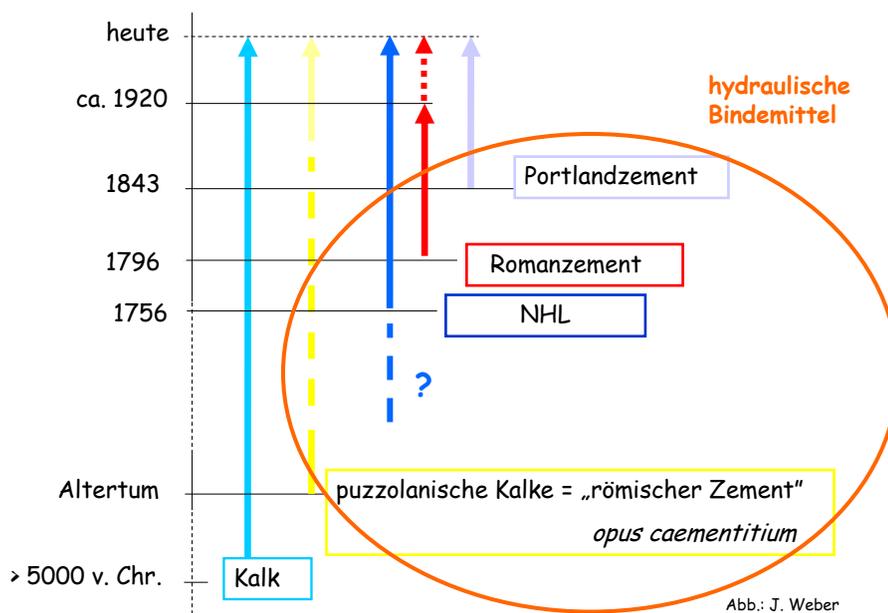




Geschichte der (hydraulischen) Mörtelbindemittel - Überblick



Hydraulische Bindemittel

Bindemittel, die unter Wasser erhärten

element symbol

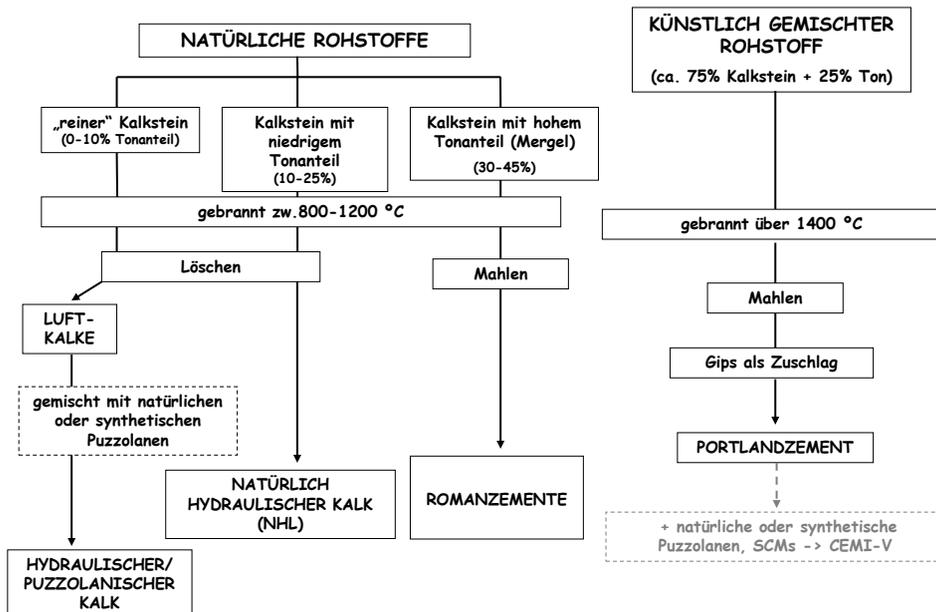
Calcium (CaO)
Magnesium (MgO)
(Kalkstein, Dolomit)

+

Silizium (SiO₂)
Aluminium (Al₂O₃)
Eisen (Fe₂O₃)
(Tonminerale, Quarz, etc.)

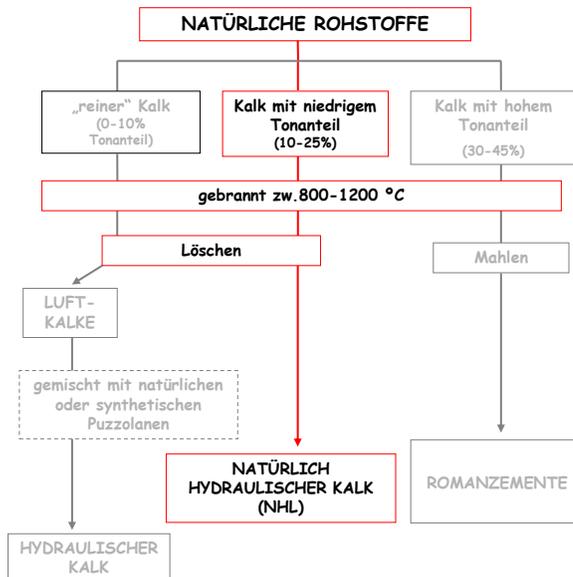
„hydraule Faktoren“ ->
Ca-Silikate &
Ca-(Eisen)-Aluminate

