

Kurzbericht

Titel

IngMa - Entwicklung einer zementfreien Injektionstechnologie auf Kalkbasis für historisch wertvolles, gipshaltiges Mauerwerk

Az.: SWD-10.08.18.7-14.29

Anlass/ Ausgangslage

Zur Ertüchtigung von historischem Mauerwerk werden häufig Injektionen genutzt. In der Vergangenheit kam es durch Injektionen in gipshaltiges Mauerwerk oft zu gravierenden Schäden (teilweise vollständiger Verlust der Originalsubstanz). Dies ist auf die Materialunverträglichkeit von Gips mit zementhaltigen Bindemitteln zurückzuführen (Ettringit- und/ oder Thaumasitbildung). Derartige Schäden können durch geeignetes Material vermieden werden.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Ziel des Projektes war die Entwicklung einer Injektionstechnologie für ein völlig portlandzementklinkerfreies, sulfatverträgliches Material. Als Verpressmaterialien werden feine Suspensionen verwendet, die aus Bindemittel, Zusatzstoffen und ggf. fein gemahlene Gesteinskörnungen besteht (Injektionsmörtel). Im Sonderfall gipshaltiges Mauerwerk muss das Injektionsmaterial aus sulfatverträglichen Stoffen bestehen, welche nach dem Abbinden Eigenschaften analog zur Originalsubstanz ausbilden. Bei der Suche nach einem geeigneten Verpressmaterial wurden zunächst Fertigprodukte untersucht, diese modifiziert und erneut in Bezug auf ihren Sulfatwiderstand untersucht. Auf Grund der Ergebnisse wurde dieses Vorgehen als nicht zielführend verworfen.

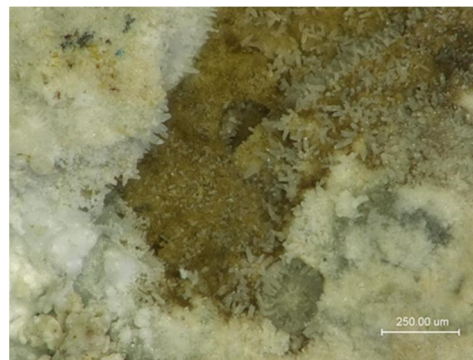


Bild 1 Links Ungeeignetes Injektionsmaterial (Romanzement) in der über Wasserlagerung, rechts nadelförmige Kristalle wachsen im gesamten Gefüge

Eine Aktivierung puzzolanischer Materialien ohne Portlandzementzusatz konnte in technisch relevanten Zeiträumen nicht realisiert werden. Infolgedessen wurde für das Verpressmaterial ein Bindemittel auf Calciumsulfatbasis favorisiert. Dieses wurde mit einem kalkhaltigen Füller optimiert. Besondere Beachtung bei der Prüfung der Mörtel wurde auf die

unterschiedlichen Bedingungen im Mauerwerk gelegt. Es wurden drei Prüf- und Lagerungsbedingungen fixiert. So konnte ein Ankermörtel mit Trockendruckfestigkeiten bis ca. 20 N/mm^2 und Nassdruckfestigkeiten bis ca. 11 N/mm^2 formuliert werden. Die Biegezugfestigkeit dieses Mörtels betrug nach Lagerung über Wasser ca. 3 N/mm^2 und nach Trockenlagerung bzw. Trocknung nach Norm $7-8 \text{ N/mm}^2$.

Für einen Injektionsmörtel mit geringerer Festigkeit wurde der Kalkanteil in der Mischung stufenweise erhöht. Günstige Ergebnisse wiesen die Mörtel mit 10 -20 M.-% Kalk auf. Letztendlich muss der Injektionsmörtel je nach den Bedingungen im umgebenden Mauerwerk eingestellt werden. Dabei sind die Mauerwerksfeuchte und die Mauerwerksfestigkeit von zentraler Bedeutung.

