

Das Material Kalk und seine historische Verwendung

Das wichtigste existente Bindemittel in der Baugeschichte ist das Bindemittel Kalk. Seit tausenden von Jahren verändert der Mensch simplen Kalkstein durch Brennen, löscht diesen Branntkalk und verwendet ihn um Mörtel für Mauerwerke und Putze oder als Kalkanstrich und Wandmalerei einzusetzen. Die Herstellungstechniken verändern sich durch die Jahrhunderte aber das Ausgangsprodukt und das Endprodukt bleibt dasselbe. Immer wieder versuchte der Mensch auch dieses Material zu verbessern, für verschiedene Zwecke werden Zusätze beigegeben aber die meisten dieser „Verbesserungen“ werden wieder evolutionär ausgeschieden.

Kalkbrennen

Um Kalk zu brennen muss man den Kalkstein (CaCO_3) einfach eine gewisse Zeit einer Temperatur von 900 - 1000 °C aussetzen und das Kohlendioxyd (CO_2) entweicht in die Luft. Das Resultat ist Branntkalk (CaO).

Zu Beginn war die Technik des Kalkbrennen recht einfach. Es wurde eine Mulde im Boden ausgehoben, die Wände mit Steinen verkleidet und dieser Ofen abgebrannt. Diese Technik ist immer noch in Asien und Afrika gebräuchlich, genauso wie das Brennen von Ziegeln in sogenannten „Feldöfen“. Ähnliche Techniken wie der „Meilerofen“ haben sich traditionell bewährt in Gebieten wo überall Kalkstein anzutreffen ist oder wo die Verkehrswege eine Transport von Branntkalk erschweren. In der Hochblüte des römischen Reiches entwickelten sich die Schachtöfen welche sich im ganz Europa verbreiteten. Diese Öfen sind in Kalksteinbrüchen aufgestellt und sie waren um einiges effektiver, da sie durch die bessere Temperaturverteilung weniger Brennmaterial brauchten und eine gleichmässiger Materialqualität hervorbrachten. Nach dem Niedergang des römischen Reiches verschwanden diese Öfen wieder aus der Bautradition, die Kalkherstellung war wieder auf die Feldöfen der Nomaden zurückentwickelt. Im Mittelalter wurden die Schachtöfen jedoch wieder von Italien aus in ganz Europa verbreitet und in Schottland wurde begonnen mit Kohle zu brennen. Ende des 19. Jhd. entwickeln sich die Ringöfen und später die Zick-Zacköfen in denen kontinuierlich Ziegel und Kalk gebrannt wurde. Heute wird hauptsächlich in kontinuierlichen Schachtöfen, in Ringöfen, den Drehrohröfen oder den Wopfingerofen mit Gas gebrannt. Die Effektivität und Gleichmässigkeit der Kalkqualität ist heute sehr hoch, nicht zuletzt aus dem Grunde, dass nur reinste Kalksteinsorten gebrannt werden.

Kalklöschchen

Der gebrannte Kalk (CaO) wird mit Wasser in Verbindung gebracht und es entsteht Kalkhydrat (Ca(OH)_2). Dieses Kalkhydrat wird zum Binden von Sanden im Mörtel, von Pigmenten in Farben oder als Anstrich bei Weisstünchen eingesetzt.

Der Stückkalk, der an die Baustelle angeliefert wurde, musste immer so schnell wie möglich verarbeitet werden. Eine Methode war, den gebrannten Kalk mit Wasser zu versetzen, die Steine zu einem Brei von Kalkhydrat zerfallen zu lassen und in Kalkgruben abzulagern. Bei diesem Ablagern in der Grube sinken Verunreinigungen und ungebrannte Bestandteile des Kalkes zu Boden, der Kalk wird gereinigt. Gleichzeitig vergrößern sich mit der Zeit die blätterigen Kalkhydratkristalle und sie können so grössere Brücken schlagen, das heisst sie haben eine bessere Bindekraft. Schon Vitruv bringt genaue Vorschriften wie lange Kalk abgelagert werden muss um seine volle Qualität entfalten zu können.

