

KALKMÖRTEL IST NICHT GLEICH KALKMÖRTEL – EIGENSCHAFTEN VON KALKMÖRTEL

Primäres Ziel der Denkmalpflege ist der Erhalt historischer Bausubstanz als geschichtliches, künstlerisches und handwerkliches Zeugnis.

Bei der Erhaltung von Gebäuden kommt der Fassade zumeist ein herausragender Stellenwert zu, da sie nicht nur ein wesentliches gestalterisches Element darstellt, sondern auch eine Schutzfunktion für das Gebäude zu erfüllen hat. Innerhalb der Fassaden sind Mörtel, seien sie als Putz- oder auch als Fugenmörtel eingesetzt, einer der wesentlichen Bestandteile.

1. Historisches

Wann der Mensch zum ersten Mal Mörtel zum Bauen verwendete lässt sich nicht genau nachvollziehen. Die ersten Mörtel zum Vermauern von künstlichen Steinen (ungebrannte Lehmziegel) bestanden vermutlich aus eingetrocknetem Erdöl. Die ältesten Spuren von Kalkmörteln stammen aus der Türkei und sind über 14000 Jahre alt. Ca. 2600 Jahre vor Christus setzten die Ägypter Kalkmörtel beim Bau der Pyramiden ein. In den Hochkulturen des Zweistromlandes Mesopotamien gehen vor mehr als 4000 Jahren die ersten „professionellen“ Kalköfen in Betrieb. Aus der Zeit der Phönizier – etwa 1000 vor Christus – ist bekannt, dass die Mörtel mit gemahlenem vulkanischem Gestein oder Ziegelmehl versetzt wurden, um so hydraulisch abbindende und vor allem wasserfeste Mörtel herzustellen. Aus dem zweiten Jahrhundert vor Christus sind in den damaligen griechischen Kolonien in Süditalien Mauerwerksteile er-

halten geblieben, die die Verwendung von Puzzolanerde eindeutig belegen. Diese von den Griechen „Emplekton“ genannten Mörtel wurden von den Römern im ersten Jahrhundert vor Christus zum „Caementum“, einem Gemisch aus Kalksteintuff, Ziegelbruch und Kalkmörtel zur Füllung von zweischaligem Mauerwerk, und später zum „Opus Caementitium“ als monolithischem Gussmauerwerk in Schalung weiterentwickelt. Dieser von Vitruv in seinen 10 Büchern über Architektur („De Architectura Libri Decem“) beschriebene und insbesondere für den Gewölbebau und für Unterwasseranlagen empfohlene Baustoff gilt als historischer Vorläufer unseres heutigen Betons.

Das Wissen der Antike geriet im Mittelalter weitgehend in Vergessenheit. Als Bindemittel für Mörtel diente zumeist Kalk, teilweise in Abmischungen mit Lehm bzw. auch Gips. Opus cementsium als Stand der Technik ging in Europa verloren.

Eine interessante Episode, die die Bedeutung von hydraulisch abbindenden Bindemitteln belegt, beginnt mit dem Ende des 30-jährigen Krieges 1648. Es entsteht durch die nun unabhängig gewordenen Niederlande ein reger Tuffhandel. Über den Rhein wird das Rohmaterial Tuff aus der Eifel in großen Mengen nach Holland transportiert und dort mit Hilfe von Windmühlen zu Tyras bzw. Tarras (= Trass), einem hydraulisches Bindemittel insbesondere für Wasserbauten, zermahlen. Neben dem Reimport des „Holländer Trass“ nach Deutschland, entsteht ein

reger Export nach England und Übersee. Ausfuhrzölle auf Tuff zugunsten einer eigenen Trass-Produktion im kurtrierischen Gebiet führen im Gegenzug zu Einfuhrzoll der Holländer auf Trass.

Auseinandersetzungen um Verlade-, Stapel- und Umschlagplätze führen zu einer Art Handelskrieg und dauern fast 100 Jahre an.

