

Untersuchungen von Kalkputzen an der Rheinbaufassade der Marksburg

Untersuchung der historischen Putzmörtel

Am Rheinbau wurden Proben von historischen Putzresten entnommen und auf ihre Mörtelzusammensetzung sowie auf lösliche Salze untersucht. Die Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung erfolgten in Anlehnung an die Methode von Wissler und Knöfel (1987). Die Siebanalysen des Zuschlags wurden in Anlehnung an DIN 4226-03 durchgeführt. Die Bestimmung der wasserlöslichen Ionen erfolgte in Anlehnung an DIN 38414, Teil 4 (10-1984). Die mörteltechnischen Untersuchungen ergaben, dass die historischen Mörtel mittlere bis hohe Anteile an hydraulischen Zuschlagsstoffen ent-

halten, welche durch die Zugabe von Bims bzw. Tuffstein zu erklären sind. Die Untersuchungen an den Zuschlägen zeigen, dass die Sieblinien (Abb.1) nahezu als identisch angesehen werden können. Somit wurde bei der Herstellung immer ein ähnlicher Sand der Umgebung verwendet. Lediglich im Fein- und Grobkorn sind geringe Variationen nachweisbar, welche auf die unterschiedliche Oberflächengestaltung der Putzmörtel hindeuten.

Die Salzuntersuchungen zeigten keinen erhöhten Gehalt an wasserlöslichen Ionen an. Es bestand lediglich eine leichte Vergipsung an der Oberfläche. An der Fassade waren einige Altreparaturen mit zementhaltigem

Mörtel aufgebracht, welche partiell erhöhte Salzgehalte aufwiesen. Diese wurden vor der Neuverputzung zum großen Teil entfernt.

Untersuchung neuer Werk-trockenmörtel

Um bei der Anbringung eines neuen Putzsystems die Verträglichkeit zu den alten Putzresten und eine gleichbleibende Qualität der Materialien zu gewährleisten, wurden leicht hydraulische Werk-trockenmörtel (Mörtelgruppe P Ia – P Ic) und Baustellengemische ausgewählt und im Labor getestet.

In Tabelle 1 sind die Rezepturen der unterschiedlichen Mörtel, soweit sie bekannt sind, dargestellt.

Tabelle 1: Untersuchte Putzmörtel

Firma	Produkt	Bindemittel	Zuschlag	Zusätze
Fa. Colfirmi-Rajasil (Sept. 2000)	- Brandenburger Putz 04 (BP 04)	Weißkalkhydrat	Silikat. Sande, Kalksteinsplitt	Luftporenbildner, Methylcellulose, Ziegelmehl
	- Brandenburger Putz 08 (BP08)	Weißkalkhydrat		
	- Luftkalkputz grob (LKPgrob)	Weißkalkhydrat		
	- Kalkputz 04 SR 99006 (SR 99006)	Natürlich hydraulischer Kalk (NHL 2)		
Fa. Hasit (Sept. 2000)	- Hasolan S (Sonderrezeptur)	Natürlich hydraulischer Kalk (NHL 2 +NHL 5)	Gelbliche silikathaltige Sande farblose Sande	Luftporenbildner; Methylcellulose
	- Hasolan	Natürlich hydraulischer Kalk (NHL 2 + NHL 5)		
Fa. Ruf (Okt. 2000)	- Ruf I, II, III (Unterputz)	Weißkalkhydrat (Fa. Märker)	Singhofener Sand 0-4 mm Niederrheinsand 0-2 mm	Ziegelmehl Holzkohle Solubelzusatz
	(Nov. 2000)	- Ruf (Oberputz)		
			Niederrheinsand 0-15 mm Niederrheinsand 0-8 mm Kalksteinmehl 0-0,5 mm	Pigment

