

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch



Materials Science & Technology

Tripema AG
Chaltenbodenstrasse 16
8834 Schindellegi

Prüfbericht Nr. 5214008765

Prüfauftrag:	Mauerwerksprüfungen
Auftraggeber:	Tripema AG, 8834 Schindellegi
Prüfobjekt:	Backsteinleichtmauerwerk
Kundenreferenz:	Herr Kurt Herpel
Ihr Auftrag vom:	02.03.2015
Eingang des Prüfobjektes:	20.03.2015
Ausführung der Prüfung:	09. / 10.04.2015
Anzahl Seiten:	10
Beilagen:	1

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dübendorf, 5. Mai 2015

Prüfleiter:
Dr. Christoph Czaderski

C. Czaderski

Abteilungsleiter:
Prof. Dr. Masoud Motavalli

M. Motavalli



Einleitung

Im Auftrag der Firma red-Partners AG, Schindellegi, ermittelte die Abteilung Ingenieur-Strukturen der Empa die Druckfestigkeit von Mauerwerkskleinkörpern in Anlehnung an SN EN 1052-1:1998 „Prüfverfahren für Mauerwerk – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit“. Die Abteilung Beton/Bauchemie der Empa ermittelte ausserdem die Steindruckfestigkeit.

Die vorgefertigten Mauerwerkskleinkörper und die Einzelsteine wurden vom Auftraggeber an die Empa angeliefert. Gemäss Angaben des Auftraggebers lautet die Bezeichnung der verwendeten Backsteine *Ziegel Redbloc 25 VZ FW*, diejenige des Klebers lautet *ISAPUR 2607*.

Auf Wunsch des ursprünglichen Auftraggebers red-Partners AG wurde das Eigentum des vorliegenden Prüfberichtes vollständig auf die Firma Tripema AG übertragen. Die Tripema AG verfügt per 1. Mai 2015 über das exklusive Nutzungsrecht des vorliegenden Prüfberichtes.

Mauerwerkskleinkörper

Die vorgefertigten Mauerwerkskleinkörper wurden am 20. März 2015 an die Empa angeliefert. Es handelte sich um drei Mauerwerkskleinkörper à jeweils zwei oder drei Steinen in Längsrichtung und in fünf Lagen, siehe Abbildung 1 und Abbildung 2. In Abweichung zu den Vorgaben in der SN EN 1052-1:1998 wurden vom Auftraggeber in der zweiten und vierten Lage die herausstehenden Mauersteine nicht abgeschnitten (Abbildung 2). Bei einer Mauer war ein herausstehender Mauerstein abgebrochen.

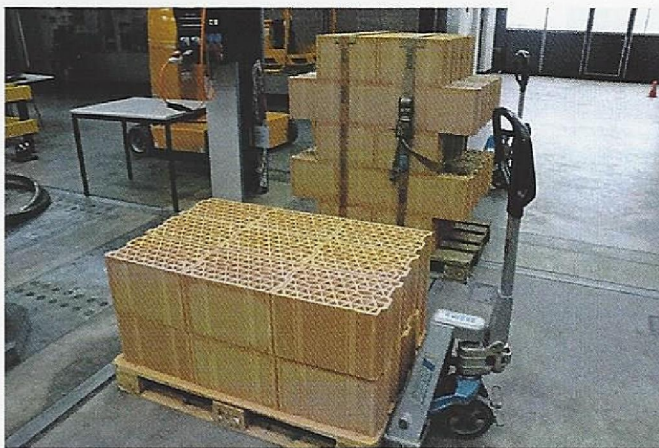


Abbildung 1: Die gelieferten Mauerwerkskleinkörper und die Einzelsteine zur Ermittlung der Steindruckfestigkeit.

Versuchsdurchführung

Für die Druckversuche an den Mauerwerkskleinkörpern wurde die 5000 kN Druck-Prüfmaschine (LOG Nr. 60.240) der Empa verwendet (Abbildung 3 und Abbildung 4).

