

Einsatz von Lehmputz zur Salzreduktion historischer Ziegel- und Natursteinwände – Theoretische Grundlagen, Wirkungsmechanismus und Erfahrungsberichte

Historische Gebäude jeglicher Massivbauart sind in aller Regel durch aufsteigende Feuchte und den darin enthaltenen bauschädlichen Salzen gekennzeichnet. Besondere Vorsicht ist bei ehemaligen Stallgebäuden geboten, die durch die Fäkalien der gehaltenen Tiere mit Nitraten belastet sind. Nitrate sind die kritischste Gruppe der bauschädlichen Salze. Sie sind leichter löslich als andere bauschädliche Salze (Sulfate und Chloride) und können deshalb in höhere Wandbereiche aufsteigen. Bereits bei Luftfeuchteschwankungen ändern sie den Aggregatzustand von fest zu flüssig und umgekehrt. Mit diesem Wechsel gehen Volumenvergrößerungen einher, die das Gefüge des Baustoffs von der Oberfläche aus lockern. Je nach Porengehalt, Festigkeit und Verdunstungsfähigkeit der Materialien sind die Steine und/oder der Mörtel betroffen.

Historische Massivlehmgebäuden weisen häufig organische Zuschläge in den Lehmsteinen, Wellerlehm oder auch Stampflehm auf. Sind derartige Baustoffe über längere Zeit erhöhter Feuchte ausgesetzt, humieren die organischen Bestandteile. Das Bauteil

verliert dann über die gesamte Dicke an Festigkeit und der betroffene Bereich muß ausgetauscht werden. Hingegen können bei rein mineralischen Massivlehmwänden auch nach längerer Durchfeuchtung oder bei Massivlehmwänden mit organischen Bestandteilen bei nur temporärer Durchfeuchtung die Wandkerne in der Regel erhalten, durch Opferputze entsalzt und dann im Querschnitt durch Lehmsteinmauerwerk ergänzt werden.

Häufig besteht der Irrtum, dass Natursteinbauten weniger betroffen sind, weil die Natursteine selbst nicht kapillar leitfähig sind. Jedoch kann über den im Inneren der Wand oft besonders hohen Anteil an Setzmörtel – der in aller Regel eine hohe kapillare Leitfähigkeit aufweist – eine große Menge an Feuchte und bauschädlichen Salzen transportiert werden.

Ohne Umsetzung von nachhaltigen Sanierungsmaßnahmen können bei derartig geschädigten Gebäuden keine dauerhaft gebrauchstauglichen Wandoberflächen hergestellt werden. Sogenannte Sanierputze verzögern lediglich das erneute Auftreten der Merk-



01 Ehemaliger Stall mit deutlichen Hinweisen auf Feuchte- und Salzbelastung am Ziegelmauerwerk



02 Sanierputz nach 10 Jahren Standzeit ohne Einbau einer Horizontalsperre



04 Putz- und Anstrichschäden trotz Einbau einer Horizontalsperre aber ohne Maßnahmen zur Salzreduktion



03a und b "Sanierung" von Souterrainräumen mittels Sperranstrich ohne Einbau einer Horizontalsperre 5 Jahre nach der Maßnahme. Die Verdunstungszone verschiebt sich nach oben und der Anstrich platzt auf.



male von Feuchte- und Salzbelastung. Je nach den spezifischen Objektbedingungen puffert diese Maßnahme Salze in den Porenräumen dieser Produkte kurz- bis mittelfristig ab (3 bis 10 Jahre); langfristig ist in jedem Fall wieder mit einem oberflächlichem Auftreten der Salzbelastung zu rechnen.

Sperranstriche verlagern den Feuchtehorizont und vergrößern so den Schadensumfang.

Eine langfristig wirksame Sanierung von Wandquerschnitten, die durch aufsteigende Feuchte- und Salzbelastung gekennzeichnet sind, kann nur mit einer Kombination folgender Maßnahmen erreicht werden:

1. Einbau einer dauerhaft wirksamen Horizontalsperrschicht ggf. mit zusätzlichen vertikalen Sperrschichten und
2. Salzreduktion der geschädigten Bereiche der Bestandswände bis auf ein unschädliches Maß.

