

# Bestimmung der Tragfähigkeit von altem Ziegelmauerwerk und Untersuchung von neuen Injektionsmaterialien gegen aufsteigende Feuchtigkeit

## Determination of the strength of old brick masonry and investigations of new injection materials to prevent rising capillary moisture

Von Karl Deix und Sinan Korjenic, Wien

Mit 18 Abbildungen und 1 Tabelle



Dipl.- Ing.  
Dr.techn. Karl Deix



Dipl.- Ing.  
Dr. Sinan Korjenic

### Kurzfassung

Bei Umbauarbeiten von Gründerzeithäusern ist auf das Ziegelmauerwerk besonderes Augenmerk zu richten, insbesondere bezüglich Tragfähigkeit und Feuchtigkeit. Es werden die gängigen Prüfmethode und deren Anwendbarkeit zur Bestimmung der Mauerwerksfestigkeiten vorgestellt. Statistische Auswertungen der Festigkeiten von entnommenen Mauerwerksproben aus über 60 Wiener Objekten charakterisieren das typische in Wien anzutreffende Mauerwerk. Weiters werden die üblichen Injektionsmittel und Methoden erläutert. Im Folgenden werden Untersuchungsergebnisse an neuen Injektionsmitteln gegen aufsteigende Feuchtigkeit in Form von Pasten vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen die Anwendbarkeit und den Einsatzbereich der neuen Materialien.

### Abstract

When alterations are made to houses built during the Gründerzeit (period of Promoterism), special attention should be paid to the strength and moisture of brick masonry. Standard test methods and how they are applied to determine the strength of masonry are presented. Statistical evaluations of the strength of masonry samples taken from more than 60 buildings in Vienna show masonry which is so typical of this city. Furthermore, standard injection materials and methods are outlined. In addition, the results of investigations of new injection materials such as pastes for preventing rising capillary moisture are presented. The results show the applicability and use of new materials.

## 1. Untersuchungsmethoden an bestehendem Mauerwerk bezüglich Festigkeit

### 1.1. Grundlagen

Die Grundlagen zur Untersuchung von Mauerwerk aus Bestandsobjekten werden u.a. in der ONR 21996 [1] geregelt. Demnach ist die Druckfestigkeit von Bestandsmauerwerk unter Berücksichtigung der objektspezifischen Gegebenheiten und der statischen Anforderungen zu prüfen, wobei als Mindestanforderung einer ausreichenden Erkundung eines Bestandsobjektes die Erfüllung des Kenntnisstandes 3 (KL3: Vollständiger Kenntnisstand) gemäß ÖNORM EN 1998-3 [2] gilt. Tabelle 1 zeigt dazu eine Zusammenstellung gebräuchlicher Prüfmethode.

sichtigung der objektspezifischen Gegebenheiten und der statischen Anforderungen zu prüfen, wobei als Mindestanforderung einer ausreichenden Erkundung eines Bestandsobjektes die Erfüllung des Kenntnisstandes 3 (KL3: Vollständiger Kenntnisstand) gemäß ÖNORM EN 1998-3 [2] gilt. Tabelle 1 zeigt dazu eine Zusammenstellung gebräuchlicher Prüfmethode.

**Tab. 1:** Zusammenstellung der gebräuchtesten Prüfmethode von Mauerwerk

**Tab. 1:** common tests methods for determining the strength of masonry

Methode	Art des Mauerwerkes	Kurzbeschreibung
Komponentenprüfung	unverfestigt	zerstörend
Eindringverfahren	unverfestigt	nicht zerstörend, informativ, nur Mörtel
Kleinpfeiler	unverfestigt und verfestigt	zerstörend, aufwendig
Bohrkerne (groß)	unverfestigt und verfestigt	zerstörend, aufwendig
Fugenkerne	verfestigt	„gering“ zerstörend, nur Fugenmörtel

### 1.2. Komponentenprüfung

Entsprechend dem Merkblatt der Stadt Wien [3] ist für den Mauerwerk eine Druckfestigkeit von mindestens 1,0 N/mm<sup>2</sup> notwendig, auch wenn keine maßgeblichen Änderungen vorgenommen werden. Bei dem Wert handelt es sich dabei um den Normwert der Mörteldruckfestigkeit entsprechend der Prismenfestigkeit nach EN 998-2 [4]. Dieser Wert kann jedoch, da der Mörtel bereits vermauert ist, nur noch indirekt angegeben



Abb. 1: Bruchform beim Stempeldruckversuch  
Fig. 1: Fracture after compression test

werden. Es wurde daher bereits im Jahr 1990 vom Institut für Hochbau der Technischen Universität Wien die Stempeldruckmethode entwickelt. Hierbei werden Mörtelproben entnommen, beidseitig mit Gips abgeglichen und im Druckversuch mit einem runden Stempel mit einem Durchmesser von 25 mm (Abb. 1), zum Teil auch mit quadratischen Stempel mit einer Seitenlänge von 40 mm, geprüft. Der zur Umrechnung notwendige Faktor wurde mit Versuchsreihen ermittelt und ist vor Allem von der Mörteldicke abhängig; siehe [5] und [6]. Für die Auswertung einer Probestelle sind dabei mindestens 10 Einzelprüfwerte erforderlich.

Durch verschiedene Einflüsse, wie Wasserentzug durch trockene Ziegel beim Vermauern, zu geringer Bindemittelgehalt, ungünstige Bedingungen während des Erhärtens, etc. kommt es zu einer geringeren Festigkeitsentwicklung als beim genormten Herstellungsverfahren. Bei Jahrzehnte alten Mauermörtel kommen weitere ungünstige Einflüsse dazu, wie Feuchteinflüsse und Salzbelastungen. Meist liegt daher nur ein feuchter und wenig fester Kalkmörtel vor.

