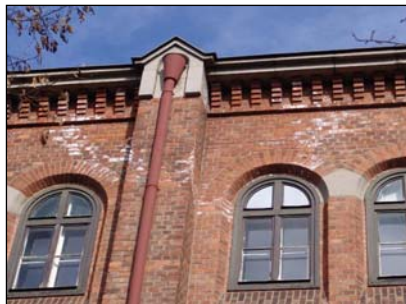
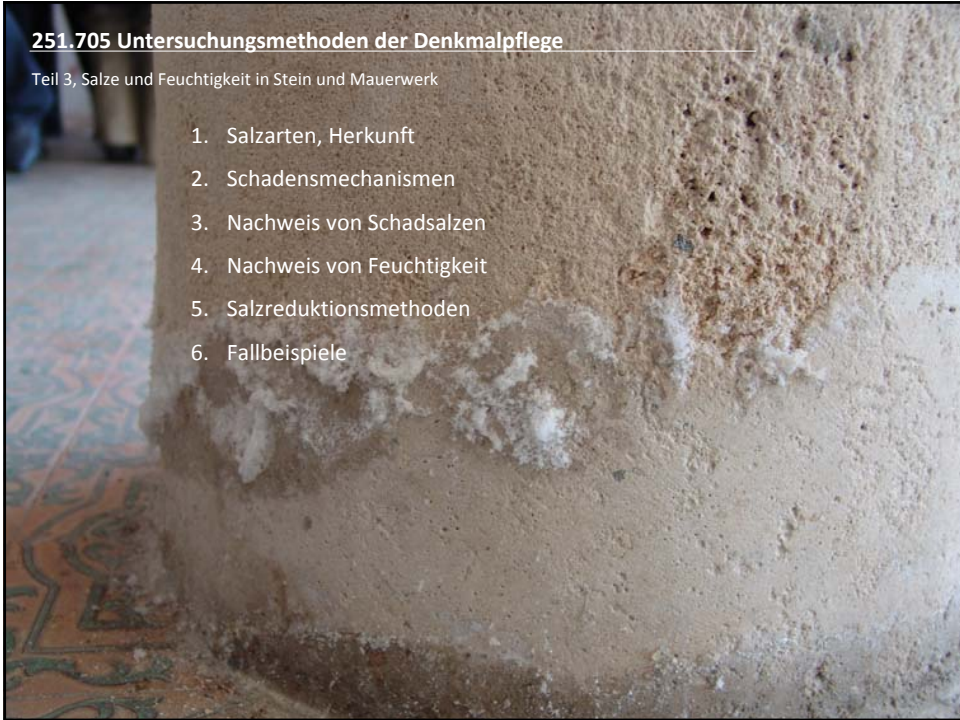


## 251.705 Untersuchungsmethoden der Denkmalpflege

Teil 3, Salze und Feuchtigkeit in Stein und Mauerwerk

1. Salzarten, Herkunft
2. Schadensmechanismen
3. Nachweis von Schadsalzen
4. Nachweis von Feuchtigkeit
5. Salzreduktionsmethoden
6. Fallbeispiele



Wien 3, Arsenal,  
Salzausblühungen aus Ziegelmauerwerk  
Sommer 2006



Zementmörtelfuge



Kalkmörtelfuge



Funktion der Fuge

Klinker, Betonfundament,  
Zementfuge





Mauerbach, Kartausenkirche, Jänner 2013, Frostsprengung im Winter (9% Volumenzunahme)



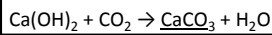
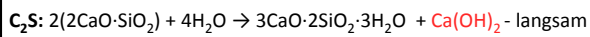
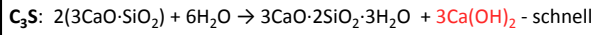
Schloß Lednice, Tschechien, 2007



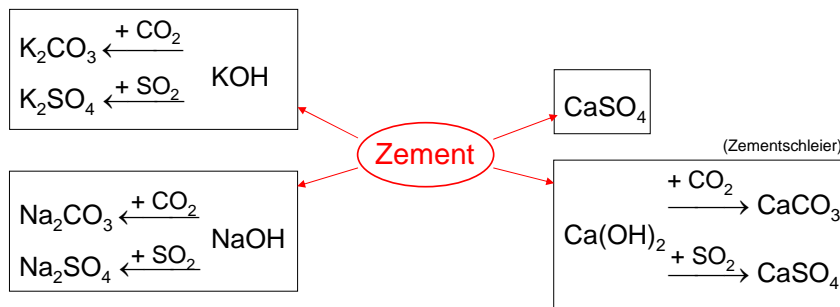


Mariazell, Basilika, Zementkittungen, 2009

Carbonatische Salzausblühungen, Flak-Turm, Arenbergpark, Wien 3, Sommer 2008



Spezialfall: Salzbildungen durch Einwirkung alkalischer Baustoffe



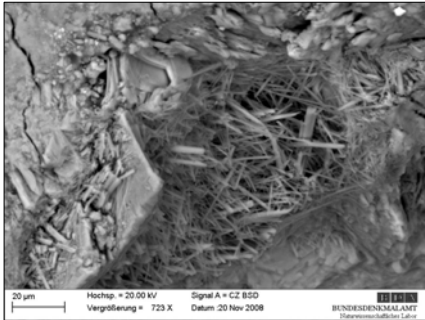
häufige Neubildungen von Salzen durch Reaktionen zwischen Salzlösungen

Reaktionsprinzip: leichtlöslich + leichtlöslich = schwerer löslich



aus alkal. Baustoff „altes“ Salz      Thenardit, Mirabilit, Nesquehonit, Lansfordit, Hydromagnesit } unterschiedl. Hydratstufen  
L=0,005 mol/l)

Vorsicht bei Sicherungen mit zementgebundenen Festigungsmitteln!



