

## **Illusionen am Bau :**

### **“Reiner Kalkputz” - Was ist das ?**

#### **Zusammenfassung**

*Die nachfolgende, aus dem Studium zahlreicher Literaturquellen zusammengefaßte Übersicht über Kalke als Putzbindemittel zeigt schon, daß es sich hier um sehr komplexe “unreine” Systeme handelt. Das Wissen um die chemischen und physikalischen Zusammenhänge beim Abbinden und der weiteren Alterung von Kalkputzen liegt bei vielen Architekten im Allgemeinen nicht vor, bei Handwerkern häufig nur in verschwommenen Umrissen. Bei vielen Denkmalpflegern, die von der Ausbildung her meist Kunsthistoriker sind, liegen Kenntnisse über die Begriffe Kalk und Zement nur vom “Hörensagen” vor, wobei Detailwissen nicht vorausgesetzt werden kann, so daß es immer wieder zu bedauerlichen Fehlentscheidungen und frühen Sanierungsschäden kommt.*

*Die beiliegenden Bilder stammen von Luftkalkputz-Objekten (Mörtelgruppe P I a nach DIN 18 550). Die Schäden traten jeweils nach einem Winter auf. Die Handwerker haben nach den Regeln der Handwerkskunst gearbeitet und sollen nun nachsanieren. Doch die Frage ist , wie ? Die nächste Frage ist, wer bezahlt ?*

#### **Vorbemerkungen**

*Nach den vom Autor dargelegten, den Fachleuten längst bekannten Zusammenhängen, waren die die frühzeitigen Luftkalkputz-Schäden insbesondere an den unbeheizten Kirchtürmen vorhersehbar und stehen in einer langen Tradition vergleichbarer Schäden. Dies ist völlig unabhängig davon, ob die Luftkalkputze mit oder ohne patentierten Zusätzen eingesetzt wurden. Hierzu sei nur auf die Veröffentlichung von Künzel zu dem Thema Kalkputze hingewiesen, der gleichfalls an einem von einem Restaurator hergestellten Luftkalkputz feststellte , daß im Vergleich zu speziellen Werk trockenmörteln der Luftkalkputz als erster schon nach 1 Winterperiode zerstört war.*

*Planern und Handwerkern wird empfohlen, gegen Luftkalkputze außen Bedenken anzumelden.*

*Damit sind aber - und das muß deutlich gesagt werden - nicht die Kalkputze allgemein disqualifiziert. Hydraulische Kalke ohne und mit geeigneten Puzzolanen ergeben sicher beständige Putzbindemittel, wie uns die historischen Objekte zeigen. Man muß eben wissen,*

wie gute historische Kalkputze zusammengesetzt sind. Mit unseren heutigen technologischen Möglichkeiten sind wir in der Lage die **zufällig guten** historischen Rezepte nachzustellen und sogar noch zu optimieren, so daß der Sanierungserfolg nicht zufällig, sondern gesichert ist. Eins ist aber gesichert : Reine Luftkalkputze wurden an stark bewitterten Fassaden schon immer relativ schnell zerstört.

Architekten, die Instandsetzungen von Gebäuden planen, die unter Denkmalschutz stehen, werden immer mit dem Thema Kalkputz konfrontiert. Ist dann noch ein Denkmalpfleger vor Ort, so wird häufig von einem "reinen" Kalkputz gesprochen. Häufig wird dann die denkmalrechtliche Genehmigung der Instandsetzung von der Verwendung solch "reiner" Materialien abhängig gemacht, was eigentlich nicht zulässig ist. So mancher Sachbearbeiter eines Bauamtes läßt sich dann von dieser "reinen Lehre" anstecken und schreibt dann einen "reinen" Luftkalkputz aus, weil er glaubt, daß dies ja für das Denkmal das Beste ist, was es überhaupt gibt.

Im gleichem Atemzug wird dann auch immer das Schlimmste genannt, wovor man ein Denkmal unbedingt schützen muß : Das ist der Zement.

