

# Mauersalze: Grundlagen, Ursachen, Sanierung

Text, Bilder und Grafiken **Gerald Ziegenbalg**

**Ein in der Bausanierung immer wiederkehrendes Problem ist das Auftreten von Salzen. Diese sind die Ursache von signifikanten Schäden und stellen ein akutes Problem bei vielen Baumassnahmen dar. In diesem Artikel sind die wichtigsten Ursachen und Möglichkeiten zur Behandlung von salzbelasteten Bereichen zusammengefasst.**



Feuchtigkeits- und Salzaufstieg in einem Mauerwerk.

## 1. Grundlagen

Salze, formal gebildet durch Reaktion einer Säure mit einer Base, umgeben uns überall. Vom Speisesalz über Düngemittel und Auftausalze bis hin zu den gefürchteten Mauersalzen. Diese treten in unterschiedlichen Formen auf, als Ausblühungen auf Oberflächen, als Durchfeuchtungen oder als feste, nur schwer zu entfernende Krusten und Schalen. Typische Mauersalze sind in Tabelle 1 auf der rechten Seite zusammengefasst. Mit Ausnahme von Gips und Ettringit sind alle sehr gut in Wasser löslich. Bei einer gegebenen Temperatur weisen Sal-

ze eine exakt definierte, konstante Löslichkeit in Wasser auf. Diese kann auf das Volumen (g/L) oder die Gesamtmasse (Summe aus gelöstem Salz + Wasser, Masse-%) bezogen werden. Viele Salze können als Verbindungen mit unterschiedlichem Wassergehalt auftreten. So ist bei Temperaturen unterhalb 32,4 °C Glaubersalz ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) stabil, oberhalb dieser Temperatur tritt wasserfreies Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , Thenardit) auf.

### Löslichkeit verändert sich

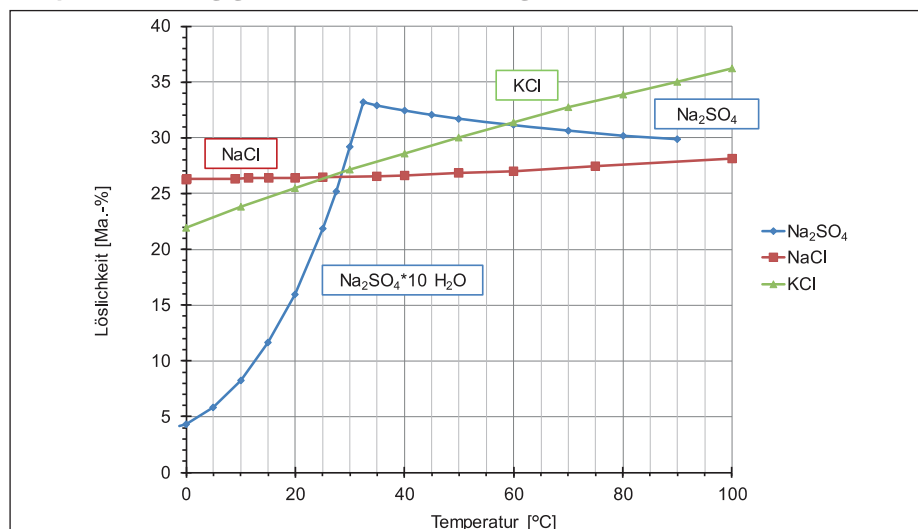
Die Löslichkeit wird dabei stets auf das wasserfreie Salz bezogen. Sie kann mit zunehmender Temperatur steigen, konstant bleiben oder abnehmen. Die Löslichkeit ist gleichzeitig von der Anwesenheit anderer Komponenten abhängig. So führt zum Beispiel die Anwesenheit von

Salzausblühungen auf einer Oberfläche.



Autor Prof. Dr.rer.nat.habil. Gerald Ziegenbalg ist Geschäftsführer der IBZ-Salzchemie GmbH & Co.KG in Halsbrücke (D).

## Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit ausgewählter Salze



KCl (Kaliumchlorid) zu einer Herabsetzung der Löslichkeit von NaCl. Die Abscheidung eines Salzes beginnt, wenn dessen Löslichkeit überschritten wird. Dies kann durch Temperaturänderungen oder durch den Entzug von Wasser durch Verdunsten hervorgerufen werden.