Neben der Stempeldruckprüfung kann für eine informative Prüfung das Eindringverfahren genannt werden. Hierbei wird eine



Abb. 2: Im Druckversuche geprüfter Mauerwerkskleinfleiler  
Fig. 2: Masonry after the compression test

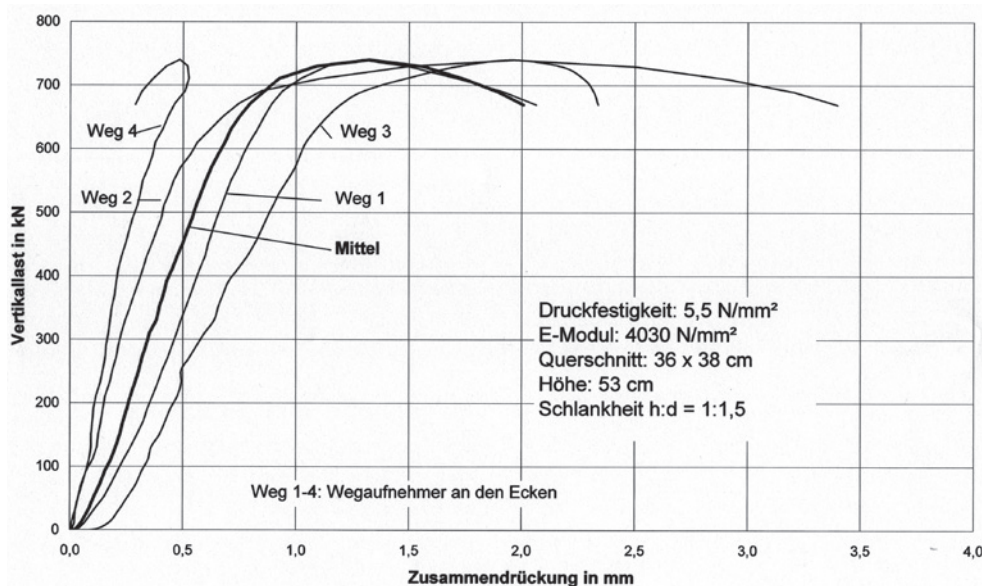


Abb. 3: Last-Stauchungslinie beim Druckversuch  
Fig. 3: Stress-strain curve in the compression test

keilförmig ausgebildete Schneide mittels eines Prüfhammers in den Fugenmörtel geschlagen und dabei die Eindringtiefe zwischen dem 1. und 10. Schlag gemessen. Dieser Wert wird mit einer Formel auf die Mörtelfestigkeit umgerechnet. Es handelt sich damit um ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, dessen Ergebnisse jedoch nur als informativ anzusehen sind. Der Grund liegt u.a. darin, dass nur der Mörtel im äußeren Wandbereich geprüft wird, der meist relativ weich ist. Weiters sind relative große Schwankungen möglich, sodass nicht nur für Grenzfälle die genauere Stempeldruckmethode vorzuziehen ist.

Zur Angabe der Ziegelfestigkeit ist i.A. die Entnahme von mehreren Ziegeln und deren Prüfung im Druckversuch notwendig. Die Ziegel werden im Labor mit Zementleim abgeglichen, zum Teil auch geschliffen, und entsprechend ÖNORM EN 772-1 [7] im Druckversuch geprüft. Es sollen zumindest 5 Ziegel repräsentativ pro Untersuchungsbereich oder Geschoß entnommen und geprüft werden. Die Ergebnisse werden noch mit einem Formfaktor nach ÖNORM EN 772-1, der die Ziegelabmessungen berücksichtigt, versehen.

Aus der Ziegel- und Mörteldruckfestigkeit wird entsprechend der nationalen Umsetzung des Eurocodes, der ÖNORM B 1996-1-1 [8], die charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerkes nach folgender Formel berechnet:

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta \times 0,8$$

$f_k$  ... charakteristische Druckfestigkeit des Mauerwerkes

$f_b$  ... normierte Druckfestigkeit der Mauersteine

$f_m$  ... Druckfestigkeit des Mauermörtels

Der Faktor von 0,8 ergibt sich aus der Abminderung von 20% für Verbandsmauerwerk nach ÖNORM B 1996-1-1.

Entsprechend Tabelle 2 der genannten Norm sind für Normalmörtel und Mauersteine der Gruppe 1 folgende Beiwerte und Exponenten angegeben:

$$K \dots 0,60 \quad \alpha \dots 0,65 \quad \beta \dots 0,25$$

Es ergeben sich erfahrungsgemäß dabei charakteristische Druckfestigkeiten des Mauerwerks  $f_k$  von 2,5 bis 4,0 N/mm<sup>2</sup>.

### 1.3. Mauerwerksprüfung an Kleinfleiler

Die Prüfung von Mauerwerkskleinfleilern, die aus dem bestehenden Mauerwerk entnommen werden, liefert theoretisch die genauesten Werte, bei genauer Betrachtung sind jedoch vie-

le Faktoren zu berücksichtigen. Die Breite der Grundfläche sollte dabei mindestens einer Ziegellänge entsprechen, die Höhe mindestens 5 Scharen. Im Labor werden die Mauerwerkskörper an der Ober- und Unterseite abgeglichen und im Druckversuch geprüft (Abb. 2). Als Ergebnis erhält man neben der Druckfestigkeit auch die Last-Zusammendrückungs-Linie samt Elastizitätsmodul (Abb. 3).

Bei der Beurteilung ergeben sich jedoch folgende Einschränkungen:

- Die Prüfung ist gegenüber der Komponentenprüfung aufwendiger. Idealerweise sollte die Entnahme der Mauerwerkskleinfeiler mit einer Seilsäge (Abb. 4) erfolgen. Weiters ist beim Transport zu gewährleisten, dass der Zusammenhalt nicht beeinträchtigt wird.
- Die geprüften Kleinfeiler weisen meist ein anderes Seitenverhältnis und eine andere Schlankheit auf, als die als Grundlage dienenden RILEM-Prüfkörper. Diese müssen laut ÖNORM EN 1052-1 [9] fünf Steinscharen hoch und 2 Ziegellängen breit sein (bei Ziegellänge  $\leq 300$  mm) und zumindest eine Schar tief. Sie sind damit meist schmaler als ein üblicher entnommener Kleinfeiler, der eine eher quadratische Grundfläche aufweist. Weiters sind durch angeschnittene Ziegel, einen unregelmäßigen Verband, Hohlräume, etc. geringere Festigkeiten zu erwarten, als ein im Labor exakt gemauerter RILEM-Prüfkörper aufweist.

Bei der Auswertung der Druckversuche wird neben der Berücksichtigung der Schlankheit zur Angabe der charakteristischen Druckfestigkeit  $f_k$  der Mauerwand der Mittelwert der gemessenen Druckfestigkeit durch 1,2 dividiert bzw. wenn der kleinste Einzelwert kleiner ist, dieser Wert für  $f_k$  angesetzt.

