

Kay Neuling  
Frachtstraße 5a, 38489 Jübar  
0172/9181282, info@kn-neuling.de

# Begleitinformationen zum Vortrag „Restaurierung von Ausfachungen und von Gefacheputze“

Kay Neuling  
Frachtstraße 5a  
38489 Jübar

Detmold im Juli 2011

# Inhalt

## 1. Grundlagen einiger verwendeter Materialien

- a. Lehm
- b. Ziegel
- c. Naturstein
- d. Mörtel/ Verputz

## 2. Mögliche Ausfachungen im Bestand aus technologischer Sicht

- a. Fachwerkausfachungen aus Lehm
- b. Fachwerkausfachungen aus Mauerwerk
- c. Ausfachungsputze

# 1. Grundlagen einiger verwendeter Materialien

## *a. Lehm*

### *Geschichtlicher Hintergrund zum Baustoff*

Lehm als historischer Baustoff ist in erster Linie als ein Baustoff der „armen Leute“ zu betrachten.

Das Material war und ist in nahe zu allen Regionen unseres Kulturkreises vorhanden und ohne große fachliche Qualifikation auf- und verarbeitbar. Des Weiteren brauchten für die Gewinnung von Lehm keine wie bei Naturstein oder Holz üblichen Rechte erworben werden. Eine technisch aufwendige Herstellung wie beim Backstein durch das Brennen entfällt. Von daher ist Lehm besonders im Sozialbau sowie im Wirtschaftsbau zu finden.

Im Bereich des Sakralbaus und der Herrschaftsbauten versuchte man diesen Baustoff zu umgehen oder zumindest ihn abzudecken, da er als „arm“ empfunden wurde. So sind zum Beispiel dicke Unterputze aus Lehm mit Kalk abgestuckt und somit abgedeckt worden.

Im Wirtschafts- und Sozialbau hingegen wurde Lehm bis zur Industrialisierung häufig für tragende Bauteile wie Stampflehm- und Wellerwände sowie für füllende Bauteile wie Fachwerkausfachungen und Lehmwickeldecken verwendet. Zu diesen Bauteilen gehörten auch Lehmfußböden.

Das Abbauen, Aufbereiten und das Verarbeiten wurde oftmals nach kurzer Einweisung durch gelernte Handwerker in Eigenleistungen erbracht.

### *Zusammensetzung*

Lehm als Baustoff ist im Wesentlichen ein Gemisch aus Tonmineralen, Sanden, weiteren Zuschlägen und Zusätzen. Die Abstimmungsmöglichkeiten dieses Baustoffes sind breit gefächert. So kann ein Leichtlehm zum Beispiel hervorragende Eigenschaften im Bezug auf Wärmedämmung erreichen. Ein Schwerlehm hingegen kann diese Eigenschaft nur sehr mäßig erfüllen. Im Bezug auf Schalldämmung hingegen weist er hervorragende Eigenschaften auf. Einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften hat das Raumgewicht. Dieses wird durch den Anteil an Tonmineralen und Zuschlägen bestimmt.

Weiter werden Materialeigenschaften durch das Korngerüst wie bei keinem anderen Baustoff so massiv beeinflusst. Durch Zusätze wie zum Beispiel Kasein kann ebenfalls erheblichen Einfluss auf die Materialkennwerte genommen werden. Eine besondere Bedeutung ist allerdings der Verarbeitung des Materials zuzuschreiben.

Trotz erheblicher Bemühungen der Materialabstimmung seitens der Hersteller, welche nicht nur Vorteile brachten, das Material anwenderfreundlicher zu machen, ist ein gewisses Grundverständnis für das Material unabdingbar.

### *Lehmarten*

#### *Berg- oder Gehängelehm*

Dieser Lehm lagert auf verwitterten Steinen. Er ist durch ein kantiges Korngerüst gekennzeichnet.

#### *Geschiebelehm*

Dieser Lehm ist durch Eisschollenbewegungen transportiert und zerkleinert worden. Er zeichnet sich durch ein gerundetes Korngerüst und durch seine hohe Bindkraft aus

#### *Schwemtlehm*

Schwemtlehm ist durch Wasserläufe transportiert worden. Beim Absetzen des Materials können Einschwämmungen stattgefunden haben. Diese können zum Teil auch Humushaltig sein.

#### *Lößlehm*

Lößlehm ist durch Auswaschungen von Kalk aus dem Lehm entstanden. Er ist sehr feinkörnig. Seine Bindekraft kann aufgrund des zum Teil geringen Tongehaltes gering sein.

### *Erhärtungsmechanismen*

Lehm ist ein lufterhärtender Baustoff. Er erreicht seine Festigkeit durch das Abgeben von Wasser. Der so eingeleitete Schwindungsprozess führt zum Verfestigen des Korngerüsts im Material. Im Umkehrschluss bedeutet dies aber auch das, durch ein Quellen der Tonminerale bei entsprechender, erneuter Durchfeuchtung diese Verfestigung wieder aufgehoben wird.

Durch diesen Mechanismus sind die meisten Eigenschaften und verarbeitungstechnischen Besonderheiten des Materials schon erklärbar.

So führt beispielsweise ein erhöhter Wasseranteil im Mörtel bei der Austrocknung zu mehr Porenraum, welcher die Verspannung des Korngerüsts erheblich reduzieren kann. Die Folge sind geringere Festigkeiten und eventuell sogar erhebliche Schwindrissbildung.

## *Lehmprüfverfahren*

Heute werden im Bereich der gewerblichen Anwendung von Lehm meist Fertigprodukte verwendet. Dies hat weit reichende Vorteile wie die erhebliche Reduzierung des Zeitaufwandes für die Materialaufbereitung, die Lagerbarkeit oder die Gleichmäßigkeit des Produktes.

Durch das Zurückgreifen auf vorgefertigte Materialien werden dem Anwender jedoch im Wesentlichen die Möglichkeiten der Eigenabstimmung genommen. Ein Eingehen auf besondere Situationen ist nur bedingt möglich. Auch entsteht nicht zuletzt aus Bequemlichkeit eine Art Abhängigkeit. Um diesen zu begegnen sollen folgend einige Abstimmungsmöglichkeiten sowie im Praxisteil einfache Lehmprüfverfahren vorgestellt werden.

## *Eigenschaften/ Materialabstimmungen*

Lehmbaustoffe werden wie eingangs erwähnt aufgrund ihrer Rohdichte in leicht und Schwerlehme eingeteilt

Leichtlehm 300- 1200kg/cbm  
Schwerlehm 1200- 2400kg/cbm

Da unsere heimischen Lehme Rohdichten zwischen 1600-2400kg/cbm in Abhängigkeit vom Tonmineralanteil und Kornstruktur, werden Leichtlehme durch Zusatz von Leichtzuschlägen wie Stroh, Hanf, Holz, Blähton, Perlite u.s.w. hergestellt.

## *Druckfestigkeit*

Die Druckfestigkeit von Lehmen kann sehr unterschiedliche sein. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die Tonart und Anteil wie auch die Art und Menge der Zuschläge. Durch ein gemischtkörniges stabiles Korngerüst durch Brechsande lassen sich beispielsweise höhere Festigkeiten als durch gerundete Einkornsande erzielen. Die Elastizität hingegen ist mit den gerundeten Zuschlägen höher.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Aufbereitung und die Verarbeitung des Materials. Bei der Aufbereitung ist auf ein gutes und gleichmäßiges Durchwalken zu achten. Der Lehm benötigt um seine vollständige Bindekraft zu erreichen genügend Zeit zum Quellen. Nicht gequollene Bestandteile können an der Verfestigung, wie eingangs erwähnt, nicht teilnehmen.

Bei der Verarbeitung ist der Grad der Verdichtung für die Festigkeitsentwicklung entscheidend. Aber auch die Nachbehandlung ist von Bedeutung.

Die Festigkeiten einheimischer Lehme können von unter 1 N/qmm bis ca. 6 N/qmm schwanken.

### *Wärmeleitfähigkeit*

Die Wärmeleitfähigkeit von Lehmbaustoffen ist sehr stark abhängig vom Porengehalt und von der Art und Menge der Zuschläge. Normallehme (ca. 1800-2000kg/cbm Rohdichte) besitzen vergleichbare Wärmeleitfähigkeiten wie viele gebrannte Vollziegelmaterialien. (rund 0,9W/mxK)

Durch Leichtzuschläge kann dieser Wert bei Rohdichten von ca. 300kg/cbm bis auf 0,1W/mxK gesenkt werden. Bei der Modifizierung solcher Materialien ist allerdings die Bindekraft des Materials im Auge zu behalten. Oftmals werden hier gute Dämmstoffe entwickelt, die aber aufgrund ihrer praktisch nicht vorhandenen Eigenfestigkeit kaum anwendbar sind.

### *Wärmereflektion*

Die Wärmereflektion von Lehmoberflächen ist wesentlich höher als die der meisten anderen Baustoffe. Trifft als Strahlungswärme auf eine Lehmoberfläche, so wird ein Großteil dieser Energie in den Raum zurück reflektiert. In diesem Zusammenhang kann je nach Größenordnung überlegt werden, die Raumtemperatur etwas abzusenken. Zumal die reflektierte Wärme als Strahlungswärme wesentlich intensiver als Rotationswärme empfunden wird.

Entscheidend für diese Eigenschaft des Lehms ist allerdings die unbeschichtete Lehmoberfläche. Anstriche und Beschichtungen zerstören diesen Effekt.

### *Wärmespeicherung/ Wärmekapazität*

Schwerlehme besitzen eine vergleichbare Wärmekapazität wie Vollziegel. Werden diese Lehme mit entsprechenden Mengen organischer Leichtzuschlägen versetzt, erhöht sich ihre Wärmekapazität erheblich. Dies hängt mit der besonders hohen Wärmespeicherung von organischen Materialien zusammen.

In diesem Zusammenhang sei der Einfluss der Wärmedämpfung erwähnt. So zeigen Leichtlehme wesentliche bessere Werte als Schwerlehme, Betone oder Ziegel.

Dies ist besonderst wichtig bei der Bestimmung der Amplitudendämpfung. (Wann wird die höchste Temperatur m Tagesverlauf im Inneren des Raumes erzielt, sommerlicher Wärmeschutz)

### *Lehm und Feuchtigkeit*

Lehm erreicht seine Festigkeit durch die Adhäsion der einzelnen Tonminerale untereinander sowie zum Korngerüst. Durch Wasser wird diese Verbindung nicht zuletzt durch das Aufquellen der Tonminerale aufgehoben. Daraus folgt, dass bei Durchfeuchtung von Lehmbauteilen die Bindung verloren geht. Bei anschließender Trocknung stellt sich die Bindung wieder ein. Es sei denn das innere Gefüge ist durch Frost oder Dampfdruck aufgelockert worden. Durch Auswaschungen der zum Teil löslichen Tonbestandteile kann eine erneute Verfestigung ebenfalls verhindert werden. Der Einfluss von Feuchtigkeit verändert die Eigenschaften des Baustoffes zum Teil erheblich.

### *Kapillarität*

Lehm ist kapillar leitfähig. Er kann zum Teil über große Strecken in seinen Kapillarporen Wasser transportieren. Dies kann aufgrund der damit verbunden Durchfeuchtung zum Verlust der Bindekraft führen. Im Lehm eingeschlossene organische Leichtzuschläge würden dann, sofern der kritische Feuchtigkeitsgehalt überschritten ist anfangen zu faulen.

Diese scheinbar negative Eigenschaft kann aber auch bei geringeren Feuchtigkeitsmengen erhebliche Vorteile besitzen. So kann eine lokal auftretende Durchfeuchtung, wie zum Beispiel im Fugenbereich von Fachwerk bei Schlagregen oder Kondensatbildungen an Wärmebrücken bei Innendämmungen dazu führen, das durch die Kapillaren Eigenschaften die Feuchtigkeit transportiert und somit verteilt wird. Die Gefahr des Erreichens der Feuchtigkeitsgehalte die zur Fäulnis führen können ist somit wesentlich geringer. Hierzu später mehr.

### *Wasserdampfdiffusion*

Der Wasserdampf Widerstand von Lehm ist sehr unterschiedlich. Schwerlehme weisen Müh- Werte von über 10 auf. Dies ist vergleichbar mit normalen Kalksandsteinen. Leichtlehme hingegen können Werte von unter 5 aufweisen

### *Gleichgewichtsfeuchte/ Hygroskopizität*

Lehm besitzt eine Gleichgewichtsfeuchte von 2,5- 4,5Gew %. Sie ist abhängig vom Tongehalt, von der Tonart, den Alter sowie natürlich den Umgebungsparametern.

