungen, darauf werden wir zurückkommen, bestehen hauptsächlich aus Magnesiumformiat mit etwas Gips und Kalziumformiat. Eher punktuell erscheinend, findet man daneben auch Magnesium- und Natriumsulfat. In der Nähe vom Beton sind noch einige Kalksinterkrusten entwickelt.

Innerhalb der mit Ausblühungen belegten Flächen sandet der Sandstein dort besonders intensiv ab, wo Wasser durchsickert. Hier zerfällt er in einzelne Sandkörner und lockere Aggregate und ist so bis mehrere Millimeter tief zurückgewittert (Bild 5). Die Ausblühungen und Schäden sind an Bereiche gebunden, wo gesammeltes Regenwasser an der Steinoberfläche abrinnt und ihn oberflächlich durchnässt, oder wo das Wasser durch die Steine hindurchsickert und an der geschützten Fläche wieder an die Oberfläche kommt. An Bereichen mit oberflächlich abrinnendem Wasser befinden sich dunkle Striemen zwischen Flächen mit weisslichen Ausblühungen. Die dunklen Striemen werden bei Regen feucht bis nass und tragen nach dem Trocknen keine Salzausblühungen. Seitlich davon aber blühen die Salze in zonaren Abfolgen aus, und zwar wie folgt (vgl. Bilder 3 und 4):

- Unmittelbar am Rande der benetzten Stellen bilden sich *Gipsausblühungen* in einem 10–15 cm breiten Streifen.

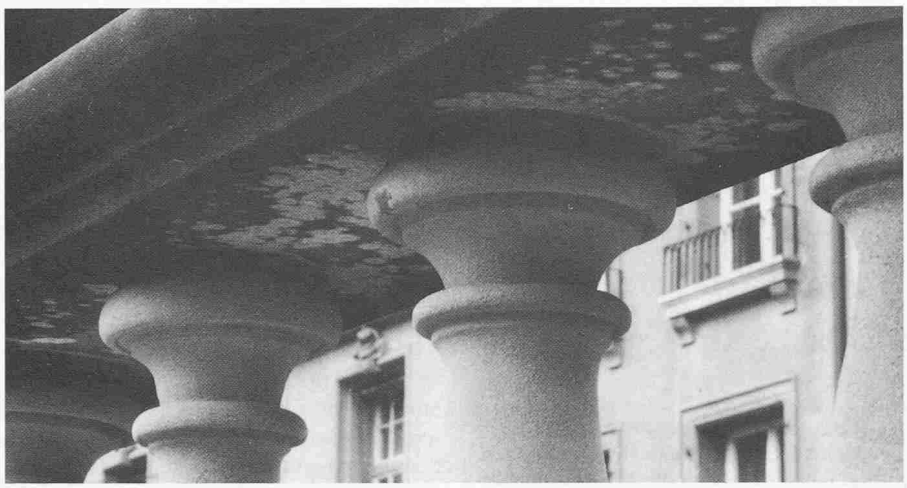


Bild 2. Detail der Untersicht Deckplatte Balustrade. Die weissen Ringe sind Algen und Pilze

Bild 3. Detail eines Bogenansatzes mit Salzkrusten und -ausblühungen. Die rechte Pfeilerkante wird vom Regen und oberflächlich abfliessendem Sickerwasser benetzt. Links davon zonare Anreicherung von Gipsausblühungen (heller Striemen Mitte Bogenlaibung) und Magnesiumformiat-Krusten (entlang linker Kante), wo der Stein intensiv absandet