"Zement schädigt ein Denkmal", ist die Parole unter den Denkmalschützern.

Im Gegensatz dazu gehen von dem "reinen" Kalk vermeintlich keine Gefahren für das Denkmal aus, so die landläufige Meinung.

Werden dann die Instandsetzungen mit einem "reinen" Kalkputz realisiert, kommt es fast zwangsläufig aufgrund von naturwissenschaftlich nachgewiesenen chemischen und physikalischen Schwachpunkten des Systems zu Schäden. Da für die Ausführung ja der Handwerker zu gewährleisten hat, muß der den Mangel beseitigen. Für Planer, Denkmalschützer und Bauamt ist die Sachlage klar, der Handwerker hatte keine Ahnung mehr, wie man den "reinen" Kalk im Putz richtig verarbeitet.

Auf die Idee, daß Planer, Denkmalschützer und Bauamt einer Illusion aufgesessen sind und eigentlich für den Schaden verantwortlich sind, kommt erst einmal keiner.

Als Sachverständiger für Außenputze und Anstriche, der immer wieder solche vermeidbaren Schäden auch im Auftrag von gerichten zu beurteilen hat, sah sich der Autor zu dem folgenden Artikel veranlaßt.

**Illusionen :**

**Die erste Illusion**

*ist die vermeintliche technische Fachkunde von Planern und Denkmalpflegern: Von Ausnahmen abgesehen - muß man davon ausgehen, daß Planer, Denkmalschützer und Sachbearbeiter in einem Bauamt, so erfolgreich sie ihr Studium auch abgeschlossen haben mögen, nicht über das notwendige Spezialwissen zur Herstellung von Putzen verfügen können, weil dies in ihrer Ausbildung üblicherweise nicht gelehrt wird. Die mangelnde Fachkunde ist somit kein Vorwurf ! Würden sie etwas davon verstehen, dann würden sie wissen, daß es den so häufig zitierten "reinen" Kalk gar nicht gibt und diesen somit auch nicht fordern.*

Schon die Kalknorm DIN 1060 kennt folgende 8 unterschiedliche Arten von Kalk :

<b>Benennung</b>	<b>Kurzbezeichnungen</b>
1. Weißkalk 90	CL 90
2. Weißkalk 80	CL 80
3. Weißkalk 70	CL 70
4. Dolomitkalk 85	DL 85
5. Dolomitkalk 80	DL 80
6. Hydraulischer Kalk 2	HL 2
7. Hydraulischer Kalk 3,5	HL 3,5
8. Hydraulischer Kalk 5	HL 5

**Zweite Illusion :**

*Rein ist von diesen handelsüblichen Kalksorten keiner ! :*

“Baukalke sind Bindemittel, deren analytischen Hauptbestandteile die Oxide und Hydroxide des Calciums ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ) mit geringen Anteilen des Magnesiums ( $\text{MgO}$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ), Siliciums ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminiums ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Eisens ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sind.”

*(Zitat aus der DIN 1060)*

Da naturgemäß die Anteile der einzelnen Mineralien im Steinbruch in weiten Bereichen schwanken können, sind diese 8 Kalksorten nur ein grobes Raster für die unzähligen Kalkarten, die aus Kalkstein hergestellt werden.

Damit sind wir bei der Begriffsbestimmung für "rein" :

Der Begriff "reiner" Kalk wird üblicherweise dann verwendet, wenn ein Baukalk nur d.h. ausschließlich aus einem natürlichem Kalkvorkommen hergestellt wurde ohne weitere Zusätze.