Ältere Lehme besitzen im Normalfall geringeres Gleichgewichtsfeuchten. Gleiches ist für magere Lehme zu beachten. Aufgrund der relativ geringen Gleichgewichtsfeuchte können organische Materialien durch den Verbund mit Lehmstoffen feuchtetechnisch konserviert werden, da sie die Materialien Feuchtigkeit entziehen und somit deren Feuchtegehalt reduzieren.

Die hygroskopischen Eigenschaften von Lehmoberflächen sind auch im Bezug auf Raumluftheuchten von besonderer Bedeutung. So können bei entsprechend vorhandenen Flächen Raumluftheuchten bei älteren Lehmen von 40-45% und bei jüngeren Lehmen von 45-50% erzielt werden. Entscheidend für diesen Effekt sind nicht die Materialstärken sondern die zur Verfügung stehenden Oberflächen. Materialstärken über 15mm zeigen kaum noch einen größeren Einfluss.

### *Schwinden*

Wie oben bereits erwähnt, zeigen Lehme aufgrund ihres Bindevhaltens eine zum Teil erhebliche Schwindung auf. Dies macht in der Anwendung die besondere Schwierigkeit aus.

Das Schwindmaß kann zwischen unter 1% und über 5% liegen. Entscheidend hierfür sind die Tonart und die Menge. Wesentlichen Einfluss auf die Schwindung kann durch die Abmagerung über Zuschläge und durch die Verarbeitung sowie die Nachbehandlung genommen werden.

### *Brandverhalten*

Lehm als mineralischer Baustoff ist nicht brennbar und somit ein A1 Baustoff. Werden jedoch brennbare Bestandteile dem Lehm als Leichtzuschläge zugegeben, kann sich diese ändern.

Je nach Art der Zuschläge kann zum Beispiel ein Lehm mit Strohhexel mit einer Dichte über 1100kg/cbm noch als A1 Baustoff angesehen werden. Bei einem Zusatz von Sägemehl kann man bei einer Rohdichte von unter 2000kg/cbm schon nicht mehr von einem A1 Baustoff sprechen.

## *Schalldämmung*

Die Schallgeschwindigkeit von Lehm ist im Verhältnis zu anderen Baustoffen eher gering. Hinzu kommt, dass durch die elastische Oberfläche das Bauteil nicht so schnell in Eigenschwingung versetzt werden kann. Genauere Angaben über Schalldämmmaße können nur im Zusammenhang mit einer Konstruktion gegeben werden.

### ***b. Ziegel***

#### *Allgemeine Hinweise*

Backstein / Ziegelmauerwerk ist als Kleingliedriges Mauerwerk über Jahrhunderte für die unterschiedlichsten Aufgaben eingesetzt worden. Die Bestände können sehr vielfältig sein. Dies bezieht sich auf die Technologie und auf das Material. Eine Vergleichbarkeit aufgrund der Dimensionierung ist nicht zwingend gegeben. Dies bedeutet, für die Einschätzung der Bestände eine möglichst genaue Bestandsaufnahme.

Von besonderer Bedeutung ist für dieses Mauerwerk ist die Einhaltung und die Art des Mauerwerksverbandes, welcher für die innere Stabilität aber auch für die Belastbarkeit entscheidend ist.

Ein weiteres Augenmerk ist auf die Materialkomponente zu legen, das hier erhebliche Schwankungen in den Eigenschaften des Steinmaterials aber auch des Mörtelmaterials zu erwarten ist.

#### *Steinherstellung*

Historische Ziegelmaterialien werden umgangssprachlich in 2 Bereiche eingeteilt, die sich durch die Art der Herstellung unterscheiden. Der Begriff des Backsteins wird aufgrund des Brennprozesses, der dem des Durchbackens nahe kommt, für die Ziegelherstellung, bis zur Einführung des Hofmannschen Ringofens in den Jahren nach 1859, verwendet. Für die Herstellung von Backsteinen wurden Lehme aus Naturvorkommen verwendet. Diese mussten oftmals mit Sand abgemagert werden. Der Lehm wurde hierzu nach dem Durchfrieren lagenweise mit der entsprechenden Menge Sand aufgeschichtet und zur Vermischung durchgetreten. Da gerade bei größeren Steinen, zur Begrenzung der Schwindung nur wenig Wasser im Lehm sein durfte, ist dieser Vorgang sehr aufwendig. Die Folge sind stark eigenschaftsbildende Inhomogenitäten in der Ziegelmatrix. Die Ziegel zur Formgebung meist in Holzformen geschlagen. Man unterscheidet den Wasserstrich- und den Sandstrichziegel.

Der Wasserstrichziegel entsteht indem die gewässerte Holzform mit einer dünn, flüssigen Lehmschlämme eingestrichen wird und der Formling durch den Wasser- Lehmfilm zwischen Schalung und Formling aus der Schalung gleitet. Beim Sandstrichziegel wird die gewässerte Form besandet. Das Ausschalen wird hier durch das Rollen der Quarzkörner zwischen Schalung und Formling erreicht. Der Sandstrichziegel ist durch Quarzkorneinschlüsse an den Oberflächen und einer etwas deutlicheren Faltenbildung zu erkennen. Formsteine wurden über das Ausschneiden aus Grobformlingen über Drahtschlingen und Schablonen oder über speziell geformte Spezialkästen hergestellt. Römische Ziegel wurden meist durch das Ausbreiten und Verdichten des Lehms auf einen ebenen Untergrund und durch das anschließende Ausschneiden geformt. Diese sind daher sehr flach.

Die Trocknung der Ziegel erfolgte an der Luft, meist in überdachten Trockenschränken.

Der Brennprozess fand in Feldbrandöfen oder in festen Kammeröfen statt. Feldbrandöfen werden auf einem ebenen Untergrund auf einer Lehmschicht aufgestapelt. Hier werden die Grünlinge auf Abstand zueinander unter Einbau von Brennkanälen und Lüftungsöffnungen als Ofen errichtet. In den Brennkanälen wird ausreichend Brennmaterial eingefüllt. Durch diese Technik entsteht ein Ofen mit einem ausgeklügelten Lüftungssystem, was auf die Speichermasse der Grünlinge und auf dem entsprechenden Brennstoff in den Brennkanälen beruht. Beim Brennen wird das Feuer, durch das Öffnen und Schließen der Lüftungsöffnungen und das Abdecken der bereits erwärmten Ofenbereiche mit einer Lehm-packung, kontrolliert durch den Ofen getrieben. Durch die Speicherkapazität der Masse werden dann die Steine entsprechend ihrer Lage mehr oder weniger durchgebacken. Hier entstehen Schwachbrände, Weichbrände, Hartbrände und Fehlbrände. In den Randbereichen sind auch Grünlinge vorhanden, die im nächsten Brand wieder mit eingestapelt werden.

In Kammeröfen werden die Grünlinge über Brennkammern unter Berücksichtigung von entsprechenden Be- und Ablüftungskanälen eingestapelt. Der Ofen ist, zur Erhöhung der Wärmespeicherung, meist 3-seitig in einen Hang eingebaut. Durch das Befeuern der Brennkammern und der Steuerung der Wärmebewegung durch das Öffnen und Schließen der Lüftungsöffnungen, werden der Ofen und das entsprechende Material erwärmt. Nach Abschluss der Hochfeuerphase wird der Ofen für ca. 1 Woche verschlossen. Dies ermöglicht eine hohe Wärmespeicherung und eine langsame Abkühlphase.

Durch die Industrialisierung in der 2. Hälfte des 19.Jh. konnte, technologisch bedingt, ein wesentlich gleichmäßigeres und belastbares Ziegelmaterial hergestellt werden. Durch die Verwendung modernerer Öfen war der Vorgang des kontrollierten Brennens entscheidend für die Ziegelherstellung. Das Vorhalten der Wärme zum Durchbacken war, abgesehen von der Vermeidung von Kührissen, nicht mehr notwendig. Man spricht nun von den eigentlichen Ziegeln mit der entsprechenden Klassifizierung (Weichbrand, Hardbrand, Handstrich, Strangpressenstein, Tellerpressenstein u.s.w.)

Charakteristisch für diese Entwicklung ist der Hoffmansche Ringofen (1857/59). Durch die Aneinanderreihung von Brennkammern in elliptischer oder runder Form, mit einem zentralen Be- und Entlüftungssystem, konnte die Ziegelherstellung revolutioniert werden. Das Steinmaterial wurde in die einzelnen Brennkammern eingestapelt und diese anschließend vermauert. Um diesen Ofen anzufeuern wird eine Brennkammer als Brennraum ausgebaut, in der das Feuer entfacht wird. Durch das Aufheizen der Brennkammer erwärmen sich auch der umliegende Bereich und die darin eingestapelten Steine. Wenn in der benachbarten Brennkammer die Temperatur so hoch ist, dass sich Brenngut von selbst entzündet, werden Öffnungen im Deckengewölbe geöffnet, durch die Brennmaterial eingestreut wird. Durch die Menge an Brennmaterial und die Steuerung der Luftzufuhr kann die Brenntemperatur geregelt werden. In der benachbarten Kammer vor der gerade befeuerten Brennkammer wird das zu brennende Grünling- Material vorgewärmt. In der hinter der sich dahinter befindlichen, das bereits gebrannte Ziegelmaterial langsam abgekühlt. Nach ausreichender Abkühlung wird die Kammer geöffnet und die Ziegel werden entnommen. Im Anschluss wird die Kammer erneut bestückt und vermauert. Durch diese Arbeitsweise kann kontinuierlich gebrannt werden. Aufwärm und Abkühlphasen werden in den Produktionsablauf so eingepasst, dass sie nicht zu einer Arbeitsunterbrechung beim Brennen führen. Im Weiteren wird enorm viel Brennmaterial durch die Mehrfachnutzung der Wärme eingespart.

Weitere wesentliche Entwicklungen waren der Tunnelofen, die Strangpresse, die Tellerpresse sowie die Technisierung der Lehmaufbereitungs- und der Trocknungsabläufe. Alle diese Schritte führten zu einer wesentlichen Verbesserung der Steuerung und Rationalisierung der Produktionsabläufe, was unter anderem zu einer Vergleichmäßigung und Normbarkeit der Ziegel geführt hat.

### *Ablauf des Brennprozesses*

Durch die Herstellung kann weiterer Einfluss auf die Lebensdauer des Backsteins genommen werden. So ist es zum Beispiel für den Porenraum von entscheidender Bedeutung wie feucht der Lehm bei der Formgebung gewesen ist. Nasse Lehme hinterlassen einen größeren Porenraum, was wiederum die Frosttauwechselbeständigkeit negativ beeinflusst. Zu trockene Lehme können nicht entsprechend verdichtet werden und erhalten somit eine geringere Druckfestigkeit. Für die Dauerhaftigkeit eines Ziegels ist es von entscheidender Bedeutung wie der Brennprozess abläuft. So ist es von höchster Bedeutung, dass bestimmte Brenntemperaturen über bestimmte Zeiträume erhalten bleiben um unterschiedlich ablaufende Reaktions- und Umwandlungsprozesse nicht zu behindern oder in ihrer Vollständigkeit zu unterbinden.

So wird im ersten Bereich der Anwärmphase (80-120 Grad Celsius) dem Grünling die Restfeuchte entzogen, dies muss langsam, ähnlich dem Trocknungsprozess, erfolgen, da eine zu schnelle Feuchtigkeitsabgabe zum Zerfall des Gefüges (Schwindrisse) führen kann. Bei ca. 150 Grad wird der erste Teil des chem. gebundenen Wassers abgegeben. Bei 280-400 Grad verbrennen organische Bestandteile wie zum Beispiel Pflanzenreste oder heute Sägespäne, welche zur Porosität der Ziegel beitragen. Im Temperaturbereich von 350- 600 Grad Celsius werden Rohstoffbedingte Eisensulfide in Sulfatverbindungen umgewandelt. Geschieht dies unvollständig, so kann es später zu Pyritabsprengungen kommen. Bei ca. 570 Grad können Quarzminerale aufspringen, was eine schlagartige Volumenzunahme und somit eine Sprengwirkung bedeutet. Im Rohling vorkommender Kalk wird bei 700- 900 Grad aufgebrannt. Das entweichende CO<sub>2</sub> bildet neuen Porenraum.