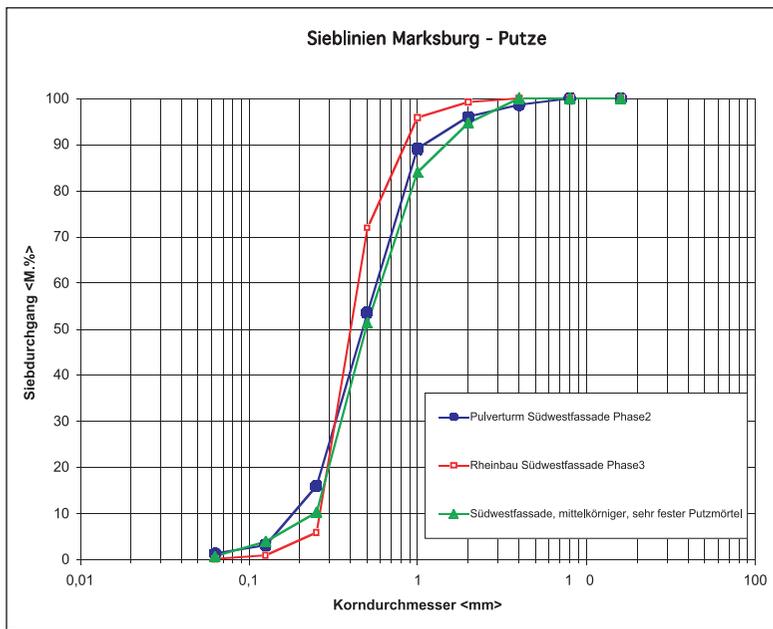


Abb. 1. Sieblinien der Putzmörtel.

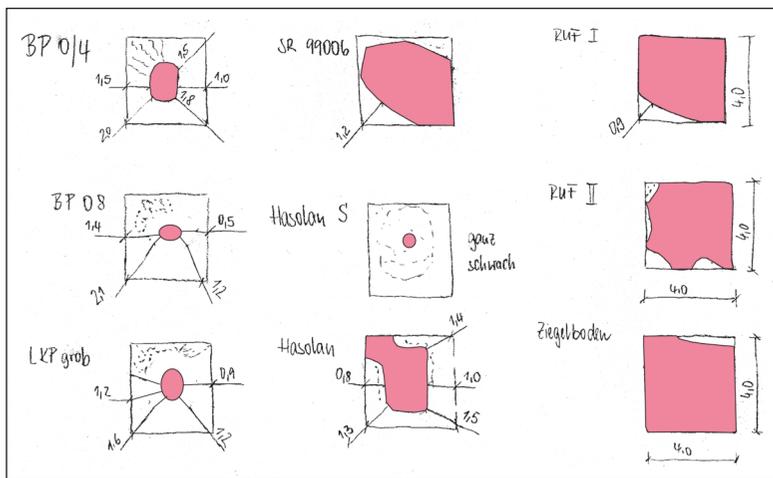


Abb. 2. Carbonatisierungstiefen nach viermonatiger Lagerung.

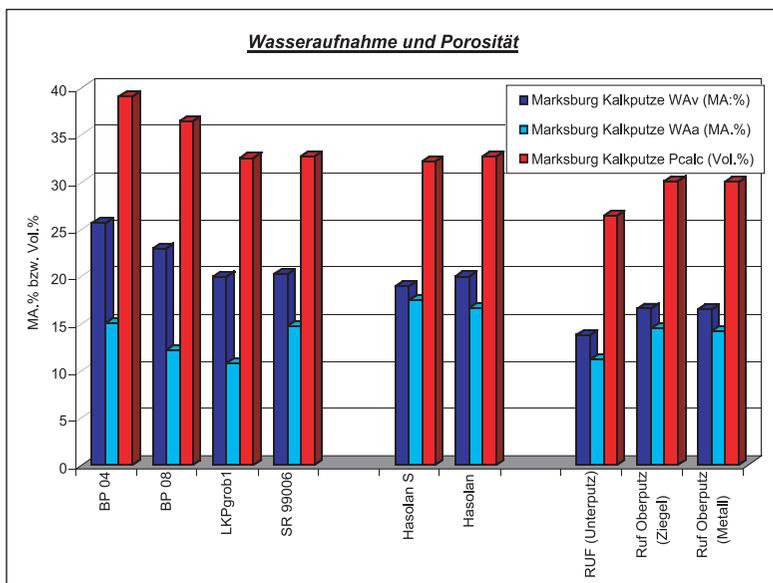


Abb. 3. Wasseraufnahmen (Atmosphäre, Vakuum) und Porositäten.