Rohstoffe - Produkte



Natürlich Hydraulischer Kalk (NHL)

1756 von John Smeaton erfunden



Rohstoff:

Toniger Kalkstein

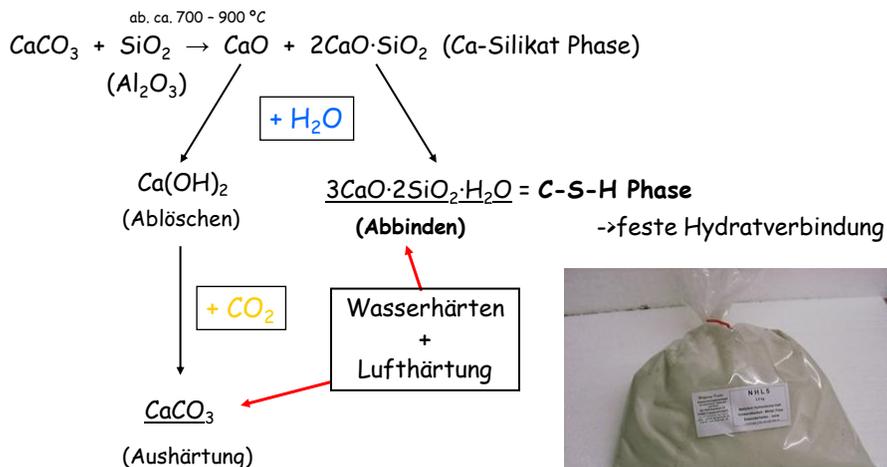
75-90% CaCO_3

10-25% Tonminerale

In erster Linie in Belgien, Frankreich und Deutschland verbreitetes Material

(~ seit dem 19ten Jh.)

Heutzutage wieder beliebtes Bau- und Restaurierungsmaterial



Die Mörtel von NHL erreichen eine höhere Frühfestigkeit als Luftkalke, aber in anderen physikalischen Parameter sind sie einem Luftkalk ähnlich

Hydraulische Erhärtung

Nach Erreichen der maximalen Festigkeit: statisch über die Bauwerksstandzeit, nach einer gewissen Zeit ist die Hydratationsreaktion abgeschlossen

- Hydratationsreaktion: Wasser wird eingebunden
- nadelige oder blattförmige Hydratphasen →
- höhere Festigkeiten als bei Luftkalken

- statisch (abgesehen von unerwünschten, schädigenden Treibreaktionen)
- keine Reversiblen Reaktionen (wie z.B. bei Luftkalken)
- keine Selbstheilungskräfte

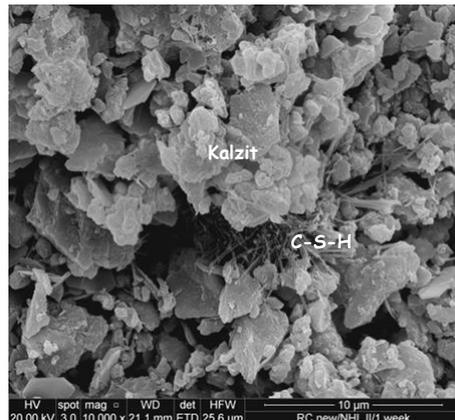


Abb.: Karol Bayer

Naturzement - Romanzement („Wiener Hydrauer“)

- kalkfreier hydraulischer Mörtelbinder
anders als bei hydraulischen Kalken gibt es keinen (oder nur minimalen) Freikalk, CaO
- Naturzement
erbrannt aus einem natürlichen Rohstoff - Mergel
- Niedrig-Temperatur-Zement
bei Temperaturen unterhalb der Sintergrenze erbrannt

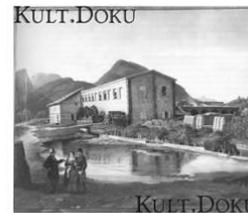
- 1796 von James Parker in England patentiert



- 19. Jh. im europäischen Festland und den USA
Blütezeit in Mitteleuropa: ca. 1850 - 1914
letzte Produktion in Österreich: 1928

- Zentren in Europa:

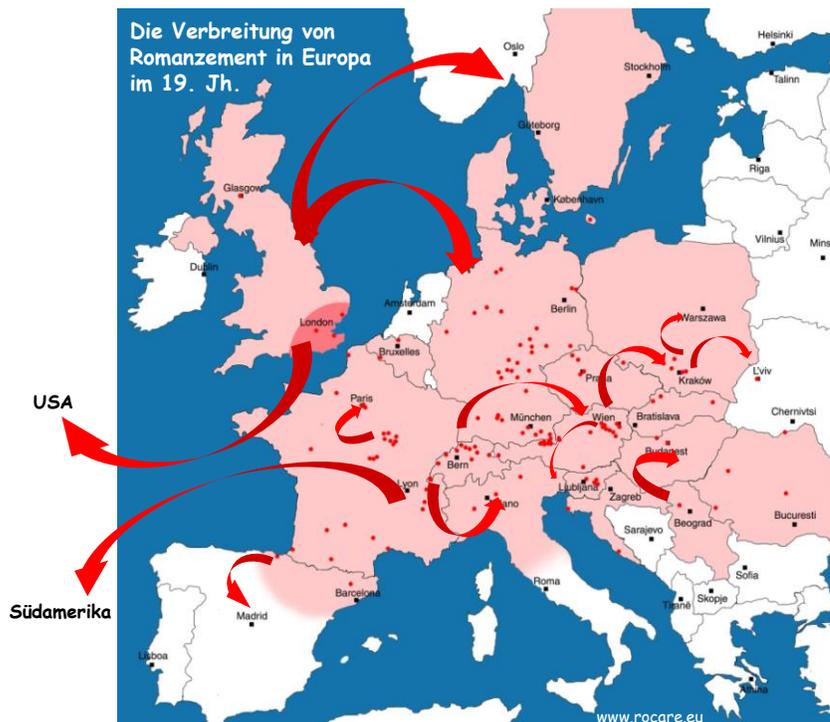
England, Frankreich (Vicat Prompt), Schweiz, Österreich-Ungarn, Süddeutschland, Oberitalien, ...

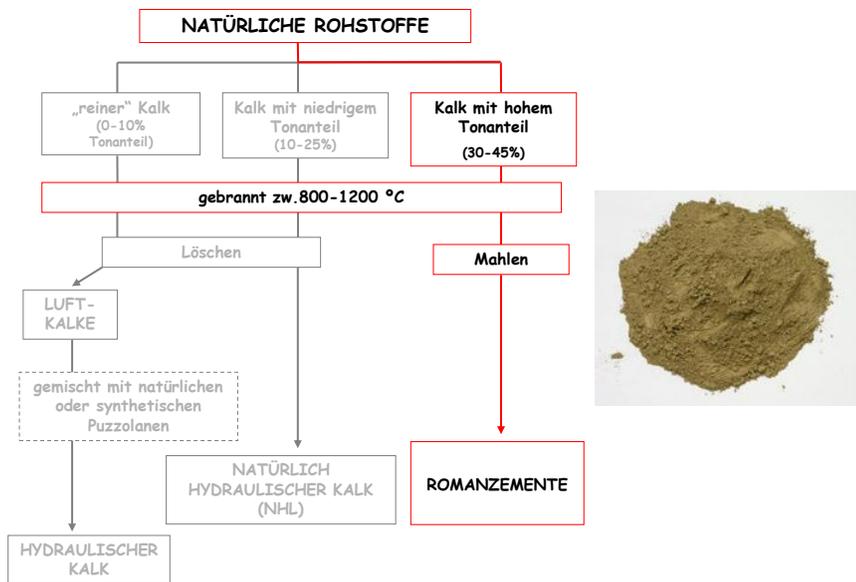


- Anwendung:

Fundamente, Brücken- und Kanalbauten, Fassaden

© Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum, Innsbruck





Rohstoff

Mergel = feinkörniges Sedimentgestein, bestehend aus Kalk und Ton „in inniger Mischung“

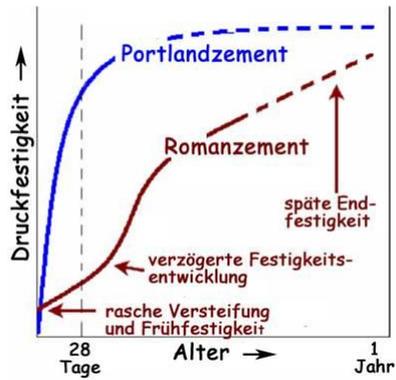
Brennen im Schachtofen (800-1100 °C)



Österr. Norm von 1880 und 1890

Alter	Zugfestigkeit [N/mm ²]			Druckfestigkeit [N/mm ²]		
	Romanzement		Portlandzement	Romanzement		Portlandzement
	rasch ≤ 15 min	langsam > 15 min		rasch ≤ 15 min	langsam > 15 min	
7 T	≥ 0,4	≥ 0,5	≥ 1	k. A.		
28 T	≥ 0,8	≥ 1	≥ 1,5	≥ 6	≥ 8	≥ 15

Rasche Festigkeitsentwicklung!