2. Herstellung von Kalkmörteln im Mittelalter und Heute

Über die Herstellung von Mörteln im Mittelalter gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen. Unstrittig ist, dass es auch in dieser Zeit einiger Fachkenntnisse bedurfte, um Mörtel – zumindest bei den großen Baustellen der Zeit – herstellen zu können bzw. zu dürfen.

Der „Mörtelmischer“ war ein eigener Berufszweig, der sich von dem des Maurers oder Steinmetz deutlich unterschied.



Abb. 1: „Mörtelmacher“ um das Jahr 1420; Schautafel im Lapidarium von Kloster Maulbronn



Abb. 2: Herstellung von „Kalkspatzenmörtel“ um das Jahr 2004 im Betrieb der Remmers Baustofftechnik GmbH, Lönigen

Wie Wiener Kirchenrechnungen aus den Jahren 1420 und ff. belegen, war der „Mörtelmacher“ ein jedoch nicht sehr angesehener Berufsstand. Er wurde bezahlt wie ein Hilfsarbeiter, d. h. er erhielt den halben Tageslohn eines Maurers und zusätzlich pro Jahr einen Kittel aus Zwillich. Parallelen zur heutigen Mörtelindustrie, die zumindest im Bereich der Denkmalpflege mit einem häufig schlechten Image und allgemein mit einem hohen Kostensenkungsdruck zu kämpfen hat, werden hier besonders augenfällig.

3. Die Bindemittelfrage

Der heute in Deutschland gültigen Kalknorm (DIN EN 459-1) ist eine Erläuterung unterschiedlicher Kalk-Begriffe vorangestellt, die indirekt eine Begriffslage beschreibt, die in der Praxis vielerorts zu Schwierigkeiten führt. Charakteristisch für die in Deutschland gültige Bindemittelnormung ist die Tatsache,

dass die „Zemente“ als Bindemittel unseres wichtigsten Konstruktionsbaustoffes Beton einer engen, der Qualitätssicherung geschuldeten Normung unterliegen. Alle in der Zementnorm nicht enthaltenen, kalkhaltigen Bindemittel werden zumeist ohne weitere Differenzierung als Kalk bezeichnet. Durch diese „Unschärfe“ in der Begriffswahl entstehen insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden häufig Missverständnisse, die durch die Wahl bestimmter Produktnamen von einigen Herstellern noch forciert werden. Eines dieser Beispiele ist der so genannte

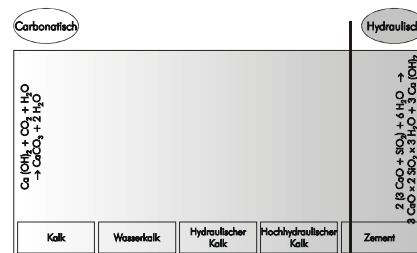


Abb. 3: Darstellung des „quasi lückenlosen“ Übergangs vom Luftkalk zum Zement

„Reinkalk-Sanierputz“.

Es handelt sich hierbei um einen zementfreien Putz für die Sanierung von Feuchte und Salz belastetem Mauerwerk („zur originalgetreuen Renovierung und Sanierung historischer Bauwerke“). Als Bindemittel dient ein natürlicher, hochhydraulischer Kalk, der gemäß Abbildung 3 knapp links neben der Grenze zur Zementnormung (schwarze Linie) zu finden ist. Somit enthält das Bindemittel des Mörtels zu nicht unerheblichen Anteilen (Zement-)Klinker (ca. 20 – 24 %), was auch im Sicherheitsdatenblatt des Produktes nachzulesen ist. Gegen die Verwendung

dieses Bindemittels ist grundsätzlich wenig einzuwenden, es ist jedoch so, dass die überwiegende Zahl der nicht detailkundigen Baubeteiligten hinter einem als „Reinkalk“ beschriebenen Bindemittel eher einen carbonatisch abbindenden Luftkalk vermutet als ein überwiegend hydraulisch abbindendes Material. Ein weiteres Beispiel für diese bewusst(?) verwirrend eingesetzten Begrifflichkeiten findet sich bei den sogenannten Muschelkalkprodukten. In den beschreibenden Merkblättern dieser Produkte finden sich folgend Aussagen:

- Ein historischer Mörtel nach alter Rezeptur ohne Zement.
- Besitzt eine ausreichend Frühfestigkeit, um alle im Hochbau üblichen Steinsorten damit zu vermauern.
- Zusammen mit ausgesuchten Rohstoffen (ohne chemische Zusatzmittel) zu hochwertigen Sanierungs- und Restaurierungsmörteln verarbeitet.
- Wird darauf geachtet, dass die mitgebrannten Sand-, Lehm- und Kleieteilchen ... im Endprodukt verbleiben.