Ein natürliches Kalkvorkommen ist ein Kalksteinbruch. Dieser Kalk aus dem Steinbruch ist üblicherweise nicht rein, d.h. zu 100 % Calciumcarbonat, sondern enthält "Verunreinigungen" in Form anderer Mineralien. Deshalb können beim Brennen eines Kalksteins und anschließendem Löschen völlig unterschiedliche Baukalke entstehen, wie sie oben aufgeführt wurden. "Reine" Baukalke können somit unterschiedliche Anteile an CaO bzw. nach dem Löschen  $\text{Ca(OH)}_2$  neben unterschiedlichen hydraulischen Anteilen enthalten. Alles sind im Sinne dieser Norm reine Baukalke, letztlich aber variantenreiche Gemische unterschiedlicher chemischer Verbindungen.

Demnach lassen sich reine Kalkputze auch aus allen Baukalcken herstellen, wobei aber völlig unterschiedliche Eigenschaften erzielt werden :

Ein reiner Sumpfkalkputz  
ist weicher und instabiler als ein  
reiner hoch hydraulischer Kalkputz hergestellt mit NHL 5 als Bindemittel

Da der Begriff "rein" hier völlig irreführend ist, empfiehlt der Autor den Begriff "rein" durch den DIN-Begriff "natürlich" zu ersetzen : Natürlicher hydraulischer Kalk (NHL), wie es die Norm vorsieht.

### **Dritte Illusion :**

Viele Leute vertreten die Auffassung, daß ein Bau-Kalk im Gegensatz zu Zement aber frei von schädlichen Salzen sei. Auch das ist eine Illusion !

Welche Salze sind nun aber schädlich ? Selbst darüber wäre gleichfalls differenziert zu diskutieren. Üblicherweise rechnet man zu den schädlichen Salzen die Nitrate und die löslichen Chloride und Sulfate. Das sind aber nur die Anionen. Die Kationen gehören dazu. Da

insbesondere die Alkalien (Natrium, Kalium) schädliche Salze mit den o.g. Anionen bilden, werden bei Bindemitteln immer die Alkalien kritisch betrachtet.

Alkalien in Bindemitteln sind deshalb besonders kritisch zu werten, weil durch Reaktionen mit den Luftschadstoffen schädliche Alkalisalze wie z.B. das Natriumsulfat entstehen, die sehr sprengaktiv sind :  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{H}_2\text{O}$

Zusätzlich sind auch Salze des Magnesiums kritisch zu bewerten.

Viele putztechnische Laien, wie Planer + Denkmalschützer, wissen eben nicht, daß nicht nur Zemente diese kritischen Alkalien enthalten. So haben **Winnefeld, Böttger und Knöfel** darauf hingewiesen - man höre und staune - daß eine Reihe von hydraulischen Kalken mehr Alkalien in Form von Kaliumoxid (mit Wasser dann Kalilauge = KOH) enthalten als z.B. Portlandzement !

Das heißt, Kalkbindemittel sind nicht nur Gemische unterschiedlichster Zusammensetzung sondern sie können auch noch bauschädliche Salze enthalten. Es wird im Einzelfall zu diskutieren sein, ob kritische Konzentrationen an schädlichen Salzen vorhanden sind. Auch hier macht es die Dosis !

### **Das Salzbildungspotential von Kalk !**

Was gleichfalls fast immer übersehen wird, ist die Tatsache, daß gerade der Kalk (Calciumcarbonat) ein Salzbildungspotential besitzt. Die atmosphärischen Schadstoffe aus den Verbrennungsgasen wie Schwefeldioxid, -trioxid und die Stickoxide wandeln bei der Bewitterung den Kalk, und zwar sowohl Calciumhydroxid als auch Calciumcarbonat, in Calciumsulfat bzw. Calciumnitrat um. Alles bauschädliche Salze !

Dies bedeutet, daß der Kalk in Putz und Anstrich unter heutigen Umweltbedingungen ein erhebliches Salzbildungspotential darstellt. Berücksichtigt man diese nun wirklich nicht neue Erkenntnis, so wird einem klar, wie unsinnig z.B. das Überziehen von porösen Sandsteinfassaden mit Kalkschlämmen ist ! wie es regional in Deutschland zur Zeit in Mode gekommen ist.