### 2. Ursachen

Die Ursachen für das Auftreten von Mauersalzen sind vielfältig. Typisch ist eine Salzbelastung durch äussere Einflüsse wie Auftausalze, Düngemittel, Bodenfeuchte oder resultierend aus einer speziellen Gebäudenutzung. Oftmals erfolgte bereits beim Bau ein Salzeintrag, etwa durch Bindemittel mit erhöhten Anteilen an löslichen Salzen (Alkalien, Gips), durch die Wiederverwendung bereits salzbelasteter Materialien oder durch den Einsatz von Frostschutzmitteln als Zusatz in Mörtel und Beton.

Die Verwitterung von carbonatischen Materialien durch Umweltbelastungen mit atmosphärischem Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und die damit verbundene Bildung von Gips in Form von Krusten und Schichten ist in den letzten Jahren signifikant zurückgegangen. Sie stellt jedoch nach wie vor eine Herausforderung dar, vor allem bei der Konservierung historischer Bausubstanz.

Eine spezielle Problematik ist das Auftreten von leicht löslichen Nitraten, insbesondere von Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O. Der typische Mauersalpeter besitzt eine extrem hohe Löslichkeit und weist dar-

auf hin, dass ein Kontakt mit organischer Substanz (Gülle) stattgefunden hat. Im Lauf der Zeit hat sich der ursprünglich anwesende Harnstoff zu Nitrat umgesetzt.

### Salze ziehen Wasser an

Eine wesentliche Eigenschaft von Salzen ist ihre Hygroskopie, was nichts anderes bedeutet, als dass Salze wasseranziehend sind. Wird beispielsweise Kochsalz in einem offenen Gefäss stehen gelassen, können zwei Prozesse ablaufen:

- Bei hoher Luftfeuchtigkeit wird das Salz Feuchtigkeit anziehen, es bildet sich eine Salzlösung.
- Bei geringer Luftfeuchtigkeit wird sich das Salz nicht verändern. Eine Lösung wird eintrocknen, wobei Salz kristallisiert.

Die relative Luftfeuchtigkeit, bei der ein Gleichgewicht zwischen dem Salz, seiner gesättigten Lösung und dem Wasserdampfgehalt der Luft besteht, heisst Deliqueszenzfeuchtigkeit oder Sätti-

**Tabelle 1: Typische Mauersalze**

Chemische Formel	Name	Löslichkeit in Wasser bei 20 °C (g wasserfreies Salz / 100 g H <sub>2</sub> O)
	<b>Häufiges Auftreten</b>	
NaCl	Steinsalz, Kochsalz, Halit	35,88
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Natriumsulfat, Thenardit	48,1 (bei 40 °C)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	Glaubersalz	19,18
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	Gips	2,5
Ca <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> [(OH) <sub>12</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]·26 H <sub>2</sub> O	Ettringit	< 1 g/L
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4 H <sub>2</sub> O	Mauersalpeter Calciumnitrat-Tetrahydrat	129,39
NaNO <sub>3</sub>	Natronsalpeter Natriumnitrat	88,23
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	Bittersalz, Epsomit	35,6
	<b>Selteneres Auftreten</b>	
KCl	Kaliumchlorid, Sylvit	34,24
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Calciumchlorid-Hexahydrat	74,56



Salzschäden durch Auftausalze.

gungsfeuchte. Bei einer geringeren Luftfeuchtigkeit trocknet eine Salzlösung ein, bei einer höheren löst sich das Salz unter Bildung einer Lösung auf. Die Deliquescenzfeuchtigkeit ist ein für jedes Salz typischer Stoffwert. Charakteristische Daten sind in Tabelle 2 unten gegeben.

Wesentlich ist, dass ein Auftreten von Salzen und damit verbundenen Schäden immer in Verbindung mit Feuchtigkeit zu sehen sind. Ein Salztransport erfordert die Anwesenheit von Feuchtigkeit, ansonsten ist dieser nicht möglich.

**Porengrösse beeinflusst Steigen**

In porösen Baustoffen ist, ebenso wie in kleinen Rissen und Fugen, ein Feuchtigkeitstransport nur auf der Basis von kapillaren Transportvorgängen möglich. Diese hängen hauptsächlich vom Porendurchmesser ab. Generell gilt, je kleiner dieser ist, desto höher ist die Kapillarität. In kleinporigen Baustoffen steigt Wasser deutlich höher als in grobporigen Systemen. Der typische Aufstieg von Salzen in einem Mauerwerk ist in der Grafik oben wiedergegeben. Es kommt, entsprechend der Löslichkeit, zu einer lokal differenzierten Kristallisation, die sehr stark von den jeweiligen, speziellen Gegebenheiten abhängt.