Bei einigen Objekten war es möglich, neben Ziegel- und Mörtelproben, auch Kleinfeiler zu entnehmen und zu prüfen und daher die Ergebnisse zur vergleichen. Dabei ergaben sich bei der oben beschriebenen Untersuchung der Einzelkomponenten gegenüber jener der Mauerwerkskleinfeiler um 15–30% höhere Festigkeiten. Der Elastizitätsmodul lag bei den Kleinfeilerdruckversuchen bei 1.200 bis 5.000 N/mm<sup>2</sup>; sie sind damit relativ gering. Übliche charakteristische Druckfestigkeiten  $f_k$  der Mauerwände in Gründerzeithäusern liegen bei 2,8–5,5 N/mm<sup>2</sup>.

#### 1.4. Bohrkerne

Die Entnahme von Bohrkernen aus dem Mauerwerk ist oft einfacher als von Kleinfeilern, insbesondere von kleineren Durchmessern um 20 cm. Die Bohrkern werden horizontal mit einer Diamantbohrkrone nass erbohrt und im Druckversuch entsprechend ihrer ursprünglichen Position geprüft. Zu beachten ist, dass es sich dabei eher um einen Spaltzugversuch als um einen Druckversuch handelt, da die Lasteinleitung nicht über den gesamten Durchmesser sondern eher linienförmig erfolgt. Dieser Versuch liefert daher vergleichsweise kleine Werte, da hier eine ungünstige Querkzugbeanspruchung in der vertikalen Verbindungslinie der Lasteinleitungspunkte vorliegt.

Abbildung 5 zeigt einen Druckversuch an einem mit Wasser- und Mikrozement injiziertem Mauerwerksbohrkern mit einem Durchmesser von 38 cm und einer Länge entsprechend der Mauerstärke von 46,5 cm. Der Kern wurde an der Ober- und Unterseite mit einer Breite von 21 cm abgeglichen und im Druckversuch geprüft. Es ergab sich eine Druckfestigkeit von 4,08 N/mm<sup>2</sup> bezogen auf die Lasteinleitungsfläche von 210 x 465 mm. Zu erkennen ist, dass sich hier drei senkrechte Spalte gebildet haben. Von großem Einfluss sind hier die Lage der Stoßfugen und deren Verfestigung, da hier eine ungünstige Querkzugbeanspruchung vorliegt. Abbildung 6 zeigt eine Bruchfläche an der die Verfüllung der Fugen deutlich ersichtlich ist.

#### 1.5. Fugenkerne

Bei injiziertem Mauerwerk ist es üblich, s.g. Fugenkerne mit einem Durchmesser von ca. 10 cm zu entnehmen, der eine Lagerfuge enthält. Insbesondere wird dies bei mit Epoxydharz-injektionen verfestigtem Mauerwerk so durchgeführt, da hier die Mörtelfuge verfestigt wird. Aus dem Bohrkern werden im Labor



Abb. 4: Seilsäge zur Entnahme von Mauerwerkskleinfeiler  
Fig. 4: Wire saw for taking a masonry-sample

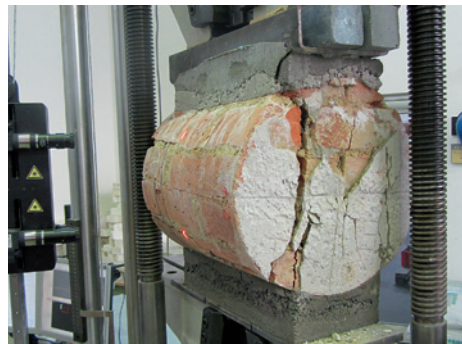


Abb. 5: Mauerwerksbohrkern im Druckversuch  
Fig. 5: Masonry drilling core in the compression test



Abb. 6: Verfüllung von Mikrozement in den Spaltflächen des geprüften Bohrkerns;  
Fig. 6: Areas of microcement between the bricks visibly after the compression test

prismatische Prüfkörper herausgeschnitten, die in der Mitte die horizontale Lagerfuge enthalten. Im Druckversuch wird somit die Festigkeit dieser Lagerfuge festgestellt, wobei Druckfestigkeiten deutlich über 2,5 N/mm<sup>2</sup> zu erwarten sind. Schwierig ist es jedoch eine repräsentative Entnahmestellen zu finden, da zufällig ungenügend verfüllte Stellen, nur geringe Festigkeiten zeigen. Entnommen wird prinzipiell zwischen den Injektionsöffnungen, um auch die Ausbreitung des Injektionsmittels im Mauerwerk zu erfassen.

**2. Statistische Auswertung der Ziegel- und Mörtelfestigkeiten an Gründerzeithäusern**

In den letzten Jahren sind an der Technischen Universität Wien über 60 Objekte in Wien mit ca. 200 Untersuchungsstellen mit der beschriebenen Komponentenmethode untersucht worden.

Ausgewertet wurden die Stempeldruckversuche der Lagerfugenmörtel sowie die Druckfestigkeit der Ziegel, jeweils getrennt für Keller und Erdgeschoss/Obergeschoss.

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die vorgefundenen Verteilungen der Prismen-Druckfestigkeit des Lagerfugenmörtels. Jeder Wert repräsentiert dabei eine Untersuchungsstelle mit ca. 10 Einzelproben. Die entsprechenden Umrechnungsfaktoren [5] zwischen den gemessenen Stempeldruckwerten und den Prismenfestigkeiten wurden bereits berücksichtigt.

Zu erkennen ist, dass die Festigkeit im Keller mit einem Mittelwert von 1,30 N/mm<sup>2</sup> geringer ist als im EG/OG mit 1,59 N/mm<sup>2</sup>. Auch streuen die Werte im EG/OG mehr. Der Mindestwert von 1,0 N/mm<sup>2</sup> entsprechend dem Merkblatt der Stadt Wien [3] wird statistisch im Keller von 28% und im Erdgeschoss von 21% der Untersuchungsstellen nicht erreicht. Dies ist bedingt durch