Zu Beginn der Untersuchungen wurden alle Prismenproben (40 mm x 40 mm x 160 mm) an den Flächen mit einem Haushaltsschwamm aufgeraut, um Bindemittelanreicherungen an den Außenflächen zu entfernen; somit wurde die Luft- und Wasserdurchlässigkeit im Probeninneren verbessert. Nach ca. vier Monaten Lagerung wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Bestimmung der Carbonatisierungstiefe mit Phenolphthalein
- Bestimmung von Dichte, Rohdichte, Reindichte, Dichtigkeitsgrad, Gesamtporosität (DIN 52 102)
- Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungsbeiwert (DIN 52 103)
- Frost-Tau-Wechsel-Versuch (DIN 52 104)
- Bestimmung des dynamischen E-Moduls (DGZfP Merkblatt 4 für das Ultraschall-Impuls-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile).

Carbonatisierungstiefen

In Abbildung 2 sind die Carbonatisierungstiefen der untersuchten Proben dargestellt. Nach dem Ansprühen mit Phenolphthalein zeigen die violetten Bereiche einen höheren pH-Wert, sie sind also nicht carbonatisiert. Die vergüteten Luftkalkputze zeigen nach vier Monaten eine sehr gute Carbonatisierungstiefe von ca. 10 mm. Die verzögerte Carbonatisierung der Proben mit natürlich hydraulischem Kalk als Bindemittel kann auf die Anteile an hydraulischen Phasen zurückgeführt werden. Die Mörtelproben (Unterputz und Oberputz) der Fa. Ruf zeigen nach drei Monaten keinen Fortschritt bei der Carbonatisierung.

Wasseraufnahmen

Die Werte der Wasseraufnahmen (WA) unter Atmosphärendruck der Mörtelproben liegen zwischen 10 bis 17 MA.%. Deutliche Unterschiede zeigen sich bei der Wasseraufnahme unter Vakuum. Hierbei weisen die Luftkalke der Fa. Colfirmit-Rajasil durch ihren erhöhten Anteil an Luftporen, welche die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck verringert, eine deutlich höhere Wasseraufnahme unter Vakuum auf.

Somit sind die Sättigungsbeiwerte ($WA_{\text{Vakuum}}/WA_{\text{Atmosphäre}}$) deutlich geringer, was eine Verbesserung der Frostbeständigkeit im Labor bewirkt.

Tabelle 2: Druck-, Biegezugfestigkeit und E-Modul.

Probe	Druckfestigkeit (MPa)	Biegezugfestigkeit (MPa)t	Elastizitätsmodul _{dyn.} (GPa)
BP 04	1,15	0,49	2,52
BP 08	1,46	0,60	2,61
LKP grob	3,30	0,92	4,52
SR 99006	4,57	2,09	5,05
Hasolan S	1,61	0,73	3,02
Hasolan	1,89	1,19	3,64
Ruf (Unterputz)	1,98	0,33	*
Ruf Oberputz (Metall)	2,05	1,06	*
*nicht bestimmbar			

Erwartungsgemäß sind die Druckfestigkeiten für Kalkputze relativ gering. Der LKP grob zeigt – da er fast vollständig carbonatisiert – Festigkeitswerte, welche an der Fassade erreicht werden sollen. Die Sonderrezeptur ergibt allzu hohe Werte, da bei dieser Probe – durch den Anteil an hydraulischen Komponenten – die Festigkeitsentwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Die Mörtel der Fa. Ruf zeigen eine reine Trocknungsfestigkeit,

da bei diesen Proben nur eine geringe Carbonatisierung stattfand.

Frost-Tau-Wechsel

Die Frost-Tau-Wechsel-Versuche wurden an maximal durchfeuchteten Proben, welche danach bei -22°C eingefroren wurden, durchgeführt.

Die Proben der Fa. Ruf (Unterputz) sind nach sechsmaligem Wechseln zerbrochen. Sie ließen kein typisches Abrunden erkennen, sondern das

Gefüge löste sich durch die mangelnde Carbonatisierung vollständig auf. Ansonsten erwiesen, mit Ausnahme der Probe BP 04, nach siebenmaligem Frost-Tau-Wechsel alle Putzproben eine gute Frostbeständigkeit.

