



Conservation Science Consulting Sàrl

## Massnahmen Mittel und Methoden

Christine Bläuer

Steine und Mörtel / Massnahmen 1

### Konservierungsmassnahmen

Bauliche Massnahmen, Bauunterhalt

Präventive Massnahmen

Eingreifende Massnahmen

- Reinigung
- Salzreduktion
- Stein- und Putzersatz
- Festigung
- Hydrophobierung
- Oberflächenschutz

Steine und Mörtel / Massnahmen 2

Herangehensweisen an Erhaltungsmassnahmen -  
geordnet nach abnehmender Wirksamkeit  
(„Arnold Hierarchie“)

Präventive Massnahme – richtet sich gegen die  
Ursachen (z.B. Schutzdach)

Passive Massnahme – richtet sich gegen die  
Aktivierungsmechanismen (z.B. Klimakontrolle)

Konservierung – (ver)stärkt das Objekt (d.h. das  
Material)

Restaurierung – vertuscht/tarnt die Schäden

nach Sharon Cather (2003): Assessing causes and mechanisms of detrimental change to wall paintings. In: R. Gowing and A. Heritage (Eds) Conserving the painted past: developing approaches to wall painting conservation. Post-prints of a conference organised by English Heritage, London 2-4 December, London. (Übersetzung Bläuer Böhm)

Steine und Mörtel / Massnahmen 3

Für alle Massnahmen gilt das

**Prinzip des minimalen Eingriffs**

Das heisst, es wird versucht einen  
eingestellten, mehr oder weniger stabilen  
Zustand so wenig als möglich und nur  
soweit wirklich notwendig zu verändern

Steine und Mörtel / Massnahmen 4

### Massnahmen

- **passive** Massnahmen - verändern die  
Umgebungsbedingungen in der Art, dass  
sie dem Objekt weniger schaden
- **eingreifende** Massnahmen - verändern das  
Material in der Art, dass es die  
Umgebungsbedingungen besser erträgt –

Steine und Mörtel / Massnahmen 5

### Bauliche Massnahmen

Steine und Mörtel / Massnahmen 6

Statik

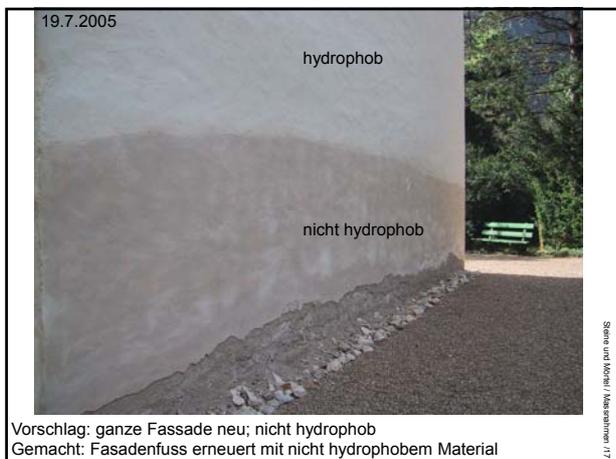
Steine und Mörtel / Massnahmen / 7

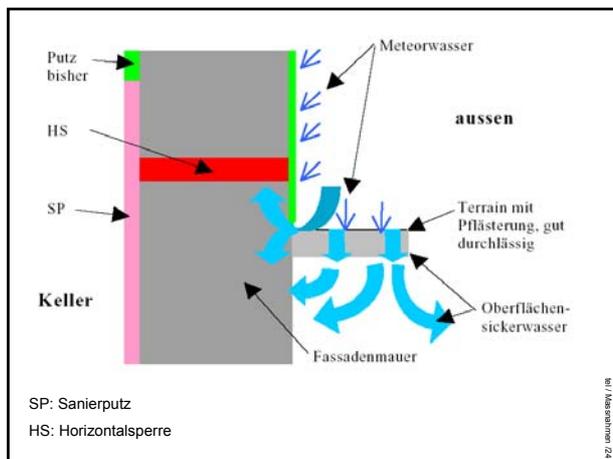
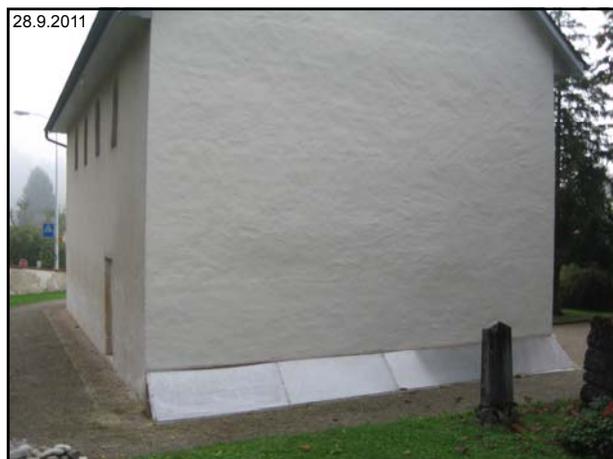


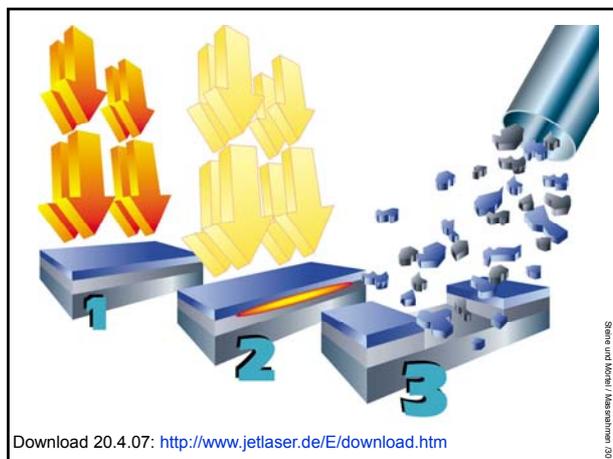
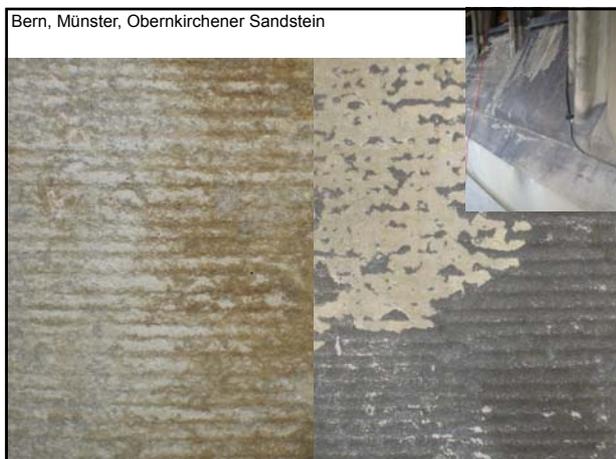
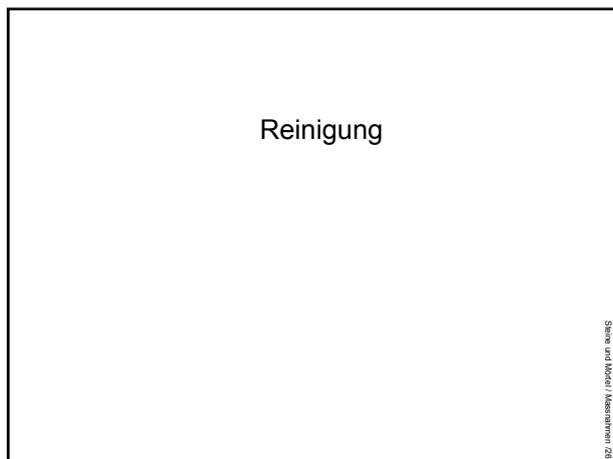
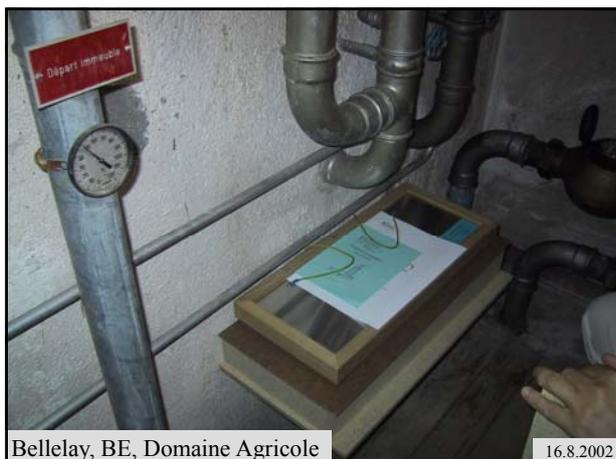
Isolierung gegen  
Feuchtigkeit von oben  
Bauunterhalt