Es stellen sich hier aufgrund dieser Aussagen verschiedene Fragen:

- Wie ist es möglich, dass „Fremdbestandteile“, die beim Abbau der Muscheln an diesen anhaften, mit in den Brennprozess hineingenommen werden, wo doch ein intensives Waschen der Muscheln aufgrund der natürlicherweise vorhandenen Meersalzbelastung (Natriumchlorid) sicher notwendig ist?

- Was ist darunter zu verstehen, wenn ausdrücklich auf Fremdbestandteile hingewiesen wird, jedoch gleichzeitig eine „Freiheit von chemischen Zusätzen“ garantiert wird?
- Entspricht dies den alten Rezepturen?

Wie bereits bei den Reinkalk-Produkten gezeigt, könnte auch hier ein Blick in die Sicherheitsdatenblätter für Aufklärung sorgen. Solche Datenblätter waren dem Autor jedoch trotz intensiver Bemühungen, auch über Dritte, nicht zugänglich. Neueren Untersuchungen der Materialprüfanstalt Bremen brachten eine Aufhellung dieser Fragen. Hierzu wird auf den Beitrag von Dr. Frank Schlütter in dieser Veröffentlichung verwiesen, in dem gezeigt wird, dass die angesprochenen Muschelkalkprodukte in nicht unerheblichem Umfang Hüttensand (gemahlene Hochofenschlacke), ein „Abfallprodukt“ der industriellen Roheisengewinnung, als latent hydraulisches Bindemittel enthalten.

4. Warum Kalkspatzenmörtel?

Die bereits beschriebenen Mörtelmacher des Mittelalters stellten den Mörtel zumeist aus Kalk und Sand direkt an der Baustelle her, wobei die Rohstoffe dieser Mörtel – schon allein aus wirtschaftlichen Gründen – zumeist aus der näheren Umgebung der Baustelle stammten. Neben den somit ortstypischen Sand- und Zuschlagstoffvorkommen prägte das Verfahren, mit dem der Kalk gelöscht wurde, die optischen wie auch die technischen Eigenschaften der Mörtel.

5. Löschverfahren

Allgemein versteht man unter dem Kalklösch die Reaktion von Branntkalk (Calciumoxid, CaO) mit Wasser zu Kalkhydrat (Calciumhydroxid, Ca(OH)₂). Zum Löschen von Kalk gab es in früheren Zeiten zwei unterschiedliche Verfahren:

„Nass-Löschen“

Bei diesem Verfahren, das auch heute noch von einigen spezialisierten Firmen praktiziert wird, wird der Branntkalk mit einem Wasserüberschuss versetzt. Bei der einsetzenden exothermen Reaktion zerfällt er zu sehr feinen Partikeln. Das Resultat, ein Kalkbrei, ist der so genannte Sumpfkalk. Solcher Sumpfkalk wurde und wird üblicherweise über einen längeren Zeitraum (bis zu mehreren Jahren) eingelagert, wobei er allmählich weiter zerfällt - seine Feinheit nimmt zu. Dieses Verfahren ist nur mit sehr reinen Kalken möglich, da Verunreinigungen, die als Hydraulifaktoren fungieren können für ein Festwerden des Mörtels in der „Sumpfgarbe“ sorgen würden. Solche reinen Kalke waren in vielen Regionen früher nicht verfügbar bzw. nur mit einem wirtschaftlich nicht vertretbaren Aufwand heranzutransportieren. Daher wurde hier auf das sogenannte „Trocken“-Löschen der vorhandenen „unreinen“ Kalke mit Sand zurückgegriffen.