Temperaturen von 850 Grad und drüber haben zur Folge, dass eine Versinterung des Materials einsetzt. Hierbei werden leicht schmelzbare Oxidverbindungen des Kaliums, des Kalziums, des Eisens, des Magnesiums, des Mangans und des Natriums in Teilschmelzprozesse in glasähnliche, verfestigende Bestandteile umgewandelt. Die noch vorhandenen Tonphasen bilden dabei ein stützendes Gerüst. Beim Erkalten der Backsteine ist darauf zu achten, dass dieser Prozess ebenfalls langsam von statten geht, da eine zu schnelle Abkühlung zu Kühlrisse und sogar zum Aufplatzen der Ziegel führen kann.

### *Verwendung der Backsteine*

Durch die unterschiedlichen Eigenschaften die Ziegel entsprechend ihrer Zusammensetzung, Herstellung u.s.w., muss ihr Einsatz ebenfalls differenziert werden. Bei der hist. Ziegelherstellung wurden nach dem Brennen die Ziegel durch visuelles Begutachten und durch die Klangprobe (dunkler Ton weich, heller Ton hart) sortiert und entsprechend am Bauwerk eingesetzt.

So können Fehlbrände (sehr hartes und versinteres Material mit oftmals großer Unförmigkeit) im Fundamentbereich eingesetzt werden. Die Hart und Normalbrände können für Fassaden und sonstiges beanspruchtes Mauerwerk verwendet werden. Die Schwachbrände können für Innenschalen, Innenwände oder untergeordnetes Mauerwerk (z.B. Fachwerkausfachungen) eingesetzt werden. Die nicht ausreichend gebrannten Ziegel wurden, soweit sie ganz waren, im nächsten Ofen erneut gebrannt.

### *c. Naturstein*

Für die Herstellung von Ausfachungsmauerwerk wurde oftmals auch Naturstein verwendet. Je nach Region und Vorkommen wurden meist Lese oder Bruchsteine verwendet. Die Ausmauerungen waren dementsprechend meist in Bruchstein oder hammerrechte Schichtenmauerwerke erstellt. Da Natursteinausfachungen sehr schwer sind und die Verspannung im Holzwerk wesentlich ist, sind hier meist saugendes oder stark saugendes Steinmaterial verwendet worden. Nicht saugendes Material würde zu langen Setzungsdauern führen, was zeitversetzt eine Lockerung im oberen Anschlussbereich bedeuten würde. Im Weiteren muss zur Konservierung des Holzwerkes die eindringenden Feuchtigkeitsmengen vom Ausfachungsmaterial aufgenommen werden. Wesentlich bei der Herstellung von Ausfachungsmauerwerke ist die Kleingliedrigkeit des Mauerwerkes. Um die anfallenden Spannungen aufnehmen zu können, muss ein entsprechend großer Fugenteil vorhanden sein.

### ***d. Mörtel***

Im Folgenden sollen Luftkalkmörtel aus technologischer Sicht betrachtet werden. Chemisch gesehen handelt es sich um reine Luftkalkmörtel, bestehend aus dem Bindemittel Kalk und dem Zuschlagstoff. Betrachtet man jedoch die Eigenschaften der einzelnen Mörtel, erkennt man wesentliche Unterschiede.

Die Kalkmörteleigenschaften werden nicht nur durch die Art und Menge des Kalkes, der Zuschläge und Zusätze, sondern gerade auch durch die Technik der Herstellung, Aufarbeitung und Verarbeitung beeinflusst. Zum Teil sind diese Möglichkeiten der Abstimmung wesentlich umfassender als die Veränderung der Rezeptur.

Im Folgenden soll auf die Möglichkeiten der Eigenschaftsveränderungen durch die Mörtelaufbereitung und Verarbeitung im Rahmen von Heißkalkmörteln, Sumpfkalkmörteln und Kalkknotenmörtel eingegangen werden.

### ***Bindemittel***

Baukalke entstehen durch das Brennen und Löschen von unterschiedlichsten Kalksteinen. Ungebrannte Kalksteine werden in gebrochener oder gemahlener Form als Zuschlagstoff eingesetzt und besitzen keinerlei chemische Bindungskräfte. Siehe auch Zuschlagstoffe.

Entsprechend der regionalen Herkunft und Bezugsmöglichkeiten wurden meist regionale Kalkvorkommen zur Baukalkherstellung benutzt. Hierdurch und durch die regional sehr unterschiedlichen Technologien entstehen zum Teil sehr unterschiedliche Materialeigenschaften.

So ist ein Muschelkalk basierend auf gebrannten Muschelscherben von der Nordseeküste nicht zwingend mit einem Kalk, gebrannt aus hochreinem Kalkstein, zu vergleichen.

Der Einfluss der Herstellungstechnologie kann ebenfalls erheblich sein. So können beispielsweise Verbrennungsrückstände, veränderte Brenntemperaturen oder unterschiedliche Löschbedingungen die Kalkeigenschaften erheblich verändern. Im Weiteren können die Feststoffeigenschaften auch durch die Applikation und die Nachbehandlung beeinflusst werden.

### *Brennvorgang*

Der Kalkstein wird auf eine relativ gleichmäßige Korngröße gebrochen. Dies ist wichtig um im Kalk einen gleichmäßigen Anteil an Mittelbrand, Hochbrand und Unterbrand zu erreichen. Was wiederum die Löscheigenschaften und über die entstehende Teilchengröße die Bindekraft beeinflusst. Heute werden durch einen kontrollierten Brennprozess möglichst gleichmäßige Kalke hergestellt. Historisch hatte man diese Möglichkeiten nicht.

Je nach Reinheit des Ausgangsmaterials entstehen Kalke mit mind. 90% Kalkanteil (CL 90), mit mind. 80% Kalkanteil (CL 80) und mind. 70% Kalkanteil (CL 70). Gemische aus Calcium- und Magnesiumcarbonate werden als Dolomitzalke bezeichnet. Sie werden in Reinheitsgraden von 85 und 80% unterschieden (DL 85, DL80)

Eine weitere Luftkalkform ist der Carbidkalk. Er ist ein Abfallprodukt der Azetylenherstellung.

Durch die Zufuhr von Wärme (ca. 800 Grad Celsius) wird dem Kalkstein Feuchtigkeit und Kohlendioxid entzogen. Es entsteht der Brandkalk, der Stückkalk. Er besitzt ca. nur noch die Hälfte seiner Dichte. Je nach Brennintensität entstehen Weichbrand, Mittelbrand und Hardbrand. Brandkalk ist heute meist in gemahlener Form im Handel erhältlich. Stückkalk kann über einzelne Hersteller in verschiedenen Qualitäten und Korngrößen bezogen werden.

### *Weichbrand*

Ein Weichbrand zeichnet sich durch seinen hohen Porenanteil aus. Er reagiert sehr schnell mit Feuchtigkeit. Wasser kann über die Poren sehr schnell ins Innere des Stückkalkes eindringen. Es entsteht so eine sehr große Oberfläche an der der Löschprozess stattfinden kann. Die Folge sind sehr kurze, heftige und vollständige Löschprozesse. Hier werden Reaktionszeiten von unter 20 Sekunden erreicht. Weichbrände sind durch aus in der Lage, sich über Luftfeuchtigkeit abzulöschen. Dies bedeutet relativ kurze Lagerzeiträume oder eine aufwendige Verpackung um sie vor erhöhter Luftfeuchtigkeit zu schützen. Haupteinsatzgebiet ist die Kalkhydrat und Mörtelherstellung.

### *Hardbrand*

Der Hardbrand ist wesentlich stärker gebrannt. Er ist demzufolge wesentlich mehr versintert und besitzt im Vergleich zum Weichbrand nur wenige Poren. Dem zu Folge kann das Wasser nur sehr langsam in den Stückkalk eindringen. Die Reaktion muss von der äußeren Oberfläche her erfolgen. Die Reaktionszeit verlängert sich daher um ein Vielfaches. Die Gefahr des nicht vollständigen Durchlöschens der einzelnen Stücke erhöht sich wesentlich. Der Hardbrand wird daher hauptsächlich bei der hoch technisierten und kontrollierten Herstellung von Kalksandsteinen und Porenbetonsteinen, bei denen dieses vergrößerte Zeitfenster bei der Reaktion benötigt wird.

### *Mittelbrand*

Mittelbrände bewegen sich bezüglich der Porigkeit zwischen Weich- und Hardbrand. Dem zu Folge auch die Reaktionsgeschwindigkeit. Sie werden ebenfalls in industriell gesteuerten Prozessen eingesetzt.

### *Brennöfen*

Kalke wurden und werden über unterschiedliche Brennvorgänge aufgebrannt. Historisch bediente man sich im Wesentlichen den Mailer- und den Kammeröfen.

Bei den Kammeröfen wird in einer Brennkammer über ein Feuer der darüber befindliche Kalkstein gebrannt. Zum Teil wurde der Kalkstein auch parallel mit den Ziegeln in einer Kammer gebrannt. Als Brennmaterial wurde das gerade kostengünstig und regional verfügbare Brennmaterial verwendet. Dies konnten unter anderem Holz, Kohle, Torf und später auch Gas, Öle oder auch Abfälle sein.

In den Maileröfen wurden der Kalkstein und das Brennmaterial in einzelnen Schichten übereinander eingebracht. Durch den direkten Kontakt von Brenngut und Brennmaterial wird ein wesentlich höherer Wirkungsgrad bezüglich der Energieausbeute erreicht.

Da die Verbrennungsrückstände zum großen Teil im Brandkalk enthalten bleiben, werden die Kalkeigenschaften hierdurch teilweise erheblich beeinflusst.

Besondere Bedeutung erhielt zur Zeit der Industrialisierung der Rohmfortsche Schachtofen. Durch die Definition einer Brennzone im unteren Teil des Ofens konnte der Brandkalk darunter entnommen werden.

Durch das Nachsacken der über der Brennzone liegenden Kalkstein- und Brennmaterialschichten wurde Platz für neues Einfüllmaterial im Oberen Bereich des Schachtes geschaffen.

Durch ein ausgeklügeltes Be- und Endlüftungssystem wurde der Wirkungsgrad bezüglich der Energieausbeute erheblich verbessert. Die warmen Abgase wurden durch die darüber liegenden Schichten geführt, so dass diese bereits vorgewärmt in die Brennzone gelangten.

Im 20. Jahrhundert hat sich durch die technische Entwicklung der Brennöfen der gesamte Herstellungsprozess erheblich gewandelt. Heute werden zumeist Drehrohröfen über Gas oder elektr. Energie beheizt.

Der Kalk enthält keine eigenschaftsverändernde Zusätze und Rückstände durch das Brennmaterial mehr. Durch den gleichmäßigen und kontrollierten Brennprozess und die hohe gleichmäßige Ausgangsmaterialqualität wird eine Produktreinheit erreicht, wie sie seit Jahrtausenden angestrebt und nie erreicht wurde. Hieraus ergeben sich viele Vorteile aber gerade für den Umgang mit Beständen, welche nicht auf diese Produktreinheit basieren, ergeben sich einige Besonderheiten.

### ***Löschen***

Beim Löschen wird dem Brandkalk (Calciumoxid) Wasser zugeführt. Durch eine starke exotherme Reaktion entsteht Calciumhydroxid, der Löschkalk. Hierbei vergrößert sich das Volumen bis zum Dreifachen. Dies wiederum ist in Verbindung mit Kohlendioxid und Wasser die Grundlage für die Erhärtung, die Carbonatisierung.

In der Praxis werden zwei grundsätzliche Löschverfahren unterschieden. Zum einen das Trockenlöschen und zum anderen das Nasslöschen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass beim Nasslöschen, entgegen dem Trockenlöschen, ein Wasserüberschuss vorhanden ist. Hieraus resultiert eine Reihe von unterschiedlichen Eigenschaften. Diese bedürfen zum Teil veränderter Verarbeitungstechniken.

### ***Erhärtung von Luftkalkmörtel***

Kalkmörtel sind aufgrund ihres Abbindeverhaltens und ihrer Bindekraft auf einen kapillar zugänglichen Untergrund angewiesen. Das überschüssige Wasser/ Bindemittelgemisch wird zum Teil durch Kapillarkräfte in den Untergrund gesogen. Aus der daraus resultierenden Ansteifung des Materials wird das physikalische Gerüst gebildet. Dies ist unter anderen entscheidend für die Porigkeit des Feststoffs.

Im Anschluss muss der Mörtel bis auf einen Feuchtigkeitsgehalt von ca. 5M-% trocknen. Dies ist mit einer Schwindung verbunden. Um Rissbildungen zu minimieren sind die Verarbeitungstechniken, die Umgebungsparameter und die Sieblinie des Zuschlages sowie eventuelle Zusätze von besonderer Bedeutung.