### **Putze mit Weißkalk als Bindemittel**

Weißkalkhydrat - Luftkalk - Sumpfkalk - CL 90

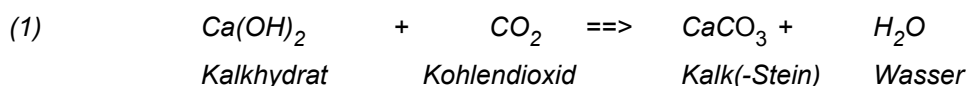
Hierbei handelt es sich chemisch überwiegend um Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), das nach dem Brennen aus möglichst reinem Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) und dem anschließenden Löschvorgang entsteht. Heute steht Weißkalkhydrat nach dem Löschen im stöchiometrischen Verhältnis mit Wasser ( $\text{CaO} : \text{H}_2\text{O} = 56 : 18$ ) in Pulverform als Putzbindemittel zur Verfügung steht, z.B. als CL 90.

Dieser "Kalk" kann auch eingesumpft werden. Da er zum Abbinden die Luftkohlendioxid (Kohlendioxid + Wasser) benötigt, die aus dem Kalkhydrat wieder den Kalkstein (Calciumcarbonat) zurückbildet, kann dieser eingesumpfte "Kalk" unter Wasser kein Kohlendioxid aufnehmen und somit unter Wasser nicht abbinden (Sumpfkalk) und deshalb gelagert werden.

Früher wurde der gebrannte Kalk in Löschpfannen abgelöscht, wobei das stöchiometrische Verhältnis überschritten wurde, so daß der gelöschte Kalk als pastöser Brei in Gruben gelagert wurde. Dieser "Grubenkalk" setzte sich in verschiedenen Schichten ab, wobei die spezifisch schwereren Verunreinigungen schneller sedimentierten. In einer bestimmten Lage konnte dann nach Wochen bis Jahren der Lagerung ein rein weißer Sumpfkalk entnommen werden, der für die Freskomalerei eingesetzt wurde. Für Außen-Putze wurde dieser rel. wertvolle, weil seltene "Kalk" kaum eingesetzt. In unserem Klimabereich sind solche "Luft-Kalkputze" außen nicht mehr, allenfalls nur in stark angegriffenen Fragmenten erhalten.

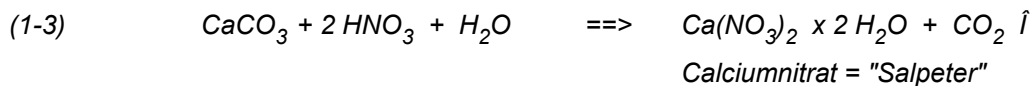
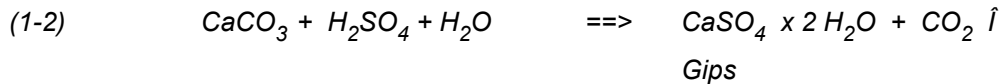
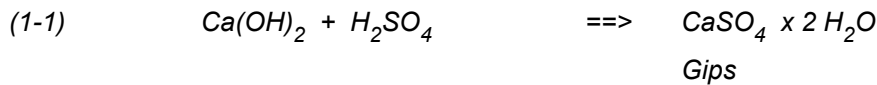
Da nun viele Leute unter einem "reinen" Kalkputz einen Luft- bzw.- Sumpfkalkputz verstehen, werden den Bauherren solche instabilen Luftkalkputze von Denkmalpflegern aufoktroiert. Kommt es zum Schaden, dann stellt sich dieser Zwang dann plötzlich als unverbindliche Empfehlung heraus ! und der Handwerker darf den Schaden sanieren (dies kann der Autor an mehreren Beispielen nachweisen !!!)

Abbinde-Reaktion des Kalkhydrats als Putzbindemittel



Diese Reaktion zum Calciumcarbonat findet erst mit dem Austrocknen des Putzes statt, wenn also das Kohlendioxid in den Putz eindiffundieren kann.