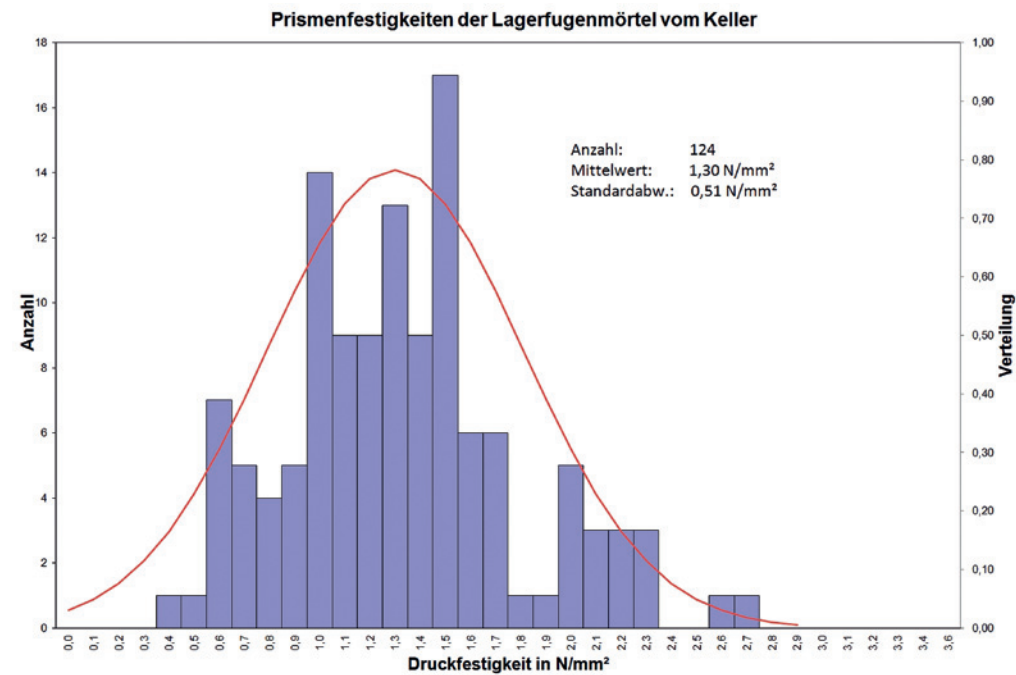


Abb.7: Prismenfestigkeiten der Lagerfugenmörtel vom Keller  
Fig. 7: Strength of the mortar from the cellar

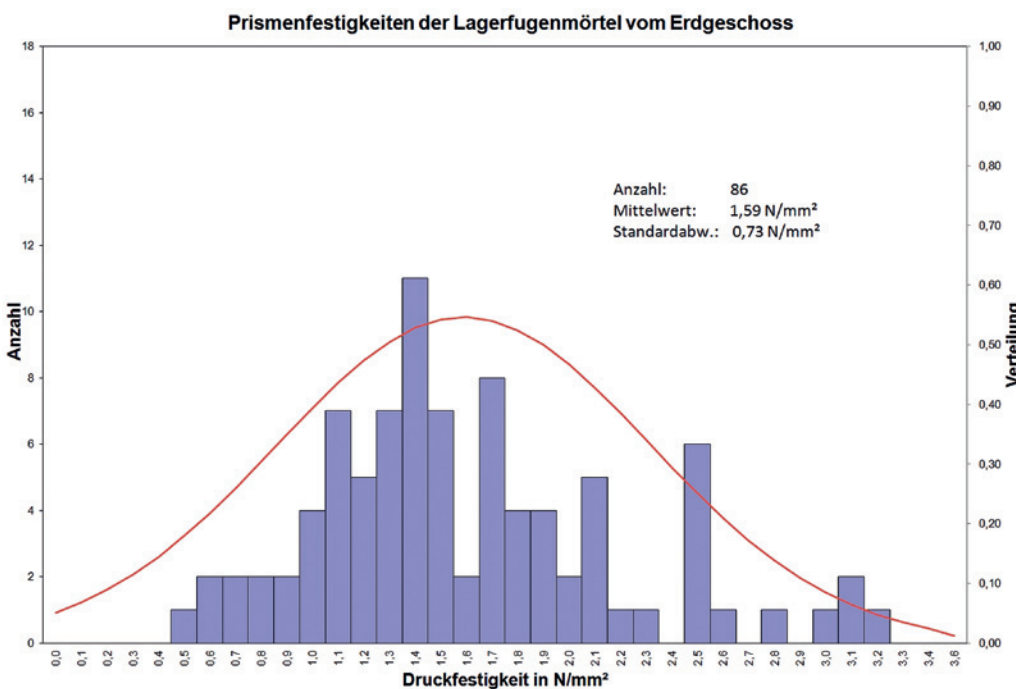


Abb. 8: Prismenfestigkeiten der Lagerfugenmörtel vom EG  
Fig. 8: Strength of the mortar from the ground floor

unterschiedliche Bindemittelgehalt und abweichende Mischrezepturen sowie durch Bindemittelauswaschung in (zeitweise) durchfeuchteten Mauerwerksbereichen.

Wenn die Tragfähigkeit eines Neubaus herzustellen ist, was notwendig für Dachgeschosszubauten ab einer zusätzlichen seismisch beanspruchten Masse  $>720 \text{ kg/m}^2$  ist, gilt als Mindestanforderung ein Mauermörtel der geringsten Mörtelklasse, nämlich M 2,5 nach ÖNORM EN 998-2. Diese Anforderung wird durch den vorgefundenem Kalkmörtel nicht erreicht, was bedeutet, dass praktisch immer mit Verstärkungsmaßnahmen gerechnet werden muss.

Bei den Ziegelfestigigkeiten sind zwischen dem Keller und EG/OG keine signifikanten Unterschiede vorhanden und die Werte daher in einem Diagramm (Abb. 9) zusammengefasst. Der Gesamtmittelwert der Druckfestigkeit beträgt  $21,6 \text{ N/mm}^2$  und die

jektierung von Umbaumaßnahmen eine Änderung der Beanspruchung gemauerter Konstruktionen zu erwarten, sollten vorsorglich Untersuchungen der betroffenen Bereiche angeordnet werden.

### 3. Materialien und Verfahren für die Mauerwerksverfestigung

#### 3.1. Allgemein

Möglichkeiten zur Verstärkung von Mauerwerkskonstruktionen unter Druckbeanspruchung und unter zyklischer Schubbeanspruchung (Erdbebeneinwirkung) wurden in den letzten Jahren in zahlreichen Untersuchungen behandelt. Nach [10] stehen neben der Verstärkung des Mauerwerks durch externe Verstärkungselemente folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