**3. Schadensbilder**

Salzschäden zeigen sich vielfältig: als Ausblühungen, in Form von abplatzenden Schichten, sandenden/pudernden Oberflächen, als durchnässte, nicht trocknen-

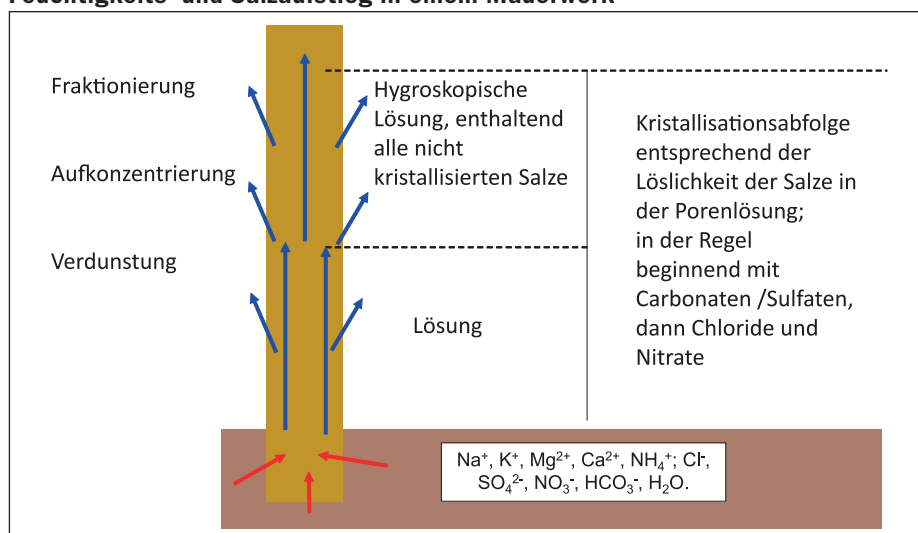
de Bereiche oder als schwer entfernbare dichte Überzüge, Krusten und Schalen. Durchfeuchtungen beruhen auf der Hygroskopie von Salzen und sind insbesondere bei der Anwesenheit von Salzen mit einer sehr hohen Löslichkeit typisch. Mechanische Zerstörungen sind auf den beim Abscheiden von Salzen aus Lösungen sich aufbauenden Kristallisationsdruck zurückzuführen. Dieser verdeutlicht einen unter Volumenzunahme ablaufenden Prozess, der ein hohes Schädigungspotenzial aufweist.

Eine spezielle Schadensform ist das Auftreten von Calciumcarbonat-Schleimern (CaCO<sub>3</sub>) und krustenartigen Kalkablagerungen, die sich sowohl auf Betonoberflächen und Mauerwerk als auch in Mörtelfugen bilden können. Im Gegen-

**Tabelle 2: Sättigungsfeuchte (Deliquescenzfeuchtigkeit) verschiedener Salze bei 20 °C**

Salz	Deliquescenzfeuchtigkeit in % RH
NaCl	75,4
NaNO <sub>3</sub>	75,3
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	95,6
KNO <sub>3</sub>	93,7
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	33,1
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	91,3
CaCl <sub>2</sub> · 6 · H <sub>2</sub> O	33,3
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	53,1
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	55,7

## Feuchtigkeits- und Salzaufstieg in einem Mauerwerk



satz zu Salzausblühungen, die relativ einfach durch ein Abbürsten entfernbar sind, treten diese in Form von harten, mit Wasser nicht entfernbaren Überzügen auf.

Die Ursache ist eine Mobilisierung von Calciumhydroxid (Ca(OH)<sub>2</sub>), das sich beim Abbinden von Zement bildet. Wenn noch nicht vollständig abgebundene Zemente in Kontakt mit Wasser kommen, kann Ca(OH)<sub>2</sub> herausgelöst und zur Oberfläche transportiert werden. An dieser reagiert es mit atmosphärischem CO<sub>2</sub> zu Calciumcarbonat, das dann die entsprechenden Verfärbungen und Schleier ergibt.

### 4. Sanierungsmöglichkeiten

Bei einer Sanierung sind immer zwei Aspekte zu betrachten:

- Die Unterbindung des Feuchtigkeitstransportes. Das bedeutet oftmals eine Mauerwerkstrockenlegung.
- Massnahmen zur Entfernung von Salzen oder zu deren Fixierung.