Zusammenfassende Beurteilung

Nach dem Erfassen aller Ergebnisse konnten für die untersuchten Kalkputze folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

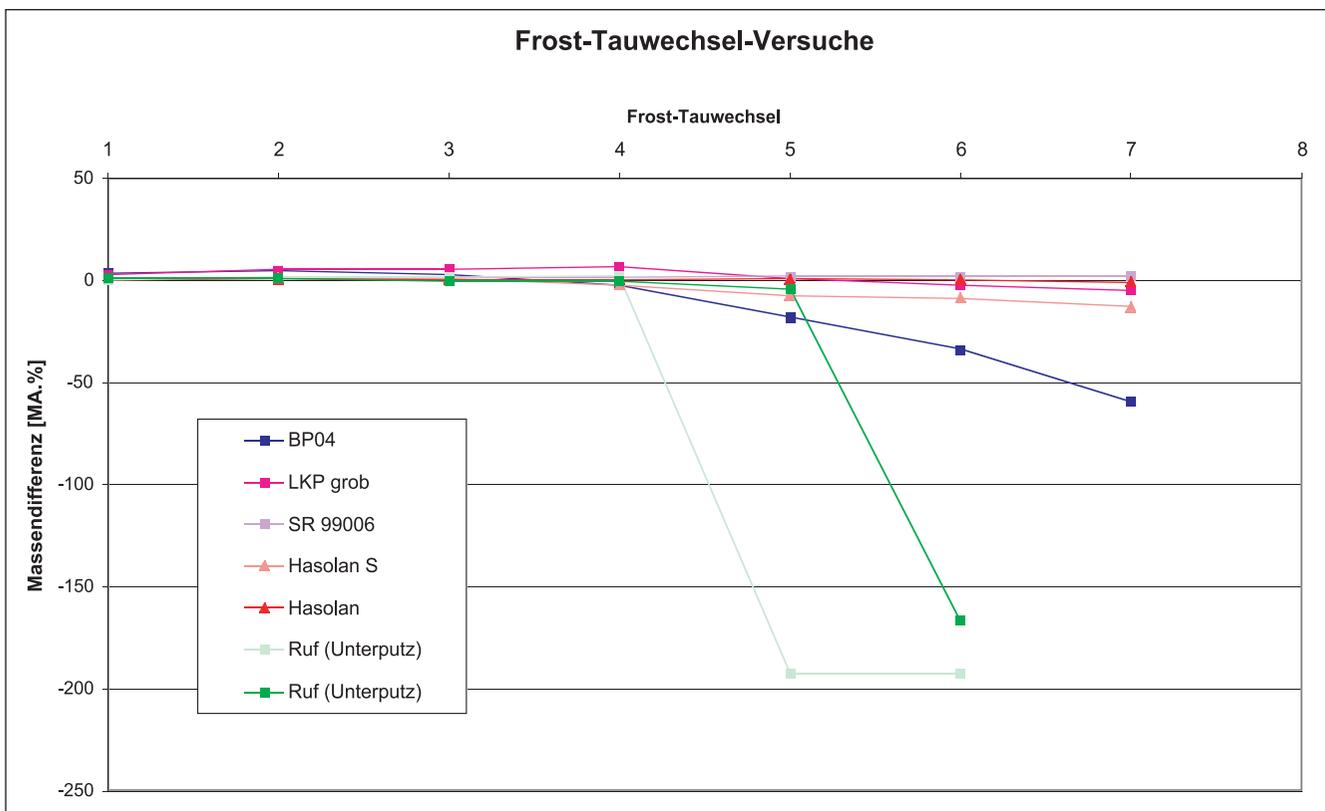


Abb. 4. Frost-Tau-Wechsel-Versuche.

Brandenburger Kalk (BP 04 / BP 08) hat eine gute bis sehr gute Carbonatisierung und eine hohe Porosität, bei niedrigen Sättigungswerten von ca. 0,5. Die Druckfestigkeiten sind mit ca. 1,3 MPa sehr gering, was bei einer mittleren Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit als verwitterungsanfällig einzuschätzen ist.