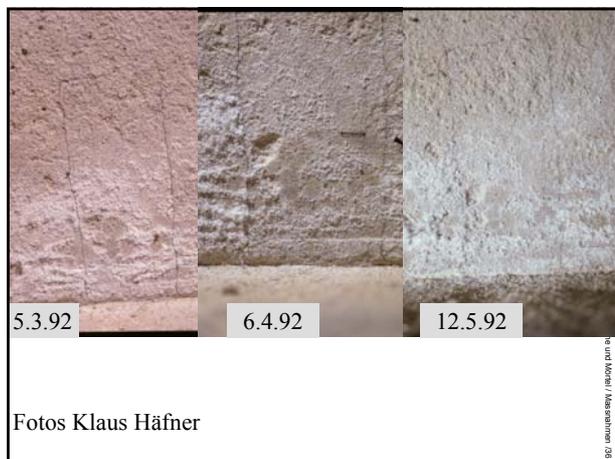
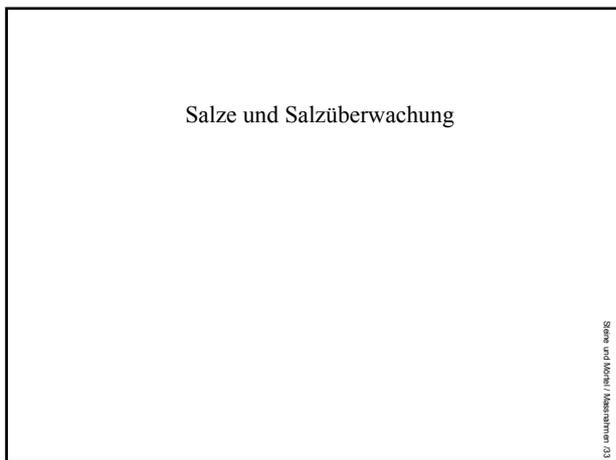
Steine und Mörtel / Massnahmen / 9

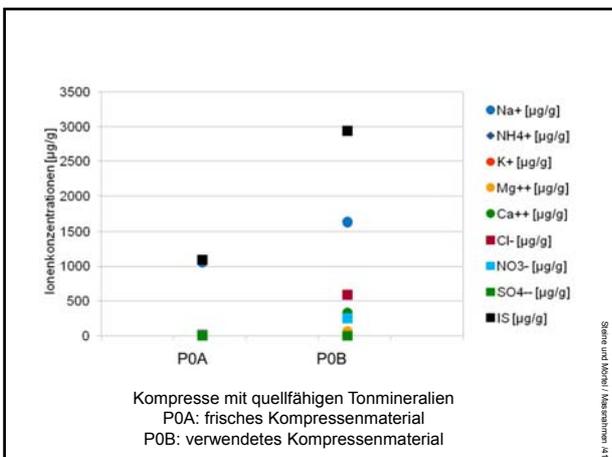
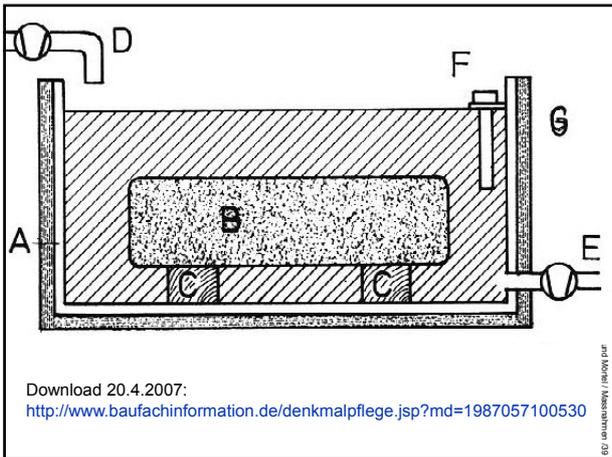
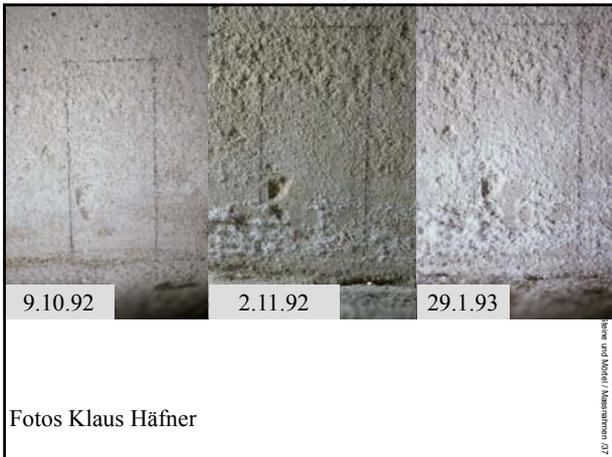


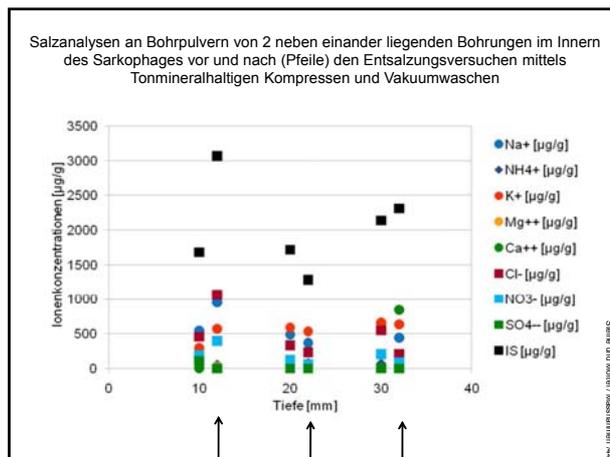








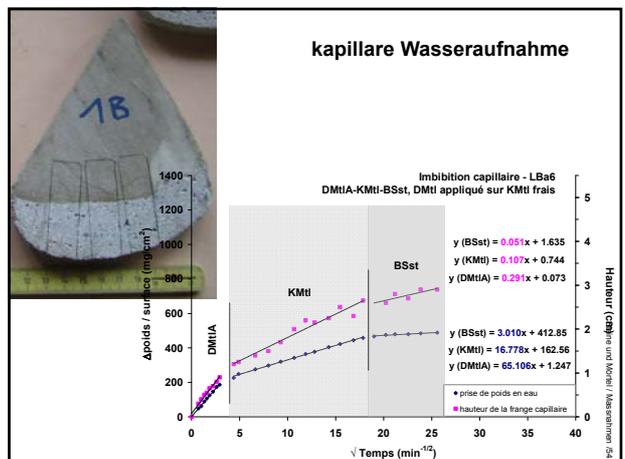
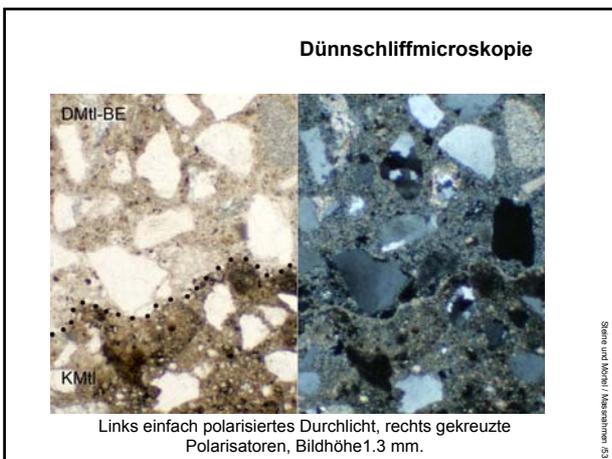
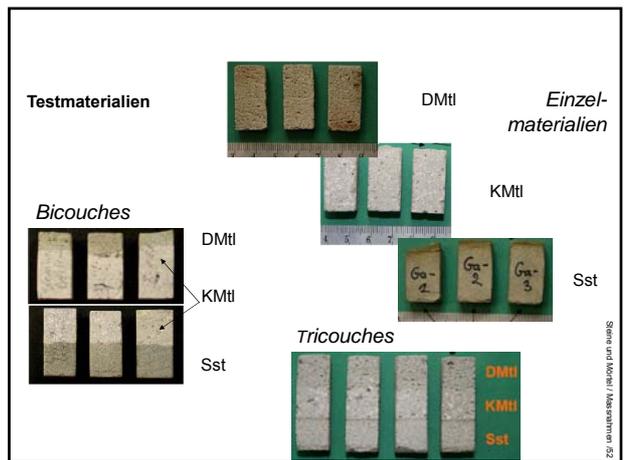
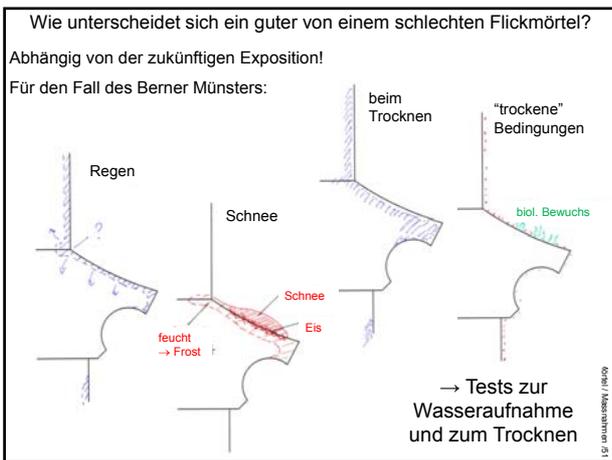