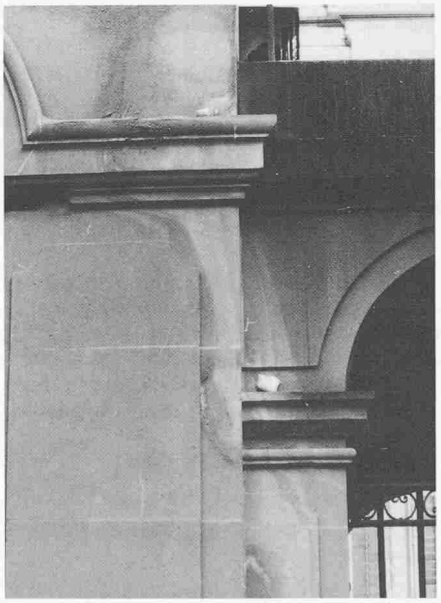


Bild 4. Pfeilerausschnitt mit beregneter und sikkerwasserbenetzter Zone rechts (dunkel). Links angrenzend heller Saum mit vorwiegend Magnesiumformiat-Krusten und -Ausblühungen, an dessen linkem Rand der Sandstein durch Absanden stark beschädigt ist

- Darauf folgt nach aussen im Abstand von 10–15 cm eine mehrere Zentimeter bis über 10 cm breite Zone mit *Magnesiumformiatkrusten,* die fast immer mit Gips vermischt sind und zum Teil auch *Kalziumformiat* enthalten. In dieser Zone sandet der Sandstein sehr stark ab.
- Weiter aussen dünnen die Krusten aus und gehen über in Formiatausblühungen, die analog zu den Gipsausblühungen weisse Schleier bilden.

Diese zonare Abfolge entsteht dadurch, dass die Salze je nach ihrer Löslichkeit vom zentralen nassen Streifen weg verschieden weit nach aussen transportiert werden. Wo das Wasser durch die Konstruktion und die Steine hindurchsikkert und wieder austritt, sind die Krusten aus Formiatsalzen flächenhaft und nicht zonar angeordnet. – Die starken Schäden sind also eindeutig auf die Zonen mit Ausblühungen und Krusten beschränkt, die ihrerseits an oberflächlich gesammeltes, abfliessendes oder durchsickerndes Wasser gebunden sind.

Tabelle 1. Am Laubentrakt des Erlacherhofes identifizierte Salze

Salze		*Löslichkeit* (g Salz/100g Wasser)
Kalziumsulfat (Gips)	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,204 (20 °C)
Natriumsulfat (Mirabilit)	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	19,08 (20 °C)
Magnesiumsulfat (Epsomit)	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	35,6 (20 °C)
Magnesiumformiat	$Mg(HCO_2)_2 \cdot 2H_2O$	14 (0 °C), 24 (100 °C)
Kalziumformiat	$Ca(HCO_2)_2$	16,2 (0 °C), 18,4 (100 °C)
Kalziumkarbonat (Kalzit)	$CaCO_3$	0,0015 (18 °C)

Bestimmung der Salze

Aufgrund der Beobachtungen bei der Schadenaufnahme wurden 54 Proben für die Bestimmung der Salze entnommen. Mit einfachen mikroskopischen und mikrochemischen Analysen, ergänzt durch Röntgendiffraktometrie, wurden die in Tabelle 1 zusammengestellten Salze identifiziert. Ungewöhnlich und völlig unerwartet war, dass Formiate, also Salze der Ameisensäure, als Hauptsalze vorlagen. Ihre Bestimmung erfolgte sicher und zweifelsfrei. Die Anwesenheit von Formiat wurde auch durch die chemischen Analysen des AFUL (Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle) der Stadt Bern bestätigt.

Verteilung der Salze im Innern

Die Beantwortung der Frage, wo sich die Salze eventuell unter der Steinoberfläche befinden, ist sehr wichtig. Deshalb wurde an einer der stark betroffenen Stellen ein *Bohrkern* entnommen. Daran wurde vom AFUL in Bern Analysen an Wasserauszügen der *Kernproben* aus verschiedenen Tiefen gemacht. Aus praktischen Gründen konnte nur ein Kernprofil untersucht werden. Die Analysen ergaben im wesentlichen folgendes:

- An der Steinoberfläche sind hohe Konzentrationen von Formiat und Sulfat sowie von Kalzium und Magnesium bestätigt.
- Diese Ionen sind an der Oberfläche stark angereichert, ihre Menge nimmt aber nach innen rasch ab. Ab etwa 3 cm Tiefe ist nur noch der normale, im Steininnern vorhandene Gehalt nachweisbar.