An der Ober- und Unterseite der Mauerwerkskleinkörper wurden zur verbesserten Kraftübertragung Gipsplatten mit einer Dicke von 12.5 mm verwendet (Abbildung 3 und Abbildung 4).

Die Versuche wurden kraftgesteuert durchgeführt. Die Kraftgeschwindigkeit betrug etwa 0.8 kN/s. Die Versuche wurden am 9. und 10.4.2015 durchgeführt. Während der Versuche wurde die Maschinenkraft (F), der Maschinenweg sowie vier Wegmessungen (d) mit einem Messverstärker und entsprechender Software mit einer Abtastfrequenz von 2 Hz aufgezeichnet. Die Messlängen (L_0) der Wegmessungen betragen 500 mm. Die Anordnung der Wegmessungen ist in Abbildung 2 sichtbar. Es wurden pro Probekörper vier Wegmessungen durchgeführt.

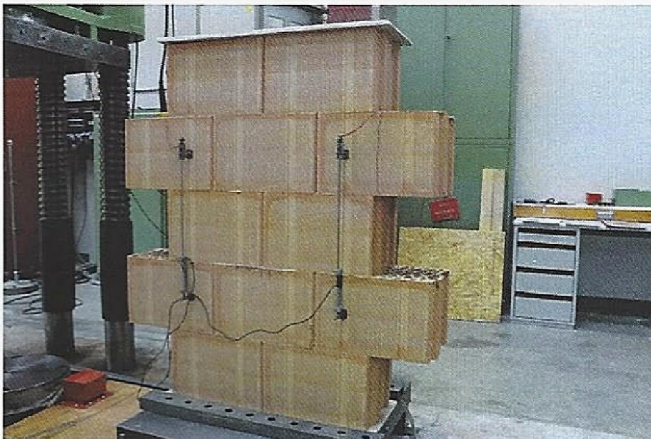


Abbildung 2: Mauerwerkskleinkörper Nr. 2 vor dem Versuch. Die Mauerwerkskleinkörper bestanden jeweils aus zwei oder drei Steinen in Längsrichtung und in fünf Lagen. Sichtbar sind auch die Wegmessungen über zwei Lagerfugen mit einer Messlänge von 500 mm.



Abbildung 3: Mauerwerkskleinkörper Nr. 2 eingebaut in der 5000 kN Druck-Prüfmaschine.

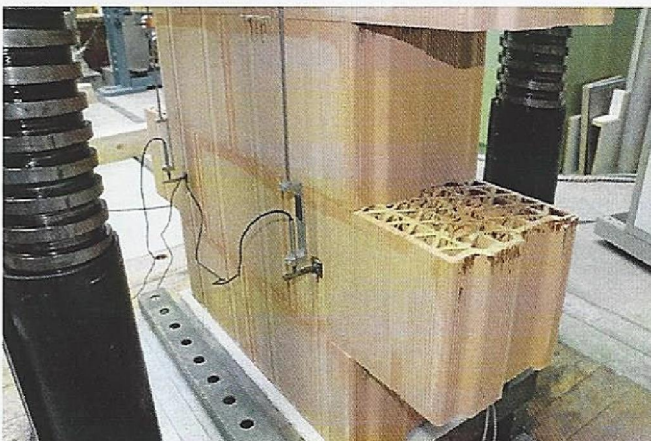


Abbildung 4: Nahaufnahme eines in der Prüfmaschine eingebauten Prüfkörpers (Nr. 1) vor dem Versuch. Sichtbar sind zwei Wegaufnehmer.