„Trocken-Löschen“

Bei diesem Verfahren wird stückiger Branntkalk entweder ein- oder mehrlagig (sandwichartig), wechselweise mit nassem Sand abgedeckt und später durch Übergießen mit Wasser nachbefeuchtet (älteres Verfahren) oder in einen

Korb gefüllt, kurzzeitig in Wasser getaucht und anschließend mit Sand überdeckt (jüngeres Verfahren). Diese Löschvorgänge erforderten im Gegensatz zum „Nass-Löschen“ eine vergleichsweise geringe Baustellenlogistik, da auch „unsaubere“ Kalke verwendet werden konnten die dann sehr zügig verarbeitet wurden. Insbesondere beim Löschen durch lagenweises Aufsichten von Branntkalk und nassem Sand entstehen unter bestimmten Randbedingungen (kein zufälliger Prozess) die sogenannten Kalkspatzen, die wir heute bei der Mehrzahl noch erhaltener historischer Kalkmörtel finden können. Diese Bindemittel-Aglomerationen, die in Abgrenzung zu den manchmal ebenfalls als Kalkspatzen bezeichneten „Kalktreibern“ (siehe Abbildungen 4 und 5) vollständig durchgelöscht sein müssen, werden von vielen Autoren als Ursache für die hohe Dauerhaftigkeit der uns heute erhaltenen historischen Kalkmörtel angesehen.

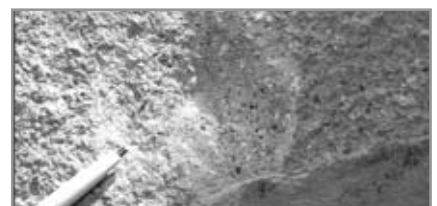


Abb. 4: Ein nicht durchgelöschter „Kalktreiber“ hat zu Abplatzungen im Putz geführt.



Abb. 5: In der Mitte des abgesprengten Putzstücks ist der „Kalktreiber“ deutlich erkennbar

6. Werkseitige Herstellung eines „Trocken“-gelöschten Sandkalkmörtels

Aufgrund des besonderen optischen Erscheinungsbildes und der vermuteten höheren Dauerhaftigkeit gegenüber „normalen“ Kalkmörteln wurde im Rahmen eines von der „Deutschen Bundesstiftung Umwelt“ geförderten Forschungsprojektes das historische Trockenlöschverfahren wieder belebt. So wird Funcosil Historic Kalkspatzenmörtel heute in Anlehnung an das tradierte Verfahren (von einem Industrieunternehmen) händisch hergestellt. Zunächst werden hierbei ausgewählte und aufeinander abgestimmte Sande mit einer genau abgemessenen Menge Wasser innig vermischt. Anschließend werden der feuchte Sand und der Branntkalk schichtweise (sandwichartig) in ein geeignetes Löschgefäß eingebracht. Es beginnt eine stark exotherme Reaktion, nach deren Ende das abgekühlte Gemisch homogenisiert und durch Wasserzugabe auf eine günstige

7. Funcosil Historic Kalkspatzenmörtel – Inhaltstoffe und Eigenschaftsprofil

Die 2-komponentige Grundmischung Funcosil Historic Kalkspatzenmörtel enthält folgende Inhaltsstoffe:

- Bindemittel

Trocken gelöschter Branntkalk. Die beim Löschen auf natürliche Weise entstandenen Kalkspatzen reduzieren den Wasserbedarf des Mörtels und erhöhen seine Selbstheilungsmöglichkeiten.

- Überschusswasser des Löschvorganges
- Zuschlag: Gewaschene Natur sande im Mittel- und Feinkornbereich. Die Modifizierung bzw. Feinabstimmung mit örtlichen Grobzuschlägen ermöglicht eine wasserärmere und damit schwindrissreduzierte Verarbeitung des Mörtels.
- Zusätze unter 10%: Unbelastetes Ziegelmehl aus niedrig gebrannten Ziegeln (als separat verpackte B-Komponente) kann im Bedarfsfall als zusätzlicher, milder Hydraulefaktor, der die Widerstandfähigkeit des Mörtels gegenüber Witterungseinflüssen erhöht, eingesetzt werden.