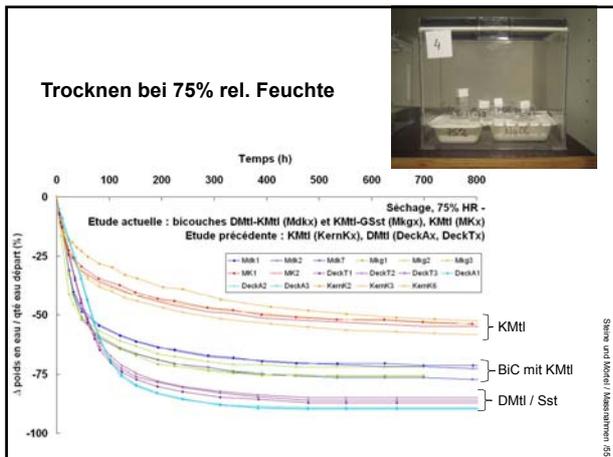


Stein und Putzersatz  
Flicken, Reparieren

Steine und Mörtel / Massnahmen 4d







### Resultate

Modellermörtel gut auf Steinmaterialien abgestimmt, aber:

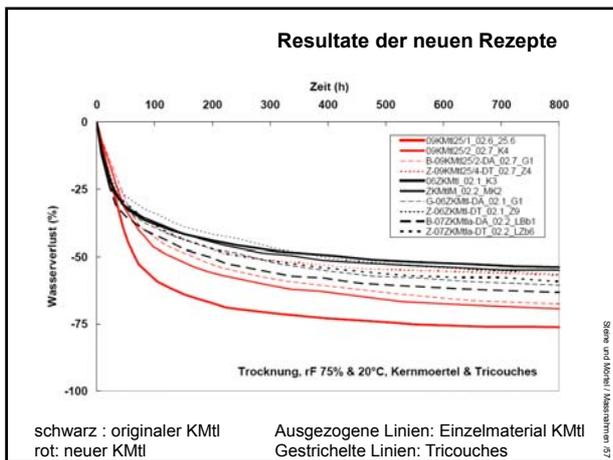
	Sst-BE	Sst-Zug	KMI	DMti-BE	DMti-Zug
Trocknen 200h bei 75% rel. Feuchte	82	77	43	83	79
Trocknen 400h bei 75% rel. Feuchte	86	82	50	89	84

**deshalb:**

- Gute Überdeckung des Kernmörtels mit Deckmörtel (besonders an +/- horizontalen Flächen)
- Vermeidung von stagnierendem Wasser
- Dübel

**und:**

- Versuche mit abgeänderten Mörtelrezepten (zuerst Verarbeitbarkeit geprüft, erst danach Labortests)



## Festigung

Steine und Mörtel / Massnahmen 61

Jede Festigung hat das Ziel, einen zu schwachen Verband in einem Baumaterial so zu verstärken, dass seine Festigkeit dem bestimmten Zweck genügt.

Steine und Mörtel / Massnahmen 62

## Festigungsaufgaben

bis cm gross

Baugrundinjektion  
statische Schäden Mauerwerk

cm bis mm gross

Schalenbildung  
Putzablösungen

kleiner als mm

aufgelockertes Gestein  
mürber Verputz  
ablösende Malschichten

Steine und Mörtel / Massnahmen 63



Steine und Mörtel / Massnahmen 64

Festigung von Rissen und Hohlräumen



Grabmal von Salis Friedhof Daleu, Chur

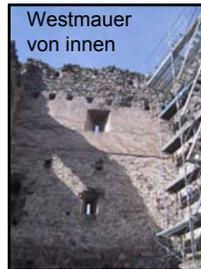
Steine und Mörtel / Massnahmen 65



Luzern, Museggmauer, Luegislandturm  
Putzablösung

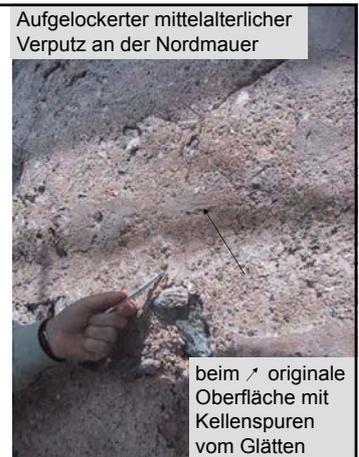


Bern, Bibliotheksgässli, aufgelockerter Berner Sandstein



Westmauer von innen

Brienz GR, Belfort, Palas



Aufgelockerter mittelalterlicher Verputz an der Nordmauer

beim / originale Oberfläche mit Kellenspuren vom Glätten



abblätternde Malschichten

Fürstenaу GR Stoffelhaus

ca. 5cm

### Anforderungen an die Festigungsmittel

- Eine genügende Festigkeit vermitteln
- Den ästhetischen und stilistischen Eindruck nicht stören
- Weitere Restaurierungs- und Konservierungsmassnahmen nicht verhindern
- Spätere Festigungen mit anderen Mitteln nicht verhindern
- Den Zerfall durch Verwitterung nicht beschleunigen

Steine und Mörtel / Massnahmen / 70

### Zusatzbedingungen an die Mittel bei rein konservierenden Massnahmen:

- möglichst **witterungsbeständig** sein
- thermische und hygrische Ausdehnung **ähnlich dem Wirtmaterial**
- keine Schadstoffe** enthalten oder solche im Stein, Mörtel oder Farbanstrich erzeugen
- Wasserhaushalt** nicht zu stark beeinflussen

### Zusätzliche Anforderungen an Imprägniermittel:

- genügende **Eindringtiefe**
- keine zu harte und spröde **Oberfläche** verursachen
- kein Oberflächenverschluss** für Wasser und Wasserdampf

Steine und Mörtel / Massnahmen / 71

	bis cm-gross	cm bis mm	kleiner als mm
	Mörtel	Schlämmen Suspensionen	Lösungen Schmelzen
	<b>Mineralische Festigungsmittel</b>		
	Kalk, Kalk-Zement-, Zementmörtel, Kalk-Trass-Mörtel	Kalkeig, Kalkmilch, Zementschlämmen, Zementmilch	Kalkwasser Wasserglas Fluate
	<b>Kunststoffe</b>		
	Kunststoffmörtel: verschiedene Kunstharze mit Zuschlägen		Kunstharze: Harze verschiedener Viskosität Kunstharzlösungen
	<b>Organosilikate Kieselensäureester (Silicone, Silane)</b>		
	Spezialmörtel	<b>Schnell abbindende</b> Materialien	Kieselensäureethylester Flexibilisierte KSE Silicasol
	<b>Flüchtige Bindemittel</b>		
	unpolare zyklische Kohlenwasserstoffe		
	<b>Naturharze, Teer, u. a.</b>		
	haben nur geringe Bedeutung		

Festigungsmittel

72

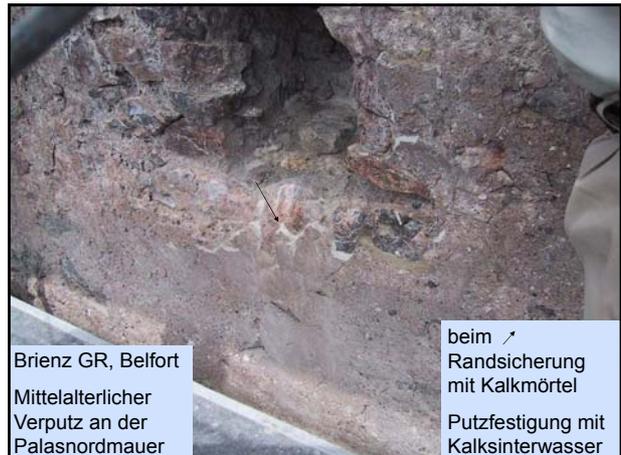
## Imprägnierung

### Kalksinterwasser

Anwendung:  
Festigung von Kalkverputzen

Probleme:  
geringe Löslichkeit von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; (1.85g/L bei 0° C)  
hoher Wassereintrag  
Kalkschleier auf Oberfläche (Wandmalerei)  
keine nachgewiesene Festigungswirkung

Steine und Mörtel / Massnahmen / 73



Brienz GR, Belfort  
Mittelalterlicher  
Verputz an der  
Palasordmauer

beim ↗  
Randsicherung  
mit Kalkmörtel  
Putzfestigung mit  
Kalksinterwasser

### Neue Produkte auf Kalkbasis

- Dispergiertes Weisskalkhydrat
- Kolloidales Calciumhydroxid, Nanokalk (Markenname = CaloSil®) – sehr feinteiliges Calciumhydroxid in alkoholischer Lösung  
[http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL\\_DE.pdf](http://www.ibz-freiberg.de/download/pdf/nanomaterialien/CaLoSiL_DE.pdf)

Steine und Mörtel / Massnahmen / 73

## Wasserglas

### Herstellung:

#### Schmelzen



wobei Me = Natrium, Kalium, (Lithium)

#### Lösen



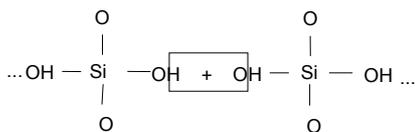
pH der Lösung > 12!