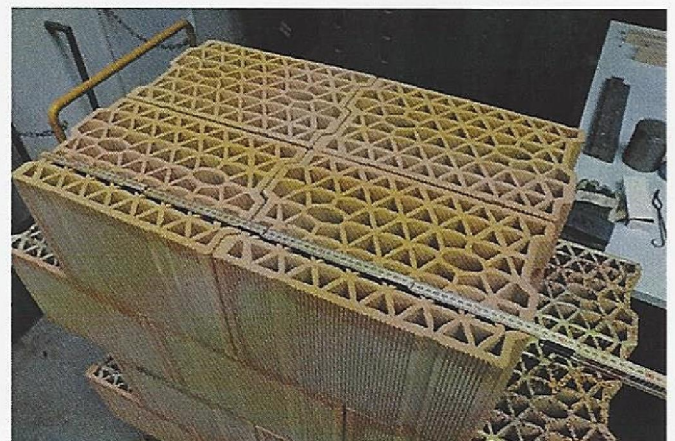


Abbildung 5: Nahaufnahme des Lochbildes des Mauerwerkes.

Die Stauchungen (ε) in den Mauerwerksprüfungen wurden durch Division der Wegmessungen (d) durch die Messlänge $L_0 = 500$ mm berechnet:

$$\varepsilon = \frac{d}{500}$$

Einfachheitshalber wurden die Abmessungen der Mauerwerkskleinkörper mit nominelle Abmessungen festgelegt. Die Mauerwerksbreite wurde mit 250 mm, die Mauerwerkslänge mit 760 mm festgelegt (Abbildung 5). Die Druckspannungen (σ) in den Mauerwerksprüfungen wurden durch Division der elektronisch gemessenen Druckkräfte (Maschinenkraft) durch die nominellen Abmessungen der Mauerwerkskleinkörper ermittelt, siehe die folgende Gleichung:

$$\sigma = \frac{F}{250 \times 760}$$

Der charakteristische Wert der Mauerwerksdruckfestigkeit f_{xk} wurde aus dem Mittelwert der Mauerwerksdruckfestigkeit f_x nach SN EN 1052-1:1998 mit

$$f_{xk} = \frac{f_x}{1.2}$$

berechnet.

Der Elastizitätsmodul E_x des Mauerwerks wurde als Sekantenmodul ermittelt. Die Stauchung wurde aus dem Mittelwert aller vier Wegmessungen und bei einem Drittel der Höchstlast interpoliert. Die folgende Gleichung beschreibt die Ermittlung des Elastizitätsmodul (E_x = Elastizitätsmodul Mauerwerk, F_{max} = Kraftmaximum, $\varepsilon(F_{max}/3)$ = Stauchung bei einem Drittel des Kraftmaximums, A = Druckfläche Mauerwerk, d.h. $250 \times 760 \text{ mm}^2$):

$$E_x = \frac{\frac{F_{max}}{3}}{\varepsilon\left(\frac{F_{max}}{3}\right)A}$$

In SN EN 1052-1:1998 wird nicht erklärt, wie der charakteristische Wert des Elastizitätsmoduls des Mauerwerks E_{xk} ermittelt werden kann. Deshalb wird der charakteristische Wert dem Mittelwert gleichgesetzt:

$$E_{xk} = E_x$$

Die Standardabweichungen s der Stein- und Mauerwerksprüfungen wurden als Standardabweichung der Stichprobe mit folgender Gleichung berechnet (n =Anzahl Messungen, x_i =Einzelwert, \bar{x} =Mittelwert):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Mit Hilfe der Standardabweichung s und dem Mittelwert \bar{x} wurde der Variationskoeffizient wie folgt ermittelt:

$$v = \frac{s}{\bar{x}} 100 \quad [\%]$$

Der charakteristische Wert der Steindruckfestigkeit f_{bk} wurde als 5%-Fraktilwert mit einem Vertrauensniveau von 95% gemäss der Richtlinie NB-CPD/SG10/12/091 vom 9. März 2012 „Guidance from the Group of Notified Bodies for the Construction Products Directive 89/106/EED“ nach Formel (3) auf Seite 15 der Richtlinie ermittelt

$$f_{bk} = f_b - k_{L,u} s$$

f_b entspricht dem Mittelwert der Steindruckfestigkeit und für 10 Versuche kann aus der genannten Richtlinie, Tabelle A8 auf Seite 37, ein Faktor $k_{1,u}$ von **2.911** entnommen werden.