Ettringit  $\text{Ca}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_{12}(\text{SO}_4)_3]\cdot 26 \text{H}_2\text{O}$



Thaumasyt  $[\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6\cdot 12\text{H}_2\text{O}](\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$

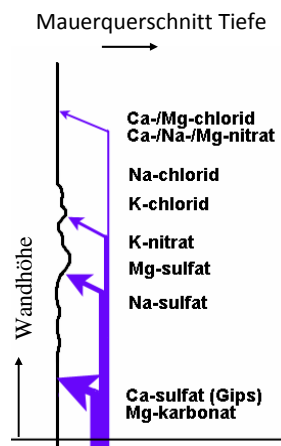
Kristallbildung durch Reaktion mit freien Sulfaten (von Gips).

Selektive Anreicherung von Salzen – vertikale Gradienten („Chromatographieeffekt“)

Aufkonzentration durch Verdunstung: schwerlösliches Salz kristallisiert, leichtlösliches Salz noch in Lösung



Kunstdünger (Nitrate, Phosphate) und organische Salze, „Chromatographieeffekt“





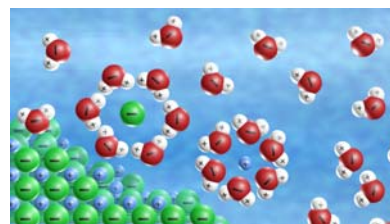
Gravitation und Kapillarkräfte bilden Gleichgewicht

Folge ist eine Aufkonzentration von Salzen im Verdunstungsbereich

Halophile Mikroorganismen nutzen Salze als Nährstoff

Folge verstärkter Mikroorganismenbewuchs

Salz- und Feuchtigkeitstransport sind untrennbar verbunden



Schaden im Kristallisationsbereich

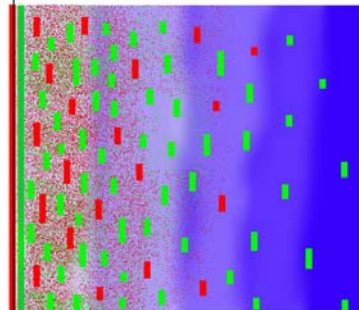





Im Normalfall liegen unterschiedliche Salze in verschiedenen Aggregatzuständen und Konzentrationen vor –

Dies ist bei der Probenahme zu berücksichtigen!

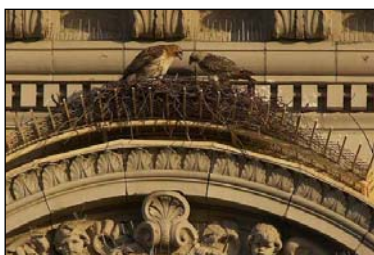


Oberfläche



-  Kristalle Salzart A (leichter löslich)
-  Kristalle Salzart B (weniger löslich)
-  gemischte Salzlösung

biogene Salze (Nitrate, Phosphate, Chloride etc.)







Wien 1, Naturhistorisches Museum,  
Kalksandstein mit Taubenkot angeätzt





Arsenal, Wien 3



Burg Kreuzenstein, NÖ



### Sonderfälle



Pökelsalz:  
Kochsalz, Natriumnitrat, Natriumnitrit  
oder Kaliumnitrat



Schwarzpulver:  
Kaliumnitrat, Schwefel, Holzkohle

### Wie kommen Salze in das Objekt bzw. den Baustoff ?

- aus dem Boden
- aus Baustoffbestandteilen
- aus Sanitäranlagen
- aus modernen alkalischen Baustoffen oder Restauriermaterialien
- aus Luftschadstoffen
- aus speziellen anderen Quellen

IMMER IN ZUSAMMENHANG MIT FEUCHTIGKEIT und FEUCHTETRANSPORT !!



### Herkunft und Häufigkeit von Schadsalzen

	Aufsteigende Bodenfeuchte				Atmosphärische Einflüsse			
	Sulfate	Nitrate	Chloride	Karbonate	Sulfate	Nitrate	Chloride	Karbonate
<b>Ca</b>	alle Bodenarten; Bestandteile des Baustoffs; Zementergänzungen	landwirtschaftlich genutzte Böden, Friedhöfe, Jauche, Sanitäranlagen	als Ausblühungs-salze selten nachgewiesen (hygro-skopisch) (Sorelzement)	Sekundär als Kalksinter nur in Zonen starker Durchfeuchtung	Reaktionsprodukt aus SO <sub>2</sub> mit CaCO <sub>3</sub> bzw. Dolomit des Baustoffs	kaum nachgewiesen, jedoch mögliche Bildung aus Reaktion mit NO <sub>x</sub> bzw. aus Taubenkot und bakterienaktivität	kaum nachgewiesen (sehr löslich und hygroskopisch)	sek. als Kalksinter nur bei starker Feuchtebelastung
<b>Mg</b>	sehr häufig; oft aus dolomitischen Mörteln	als Ausblühungssalz selten nachgewiesen (hygroskopisch)	rel. häufig; als Reaktionsprodukt aus alkalischen Stoffen	aus dolom Mörteln, oft als Reaktionsprodukt a. alkal. Stoffen	Reaktionsprodukt aus SO <sub>2</sub> mit alkalischen Stoffen			kaum nachgewiesen
<b>K</b>	häufig; oft als Reaktionsprodukt aus alkalischen Stoffen	häufigst ausbl. Nitrat; typ. für Landwirtschaft; aus alkalischen Stoffen		Aus wässrigen Anteilen alkalischer Stoffe bei Fehlen anderer reaktionsfähiger Salze			spezifische Industrieemittenten, Meerwasser spray	durch SO <sub>2</sub> -Einfluss zu Sulfaten umgewandelt
<b>Na</b>	häufig; oft als Reaktionsprodukt aus alkalischen Stoffen		Streusalz, ehem. Salzdepots					

### Eigenschaften von Salzen

Salze können nur im gelösten Zustand transportiert werden (Ausnahme Kriecheffekte)

Salze kristallisieren aus einer Lösung aus, wenn die Lösung übersättigt ist.