Die Analysen zeigen also klar, dass die Salze praktisch nur in einer oberflächennahen Zone angereichert sind, die höchstens einige Zentimeter tief reicht.

Die Sandsteine und ihre Schäden am Bau und im Steinbruch

Der am Laubentrakt verwendete Sandstein ist ein grünlichgrauer *Bernersandstein* (Burdigalien) aus dem *Steinbruch Krauchtal.* Der Sandstein besteht hauptsächlich aus *Quarz, Feldspäten*

und den *Karbonatmineralien Kalzit* und *Dolomit*, etwas *Muskovit*, weitgehend *chlorisiertem Biotit* und *Glaukonit*. Die Körner sind eckig und etwas sperrig gefügt; die Hauptkorngrösse liegt um 0,1–0,3 mm. Das Bindemittel ist Kalzit, wobei die Kornbindung unvollständig und brückenhaft ist. Der Sandstein ist wenig verdichtet, er hat eine geringe Kompaktion.

Der am Laubentrakt verwendete Typ enthält mm- bis cm-grosse *Mergelschmitzen*, die auch als *Tonlebern* bezeichnet werden. Sie treten einzeln oder in Schwärmen auf. Wie aus Bild 6 ersichtlich ist, witterten sie in sechs Jahren an beregneten Stellen bis einige Millimeter zurück. An feuchten aber geschützten Stellen können sie auch etwas gequollen sein. Da der Sandstein in ihrer Umgebung nicht stärker verwittert, können sie nicht als direkte Zerfallsursache gelten. Die Mergelschmitzen bestehen aus einem sehr feinkörnigen Gefüge (mittlere Korngrösse um 30–50 µm) aus Quarz, Feldspäten, Kalzit, Dolomit und Tonmineralien. Für die Verwitterung relevant sind die darin eingebetteten, 5–20 µm grossen Kügelchen und Kugelhaufen aus *rotbraunen Eisenhydroxidmineralien*. Ihrer Form entsprechend sind es umgewandelte Pyritkügelchen; d.h. das Eisenhydroxid ist aus Eisensulfid entstanden, wobei der Sulfidschwefel zu Sulfat aufoxidiert wurde. Beim Austrocknen einer wassergesättigten Sandsteinprobe blüht auf den Mergelschmitzen *Gips* aus, was ein kräftiges Indiz für diese Umwandlung ist. Im Aufsaugversuch,

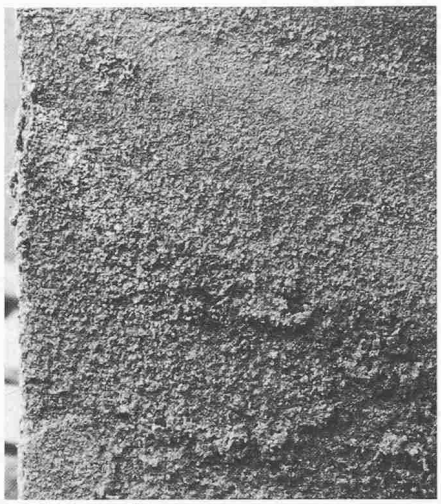


Bild 5. Stark absandende Partie (Bildbreite 10 cm). Der Sandstein zerfällt oberflächlich in Einzelkörner und stark gelockerte Kornaggregate

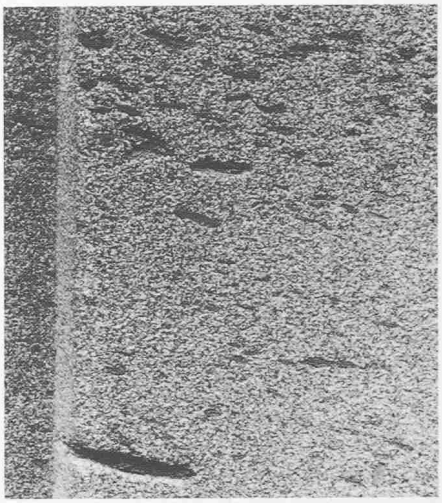


Bild 6. Detail eines Quaders mit horizontal eingelagerten, z. T. in Schwärmen angeordneten Mergelschmitzen («Tonlebern»). Bildbreite: 10 cm