Versuchsergebnisse

Steinprüfungen

Die Backsteine wurden am 20. März 2015 an die Empa angeliefert. Die Steindruckfestigkeit wurde von der Abteilung Beton/Bauchemie der Empa ermittelt. Die Steine wurden parallel geschliffen, dann bei 105°C bis zur Massenkonstanz konditioniert und dann geprüft. Es wurden 10 Prüfungen durchgeführt. Das Prüfprotokoll mit den Angaben der einzelnen Prüfungen kann der Beilage 1 entnommen werden. Daraus können folgende Werte ermittelt werden:

Mittelwert der Steindruckfestigkeit	$f_b =$	20.1 MPa.
Standardabweichung	$s =$	1.2 MPa
Variationskoeffizient	$v =$	5.8%
Charakteristischer Wert der Steindruckfestigkeit	$f_{bk} =$	16.7 MPa
Rohdichte	$\rho =$	759 kg/m ³

Mauerwerksprüfungen

In Abbildung 6 bis Abbildung 11 sind Bruchbilder der geprüften Mauerwerkskleinkörper dargestellt. Die ermittelten Druckspannungs-Stauchungsdiagramme der drei Versuche können Abbildung 12 bis Abbildung 14 entnommen werden. Die vier gemessenen Stauchungen hatten eine deutliche Streuung, was auf eine ungleichmässige Belastung hindeutet, ausgelöst eventuell dadurch dass die Ober- und Unterseite der Mauerwerkskleinkörper nicht ganz parallel waren. In Abbildung 15 sind ausserdem die Druckspannungs-Stauchungsdiagramme mit den Mittelwerten der Stauchungen der drei Versuche abgebildet. Die Mittelwerte haben eine kleine Streuung zwischen den drei Versuchen. Das Spannungs-Dehnungsverhalten ist einigermaßen linear bis zum Bruch.

Die maximal erreichten Druckkräfte, die Dauer des Versuches von Belastungsbeginn bis zur maximalen Kraft, die maximalen Druckspannungen und die Elastizitätsmoduli sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Zusätzlich sind die Variationskoeffizienten und die charakteristischen Werte angegeben.

Probekörper	Kraft max kN	Dauer bis Bruch min	Druckspannung max MPa	Elastizitätsmodul MPa
1	1191.9	25.7	6.27	2813
2	1282.9	27.5	6.75	3108
3	1348.0	28.9	7.09	2817
Mittelwerte			$f_x = 6.71$	$E_x = 2913$
Variationskoeffizienten			6.2%	5.8%
Charakteristische Werte			$f_{xk} = 5.6 \text{ MPa}$	$E_{xk} = 2900 \text{ MPa}$

Tabelle 1: Übersicht der Mauerwerksversuche an Mauerwerkskleinkörper aus Mauersteinen Ziegel Redbloc 25 VZ FW vermauert mit Kleber ISAPUR 2607 (Versuche vom 9./10. April 2015).



Abbildung 6: Mauerwerkskleinkörper Nr. 1 nach dem Versuch.



Abbildung 7: Rückseite des Mauerwerkskleinkörper Nr. 1 nach dem Versuch.



Abbildung 8: Mauerwerkskleinkörper Nr. 2 nach dem Versuch.



Abbildung 9: Rückseite des Mauerwerkskleinkörper Nr. 2 nach dem Versuch.



Abbildung 10: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3 nach dem Versuch.



Abbildung 11: Mauerwerkskleinkörper Nr. 3 nach dem Versuch, nach Abbau der Weggeber und aus der Prüfmaschine herausgefahren. Risse angezeichnet.

