



„Kalksandsteine - auf das Mikrogefüge kommt es an“

Bernhard Middendorf und Wolfgang Eden

Wir alle kennen die uns im täglichen Leben, sowohl im Außen- als auch im Innenbereich von Gebäuden, häufig umgebenden weißen Kalksandsteine (Bild 1). Kalksandsteine sind sehr häufig eingesetzte Mauersteine, die aus einer Rohstoffmischung aus Kalk (ca. 5 bis 8 M.-%), Sand (ca. 87 bis 90 M.-%) und Wasser (ca. 5 M.-%) hergestellt werden.



Abbildung 1: Kalksandsteine im Bauwesen;
links: Berufsschule in Garbsen;
rechts: gestrichene Kalksandsteinwand eines Wohnbereichs

Der Herstellprozess der Kalksandsteinfertigung besteht aus mehreren aufeinanderfolgenden Einzelschritten. Die Rohstoffkomponenten werden homogen vermischt, mittels hydraulischer Pressen auf das gewünschte Maß verdichtet und anschließend unter gespanntem Wasserdampfdruck bei einer Temperatur von ca. 200 °C und einem Druck von ca. 16 bar für einen Zeitraum von 6 bis 12 Stunden in Autoklaven gehärtet. Bild 2 gibt einen Überblick über den doch recht einfachen Herstellprozess. Nach der

Autoklavierung und anschließender Abkühlung sind die Kalksandsteine gebrauchsfertig. Bild 3 zeigt einen geöffneten Autoklaven nach der Härtingsphase; die gebrauchsfertigen Kalksandsteine müssen nur noch entladen werden.

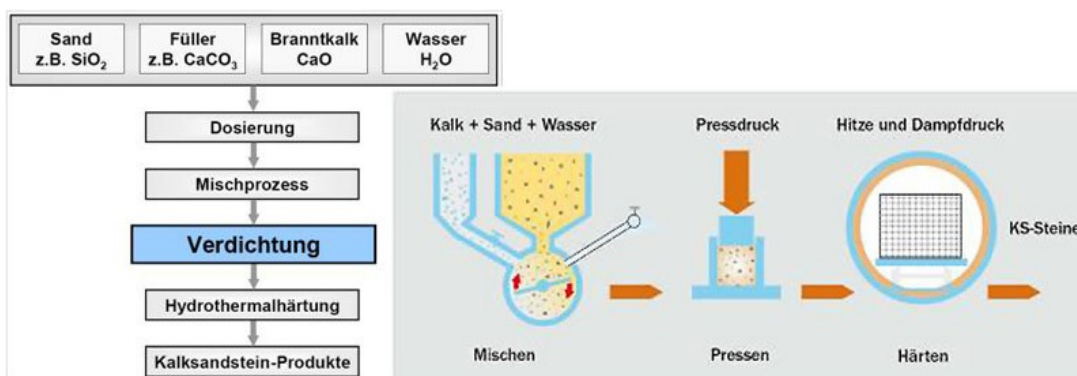
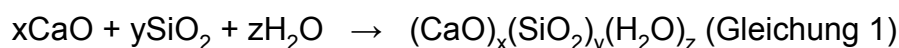


Abbildung 2: Verfahrensschema der Kalksandsteinherstellung

Während der Dampfhärtung im Autoklaven bilden sich Calciumsilikathydrat-Phasen (CSH-Phasen), die dem Kalksandstein die erforderliche Festigkeit verleihen. In Gleichung 1 ist die Bildungsreaktion stark vereinfacht wiedergegeben.



Im Vergleich zu den an Luft sehr langsam ablaufenden Abbindereaktionen von anorganisch-mineralischen Bindemitteln (siehe [Woche 6](#) - Bindemittel, Spezialzemente und Ternäre Systeme und [Woche 14](#) - Ökologisch und technisch optimierte Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen) führt die Dampfhärtung zu einer enormen Beschleunigung



Abbildung 3: Gebrauchsfertige Kalksandsteine im Autoklaven nach der Dampferhärtung