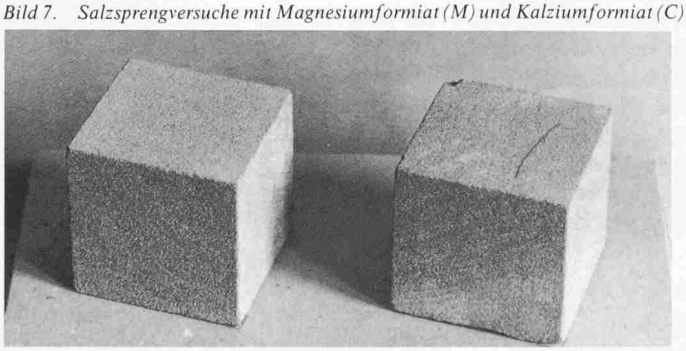
bei dem man eine Steinprobe in ein Wasserfussbad stellt und so das Wasser kapillar hochsteigen lässt, lagerte sich an einer frischen Sandsteinprobe zuoberst eine Kruste aus Magnesiumsulfat und Gips ab. Das sind eindeutige Nachweise für die Anwesenheit von Salzen im frischen Sandstein aus dem Bruch. Die Analyse von zwei Wasserauszügen aus bruchfrischen Proben bestätigten dies.

Verwitterung durch Formiatsalze im Experiment

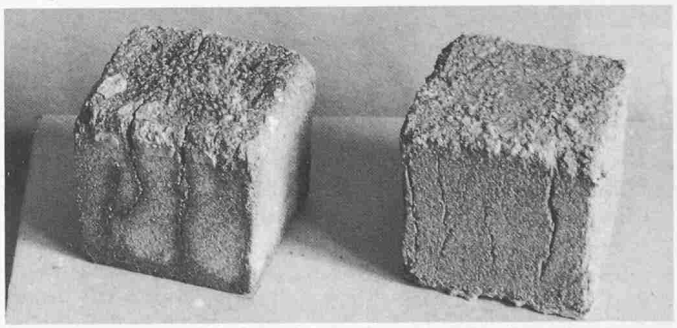
Die Entstehung und Wirkung der nachgewiesenen Formiatsalze kann durch sehr einfache Laborexperimente reproduziert werden. Eine Sandsteinprobe aus dem Steinbruch Krauchtal wurde in ein Fussbad aus verdünnter Ameisensäure gestellt. Auf dem Stein lagerten sich bald Krusten ab, die tatsächlich aus Kalzium- und Magnesiumformiat bestanden.

Für die klassischen *Salzsprengversuche* wurden Probewürfel von Bernersandstein mit 4 cm Kantenlänge im Aufsaug- und Tränkversuch der Sprengwirkung durch Salz-Kristallisation ausgesetzt (Bild 7). Im *Tränkversuch* wurden zwei Würfel des Sandsteins während 24 Stunden in je eine gesättigte Lösung von Magnesium- bzw. Kalziumformiat getaucht und dann anschliessend wäh-

Bild 7. Salzsprengversuche mit Magnesiumformiat (M) und Kalziumformiat (C) an Würfeln aus Berner Sandstein (Kantenlänge 4 cm)