Nach unserer Erfahrung sollten chemische Horizontalsperren nur dann ausgebildet werden, wenn aus geometrischen und konstruktiven Gründen der Einbau einer mechanischen Horizontalsperre ausgeschlossen ist.

Wird die Salzreduktion unterlassen, treten mit hoher Wahrscheinlichkeit trotz Einbau einer Horizontalsperre erneut Salzsäden an den Oberflächen auf.

Kein mineralisches Baumaterial ist völlig salzfrei; nicht direkt nach der Herstellung und erst recht nicht nach vielen Jahren Standzeit und Nutzung. Salzgehalte ab denen für Wandquerschnitte, die als Putzgrund dienen, Untersuchungen und Maßnahmen vorgenommen werden sollten, werden gemäß WTA-Merkblatt 4-5-99/D Mauerwerksdiagnostik wie folgt definiert:

- Chloride $\geq 0,20$ Masse-%,
- Nitrate $\geq 0,10$ Masse-% und
- Sulfate $\geq 0,50$ Masse-%.



05 Einbau einer mechanischen Horizontalsperre im Mauer sägeverfahren als vorbereitende Maßnahme für die Entsalzung

Für nicht verputzte Wände können etwas höhere Werte toleriert werden als für Wände die zu verputzen sind. Jedoch sind diese nicht genau definiert. Es sollte sich deshalb grundsätzlich an den o.g. Grenzsaltgehalten orientiert werden.

Gehalt und Verteilung von bauschädlichen Salzen können mit Erfahrung anhand optischer Merkmale abgeschätzt werden. Eine Analyse mittels Probenahme im Höhen- und Tiefenprofil ist aber in jedem Fall zu empfehlen. Nur so können die zu entsalzenden Flächen eingegrenzt und Umfang und Dauer der notwendigen Maßnahmen zur Salzreduktion abgeschätzt werden. Als Leitfaden für die Analyse kann das WTA-Merkblatt Mauerwerksdiagnostik dienen.

Wirkungsmechanismus

Mittel zur Salzreduktion wirken wie folgt: Durch leichtes Vornässen der Wandoberfläche und durch den Anmachwassergehalt der Salzreduktionsmasse kommt es zum oberflächennahen Aufweichen der

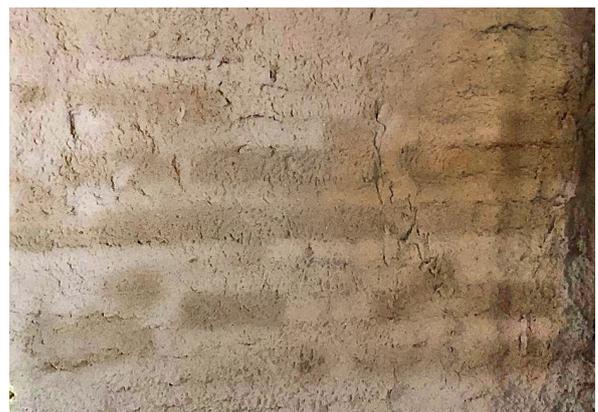
Bestandswand. Dadurch gehen die bauschädlichen Salze in Lösung und sind kapillar transportfähig. Das Feuchtegefälle von der Salzreduktionsmasse (feucht) zum Wandquerschnitt (weniger feucht) sollte nicht zu kurz dauern aber auch nicht zu lange. Bei einer zu kurzen Aufweichung erfolgt keine ausreichende Lösung der Salze. Herrschen beim Auftrag zu gute Trocknungsbedingungen sollte man die Flächen durch Folien oder feuchte Tücher vor zu schnellem Abtrocknen schützen; jedoch nicht länger als einen Tag. Wird hingegen zu viel oder zu lange Feuchte in die Bestandswand eingetragen, erfolgt ein temporärer Transport der Salze in tiefere Bauteilschichten. Dies kann später zu Wiederversalzungen der Oberfläche führen.