Beim Funcosil Historic Kalkspatzenmörtel handelt es sich um eine Grundmischung, der zur Herstellung von Mörteln und Putzen gemäß historischem Vorbild lokale Zuschlagstoffe zugegeben werden müssen. Letzteres ermöglicht die weitgehende Anpassung der optischen und technischen Eigenschaften des resultierenden Mörtels an objektspezifische Erfordernisse.

Die Grundmischung ist frei von Zement, Trass, hydraulischen Kalcken und anderen hydraulischen Bindemitteln.

Die im Mörtel enthaltenen Kalkspatzen führen – da sie vollständig gelöst sind – nicht zu Treiberscheinungen, begünstigen jedoch aufgrund von Lösungs- und Transportvorgängen die „Selbstheilung“ von Rissen und Faltenabrissen. Sie stehen dem Mörtel nicht als Primär-Bindemittel zur Verfügung.



Abb. 6 bis 9: Die Bilder 6 bis 8 zeigen den Herstellprozess des Kalkspatzenmörtels. Feuchter Sand und Branntkalk werde lagenweise in ein Blechfass eingefüllt. Bild 9 dokumentiert die Hitzeentwicklung während des Löschens. Unter dem Rand des nur lose aufliegenden Deckels entweicht Wasserdampf.

Das Bindemittel:Zuschlag-Verhältnis (B:Z) beträgt – bezogen auf den Gesamtgehalt an Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) – ca. 1:2 [Masse-%]. Rechnet man das in Form von Kalkspatzen vorliegende Calciumhydroxid (Korndurchmesser $> 100\mu\text{m}$) nicht zum Bindemittel, so verbleibt ein B:Z – bezogen auf das „Primär-Bindemittel“ – von ca. 1:5,4 [Masse-%].

In Volumenteilen beträgt das Bindemittel:Zuschlag-Verhältnis (B:Z) – bezogen auf das „Primär-Bindemittel“ – ca. 1:2,5 [Volumen-%].

Die Grundmischung Funcosil Historic Kalkspatzenmörtel verhält sich sowohl in Bezug auf ihre verarbeitungstechnischen als auch auf sein physiko-mechanischen Eigenschaften wie ein bindemittelreicher Mörtel:

BD (1 Jahr): 5,5 N/mm²

BD (6 Jahre): 8,0 N/mm²

Porosität: 30 – 35 Vol.-%

8. Verwendung von Funcosil Kalkspatzenmörtel in der Praxis

Bei der Produktion des Kalkspatzenmörtels wird die eingesetzte Menge feuchten Löschsandes auf ein Minimum begrenzt. Resultat ist, wie bereits beschrieben, eine sehr „fette“ Mischung mit einem Bindemittel: Zuschlags-Verhältnis in Volumen-% (Raumteilen) von ca. 1:2,5.

Es wäre ohne größere Probleme möglich, den Kalkspatzenmörtel bereits werkseitig mit auf den Anwendungszweck angepassten Bindemittelzuschlagverhältnissen herzustellen und auszuliefern. Dies ist jedoch ausdrücklich nicht gewollt. Die früher verwendeten Zuschläge stammten zumeist aus lokalen

Rohstoffvorkommen und hatten mit ihrer typischen Farbigkeit, ihrer typischen Korngrößenverteilung bzw. auch Kornform einen nicht unerheblichen Einfluss auf das optische Erscheinungsbild und teilweise auch auf die technischen Eigenschaften der Mörtel. Um für die Instandsetzung historischer Fassaden ein Höchstmaß an Authentizität zu gewährleisten, wurde der Kalkspatzenmörtel bewusst so konzipiert, dass er erst durch weitere Zugabe von Zuschlägen, die dann sinnvollerweise aus lokal-typischen Vorkommen stammen sollten, auf das zur Verarbeitung notwendige Bindemittel/Zuschlag-Verhältnis gebracht werden muss.