Luftkalkputz grob zeigt eine gute bis sehr gute Carbonatisierung bei geringen Anteilen von puzzolanisch wirkendem Ziegelmehl und Kieselsäuren. Er weist eine hohe Porosität bei einem niedrigem Sättigungswert von 0,5 auf. Die Druckfestigkeit ist mit 3,3 MPa als optimal anzusehen, während die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit als gut einzustufen ist.

Die *Sonderrezeptur SR 99006* carbonatisiert aufgrund der hydraulischen Anteile im Bindemittel langsamer. Bei mittlerer Wasseraufnahme und Porosität liegt der Sättigungswert bei 0,7. Die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit ist sehr gut, jedoch ist die Druckfestigkeit mit 4,6 MPa zu hoch für den aus historischen Putzen und schiefriger Grauwacke bestehenden Untergrund des Rheinbaues.

Hasolan und Hasolan S zeigen eine gute bis verzögerte Carbonatisierung,

darüber hinaus mittlere Wasseraufnahmen und Porositäten, die Sättigungswerte liegen bei 0,8 – 0,9. Die Wasseraufnahmen sind unterschiedlich, bei Hasolan S relativ hoch, bei Hasolan gering. Die Druckfestigkeiten mit 1,6 MPa bzw. 1,9 MPa sind nach viermonatiger Lagerung relativ gering. Die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit ist mittel- bis sehr gut.

Ruf Unterputz und Oberputz zeigen eine schlechte Carbonatisierung. Die Mörtel haben eine mittlere Wasseraufnahme und Porosität, bei hohen Sättigungswerten von ca. 0,8. Die Druckfestigkeit ist mit ca. 2 MPa gut, wird jedoch durch reine Adhäsionkräfte hervorgerufen. Somit erweist sich die Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit als sehr schlecht.

Nach Beurteilung aller Kriterien ist der Luftkalkputz grob, Fa. Colfirmit-Rajasil, als Kalkputz mit geringen puzzolanischen Anteilen zu empfehlen, da er wie die historischen Putzmörtel ebenfalls hydraulische Anteile enthält. Im Gegensatz zu den historischen Putzen werden diese Anteile nicht über eine Trass-Zugabe herbeigeführt, sondern durch einen Zusatz an Ziegelmehl und Kieselsäuren hervorgerufen, was für die Anteile an

löslichen Ionen im Mörtel vorteilhaft ist. Ebenso kann das Produkt Hasolan, Fa. Hasit, trotz einem etwas ungünstigeren Abschneiden unter Laborbedingungen, als empfehlenswert angesehen werden. Dieser Mörtel besteht aus natürlich hydraulischem Kalk als Bindemittel und ist mit seinen hydraulischen Anteilen dem historischen Putzmaterial ebenfalls sehr ähnlich.

Appliziertes Putzsystem am Rheinbau

Als Unterputzsystem wurde ein Luftkalkputz grob der Fa. Rajasil/Colfirmit aufgebracht. Da keine farbigen Sande der Firma zur Verfügung standen, wurde das Oberputzsystem nicht, wie von der Denkmalpflege gefordert, mit Sanden, sondern mit Pigmenten auf die gewünschte Farbigekeit eingefärbt. Da der gewünschte Farbton mit dem Luftkalkputz nicht erreicht werden konnte, kam als Oberputzsystem Brandenburger Kalk zum Einsatz. Um das Kalkputzsystem zu schützen, wurde eine vergütete, farblich abgestimmte Kalkfarbe (Fa. Rajasil/Colfirmit) aufgebracht.

Literatur

DGZfP 4-1993: Merkblatt für das Ultraschall-Impuls-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile: Bestimmung des dynamischen E-Moduls, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V., Berlin.

DIN 4226-03: 1983-04: Zuschlag für Beton; Prüfung von Zuschlag mit

dichtem oder porösem Gefüge, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 52 102-1988: Bestimmung von Dichte, Trockenrohddichte, Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 52 103 – 1988: Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 52 104-1992: Frost-Tau-Wechsel-Versuch, Beuth Verlag, Berlin.

Wisser, S. u. Knöfel, D. (1987): Untersuchungen an historischen Putz- und Mauermörteln, Teil 1: Analysengang, Bautenschutz und Bausanierung, 10, S. 124–126.