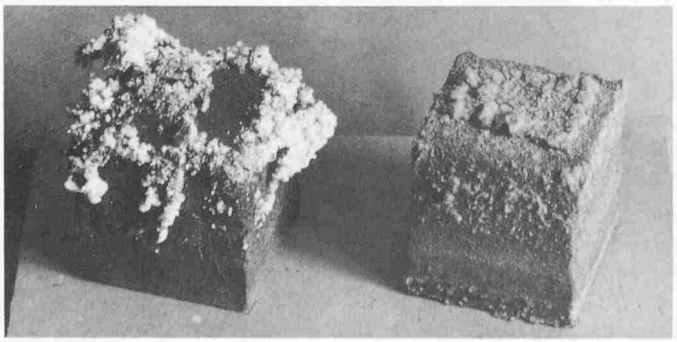


a: Zwei der frischen Würfel

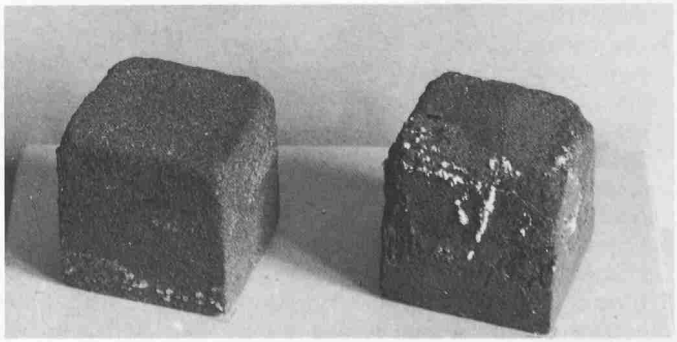


b: Tränkversuch. Würfel links nach 3 Tränkungen in M, rechts nach sechs Tränkungen in C, mit deutlichen Rissen

c: Aufsaugversuch, nach 18 Tagen, mit Salzkrusten. Links M, rechts C



d: Aufsaugversuch, nach Abwaschen der Krusten. Es sind Schäden durch Abbröckeln der Kanten und Absanden der Flächen sichtbar. Links C, rechts M



rend 24 Stunden bei 100 °C getrocknet. Das Ganze ist ein Salzsprengzyklus, der wiederholt wird, um die Art und Intensität des Zerfalls zu beobachten. Nach drei Zyklen war der mit Magnesiumformiat traktierte Würfel durchgehend zerrissen und damit zerstört (Bild 7b links). Beim anderen mit Kalziumformiat behandelten Würfel entstanden beim vierten Zyklus feine Risse, die sich beim fünften und sechsten stark weiteten (Bild 7b rechts). Im *Aufsaugversuch* wurden zwei Würfel 0,5 cm tief in je eine gesättigte Kalzium- und Magnesiumformiatlösung gestellt. Nach drei Tagen sandete der Stein, ganz wie am Laubentrakt, unter den sich bildenden Ausblühungen und Krusten ab. Nach 18 Tagen wurde der Versuch abgebrochen, als die Kanten bis 5 mm und die Flächen einige Zehntelmillimeter abgebaut waren. Die Wirkungen zeigen die Bilder 7c und d klar. Mit Magnesiumformiat wurde eine stärkere Wirkung erzielt als mit Kalziumformiat.

Die mögliche Entstehung der Formiatsalze aus Ameisensäure und die sprengende Wirkung von kristallisierenden Magnesium- und Kalziumformiatsalzen auf den Sandstein ist damit reproduziert und bewiesen. Nach den Erfahrungen mit allen anderen leichtlöslichen Salzen lässt sich diese am Sandstein festgestellte Wirkung verallgemeinern und auf alle porösen, wasseraufnehmenden Baustoffe wie z. B. Mörtel und Wandmalereien übertragen.

Schadenursachen und ihre Bewertung

Die Untersuchungen ergeben gesamthaft folgenden *Sachverhalt:*

1. Die Schäden sind gebunden an Ausblühungen und Krusten, die ihrerseits dort anzutreffen sind, wo gesammeltes Regenwasser auf dem Stein abfliesst oder durch ihn hindurchsikkert.
2. Die Schäden sind dort stark, wo die Formiatsalze vorherrschen und dort schwach, wo nur Gips (mit etwas Magnesiumsulfat und Natriumsulfat) ausblüht.
3. Die beobachteten Schäden am Sandstein des Laubentrakts können mit den gleichen Formiatsalzen in analoger Form experimentell reproduziert werden (ebenso die mögliche Bildung dieser Formiatsalze aus Ameisensäure im Sandstein).
4. Formiate wurden nur am Bau, nicht aber im Steinbruch nachgewiesen.
5. Eine chemische Auflösung der Karbonate durch sauren Regen kann hier nicht beobachtet werden, obwohl eine solche gut beobachtbar wäre.