Mit dem Abtrocknen des kapillaraktiven porenraumhaltigen Salzreduktionsmaterials werden gelösten Salze in die Opferschicht gezogen. Je nach Salzreduktionsmittel, der Temperatur und der Luftfeuchte ist dieser Transportprozess ca. 7 – 14 Tage aktiv. Je nach Art des Salzreduktionsmaterials können Bereiche mit starkem Salzeintritt in die Opferschicht anhand von

- nicht abtrocknenden feuchten Stellen aufgrund der hygroskopischen (wasserbindenden) Eigenschaften der Salze oder
- weißlichen Belägen auf der Oberfläche identifiziert werden.

Bei den klassischen, meist braunen Lehm-Unterputzen zeichnen sich beide Merkmale aufgrund der relativ dunklen Oberfläche besonders gut ab. An den Stellen, an denen anhand dieser festgestellten Merkmale ein Salzeintritt vorliegt, ist im Putzgrund noch eine erhöhte Salzbelastung vorhanden und der Auftrag der Opferputzschicht zu wiederholen.

06a und b Der Salzeintrag in den Opferputz zeichnet sich durch weißliche Salzablagerungen auf der Oberfläche oder nicht abtrocknenden dunklen Bereichen ab. Je nach Art und Kombination der Materialien im Bestand befinden sich höhere Salzgehalte im Mauer mortel (links) oder den Ziegeln (rechts).



Ein derartiger Entsalzungszyklus ist sooft zu wiederholen, bis der Restsalzgehalt unter den oben angegebenen Grenzsatzgehalten liegt. In gering belasteten Bereichen sind dazu meist ein bis zwei Entsalzungszyklen notwendig. In mittel bis stark belasteten Bereichen ist mit drei bis vier, im Extremfall mit fünf Zyklen zu rechnen. Dies ist auch zeitlich im geplanten Bauablauf zu berücksichtigen. Wenn optisch keines der o.g. Merkmale zutrifft, liegen nach den Erfahrungen der Autoren im Putzgrund geringere Restsalzgehalte als die o.g. Grenzsatzgehalte vor. Teilweise kann anhand dieser Merkmale auf begleitende Analytik verzichtet werden.

Mittel zur Salzreduktion

Zur Salzreduktion von Bestandswänden sind verschiedene Produktgruppen verfügbar. Begriffe und Produkte werden durch das WTA-Merkblatt 2-10-06/D Opferputze (WTA, 2006) definiert.

Für hoch sensible Wandbereiche, z.B. mit historischen Farbfassungen an den Oberflächen, können nur Produkte verwendet werden, die nicht verfärben und die ohne Einsatz von mechanischen Hilfsmitteln wie Hammer und Meißel entfernt werden können. Für diese Einsatzzwecke wird von den Restauratoren Zellulose in Form von Kompressen oder Flocken eingesetzt, die mit Wasser versetzt anmodelliert und durch Abziehen und leichtes Abbürsten wieder entfernt werden können.

Andere marktgängige Produkte bestehen aus einem Gemisch aus Tonmineralen und Zelluloseflocken.

Aber auch kalk-zementgebundene Mischungen sind am Markt, denen Porosierungsmittel oder porenhaltige Leichtzuschläge beigemischt wurden.

Lehmputze eignen sich ohne weitere Modifikation als Salzreduktions- oder Opferputze und sind damit bautechnisch und preislich eine gute Alternative. Da sie mechanisch vom Untergrund gelöst werden müssen und sich leichte Verfärbungen an der Bestandsoberfläche bilden können, ist ihr Einsatz lediglich auf historischen Farbfassungen oder bei später sichtbar zu belassenden Bestandsputzen ausgeschlossen.

Im Vergleich mit den anderen zur Salzreduktion eingesetzten Materialien, sind Lehmputze aktuellen Untersuchungen gleichwertig oder sogar besser als diese (Voigt, 2017 u.a.). Ein wesentlicher Vorteil liegt in der

visuellen Erkennbarkeit des Entsalzungserfolges. Damit werden mit etwas Erfahrung analytische Methoden zur Überwachung des Entsalzungserfolges überflüssig. Lehmputz ist für diesen Einsatz preiswerter als andere Salzreduktionsmaterialien.