Das passiert, wenn ...

- Wasser verdunstet
- die Temperatur absinkt
- die Luftfeuchtigkeit sinkt
- durch die Zufuhr oder den Entzug neuer Salzionen die Löslichkeit herabgesetzt wird
- durch die Zufuhr neuer Salzionen Reaktionen einsetzen, die zur Bildung neuer Salze führen und die eine geringere Löslichkeit haben.

Kristallisationsdrücke bis rechnerisch 200 N/mm<sup>2</sup> (vgl. Kalkmörtel um 2 N/mm<sup>2</sup>)

*(Da allerdings die Löslichkeit mit steigendem Druck zunimmt, ist nicht klar, inwieweit die berechneten Drücke mit den tatsächlichen Werten übereinstimmen.)*

## Wie wirken Salze ?

gefügezerstörend

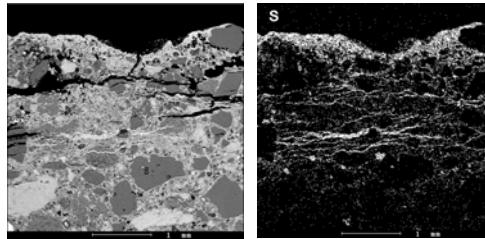
- durch Kristallisation
- durch Hydratisierung (=Hydratation)
- durch Spannungen zwischen salzbelasteten und salzfreien Zonen

durchfeuchtend

- durch anhaltende hygroskopische Wasseraufnahme

festigend

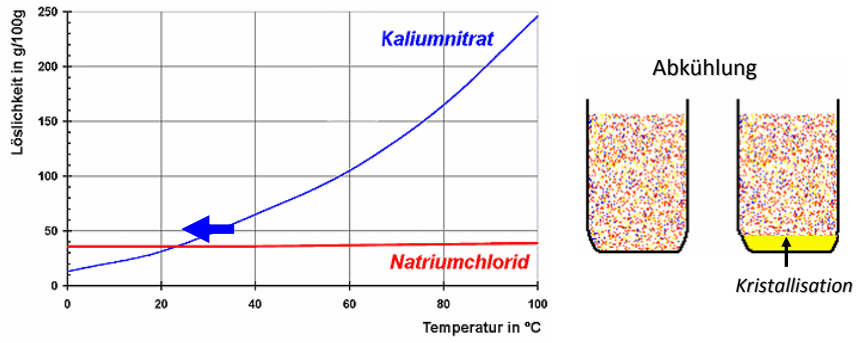
- wenn stabil in Porenräumen



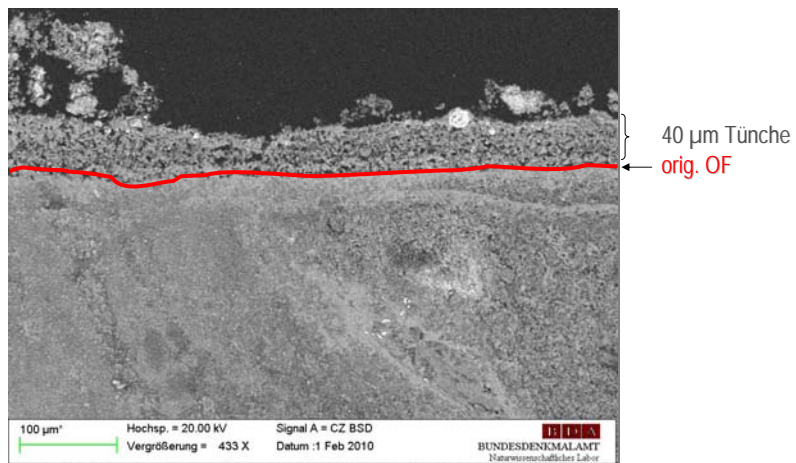
Wien 1, Kapuzinergruft  
Grabmahl Kaiser Ferdinand



### Kristallisation durch Temperaturerniedrigung



### Schutzfunktion eines diffusionsoffenen Anstrichsystems

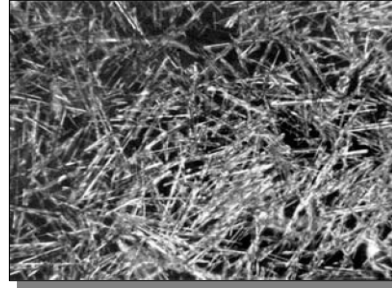




### Zerstörungspotential - Salzdruck



NaCl



CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O

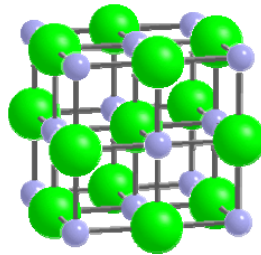
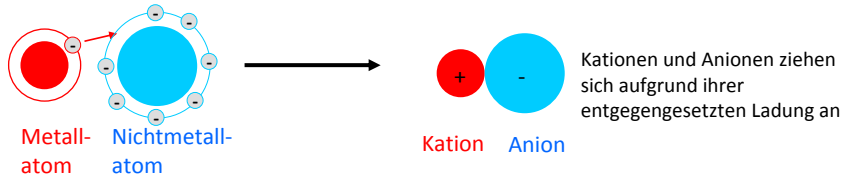
**Salze** sind Verbindungen, an deren Kristallgitter mindestens eine Kationen-Art und mindestens eine Anionen-Art beteiligt sind.