Durch die ausschließliche Zugabe weiterer Zuschlagsstoffe bleibt der Mörtel selbstverständlich ein reiner Luftkalk, mit allen hiermit verbundenen Vor- und Nachteilen. Als Nachteile wären hier die zu erwartende relativ geringe Festigkeit und vor allem die relativ schwierige bzw. jahreszeitlich eingeschränkte Verarbeitung zu nennen (ein Luftkalkmörtel sollte während der ersten 12 Wochen nach der Verarbeitung frostfrei bleiben), die bei dem heute üblichen Kosten- und damit Zeitdruck zumeist schwer zu realisieren ist.

Wenn die genannten Eigenschaften „verbessert“ werden sollen, ist die Zugabe weiterer, dann zumindest teilweise hydraulisch härtender Bindemittel erforderlich. Die Zugabe natürlicher hydraulischer Kalke ist hier ebenso möglich wie die Zugabe von Zementen, Trass oder Hüttensand.

Selbstverständlich muss in einem weiteren Schritt dann auch das Bindemittel : Zuschlag-Verhältnis entsprechend angepasst werden.



Abb. 10 bis 12: Anwendungsbeispiele von Funcosil Historic Kalkspatzenmörtel

Modifizierungsmöglichkeiten der Grundmischung können durch versierte Planer, das Remmers-Werkslabor oder durch die Ausführenden selbst, dann gemäß Tabelle A.1 aus DIN V 18580 (ehem. Tabelle 3 aus DIN 18550, Teil 1) gemäß den objektspezifischen Anforderungen erarbeitet

werden. In vielen historischen Mörteln ist Ziegelmehl zu finden. Schwach gebranntes Ziegelmehl wirkt im Kalkmörtel als leichter Hydraulfaktor. Da es jedoch, insbesondere als Schwachbrannt, schlechten verfügbar ist, wird es als separat verpackte B-Komponente dem Kalkspatzenmörtel beigelegt und kann ggf. zur Rezepturmodifizierung verwendet werden.

9. Einschränkungen bei der Anwendung

Vor dem Hintergrund, dass es gerade Kalkspatzenmörtel sind, die uns bei historischen Mörteln erhalten geblieben sind, wurden verschiedenste Untersuchungen hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit angestellt. Insbesondere wurden in den Laboren der Fa. Remmers Versuche zur Bestimmung des effektiven Feuchtdurchgangs und zur Salzeinlagerungsfähigkeit vorgenommen. Die Versuche dienten auch dazu „belastbare“ Erkenntnisse zum Verhalten von Kalkspatzenmörtel auf feuchte- und salzbelasteten Untergründen zu schaffen. Bei den Versuchen wurde nicht ausschließlich Kalkspatzenmörtel in unterschiedlichen Mischungsvarianten betrachtet; vielmehr gliederte er sich in eine groß angelegte Versuchsreihe zum Verhalten von unterschiedlichen Sanier- und Kalkputzen auf den genannten Untergründen ein. Zusammenfassend ist zu diesen Versuchen festzustellen, dass sich der Kalkspatzenmörtel im Vergleich zu allen übrigen geprüften Kalkmörteln am besten „geschlagen“ hat, jedoch – wie auch kaum

anders zu erwarten – nicht an die „Langzeitperformance“ der speziell für diese Untergründe konzipierten Sanier- und Opferputzsysteme heranreicht. Somit ist zu konstatieren, dass auch der Kalkspatzenmörtel – wenn auch etwas widerstandsfähiger als „normale“ Kalkmörtel – nur bedingt für den Einsatz auf feuchte- und salzbelasteten Untergründen geeignet ist. „Moderne“ Sanier- und Opferputzsysteme haben nach wie vor ihre Berechtigung.

Fazit und Ausblick

Mit dem „industriell“ hergestellten Kalkspatzenmörtel ist es heute möglich, eine historische, früher weit verbreitete Mörteltechnik wieder einzusetzen. Hierbei wird dem Verarbeiter und Bauherrn eine schnelle und sichere Herstellung und Verarbeitung geboten, ohne auf die früher so ausgeprägt ortstypischen Differenzierungen, vor allem hinsichtlich der Optik, durch die Zugabe lokaltypischer Zuschlagsstoffe verzichten zu müssen.