Da sich die Salzreduktionsputze möglichst leicht vom Untergrund lösen lassen sollen, können bevorzugt Lehmputze der niedrigen Festigkeitsklasse S I verwendet werden, die für dauerhafte normale Innenraumanwendung nicht zulässig sind.

Um einen guten Entsalzungserfolg zu erzielen, muss der Lehmputz selbst nur einen sehr geringen Salzgehalt aufweisen. In Deutschland ist der zulässige Grenzsatzgehalt für Lehmputze wie folgt in DIN 18947:2018-12 geregelt:

- Chloride $\leq 0,08$ Masse-%,
- Nitrate $\leq 0,02$ Masse-% und
- Sulfate $\leq 0,10$ Masse-%.

Außerdem darf der Gesamtgehalt 0,12 Masse-% nicht überschreiten. Die Salzgehalte der meisten marktgängigen Produkte in Deutschland liegen weit unter diesen Grenzwerten. In Ländern der ariden Klimazonen kann man bei aus lokalen Baulehmen und Sanden angemischten Salzreduktionsputzen diese Werte oft nicht ganz einhalten.

Vorgehensweise bei der Anwendung von Lehmputzen zur Salzreduktion

Bei der Anwendung von Lehmputzen zur Salzreduktion ist wie folgt vorzugehen:

- Einbau von horizontalen und ggf. vertikalen Sperrschichten
- Austrocknung des Wandquerschnittes und damit Transport eines Großteils der im Querschnitt vorhandenen Salze an die Bauteiloberfläche. Je nach Feuchtegehalt und Dicke der Bestandswand sind hierfür mehrere Monate einzuplanen. Der Einbau der Sperrschicht sollte deshalb möglichst früh, ggf. als vorgezogene Baumaßnahme, erfolgen.
- Eingrenzung des zu behandelnden Bereiches anhand Salzgehaltsanalyse im Höhen und Tiefenprofil.
- Abschlagen von Bestandsputzen im betroffenen Bereich sofern diese nicht konservatorisch gesichert werden sollen.
- Falls Bestandsputzen erhalten werden sollen und erhaltungsfähig sind, müssen Anstriche und Tapeeten entfernt werden.

- Falls die zu entsalzenden Massivbaustoffe bereits delaminierende Tendenzen (Materialablösung in dünnen Schichten) aufweisen, sind diese durch kräftiges Schaben mit dem Maurerhammer zu entfernen
- Fugen sind mindestens 1 cm tief auszukratzen sofern der Fugenmörtel eine geringe Festigkeit aufweist und damit wahrscheinlich ist, dass sich ein Teil der Salzablagerungen im oberflächennahen Bereich der Fugen befindet.
- Kräftiges Abkehren der Wandoberfläche mit einem harten Straßenbesen
- Sorgfältiges Reinigen des Umfelds, Entsorgen des abgearbeiteten Wandmaterials
- Mehrmaliges leichtes Besprühen der Wandoberflächen (Vornässen)
- Auftrag des Lehmputzes in 1,5 bis 2,0 cm Dicke. Grobes Schlichten der Oberfläche wenn notwendig um an allen Stellen die Mindestdicke zu garantieren. Ein Schlichten der Oberfläche ist nur notwendig, wenn die Auftragsart nicht garantiert, dass die Mindestdicke an allen Stellen gewährleistet ist. Standzeit je nach Trocknungsbedingungen 7 bis 14 Tage.
- Abschlagen, Abkehren, Annässen und Neuauftrag weiteren Materials an den Stellen, an denen die o.g. Merkmale sichtbar werden.
- Sind die o.g. Merkmale an keiner Stelle mehr sichtbar, wird der gesamte Opferputz abgeschlagen und die Wand ist ausreichend für den dauerhaften Verputz vorbereitet. Ggf. ist der ausreichend geringe Restsalzgehalt des Putzgrundes mittels erneuter Probennahme zu bestätigen.