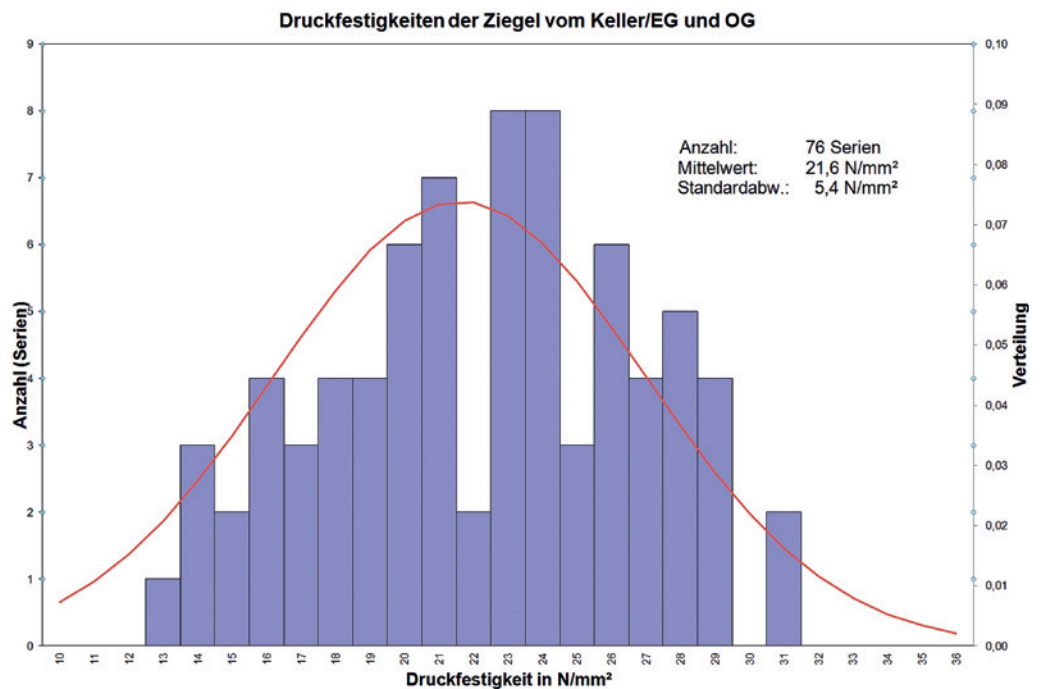


Abb. 9: Ziegelfestigigkeiten festgestellt anhand von Druckversuchen

Fig. 9: Strength of the bricks

Standardabweichung  $5,4 \text{ N/mm}^2$ . Auffallend ist, dass damit ein großer Teil unter einer Druckfestigkeit von  $20 \text{ N/mm}^2$  liegt. Weiters ist zu ergänzen, dass die Ziegelfestigigkeiten in einem Gebäude teilweise große Schwankungen aufweist und zwar im Bereich von etwa  $12$  bis  $30 \text{ N/mm}^2$ , was auf die Herstellungsverfahren (unterschiedliche Brandqualitäten, z.T. handwerkliche Ziegelherstellung) und auf nicht homogene Ausgangsstoffe bei der damaligen Ziegelproduktion zurückgeführt wird.

#### Anmerkung zur Einschätzung der Mauerwerksfestigkeiten

Konstruktive Untersuchungen an zahlreichen Objekten der Gründerzeit und älteren Bauphasen zeigen, dass die Werte für Mauermörtel und Ziegel jedoch nur bedingt zur Vorbemessung von Umbau- und Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden können. Durch Erschütterungen (kriegsbedingte Zerstörungen, Umbaufolgen, Verkehrseinwirkungen etc.) kann das Mauerwerksgefüge durch Auflösung des Verbundes zwischen Stein und Mörtelband entscheidend geschwächt sein. Durch Stemmarbeiten im Zuge von Installationseinbauten werden tragende Wände oft bis auf einen Bruchteil des ursprünglichen Wandquerschnittes verringert. Derartige Schwächungen sind im Zuge von Bestandsuntersuchungen nur oberflächlich feststellbar und in ihrer Auswirkung schwer abzuschätzen. Ist im Zuge der Pro-

- Vernadelung mehrschaliger Mauerbereiche
- Aufbringung von Spritzbetonschalen
- Bewehrung in Wandebene
- Vorspannung (Aramid oder GFK)
- Applikation von Bewehrungsmatten (z.B. GFK-Matten)

Konsolidierende Verfahren tragen in erster Linie zur Verbesserung der Beanspruchbarkeit auf Druck bei. Dabei werden zunächst alle größeren Hohl- und Schadstellen im Mauerwerksgefüge aufgefüllt und der Formschluss zwischen den bestehenden Strukturelementen wieder hergestellt. Sekundär kann durch derartige Maßnahmen auch das Schubtragverhalten von Mauerwerksscheiben verbessert werden. Es werden Zementinjektionen, Injektionen mit hydraulischen Bindemitteln sowie Mikrozementinjektion eingesetzt.

#### 3.2. Materialien und Einbau zur Mauerwerksverfestigung

##### Epoxydharz

Das zweikomponentige Epoxid-Reaktionsharz wird mit  $70$ – $80 \text{ bar}$  eingedrückt. Es werden spezielle 2-Kolben-Pumpen verwendet, die Harz und Härter mischen. Der Verbrauch liegt bei etwa  $30 \text{ kg/m}^3$  Mauerwerk. Epoxidharz verfestigt nur die Fugen,

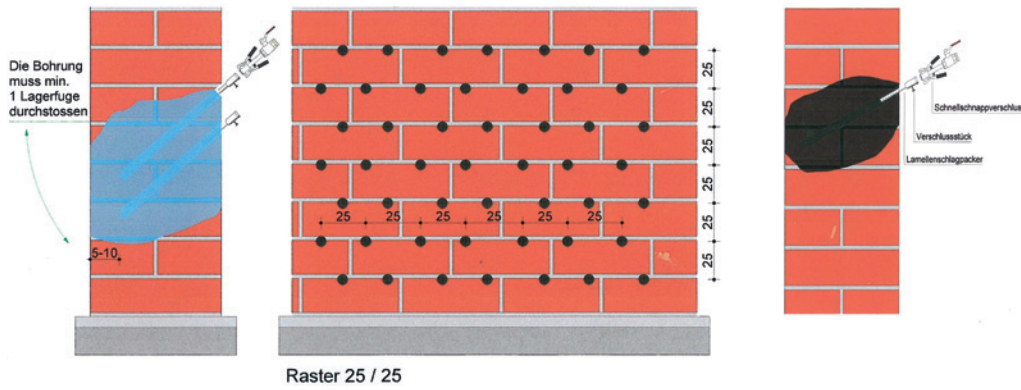


Abb. 10: Mauerwerksinjektion mit Wasserglas und Mikrozement – 2 Stufen – Schema  
Fig. 10: Injection in masonry with sodium silicat and microcement