Damit kann der *Schadenablauf* wie folgt beschrieben werden: In die Steine oder den Bautrakt wurde irgendwann Formiat gebracht. Die Undichtigkeiten auf der Terrasse (Plattform) und der gut wasserdurchlässige Sandstein lassen die Niederschlagswässer eindringen und absickern. Diese Wässer mobilisieren die Salzionen und transportieren sie in Fliessrichtung zur Austrittsstelle, wo das Wasser verdunstet. Dort werden die Salze an und knapp unter der Oberfläche konzentriert, kristallisieren und sprengen dabei das Gefüge des Sandsteins. Die Formiatsalze bewirken hier einen starken, Gips einen um Grössenordnungen schwächeren Zerfall.

Wenn wir die praktische Bedeutung dieses Sachverhalts beurteilen wollen, müssen wir ihn in Beziehung setzen zu den üblicherweise (auch im früheren Gutachten) angeführten Faktoren und Einwirkungen, nämlich zur

- «Steinqualität» und zur
- Umweltverschmutzung in Form von saurem Regen und SO_2-Immissionen.

Zur Steinqualität: Es gibt keinen stichhaltigen Grund anzunehmen, dass der hier verbaute Stein von Krauchtal vom Gefüge her schlechter sei als viele andere, die, mit gleichen Tonlebern durchsetzt, seit Jahrhunderten in Bern verbaut wurden und sich auch gut gehalten haben. Die Tonlebern sind die eigentliche Schadenursache. Eine zusätzliche Schwäche könnte darin bestehen, dass der Sandstein vom Naturvorkommen her zuviel Salze mitbringt. Hierfür können wir die aus Beobachtungen und Analysen bestimmten Sulfat-Mengen vergleichen mit solchen aus anderen Sandsteinen. Eine Berechnung aus solchen Mengenangaben ergibt für eine 10 cm dicke Steinplatte je Quadratmeter folgende Werte:

Wenn etwa ein Prozent Pyrit in den Tonlebern vorhanden ist	etwa 20 g
Aus den chemischen Analysen einer Probe von Krauchtal	etwa 50 g
Aus Analysen ostschweizerischer Sandsteine	etwa 60 g

Der Vergleich zeigt auf den ersten Blick, dass der Sulfatgehalt hier nicht wesentlich grösser ist als in den als witterungsbeständiger erachteten Sandsteinen der Ostschweiz (Granitische Sandsteine, Plattensandsteine).

Die *Immissionen von Schwefel* bzw. Sulfaten aus *Abgasen* und *saurem Regen* bringen pro Jahr einen Anfall von etwa 3–10 g Sulfat je Quadratmeter. Wir stellen im Vergleich zu oben fest, dass eine 10 cm dicke Sandsteinschicht von Natur aus das Mehrfache dessen enthält, was jährlich aus den Immissionen anfällt. Es ist deshalb im Fall Laubentrakt, wo das Wasser durchsickert, klar, dass die vorhandenen Sulfate ohne weiteres aus dem Stein bezogen werden können und dass die Immissionen in dieser kurzen Wirkungszeit keinesfalls die Hauptursache des Zerfalls sein können. Dies um so mehr, als praktisch keine chemische Auflösung beobachtet werden kann, die überall dort auftritt, wo saurer Regen auf kalkhaltigen Stein fällt. Damit sollen, das sei klar betont, nicht etwa die Immissionen verharmlost werden. Im Gegenteil, da sich diese kumulierend auswirken, werden sie auf längere Sicht an jedem neuen Bauwerk zu den Hauptursachen der Verwitterung aufrücken. In unserem konkreten Fall – und nicht nur hier – sind sie aber vernachlässigbar.

Es ist also weder der Stein zu schwach noch der saure Regen der Hauptschuldige. Die Ursache liegt vielmehr darin, dass sich die Undichtigkeiten und die Formiatsalze zum dramatischen Wirken summieren.

Ursprung der Formiatsalze

Da die Formiatsalze nur am Bau selbst vorhanden sind, wurden sie offensichtlich auch dort eingebracht. Sie kommen in der Natur nicht in solchen Mengen vor. *Die Salze entstanden mit grösster Wahrscheinlichkeit aus Ameisensäure, die zum Reinigen verwendet wurde.* Eine andere auch nur wenig wahrscheinliche Erklärung gibt es hier nicht.