Bedauerlicherweise wird gerade das Calciumhydroxid wie auch das Calciumcarbonat von den Schadstoffen der Luft angegriffen und in schädliche Salze umgewandelt :



Hierbei ist Gips leichter löslich als Kalk , Calciumnitrat ist sehr leicht löslich. Wesentlich ist also, daß das Bindemittel Kalk durch die Schadstoffe der Luft in lösliche Salze überführt wird, daß also laufend Bindemittel zerstört wird. Deshalb werden reine Sumpfkalk-, Grubenkalk-, Luftkalkputze heute auch an historischen Objekten bei uns in der BRD kaum mehr gefunden.

Zusätzlich treten bei den Sulfaten (Gips u.a.) noch erhebliche Sprengeffekte bei Kristallisation und Hydratation auf.

Weiter ist die Druckfestigkeit eines Putzes aus reinem Sumpfkalk äußerst niedrig. Es können noch nicht einmal Mindestdruckfestigkeiten für solche Putze, die nach der Putznorm DIN 18 550 in die Gruppe P I a einzuordnen sind, angegeben werden.

Da gleichzeitig die Wasseraufnahme je nach Lage des Objektes schnell und sehr hoch sein kann, wird die Carbonatisation gestoppt, da kein Kohlendioxid mehr eindringen kann. Reine Sumpfkalkputze, zumal wenn sie nicht vollständig carbonatisiert sind, werden deshalb im Winter bei Frost schnell zerstört.

Diese mangelhafte Frostbeständigkeit ist aber nicht von der geringen Druckfestigkeit, sondern vielmehr von der Porengeometrie des Bindemittels abhängig. In der Bindemittelmatrix von Sumpfkalkputzen liegen kaum Makroporen zur Unterbrechung der Kapillarporen vor, so daß auch Expansionsräume zum Druckausgleich nicht vorhanden sind. Dies kann man nur mit Luftporenbildnern verbessern, wie sie bei Werk trockenmörtel schon lange Standard sind.

Der Hauptnachteil der Luftkalkputze liegt aber im ungünstigen Abbindeverlauf :

Beachten muß man hierbei, daß der Putz von der Oberfläche her abbindet, weil das Kohlendioxid erst dann in die Mörtelschicht eindringen kann, wenn das Wasser den Porenraum

verlassen hat. Dies führt nun zu der unglücklichen Situation, daß der Putz an der Oberfläche hart wird, während er in der Tiefe noch weich ist. Dadurch kommt es beim Auftragen in großen Schichtdicken oder feucht in naß ohne ausreichende Standzeiten zwangsläufig zu Spannungsrißbildungen : Die harte abgebundene Oberflächenschicht wird immer dicker und damit "stärker", die labile, nicht carbonatisierte Unterschicht wird immer dünner und damit immer labiler. Treten in der Oberschicht thermisch und oder hygrysch bedingte Längenänderungen auf, kommt es unweigerlich zu Rißbildungen.

**Hydraulische Kalkputze** dagegen härten in einer ersten Phase gleichmäßig im gesamten Querschnitt hydraulisch (durch Wasseraufnahme) durch; doch auch hier dürfen die Putzdicken in einer Lage nicht zu groß sein.

Die Verwendung von reinen Luft- oder Sumpfkalkputzen (P I a) ist an bewitterten Bauten somit nach den allgemeinen Erfahrungen zum schnellen Scheitern verurteilt. Es gibt zahlreiche Beispiele für gescheiterte Sumpf-Kalkputze im Außenbereich. Umso verwunderlicher ist es für viele Handwerker, daß manche Restauratoren und viele Denkmalpfleger so häufig auf der Verwendung von Luft- bzw. Sumpfkalk als vermeintlich reinen Kalk bestehen. Hier liegt also schlicht Unkenntnis darüber vor, was unter einem reinem Kalkputz zu verstehen ist. Unsere Vorfahren haben an der Fassade zumeist **natürliche hydraulische Kalkputze** verarbeitet, die eben stabiler sind als Sumpfkalkputze.

Letztlich beruht diese Fixierung auf dem Luftkalk auf mangelnden Kenntnissen über Kalkarten und Putze. Die Tatsache, daß die zahlreichen Untersuchungsergebnisse historische Putze zumeist als hydraulische Kalkputze ausweisen, ist unter vielen Denkmalpflegern den Erfahrungen des Autors kaum verbreitet. Auch ist vielen Denkmalpflegern unbekannt, daß es neben Weißkalk = Sumpfkalk = Grubenkalk = Luftkalk noch weitere Kalksorten gibt.

### **Hydraulische Kalke**

Hier sind die tonigen/mergeligen Anteile, die zu den hydraulischen Bindemitteln führen, schon so hoch, daß auch unter Wasser die Abbindung erfolgt. Trocknet der Putzmörtel dann aus, so tritt über die Carbonatisation eine zusätzliche festigkeitssteigernde Wirkung ein. Aus solchen Bindemitteln können viele carbonatische Anteile herausgelöst werden, ohne daß die hydraulische Bindemittelmatrix zusammenbricht.

Diese hydraulischen Putze haben einen sehr wichtigen Vorteil gegenüber den Luftkalkputzen :



Bei den Luftkalkputzen findet die Abbindung von oben her parallel zu der Austrocknung bzw. dem Eindringen des Kohlendioxids statt. Dadurch entstehen - wie oben dargelegt - spannungsreiche Schichten auf dem noch weichen Unterputz, Risse sind unvermeidlich. Auch höhere Schichtdicken, wie z.B. 20 mm in einer Lage sind nicht zu verwirklichen. Wie oben ausgeführt, bleibt der noch nicht carbonatisierte und deshalb zu weiche Unterputz stark frostgefährdet. Im Sommer bzw. in südlichen Ländern "verdurstet" der Luftkalkputz leicht, er trocknet zwar aus, kann aber wegen zu wenig Wasser nicht schnell genug carbonatisieren.

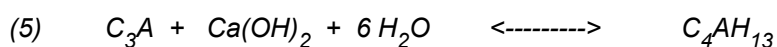
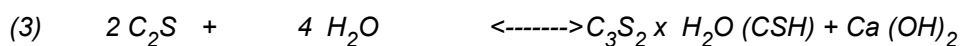
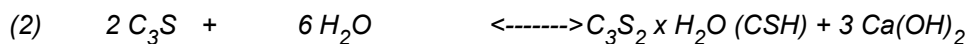
Bei einem Putz mit hydraulischen Bindemittelanteilen, laufen dagegen zwei Abbindephasen ab :

Zuerst läuft die hydraulische Abbindung unter Aufnahme von Wasser ab. Dies geschieht - und das ist der große Vorteil - durch den gesamten Querschnitt der Putzlage gleichmäßig und gleichzeitig. Damit wird die Grundfestigkeit erreicht, der Putz ist stabil.

Mit der Austrocknung und den wechselnden Klimabedingungen läuft dann die Carbonatisation ab, die die Festigkeit und nach Umkristallisationen auch die Dichtigkeit des Systems steigert, solange wir keine Schadstoffe wie Schwefel- und Stickoxide in der Atmosphäre haben.

Wegen des relativ großen Porenvolumens in solchen hydraulischen Kalkputzen, ist die parallel einsetzende Salzbildung zu Gips bzw. den Nitraten dann kein Problem, wenn eine ausreichende Grundfestigkeit durch die hydraulischen Bindemittelanteile erreicht wurde. Dies ist im allgemeinen der Fall, wenn die Druckfestigkeit nach 28 Tagen über ca.  $3 \text{ N/mm}^2$  liegt.