Abb. 11: Injizierte Stiegenhauswand mit Wasserglas und anschließend Mikrozement

Fig. 11: Masonry injected with sodium silicat and microcement

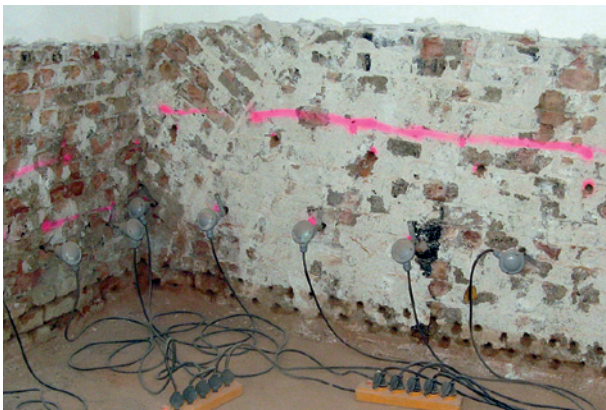


Abb. 12: Mit Paste verfüllte Bohrlochreihen knapp über dem Fußboden, darüber elektrische Mauertrocknung

Fig. 12: Masonry injected with a paste

Spalten und Löcher, jedoch nicht den Ziegel. Es wird daher an der Fuge schräg nach unten gebohrt, sodass zwei darunter liegende Mörtelfugen erfasst werden.

#### Polyurethan

Einkomponentige Polyurethangemische auf Wasserbasis, Lösemittelbasis, auch mit hydrophobierenden Komponenten.

#### Wasserglas

Es handelt sich um Silikatverbindung, die mineralisch aushärten und den Ziegel und Mörtel verfestigen. Es wird i.A. mit einem Druck von 10–15 bar eingedrückt.

#### Mikrozement

Es handelt sich um ein mineralisches Injektionsbindemittel, das hydraulisch erhärtet. Es wird charakterisiert durch das Größtkorn, z.B. mit der Bezeichnung  $d_{95} \leq 9,5 \mu\text{m}$ , d.h. 95% liegen unter einem Durchmesser von  $9,5 \mu\text{m}$ . Der Blainwert liegt i.A. bei  $\geq 15.000 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

Abbildung 10 zeigt das Schema einer zweistufigen Injektion mit Wasserglas und Mikrozement. Es wird im Raster  $25 \times 25 \text{ cm}$  schräg nach unten gebohrt und ein Lamellenschlagpacker gesetzt. Im ersten Schritt wird Wasserglas injiziert, danach wird, um die Stellen zu verschließen und ausgeschwemmten Mörtel wieder aufzufüllen, mit Mikrozement nachinjiziert. In Abbildung 11 sind die Arbeiten an einer Stiegenhauswand an einem Objekt in Wien zu sehen.

## 4. Abdichtung durch Injektionen

### 4.1. Allgemein

Bezüglich der Abdichtung von Mauerwerk mittels Injektionen liegt umfangreiche Literatur (z.B. [11], [12]) und ein WTA-Merkblatt [13] vor. Weiters sind die Grundlagen in ÖNORM B 3355-2 [14] angegeben. Herkömmliche Materialien sind laut [12] Paraffine, Silikonmikroemulsions-Konzentrate, Organische Harze, Alkalisilikate, Alkalimethylsiliconate und Kombinationsprodukte.

Im Folgenden wird auf ein neueres Material in Form einer Injektionscreme mit dem Wirkstoff Siloxan (HSC-Paste Hydropaste X1) eingegangen. Es handelt sich um eine thixotrope Paste in cremeartiger Konsistenz und mit hydrophobierender Wirkung. Die Paste wird zum Verfüllen der Bohrlöcher in handelsübliche Drucksprühgeräte oder Kartuschenpressen umgefüllt und mit geringem Druck leicht eingedrückt. Sie saugt sich anschließend selbst in den porösen Ziegel, wodurch die Porenwände wasserabweisend werden. Die Eindringung funktioniert bei feuchtem Mauerwerk besser als bei trockenem. Die Bohrlöcher weisen einen Abstand von 10 cm auf und werden 2-reihig gesetzt. Abbildung 12 zeigt dies an einem Objekt. Die Bohrtiefe beträgt Wandstärke minus 10 cm. Aufgrund der Konsistenz lässt sie sich verlustfrei verarbeiten, wobei bei stark saugendem Mauerwerk ein mehrmaliges Verfüllen des Bohrloches erforderlich werden kann. Der Verbrauch beträgt ca.  $5\text{--}7 \text{ kg}/\text{m}^2$  Mauergrundfläche. Anschließend kann das darüber befindliche Mauerwerk getrocknet werden, wie auf Abbildung 12 dargestellt.

### 4.2. Prüfung der Wirksamkeit

Die Bewertung der Wirksamkeit erfolgt i.A. durch Überprüfung der hydrophobierenden Wirkung durch Aufsetzen von Wassertropfen oder durch Saugversuche. Die Methoden sind in [15] tabellarisch zusammengestellt und beschrieben.

Im vorliegenden Fall wurden Saugversuche an im Labor hergestellten Mauerwerkkörper durchgeführt. Es wurden insgesamt 3 Mauerwerkskleinpfeiler, eine Ziegellänge (29 cm) lang und breit und 6 Scharen (50 cm) hoch, aus alten Mauerziegeln sowie Kalkmörtel mit dem Mischungsverhältnis Kalk : Wasser : Sand 1 : 1,43 : 5 hergestellt. Die Seitenflächen wurden mit Zementschlemme (Zement-Sand-Gemisch) abgedichtet. Nach mehrwöchiger Trocknung im Raumklima wurde ein Pfeiler mit herkömmlichen Alkalisilkat (Produkt Ökodry) und ein Pfeiler mit Siloxan-Paste (Produkt „HSC Paste – Hydropaste X1“) injiziert. Der dritte Pfeiler diente als Vergleichsprobe und wies keine Injektionen auf. Die Probekörper wurden in ein Becken mit der WTA Lösung (35 g Kochsalz, 5 g Natriumsulfat, 15 g Natriumnitrat bezogen auf 1 Liter Wasser) gestellt, so dass sie ständig ca. 1 cm eingetaucht (Abb. 13) waren. Die untere Saugfläche und die obere Fläche waren freie Ziegelflächen waren. In bestimmten Zeitabständen wurden Bohrmehlproben aus der 2. und 6. Schar entnommen und der Feuchtigkeitsgehalt mittels der Darmmethode sowie der Salzgehalt festgestellt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 14 bis 17 grafisch dargestellt. Es war bei den Saugversuchen im Untersuchungszeitraum von 37 Tagen festzustellen, dass bei den mit Alkalisilkat und Siloxan-Paste injizierten Mauerwerkkörpern es zu praktisch keiner Feuchtigkeitsaufnahme und damit verbundenen Salztransport gekommen ist. Am Vergleichs-Mauerwerkkörper ohne Injektionen kam es unter gleichen Bedingungen zu hohen Wasser- und Salzaufnahmen. Dadurch konnte die abdichtende Wirkung der verwendeten Materialien im Labor nachgewiesen werden.