Grundsätzlicher Verlauf der Festigkeitsentwicklung bei Romanzement

Abb.: J. Weber



Bindemittel-Körnung-Verhältnis in einem historischen Romazementmörtel

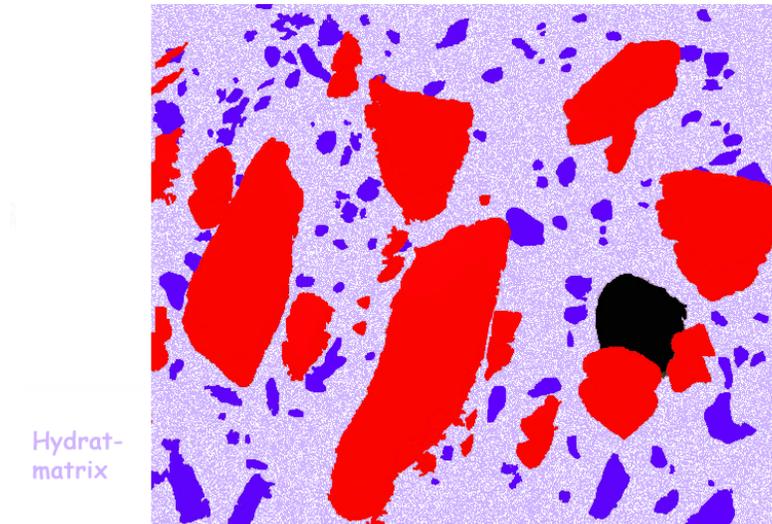


Abb.: J. Weber

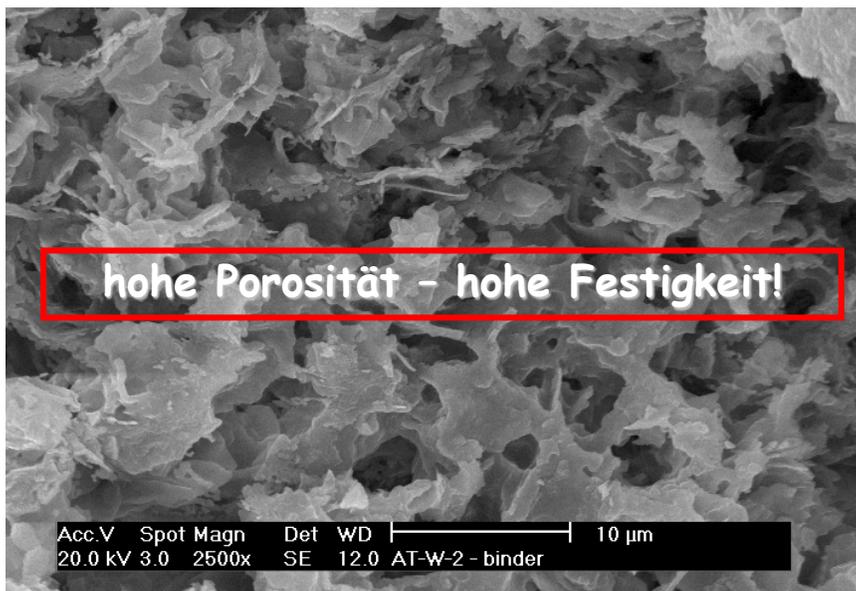
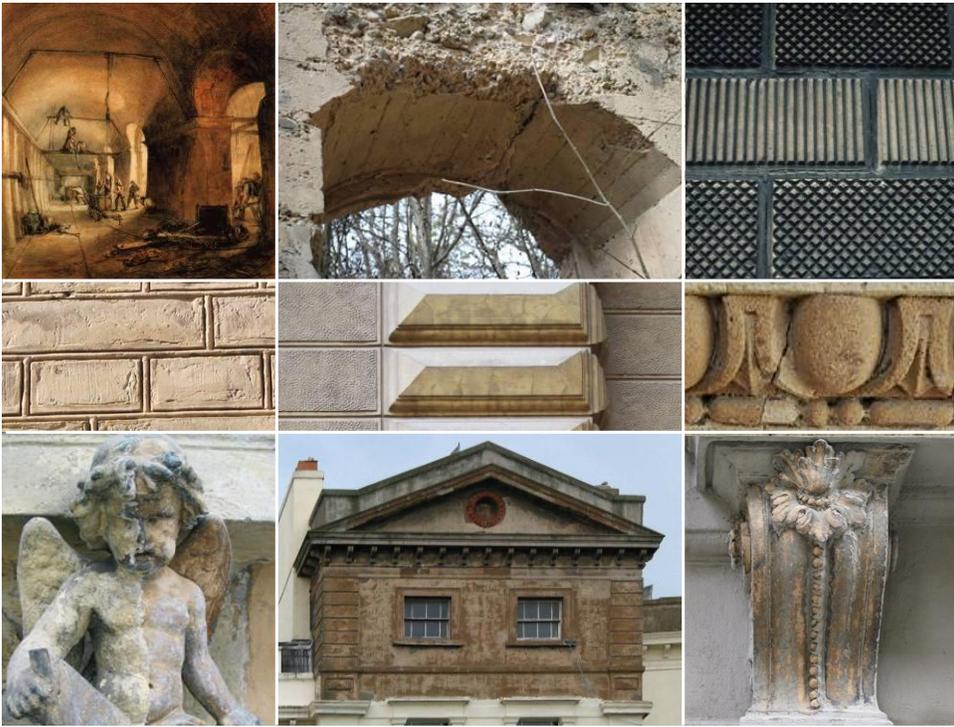