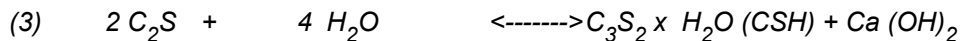
Somit ist es für die Beständigkeit auch unerheblich, ob die hydraulischen Anteile im Kalkstein schon vorhanden waren oder erst durch Zumischen von Zement zugeführt werden. Die hydraulischen Zementklinkerphasen reagieren mit Wasser zu Calciumsilicat- und Calciumaluminat-Hydraten und können mit folgenden Gleichungen beschrieben werden :



Abkürzungen in der Zementchemie :



Aus den tonigen Mineralien von Kalksteinen entstehen wegen der niedrigeren Brenntemperatur überwiegend :



C<sub>3</sub>A-Phasen sind kaum zu finden, was aber auch Vorteile hat, denn damit ist eine Ettringitbildung mit Sulfaten weitgehend ausgeschlossen !

In der Kalknorm DIN 1060 heißt es unter 3.15

“Hydraulische Kalke und natürliche hydraulische Kalke :

Kalke, die vorwiegend aus Calciumsilikaten, Calciumaluminaten und Calciumhydroxid bestehen und durch Brennen von tonhaltigem Kalkstein und nachfolgendem Löschen und Mahlen und/oder durch Mischen von geeigneten Stoffen und Calciumhydroxid hergestellt werden. Diese Kalke erstarren und erhärten unter Wasser. Atmosphärisches Kohlendioxid trägt zur Erhärtung bei.

Hydraulische Kalke (HL), die durch Brennen (unter 1250 Grad C) von mehr oder weniger tonhaltigem Kalkstein, zu Pulver gelöscht, mit oder ohne Mahlung, entstehen, werden “Natürliche hydraulische Kalke” (NHL) genannt.

Bekanntes Beispiel für solch einen NHL war der sog. Roman-Kalk, wie er in Deutschland aber nicht mehr hergestellt wird.

NHL-Kalke können aber einen gravierenden Nachteil haben :

Der Anteil an hydraulischen Phasen kann aufgrund der ungleichmäßigen Zusammensetzung der tonhaltigen Kalksteine im Steinbruch schwanken. Dies ist bei der Herstellung von Putzmörteln natürlich unerwünscht, da infolge ja die Festigkeiten der Putze hergestellt mit natürlichen hydraulischen Kalken stark schwanken kann. Reklamationen sind die sichere Folge,

wie zahlreiche Beispiele auch bei Werk trockenmörteln gezeigt haben und leider noch zeigen. Nur bei konsequenter Qualitätskontrolle mit unseren heutigen analytischen Möglichkeiten kann dies vermieden werden. Unsere Vorfahren hatten diese Möglichkeiten aber nicht.

Auch heute ist es somit viel einfacher und sicherer, den HL-Kalk durch Mischen von hydraulischen Bindemittelphasen (Zement) mit Kalkhydrat herzustellen, weil sich nur so ein gleichmäßig abbindender HL-Kalk herstellen läßt. Chemisch besteht - wie oben dargelegt - kein Unterschied. Solche sog. hochhydraulischen "Edelkalke" enthalten bei richtiger Auswahl der Komponenten deutlich weniger bauschädliche Salze als die natürlichen HL-Kalke und entwickeln immer die gleichen Festigkeiten. Bei richtiger Auswahl der entsprechenden Zementklinkerphasen besitzen auch solche hydraulischen Kalke oder hoch hydraulischen Kalke dann einen hohen Sulfatwiderstand !

### **Puzzolan- Kalke**

Wie oben schon erwähnt, ist der Kalk als Calciumhydroxid bzw. als Calciumcarbonat unter heutigen Umweltbedingungen äußerst kritisch zu betrachten, da diese Verbindungen durch die Umweltschadstoffe in schädliche Salze umgewandelt werden. Dies führt nicht nur zu einem Abbau des carbonatischen Bindemittels, sondern zu Salzwanderungen in die anschließenden Bereiche. Insbesondere bei falsch rezeptierten Steinersatzmörtel kam es in den Nachbarbereichen zu beschleunigter Zerstörung der Sandsteine durch diese Salzbildung ausgehend von zu hohen Gehalten an Kalhydrat und Alkalien. Steinersatzmörtel müssen deshalb unbedingt auf möglichst kalkhydrat- und alkali-armen Rezepturen, gegebenenfalls auf Puzzolanbasis aufgebaut sein, weil dadurch sich das Salzbildungspotential verringert.