Abb. 13: Wassersaugversuch an Kleinpfeilern, im Vordergrund der Vergleichspfeiler ohne Injektion  
 Fig. 13: Water sinking test on masonry

Ergebnisse der Saugversuche an Mauerpfeilern

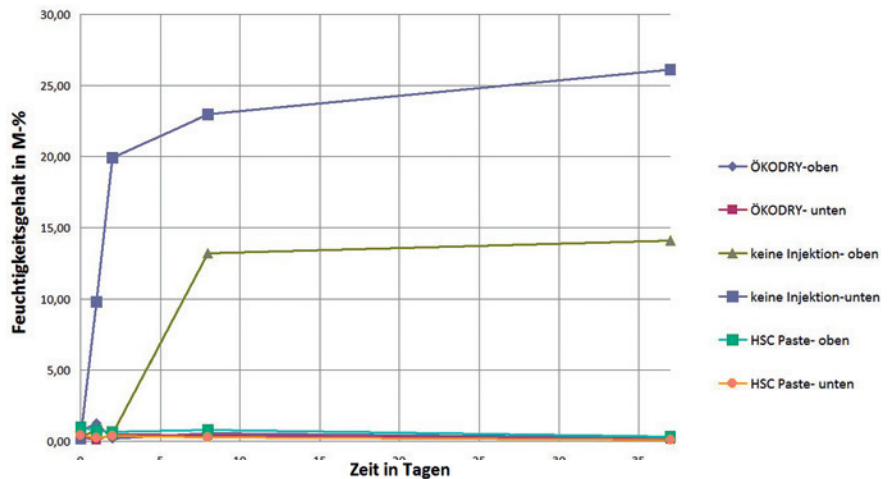


Abb. 14: Ergebnisse der Saugversuche im Vergleich  
 Fig. 14: Result of water sinking test on masonry

Salzgehalte für Pfeiler ohne Injektion an Stelle "unten"

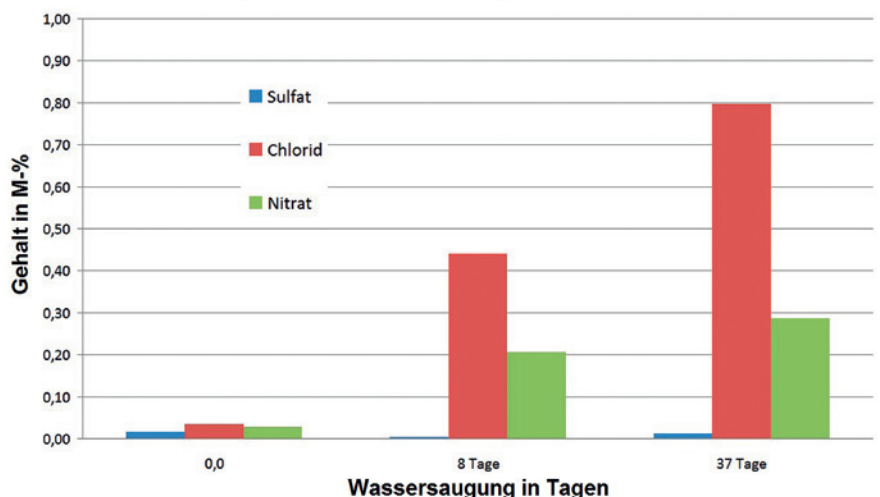


Abb. 15: Vorgefundene Salzgehalte an der unteren Entnahmestelle am Vergleichspfeiler  
 Fig. 15: Salt concentration in the masonry without injection

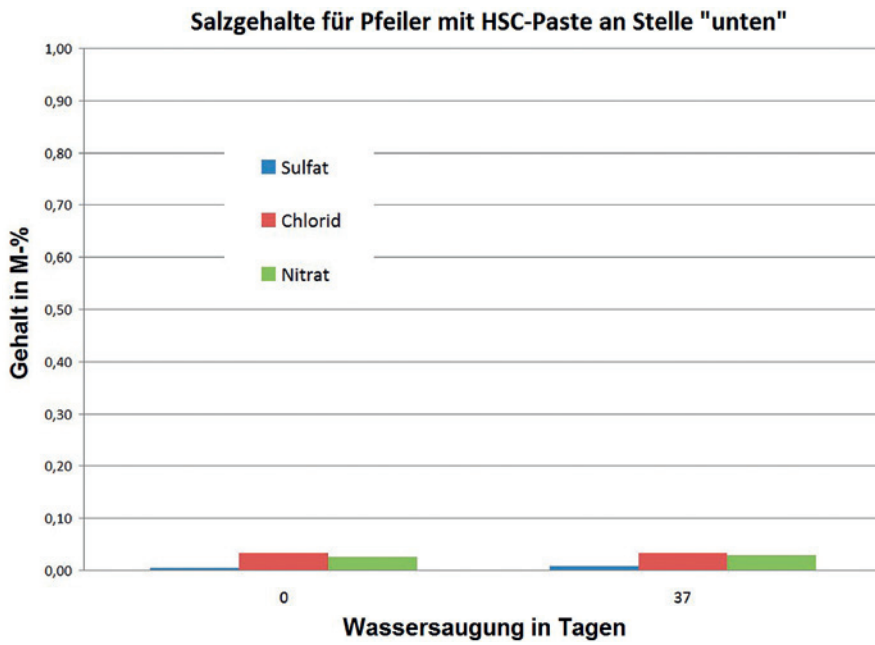


Abb. 16: Vorgefundene Salzgehalte an der unteren Entnahmestelle am Pfeiler mit injizierter Siloxan-Paste  
 Fig. 16: Salt concentration in the masonry with siloxan-paste