Da jedoch gerade für grosse Bauwerke Unmengen von Kalk benötigt werden, welcher von verschiedenen Brennöfen angeliefert wurden, entwickelte sich auch das sogenannte „Trockenlöschchen“ bei welchem Sand in Lagen abwechselnd mit Stückkalk aufgelegt und dann mit Wasser übergossen wurde. Der Sand nimmt genügend Energie auf sodass der Kalk nicht „verbrennen“ kann. Es entsteht ein fertiger Mörtel, welcher nur durchgerührt und mit zusätzlichem Wasser versehen werden muss. Die moderne Technologie versteht heute unter „Trockenlöschverfahren“, dass gemahlener Stückkalk durch Wasserdampf geblasen wird und dabei nur soviel Wasser aufnimmt, dass Kalkhydrat entsteht. Dieses Kalkhydrat ist als Pulver auf dem Markt erhältlich, der Nachteil des trockenen Kalkhydrates ist seine um den Faktor zehn geringere spezifische Oberfläche im Vergleich mit Sumpfkalk und damit auch die geringere Bindekraft. Die moderne Herstellung von Sumpfkalk erfolgt durch Löschen des gemahlenen Stückkalkes in großen Löschtrommeln, die Verunreinigungen können auf Grund der Kornfeinheit in der Grube nicht mehr absinken und deshalb findet der Reinigungsprozess nicht mehr statt.

Hydraulische Kalke und hydraulische Zusätze

Da nicht überall reine Kalke, ja im Gegenteil eher selten reinste Kalke vorkommen wurde gebrannt was eben vorhanden war. Sehr viele tonige und mergelige Verunreinigungen im Kalkgestein haben nach dem Brennen eine hydraulische Wirkung auf das Material. Amorphe Silikate in sehr feinen Korngrößen reagieren mit dem Kalk und es entstehen Calciumsilikate mit ihren typischen Kristallnadelstrukturen. Diese entstehen unter Einbindung von Wasser und daher härten diese Kalke auch unter Luftabschluss. Je nach

dem Verhältnis zwischen Kalk und Mergel und der Aufteilung der tonigen Einschlüsse in silikatische und aluminatische Phasen reagieren diese Kalke anders. Die Erfahrung und nicht die chemische Analyse brachte die Bauleute wohl zu dem Punkt wo hydraulische Kalke einzusetzen waren zum Beispiel im Fundamentbereich. Wenn ein natürlicher hydraulischer Kalk in eine Kalkgrube gelöscht wird, so erhärtet nicht etwa deren gesamter Inhalt, sondern die hydraulischen Bestandteile bilden Klumpen und der Kalk ist mit hartem Gries verunreinigt. Diese reagieren später nicht mehr, die Hydraulizität geht verloren. Eingesetzt wurden diese Kalke dementsprechend mit dem richtigen Löschverfahren, das heisst trockengelöscht entfalteteten sie erst ihre vollen Aushärtungseigenschaften. Natürliche hochhydraulische Kalke kennen wir erst seit der Erfindung des Romazementes wo experimentell Kalk und Tone gemeinsam gebrannt und aufgemahlen eine sehr schnell und sehr hart abbindendes Material ergeben hat. Es entstand eine Industrie für solche hochhydraulischen Kalke und ihren Höhepunkt erreichte sie um 1900. Wir kennen die Architektur dieser Zeit mit ihren prächtigen Fassaden, deren Oberflächen uns heute jedoch grosse Schwierigkeiten in der Restaurierung machen. Chemisch gesehen besteht ein natürlich hydraulischer Kalk hauptsächlich aus Kalkhydrat und Dicalziumsilikat, die anderen Zementphasen entstehen durch die niederere Brenntemperatur und durch die nicht vorhandenen Metallphasen nicht, welchem Umstand zu verdanken ist, dass diese Mörtel zwar eine hohe Frühfestigkeit erreichen, aber im E-Modul sich kaum anders verhalten als durchcarbonatisierte Kalkmörtel. Bewusste hydraulische Zusätze kennen wir seit den Römern, die ja bekanntlich Pozzulanerde-Mörtel in grossem Masse beim Bau von Hafenanlagen und Aquädukten eingesetzt hatten. Die Pozzulanerde, wie alle vulkanischen Tuffe haben grosse Anteile von amorphen Silikaten in verschiedensten Formen und wenn zufällig die richtige Korngrösse vorliegt dann reagiert dieser Zuschlag gemeinsam mit dem Kalk. Weitere vulkanische Tuffe sind zum Beispiel die unterschiedlichen Trass-Arten in den Alpen und am Rhein. Nieder gebrannte Tone, zum Beispiel nieder gebrannte Ziegel wirken ebenfalls in gemahlenem Zustand leicht hydraulisch, verbranntes Holz durch den hohen Pottascheanteil (Kaliumcarbonat, Buchenholzasche etwa 18%) ebenfalls. Wenn wir aus heutiger Sicht historische Rezepturen zum Beispiel Vitruv nachstellen wollen, müssen wir ebenfalls bedenken, daß Vulkanerde ausgegraben und zugeschlagen eben nicht nur aus reaktivem Material sondern hauptsächlich aus Korngrössen besteht, welche nicht reaktiv einfacher Zuschlag sind. Unsere Industrie aber heute möglichst reine und fein gemahlene Trasse anbietet die praktisch nur aus reaktivem Material besteht. Dabei besteht die Gefahr der Überdosierung welche wir immer wieder beobachten können, die entstehenden Schäden werden jedoch dem Kalk zugeschrieben und damit eine Abwendung von der ursprünglich sehr guten Technik erreicht.