Ist das Wasser aus den Poren entweicht kann über diese Kohlendioxid aufgenommen werden. Dieses reagiert über Kohlensäure mit dem Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat (Kalkstein) und Wasser.

Dieser Prozess beginnt von der Oberfläche her. Da das Kohlendioxid die bereits carbonatisierten Bereiche überwinden muss um ins Innere zu gelangen verlangsamt sich die Carbonatisierungsgeschwindigkeit mit zunehmender Schichtstärke.

Bei einer völligen Austrocknung des Materials stellt sich ebenfalls die Carbonatisierung ein, da die benötigte Kohlensäure nicht zur Verfügung steht. Der optimale Feuchtigkeitsgehalt liegt zwischen 0,8 und 4 M-%.

### ***Zuschläge***

Der Bereich der Zuschlagstoffe wird heute leider kaum mehr ausreichend berücksichtigt. Um heute noch Luftkalkputze im Außenbereich herzustellen müssen nahezu alle Bedingungen gegen optimal laufen. Dies gilt nicht nur für den Bereich der Bindemittel, Anstriche und Zusätze sondern besonders für den Bereich der Zuschlagstoffe. Hier gab und gibt es grundlegende Parameter die eingehalten werden müssen um vorzeitige Verwitterungen zu vermeiden.

### ***Bindemittelbedarf und Korngrößenverteilung***

Zur Bindung einer bestimmten Menge an Sand ist der Porenraum zwischen den Körnern mit Bindemittel zu füllen. Dies kann anhand einer Volumenprobe ermittelt werden. Bei Bindemittel mit einer höheren Bindekraft kann es notwendig werden den Anteil an Bindemittel zur Realisierung der Feststoffeigenschaften zu reduzieren. In diesen Fällen werden Füllstoffe zum Erreichen der Verarbeitbarkeit eingesetzt. Dies können beispielsweise Feinstsande sein.

Je mehr Hohlräume sich zwischen den einzelnen Zuschlagsstoffteilchen befinden, desto höher ist auch der Bindemittelbedarf. Füllt man diesen mit feinkörnigem Bindemittel auf, kann es im Rahmen der Trocknung zu starken Schwindungen und Rissbildungen in der Bindemittelmatrix kommen, die bis zum Versagen des Mörtels führen können.

Im Weiteren können sich infolge der Oberflächenbearbeitung leichter Sinterhäute auf den verdichteten Oberflächen bilden.

Die Folge sind unter anderem Gefügestörungen infolge von Dampfdrucke oder Oberflächenspannungen und Kristallisationen von Schadsalzen unterhalb der Materialoberfläche. Bei größeren Materialstärken verschärft sich diese Problem um ein vielfaches. Bei Zuschlägen mit einem hohen Porenanteil empfiehlt sich die Verwendung als trocken gelöschten Kalkmörtel oder die Verwendung als Heißkalkmörtel.

Bei den trocken gelöschten Kalkmörteln wird ein Teil des Stützkornes über die Kalkknoten gebildet. Diese sind in Ihrer Form und Größe anpassungsfähig und können sich entgegen von Grobzuschlägen selber einbinden.

Bei Heißkalkmörtel wird die Schwindung des Kalkes durch die Expansion im Rahmen des Löschprozesses aufgehoben. Wesentlich ist hier die Verarbeitung in der richtigen Löschphase. Bei zu schneller Verarbeitung ist das Material zu stumpf und kann sich nicht richtig mit dem Untergrund verbinden. Durch die nachfolgende sehr heftige Löschreaktion kann das Porengefüge zersprengt werden. Ist der Löschprozess zu weit fortgeschritten, ist die Expansion des Kalkes im Vergleich zur Schwindung zu gering. Was eine übermäßige Schwindung des sehr bindemittelreichen Mörtels, mit entsprechender Schwindrissbildung und Untergrundablösung bedeuten kann.

Bei sehr bindemittelarmen Mörteln, wie zum Beispiel Lösch- oder Sumpfkalkmörtel ist die Ausfütterung der Sieblinie zur Reduzierung des Porenraumes und somit des Bindemittelbedarfes von entscheidender Bedeutung. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich die Putzstärke nach dem Größtkorn des Zuschlagstoffes richtet. Hier gilt die Faustregel 3x Größtkorn ist gleich der Mindestputzstärke. Die maximale Putzstärke richtet sich nach der Kornverteilung, dem Größtkorn, der Kornform, des Wassergehaltes sowie des Bindemittelgehaltes, der Bindemittelart und Größe. Sie wird an Putzkeilen auf dem Putzgrund ermittelt.

Aber nicht nur des Größtkorn sondern auch die Kornverteilung dazwischen muss aufeinander abgestimmt werden.

Ein Sumpfkalkmörtel sollte ca. 25%- 45% vom Gesamtvolumen an Körngrößen unter 0,25mm besitzen. Dieser Gehalt ist wichtig um das Korngerüst zu stabilisieren. Je geringer die Bindekraft des Bindemittels ist desto wichtiger wird dieser Anteil für die Beständigkeit des Mörtels. Wird der Anteil zu hoch, so steigt die Schwindrissneigung des Mörtels erheblich.

Der Feinstkornanteil muss nicht zwingend durch Feinstsande gebildet werden. Hier können auch Puzzolane oder latent hydraulische Stoffe ein Teil dieses Anteils einnehmen.

Der Anteil an Feinstbestandteilen sowie deren Korngröße richtete sich nach der Korngrößenverteilung sowie der Bindekraft des Bindemittels und entsprechender Zusätze. Sehr feine Bindemittel müssen zum Teil gefüttert werden um den Übergang zur Sieblinie des Zuschlages zu überbrücken.

Abschlämbbare Bestandteile z.B. Tone sind in der Lage durch Quellen und Schwinden (Bei Durchfeuchtung bzw. Austrocknung) das Putzgefüge, speziell von starreren Mörtelgefügen, zu zerstören. Daher sollte ihr Anteil bei Mörtel mit einer hydraulischen Bindungskomponente, welche Feuchtigkeit ausgesetzt sind, möglichst gering gehalten werden. (max. 3%) Tone erhöhen im Mörtel die Verarbeitungsfähigkeit durch ihr hohes Wasserrückhaltevermögen, ihrer Korngröße und Kornform. Sie können somit den Bindemittelgehalt reduzieren. Die Schwindrissneigung bleibt jedoch erhalten.

### *Kornformen*

Im Wesentlichen könne wir 2 Kornformen unterscheiden zum einen das gerundete Korn und zum anderen das gebrochene Korn.

Das gerundete Korn ist besonders geeignet für Putze, welche besonders elastisch bleiben müssen wie zum Beispiel dünne Schlämme oder Putze auf setzungsempfindlichen Bauteilen wie zum Beispiel Gewölbe. Hier erfolgt die Bindung nur über den Verbund von Bindemittel und Zuschlagstoff. Diese Mörtel lassen sich sehr gut verarbeiten sind allerdings nicht so fest und widerstandsfähig wie die Mörtel aus gebrochenen, scharfkantigen Sanden.

Bei Mörteln aus scharfkantigen Sanden können sich die einzelnen Teilchen ineinander verkrallen. Somit hat das Bindemittel eine wesentlich größere Bindefläche zur Verfügung als bei gerundetem Korn. Sie lassen sich schwerer verarbeiten, neigen zum Absetzen und sind wesentlich starrer. Ihre Druckfestigkeit und ihr Elastizitätsmodul steigen hingegen an.

### *praktische Anwendungen*

Optimale Sande bestehen im unteren Kornbereich aus Sanden mit gerundeter Kornform, welche sich gut verarbeiten lassen und in den gröberen Kornfraktionen Sande mit gebrochener Kornform, welche den Mörtel stabilisieren.

Um besondere Putzstrukturen darzustellen wird von diesen Grundregel abgegangen. In diesem Zusammenhang müssen aber auch andere Handwerkstechniken oder Bindungen verfolgt werden. z.B. Steinputze oder Spritzputze.

Wenn Ausfallkörnungen (Löcher in der Sieblinie) zum Einsatz kommen, sind alleinige Bindungen über Lehm oder Kalk oftmals problematisch. Zur Klärung der notwendigen Bindung sind entsprechende Putzproben anzulegen.

Für den Bereich der meisten Putze ist der Grubensand völlig ausreichend bzw. notwendig. In diesem Sand sind zudem auch die kleineren Korngrößen schon mit eingelagert. Das hat zur Folge, dass solche Sande kaum noch verändert werden müssen und zudem sich sehr gut verarbeiten lassen.

Hier können geringe Zumengungen von Gewaschene Grobsanden einen “guten” Putzsand ergeben. Leider wird die Bereitstellung von Grubensanden zu Gunsten der gewaschenen Flusssande immer weiter zurückgefahren.

In vielen Flusssanden sind die feinen Anteile ausgewaschen. Dies führt zu Problemen bei der Verarbeitung (Putz ist nicht geschmeidig). Weiterhin sind viele Hohlräume nicht gefüllt und der Putz erreicht nicht seine gewünschten Eigenschaften. Auch ist die Wasseraufnahme eines solchen “unvollkommenen” Putzes wesentlich höher als bei einem optimalen Gefüge.

Im Wesentlichen kann gesagt werden, dass eine Optimierung der Verarbeitbarkeit, eine Verbesserung der Putzqualität bedeutet. Fehler in der Applikation haben einen größeren Einfluss auf die Qualität als die Ausreizung der Mörtelabstimmung. Dies ist aber immer im Zusammenhang mit den notwendigen Putzeigenschaften zu sehen. Wenn ein Putzmörtel zum Beispiel ein hochwertiges Bindemittel in geringer Konzentration enthält und die Sieblinie im unteren Bereich Lücken aufweist, wird dem Putzmörtel auf den Baustellen vermutlich Wasser zugesetzt um ihn einigermaßen verarbeiten zu können. Dies bedeutet aber einen sehr porenreichen und wenig widerstandsfähigen Mörtel. Durch einen höheren Zusatz an nicht so hochwertigem Bindemittel kann dieses Problem umgangen werden.

### *Kapillar zugängliche Leichtzuschläge*

Kapillar zugängliche Leichtzuschläge besitzen Makroporen, welche durch Kapillaren miteinander verbunden sind. Hierdurch können sie erhebliche Mengen an Wasser aufnehmen. Auch die Diffusionsfähigkeit nimmt entsprechen zu.

Anders als bei Luftporen im Mörtelgefüge durch Luftporenbildner bleibt die Sieblinie geschlossen. Dies ermöglicht den Einsatz von Bindemittel mit geringerer Bindekraft da die Poren nicht überbrückt werden müssen.

Als kapillar zugängliche Leichtzuschläge kommen beispielsweise Calciumsilikatleichtzuschläge, Blähton, Bimse oder Perlite zum Einsatz.

Mit Mörtel aus diesen Sanden können unter anderem die Austrocknungseigenschaften, die Wärmedämmeigenschaften, das Mörtelgewicht sowie das E-Modul entscheidend verbessert werden.

### *Ziegelmehl und Ziegelsplitt*

Ziegelmehl nimmt eine Puzzolane Wirkung in Verbindung mit Kalk im Mörtel ein. Es bewirkt eine zusätzliche hydraulische Erhärtung des Kalkmörtels. Dies geschieht jedoch nur in Verbindung mit einem alkalischen Bindemittel. Ziegelmehl allein kann diesen Vorgang nicht bewirken. Auch bedarf es schwach gebrannter und keine versinterten Ziegel. Im Vergleich zu anderen hydraulischen Faktoren ist die Wirkung im Hinblick auf Bindung eher als gering einzustufen.

Ziegelsplitt agiert im Mörtel als Wasserspeicher. Weich gebrannte Ziegel können bis zu 330% ihres Eigengewichtes an Wasser aufnehmen und im Abbindeprozess an den Mörtel wieder abgeben. Das Risiko des Verbrennens des Mörtels kann somit reduziert werden.

Von zu weich oder ungebrannten Ziegeln ist jedoch abzusehen, da diese zwar viel Wasser speichern können, unterliegen aber einem starken Quell und Schwindprozess bei Durchfeuchtung und Trocknung und können so das Mörtelgefüge nachhaltig stören.

Anwendungen dieser Mörtel sind im Bereich von Heißkalkestrichen und Backsteinantragsmörtel zu finden.