Steine und Mörtel / Massnahmen / 73

### Abbinden



Bildung des  $\text{SiO}_2$ -Gels durch Abspalten von Wasser



Steine und Mörtel / Massnahmen / 77



Wasserglas =  
Bindemittel der Keimschen Mineralfarben

Bild links: Fassade in Stein am Rhein von aus:  
<http://www.keim.ch/referenzen/originalmalerei/>

Unten Hotel Adler Stein am Rhein,  
Wasserglasmalerei von Alois Carigiet



**Fluate**  
 wasserlösliche Salze der Fluorokieselsäure  
 allgemeine Formel  $\text{Me}[\text{SiF}_6]$   
 (Me = z.B.  $\text{Na}_2$  oder Me = Mg, Pb, Al, Zn)  
 Verwendet als saure, wässrige Lösung (giftig)

z.B. Mg-Fluat:  
*Festigung von Zement*  
 $\text{MgSiF}_6 + 2\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{CaF}_2 + \text{MgF}_2 + \text{SiO}_2$

*Fluate mit Kalk*  
 $\text{MgSiF}_6 + 2\text{CaCO}_3 \rightarrow 2\text{CaF}_2 + \text{MgF}_2 + \text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2$

Steine und Mörtel / Massnahmen 81

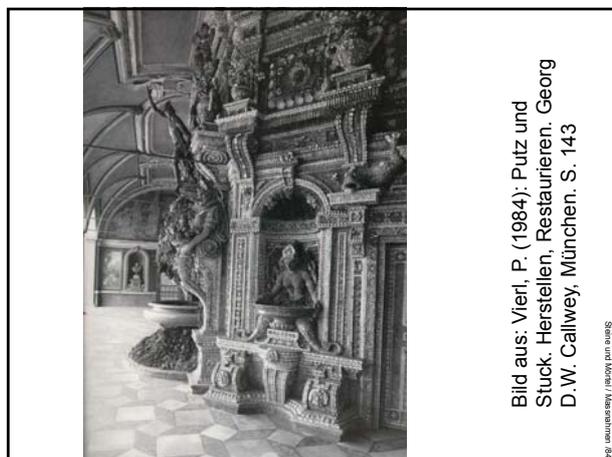




Bild aus: Vierl, P. (1984): Putz und Stuck. Herstellen, Restaurieren. Georg D.W. Callwey, München. S. 145

**Fluat auf Gipsmörtel**

$$\text{MgSiF}_6 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CaCO}_3 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow$$

$$3\text{CaF}_2 + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + 2\text{SiO}_2 + \text{CO}_2$$

Steine und Mörtel / Massnahmen 86

**Steinfestiger müssen:**

- flüssig sein, damit sie gut aufgesaugt werden können
- bis dorthin eindringen, wo eine zusätzliche Festigkeit benötigt wird (tief oder auch nicht!)
- fest werden (am richtigen Ort)
- Die petrophysikalischen Eigenschaften auf keine unerwünschte Art und Weise ändern

Beispiel:  
**Kieselsäureethylester (KSE)**

Steine und Mörtel / Massnahmen 87

**Kieselsäureethylester**

Tetraethoxysilan (TEOS):  $\text{R}_1=\text{R}_2=\text{R}_3=\text{C}_2\text{H}_5$

$$\begin{array}{c} \text{R}_2 \\ | \\ \text{O} \\ | \\ \text{R}_1 - \text{O} - \text{Si} - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5 \\ | \\ \text{O} \\ | \\ \text{R}_3 \end{array}$$

$$\begin{array}{c} | \\ -\text{Si} - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5 + \text{C}_2\text{H}_5 - \text{O} - \text{Si} - \\ | \end{array}$$

+ H<sub>2</sub>O (adsorbiertes Wasser)  
↓ Hydrolyse

$$\begin{array}{c} | \\ -\text{Si} - \text{OH} + \text{HO} - \text{Si} - + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \\ | \end{array}$$

(Ethanol)  
↓ Kondensation, Polymerisation

$$\begin{array}{c} | \\ -\text{Si} - \text{O} - \text{Si} - \text{O} - \text{Si} - \text{O} - + \text{H}_2\text{O} \\ | \end{array}$$

**Zusammenfassung**

R. braucht Katalysator = oft Sn  
R. braucht Wasser = adsorb. Wasser  
Reaktionsprodukt = SiO<sub>2,n</sub> ≈ Silikagel

Steine und Mörtel / Massnahmen 88

Verkaufsprospekt 1985

Prospekt Wacker-Chemie GmbH, München, August 1985: Fassadenimprägnierung mit Silicon-Bautenschutzmitteln, S. 6

Imprägnierung mit einem Silikon-Spritzer (20-30 cm Abstand) so weit auftragen, dass das Imprägniermittel 30-60 cm abtrocknet.

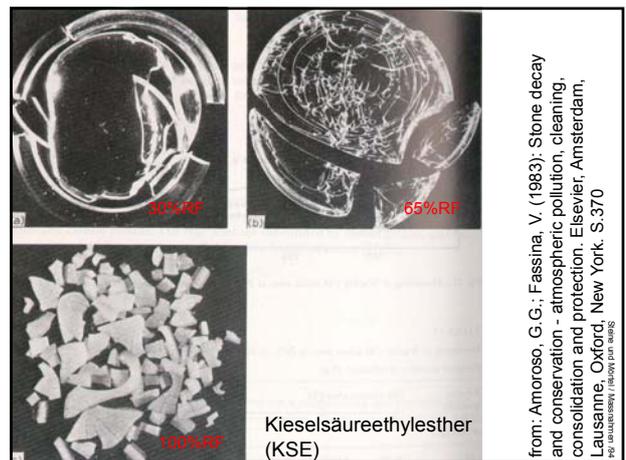
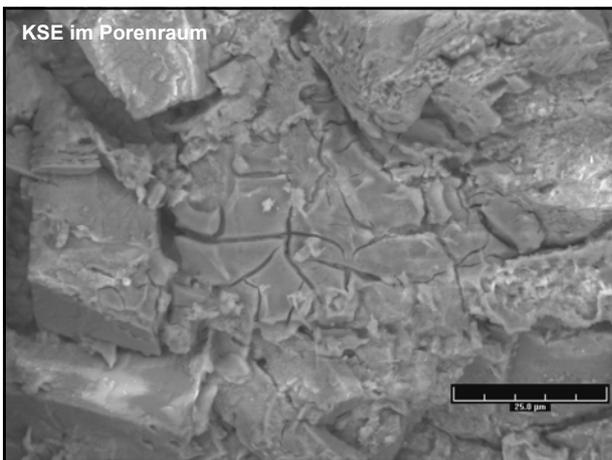
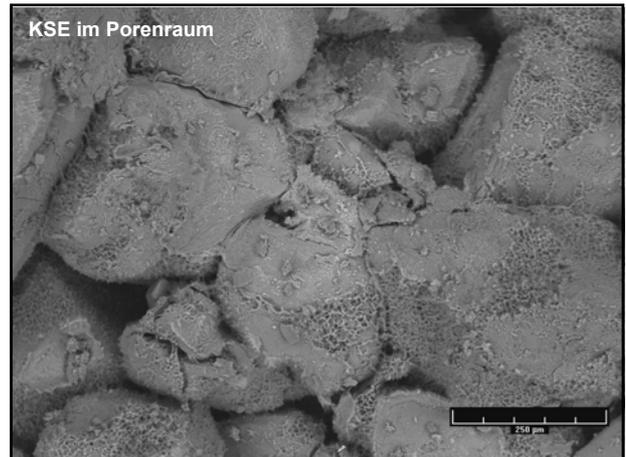
Imprägnierung mit einem Anstrichgerät so weit auftragen, dass das Imprägniermittel 30-60 cm abtrocknet.

Imprägnierung mit einer Lamellen-Rolle, die ständig durch feine Düsen mit Imprägniermittel befeuchtet wird. Abstand durch Abstreifen mit einer Probe- und Schichtprüflehre einhalten.