Anwendung des Kalkes

Für aufgehendes Mauerwerk wurde bis ins 19. Jahrhundert, in Ostregionen Europas bis heute das sogenannte „Trockenlöschverfahren“ angewandt. Dabei wurde eine Schicht Sand, darauf eine Lage Stückkalk und darauf wieder eine Schichte Sand aufgelegt und dieses dann mit Wasser übergossen. Dieses kann beliebig oft wiederholt werden, je grösser der Haufen umso gleichmässiger wird das Endergebnis. Rein rechnerisch benötigt man 9 Teile Sand und 1 Teil Branntkalk um ein Endergebnis welches vergleichbar mit einem Mörtel aus 3 Teilen Sumpfkalk und 1 Teil Sand ist. Da die Bindemittelverteilung im Trockenlöschverfahren ungünstiger ist, verwendet man üblicherweise mehr Kalk, das heisst 1 Teil Branntkalk auf 7 Teile Sand. Diese Haufen können dann beliebig lange aufbewahrt werden, solange sie nicht austrocknen oder gefrieren. Der Mischer sticht dann das Material senkrecht ab und mischt ihn unter Wasserzugabe zu einem verarbeitbaren Mörtel. Durch den Umstand, dass sich ja bereits Kalkhydrat teilweise im Porenraum des Sandes befindet wird der Mörtel mit weniger Wasserzugabe plastisch verglichen mit Sumpfkalk. Dadurch sind die Schwindeigenschaften geringer, ebenfalls durch kleine Partikel noch nicht gelöschten Kalkes welche im Abbindeprozess noch eine geringe Volumenzunahme ergeben. Dieser Umstand ermöglicht es schnellere Anfangsfestigkeiten zu erreichen und Gewölbe mit weniger Setzrissen zu erzielen. Aus dem Umstand, dass für die Mauern der Branntkalk direkt verwendet wurde, gewann man auch die Zeit für die Oberflächen Sumpfkalk herzustellen und ausreichend lange zu lagern. Dabei wurden auf dem Baugelände Gruben ausgehoben mit doppelten Holzwänden, welche mit Lehm ausgestopft waren versehen und in diese Gruben wurde der Sumpfkalk gelöscht. Nachdem der Sumpfkalk sich abgesetzt hatte wurde er mit Stroh abgedeckt und die Grube mit Erde verschlossen, damit musste man sich nicht mehr weiter um den Kalk kümmern bis dass er gebraucht wurde. Waren dann die Mauern hochgezogen, konnten diese Gruben geöffnet und der feste Sumpfkalk herausgestochen und mit Sand zu einem Mörtel verarbeitet werden. Dieser Kalkmörtel wurde dann entsprechend seiner Zeit, der technischen Möglichkeiten der Gerüstung und der jeweiligen Mode verarbeitet. Die Vorgänge waren aber immer gleich, es musste zuerst das Mauerwerk vorgefeuchtet werden, als Haftvermittler wurde maximal eine Kalkschlämme verwendet und in diese feuchte Kalkschlämme wurde der Mörtel geworfen. Der durch den Wurf entstehende Anpressdruck presst Bindemittel in den Porenraum des Untergrundes und schafft so eine möglichst gute Verbindung. Bei einlagigen Putzen wurde so die Oberfläche direkt hergestellt, bei mehrlagigen Putzen musste erst gewartet werden bis das Wasser, welches den Mörtel plastisch formbar macht entwichen ist, eine einfache Daumenprobe genügt, wenn der Mörtel so fest ist, dass bei Druckausübung mit dem Daumen gerade noch ein geringes Nachgeben feststellbar ist, ist es Zeit die nächste Lage aufzubringen. Die Putzlagen sollten eine Stärke des 3fachen Grösstkornes des