### *Muschelscherben*

Durch den Einsatz von ungebrannten Muschelscherben kann ein Mörtelgefüge ausgesteift werden. Die Muscheln setzen sich als stabiles Gerüst zwischen die Feinstbestandteile und verringern so die Gefahr der Schwindrissbildung. Zu hohe Konzentrationen bewirken die Bildung von zusätzlichen Makroporen, wodurch beispielsweise die Frost- Tauwechselbeständigkeit und die Kornbindung erheblich eingeschränkt werden.

Eine weitere Anwendung ist der Einsatz von Muschelscherben in gebrannter Form als Stückkalkmörtel. In diesem Zustand sind diese in Form und Größe anpassungsfähig. (siehe auch trocken gelöschte Kalkmörtel) Durch die natürliche Verdreckung der Muscheln durch Tonminerale und deren Aktivierung im Brennprozess entsteht ein sehr widerstandsfähiger natürlicher hydraulischer Kalkmörtel.

## *Zusätze*

### *Faserzusätze*

Um einer Rissbildung im Putz auf elastischen Konstruktionen vorzubeugen können Mörtel durch den Zusatz von Fasern bewehrt werden. Diese werden dem Frischmörtel zugegeben. Durch die Verbindung von Fasern und Mörtel können Zugspannungen in gewissen Größenordnungen verteilt werden.

Bei Kalkputzen im Innenbereich finden Kälberhaare oftmals Anwendung. Sie lassen sich gut einbinden und sind relativ weich.

Hierbei ist darauf zu achten, dass wirklich nur Kälberhaare und keine Kuh Haare dem Mörtel beigegeben werden, da diese für manche Anwendungen bereits zu hart sind. Es ist darauf zu achten, dass die einzelnen Haare voneinander getrennt und entfettet im Mörtel vorliegen. Um sich diesen Prozess zu vereinfachen ist es ratsam, die Haare zusammen mit dem Brandkalk einzulöschen. Durch die erhöhten Temperaturen beim Kalklösen werden die einzelnen Haare voneinander getrennt und die Fettschicht auf der Haaroberfläche verbrennt.

Im Außenbereich wird oftmals auf die härteren Schweineborsten zurückgegriffen. Diese sind wesentlich widerstandsfähiger.

Solche Haarusätze sind besonders im Bereich von stark schwingungsbelasteten Bauteilen wie zum Beispiel Holzbalkendecken oder Fachwerkausfachungen empfehlenswert.

Für den Bereich der gröberen Mörtel können auch Stroh-, Hanf-, Flachs- oder Heuhexel in unterschiedlichen Längen verwendet werden. Im Gegensatz zu Tierhaaren, welche aus Horn bestehen, sind die Pflanzenfasern innen hohl und können somit zur Austrocknung des Mörtels beitragen. Dies ist besonders bei sehr dicken Mörtellagen von Vorteil. Hier spielt die Armierung nur eine untergeordnete Rolle.

In modernen Mörtelsystemen kommen oftmals Kunstharzfasern zum Einsatz. Diese können wesentlich größere Kräfte aufnehmen. Auch stellt sich hier das Problem der Verknotung nicht so stark wie bei Tierhaaren. Bei historischen Mörteln muss oftmals auf Bindemittel mit niedriger Bindekraft zurückgegriffen werden. Beim Einsatz von Luftkalk, natürliche hydraulische Kalke und Lehm stellt sich das Problem der fehlenden Anbindung zwischen Mörtel und Faser. Die Oberfläche der Glasfasern ist glatt, die mechanische Verkrallung fehlt. Folglich lassen sich die Zugkräfte nicht auf das Haar übertragen und die armierende Wirkung fehlt.

### *Kasein*

Aufgeschlossenes Kasein ist in der Lage, als organisches Bindemittel zu agieren. Es kann dem Mörtel zugemischt werden oder als eigenständiger allerdings gefüllter Kleber, Haftbrücke oder Anstrich fungieren. Um Kasein aufzuschließen, wird Magerquark mit Sumpfkalk versetzt. Das Mischungsverhältnis richtet sich nach dem jeweiligen Anwendungsfall, dem Kaseinanteil des Magerquarks und dem Feststoffanteil des Sumpfkalkes. Um Kasein aufzuschließen wird unter ständigem Rühren der Sumpfkalk hinzu gegeben. Verflüssigt sich die Masse sehr stark, so ist der notwendige Kalkgehalt erreicht.

Industriell hergestelltes Kasein wird mit Borax aufgeschlossen. Die Rezeptur richtet sich nach den Angaben des Herstellers. Um den Löseprozess zu erleichtern sollte das Kasein in warmes Wasser eingesumpft werden.

Geringe Kaseinzugabe wirkt sich im Mörtel als verdickend aus. Mehrzugaben hingegen, bewirken eine Fließwirkung des Mörtels. Diese Eigenschaft kann man sich zur Herstellung von Verpressmörtel zu nutzen machen. Kasein unterliegt zum Teil der Trocknung und ist daher schwindungsanfällig. Im Kalkputz bewirkt Kasein die Erhöhung der wasserabweisenden Wirkung und zur Versprödung des Putzes. Da Kasein im Frischmörtel im Anmachwasser gelöst ist, kann es sich bei der Austrocknung von Putzen auf schwach saugenden Untergründen an der Oberfläche anreichern und so bei Dampfdrücken Schalenbildungen hervorrufen.

Nicht zu vergessen ist, dass Kasein ein organisches Bindemittel ist und bei entsprechender Durchfeuchtung den Nährboden für biologischen Befall darstellen kann.

### Luftporenbildner

Die Erhöhung des Luftporengehaltes eines Mörtels kann im Bereich von salzbelasteten Mauerwerk bzw. bei großen Schichtdicken von Bedeutung sein. Hierzu kann man zum Beispiel aufgeschlagenes Eiweiß, Tenside, Blut oder Aluminate verwenden. Zu beachten ist, dass die Bindung im Mörtel stark genug sein muss um die gebildeten zusätzlichen Makroporen zu überbrücken. Für Luftkalkmörtel sind Luftporenbildner eher ungeeignet. Hier wird eher eine dichte Mörtelstruktur benötigt.

## Polymerisationsharze

Polymerisationsharze sind organische Bindemittel, welche die Putzhaftung und die Elastizität verbessern. Sie beeinflussen die Wasserrückhaltung, und die CO<sub>2</sub> Aufnahme durch den Porenraum.

Für Luftkalkmörtel sind sie eher ungeeignet, da sie die CO<sub>2</sub>- Aufnahme einschränken und dadurch die Bindung behindern.

## Fette und Öle

Sie verändern die Oberflächenspannungen an den Kapillarporenwandungen, wodurch die Saugfähigkeit reduziert wird. Anreicherungen an der Oberfläche können problematisch sein. Bei Überdosierungen kann die Diffusionsfähigkeit beeinträchtigt werden. Bei Kalkputzen ist eine extreme Verzögerung der Carbonatbildung zu beobachten.

## Bentonite und Lehmzusätze

Durch solche Zusätze wird Anmachwasser gebunden. Die Geschmeidigkeit und somit die Verarbeitbarkeit wird verbessert. Das Wässern wird reduziert. Als problematisch können diese Zusätze im Hinblick auf die Spannungen im Mörtelgefüge, durch das Quellen bei Durchfeuchtung sowie das Schwinden bei Trocknung, eingeschätzt werden.

## Cellulose

Durch die Zugabe von Cellulose wird Wasser durch das Quellen die Cellulose gebunden, wodurch die Entfeuchtung verlangsamt wird. Die Quellerscheinungen führen bei mageren Putzen zum Füllen des Porenraums, was die Verarbeitbarkeit und die Pumpfähigkeit verbessern. Cellulose zugaben reduzieren die Mörtelschwindungen in der Trocknungsphase, da diese verlangsamt wird. Hier sind ohne entsprechende Stützkörner größere Putzstärken möglich.

Als problematisch kann die Bildung von Nährboden für einen mikrobiologischen Befall eingestuft werden. Bei Überdosierung beginnt der Mörtel zu kleben und lässt sich schlechter verarbeiten.

## Heringslake

Durch die Verwendung von Heringslake wurde speziell in Anstrichkalke oder Schlämmen eine hygroskopische Salzlösung eingebracht. Sie sollte durch die Anbindung von Wasser aus der Luft, das Verbrennen des Kalkes verhindern. Als problematisch ist die hohe Belastung des Neumaterials mit Schadsalzen zu sehen.

## **2. Luftkalkmörtelarten**

### *Sumpfkalk/ Löschkalkmörtel*

Das bekannteste Nasslöschverfahren ist das Einsumpfen in Löschpfannen. Hierzu wird in einer Löschpfanne Wasser gegeben. Unter ständigem Rühren wird Brandkalk hinzu gegeben. Durch die Expansion während des Löschprozesses steift die Lösung zu einem Brei an.

Entscheidend für die Eigenschaften des Löschkalkes ist neben dem Ausgangsmaterial die Löschttemperatur. Je nach Ausgangsmaterial und Umgebungsparameter kann diese schwanken. Bei ca. 80 Grad löscht sich der Kalk am gleichmäßigsten. Hier können Teilchengrößen um 30 Mikrometer erreicht werden. Bei höheren oder niedrigeren Löschttemperaturen vergriest das Material oder zerfällt unvollständig. Die Teilchengröße wird dann größer. Somit verringert sich die Bindekraft.

Will man eine möglichst kleine Teilchengröße erreichen, sollte man langsam den Kalkgehalt in der Lösung erhöhen um die Löschttemperatur nicht zu stark ansteigen zu lassen. Hierdurch ergibt sich basierend auf den einsetzenden Ansteifprozess ein Feststoffanteil von ca. 40 M-%. Gibt man weiteren Kalk hinzu lässt sich das Material nicht mehr verrühren. Die Löschttemperatur steigt in der nahezu gesättigten Lösung schlagartig an und das Material vergriest.

Zur Herstellung von Sumpfkalken (gelagerte Löschkalke) erfolgt die Ansteifphase bereits in der Kalkgrube. Diese Technik erfordert viel Erfahrung bezüglich der Kalkdosierung, da ein späteres Zugeben von Kalk nicht mehr möglich ist. Ein zu hoher Kalkgehalt führt zum Verbrennen und ein zu geringer Kalkgehalt zum Ersaufen des Löschkalkes. Beide Formen sind nahezu unbrauchbar.

In der Kalkgrube setzen sich entsprechend der Teilchengröße einzelne Schichten voneinander ab. Dies ist besonders bei der Verwendung von Stückkalk von Bedeutung. Zu beachten ist, dass beim langsamen Füllen der Kalkgrube sich die Schichtungen nur Portionsweise bilden. Die größeren und somit schwereren Teilchen können die bereits angesteiften Schichten nicht durchwandern. Eine entsprechende separate Verwendung der einzelnen Schichten ist sehr schwierig.

Die größeren Teilchen setzen sich auf dem Boden der Kalkgrube ab. Dieses grobe Material hat aufgrund der Teilchengröße eine geringe Oberfläche und somit eine geringe Bindekraft. Diese Schichten werden für Mauermörtel oder Unterputze eingesetzt. Hier sind Beimengungen gröberer Bindemittelteilchen zur Fütterung der Sieblinie von Vorteil.

Die mittleren Schichten besitzen eine durchschnittliche Teilchengröße. Diese werden für die Herstellung von Putzen und frescale Kalkanstrichen verwendet.

Im oberen Bereich der Kalkgrube lagern sich die kleinsten Teilchen ab. Diese besitzen aufgrund ihrer großen Oberfläche die größte Bindekraft. Diese werden daher für hochfette Fresko und Glanzputze aber auch für hochwertige Kalkanstriche in Secotechnik verwendet.

Das Wasser, was sich auf den Kalkschichten befindet wird als Kalksinterwasser bezeichnet. Dieses ist eine gesättigte Kalklösung. (ca.2g Kalk je Liter Wasser) Dieses Kalksinterwasser kann zum moderaten Festigen von Putzoberflächen, zum Vornässen von Materialschichten und zum Einsumpfen von Pigmenten verwendet werden.

Eine Erhöhung des Feststoffanteils wird durch die Einlagerung und der damit verbundenen Sedimentation erreicht. Aus dem Löschkalk entsteht so der Sumpfkalk. Er ist in verschiedenen Altern zu bekommen.

Das gängigste Alter beträgt 24 Monate. Er wird vorwiegend für Kalkanstriche, Freskenmahlschichten und Kalkglanzputze eingesetzt. Kalke mit Sumpfzeiten von ca. 12 Monaten werden für Kalkoberputze eingesetzt. Sumpfzeiten, länger als 36 Monaten, führen in der Regel zu keiner weiteren Erhöhung des Feststoffanteils. Er beträgt hier je nach Lagerbedingungen um die 50- 55 M-%.