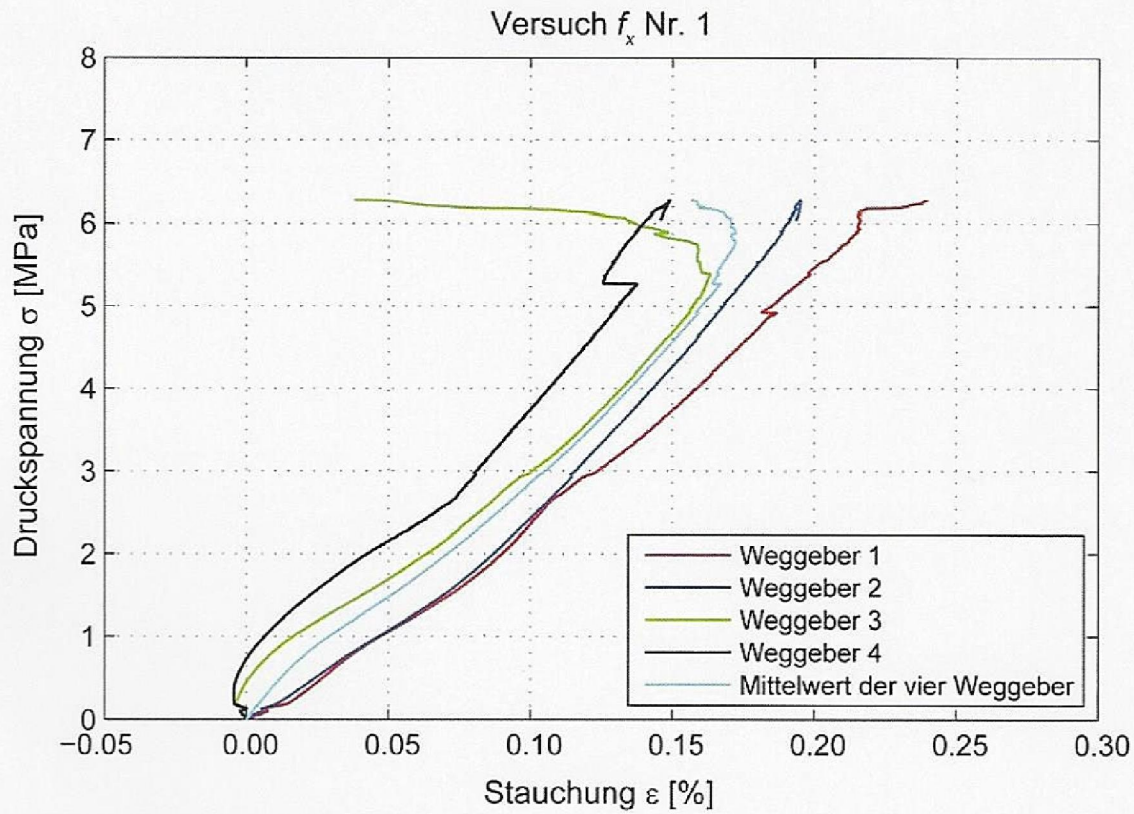


Abbildung 12: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme ermittelt im Versuch Nr. 1.