Projektbeispiele

Zur Salzreduktion mittels Lehmopferputzen liegen bei uns etwa 15 Jahre Anwendungserfahrung mit zahlreichen Projekten im In- und Ausland vor. Schwerpunkte bilden dabei historische Ziegelbauten in Deutschland und historische Natursteinbauten auf der arabischen Halbinsel.

Scheunenausbau Weesow/Brandenburg

Die historische Ziegelscheune Weesow, östlich von Berlin, sollte zum Wohnhaus mit denkmalgeschützter ziegelsichtiger Fassade mit Innendämmung umgebaut werden (Architekt: Jan Rösler Architekten, Berlin). ZRS Ingenieure GmbH wurden mit Tragwerksplanung und Bauphysik beauftragt. Die Grundlagen für den Umgang mit der vorhandenen Bausubstanz aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert wurde im Rahmen einer erweiterten Grundlagenermittlung mittels Bestandsgutachten gelegt. Ein derartiges ingenieurtechnisches Bestandsgutachten ist in der Regel auf statisch-konstruktive Schäden (z.B. Setzungen, Schiefstellungen, Risse), Untersuchung der Holzbauteile auf Holzschutzmittel und Holzschädlinge sowie Feuchte- und Salzschäden fokussiert. In aller Regel stehen diese Aspekte im Zusammenhang und sollten deshalb auch aus einer Hand untersucht werden.

Infolge Konstruktion, Standzeit, Instandhaltungsrückstau und Nutzung (Viehhaltung in Teilbereichen) lagen bereichsweise mittlere, hohe bis sehr hohe Feuchte- und Salzgehalte vor. Beispielsweise lagen die Nitratwerte bereichsweise bis zu 6-fach über den empfohlenen Höchstwerten nach WTA.

07a Scheune, Weesow: Außenansicht mit deutlich erkennbaren Feuchte- und Salzschäden





07bScheune, Weesow, D: Innenansicht mit gekennzeichneten Bereichen der überkritischen Salzbelastung

Es wurde an einer repräsentativen Stelle ein Höhen- und Tiefenprofil der Feuchte- und Salzbelastung mit Probenentnahmen in je 5 (Wand-) Tiefen in 4 Höhen erstellt. Als Vergleich wurde zusätzlich eine sogenannte Nullprobe in einem unbelasteten Wandbereich gezogen. Weitere Beprobungen wurden in lokal beeinflussten Bereichen (z.B. defekte Dacheindeckung) gezogen. Von jeder Probe werden Feuchtegehalte bei Entnahme sowie $23^{\circ}/50\%$ RLF und $23^{\circ}/80^{\circ}$ RLF ermittelt. Dies klärt den Einfluss der aufsteigenden und hygroskopisch bedingt erhöhten Feuchte. Von jeder Probe wurde die Anionenkonzentration der Nitrate, Sulfate und Chloride bestimmt.

Auf eine Kationenbestimmung konnte aufgrund der klaren Analyseergebnisse verzichtet werden.

Der Einbau der Horizontalsperre erfolgte als vorgezogene Maßnahme 1 Jahr vor Beginn der Entsalzungsmaßnahmen. In Bereichen mit extremer Salzbelastung wurden 4 Zyklen der Entsalzung benötigt, bis keine Merkmale für eine erhöhte Restsalzbelastung mehr erkennbar waren. Nach dem Ende der Salzreduktion wurde auf eine Lehmausgleichsschicht ein Innendämmsystem aufgeklebt. Aufgrund Hauschwammbefall in den Bestandswänden wurde eine mineralische Innendämmung verwendet.

08aEinbau der Horizontalsperre und lokalen Fundamentverstärkungen



08b Opferputz mit lokal deutlich erkennbaren Merkmalen hygroskopisch erhöhter Feuchte





09a und b Zu großer Abstand der Bohrlöcher der chemischen Horizontalsperre der 1980er Jahre. Das Injektionsmittel war zudem mit dem Bestand chemisch und physikalisch unverträglich.