Foto: J. Weber

Hydratmatrix („Kartenhausstruktur“) eines historischen Romazement-Gussmörtels



Fotos: J. Weber

Saint Bruno Clocher Grenoble (1872)



Foto: C. Avenier



Wien, Hoftheater-Kulissendepot ("Semperdepot"), 1873

Romanzemente in der Restaurierung

Fassaden-
schlänmen



Gusselemente



Fassadenzug

Portlandzement

Portlandzement: hydraulisches Bindemittel, das aus einer Mischung von Kalk und Ton bis zur Sinterung ($\sim 1450\text{-}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) gebrannt und nach der Abkühlung mit der Zugabe von Gips feingemahlen wird. Der Zement bildet unter Wassereinwirkung ein hartes und beständiges Mineralgefüge.

1824 - Joseph Aspdin Patent no. 5022: „Portlandzement“ (kein echter PZ, eher NHL)

1843 - William Aspdin, I.C. Johnston - Herstellung von hochtemperatur Zement: drastische Verbesserung der physikalischen Parameter des Bindemittels

1878 - Drehrohrofen - industrielle Zementherstellung auf hoher Temperatur

1890 - Gips in den Zementen (Verzögerer); Ettringitbildung

ab 1920-er Jahren rasche Verbreitung von Zementmörteln und -putzen (Höhepunkt in der Nachkriegszeit)

Die wichtigsten Produktionsschritte in der Portlandzementherstellung

1. Künstliche Rohstoffmischung aus Kalk & Ton
2. Mahlen
3. Brand bei über $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Drehrohrofen
4. Feinmahlung des entstandenen Klinkers
5. Zumischung von Gips als Verzögerer (+ ev. anderen Stoffen)
6. Lagerung

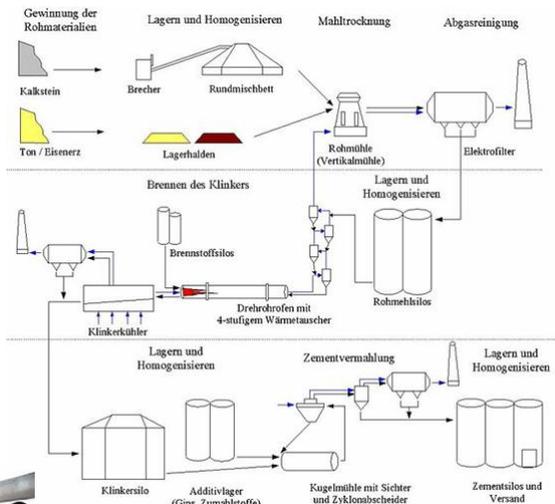
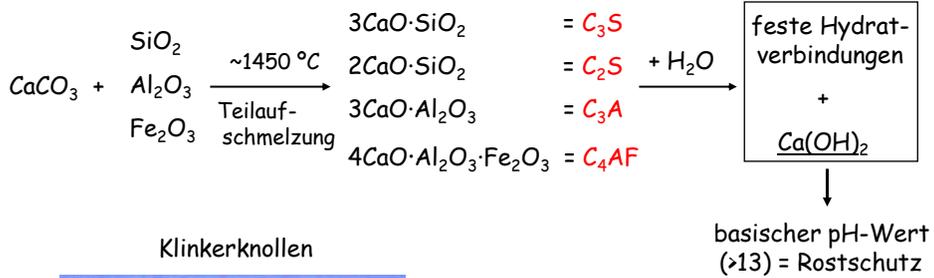


Abb.: wikipedia

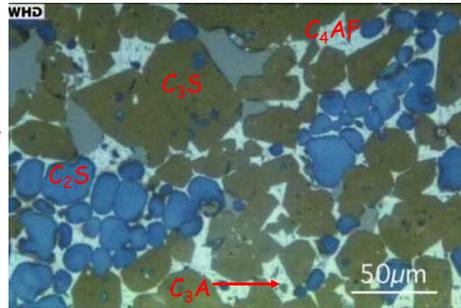
OPC (Ordinary Portland cement) Klinkerphasen



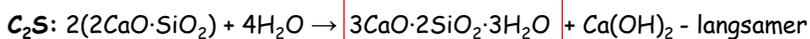
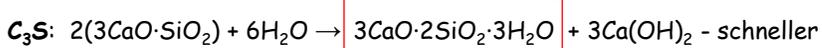
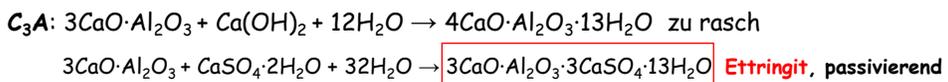
Klinkerknollen



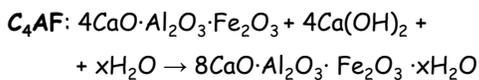
www.understanding-cement.com



Hydratation I. - Die wichtigsten chemischen Reaktionen



C-S-H Phasen



Hydratation II. - Zementhärtung (Abbinden)

Das Abbinden beruht auf Reaktion der fein gemahlten (ca. 10 µm) Klinkerminerale mit Wasser zur Bindung von Hydratverbindungen. Diese sind extrem fein (1 bis 10 nm) und haben die Wassermoleküle nicht nur im Moleküleverband eingebaut, sondern auch sehr fest an ihren Oberflächen angelagert.