Steine und Mörtel / Massnahmen 89

Applikation 2010

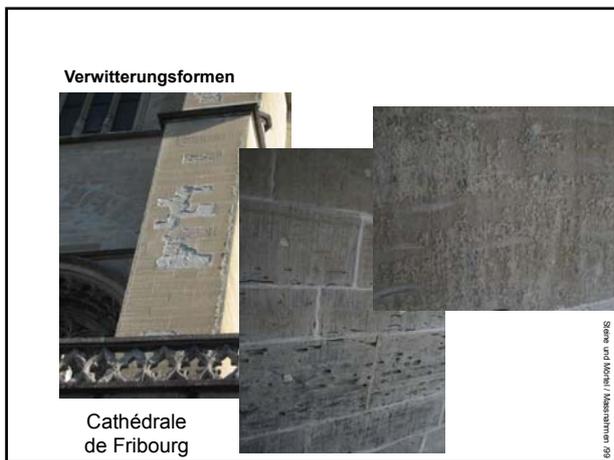
Steine und Mörtel / Massnahmen 90



**Projet de contrôle et de suivi des consolidations**  
**Projekt Nachkontrolle von Festigungsmassnahmen**

Bericht verfügbar unter:  
[http://www.cscsarl.ch/files/r0014\\_01f\\_bs\\_be\\_fr\\_vd\\_4kt.pdf](http://www.cscsarl.ch/files/r0014_01f_bs_be_fr_vd_4kt.pdf) (Français)  
[http://www.cscsarl.ch/files/r0014\\_01d\\_bs\\_be\\_fr\\_vd\\_4kt.pdf](http://www.cscsarl.ch/files/r0014_01d_bs_be_fr_vd_4kt.pdf) (Deutsch)

Steine und Mörtel / Massnahmen 06

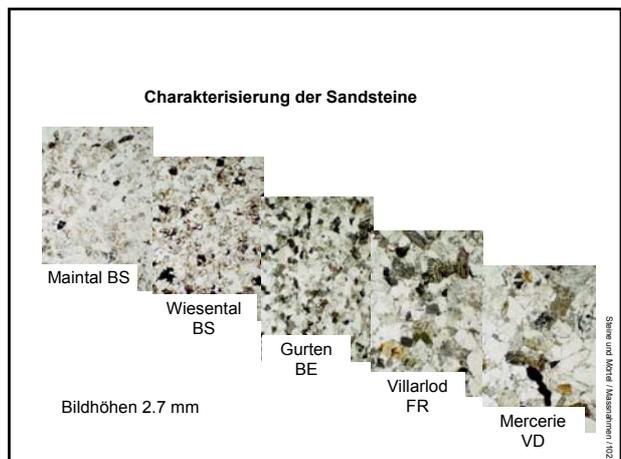


**Durch die Münster/Kathedralen gewählte Festiger:**

Steinfestiger OH 100 von Sax :  
BS, FR und LSN

FUNCOSIL Steinfestiger 300 von Remmers : BE

Steine und Mörtel / Massnahmen / 101





Gesamtporosität

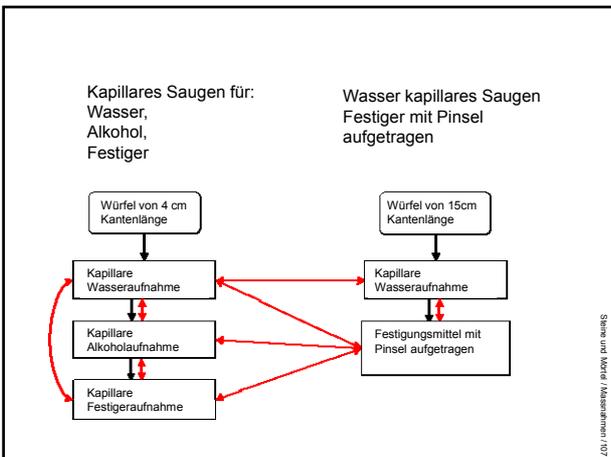
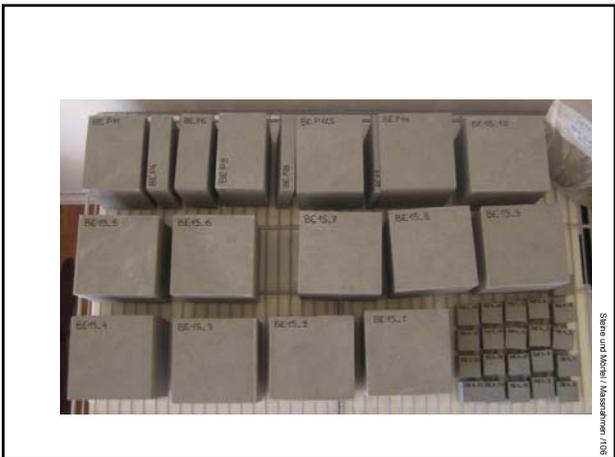
$$P_{ot} = \frac{V_p}{V_t} \times 100 = \frac{V_t - V_s}{V_t} \times 100 \quad [\%]$$

$$P_{ot} = \frac{P_{d2} - P_{ds}}{P_{d2} - P_{d1}} \times 100 \quad [\%]$$

$P_{ot}$  = Porenanteil [Vol-%]  
 $P_{d1}$  = Gew. unter Wasser (hydrostati. Wägung) [kg]  
 $P_{d2}$  = Gew. gesättigte Probe [kg]  
 $P_{ds}$  = Trockengewicht [kg]

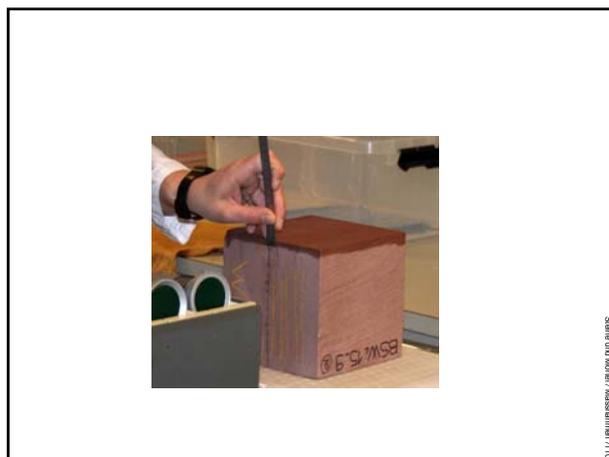
Gesamtporosität

	# Proben	Mittlw. (%)	Std. Abw. (%)	Min. (%)	Max. (%)
BS / Maintal	10	<b>16</b>	0.2	15.4	16.0
BS / Wiesental	18	<b>20</b>	3.2	13.8	23.1
BE / Gurten	21	<b>16</b>	0.2	15.9	16.6
FR / Villarod	20	<b>16</b>	0.2	15.6	16.0
VD / Mercerie	14	<b>12</b>	1.8	8.6	12.9

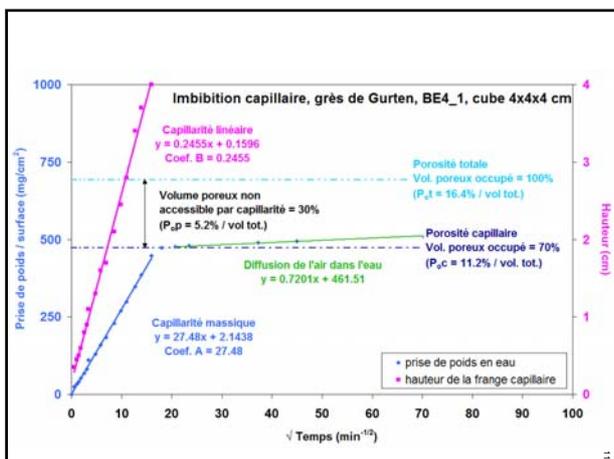




Steine und Mörtel / Massnahmen / 109



Steine und Mörtel / Massnahmen / 110



11



Steine und Mörtel / Massnahmen / 112

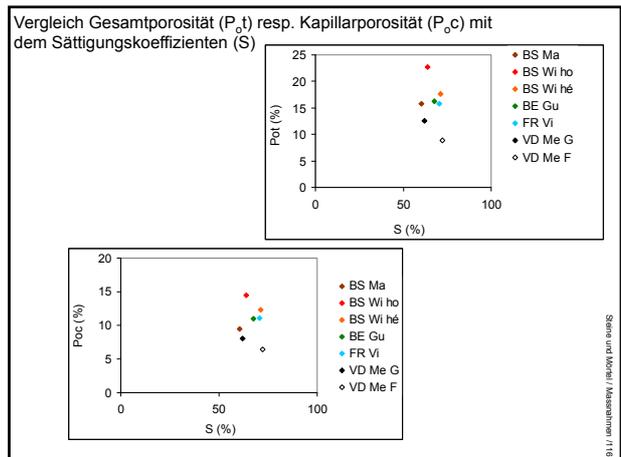
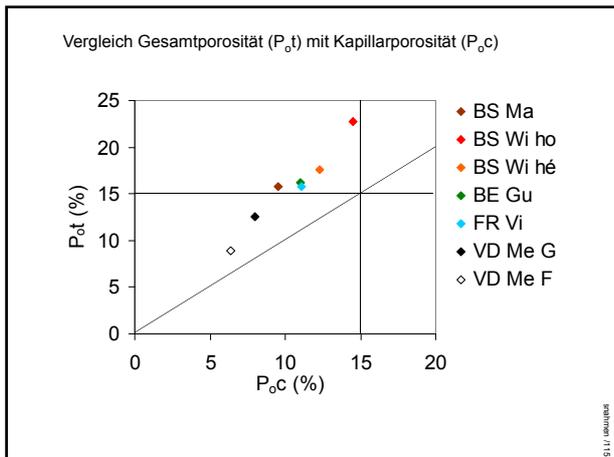


Steine und Mörtel / Massnahmen / 113

Würfel 4x4x4	Kapillarporosität P <sub>c</sub> (%)			Sättigungskoeff. S (%)		
	Wasser	Alkohol	KSE	Wasser	Alkohol	KSE
BS Maintal	10	9	9	60	60	59
BS Wiesental hom.	15	15	15	64	65	64
BS Wiesental het.	12	12	13	71	65	63
BE Gurten	11	11	10	68	69	64
FR Villarod	11	11	11	71	70	67
VD Mercerie grob	8	8	8	64	63	60
VD Mercerie fein	6	6	6	72	72	68

Vergleich Kapillarporosität (P<sub>c</sub>) und Sättigungskoeffizienten (S) gemessen beim kapillaren Saugen von Wasser, Alkohol und Festiger an Würfeln von 4 x 4 x 4 cm<sup>3</sup> der verschiedenen Sandsteine.