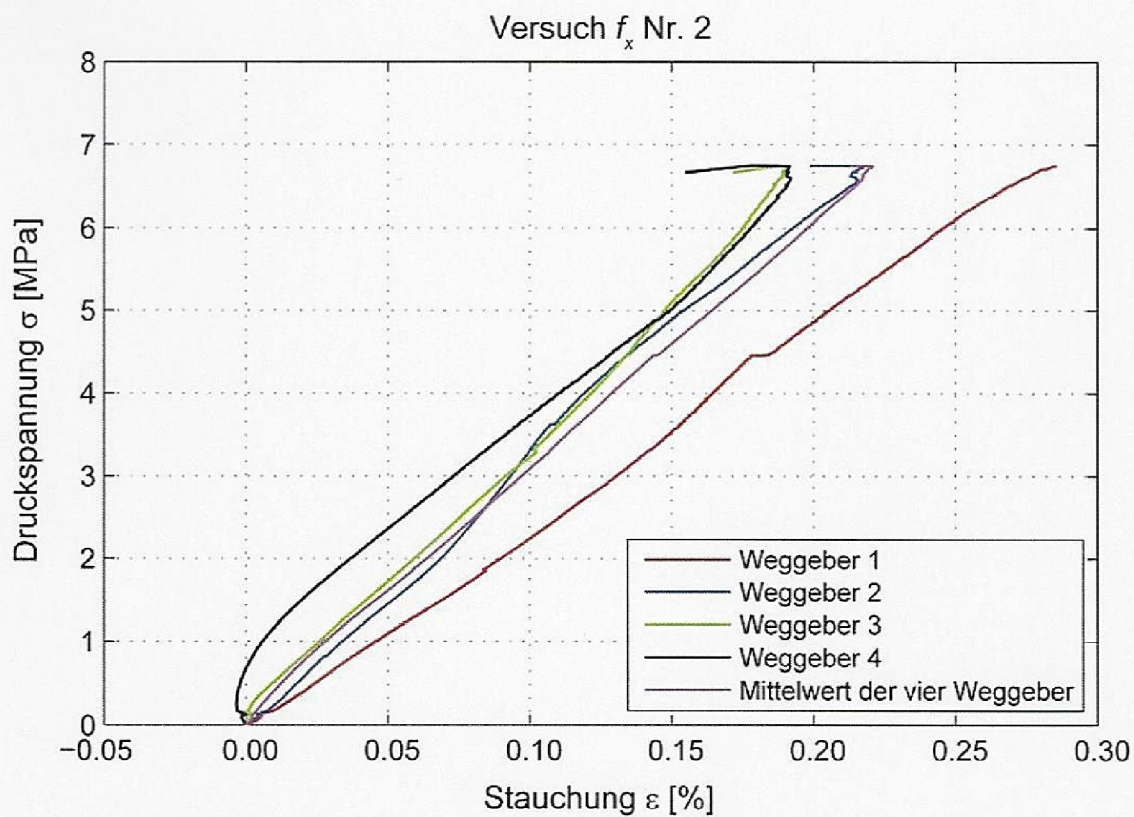


Abbildung 13: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme ermittelt im Versuch Nr. 2.