der CSH-Phasen-Bildung. Der Trick, der bei der Autoklavhärtung angewendet wird ist der, dass man es ausnutzt, dass die Löslichkeit von Kalk mit steigender Temperatur abnimmt, die Löslichkeit von Quarz dagegen zunimmt. Unter Autoklav-Bedingungen schneiden sich die beiden Löslichkeitskurven und es können sich mit Wasser die CSH-Phasen aus dem SiO_2 des Quarzes und dem CaO des Kalkes bilden. In Bild 4 ist sind die Löslichkeiten von Quarz und Kalk in Wasser gegen die Temperatur aufgetragen, der Schnittpunkt der beiden Löslichkeitskurven reflektiert die Autoklavbedingungen. In Bild 5 (rechts) erkennt man sehr gut die gebildeten "pelzigen" CSH-Phasen um ein angelöstes Quarzkorn. Die Entwicklung von Kalksandsteinen geht auf den Anfang des 19. Jahrhunderts zurück. Es wurde anfänglich versucht Kalk-Sand-Mörtel für die Herstellung von Bauelementen und ganzen Gebäuden zu nutzen. Da die Erhärtung des Mörtels an der Luft für praktische Belange zu lange dauerte, wurde nach Möglichkeiten zur Beschleunigung der Erhärtung gesucht. Michaelis fand 1880 heraus, dass sich erdfeuchter Kalk-Sand-Mörtel in einer hochgespannten

Wasserdampfatosphäre vergleichsweise schnell zu einer wasserfesten, steinharten Masse verfestigt. Der Beginn der daraus resultierenden industriellen Kalksandsteinfertigung wird auf 1894 datiert. Im Jahre 1900 produzierten in Deutschland bereits 80 Kalksandsteinwerke mit einer Jahresleistung von rund 300 Millionen Kalksandsteinen und im Jahre 1905 waren es bereits 209 Werke mit einer Produktionsleistung von 1 Mrd. Steine. 1927 erschien die erste Kalksandsteinnorm. Mit Ausnahme kriegsbedingter Unterbrechungen, stieg der Absatz der Kalksandsteinindustrie bis 1972 und auch 1994 auf seine Höchstmarken von rd. 6 Mrd. Kalksandsteinen.

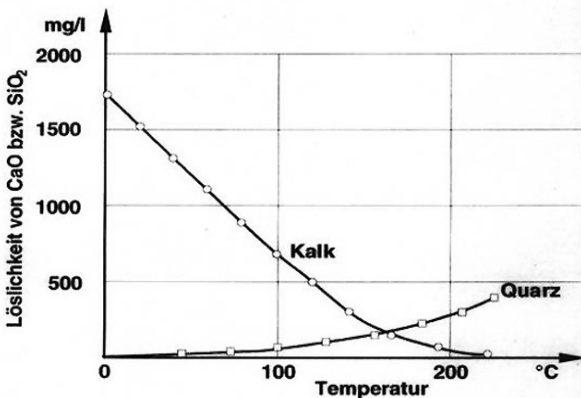


Abbildung 4: Löslichkeitskurven von Kalk und Quarz

Parallel zu diesen Entwicklungen beschäftigte sich die deutsche Kalksandsteinforschung ab Anfang der 60er Jahre bis etwa Mitte der 80er Jahre vorrangig mit dem Ziel, die qualitätskennzeichnenden Eigenschaften von Kalksandsteinprodukten durch die Erforschung der Beschaffenheit und die gezielte Beeinflussung der Calciumsilikathydrat-Phasen schrittweise zu verbessern. Eine wesentliche Erkenntnis aus dieser Zeit ist die Tatsache, dass eine ausreichend genaue Charakterisierung der CSH-Phasen im Hinblick auf ihre Wirkung bezüglich der technischen Kennwerte von Kalksandsteinen durch die Kombination verschiedener chemisch-mineralogischer Bestimmungsmethoden

(Röntgenfluoreszenzanalyse, Röntgenbeugungsanalyse, Thermoanalyse und Lichtmikroskopie) erfolgte (siehe [Woche 8](#) - Analytik in Forschung & Entwicklung: Ortsaufgelöste in-situ-XRD). Anfang der 70er Jahre begann sowohl in den Niederlanden als auch in Deutschland eine technische Entwicklung in Richtung der Erzeugung mittel- und großformatiger Kalksandsteine. Unter Einsatz von groß dimensionierten Hydraulikpressen war es erstmals möglich, Mauersteinformate und Elemente mit Abmessungen von bis zu einem Meter Länge mit hoher Festigkeit und relativ hohen Rohdichten herzustellen. Resultierend aus den ansteigenden Anforderungen des baulichen Wärmeschutzes seit Beginn der Ölkrise und der parallelen Entwicklung von hochfestem schlanken Mauerwerk mit hohen Rohdichten im Bereich von 2,0 bis zu

2,4 kg/dm³ für einen hohen Schallschutz, steigen die Qualitätsanforderungen an die Rohstoffe und die Herstellungsverfahren bis heute immer weiter an.