Steine und Mörtel / Massnahmen / 114

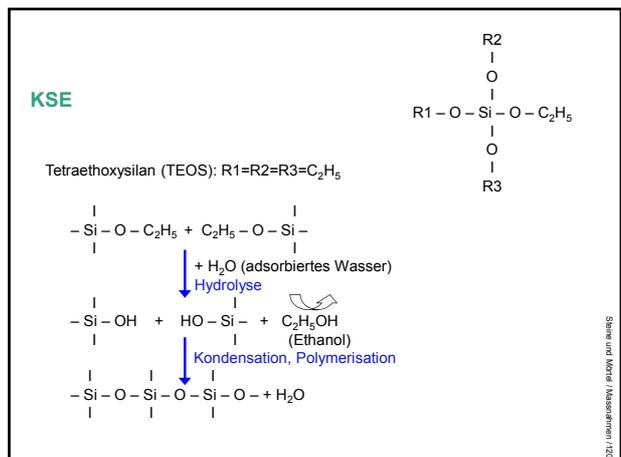
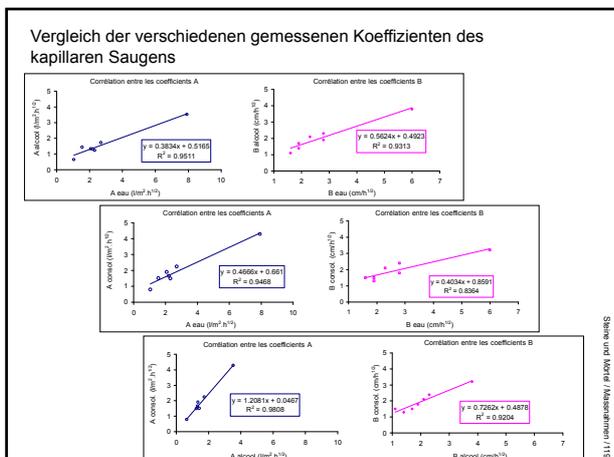


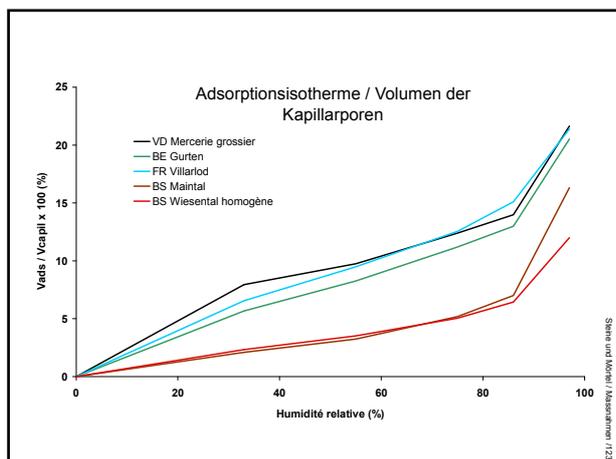
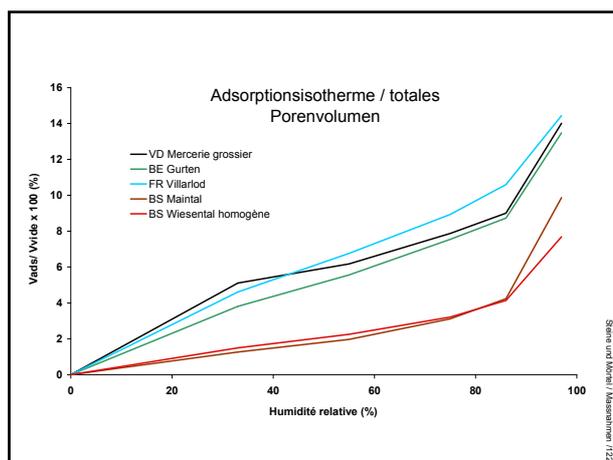
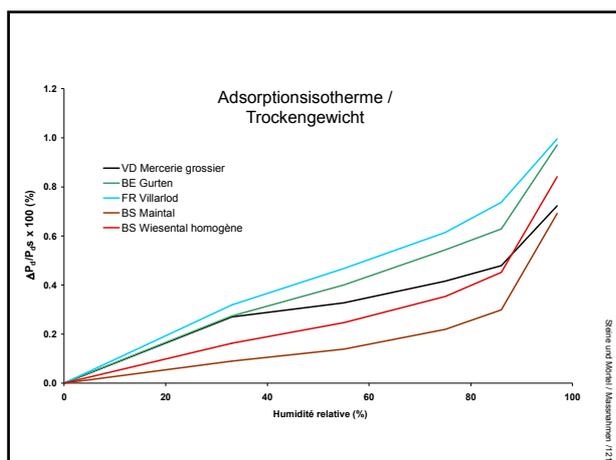
Kapillarkoeff. A' ( $l/m^2 \cdot h^{1/2}$ )	Wasser / Saugen		Alkohol / Saugen	Festiger / Saugen	Festiger / Pinseln
	4x4x4	15x15x15	4x4x4	4x4x4	15x15x15
BS Maintal	2.31	2.43	1.27	1.49	1.05
BS Wiesental hom.	7.92	-	3.61	4.28	-
BS Wiesental het.	1.56	2.01	1.47	1.51	-
BS Wiesental hom. + het.	-	-	-	-	0.92
BE Gurten	2.08	2.24	1.37	1.90	1.06
FR Villarod	2.69	2.41	1.77	2.24	1.35
VD Mercerie grob	2.20	-	1.34	1.66	-
VD Mercerie fein	1.05	-	0.66	0.79	-
VD Mercerie fein + grob	-	1.48	-	-	0.82

Volumenspezifische Kapillarkoeffizienten (A') ausgedrückt als  $l/m^2 \cdot h^{1/2}$ , gemessen für die verschiedenen Sandsteine durch kapillares Saugen (/ Saugen) resp. durch Aufpinseln (/ Pinseln) mit Wasser, Alkohol oder Festiger, auf Würfeln mit Kantenlänge 4 oder 15 cm.

Kapillarkoeff. B ( $cm/h^{1/2}$ )	Wasser / Saugen		Alkohol / Saugen	Festiger / Saugen	Festiger / Pinseln
	4x4x4	15x15x15	4x4x4	4x4x4	15x15x15
BS Maintal	2.8	2.8	1.9	1.8	1.2
BS Wiesental hom.	6.0	-	3.8	3.2	-
BS Wiesental het.	1.9	1.8	1.4	1.3	-
BS Wiesental hom. + het.	-	-	-	-	0.9
BE Gurten	1.9	2.2	1.7	1.5	1.3
FR Villarod	2.3	2.3	2.1	2.1	1.6
VD Mercerie grob	2.8	-	2.3	2.4	-
VD Mercerie fein	1.6	-	1.1	1.5	-
VD Mercerie fein + grob	-	1.9	-	-	1.3

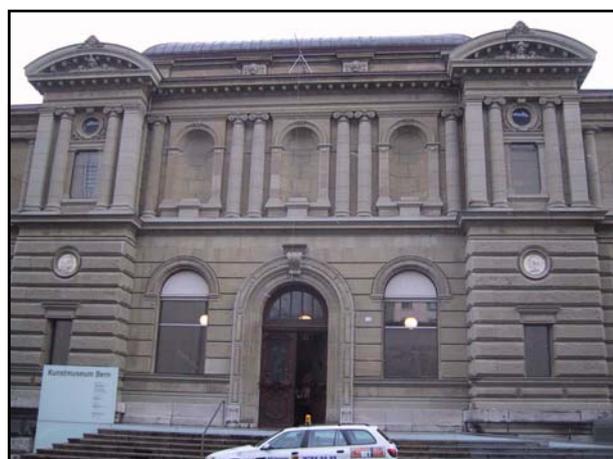
Lineare Kapillarkoeffizienten (B) in  $cm/h^{1/2}$ , gemessen für die verschiedenen Sandsteine durch kapillares Saugen (/ Saugen) respektive durch Aufpinseln (/ Pinseln) mit Wasser, Alkohol oder Festiger, auf Würfeln der Kantenlänge 4 oder 15 cm.