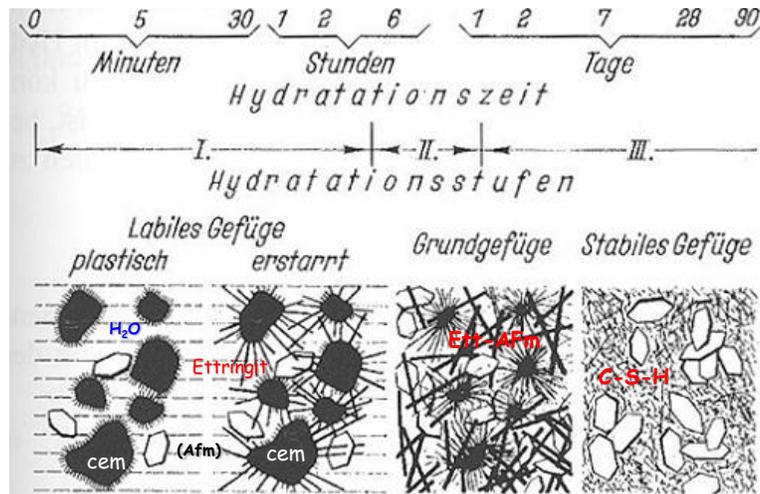


Abb.: Stark & Wicht, 1998

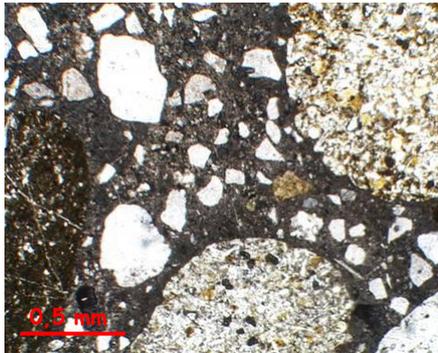
Zementarten und deren Zusammensetzung nach EN 197-1

Hauptzementarten	Bezeichnung 27 Produkte (Normalzementarten)		Zusammensetzung: (Massenanteile in Prozent) ¹⁾										Nebenbestandteile					
			Hauptbestandteile															
			Portlandzementklinker K	Hütensand S	Silicastaub D ²⁾	Puzzolane natürlich P	Puzzolane natürl. getempert Q	Flugasche kiesel-säurereich V	kalk-reich W	Gebirgsschiefer T	Kalkstein L, LL							
CEM I	Portlandzement	CEM I	95 bis 100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5		
CEM II	Portlandhüttenzement	CEM II/A-S	80 bis 94	6 bis 20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
		CEM II/B-S	65 bis 79	21 bis 35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
	Portlandsilicastaubzement	CEM II/A-D	90 bis 94	–	6 bis 10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-P	80 bis 94	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
	Portlandpuzzolan-zement	CEM II/B-P	65 bis 79	–	–	21 bis 35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-Q	80 bis 94	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
	CEM II/B-Q	CEM II/B-Q	65 bis 79	–	–	–	21 bis 35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-V	80 bis 94	–	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
	Portlandflugasche-zement	CEM II/B-V	65 bis 79	–	–	–	–	21 bis 35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-W	80 bis 94	–	–	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
	CEM II/B-W	CEM II/B-W	65 bis 79	–	–	–	–	–	21 bis 35	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-T	80 bis 94	–	–	–	–	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
	Portlandschiefer-zement	CEM II/B-T	65 bis 79	–	–	–	–	–	–	–	21 bis 35	–	–	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-L	80 bis 94	–	–	–	–	–	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	0 bis 5
	Portlandkalkstein-zement	CEM II/B-L	65 bis 79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21 bis 35	–	–	–	–	0 bis 5
		CEM II/A-LL	80 bis 94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	0 bis 5
CEM II/B-LL	CEM II/B-LL	65 bis 79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21 bis 35	–	–	0 bis 5	
	CEM II/A-M	80 bis 94	–	–	–	–	–	–	–	–	6 bis 20	–	–	–	–	–	0 bis 5	
CEM II/B-M	CEM II/B-M	65 bis 79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
	CEM III/A	35 bis 64	36 bis 65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
CEM III	Hochofenzement	CEM III/B	20 bis 34	66 bis 80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
		CEM III/C	5 bis 19	81 bis 95	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
CEM IV	Puzzolan-zement ³⁾	CEM IV/A	65 bis 89	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
		CEM IV/B	45 bis 64	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
CEM V	Komposit-zement ³⁾	CEM V/A	40 bis 64	18 bis 30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	
		CEM V/B	20 bis 38	31 bis 50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0 bis 5	