Die kostengünstige Produktion von Kalksandsteinen mit hohen Rohdichten und somit dichtem Gefüge ist daher für die Erstellung von Mauerwerk mit hoher Schalldämmung von großer Wichtigkeit. Technische Maßnahmen zur Erhöhung der Steinrohichte führen darüber hinaus im Allgemeinen zu einer Erhöhung der Steindruckfestigkeit sowie zu Verbesserungen des Frostwiderstandes. Ferner ist man bestrebt die Widerstandsfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen noch weiter zu steigern. Grundsätzlich sind vier verschiedene technische Maßnahmen zur Steigerung der Rohdichte von Kalksandsteinen zu unterscheiden:

1. Reduzierung des Hohlraumanteils
2. Zugabe von Gesteinskörnungen mit hoher Dichte
3. Erhöhung der Packungsdichte durch höhere Verdichtungskraft bei Herstellung der Rohlinge
4. Optimierung der Korngrößenverteilung der verwendeten Gesteinskörnungen.

Mit den Maßnahmen 3. und 4. wird die Packungsdichte des Kalksandsteingefüges volumetrisch erhöht und die Porosität entsprechend verringert. Während die Maßnahmen 1. bis 3 technisch vergleichsweise einfach durch Kalkulationen oder praxisnahe Versuche zum Erfolg führen können, ist eine Berechnung der Packungsdichte deutlich schwieriger und war bis zur Einführung von Rechenalgorithmen aus dem Bereich der Betontechnologie vor wenigen Jahren nur mit verhältnismäßig hohem Arbeitsaufwand möglich. In Bild 5 sind rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines gefügeoptimierten Kalksandsteins dargestellt. Das dort abgebildete Kalksandsteingefüge ist durch die oben beschriebenen Verfahren optimiert worden und zeichnet sich durch eine hohe Rohdichte aus und verfügt dadurch auch über eine hohe Festigkeit und bewirkt ferner eine hohe Schalldämmung. Vorrangiges Ziel zukünftiger Forschungsaktivitäten bleibt weiterhin die optimierte und kostengünstige Herstellung gefügedichter Kalksandsteine mit hohen Festigkeiten und mit möglichst niedrigem Energieeinsatz.

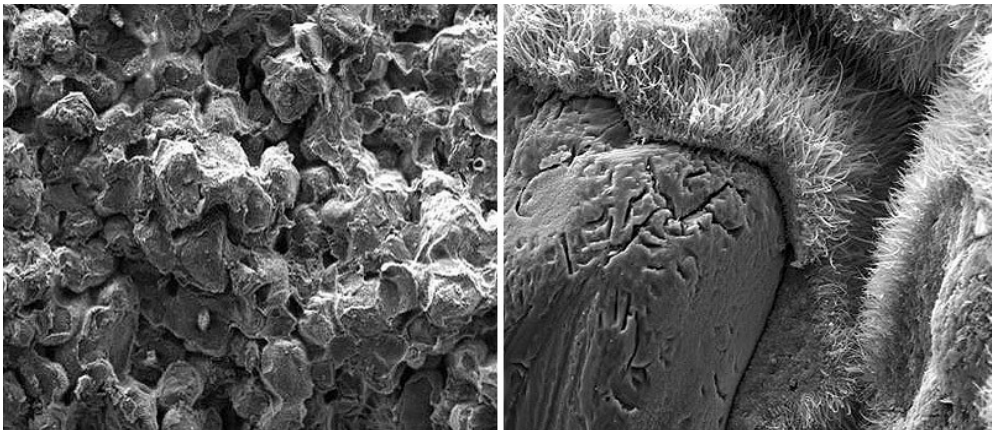


Abbildung 5: Gefügeoptimierter Kalksandstein,
links: Übersichtsaufnahme mit Bildbreite 2,87 mm;
rechts: Detailaufnahme mit 145 µm, man erkennt sehr deutlich die "pelzigen" CSH-Phasen um das angelöste Quarzkorn

Kontakt:	Schlauer Fuchs	
	<p>Univ.-Prof. Dr. rer.nat. Bernhard Middendorf TU Dortmund Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen Lehrstuhl Werkstoffe des Bauwesens August-Schmidt-Str. 8 44227 Dortmund Tel.: +49 (0)231 755-4840 Fax: +49 (0)231 755-6063 E-Mail: bernhard.middendorf@tu-dortmund.de</p>	<p>Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesem Beitrag lautete:</p> <p>Ab wann wurden Kalksandsteine industriell gefertigt?</p>
	<p>http://www.tu-dortmund.de/</p>	
	<p>Dr.-Ing. Wolfgang Eden Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. Entenfangweg 15 30419 Hannover Tel.: +49 (0)511 27954-60 Fax: +49 (0)511 27954-54 E-Mail: wolfgang.eden@kalksandstein.de</p>	
	<p>http://www.kalksandstein.de/</p>	