An dieser Stelle sei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt ein besonderer Dank ausgesprochen, die diese „Wiederbelebung“ durch entsprechende Fördermittel erst möglich gemacht hat.

Literatur

▪ **Böttger**, K. G.; **Böttger**, C.; **Knöfel**, D.: Die Mörtel in der Torhalle in Lorsch – Untersuchung von historischen Mörteln und Entwicklung von Restaurierungsmörteln. Putzsicherung, Sicherung von Malerein auf

gemauerten und hölzernen Putzträgern. In: Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege 79, S. 21-29, München, 1996.

- **Böttger**, K. G.: Mörtel für die Erhaltung historischer Bauwerke. Haftmörtel, Hinterfüllmörtel und Kalkputze. Dissertation Bauhaus-Universität Weimar, Logos Verlag, Berlin 1997.
- **Boos**, M.; **Engel**, J.; **Hilbert**, G.: Kalkmörtel nach historischem Vorbild: Kalkspatzenmörtel – Trocken gelöschter Sand-Kalkmörtel; Kalkmörtel und Kalkfarbe – Gestern, heute ... und morgen; IfS-Bericht Nr. 19 – 2004
- **DIN V 18580** (Vornorm) Mauer- mörtel mit besonderen Eigenschaften; Teilweiser Ersatz für DIN 1053-1:1996-11; März 2004
- **Gesatzky**, R. (Hrsg.): Erhaltung und beispielhafte Instandsetzung von Feldsteinkirchen in Mecklenburg. Helms-Verlag, Schwerin 2001.
- **Gödicke-Dettmering**, T.: Mineralogische und technologische Eigenschaften von hydraulischem Kalk als Bindemittel von Restaurierungsmörteln für Baudenkmäler aus Naturstein. Dissertation Universität-GH Siegen, zugl.: IFS-Bericht Nr. 6, IFS, Mainz 1997.
- **Hädler**, E.; Geschichte der Baukonstruktion; Vorlesung Nr. 11 + 12; Konstruktionen in Beton
- **Holcim** AG, Communications, Zürich; Kleine Zementgeschichte; Version 1.2; Januar 2004
- **Schäfer**, J. und **Hilsdorf** H.K.: Struktur und mechanische Eigenschaften von Kalkmörteln. Erhalten historisch bedeutsamer

Bauwerke, SFB 315, Jahrbuch 1991, S. 65-76, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1991.

- **Thiersch, K.; Kraus, K.:** DBU-Projekt „Modellhafte Untersuchung zur Auswirkung von Schadstoffen auf Mörtel sowie beispielhafter Einsatz von Hinterspritz- und Putzergänzungsmörteln am Kloster Heydau. IFS-Bericht Nr. 13, IFS, Mainz 2001.
- **Vitruv;** De Architectura Libri Decem – Zehn Bücher über Architektur; Matrix Verlag GmbH, Wiesbaden 2004
- **Winnefeld, F.; Böttger, K. G.; Knöfel, D.:** Eigenschaften von Baukalken mit unterschiedlich hohen hydraulischen Anteilen – eine kritische Betrachtung hinsichtlich des Einsatzes in der Denkmalpflege, 4. Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Esslingen, 17.-19. Dezember 1996, Hrsg. F. H. Wittmann und A. Gerdes, Band II, S. 801-815, Aedificatio Publishers, Freiburg 1996.
- **Winnefeld, F.:** Mauer- und Putzmörtel zur Restaurierung historischer Ziegelbauwerke. Dissertation Universität-GH Siegen, zugl.: Berichte aus der Chemie, Shaker Verlag, Aachen 1999.
- **WTA – Merkblatt 2-7-01/D** „Kalkputz in der Denkmalpflege“, Bezug: WTA-Publications, Edelsbergstraße 6, 80686 München, www.wta.de.

Produktinformationen:

- Baltus Trockenbaustoffe GmbH & Co; Bremen, 2004
- Baunit Bayosan GmbH & Co. KG; Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter; Bad Hindelang, 2004
- Remmers Baustofftechnik GmbH; Produktbroschüre, Technische Merkblätter und Sicherheitsdatenblätter; Lönningen, 2004