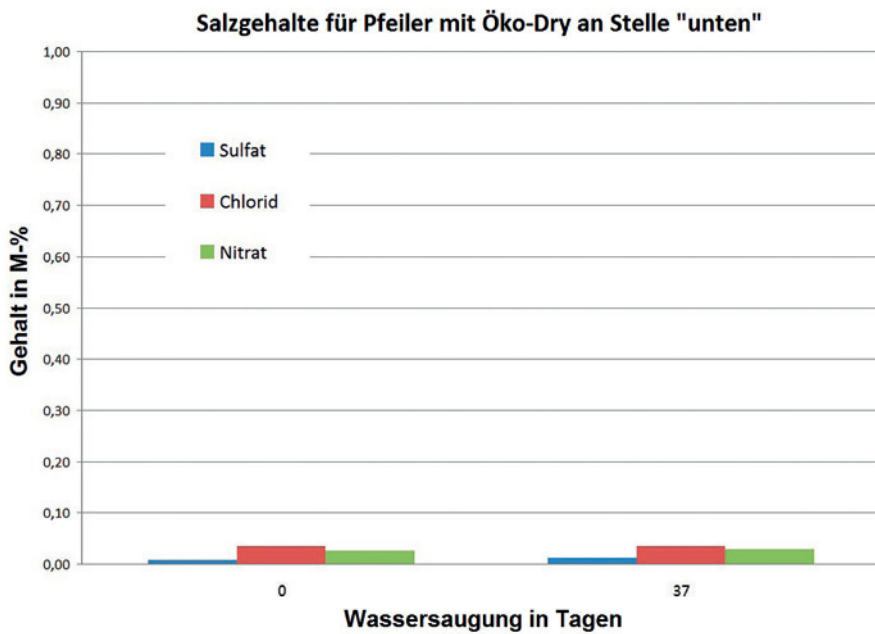


Abb. 17: Vorgefundene Salzgehalte an der unteren Entnahmestelle am Pfeiler mit injiziertem Alkalisilikat  
 Fig. 17: Salt concentration in the masonry with sodium silicat

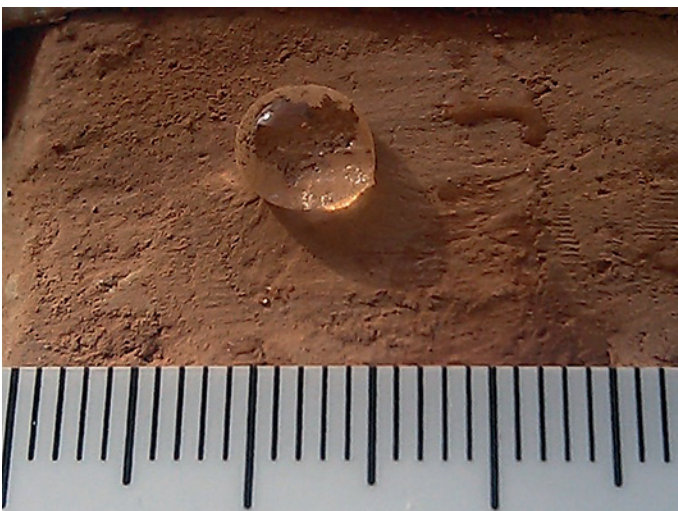


Abb. 18: Wassertropfen auf hydrophobierter Ziegelschnittfläche  
 Fig. 18: Drop of water on a hydrophobic brick section



Weitere Untersuchungen laufen an aus dem Objekt entnommenen Mauerwerksbohrkernen. Abbildung 18 zeigt einen Wassertropfen, der auf die Mantelfläche eines Ziegelbohrkerns aufgesetzt wurde, dessen Mauerwerk mit der Siloxan-Paste behandelt wurde. Aufgrund des Benetzungswinkels  $> 90^\circ$  kann hier die hydrophobierende Wirkung bestätigt werden. An weiters geplanten Saugversuchen kann die praktische Brauchbarkeit dokumentiert werden, wobei als Grenzwert nach [15] ein Wasseraufnahmekoeffizient von  $< 0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$  anzusehen ist.

## Literatur

- [1] ONR 21996 „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Vereinfachte Berechnungsmethoden für unbewehrte Mauerwerksbauten nach ÖNORM EN 1996-3 und ÖNORM B 1996-3“, Ausgabe 03.2011
- [2] ÖNORM EN 1998-3 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 3: Beurteilung und Ertüchtigung von Gebäuden“, Ausgabe 12.2005
- [3] Merkblatt, MA 37.allg. 12192/2008 vom 31.3.2008; Herausgeber Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 37, Baupolizei – Gruppe S
- [4] EN 998-2 „Festlegungen für Mauermörtel, Teil 2: Mauermörtel“, Ausgabe 11.2010
- [5] Diplomarbeit „Versuche zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Mauermörtel nach unterschiedlichen Verfahren“, H. Undesch, TU Wien, 1990
- [6] Diplomarbeit „Versuche zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Mauermörtel – Stempeldruckfestigkeit“, B. Kompiller, TU Wien, 1993
- [7] ÖNORM EN 772-1 „Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit“, Ausgabe 08.2010
- [8] ÖNORM B 1996-1-1 „Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk – Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1996-1-1“, Ausgabe 03.2009
- [9] ÖNORM EN 1052-1 „Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit“, Ausgabe 01.1999
- [10] A. Kolbitsch, Möglichkeiten der Ertüchtigung von Hochbauten der Gründerzeit; ÖIAZ, 155 Jg., Heft 1–3/2012 und Heft 4–6/2010
- [11] Frössl F., Nachträgliche Horizontalabdichtung gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit, Mauerwerk-Kalender 2009, Ernst & Sohn, 397 f
- [12] Weber H., Instandsetzung von feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk, Bauphysik-Kalender 2008, Ernst & Sohn
- [13] WTA-Merkblatt 4-4-04/D: Mauerwerksinjektionen gegen kapillare Feuchtigkeit. Hrsg. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Fassung Oktober 2004, WTA Publications, München
- [14] ÖNORM B 3355-2 „Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk – Teil 2: Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk“, Ausgabe 01.2011
- [15] Venzmer H., Funktioniert's? Neue Sachverständigenmethoden für Injektionsmittel-Horizontalabdichtung, Bautenschutz+Bausanierung 6.2011, Rudolf Müller Verlag

Dipl.- Ing. Dr.techn. Karl Deix

Technische Universität Wien

Institut für Hochbau und Technologie, E206

Forschungsbereich für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

1040 Wien, Karlsplatz 13

Tel. 01-58801-21519

karl.deix@tuwien.ac.at

Dipl.- Ing. Dr. Sinan Korjenic

Technische Universität Wien

Institut für Hochbau und Technologie, E206

Forschungsbereich für Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

1040 Wien, Karlsplatz 13

Tel. 01-58801-21511

sinan.korjenic@tuwien.ac.at