Zementmörtel - Beton

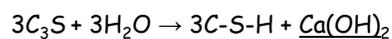
Zementmörtel: Zement + Wasser +
Zuschlag (< 4mm)

Beton: Zement + Wasser + Zuschlag (> 4 mm) +
Additive

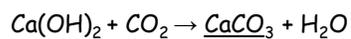


Karbonatisierung des Betons

Hydratation von Zement:



Portlandit ($Ca(OH)_2$) reagiert mit dem CO_2 aus der Luft (Neutralisierung des Betons < pH 9) → Karbonatisierung:



Kalksinterzäpfchen, Kalksinterkruste an der Oberfläche



Kalksinterkruste an einer Betonoberfläche infolge Auswaschen und Karbonatisierung von $Ca(OH)_2$

Phenolphthaleintest:
rosa Bereich pH > 9 =
keine Karbonatisierung



Vorbehalte in der Restaurierung gegen Zementmaterialien

- höhere mechanische Festigkeit und geringere Verformbarkeit als bei den meisten historischen Baustoffen
Kalkmörtel sind „weicher“ aber weniger belastbar
- am meisten geringe Wasserdampfdurchlässigkeit - sie behindern die Verdunstung aus durchfeuchteten Bauteilen
Kalkmörtel bzw. -anstriche sind poröser, haften aber schlechter und altern rascher
- Zemente führen meistens lösliche Salze mit sich, die beim Austrocknen in benachbarte, porösere Baustoffe gelangen und dort Schäden verursachen können
Reiner Kalk ist bezügl. der Salze unbedenklich, durch die Zugabe von Trass kann aber u.U. Salz eingebracht werden
- die Entstehung von Ca(OH)_2 ist in historischen Bindemitteln untergeordnet
- Farbe

In der Restaurierung bevorzugt man folgende Kompromisse:

- Kalk mit Zugabe von ger. Mengen organ. Stoffe (z.B. Acrylharze)
- Verwendung hydraulischer Kalke, Naturzemente (NHL, ROZEM)
- Verwendung puzzolanischer Kalke oder eigene Zumischung von Trass zu Kalk
- Eigene Zumischung von (Weiss)zement zu Kalk

Portlandzement und Beton - falsche Anwendungen in der Denkmalpflege



Sanierputze (nach WTA 2-2-917/D)

Zum Verputzen feuchter u/o. salzhaltiger Mauerwerke

Aus Werk trockenmörtel hergestellte zweischichtige Zementputze mit hoher Porosität und Wasserdampfdurchlässigkeit bei gleichzeitig deutlich verminderter kapillarer Leitfähigkeit; dadurch erhöhte Frost- und Salzbeständigkeit.

Bindemittel: vorwiegend Zement

Rohdichte: $< 1,4 \text{ kg/dm}^3$ μ -Wert: < 12 Druckfestigkeit: $1,5 - 5 \text{ N/mm}^2$
w-Wert: $> 0,3 \text{ kg/m}^2$ Porosität: $> 40 \text{ Vol. \%}$ Luftporengehalt: $\geq 25\%$

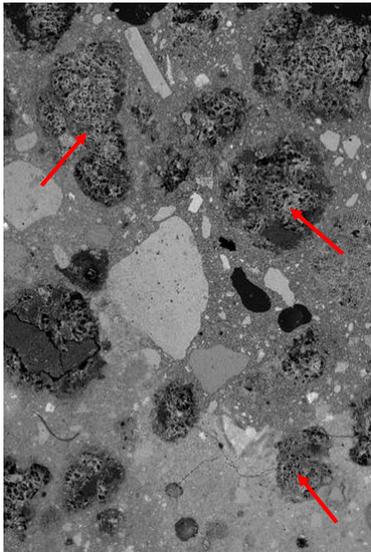
Salzresistent

Die geförderten Mörtleigenschaften werden durch eine Kombination von Kapillar- und Luftporen (ca. $> 30 \mu\text{m}$) sowie teilweise durch hydrophobierende Zusätze erzielt

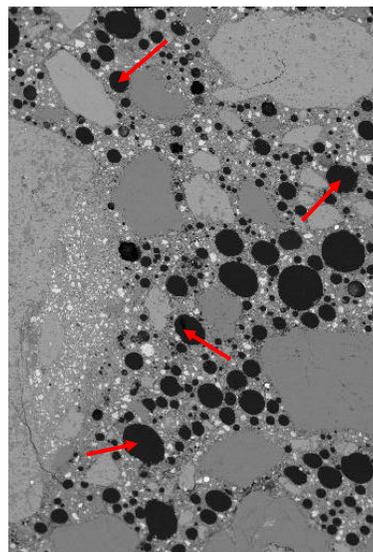
Die Luftporen sollen der Einlagerung von Salzen dienen und beruhen auf Tensiden oder auf hochporösen Zuschlägen