Bei den wichtigsten bauschädlichen Salzen handelt es sich im wesentlichen um eine Kombination von folgenden 10 Elementen:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
	H							He	
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
Metalle	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Nicht-metalle
	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
	Fr	Ra							

## IONENBINDUNG

Kationen geben ihre negativ geladenen Elektronen an Anionen ab



Salzkristall  
(z.B. NaCl – Kochsalz)

Die wichtigsten bauschädlichen Salze

<u>Kationen</u>	<u>Anionen</u>
Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup> K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup>	Chlorid Cl <sup>-</sup> Nitrat NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Karbonat CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>

Anionen Kationen	<b>Karbonate</b> CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	<b>Sulfate</b> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>Chloride</b> Cl <sup>-</sup>	<b>Nitrate</b> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
<b>Natrium</b> Na <sup>+</sup>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Thermonatrit, Heptahydrat, Natrit (Soda)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Thenardit, Mirabilit (Glaubersalz)	NaCl Halit (Kochsalz)	NaNO <sub>3</sub> Nitronatrit
<b>Kalium</b> K <sup>+</sup>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Pottasche	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Arcanit	KCl Sylvin	KNO <sub>3</sub> Nitrokalit
<b>Magnesium</b> Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub> Magnesit, Hydromagnesit, Nesquehonit	MgSO <sub>4</sub> Kieserit, Hexahydrat, Epsomit	MgCl <sub>2</sub> Bischofit	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Nitromagnesit
<b>Calcium</b> Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub> Calcit, Ara- gonit, Vaterit	CaSO <sub>4</sub> Anhydrit, Gips	CaCl <sub>2</sub> Antarticit	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Nitrocalcit

### Löslichkeiten und Gleichgewichtsfeuchten einiger bauschädlicher Salze

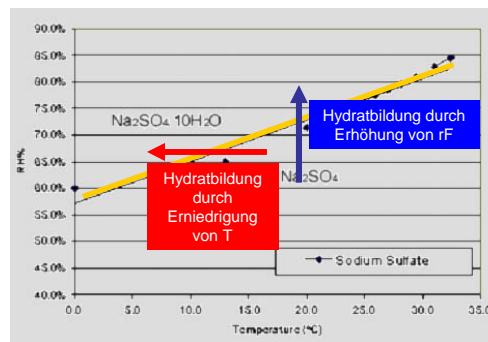
Salz	L [g/l]@20°C	Gleichgewichtsfeuchte [%] rF (°C)
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	5360	29,0 (25)
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1670	33 (25)
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	2660	50 (25)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	330	71 (35)
NaCl	358	75,3 (25)
NaNO <sub>3</sub>	880	75,4 (20)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	162	81,7 (25)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	900	87 (25)
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	710	90,1 (20)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	215	92 (18,5)
KNO <sub>3</sub>	315	94,6 (20)
K <sub>2</sub> Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	2,5	-
CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2	-
CaCO <sub>3</sub>	0,013 (25°C)	-
BaSO <sub>4</sub>	0,002	-

**Gleichgewichtsfeuchte:** rH bei der Salze weder in Lösung gehen noch auskristallisieren, d.h. Variation der rH verursacht einen Wechsel von Kristallisation und Lösung.

Hydratsalze bilden sich wenn ....

- die Temperatur sinkt, *oder*
- die Luftfeuchtigkeit steigt

Die Aufnahme von Kristallwasser ist in jedem Fall immer mit einer Erhöhung des Molvolumens und dem Risiko einer Druckentwicklung verbunden – das Kreuzen der Gleichgewichtslinie sollte daher vermieden werden.



Für jedes Salz gelten eigene Bedingungen

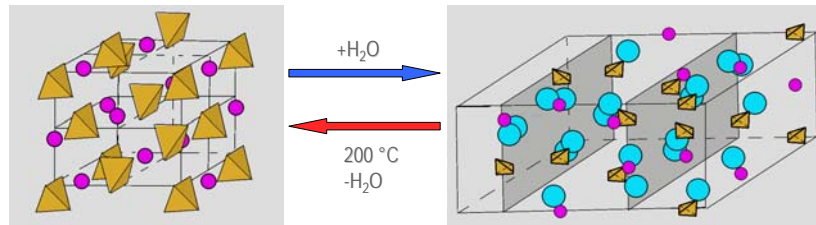
Salz	niedrige Hydratstufe	Umwandlung bei ...	höhere Hydratstufe	Volumsausdehnung
Natriumsulfat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	32 °C	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	4,2 x
Natriumkarbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·1H <sub>2</sub> O	35 °C	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	3,4 x
Magnesiumsulfat	MgSO <sub>4</sub> ·1H <sub>2</sub> O	48 °C	MgSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	2,9 x
Ca-sulfat	CaSO <sub>4</sub> · <sup>1</sup> / <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	40-110 °C	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1,4 x



### Hydratsalze

Bei vielen Salzen können H<sub>2</sub>O-Moleküle eingebaut werden – Kristallwasser (vgl. Löslichkeitstabelle)

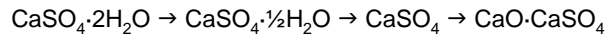
Als Kristallwasser bezeichnet man Wassermoleküle, die sich in kristallinen Verbindungen an präzise festgelegten Plätzen befinden. Sie können nicht ausgetrieben werden, ohne dass die Kristallstruktur zerfällt.