Beim Einsumpfen in Erdgruben (im bindigen Boden) können durch die Aufnahme der Schichtsilikate Schadstoffe aus dem Kalk herausgelöst werden. Bei heutigen CL 90 Luftkalken spielt diese nur noch eine untergeordnete Rolle, da diese Materialien kaum entsprechende Schadstoffe besitzen.

Löschkalk kann nach einer Reaktionszeit (materialabhängig) von mind. 48 Stunden zum Herstellen von Kalkinnenputze eingesetzt werden. Eine weitere Anwendung sind Mörtel mit Mischbindungen, denen hydraulische Bindemittel oder latent hydraulische Stoffe zugegeben werden.

Lösch- und Sumpfkalke sind, vor Austrocknung und Frost geschützt, unbegrenzt haltbar.

Mörtel aus Lösch- oder Sumpfkalk sind verhältnismäßig bindemittelarme Materialien. Ihr Feststoffanteil liegt für gewöhnlich unter 10 M- %. Bei einigen dünnlagigen Freskomörteln oder Abstuckungen kann der Kalkgehalt etwas höher liegen. Durch den hohen Wasseranteil im Mörtel, bildet sich im Rahmen der Trocknung des Mörtels ein hoher Anteil an Makroporen. Dies führt zu mäßigen Festigkeiten, meist um 1 N/mm<sup>2</sup>.

Bei hohen Schlagregenbeanspruchungen kann es aufgrund des geringen Bindemittelanteiles schnell zu Bindemittelauswaschungen kommen, welche die Gesamtbindung gefährden.

Prinzipiell kann gesagt werden, je länger die Sumpfdauer eines Kalkes ist, desto höher kann der Kalkanteil im Mörtel gewählt werden. Dies liegt vor allem an der verzögerten Wasserabgabe und der somit geringeren Schwindung des Mörtels. Sumpfkalkmörtel besitzen gegenüber Löschkalkmörteln eine dichtere Porenstruktur. Was sich durch die verbesserte Sieblinie im Bindemittelanteil infolge der Sedimentation erklären lässt.

Lösch- oder Sumpfkalkmörtel als Putzmörtel bedürfen einer möglichst gleichmäßigen Schichtstärke und einem gleichmäßig saugendem Untergrund. Oberflächenbearbeitungen zu unterschiedlichen Ansteifphasen führen zu Rissbildungen und Hohlstellen im Putz. Für Dickschichtputze sind daher meist Unterputze erforderlich.

Moderne Nasslöschverfahren bemühen sich die Teilchengröße weiter zu reduzieren. Im Weiteren wird versucht die Materialschwankungen zu minimieren. Hierzu werden Trockengelöschte Kalke aus kontrollierten, industriellen Großprozessen eingesumpft. Die Zerkleinerung der Teilchen erfolgt durch Dissolverseiben oder durch Nassmahlen.

Die hieraus resultierende größere Oberfläche ermöglicht eine wesentlich höhere Bindekraft als es von historischen Luftkalken zu erwarten wäre. Als problematisch sind die Sedimentationsvorgänge des Bindemittels bei der Lagerung einzustufen. Um ein Absetzen zu verhindern muss das Material stabilisiert oder häufig gerührt werden.

Im Rahmen der Verarbeitung, muss die Bildung von Sinterhäuten auf der Oberfläche beachtet werden. Durch die geringe Bindemittelteilchengröße, werden im Rahmen der Entfeuchtung diese auf der Oberfläche angelagert, was zu Sinterkrustenbildung nach erfolgter Oberflächenbearbeitung führen kann. Im Weiteren ist eine verstärkte Kapillarporenausbildung zu beobachten, was zu einem verstärkten Saugen gegenüber Sumpfkalken führt.

## ***Trocken gelöschte Kalkmörtel***

### *Industrielles Trockenlöschen*

Bei diesem Verfahren wird dem Kalk eine zuvor berechnete Menge an Wasser zugegeben.

Dies kann in industriellen Anlagen über Wasserdampf geschehen. Durch diese kontrollierte Reaktion mit gleich bleibenden definierten Umgebungsparametern entsteht ein entsprechendes Pulver, welches als Kalkhydrat im Handel erhältlich ist.

Luftkalkmörtel aus industriell gelöschtem Kalkhydrat sind verhältnismäßig bindemittelarme und schwindungsanfällige Mörtel. Ihre Festigkeit als reine Luftkalkmörtel ist daher im Vergleich zu anderen Luftkalkmörteln eher gering. Dies liegt an der geringen Benetzungszeit des trockenen Bindemittels und an der gleichmäßigen Körnung des Bindemittels. Die Mörtel Eigenschaften können verbessert werden durch eine mehrtägige Mörtelliegezeit und einer Optimierung der Sieblinie in den unteren Kornfraktionen. Die Eigenschaften des Mörtels nähern sich so denen des Löschkalkmörtels.

Die Hauptanwendung von industriell gelöschtem Kalkhydrat ist jedoch die Verschneidung von hydraulischen Mörteln zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften bei moderaten Festigkeitsentwicklungen.

Zu anderen Formen des Trockenlöschens kann es auf der Baustelle kommen, wenn beispielsweise beim Nasslöschverfahren der Kalk nicht mit ausreichend Wasser umgeben ist. Dies kann Folge einer schlechten Durchmischung oder ein zu geringer Wasseranteil sein.

Problematisch ist bei dieser unkontrollierten Form des Trockenlöschens die ungleichmäßige und unvollkommene Reaktion zu Kalziumhydroxyd. Nach dem Abbrechen der Reaktion bildet sich um das entsprechende Korn ein relativ dichter Mantel aus gelöschtem aber trockenem Kalk. Dieser schränkt bei späterer Wasserzufuhr die direkte Wasseraufnahme des noch reaktiven Kerns ein. Verstärkt wird dieser Effekt, wenn die Carbonatisierung des Mantels bereits eingesetzt hat. Besonders problematisch ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von sehr grobem Stückkalk.

Durch die verzögerte Wasseraufnahme des noch reaktiven Kerns kann es im Zusammenhang mit der Mörtelerhärtung oder sogar erst im Zusammenhang mit einer späteren Durchfeuchtung zu erneuten Reaktionen des Kalziumoxydes mit Wasser kommen. Durch die erhebliche Volumenzunahme sind bei entsprechenden Mengen, Sprengwirkungen im Putzbereich kaum zu verhindern. Im Bereich von Mauermörtel ist diese Volumenzunahme, die hier im Wesentlichen zur Verdichtung der Mörtelstruktur führt, oftmals erwünscht.

### *Sandgesumpfte homogene Kalkmörtel*

Sandgesumpfte homogene Kalkmörtel werden durch das Verrühren von gemahlenem Branntkalk mit Sand unter Zugabe von Wasser hergestellt. Der wesentliche Teil des Löschprozesses findet während des Verrührens im Zwangsmischer und eine kurze Zeit später statt. Es entsteht ein erdfeuchter Mörtel, der nach einer 24 stündigen Mörtelliegezeit, unter erneuter Wasserzugabe aufgerührt und verarbeitet werden kann. Diese Mörtel besitzen einen höheren Kalkanteil als Löschkalkmörtel und sind nicht so stark Schwindungsanfällig. Bei Verwendung von Sanden mit ausgewogener Sieblinie entsteht ein sehr geschmeidiger homogener Kalkmörtel der ähnlich wie Löschkalkmörtel eingesetzt werden kann. Bei Verlängerung der Mörtelliegezeit verbessert sich die Geschmeidigkeit des Mörtels.

Das Material ist vor Austrocknung, CO<sup>2</sup>- Zutritt und Frost geschützt, lagerfähig. Nach einer Lagerzeit von mehr als 6 Monaten ist eine Verfestigung des Materials zu beobachten.

### *Trockengelöschte Kalkknotenmörtel (Kalkspatzenmörtel)*

Ein weiteres Verfahren zum Löschen ist das Sandsumpfen. Dies ist die vermutlich häufigste Form des Kalklöschens bis zum Historismus. Hier werden abwechselnd Sand- und Stückkalkschichten im entsprechenden Mischungsverhältnis aufeinander geschichtet. Der so entstandene Haufen wurde mit Wasser übergossen. Der Kalk löschte durch das Wasser im Sand langsam durch.

Da beim Löschen das Sand- Kalkgemisch nicht verrührt wird, entstehen bei der Verwendung von Stückkalk Kalkklumpen unterschiedlicher Größe. Diese werden als Kalkspatzen bezeichnet. Für die Verwendung als Putzmörtel ist es wichtig, dass die Kalkspatzen durchgelöscht sind. Ein reaktiver Kern aus Calciumoxid würde zu Kalktreibern führen. Die Gefahr der Bildung von Kalktreibern kann durch verlängerte Reifezeiten minimiert werden.

Beim Trockenlöschen kommt es durch die zum Teil sehr heftig ablaufenden Reaktionen (speziell bei reinen Luftkalken, mind. CL90) zu erheblichen Wärmeentwicklungen. Dies ist besonders beim Sandsumpfen von Bedeutung. So kann es hier bei der Verwendung von Quarzsanden zum Angriff der Oberfläche des Kornes kommen. Neben der hieraus resultierenden besseren Verkrallung des Bindemittels mit der jetzt raueren Oberfläche des Kornes kann auch eine hydraulische Nebenreaktion von amorphem Glas mit dem Kalk während der Erhärtung beobachtet werden. Wesentlich ist hierbei, dass neben der hohen Alkalität eine Kontakttemperatur von mind. 70 Grad eine Stunde lang vorgehalten werden muss. Industriell wird dieser Effekt bei der Herstellung von Kalksandsteinen in wesentlich stärkerem Umfang genutzt.

Durch die Zugabe von, zum Löschvorgang überschüssigem Wasser wird die Kontakttemperatur wesentlich reduziert, so dass diese Effekte abgeschwächt werden.

Kalkknoten bestehen anfänglich aus reinem Calciumhydroxid, dies ist leicht löslich. Später carbonatisieren diese mehr und mehr durch. Durch die relativ dichte Struktur des Kalkknotens findet dieser Prozess wesentlich langsamer statt als im übrigen Mörtel.

In der Phase der Verwitterung werden Calciumcarbonate aus der Oberfläche herausgelöst und ausgewaschen. Über die Austrocknung des Mörtels wird das in Wasser gelöste Calciumhydroxid auf die Oberfläche transportiert. Durch die Aufnahme von Kohlendioxid entsteht wiederum Calciumcarbonat, was die voran heraus gelösten Calciumcarbonate ersetzt. Putze aus solchen Mörteln können sich in gewissen Grenzen, bis zur vollständigen Umsetzung der Kalkknoten, selbst heilen.

Historische Kalkmörtel, welche über das Sandsumpfen hergestellt wurden, besitzen durch die Einbindung von Bindemittel in Kalkknoten, im Vergleich zu modernen Mörtelsystemen einen hohen Bindemittelanteil. Geht man davon aus, dass bei einer Verwitterung über Auswaschungen der Totalverlust des Mörtels eintritt, wenn das Bindemittel abgebaut ist, zeigen Kalkknotenmörtel eine längere Lebensdauer auf.

Die Kalkknoten liegen in unterschiedlichen Teilchengrößen von ca. 30 Mikrometern, wie beim Löschkalk und bis zu mehreren cm im Haufwerk vor. Durch das Verrühren werden sie in Form und Größe an die Sandstruktur angepasst. Es entsteht ein sehr dichtes Mörtelgefüge mit hoher Elastizität. Die Art und die Intensität des Aufrührens haben entscheidenden Einfluss auf die Mörtel Eigenschaften. Stark auferührte Mörtel sind feinkörniger, besitzen eine höhere Geschmeidigkeit und Klebekraft, neigen jedoch verstärkt zu Schwindrissbildung. Weniger stark auferührte Mörtel sind weniger geschmeidig, sind jedoch in ihrer Struktur besser gefüttert und können in größeren Schichtstärken aufgebaut werden. Hier ist zu beachten, dass die Kalkknoten das spätere Stützkorn des Mörtels bilden. In der Verarbeitungsphase sind sie jedoch noch weich und passen sich durch die Verarbeitung der gewünschten Form an. Da sie aus Bindemittel bestehen, brauchen sie nicht, wie bei Grobzuschlägen sonst üblich, durch kleineres Stützkorn gefüttert werden. In der Erhärtungsphase des Mörtels gewinnen auch die Kalkknoten an Festigkeit und bilden so das Stützgerüst des Mörtels.