Basierend auf oben genannter Rezeptierung wurde ein Schaummörtel formuliert. Mit einem geeigneten Schaumbildner konnte ein stabiler Schaum hergestellt und in den Frischmörtel eingebracht werden. Die Festigkeiten können durch entsprechende Mörtel:Schaum-Verhältnisse, im getesteten Fall 1:1; 1:0,8 oder 1:0,5 an den jeweiligen Verwendungszweck angepasst werden. Die daraus resultierende Rohdichte bedingt gravierend die sich einstellende Festigkeit. Günstig erscheinen Mischungen von 1:0,8 und 1:0,5. Damit konnten Festigkeiten nach 28 d von 5 N/mm^2 und größer bei Einstellung einer Rohdichte (trocken) von ca. 1 g/cm^3 erreicht werden.

Für Anwendungen mit geringen Festigkeitsanforderungen (Verfüllen von Hohlräumen) wurde das Verpressmaterial geschäumt. Dabei können über das Mörtel:Schaum-Verhältnis die Festigkeiten des Materials eingestellt werden.

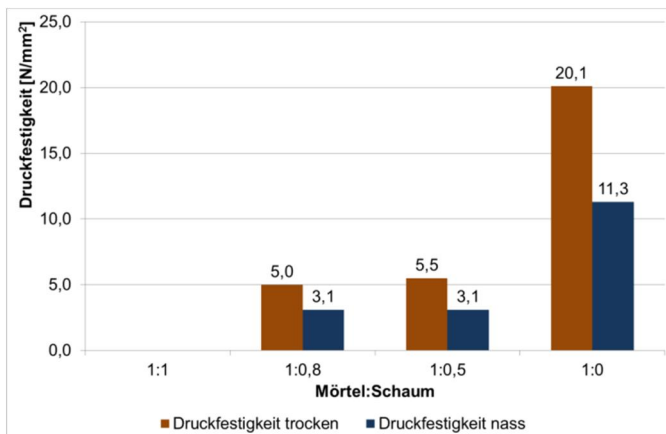


Bild 2 *Druckfestigkeit der geschäumten Mörtel*

Durch die Arbeit im sulfatischen System kann auf eine Sulfatverträglichkeitsprüfung verzichtet werden. Wichtigste relevante Parameter sind dann die Feuchteabhängigkeit der Materialien, die Festigkeit, der E-Modul, die Dichte/ Porosität und die Pumpfähigkeit/ Fließfähigkeit. Beim Injizieren unterscheidet man zwischen dem reinen Verfüllen und dem Verpressen mit Druck. Der entstehende Druck ist fortlaufend zu kontrollieren. Es wird mit geringen Drücken bis 1,5 bar gearbeitet. Der Druck ist über ein Manometer zu kontrollieren. Die Verarbeitungszeit einer Charge sollte zwischen etwa 30 min und maximal einer Stunde liegen. In der Regel wird beim Verpressen des Mauerwerks von unten nach oben gearbeitet, sodass sich allein aus der Steighöhe des Injektionsgutes ein Druck aufbaut.