Anhydrit CaSO<sub>4</sub>  
Molvolumen: 46 cm<sup>3</sup>/mol

Gips CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O  
Molvolumen: 74 cm<sup>3</sup>/mol

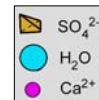
Die Anzahl der Wassermoleküle in einem Hydratsalz ist nicht beliebig, sondern stöchiometrischen Regeln unterworfen.



Dihydrat

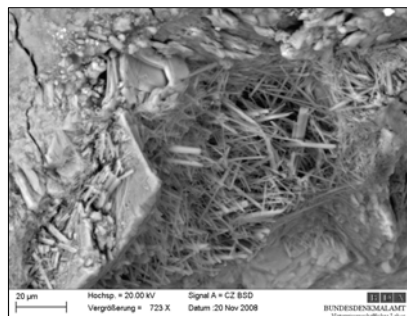
Halbhydrat  
Hemihydrat  
Bassanit

Anhydrit



### Salzanalysen

- 1) Salzart
- 2) Salzmenge (Faustregel: > 1% für Putz schädlich\*)
- 3) Ursache
- 4) Voraussage über Schadenspotential
- 5) Setzen von Maßnahmen



#### Probenahme:

- a) direkt
- b) Kompressenanalyse

*Das Schadenspotential ist nicht nur von der Art und Menge sondern auch von der Art des geschädigten Materials abhängig.*

*\* ÖNORM setzt diesen Wert tiefer an.*

Anionen	Belastung in M% bezogen auf den Stein bzw. Mauerwerk		
Chloride	< 0,03	0,03 – 0,1	> 0,1
Nitrate	< 0,05	0,05 – 0,15	> 0,15
Sulfate	< 0,1	0,1 – 0,25	> 0,25
	Keine Maßnahmen	Maßnahmen im Einzelfall	Maßnahmen empfohlen

*Bewertung der Gefährdung durch unterschiedliche Konzentration von Anionen aus bauschädlichen Salzen  
[ nach ÖNORM 3355-1 vom 1.1.1995]*

*WTA-Merkblatt E-3-13-01/D: Zerörungsfreies Entsalzen von Naturstein und anderen porösen Baustoffen  
mittels Kompressen*

### Analysenmethoden

- Mikroskopie

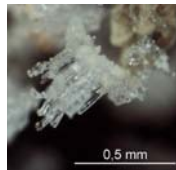
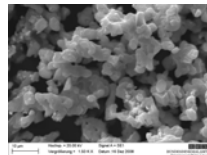


Foto: J. Weber

- Rasterelektronenmikroskopie



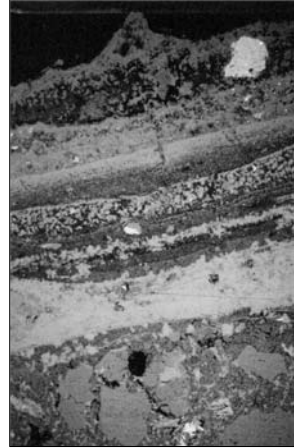
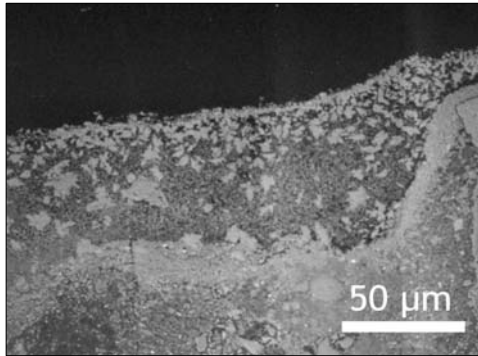
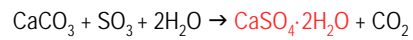
- qualitative Salzanalyse (Teststreifen)



- quantitative Salzanalyse im Labor (Naßchemie oder Ionenchromatographie)



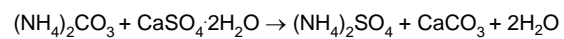
### Vergipsung



Das Ausmaß der Vergipsung/Salzbelastung ist nur durch Laboranalysen feststellbar.  
Danach richtet sich die Einwirkdauer von Entsalzungs- bzw. Umwandlungsmaßnahmen.