Beim Einsatz von bindemittelreichen Kalkputzen wie Kalkspatzenputzen und Heißkalkputzen (Kalziumcarbonatanteil mind. 30M-%) sollte die Oberfläche nicht wesentlich verdichtet werden. Die könnte zu Dampfdrücken bei der Entfeuchtung und in deren Folge zu Putzablösungen und Hohllagen führen.

Diese Putze erhärten, auf Grund ihres hohen Luftkalkanteils, im Wesentlichen durch Carbonatisierung, die über die Oberfläche einsetzt. Es bildet sich zunächst auf der Oberfläche eine noch sehr dünne Carbonatschicht, welche mit zunehmender Carbonatisierung immer stärker und der Putz entsprechend fester wird. Bei Einsetzender Carbonatisierung kann es infolge von im Wesentlichen thermischen Spannungen zu kleinen oberflächennahen Rissen kommen. Diese betreffen die noch sehr dünne Carbonatschicht und führen zur Oberflächenentspannung. Durch Bindemittelauswaschungen und Rekarbonatisierungsvorgänge an der Putzoberfläche schließen sich diese jedoch meist wieder. Bei derartigen Putzsystemen sind diese sehr kleinen oberflächennahen Rissbildungen nicht ganz auszuschließen und stellen, sofern es keine durchgehenden Schwindrisse oder Entspannungsrisse über Hohllagen sind, keinen Mangel dar.

Bei bindemittelarmen Putzsystemen, wie Lösch- oder Sumpfkalkputzen (Kalziumcarbonatanteil zwischen ca. 10 M-%) treten diese Rissbildungen nur sehr selten auf.

Zu anderen Formen des Trockenlöschens kann es auf der Baustelle kommen, wenn beispielsweise beim Nasslöschverfahren der Kalk nicht mit ausreichend Wasser umgeben ist. Dies kann Folge einer schlechten Durchmischung oder ein zu geringer Wasseranteil sein.

Problematisch ist bei dieser unkontrollierten Form des Trockenlöschens die ungleichmäßige und unvollkommene Reaktion zu Kalziumhydroxyd. Nach dem Abbrechen der Reaktion bildet sich um das entsprechende Korn ein relativ dichter Mantel aus gelöschtem aber trockenem Kalk. Dieser schränkt bei späterer Wasserzufuhr die direkte Wasseraufnahme des noch reaktiven Kerns ein. Verstärkt wird dieser Effekt, wenn die Carbonatisierung des Mantels bereits eingesetzt hat. Besonders problematisch ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von sehr grobem Stückkalk oder Hardbränden.

Durch die verzögerte Wasseraufnahme des noch reaktiven Kerns kann es im Zusammenhang mit der Mörtelerhärtung oder sogar erst im Zusammenhang mit einer späteren Durchfeuchtung zu erneuten Reaktionen des Kalziumoxydes mit Wasser kommen. Durch die erhebliche Volumenzunahme sind bei entsprechenden Mengen, Sprengwirkungen im Putzbereich kaum zu verhindern. Im Bereich von Mauermörtel ist diese Volumenzunahme, die hier im Wesentlichen zur Verdichtung der Mörtelstruktur führt, oftmals erwünscht.

### *Heißkalkmörtel*

Als Heißkalkmörtel werden solche Mörtel bezeichnet, die im noch warmen Zustand, bedingt durch den Löschprozess des Kalkes, verarbeitet werden. So können eine Reihe von Mörteln mit besonderen Eigenschaften abgestimmt werden. Daraus ergeben sich beispielsweise folgende Vorteile:

- Durch die Verarbeitung des Materials in diesem Zustand soll die Volumenzunahme des Materials infolge des Ablöschens des Kalkes ausgenutzt werden. Hierbei kann der Anteil der Makroporen am Porengefüge reduziert werden.
- Des Weiteren kann durch die Expansion des Mörtels eine bessere Haftung zum Untergrund erreicht werden. Da die Feinstbestandteile des Mörtels in den Porenraum des Untergrundes eingetrieben werden.
- Da ein Großteil der Mörtelschwindung durch die Volumenzunahme des Kalkes kompensiert wird, ist die Schwindrissbildung speziell bei schwindungsanfälligen Mörteln mit hohem Bindemittelgehalt wesentlich reduziert.
- Durch die Verarbeitung des Materials im warmen Zustand, kann ein Großteil des überschüssigen, für die Verarbeitung jedoch notwendigen, Wassers verdunsten.

Für die Herstellung von Heißkalkmörtel sind prinzipiell alle ungelöschten Kalke verwendbar. Problematisch ist jedoch bei einigen Arten die praktische Verarbeitung. So sind hydraulische Kalke unter Baustellenbedingungen oftmals nur schwer zu einer einschätzbaren Löschreaktion zu bewegen. Bei anderen Kalkarten haben sich die Zeitfenster in denen die Verarbeitung die gewünschten Eigenschaften bewirkt als unpraktikabel erwiesen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass jeder Kalk seine Eigenarten besitzt. Die Reaktionsabläufe sind bei den meisten Kalken sehr unterschiedlich. Die Aufbereitung und die Verarbeitung muss auf diese abgestimmt werden. Versuche und Arbeitsproben in der speziellen Verarbeitungssituation mit anschließender Auswertung der erzielten Eigenschaften sind unerlässlich. In diesen Rahmen müssen auch die Umgebungsparameter mit einbezogen werden. Die Arbeitsproben sollten auf den jeweiligen Anwender bezogen sein, da jeder Handwerker auch seine individuelle Arbeitsweise besitzt mit der er zu den gewünschten Ergebnissen kommt.

Als besonders geeignet haben sich CL90 QL Weichbrände aufgrund ihrer einfach zu startenden und überschaubaren Reaktionsabläufe erwiesen.

Soll der Kalkmörtel hydraulische Festmörteleigenschaften aufweisen, so können dem Mörtel hydraulische Kalke oder hydraulisch wirkende Zusätze, wie amorphes Glas, Ziegelmehl oder ähnliches zugegeben werden.

Auch ist es möglich CL 80 Q Kalke mit einem definierten Anteil hydraulischer Phasen einzusetzen. Durch den geringeren Kalkanteil und die höhere Brennstufe sind die Reaktionsgeschwindigkeit und die Volumenzunahme während des Löschprozesses erheblich reduziert.

Im Übrigen greifen bei Heißkalke alle Abstimmungsmöglichkeiten wie bei kalten Kalkmörteln auch. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass der Anteil am ungelöschten Kalk nicht zu klein ausfällt um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen.

Um eine gleichmäßige und komplexe Reaktion zu sichern, ist es vorteilhaft auf fein gemahlene Kalk zurückzugreifen. Bei Stückenkalk besteht die Gefahr des ungleichmäßigen Löschens da sich hier die Kerne des Stückenkalkes wie oben beschrieben einkapseln könnten. Ein weiteres Problem besteht in der gleichmäßigen Verteilung des Kalkes im Mörtel um unterschiedliche Fettigkeiten und Volumenzunahmen zu verhindern. Eine vollständige Verteilung ist erst nach dem völligen Zerfall der Kalkstücken infolge des Löschprozesses möglich. Zu diesem Zeitpunkt ist ein Großteil der Reaktion schon abgelaufen.

Für Heißkalkmörtel können alle 3 Brandstufen zum Einsatz kommen. Um die Verwendbarkeit unter praktischen Gesichtspunkten abzuklären sind umfangreiche Tests in der Verarbeitungssituation notwendig. Das Zeitfenster für die Verarbeitung ist zum Teil sehr klein. So kann eine zu frühe Verarbeitung infolge der vollen Volumenzunahme zu erheblichen Absprengungen und Gefügestörungen kommen. Eine zu späte Verarbeitung würde nicht die gewünschten Eigenschaften hervorrufen, weil die Reaktion bereits abgelaufen ist.

Durch die Verwendung von Heißkalkmörtel als Putzmörtel können erheblich fettere Mörtel, ohne die Gefahr der stärkeren Schwindung verarbeitet werden. Dadurch lassen sich bei entsprechender Verarbeitungstechnik stabilere Putzflächen herstellen.

Durch das gleichmäßige Ansteifen des Mörtels ist die Gefahr der Setzrisse bei zu früher Oberflächenbearbeitung auch bei größeren Schichtstärken erheblich reduziert.

### **3. Mögliche Ausfachungen im Bestand aus technologischer Sicht**

#### **a. Fachwerkausfachungen aus Lehm**

##### *Ausfachung von Fachwerk mittels Flechtwerk und Lehmewurf*

Fachwerkausfachungen aus Flechtwerk mit beidseitigem Lehmewurf sind sehr häufig anzutreffen. Hierbei wird in die Gefache ein Flechtwerk aus Weidenrouten, Hanselnusszweigen oder ähnliches um meist Eichenstarken geflochten.

Hierzu werden in die Ständer und an den Oberseiten der Riegel ca. 2cm tiefe Nuten eingeschlagen. An den Unterseiten der Riegel werden ca. 2cm- 3cm tiefe Löcher eingearbeitet. Zwischen die Riegel werden nun die Eichenstaken, vorzugsweise gerissenes Material, eingeklemmt.

Um die Starken werden Weidenrouten geflochten. Sie sollen etwa fingerdick sein. Stärkere Weidenrouten werden aufgespalten. Es empfiehlt sich frisches Material zu verwenden, da diese biegsamer sind und nicht so schnell bricht. Um die Routen länger frisch zu halten können sie im Wasser gelagert werden.

Der Abstand der Routen sollte ungefähr 2 cm betragen. An den Enden werden oftmals die Routen in die Nuten der Ständer gesteckt um sie so nochmals zu fixieren. Als nachteilig in diesem Zusammenhang ist zu sehen, dass Insekten direkten Zugang über die Schwindfuge zwischen Bewurf und Ständer zum Hirnholzende der Weidenrouten bekommen. Will man dieses umgehen, lässt man die Routen ca. 2cm vor dem Ständer enden.

Die Kontaktflächen des Ständerwerkes werden mit Lehmschlämmen eingestrichen. Dies dient der besseren Ableitung der Feuchtigkeit vom Ständerwerk.

Nachfolgend wird das Flechtwerk nach Möglichkeit von beiden Seiten gleichzeitig ausgeworfen. Dies gewährleistet einen innigen Verbund zwischen Flechtwerk und Bewurf. Der Bewurf sollte um Putzstärke vom Ständerwerk zurückstehen.

In einigen Regionen wird auf den Lehmewurf verzichtet. An dessen Stelle wird das Lehmstrohgemisch von beiden Seiten gleichzeitig in das Geflecht gestopft. Dies erfolgt unter wesentlich weniger Wasserzugabe zum Strohlehmgemisch als es bei der Bewurftechnik der Fall ist. Dem zu Folge müssen die Routen des Flechtwerks einen weiteren Abstand ausweisen. Der Vorteil dieser Technik liegt in der wesentlich geringeren Schindung des Strohlehmgemisches im Rahmen der Trocknung. Dies verringert die Grobwasseraufnahme bei anstehender Feuchtigkeit, was wiederum die Beständigkeit erhöht.

Zur besseren Haftung des Putzes werden die Oberflächen des Bewurfs aufgeraut. Um ein Abscheren des Putzes an den Kanten zu verhindern wird an den Übergangsbereichen zum Ständerwerk eine Kehle in den Bewurf eingearbeitet.

### ***Ausfachung durch Lehmewurf auf Stakung***

Bei dieser Technik werden die gerissenen Holzstarke wesentlich dichter aneinander gereiht als es bei der Ausfachung mit Lehmewurf auf Flechtwerk der Fall ist. Hier arbeitet man mit Abständen um die 2-4 cm. Auf das Flechtwerk wird verzichtet. Der Lehmewurf oder die Stopfung wird durch die Stakung allein gehalten.

### ***Ausfachung durch Lehmwickel***

Um Deckfelder zwischen Holzbalkendecken zu füllen wurden oftmals Lehmwickel eingesetzt. Dies sind Starcken oder Halbhölzer, welche mit in Stroh getränkter Lehmschlämme umwickelt sind.