Auftretende Feuchtigkeit kann viele Ursachen haben. Typisch sind:

- Fehlende Bauwerksabdichtungen und damit der Einfluss von Grundwasser/Sickerwasser und Spritzwasser
- Defekte Abflussrohre, Regenrinnen
- Niederschlag
- Wasseraufnahme infolge von Kondensation und Adsorption (hauptsächlich im Innenbereich).

Eine erfolgreiche Beseitigung von Salzschäden erfordert im ersten Schritt immer die Unterbindung eines weiteren Feuchtigkeitstransportes. Die Diskussion von diesbezüglichen Möglichkeiten würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Es sei daher auf entsprechende Fachliteratur verwiesen.

### Salzgehalt bestimmen

Zur Beurteilung der Salzbelastung ist eine Quantifizierung sowohl hinsichtlich Ausdehnung und Tiefe als auch eine qualitative und quantitative Bestimmung des Salzgehaltes notwendig. Oftmals werden dabei nur die Anionen Chlorid, Sulfat und Nitrat bestimmt.

Zur Beurteilung der Salzbelastung ist dies jedoch unzureichend. Es wird empfohlen, immer auch die Konzentrationen der entsprechenden Kationen Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium zu bestimmen. Erst dann ist es möglich, die auftretenden Salze exakt zu identifizieren.

Während lose, sich auf einer Oberfläche befindliche Salze leicht durch ein Abbürsten erhältlich sind, ist die Probenahme aus salzbelasteten Bereichen eine Aufgabe, die in der Regel durch das Erstellen von Bohrungen gelöst wird. Ziel ist es, Proben aus unterschiedlichen Tiefen zu erhalten. Im Anschluss wird der Salzgehalt des Bohrmehls durch ein Laugen mit Wasser bestimmt. Gerade bei grossen Flächen ist es wesentlich, dass eine repräsentative Probenahme erfolgt, die eine reale Abschätzung der Salzbelastung ermöglicht. Die Aussagen, ab

wann eine Salzbelastung schädlich ist, sind unterschiedlich und hängen natürlich auch von den Materialcharakteristika selbst ab. Von der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege (WTA) angegebene Werte sind in Tabelle 3 auf Seite 16 zusammengefasst.

### Entfernen und Ersatz von Putz

Ein Entfernen von salzbelastetem Putz und dessen Ersatz durch neuen ist eine oftmals durchgeführte Massnahme. Diese ist jedoch nur dann sinnvoll und vor allem wirksam, wenn vorher die Ursache der Salzbildung beziehungsweise des Salztransportes beseitigt worden ist.

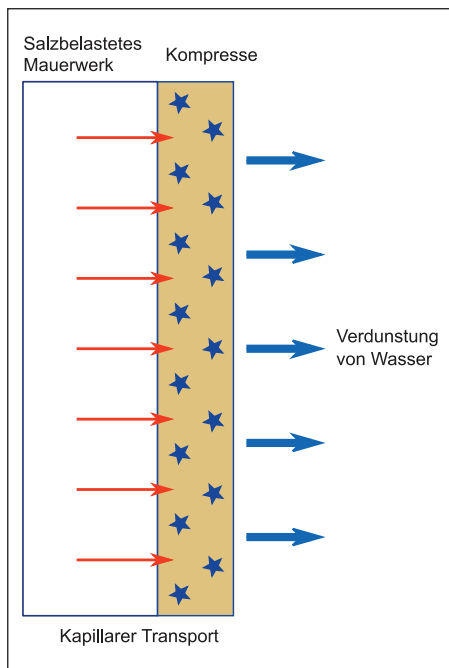
Oftmals erstreckt sich die Salzschädigung jedoch auf Naturstein oder auf Bereiche, die nicht einfach mechanisch entfernt werden können. Bei einer Behandlung derartiger Flächen sind prinzipiell zwei Möglichkeiten zu diskutieren:

- Die Umwandlung oder Fixierung der Salze in Form von schwerlöslichen Verbindungen.
- Die Entfernung des Salzes oder die Schaffung von Bedingungen, in denen eine Salzbildung zu keinen Schäden führt.