Die verminderte Kapillaraktivität birgt das Risiko einer reduzierten Trocknung des darunterliegenden Mauerwerks

Sanierputze - Porosität



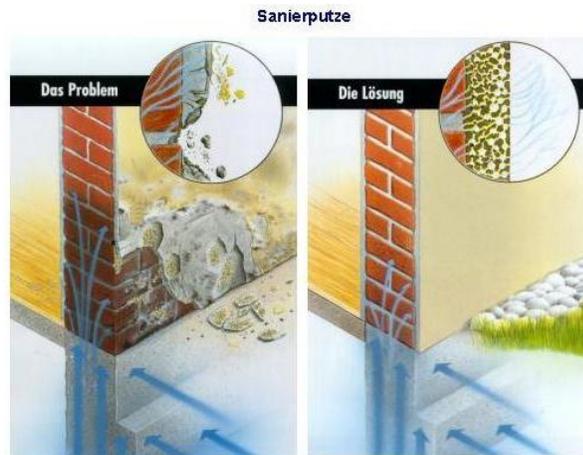
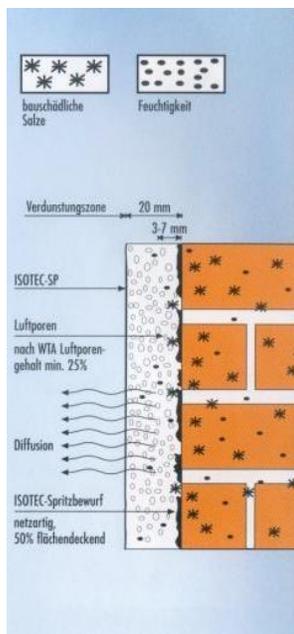
Sanierputz mit Schaumglas-, Perlitzuschlag



Luftporenbildner

<http://publish.illinois.edu/concretemicroscopylibrary/air-entrainment/>

Wirkungsprinzip der Sanierputze



Quelle: Vortrag Sanierputze von Herrn Dr. Rupp, Baumit-Byzanz

Opferputze (nach WTA 2-10-06/D)

Alle Putze dienen dem Schutz von Mauerwerk. Die Nutzungsdauer dieser Putze beträgt in der Regel mehrere Jahrzehnte, in Ausnahmefällen bis zu Jahrhunderten.

Opferputze: Verschleißschichten konzipierte Putze die nur zum kurzzeitigen Schutz von Oberflächen vorgesehen (Monate bis wenige Jahre) und begrenzt anzuwendend sind

Allgemeine Eigenschaften:

- Sanierungswirkung oder Schutzfunktion
- OP-I Putze: hohe Porosität und kap. Leitfähigkeit
- OP-A Putz: geringe Saugfähigkeit
- Reversibilität (leicht entfernbare Putze)
- ausreichender Oberflächenkontakt für die Einwanderung von Salzen und/oder Feuchtigkeit

Sind Opferputze speziell auf einen hohen Salzeintrag ausgelegt, werden sie als Kompressenputze bezeichnet.

Unter dem Aspekt der Salzreduzierung/Entsalzung nehmen die Opferputze eine Zwischenstellung zwischen den Kompressen und den Sanierputzsystemen ein. Kompressen werden kurzfristig über wenige Tage bis Wochen eingesetzt, Sanierputzsysteme erfüllen über viele Jahre ihre Aufgaben, die auch gestalterische Funktionen beinhalten können. Die Opferputze sind mit einer mittelfristigen Anwendungsdauer zwischen den beiden genannten Systemen einzuordnen.

<u>Typ</u>	<u>Charakterisierung nach der Anwendung</u>
<i>OP-I</i>	Verhinderung von Schäden an Oberflächen vor Einwirkungen durch Salze und Feuchte aus dem Inneren des Mauerwerks o. Bauteils
<i>OP-I-Salz</i>	Dieser Kompressenputz ist für eine hohe Salzeinlagerung konzipiert und kann auf stark durchfeuchteten Untergründe eingesetzt werden
<i>OP-I-Feuchte</i>	Für temporären Verputzen von stark mit Feuchte belasteten Untergründen. Der Putz bewirkt jedoch keine beschleunigte Austrocknung
<i>OP-A</i>	Zum Schutz von vorgeschädigten, empfindlichen und schutzbedürftigen Oberflächen vor Einwirkungen von außen. Bei ausreichender Dicke kann er Schutz vor Witterung (Feuchte, Temperatur), vor Verschmutzung (Stäube, Gase, Spritzwasser) und vor mechanischen oder biologischen Belastungen bieten

Wirkungsprinzip des OP-I-Salz Putzes