Qasr al Hosn, Abu Dhabi, UAE

Das Qasr al Hosn, der ehemalige Herrschersitz in Abu Dhabi, ist heute als Museum zugänglich und gilt mit- ten zwischen Wolkenkratzern gelegen als das Herz Abu Dhabis. ZRS Ingenieure GmbH war mit der Vor- untersuchung der Feuchte- und Salzbelastung der historischen Natursteinwände beauftragt und wurde dabei vom Sachverständigen für Abdichtung, Jens Koch, Potsdam, unterstützt. Die zwischenzeitlich ge- gründete ZRS Ltd. Abu Dhabi übernahm den Auftrag der Konservatorischen Gesamtbegleitung des Ob- jektes und wurde für diese Aufgabe von der ZRS Ar- chitekten GmbH und ZRS Ingenieure GmbH aus Ber- lin unterstützt.

Die historischen Natursteinwände waren bauzeitlich aus Kalk- und Korallensteinen in Gips-Kalk-Mörtel gemauert aber durch zahlreiche Umbauphasen durch nicht substanzverträgliche Baustoffe wie Stahlbeton oder Zementputz ergänzt worden. Im Rahmen einer Umbauphase in den 1980er Jahren wurde eine che- mische Horizontalsperre eingebaut. Im Rahmen der Untersuchung wurden unterhalb und oberhalb dieser Sperrlage in etwa die gleichen Feuchtegehalte ge- messen. Laborversuche zeigten, dass die vorhande- nen Gesteine die Injektionsmittel aufgrund der ge- schlossenporigen Materialstruktur in keinsten Weise verteilt haben. Aus heutiger Sicht war auch der Ab- stand der Injektionslöcher zu groß. Die chemische

10a Deutlich sichtbare Entsalzungsmerkmale im Rahmen des 3. Entsalzungszyklus





10b Qasr al Hosn, Abu Dhabi, UAE: Zustand nach Fertigstellung

Horizontalsperre war also zu keinem Zeitpunkt wirksam gewesen.

Nach umfangreicher Voruntersuchung der Feuchte- und Salzgehalte im Boden und in den Bauteilschichten wurde von uns aus bautechnischer Sicht der Einbau einer mechanischen Horizontalsperre empfohlen. Aus konservatorischer Sicht fand der dafür notwendige starke Eingriff in die historische Substanz jedoch keine Zustimmung. Die dennoch durchgeführten mehrmaligen Aufträge von Lehmörtel zur Salzreduktion verlängern in diesem Fall (kein Einbau einer Horizontalsperre) den Zeitraum bis zum Wiederauftreten von Feuchte- und Salzschäden an den Putzoberflächen. Aus Ermangelung regionaler Baulehme wurde die Salzreduktionsmischung aus Bentonitpulver und Sand im Verhältnis 1: 5 angemischt.

Im Januar 2020 haben Starkregenereignisse zu einem extrem verstärkten Wassereintrag in die Wände geführt. Aufgrund des Fehlens einer Horizontalabdichtung sind deshalb im unteren Sockelbereich bereits wieder Merkmale von erneuter Salzbelastung aufgetreten. Dies war unter normalen Umwelteinflüssen erst für einen wesentlich späteren Zeithorizont prognostiziert worden.

Literatur:

Voigt, 2017, Voigt, Stefan: *Eine Salzreduzierungsstudie mit Kompressen und Opferputzen aus tonmineralhaltigen Materialien am Beispiel eines historischen Ziegelmauerwerkes*. Masterarbeit an der Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Bauingenieurwesen. Potsdam. 2017.

WTA, 1999 Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): *WTA Merkblatt 4-5-99/D Beurteilung von Mauerwerk – Mauerwerksdiagnostik*. Pfaffenhofen. 1999 WTA, 2006 Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): *WTA Merkblatt 2-10-06/D Opferputze*. Pfaffenhofen. 2006

Fotonachweise

Alle Fotos: © ZRS Ingenieure GmbH

Kontaktangaben

Web: www.zrs.berlin

E-Mail: rocher@zrs.berlin

yuffa@zrs.berlin

ziegert@zrs.berlin