In die Holzbalken werden Nuten geschlagen oder Holzleisten angebracht in die die noch feuchten Lehmwickel eingeschoben werden. Auf der Oberseite werden sie durch eine Lehmpackung verstrichen. Auf der Unterseite wird ein Lehmunterputz als Ausgleichsputz aufgebracht. Die Holzbalken werden mit Putzträger übenagelt und anschließend mit einem flächigen Lehmunterputz übergeputzt. Als Oberputz wurde oftmals eine nur wenige Millimeter dicke Kalkabstuckung darüber gezogen.

Diese Technik wird auch im Fachwerkwandbau eingesetzt.

### ***Ausfachung mit Lehmformlingen***

Lehmformlinge sind länglich geformte Lehmklumpen, welche im noch nassen Zustand zur Gefachefüllung fugenfrei aufgestapelt werden. Der Verbund der einzelnen Lehmformlinge untereinander wird durch die Adhäsion des feuchten Lehms erreicht.

Die Verwendung von Grünlingen ist wegen des fehlenden Korngerüsts nicht zu empfehlen. Hier kann es zu erheblichen Schädigungen infolge von Schalenbildungen kommen.

### ***Ausfachungen mit der Wellertechnik***

Die Ausfachung von Fachwerken kann über das Einbringen von Strohlehm nach dem Vorbild des Lehmwellerbaus erfolgen.

Wellerwände werden aus fettem Lehm unter Zugabe von Stroh (30-50cm) hergestellt. Das Trockengewicht des fertigen Materials darf bei Massivlehmwänden 1700kg/cbm nicht unterschreiten. Beim Ausfachen von Fachwerkbeständen werden keine Lasten, abgesehen vom Eigengewicht und eventuellen Windlasten, durch die Ausfachung aufgenommen. Dem zu folge kann in diesem Anwendungsfall die Trockenrohdichte des Ausfachungsmaterials wesentlich reduziert werden. Durch die weitere Zugabe von Pflanzenfasern werden die Wärmeleitfähigkeit und die Materialfestigkeit erheblich reduziert.

Beim Herstellen von Massivwellerwänden wird das Stroh-Lehmgemisch nach dem Durchtreten in Lagen von bis zu einem Meter auf das Sockelmauerwerk oder die darunter befindliche Schicht aufgestapelt und verdichtet. Der seitliche Überhang beträgt jeweils ca. 10cm.

Nach einer Antrocknungsphase wird die Wand mit einem Spaten lot- und fluchtgerecht abgestochen

Die Mindestwandstärke für innen und Außenwände beträgt 38cm. Durch das Einlegen von geschälten Hölzern, Reisig oder Weidenruten in die Ecken oder an den Öffnungen erhöht sich die Standfestigkeit.

Bei der Ausfachung mit Strohlehm wird auf das dem Holzwerkverlauf folgende Abstecken verzichtet. Zur Erreichung der Flächigkeit wird eine Schalung an den Holzwerkseiten befestigt.

### ***b. Fachwerksaufmachungen aus Mauerwerk***

Ausfachungen aus Mauerwerk werden, durch das Verspannen von Mauerwerksscheiben im Holzwerk hergestellt. Die Befestigung basiert auf den Formschluss. Weitere Befestigungen, wie beispielsweise über Nägel oder Leisten sind nicht notwendig und meist bestandsschädigend.

Es ist ratsam möglichst feingliedriges Mauerwerk mit einem hochelastischen Mörtel herzustellen. Hierdurch ist es möglich die im Fachwerk auftretenden Bewegungen aufzunehmen. Die Fugen in der Ausfachung sollten möglichst kein und vollfugig ausgefüllt werden. Als Mauermörtel kommt ein Kalk- oder Lehmörtel in Frage. Wesentlich ist der vollfugige Anschluss zum Holzwerk.

Nach dem Ausmauern sollte die obere Anschlussfuge zum Riegel oder um Rähm einige Zeit offen stehen bleiben und nach Beendigung der wesentlichen Setzungen des Mauerwerkes mit Heißkalkmörtel geschlossen werden.

Im Bereich der Backsteinausfachungen sind ornamental gestaltete Ziermauerwerke häufig anzufinden.

Bei Sichtausfachungen, sollten bei Neuausfachungen die Fuge „im eigenem Saft“, durch die Bearbeitung des Mauermörtels hergestellt werden.

### *c. Gefacheverputz*

Fachwerkausfachungen können durch einen Kalk- oder Lehmputz mit Kalktünche verputzt sein. Der Verputz kann ein- oder mehrlagig sein.

Bei erhöhter Schlagregenbelastung ist der Kalkmörtelverputz beständiger als die Kalktünche.

Als Kalkaußenputze auf Lehmausfachungen können Sumpfkalkputze, leicht hydraulische Kalkputze (max. NHL 2), Kalkspatzenputze oder Heißkalkputze eingesetzt werden.

Die Kalkmörteleigenschaften werden nicht nur durch die Art und Menge des Kalkes, der Zuschläge und Zusätze, sondern gerade auch durch die Technik der Herstellung, Aufarbeitung und Verarbeitung beeinflusst. Zum Teil sind diese Möglichkeiten der Abstimmung wesentlich umfassender als die Veränderung der Rezeptur.

#### *Kalkputze- einlagig*

Einlagenputze können nur **bei einer sehr gleichmäßigen Putzstärke** eingesetzt werden. Je nach Beanspruchung können hierzu Luftkalkputze (Kalkknotenputze oder Heißkalkputze) oder natürlich hydraulische Kalkputze (max. NHL 2) eingesetzt werden.

Die Fugen des Ausfachungsmauerwerk und die zum Holzwerk sollten ca. 5mm tief ausgekratzt werden. Dies dient der besseren Putzhaftung.

Ausfachungen aus Lehm können zur Verbesserung der Putzhaftung mit einer dünnflüssigen Heißkalkschlämme oder mit einem in den gut vorgehästen und vorgequollenen Lehmuntergrund eingearbeiteten, groben Kalkvorspritzer, vorbehandelt werden.

Nach dem leichten Anfeuchten des Untergrundes wird der Putz angeworfen und mit einer Kartätsche oder dem Kellenrücken aufgezogen. Um Hohlstellen zu vermeiden sollte der Putzmörtel am Holzwerk leicht angedrückt werden. Die Putzstärke kann über den Zuschlag (Sand) angepasst werden.

Die Putzstärke sollte mindestens das 3- fache des größten Korndurchmessers betragen. Trocken gelöschten Kalkmörteln erhalten ihre innere Struktur durch die Kalkknoten. Diese werden durch die Bearbeitung so geformt, dass sie sich ins Putzgefüge einbetten und nach der Erhärtung dieses stabilisieren.

Einlagenputze sollte nicht wesentlich stärker als 15mm aufgebracht werden. Nach dem Ansteifen des Frischmörtels kann die Oberfläche gerieben werden. Hierbei ist, speziell bei sehr bindemittelreichen Putzen, darauf zu achten, dass es zu keiner übermäßigen Oberflächenverdichtung oder zur Bildung von Sinterhäuten kommt.

Der Putz sollte max. ca. 1-2 mm im Gefach zurückspringen. Ist der Putz leicht angezogen, kann mit einem Cuttermesser ein feiner Schnitt an den Gefachflanken gezogen werden (Kellenschnitt). Dadurch wird ein ungleichmäßiges Reißen des Putzes am Fachwerkanschluss verhindert. Es besteht auch die Möglichkeit, in den frischen Kalkputz eine Kalk-Kasein-Farbe aufzubringen. Dies verbessert die Verbindung zwischen Putz und Anstrich.

#### *Kalkputze- zweilagig, frescal (nass in nass)*

Frescale Zweilagigenputze können **bei größeren und gleichmäßigen Putzstärke** eingesetzt werden. Je nach Beanspruchung können hierzu Luftkalkputze oder natürlich hydraulische Kalkputze eingesetzt werden.

Die Fugen des Ausfachungsmauerwerk und die zum Holzwerk sollten ca. 5mm tief ausgekratzt werden. Dies dient der besseren Putzhaftung. Nach dem leichten Anfeuchten des Untergrundes wird der Putz angeworfen und mit einer Kartätsche oder dem Kellenrücken aufgezogen. Um Hohlstellen zu vermeiden sollte der Putzmörtel am Holzwerk leicht angedrückt werden.

Die Putzstärke der einzelnen Schichten kann über den Zuschlag (Sand) angepasst werden. Die Putzstärke sollte mindestens das 3- fache des größten Korndurchmessers betragen. Trocken gelöschten Kalkmörteln erhalten ihre innere Struktur durch die Kalkknoten. Diese werden durch die Bearbeitung so geformt, dass sie sich ins Putzgefüge einbetten und nach der Erhärtung dieses stabilisieren.

Nach dem Ansteifen des Frischmörtels wird die Oberfläche mit der Kellenkante oder einer Richtlatte aufgeraut. Auf den angesteiften aber noch nicht Carbonatisierten Putz der ersten Lage wird dann die zweite Putzlage aufgeworfen und aufgezogen. Da der Oberputz im Normalfall wesentlich feiner als der Unterputz ist, wird die Schichtstärke geringer ausgebildet. Nach dem Ansteifen des Frischmörtels der zweiten Lage kann die Oberfläche gerieben werden. Hierbei ist, speziell bei sehr bindemittelreichen Putzen, darauf zu achten, dass es zu keiner übermäßigen Oberflächenverdichtung oder zur Bildung von Sinterhäuten kommt.

Der Putz sollte max. ca. 1-2 mm im Gefach zurückspringen. Ist der Putz leicht angezogen, kann mit einem Cuttermesser ein feiner Schnitt an den Gefachflanken gezogen werden (Kellenschnitt). Dadurch wird ein ungleichmäßiges Reißen des Putzes am Fachwerkanschluss verhindert. Es besteht auch die Möglichkeit, in den frischen Kalkputz eine Kalk-Kasein-Farbe aufzubringen. Dies verbessert die Verbindung zwischen Putz und Anstrich.

### *Kalkputze zweilagig, all secco*

Zweilagenputze all secco können **bei größeren, ungleichmäßigen Putzstärken** eingesetzt werden. Je nach Beanspruchung können hierzu Luftkalkputze oder natürlich hydraulische Kalkputze eingesetzt werden.

Die Fugen des Ausfachungsmauerwerk und die zum Holzwerk sollten ca. 5mm tief ausgekratzt werden. Dies dient der besseren Putzhaftung. Nach dem leichten Anfeuchten des Untergrundes wird der Putz angeworfen und mit einer Kartätsche oder dem Kellenrücken aufgezogen. Um Hohlstellen zu vermeiden sollte der Putzmörtel am Holzwerk leicht angedrückt werden.

Die Putzstärke der einzelnen Schichten kann über den Zuschlag (Sand) angepasst werden. Die Putzstärke sollte mindestens das 3- fache des größten Korndurchmessers betragen. Trocken gelöschten Kalkmörteln erhalten ihre innere Struktur durch die Kalkknoten. Diese werden durch die Bearbeitung so geformt, dass sie sich ins Putzgefüge einbetten und nach der Erhärtung dieses stabilisieren.

Nach dem Ansteifen des Frischmörtels er ersten Putzlage, wird die Oberfläche mit der Kellenkante oder einer Richtlatte aufgeraut. Hierbei ist darauf zu achten, dass auf der Oberfläche im Zuge der Entfeuchtung keine Sinterhäute entstehen. Nach einer Standzeit des Unterputzes von mind. 1 Tag/mm Putzstärke (bei 20 Grad Celsius und max. 65% relativer Luftfeuchte, ansonsten länger) kann der Oberputz auf den leicht angefeuchteten Unterputz aufgeworfen und aufgezogen werden. Da der Oberputz hier wesentlich feiner als der Unterputz ist, wird die Schichtstärke entsprechend geringer ausgebildet. Nach dem Ansteifen des Frischmörtels kann die Oberfläche gerieben werden. Hierbei ist, speziell bei sehr bindemittelreichen Putzen, darauf zu achten, dass es zu keiner übermäßigen Oberflächenverdichtung oder zur Bildung von Sinterhäuten kommt.

Kay Neuling  
Frachtstraße 5a, 38489 Jübar  
0172/9181282, info@kn-neuling.de

Der Putz sollte max. ca. 1-2 mm im Gefach zurückspringen. Ist der Putz leicht angezogen, kann mit einem Cuttermesser ein feiner Schnitt an den Gefachflanken gezogen werden (Kellenschnitt). Dadurch wird ein ungleichmäßiges Reißen des Putzes am Fachwerkanschluss verhindert. Es besteht auch die Möglichkeit, in den frischen Kalkputz eine Kalk-Kasein-Farbe aufzubringen. Dies verbessert die Verbindung zwischen Putz und Anstrich.