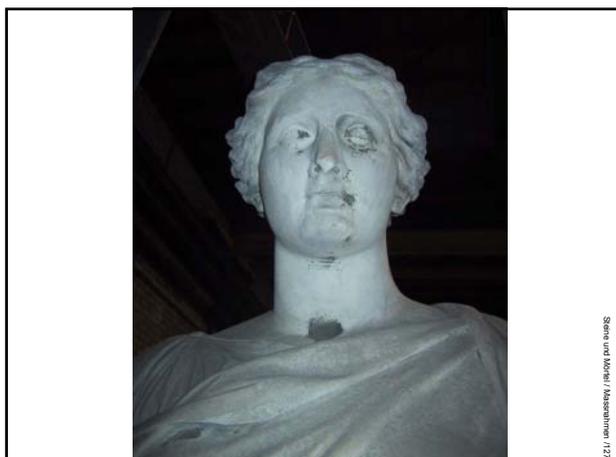




**Kunstharze**  
**Kunstharzlösungen**  
Acrylische Polymere  
z.B. Paraloid B 72  
Polymetacrylat (PMA),  
Polymethylmetacrylat (PMMA), etc.

Spezialfall: Acrylharzvolltränkung (AVT)  
Acrylate oder Polyesterharze dürfen vor der AVT nicht verwendet werden





Steine und Mörtel / Massnahmen / 127



Steine und Mörtel / Massnahmen / 128

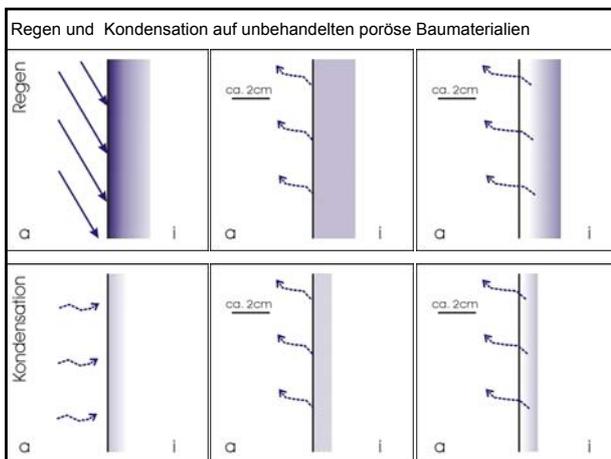


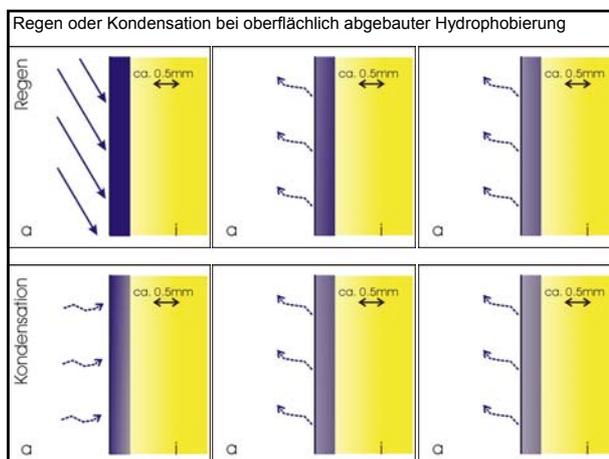
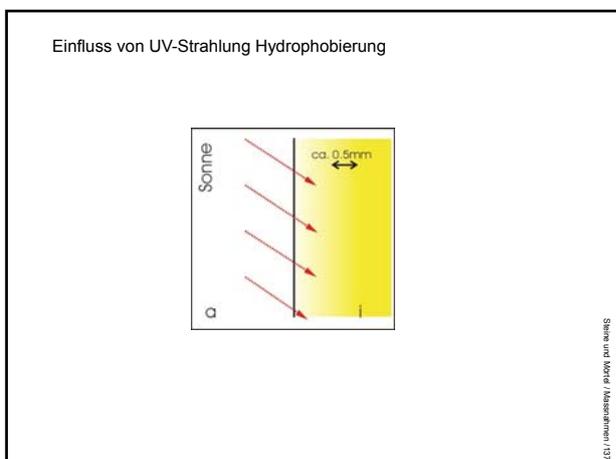
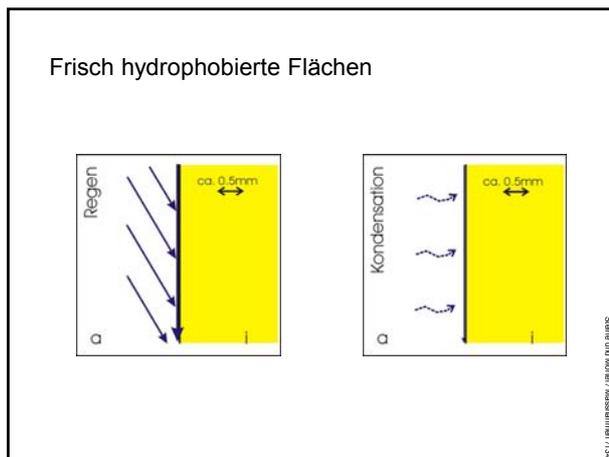
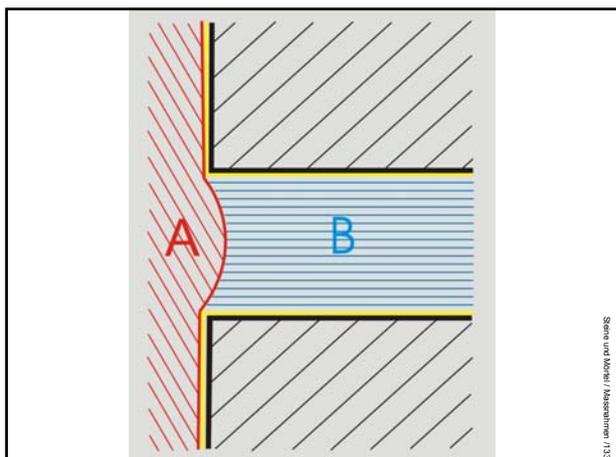
Hannover, Herrhäuser Gärten,

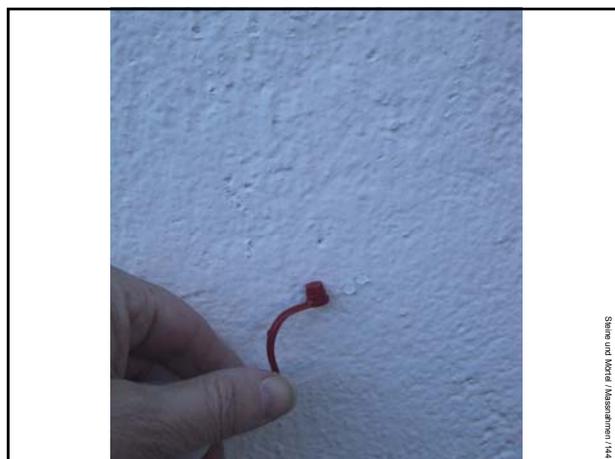
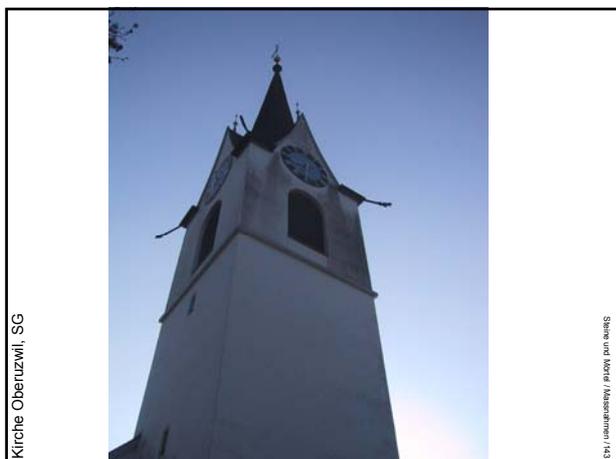
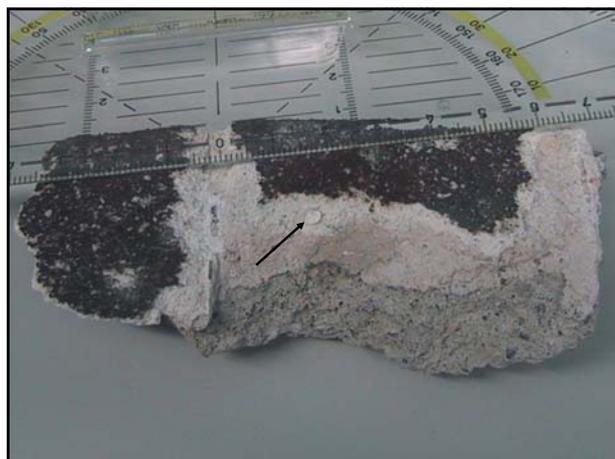
Steine und Mörtel / Massnahmen / 5.9.2006