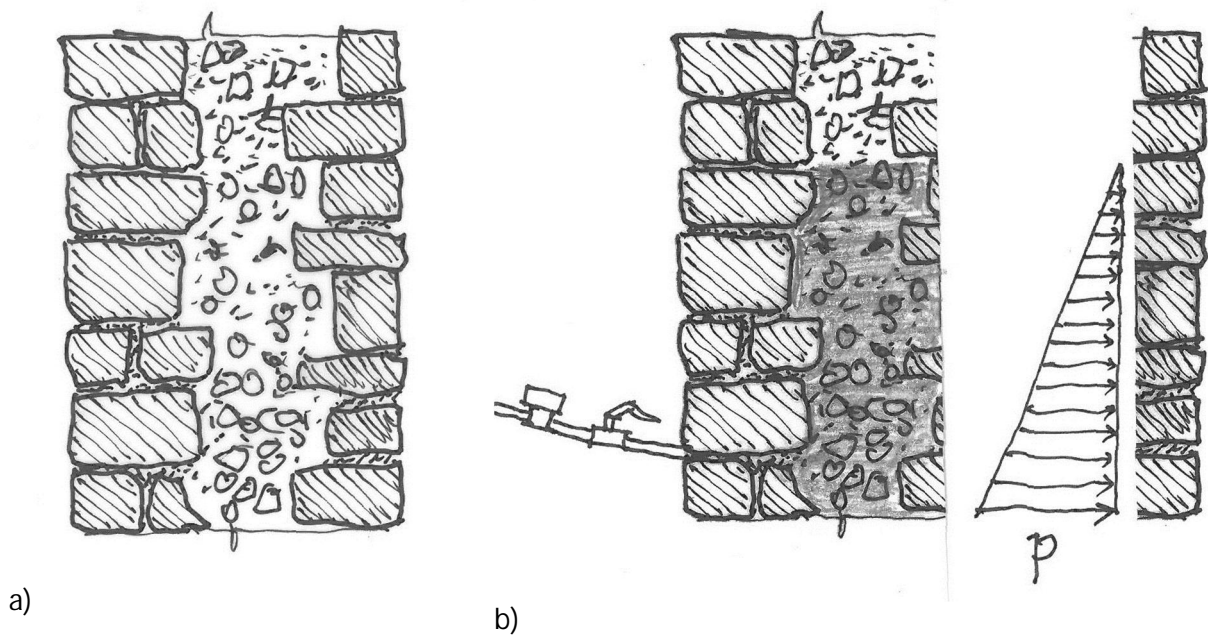


Bild 3 *Aufbau eines hydrostatischen Drucks („Schalungsdruck“) des frischen Injektionsgutes (b) bei zweischaligem Mauerwerk mit loser Füllung im Schalenzwischenraum (a)*

Durch den Druck gelangt das Injektionsmaterial auch in die kleinsten Risse und Hohlräume. Erst dann, wenn der Druck eine längere Zeit steht und nicht mehr allmählich abfällt, sind alle Hohlräume und Risse verpresst. Luft ist dabei im Verpressvorgang hinderlich, sofern sie nicht entweichen kann. Deshalb sind in der Wand Entlüftungsstellen zu belassen. Eine Qualitätskontrolle nach erfolgter Injektion ist extrem wichtig. Zunächst können die Eigenschaften des erhärteten Mörtels geprüft werden. Weiter kann das Mauerwerk endoskopisch analysiert oder eingebrachte Anker überbohrt werden.

Fazit

In dem Projekt wurden Technologien für Injektionen in historisches Mauerwerk entwickelt und am Modellobjekt erprobt. Entsprechend dem Projektziel für den Fall von gipshaltigem Mauerwerk spezielle Injektionsmörtel auf der Basis von α - und β -Calciumsulfathalhydrat formuliert. Reiner Luftkalk wird dabei als Füller genutzt um die Festigkeit an das umgebende Originalmaterial anzupassen. Die vorgeschlagenen Formulierungen wurden praktisch erprobt und Hinweise für die Praxis bereitgestellt. Mit den Ergebnissen werden Planern und Baustoffherstellern Möglichkeiten für die statische Sicherung von calciumsulfathaltigen historischen Mauerwerksbauten ohne Schadenspotential zur Verfügung gestellt. In dem Projekt wurden Potenziale für die weitere Entwicklung und die praktische Überführung aufgezeigt. Die Projektziele konnten in vollem Umfang erreicht werden.

Eckdaten

Kurztitel:

IngiMa - Injektion von gipshaltigem historischem Mauerwerk

Forscher/ Projektleitung:

o. Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger, TU Dresden

Dipl.-Geol. Thomas Köberle, TU Dresden

Dipl.-Ing. Angela Eckart, Planungs- und Ingenieurbüro für Bauwesen Radebeul
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger
Dr.-Ing. Toralf Burkert, Jäger Ingenieure GmbH
Dr.-Ing. Volker Stoll, Jäger Planungs- und Ingenieurbüro für Bauwesen Radebeul
Dr.-Ing. Carola Hauschild, Planungs- und Ingenieurbüro für Bauwesen Radebeul

Projektpartner und Förderer:

Lhoist
Rue de l'Industrie, 31
B-1400 Nivelles Belgien

DESOI GmbH
Gewerbestr. 16
36148 Kalbach

Jäger Ingenieure GmbH
Wichernstr. 12
01445 Radebeul

Solubel
Flachsstr. 3
91207 Lauf/Neuhof

Knauf Gips GmbH
Am Bahnhof 7
97346 Iphofen

MC Bauchemie
Am Kruppwald 1-8
46238 Bottrop

Mapei
Via Cafierro 22
I-20158 Milano - Italien

Gesamtkosten: 258.386,25€

Anteil Bundeszuschuss: 140.414,25€

Projektlaufzeit: 11/2014 – 12/2018