Folgerungen für die Praxis

Die Undichtigkeit, das sei vorweggenommen, stellt ein Problem dar, das auch hier bautechnisch zwar nicht leicht und pflegefrei, aber doch lösbar ist.

Die *Ameisensäure* wird bei der *Betonreinigung*, an *Mörteln, Steinen* und von Restauratoren sogar auf *Wandmalereien* verwendet, um Kalkkrusten zu entfernen. Sie wird als harmlos betrachtet, da sie als flüchtige Säure vollständig verdampft. Dabei wird übersehen, dass sie – wie jede andere Säure auch – mit löslichen Kationen Salze bildet, die – wie es hier der Fall ist – leicht löslich und damit sehr schädlich sein können. Die Salzbildung, die hier dramatische Schäden verursacht hat, mag an anderen Orten harmloser erscheinen, wenn

sie zu weniger auffälligen und langsameren Verwitterungsschäden führt. Sie wird dann, wie dies sogar in unserem spektakulären Fall zuerst getan wurde, pauschal dem sauren Regen in die Schuhe geschoben. Das führt dann elegant am eigentlichen Problem vorbei, was bei wertvollen Kulturgütern wie z. B. Wandmalereien keineswegs harmlos ist. Denn die Folgenschäden bautechnischer, restaurativer und konservierungstechnischer Eingriffe können mit Umweltschutz allein nicht behoben werden.

Auf alle Fälle ist das Fazit dieser Fallstudie eine *sehr ernste Warnung vor der unbedachten Verwendung von Ameisensäure* als harmlosem Reinigungsmittel, das praktisch jeder Wagen von Reinigungsinstituten mitführt und auch von renommierten Restauratoren an Wandmalereien verwendet wird.

Adresse der Verfasser: Dr. *A. Arnold*, Mineraloge, und Dr. *K. Zehnder*, Institut für Denkmalpflege, ETH Zürich, Technologisches Labor, Fabrikstr. 46, 8005 Zürich.

Kiesschlamm als potentieller Rohstoff?

II. Technologisches Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm

Von Rolf Iberg, Zürich, Tjerk Peters, Bern und Thomas Mumenthaler, Zürich

2. Zwischenbericht aus dem Forschungsprojekt «Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmter Kiesvorkommen», das im Rahmen des *Nationalen Forschungsprogramms* «Rohstoff- und Materialprobleme» des *Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung* durchgeführt wird.

Einleitung und Problemstellung

Der erste Zwischenbericht [1] aus dem Forschungsprojekt «Beitrag zur Nutzbarmachung und Bewirtschaftung stark verlehmter Kiesvorkommen» behandelt die Problematik der Kiesgewinnung aus stark verlehmten Kiesvorkommen, die chemisch-mineralogische Zusammensetzung der dabei anfallenden Kiesschlämme sowie die Verwertungsmöglichkeiten von Kiesschlamm im ziegeleitechnischen Prozess. Im vorliegenden zweiten Zwischenbericht soll über das Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm, insbesondere als Bindemittel in hydraulisch gebundenem Mörtel, berichtet werden.

Durch die Idee, aus ton- und kalkhaltigen, *sogenannt wenig wertvollen Rohstoffen*, wie auch Kiesschlämmen, durch eine kurze thermische Behandlung bei rund 900 °C, einen abbindefähigen Baustoff zu erzeugen, wurde Ende der 60er Jahre das sog. «Röstton-Verfahren» entwickelt [2]. Dabei stand die *hydrothermale* Erhärtung von thermisch aktivierten Rohstoffen im Vordergrund. Von *Haller, Kollbrunner* und *Iberg* [3] erschien 1969 eine Arbeit über die Verwertung von mergeligen Molassesandsteinen nach diesem Verfahren. In der Folge wurde der Untersuchungsschwerpunkt immer mehr auf die Verwertung von thermisch aktiviertem Kiesschlamm verlagert, so z.B. als Bindemittel für hydrothermal gehärtete Baustoffe nach dem Kalksandsteinverfahren. Anderseits wurde auch die Verwendung von aktiviertem Kiesschlamm für *Bodenstabilisierungen* geprüft, wobei sich zeigte, dass die thermische Aktivierung einen fühlbaren *hydraulischen Effekt* bewirkt.