Die Kalknorm DIN 1060 erlaubt den Zusatz solcher Puzzolane :

"Kalke, denen bis zu 20 % geeignete puzzolanische oder hydraulische Stoffe zugegeben sind, werden mit NHL-P bezeichnet."

### **Vorteile der Puzzolan-haltigen Bindemittel**

Maßgeblich für die Eignung als Puzzolan ist das Vermögen eines Materials zusammen mit Calciumhydroxid (Kalkhydrat) und Wasser  $\text{Ca-Si/Al-Hydrate}$  ( CSH / CAH ) zu bilden. Dies bedeutet, daß das Kalkhydrat in eine weitgehend auch gegen die Schadstoffe der Atmosphäre stabile hydraulische Verbindung umgewandelt wird und somit der Carbonatisation nicht mehr zur Verfügung steht. Wenn aber kein Calciumhydroxid bzw. kein Calciumcarbonat vorhanden

ist, dann wird dadurch das Salzbildungspotential und auch die Gefahr von unerwünschten Ausblühungen reduziert. Entscheidend dabei ist, daß der Gehalt an Alkalien niedrig ist.

Auch  $C_3A$  bzw. CAH-Phasen sind unerwünscht, um eine Ettringit-Reaktion zu vermeiden. Dies läßt sich aber durch Auswahl geeigneter hydraulischer Verbindungen und alkaliarmer Gläser bzw. durch kontrollierten Tuffabbau (Traß) steuern und durch Untersuchungen nachweisen. Bei dem Wiederaufbau der Frauenkirche in Dresden werden Traßmörtel eingesetzt, deren Alkaligehalte auf unter 0,1 % festgelegt wurden. Dies konnte bis heute ohne Probleme für jede Charge nachgewiesen werden.

Als Puzzolane werden folgende natürlichen und künstlichen Stoffe eingesetzt :

**natürlich**

- vulkanischer Tuff/Trass
- Impact-Gestein
- Diatomeen-Erde
- Bauxit

**künstlich**

- gebrannte Tone
- Flugaschen
- Silica-Staub
- gebrannter Ölschiefer

Die Kalk-Puzzolan-Reaktion ist sehr komplex :

Die Hydroxyl-Ionen lagern sich an die Silicium- und Aluminium-Atome an und es bilden sich Komplexionen sowie auch intermediär die Kieselsäure, die dann unter  $Ca^{++}$ -Aufnahme polymerisieren und fest werden. Entscheidend ist dabei, daß das Calciumhydroxid damit in unlösliche CSH-Phasen umgewandelt und fest wird und somit keine Ausblühungen möglich sind. Deshalb werden beim Verlegen von porösen Natursteinen solche Puzzolanmörtel (Traßzement, Traßkalk) eingesetzt.

Diese Puzzolanreaktion ist relativ langsam. Puzzolan-Putze (z.B. Traßputze) müssen deshalb lang feuchtgehalten werden, damit das Kalkhydrat nicht mit dem Kohlendioxid der Luft carbonatisieren kann. Dies ist aber durch Zugabe von Zellulosen und Nachfeuchten (ca. 10 Tage) möglich. Diese Putzmörtel sind dann besonders stabil unter heutigen Umweltbedingungen.

Dr. Uwe Erfurth  
ö.b.u.v. Sachverständiger für Anstriche und Außenputze  
IBB Institut für Bautenschutz und Bausanierung GmbH  
Am Anger 15 A D - 86465 WELDEN  
+49 - (0)8293 - 70 44, Fax - 67 04

Anlagen : Schadensbilder mit Luftkalkputzen P I a