### Sehr aggressive Fluat

Zur Umwandlung von Mauersalpeter in unlösliche Verbindungen kommen seit langer Zeit Fluat (auch unter der Bezeichnung Vogelfluat bekannt) zum Einsatz. Dies sind saure Lösungen von Magnesium- und/oder Zinkhexafluorosilikat

**Schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Entsalzungskomprelle**



( $MgSiF_6$  beziehungsweise  $ZnSiF_6$ ). Ziel ist es, lösliche Calcium- und Magnesiumsalze in die entsprechenden schwerlöslichen Fluoride ( $MgF_2$ ,  $CaF_2$ ) umzuwandeln. Gleichzeitig wird eine Festigung loser Bereiche durch sich bildendes Kieselgel angestrebt.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass es sich um sehr aggressive, toxische Komponenten handelt, die generell nur unter Berücksichtigung der entsprechenden Sicherheitshinweise anzuwenden sind. Gleichzeitig ist die Eindringtiefe oftmals nur gering und es sind aufgrund des sauren Charakters Schädigungen des intakten Mauerwerks möglich. Prinzipiell ist eine Salz Entfernung durch ein Herauslösen, zum Beispiel durch eine Lagerung in Wasser,

möglich. Dies ist jedoch nur bei kleinen, beweglichen Objekten realisierbar. Dabei ist zu beachten, dass eine längere, vollständige Sättigung mit Wasser auch zu neuen Schäden führen kann.

**Entsalzen mit Kompressen**

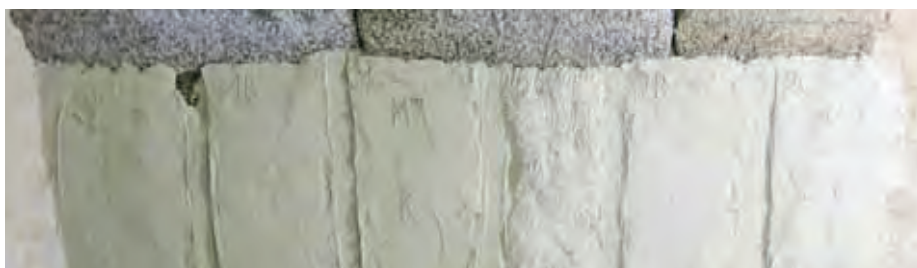
Eine weitere Möglichkeit, Salze zu entfernen, sind Entsalzungskompressen. Das sind mörtelartige Komponenten mit hoher Saugwirkung, die jedoch kein Bindemittel enthalten. Sie werden auf die zu entsalzenden Bereiche aufgetragen. Ziel ist es, Salze ohne eine Zerstörung der ursprünglichen Substanz zu entfernen. Es erfolgt ein durch Kapillarität induzierter Transport des Porenwassers in die Komprelle. Das Wasser verdunstet und es kommt zu einer Kristallisation

**Tabelle 3: Bewertung der Gefährdung durch unterschiedliche Konzentrationen von Anionen bauschädlicher Salze** (modifiziert nach WTA-Merkbl. E-3-13)

Bewertung der Gefährdung	Chloride [Ma.-%]	Nitrate [Ma.-%]	Sulfate [Ma.-%]
Unbelastet	< 0,01	< 0,02	< 0,02
Keine Massnahme erforderlich	< 0,03	< 0,05	< 0,1
Massnahme im Einzelfall zu entscheiden	0,03 bis 0,1	0,05 bis 0,15	0,1 bis 0,25
Massnahmen dringend erforderlich	> 0,1	> 0,15	> 0,25
Extrem	> 0,3	> 0,5	> 0,8



Abplatzungen, Ausblühungen und schwere Salzschäden an einem Mauerwerk.



Testfläche zur Charakterisierung der Wirkung unterschiedlicher Entsalzungskompressen.

der Salze in der Kompressen. Die prinzipielle Wirkungsweise von Kompressen ist in der Grafik auf der linken Seite zusammengefasst. Nach dem Abtrocknen werden diese vom Objekt entfernt. Wesentlich ist, dass die Porosität der Kompressen auf die des zu behandelnden Materials abgestimmt ist. Sonst erfolgt kein gezielter Flüssigkeitstransport und somit keine Reduzierung des Salzgehaltes der Substrate.

#### Wirkung signifikant steigern

Typische Kompressen bestehen aus Bentonit/Ton, Zellulosefasern und Zuschlagstoffen (Sand, Leichtzuschläge). Die Mischungen setzt man mit konventioneller Mischtechnik (Mörtelmischer) unter Nutzung von deionisiertem Wasser an und bringt sie in Form eines «Putzes» auf die zu entsalzenden Bereiche auf. Oftmals erfolgt der Einsatz von Putzmaschinen, was vielfach eine bessere Haftung auf dem Untergrund bewirkt. Die Auftragsstärke liegt gewöhnlicherweise zwischen 10 mm und 20 mm.

Die Wirkung von Kompressen lässt sich durch eine zusätzliche Befeuchtung von salzbelasteten Bereichen und einen damit gezielt induzierten Feuchtigkeitstransport signifikant steigern. Auf ähnlichen Prinzipien beruhen Opfer- und Sanierputze.

Der Begriff Opferputze bezeichnet Materialien, die nur temporär zur Anwendung kommen und dabei eine Sanierungswirkung oder eine Schutzfunktion ausüben. Es sollen Feuchte- und

Salzbelastungen im Putz gebunden oder schützenswerte Oberflächen vor äusseren Einwirkungen bewahrt werden. Sie nehmen eine Mittelstellung zwischen Entsalzungskompressen und Sanierputzen ein und müssen möglichst rückstandsfrei entfernbar sein.

Sanierputze beziehungsweise oftmals aus mehreren Komponenten bestehende Sanierputzsysteme sind spezielle Mörtel, die in der Lage sind, Salze einzulagern und dabei eine hohe Porosität und Wasserdampfdurchlässigkeit aufweisen. Nach WTA besteht ein Sanierputzsystem aus:

- Spritzbewurf
- Grundputz
- Sanierputz
- und einer auf diese abgestimmten Deckschicht (Feinputz/Anstrich).

Das sind Materialien, die zur Ausbildung einer grobporigen Struktur führen, in der Feuchtigkeit beziehungsweise Wasser schnell verdunstet. Die kapillare Leitfähigkeit ist demgegenüber erheblich vermindert. Die abgeschiedenen Salze werden in die Putzstruktur eingebaut, ohne dass es zu Salzsprengungen kommt. Auch Sanierputze weisen jedoch teilweise nur eine begrenzte Lebensdauer auf.

#### 5. Schlussfolgerungen

Die Behandlung von salzbelasteten Flächen ist generell eine Herausforderung und muss aus diesem Grund sorgfältig geplant und vorbereitet werden,

wozu eine Ermittlung der Ursachen sowie von Art und Konzentration der anwesenden Salze wesentlich ist. Salzbelastungen stehen immer in Verbindung mit Feuchtigkeitsproblemen. Deren Beseitigung ist eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Sanierung. Zur Behandlung salzbelasteter Flächen stehen unterschiedliche Materialien zur Verfügung, die jedoch einer sachgerechten Anwendung bedürfen. In den meisten Fällen ist eine vollständige Entsalzung nicht möglich beziehungsweise oftmals auch nicht notwendig.

Wesentlich ist eine Unterbindung des Feuchtigkeitstransportes durch entsprechende bautechnische Massnahmen. Ist dies nicht möglich, wie zum Beispiel in historischen Gewölben, so kommt der Gestaltung des Raumklimas eine entscheidende Rolle zu. Dieses muss sowohl die Austrocknung als auch die Bildung von Feuchtigkeitsfilmen unterbinden.

Generell sollten wasserdampfdiffusionsoffene, atmungsaktive Anstriche genutzt werden, die einen Stoffaustausch zwischen Mauerwerk/Wand und der Umgebung ermöglichen. Dabei nehmen insbesondere Silikat- und Kalkfarben eine zentrale Rolle ein. ■

#### Literatur

- WTA-Merkblatt E-3-13, Ausgabe 12.2018/D, Salzreduzierung an porösen mineralischen Baustoffen mittels Kompressen.  
 WTA-Merkblatt 2-10-06/D, Opferputze.  
 WTA-Merkblatt E-2-9, Ausgabe 06.2018/D, Sanierputzsysteme.



NEU!

# Die neue Bauarbeiten- verordnung kommt.

Jetzt  
informieren  
[suva.ch/  
bauav2022](https://www.suva.ch/bauav2022)

Das Leben ist schön, solange nichts passiert.  
Deswegen wurde die Bauarbeitenverordnung überarbeitet  
und noch sicherer gemacht. Informieren Sie sich jetzt  
über Änderungen, die für Sie per 1. Januar 2022 verbindlich sind.