Eine weitere Studie in diesem Problemkreis bildet die von *Mumenthaler* [4] im Rahmen des Biga-Projektes Nr. 796 der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführte Arbeit, in der die Eignung von schweizerischen Kiesschlammtypen als hydrothermales Bindemittel untersucht wurde. Eingehend behandelt wurden dabei die *Mineralreaktionen*, die während dem Brennen bei etwa 900 °C (sog. Aktivierung), der Hydratisierung und der hydrothermalen Erhärtung im Autoklav bei 200 °C ablaufen sowie die physikalischen Eigenschaften an erhärteten Probekörpern. Auch bei diesen Untersuchungen wurde erkannt, dass vereinzelte thermisch aktivierte Kiesschlämme eine hydraulische Aktivität besitzen, auf dieses Verhalten konnte aber nicht näher eingegangen werden.

Das hydraulische Verhalten von thermisch aktiviertem Kiesschlamm wurde bis jetzt kaum untersucht und ist deshalb Gegenstand einer weiteren Verwertungsstudie, über deren Ergebnisse nachfolgend berichtet wird. Anhand von Prismen und gemauerten 3-Steinkörpern (Bild 1) wurde eine Vielzahl systematisch formulierter Mörtelmi-

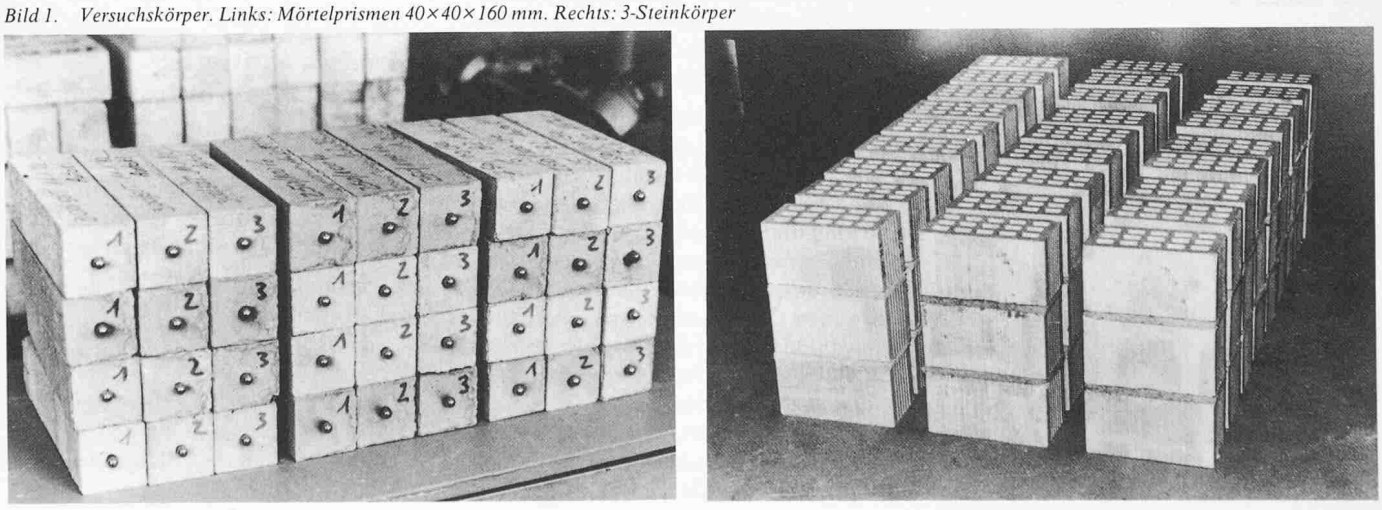



Bild 1. Versuchskörper. Links: Mörtelprismen 40×40×160 mm. Rechts: 3-Steinkörper