Hydrophobierungen und hydrophobe Baumaterialien

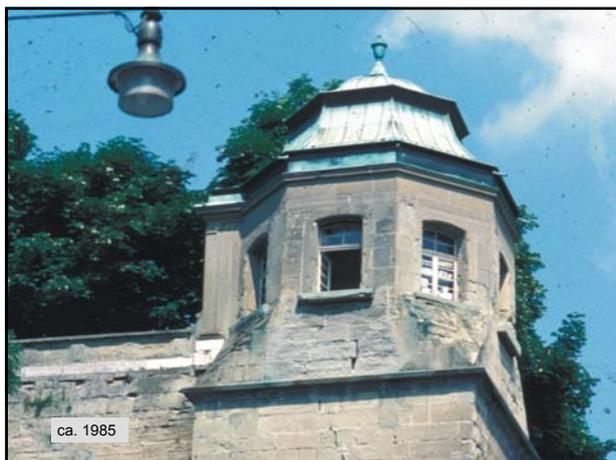
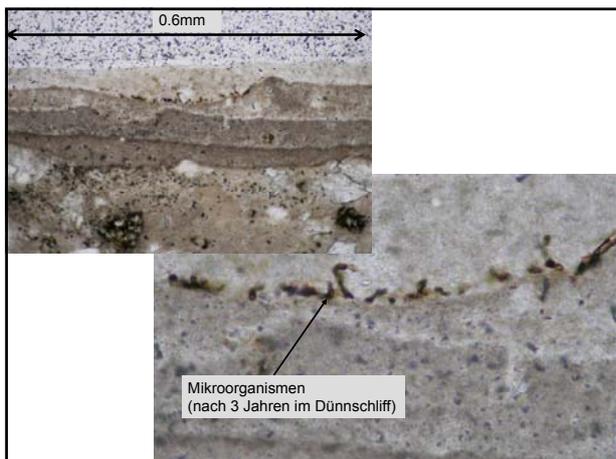
Steine und Mörtel / Massnahmen / 131

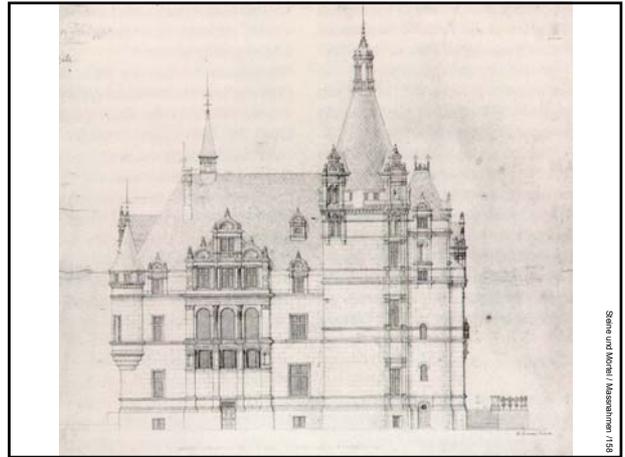


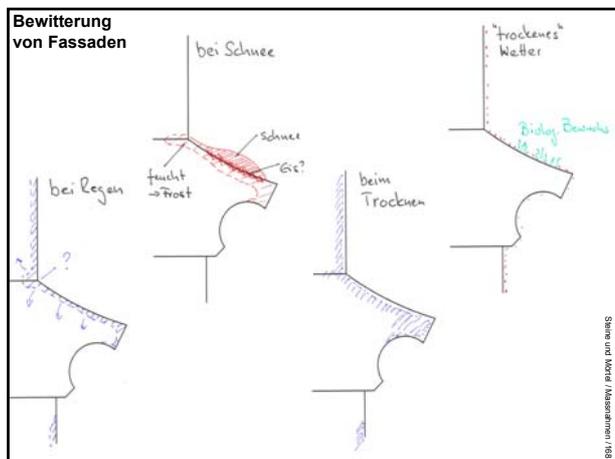
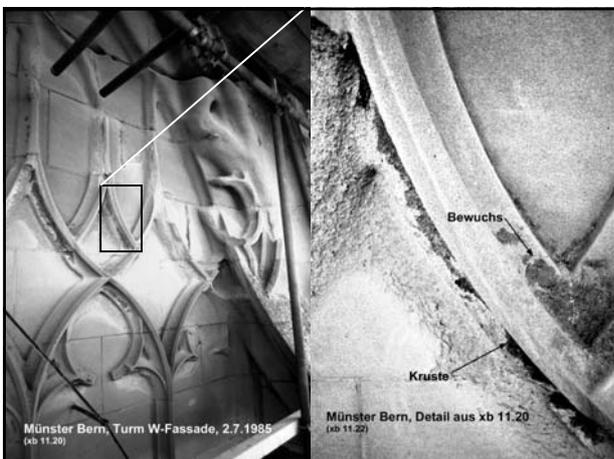














Testmethoden

Regelmässig

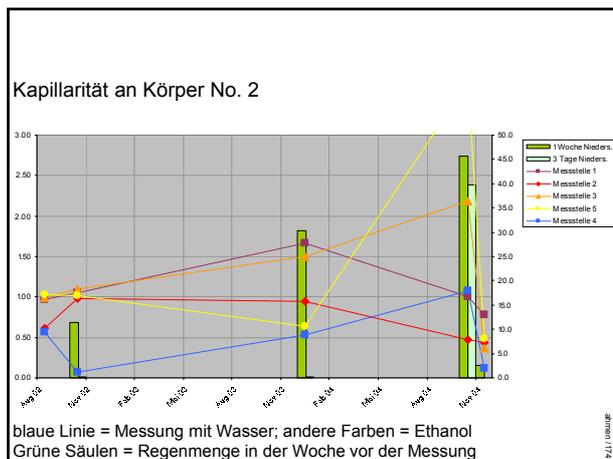
- Beobachtung
- Fotos
- kapillare Wasseraufnahme (blau)
- kapillare Alkoholaufnahme (ret)

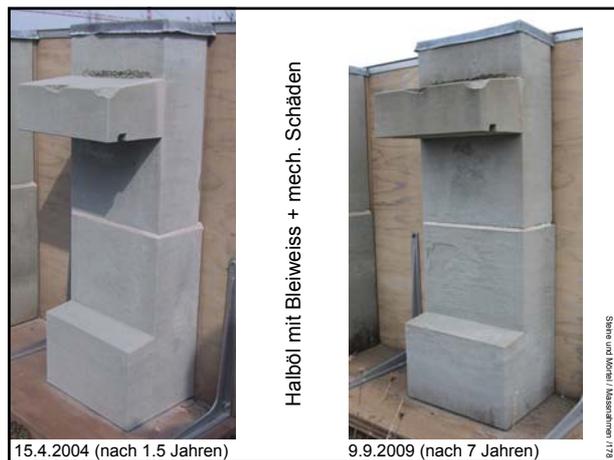
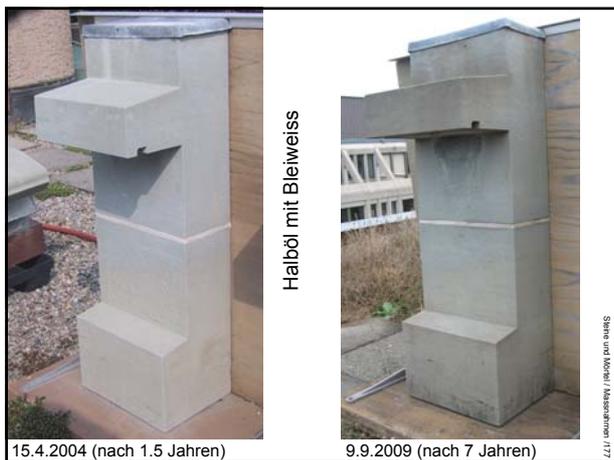
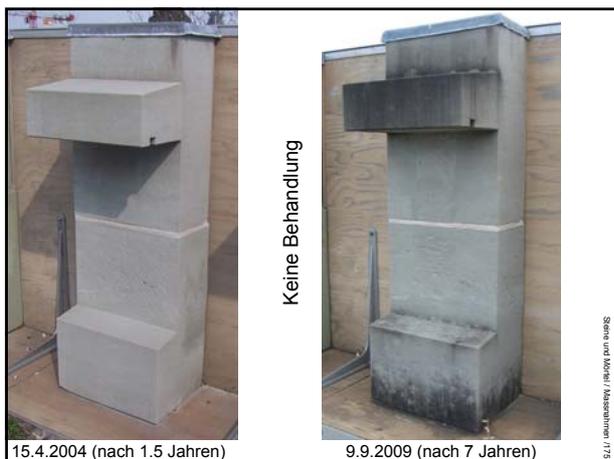
1 bis 2 mal

- Oberflächenproben
- Bohrkern
- Flicker

Kapillarität

Foto: Adam Krzystek







**Präventive und passive Konservierung**

**Präventive Massnahme**  
- richtet sich gegen die Ursachen (z.B. Schutzdach)

**Passive Massnahme**  
- richtet sich gegen die Aktivierungsmechanismen (z.B. Klimakontrolle)

Stockholm 1.7.2004