Zuschlagstoffes nicht überschreiten, mit 3 cm bei einem sehr groben Sand maximal. Das Mischungsverhältnis Sumpfkalk zu Sand ist sehr stark von der Kornstärke und damit der spezifischen Oberfläche abhängig, Feinsande benötigen mehr Kalk als Grobsande. Solange der Mörtel feucht gehalten wird, bleibt er plastisch und formbar, diesem Umstand verdanken wir den Reichtum an Oberflächenstrukturen an unserem historischen Bestand. Wird zwischen den Lagen zu lange gewartet, entsteht an der Oberfläche der unteren Lage eine Kalksinterhaut, welche eine Verdichtung der Oberfläche bewirkt und damit eine Trennschicht ist. Wird in die letzte Putzlage dann ein Kalkanstrich gesetzt ist das eine frescale Bindung welche nicht mehr vom Untergrund trennbar ist. Diese Bauabwicklung erfordert das Arbeiten in Tagwerken, die Anschlussstücke müssen feucht gehalten werden. Die Kalkqualität spielt hier eine eher untergeordnete Rolle, 90 % der Qualität kommt aus der Verarbeitung. Wird der Kalk in die Grube gelöscht, enthält er noch genügend ungelöschte Partikel, welche in der Wand dann durch Treibeffekte zu Schäden führen können. Deshalb sollte er auch 3 Monate abgelagert werden bevor er als Putzmörtel verwendet wird (augenommen trockengelöschtes Material, welches an historischen Gebäuden immer wieder feststellbar ist). Für Oberflächenputze welche eine stärkere Bindekraft benötigen und eine Sinterhaut als Schutzschicht bilden sollen verwendet man üblicherweise eine Kalk der 1 Jahr abgelagert ist. Es ist nicht notwendig übertrieben teures Material wie 30 jährigen Kalk zu verwenden, viel klüger ist es bei der Verarbeitung darauf zu achten, dass diese so perfekt wie möglich erfolgt. Für einen Anstrich verwendet man üblicherweise in Freskotechnik 6jährigen Kalk und für einen Seccoanstrich 3 Jahre abgelagerten. Je älter der Kalk umso glasiger wird er, unserem heutigen Anspruch auf „Fleckenlosigkeit“ kommt also ein jüngerer Kalk eher entgegen. Ein Anstrich sollte dünn und gleichmässig aufgetragen werden, in Schweden werden Kalkanstriche bis zu 6 Mal dünn feucht in feucht ausgeführt. Wird ein Seccoanstrich hergestellt muss zuerst vorgefeuchtet werden, eine gesättigte Kalkhydratlösung ist hier normalem Wasser vorzuziehen, da man in den Porenraum des Untergrundes hiermit bereits Kalkhydrat einbringt und die Kontaktfläche vorfestigt. Nach der Fertigstellung sollte der Anstrich noch nachgefeuchtet werden um die Trocknung so langsam wie möglich vonstatten gehen zu lassen. Allgemein sollten bei der Kalktechnik die klimatischen Bedingungen beachtet werden, ein zu schnelles Austrocknen verstärkt die Rissbildung und bremst die Karbonatisierung, deshalb sollte nicht in direkter Sonnenbestrahlung gearbeitet werden. Ein Frieren des Kalkes trennt das dem Kalkhydratkristall angelagerte Wasser von diesem und verhindert damit die Karbonatisierung. Deshalb braucht man für die Verarbeitung von Kalk Frostsicherheit für mindestens 3 Wochen nach der Fertigstellung.

Aushärtung und Karbonatisierung des Kalkes

Bei der Karbonatisierung des Kalkes wird aus der Luft Kohlensäure aufgenommen und das Kalkhydrat verwandelt sich bei Freiwerden von Wasser wieder zu Calciumcarbonat. Dieses Calciumcarbonat ist das eigentliche Bindemittel unserer Mörtel und Anstriche deshalb sollte man darauf achten, dass diese Karbonatisierung möglichst gefördert wird. In Tirol gab es zum Beispiel die überlieferte Tradition, bei einem Innenanstrich im Raum ein Holzfeuer anzuzünden. Man verband dies mit dem Zusammenführen der Elemente Erde, Wasser, Luft und Feuer und die Ergebnisse waren gut. Genau betrachtet wird dabei der CO₂-Gehalt der Luft sowie die Luftfeuchte angehoben, ideale Bedingungen für die Karbonatisierung welche das Wasser als chemischen Anreger benötigt. Es ist also unbedingt darauf zu achten, daß die Mörtel und Anstriche nicht zu rasch trocknen, wird der Karbonatisierungsprozess gestoppt, kann er kaum mehr angeregt werden, wasserempfindliche Putze und kreibende Anstriche sind das Ergebnis. Auch einige Zusätze bremsen oder behindern die Karbonatisierung wie zum Beispiel der bei Malern so beliebte Leinölzusatz oder andere organische Binder. Dasselbe passiert mit Acrylaten oder Dispersionsbindern welche oft aus Angst vor der „schlechten Bindung“ des Kalkes zugesetzt werden. Dabei entstehen Kalkseifen welche sehr rasch zu verdichtenden organischen Anstrichen kippen.