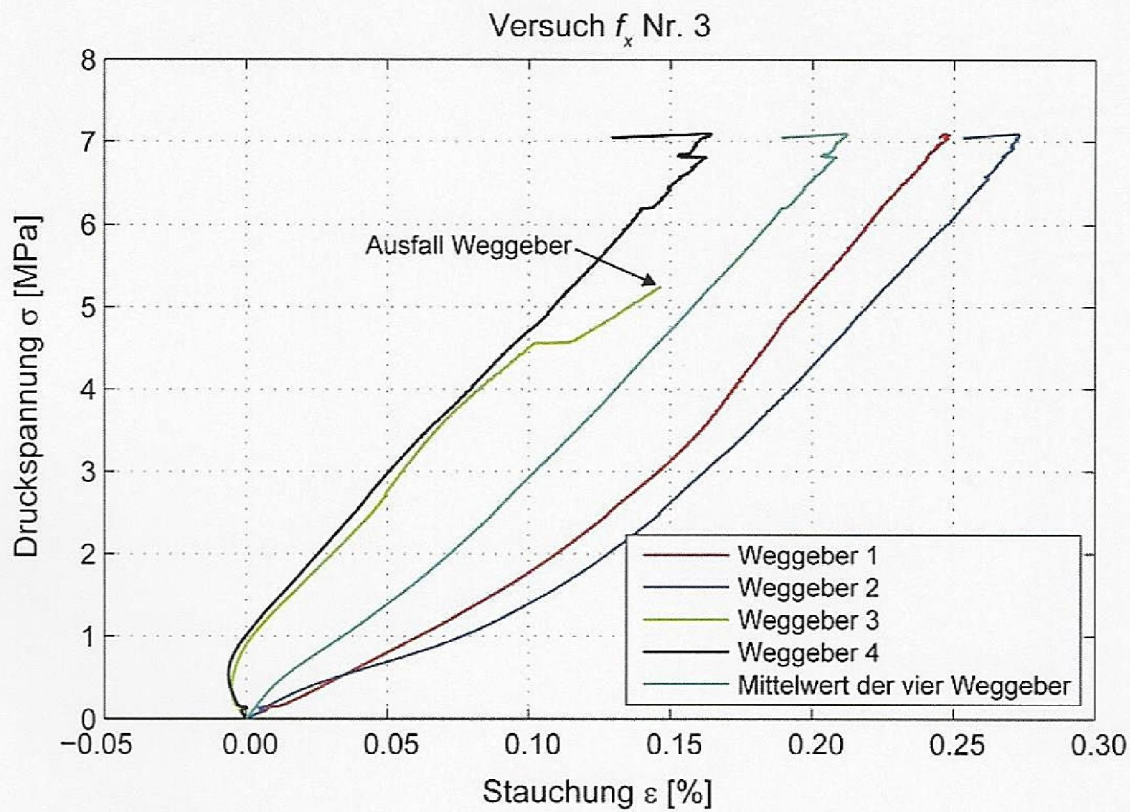


Abbildung 14: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme ermittelt im Versuch Nr. 3.

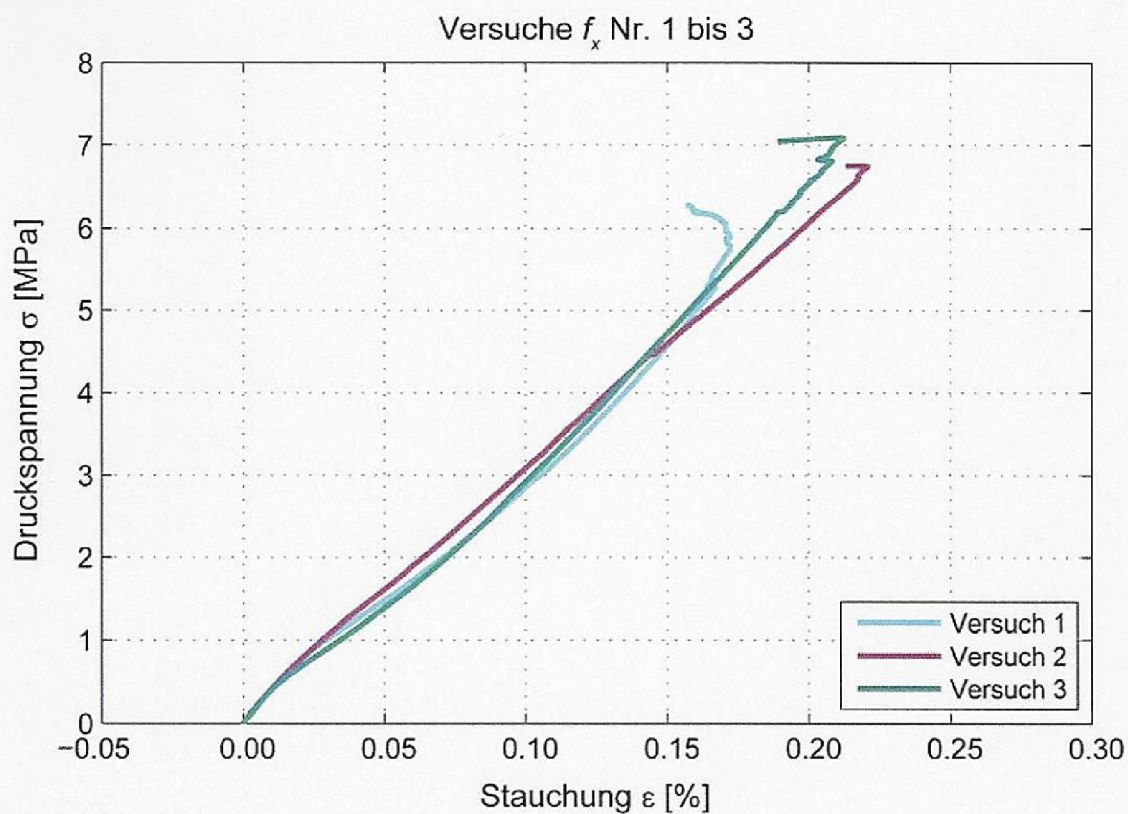


Abbildung 15: Druckspannungs-Stauchungsdiagramme (Mittelwerte der Stauchungen) ermittelt in den drei Versuchen zusammen dargestellt in einem Diagramm.