### Gipsumwandlung

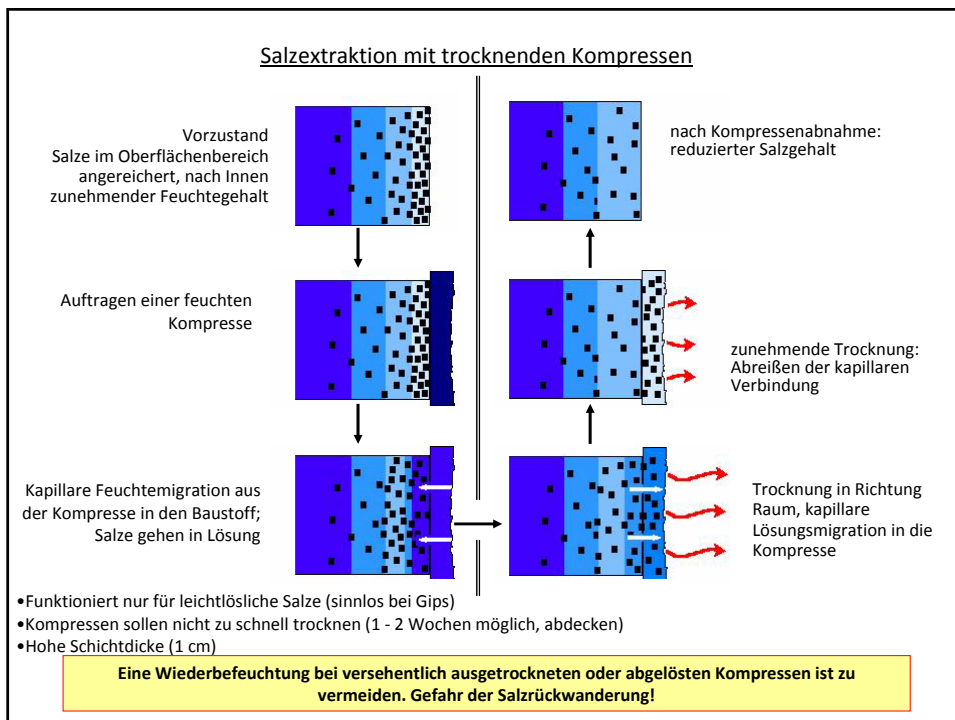
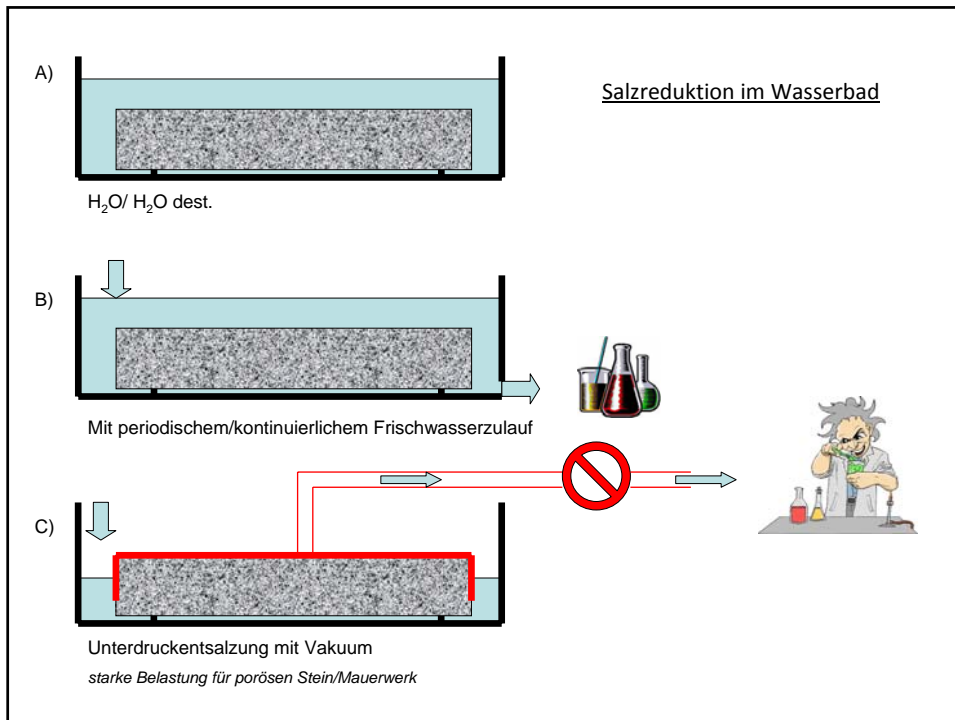
Gipslösung- bzw. umwandlung durch Ammoniumcarbonat  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$



<i>Ammonium- carbonat (AC)</i>	<i>Gips kristallin</i>	<i>Ammonium- sulfat</i>
<i>ges. Lsg (L = 320 g/l)</i>	<i>(L = 2 g/l)</i>	<i>(L &gt; 750 g/l)</i>

Prinzip:

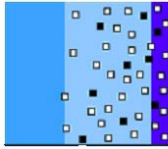
- 1.) Das schwerlösliche Salz (Gips) wird zunächst in ein leichtlösliches Salz (Ammoniumsulfat) umgewandelt.
- 2.) Das Reaktionsprodukt (Ammoniumsulfat) wird anschließend mit wässrigen Kompressen extrahiert.



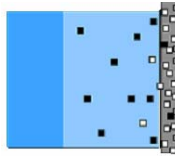


### Risiko bei der Kompressenextraktion gemischter Salzsyste

1. Gips, gelöst in  
hygroskopischem  
Salzgemisch



2. Extraktion der leicht  
löslichen Salze



- Nitrat-/Chlorid-  
ionen
- Sulfationen
- Sulfat (Gips-)  
ausblühungen

3. Trocknung und  
Kristallisation von Gips an  
der Oberfläche



AC-Kompressen oder  
Ionenaustauscher zur  
Entfernung von  
Gipsschleimern

Mg-salze werden oft erst bei der 2. oder 3. Kompressen erfasst.

### Kompressenputze

(nicht genormte) Opferputze, die auf feuchte- und salzbelastetes Mauerwerk mit geringer Festigkeit abgestimmt sind, kapillaraktiv bei einer hohen Gesamtporosität (30 – 60 Vol%) und Wasserdampfpermeabilität ( $\mu < 10$ ) sein sollen. Mindestschichtdicke 2,5 cm

Geeignet sind stark gemagerte Kalkputze (evtl. Kalkspatzenmörtel) mit passender Sieblinie des Zuschlags (weniger Feinstkorn) - möglich ist auch eine Zugabe von porigen Zuschlägen (z.B. Blähton)

Entscheidend für die Wirksamkeit sind weiters:

- Gute Haftung auf dem Untergrund, ohne Sinterhaut
- Ausreichend dauerfeuchtes Mauerwerk, das Kapillartransport in den Putz ermöglicht

Im Unterschied zu normalen Kompressen ist die Wirkung des Kompressenputzes eine langfristige (- jedoch keine dauerhafte!).

### Voruntersuchungen bei der Planung von Salzreduktionsmaßnahmen

- Identifizierung (Kartierung der belasteten Stellen)

- Analyse von Salzgehalt (Chemisches Labor)



- Analyse von Feuchtigkeitsgehalt



Protimeter

- Untersuchung der Wand in Hinblick auf Wahl einer Entsalzungsmethode (Probekompressen)



Karstensches Prüfröhrchen

### Salzreduktions- bzw. Entfeuchtungsmethoden

#### Bauliche Maßnahmen

Lüftung

Drainagegräben

Dichtungen

...



Gurk, Kärnten, Dom, historische Drainagierung

## Entsalzungs- bzw. Entfeuchtungsmethoden

### 1) Vertikale Dichtungen

Außen anbringen, Feuchtigkeit des Innenraumes muss abgeführt werden

### 2) Horizontale Dichtungen

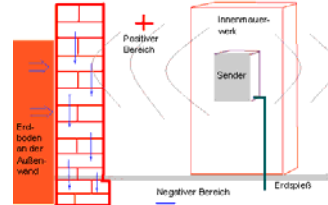
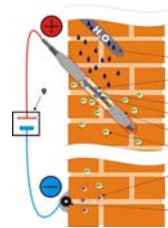
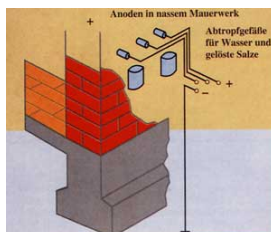
- a) Durchschneiden (Kunststoffolie, bitumenbeschichtete Alufolie, Edelstahlbleche, ...)
- b) Einschlagen von Edelstahlblech
- c) Unterfangverfahren (Unterpressen mit Beton)
- d) Injektlagen (Zemente, Acrylate, Epoxide, PU, Siloxane, heisse Paraffine...)



### 3) Elektrophysikalische u. elektrokinetische Verfahren (Osmose) (Wirkung umstritten\*)

- a) Passive Verfahren (Potentialdifferenz zw. 2 Metallen oder Mauer und Grund)
- b) Aktive Verfahren (Fremdspannung, Nachteil: Elektroden korrodieren)
- c) Elektrodenlose Verfahren (*wirkungslos*)

} Flankierende Maßnahmen setzen!

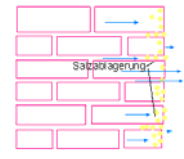


## Alternative Methoden

- seit 1980ern, zahlreiche Anbieter am Markt
- ein „geoenergetisches Kraftfeld gravomagnetischer Natur“ (???)
- Prinzip: „Über einen Empfänger werden schwache magnetische Strahlungen empfangen, umgewandelt und über eine Antenne abgestrahlt, die dann der aufsteigenden Feuchte entgegenwirken. Zusätzlich fließt von oben Raumenergie ein und verstärkt das Gerät in seiner Wirkung, indem es die Stärke des abgegebenen Wirkfeldes erhöht.“
- Vom Vertreter wird auf das Prinzip der Elektroosmose verwiesen aber nicht erklärt, wie dieser Effekt mittels Funkwellen realisiert werden soll
- Wirksamkeit ist wissenschaftlich nicht nachweisbar bzw. anerkannt.
- in Deutschland in der öffentlichen Bauverwaltung nicht zugelassen
- Diverse Gerichtsurteile mittlerweile vorhanden



Feuchtigkeit vom Boden  
 Feuchtigkeit durch Wassereintritt (Rohre, Dach etc)  
 Feuchtigkeit aus der Luft (Kondensfeuchte, hygroskopische Salze)



Opferputz (Kalkputz)

- Salze kristallisieren im Putz aus oder wandern bis an die OF

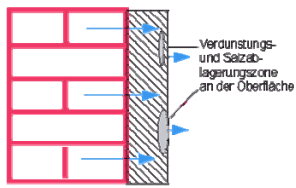
Sperrputz (Zementputz)

- Feuchtigkeit kann schlecht abgegeben werden (hoch treiben)
- Salze bleiben im Grenzbereich (Salzspaltung)
- Rißbildung begünstigt kapillare Wasseraufnahme

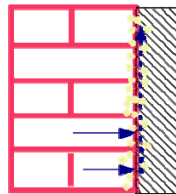
Sanierputz (Zementputz mit Poren)

- meist 2 schichtiger Aufbau
- Salze werden im Porenraum immobilisiert (dringen nicht an OF)
- Schlechte Wasserabgabe
- Mit Vorsicht zu genießen / nur in Kombination mit Isolierungen

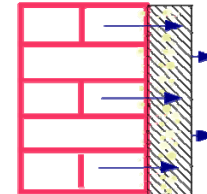
Kapillare Wasserwanderung und Salzverteilung bei kapillarreaktiven Kalkputz



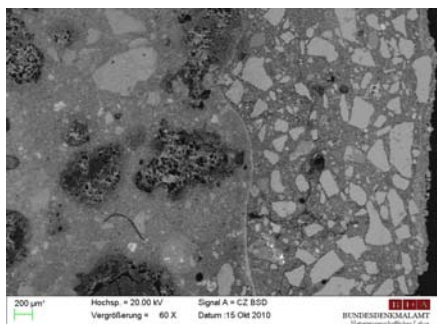
Kapillare Wasserwanderung und Salzverteilung Zementputze



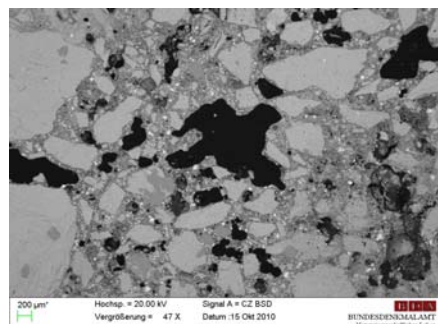
Kapillare Wasserwanderung z.B. bei Sanierputzen



Sanierputzsysteme



Putz mit Perlit



Putz mit Porenbildner



## Sonderfall Magnesiumsalze

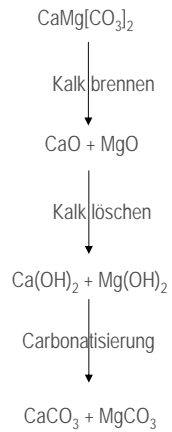
Universität Wien, Arkadengang



### Löslichkeiten:

$\text{CaCO}_3$  : 0,01 g/l  
 $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  : 1,8 g/l  
vgl. Gips : 2,4 g/l

Kalk:  $\text{CaCO}_3$   
Dolomitkalk:  $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$



## Schäden/Probleme bei Dolomitkalk:

- $\text{MgCO}_3$  wird selektiv ausgewaschen (Versinterungen an OF, Grauschleierbildungen)  
⇒ Bindemittelverlust und Versinterungen bzw. Grauschleierbildungen an OF  
⇒ Ammoniumacetat
- Bildung von Mg-Salzen ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ )  
⇒ Schwierigkeiten bei Kompressenentsalzungen

### Löslichkeiten:

$\text{MgNO}_3$ : 420 g/l  
 $\text{MgCl}_2$ : 542 g/l  
 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 1670 g/l  
 $\text{MgSO}_4$ : 300 g/l  
 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ : 710 g/l  
 $\text{MgCO}_3$ : 0,1 g/l  
 $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ : 1,8 g/l

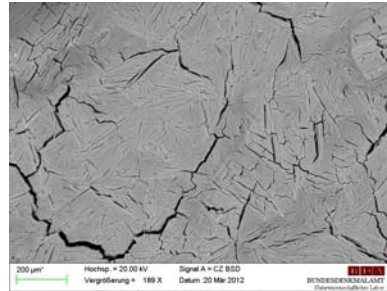
### Sonderfall Magnesiumsulfat:



$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 + \text{CaSO}_4$   
Grundsätzlich gute Abbindung

Bei Feuchteintrag:

Bildung von  $\text{MgSO}_4$ !



typ. Restaurierungsfälle:

- Abwaschen von Leimfarben
- Kompressenentsalzung
- Hinterfüllen



Pfarrkirche, Langscharza, NÖ



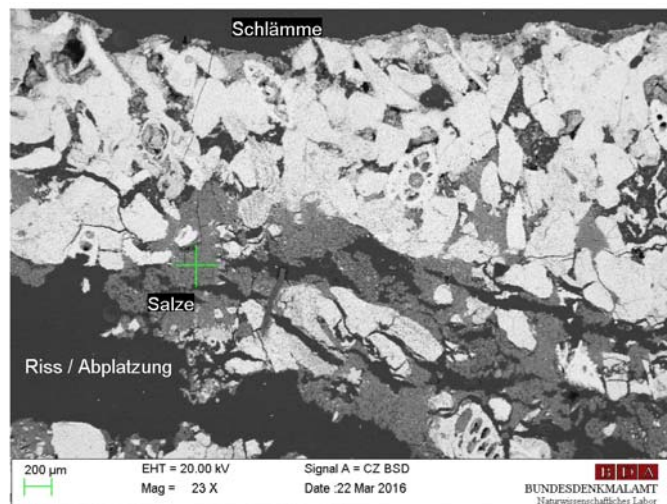
Raabs, NÖ, März 2009

Der „Schadensklassiker“



Straße in Zagreb, April 2009

Problemfall Hydrophobierung





Kupfersalze



Wien 1, Maria Theresien Platz,  
Fassadenansicht KHM, Winter 2009

Eisenoxide (Rost)



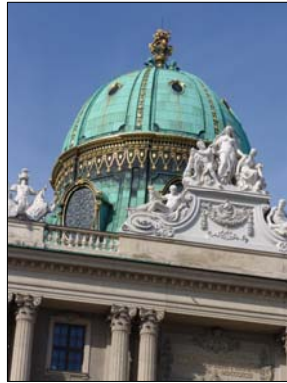
Problemfall Kupferdächer



Wien 7, Altlerchenfelder Kirche, Dachdeckung,  
Nord-Turm, Sommer 2009



Sommer 2016



Alte Kupferpatina besteht überwiegend aus Brochantit, einem basischen Kupfersulfat.  
Die Bildung erfolgt durch SO<sub>x</sub> und NO<sub>x</sub> aus der Luft, in Kombination mit Luftfeuchtigkeit.  
Durch die steigende Luftqualität (in Europa) fehlen nun diese Substanzen. Folge: Kupfer bildet  
„nur noch“ braune Oxide.

Abhilfe durch:  
Vorphatinierte Kupferbleche  
Grün lackierte Kupferbleche (verzinkte Eisenbleche)  
Künstliche Patinierung insitu



Wien 1, Parlament, Baustelle 2006