Beurteilung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Steindruckfestigkeit f_b , die Mauerwerksdruckfestigkeit f_x und der Mauerwerkselastizitätsmodul E_x geprüft. Es können nur Aussagen zu diesen Prüfungen gemacht werden. Der verwendete Kleber wurde nicht untersucht.

Gemäss SIA 266 (2003) „Mauerwerk“ sind für deklariertes Mauerwerk folgende Mindestwerte für die Steindruckfestigkeit einzuhalten:

$$f_{bk} \geq 2.5 \text{ MPa}$$

Die charakteristische Steinfestigkeit betrug im Versuch $f_{bk} = 16.7 \text{ MPa}$. Der geforderte Mindestwert war somit erfüllt. (Es wurde einfachheitshalber keine Korrektur der Steindruckfestigkeit wegen der Steinabmessung mit Hilfe des Formfaktors vorgenommen).

Gemäss SIA 266 (2003) „Mauerwerk“ sind für deklariertes Mauerwerk folgende Mindestwerte einzuhalten:

$$f_{xk} \geq 1.8 \text{ MPa}$$

$$E_{xk} \geq 1.8 \text{ GPa}$$

Die charakteristische Mauerwerksdruckfestigkeit und der charakteristische Elastizitätsmodul betragen im Versuch $f_{xk} = 5.6 \text{ MPa}$ und $E_{xk} = 2900 \text{ MPa}$. Die geforderten Mindestwerte waren somit erfüllt.

Das Mauerwerk kann somit gemäss SIA 266 (2003) „Mauerwerk“ wie folgt bezeichnet werden:

Mauerwerk MBLD, $f_{xk} = 5.6 \text{ MPa}$, $E_{xk} = 2900 \text{ MPa}$, $\rho = 759 \text{ kg/m}^3$, Einsteinmauerwerk aus Leichtbacksteinen

Beilagen

1. Prüfprotokoll Steinprüfungen der Empa Abteilung Beton/Bauchemie

Prüfprotokoll

(gilt nur zusammen mit dem Berichtsdeckblatt)

Auftragsnummer: 5214008765 Mauersteine**Seriebezeichnung:** Christoph Czaderski**Prüfung:** Mauersteindruckfestigkeit

Herstelldatum: 15.04.2015

Norm: EN 772-1:2011

Probenalter: 0

Prüfkörper: Mauerstein 375x250x250

Prüfdatum: 15.04.2015

Prüfer: ges

Feld 1 PK geschliffen, konditioniert, Bel.V= 0.6MPa/s

Bezeichnung	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Masse [g]	Rohdichte [kg/m ³]	Höchstkraft [kN]	Festigkeit [MPa]
1	376.6	248.6	248.3	17596	757	1956.0	20.9
2	377.2	248.2	248.3	17619	758	1943.0	20.8
3	376.0	248.4	248.3	17561	757	1921.0	20.6
4	376.5	249.5	248.0	17564	754	2002.0	21.3
5	377.3	248.4	247.9	17660	760	1801.0	19.2
6	376.5	248.6	248.1	17675	761	1744.0	18.6
7	376.7	249.0	248.3	17637	757	1871.0	19.9
8	376.8	248.2	246.5	17578	763	1872.0	20.0
9	376.3	248.6	248.1	17660	761	1702.0	18.2
10	376.9	249.3	248.5	17695	758	2052.0	21.8
Mittelwert					759		20.1
Std. Abw.					3		1.2

Datum: 15.04.15

Unterschrift Prüfer:

